



Journal Website

Article history:
Received 10 May 2026
Revised 04 September 2026
Accepted 11 September 2026
Initial Publication 21 September 2026
Final Publication 23 August 2027

Dynamic Management and Business Analysis

Volume 6, Issue 3, pp 1-25



E-ISSN: 3041-8933

Structural Analysis of Open Innovation Components in the Supply Chain of Strategic Industries: A Focus on the Steel Industry

Mostafa. Zolfaghari¹, Mehdi. Roghani^{2*}, Shabnam. Razavian³

¹ Department of Management, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Department of Management, Om.C., Islamic Azad University, Omidyeh, Iran

³ Department of Mathematics, CT.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

* Corresponding author email address: m.roghani2014@iau.ac.ir

Article Info

Article type:

Original Research

How to cite this article:

Zolfaghari, M., Roghani, M., & Razavian, S. (2027). Structural Analysis of Open Innovation Components in the Supply Chain of Strategic Industries: A Focus on the Steel Industry. *Dynamic Management and Business Analysis*, 6(3), 1-25.

<https://doi.org/10.61838/dmbaj.438>



© 2027 the author(s). Published by Knowledge Management Scientific Association. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) License.

ABSTRACT

Objective: This study aimed to identify and structurally analyze the key components influencing the implementation of open innovation in the steel industry supply chain and to explain the major dimensions shaping this approach within a strategic industrial context.

Methodology: This qualitative and exploratory study employed thematic analysis as the main analytical strategy. The participants consisted of supply chain managers, experienced industry experts, and university faculty members with relevant expertise in innovation, supply chain management, and the steel industry. A total of 15 experts were selected through purposive and snowball sampling until theoretical saturation was reached. Data were collected through in-depth semi-structured interviews based on nine main questions. All interviews were transcribed verbatim and analyzed through sequential stages of initial coding, aggregation of similar concepts, formation of basic themes, and extraction of higher-order organizing themes.

Findings: Analysis of the 15 interviews resulted in 225 initial codes, which were subsequently classified into 16 organizing themes. These included strategic and managerial factors, cultural and human factors, structural and organizational factors, financial and economic factors, legal and intellectual property factors, technological and infrastructural factors, networking and ecosystem factors, supplier-related factors, customer- and market-related factors, environmental and sustainability factors, macro-environmental and governance factors, risk management and resilience, knowledge management and absorptive capacity, human resource and talent management, performance evaluation and key indicators, and digital transformation and smartification. The findings showed that open innovation implementation in the steel supply chain is shaped by the simultaneous interaction of internal organizational capabilities, inter-organizational relationships, digital infrastructures, legal and financial mechanisms, and broader environmental conditions.

Conclusion: Open innovation in the steel industry should be viewed as a multidimensional ecosystem capability whose successful implementation depends on strategic alignment, collaborative culture, flexible organizational structures, digital infrastructure, knowledge management, effective supply chain partnerships, and systematic performance evaluation.

Keywords: Open Innovation, Supply Chain, Steel Industry, Strategic Industries, Thematic Analysis, Digital Transformation

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Open innovation has emerged as a strategic approach for organizations seeking to access, integrate, and exploit knowledge beyond their organizational boundaries. Intensifying global competition, accelerated technological change, increasing complexity of customer requirements, and the expansion of digital technologies have reduced the adequacy of closed and internally focused innovation systems. Under these conditions, firms increasingly depend on external knowledge sources, technological partnerships, collaborative research, supplier participation, customer involvement, and inter-organizational learning. Open innovation therefore extends beyond the acquisition of external ideas and includes the systematic inflow and outflow of knowledge, technology, and intellectual assets across organizational boundaries. Evidence suggests that open innovation can facilitate business model renewal, value creation, and organizational adaptability when it is strategically aligned with broader organizational goals (Yun et al., 2025). In industrial environments, the interaction between Industry 4.0 technologies and open innovation practices can also support cluster renewal, technological upgrading, and stronger inter-firm collaboration (Zen et al., 2025). These developments are particularly important in strategic industries, where innovation is frequently constrained by capital intensity, long production cycles, complex supply relationships, regulatory pressures, and dependence on critical infrastructure.

The steel industry represents a prominent example of such a strategic sector. Its supply chain includes mining, raw material procurement, transportation, direct reduction, steelmaking, rolling, distribution, and downstream industrial consumption. The effectiveness of this chain depends on coordination among multiple actors, the synchronization of material and information flows, and the ability to respond to fluctuations in demand, input prices, energy availability, and logistics conditions (Alam, 2025). System-dynamics evidence further indicates that steel supply chains are characterized by strong feedback relationships among production, inventory, demand, capacity, and supply variables, making them highly sensitive to disruption and delay (Mohammadi et al., 2022). In this context, open innovation can provide a mechanism for integrating the knowledge and capabilities of steel producers, suppliers, customers, universities, knowledge-based firms, start-ups, technology brokers, and research institutions. Strategic alignment of open innovation with supply chain objectives can strengthen competitive advantage and improve the capacity of firms to jointly solve operational and technological problems (Gonyora et al., 2021).

The ongoing digital transformation of industrial supply chains has further increased the relevance of open innovation. Technologies such as the Internet of Things, artificial intelligence, big data analytics, cloud computing, blockchain, digital twins, and integrated enterprise systems provide new infrastructures for data sharing, visibility, forecasting, and collaborative decision-making. IoT applications can improve traceability, information transparency, and coordination across supply chains, although they also introduce challenges related to cost, interoperability, and cybersecurity (De Vass et al., 2021). Similarly, the integration of Industrial IoT and artificial intelligence can improve logistics performance, transportation management, and real-time monitoring (Bhargava et al., 2022). Artificial intelligence can also contribute to forecasting, process optimization, and decision support in complex systems (Zohuri & Behgounia, 2023), while AI-enabled supply chain management can strengthen planning, monitoring, and coordination

capabilities (Sharma & Dash, 2023; Singh et al., 2021). Within the steel industry, Industry 4.0 strategies must nevertheless be adapted to existing organizational capabilities, technological gaps, and strategic priorities (Motallebi et al., 2025). Open and innovation-oriented approaches to inventory management and demand forecasting have likewise shown potential for improving decision quality in steel supply chains (Sukolkit et al., 2024).

Sustainability is another major driver of innovation in the steel industry. The sector is under increasing pressure to reduce carbon emissions, improve energy efficiency, manage water consumption, enhance circularity, and comply with stricter environmental requirements. Transitioning toward low-carbon and defossilized steel requires significant changes in energy systems, production technologies, supply chain configurations, and material flows (Lopez et al., 2023). Green transformation in the iron and steel industry therefore requires not only technological substitution, but also new patterns of collaboration and innovation (Mallett & Pal, 2022). Open innovation can strengthen sustainability practices by facilitating access to external expertise, enabling joint experimentation, and supporting cross-sectoral cooperation (do Prado et al., 2025). It can also contribute to broader sustainability transitions by creating multi-actor networks for knowledge exchange and collaborative problem-solving (Viale et al., 2022). In parallel, circular supply chain models that employ technologies such as RFID and blockchain can improve traceability and support material recovery and resource efficiency in the steel industry (Rakshit et al., 2025).

Despite growing attention to open innovation, digital transformation, smart supply chains, and sustainability, much of the existing literature examines these issues separately. Steel supply chains also face specific barriers, including infrastructure constraints, financing difficulties, volatility in input markets, operational complexity, and coordination problems (Kumar et al., 2025). Moreover, sustainable steel supply chain decisions often involve simultaneous economic, operational, and environmental objectives (Askary et al., 2024). Open innovation in this setting therefore requires more than the adoption of new technologies. It depends on strategic commitment, organizational readiness, cultural openness, financial capacity, legal safeguards, digital infrastructure, ecosystem relationships, supplier and customer engagement, knowledge absorption, human resource capabilities, resilience, and performance evaluation. Accordingly, the present study aimed to structurally analyze and identify the key components influencing the implementation of open innovation in the supply chain of strategic industries, with a specific focus on the steel industry.

Methods and Materials

This study employed a qualitative and exploratory research design. Given the need to obtain an in-depth understanding of the mechanisms, conditions, barriers, and enabling factors associated with open innovation in the steel industry supply chain, thematic analysis was used as the primary analytical strategy. The study population consisted of senior experts with relevant knowledge and experience in steel supply chains, innovation management, research and development, industrial technology, and related academic fields. Participants included supply chain managers, experienced industry specialists, and university faculty members with expertise relevant to the research topic.

A total of 15 experts participated in the study. Participants were initially selected through purposive non-probability sampling, and snowball sampling was subsequently used to identify additional qualified experts. Sampling continued until conceptual saturation was achieved and later interviews no longer generated substantively new themes. The principal data collection instrument was an in-depth semi-

structured interview guide comprising nine open-ended and challenging questions. The interviews explored issues such as strategic commitment to open innovation, cooperation with suppliers and customers, collaboration with universities and knowledge-based firms, digital transformation, financial constraints, intellectual property, sustainability, risk, knowledge management, and performance evaluation. Probing questions were used where necessary to clarify responses and elicit examples from participants' professional experience. Interviews were recorded with permission, transcribed verbatim, and reviewed repeatedly.

Data analysis was conducted concurrently with data collection. The transcripts were initially read several times to achieve familiarity with the material. Meaning units relevant to the research question were then identified and assigned initial open codes. Similar or overlapping codes were compared, merged, and grouped into conceptual clusters. These clusters were progressively organized into basic themes and higher-order organizing themes. Themes were continuously checked against the original interview data to ensure internal coherence, conceptual distinctiveness, and adequate coverage of the participants' perspectives. The final thematic structure was refined until a stable conceptual representation of open innovation implementation in the steel supply chain was obtained.

Findings

The demographic characteristics of the 15 participants indicated that 10 participants, representing 66.67%, were male and 5 participants, representing 33.33%, were female. Twelve participants, or 80%, were married, whereas 3 participants, or 20%, were single. In terms of age, 5 participants, equivalent to 33.33%, were between 25 and 35 years old, 3 participants, or 20%, were between 35 and 45 years old, and 7 participants, representing 46.67%, were older than 45 years. Educational attainment was evenly distributed, with 5 participants holding bachelor's degrees, 5 holding master's degrees, and 5 holding doctoral degrees. Regarding professional experience, 2 participants, or 13.33%, had less than 10 years of experience, 6 participants, or 40%, had approximately 10 years of experience, and 7 participants, or 46.67%, had more than 10 years of experience.

The initial coding stage produced 225 open codes from the 15 expert interviews, with 15 initial codes extracted from each interview. These codes covered a broad range of issues, including hierarchical organizational structures, resistance to external ideas, weak industrial networking, lack of open innovation strategy, insufficient innovation budgets, financing constraints, intellectual property risks, inadequate data sharing, limited digital integration, environmental pressures, energy shortages, customer involvement, supplier collaboration, start-up engagement, talent shortages, organizational learning, resilience, performance evaluation, and international sanctions.

Secondary coding resulted in the identification of 16 organizing themes representing the major dimensions of open innovation implementation in the steel supply chain. These themes included strategic and managerial factors; cultural and human factors; structural and organizational factors; financial and economic factors; legal and intellectual property factors; technological and infrastructural factors; networking and ecosystem factors; supplier-related factors; customer- and market-related factors; environmental and sustainability factors; macro-environmental and governance factors; risk management and resilience; knowledge management and absorptive capacity; human resource and talent management; performance evaluation and key indicators; and digital transformation and smartification.

The strategic and managerial dimension emphasized top management support, alignment of open innovation with corporate strategy, decentralization, shared vision, managerial risk tolerance, and performance indicators. The cultural and human dimension highlighted resistance to change, weak knowledge-sharing culture, inadequate incentives, limited teamwork, and insufficient trust among partners. Structural factors included bureaucracy, rigid hierarchy, lengthy idea evaluation processes, and the need for matrix structures and dedicated open innovation offices. Financial and economic factors focused on funding constraints, high research and development costs, uncertainty in return on innovation investment, and the need for risk-sharing and corporate venture capital mechanisms.

The legal and intellectual property dimension reflected concerns regarding confidentiality, ownership of jointly developed results, weak intellectual property protection, and contractual complexity. Technological and infrastructural factors included information system integration, digital platforms, cybersecurity, cloud systems, AI, big data, blockchain, and IoT. Networking and ecosystem-related findings emphasized cooperation with knowledge-based firms, universities, technology parks, start-ups, and competitors. Supplier-related findings stressed the shift from transactional relationships to long-term partnerships, joint problem-solving, data sharing, and supplier involvement in design. Customer-related findings included customer participation in product development, outbound innovation, crowdsourcing, market sensing, and data-driven feedback.

Environmental and sustainability themes covered green steel technologies, energy and water efficiency, circular economy practices, carbon reduction, and environmental standards. Macro-environmental and governance factors included sanctions, exchange-rate volatility, government pricing policies, logistical infrastructure, tax incentives, and the absence of stable sectoral innovation policies. Risk and resilience themes focused on supplier diversification, continuity planning, technology uncertainty, and supply chain shock management. Knowledge management and absorptive capacity involved external knowledge assimilation, tacit knowledge transfer, organizational learning, and protection of strategic knowledge. Human resource themes emphasized boundary-spanning employees, innovation-based incentives, soft skills, and talent retention. Finally, performance evaluation focused on open innovation KPIs, partner contribution to value creation, commercialization rates, and innovation return on investment, while digital transformation included Industrial IoT, digital twins, AI, cloud platforms, blockchain, ERP integration, and joint digital innovation centers.

Discussion and Conclusion

The findings indicate that open innovation in the steel supply chain should be understood as an ecosystem-level capability rather than a discrete research and development practice. Its successful implementation depends on the simultaneous alignment of internal organizational capabilities and external collaborative mechanisms. Strategic commitment provides the direction for open innovation, while organizational culture and structural flexibility determine whether external ideas can actually enter and circulate within the firm. Financial resources, legal protection, and clear governance mechanisms reduce the risks associated with collaboration, whereas digital infrastructures provide the technical foundation for real-time communication and knowledge exchange across organizational boundaries.

The findings also show that suppliers and customers should not be treated merely as transactional actors. Their participation in design, production planning, demand forecasting, technology development, and problem-solving can substantially increase the effectiveness of innovation activities. Similarly,

universities, knowledge-based firms, start-ups, and technology intermediaries can provide specialized knowledge that may not be available within large steel companies. However, the value of these relationships depends on the focal firm's absorptive capacity and its ability to transform externally sourced knowledge into usable organizational capabilities.

Another important conclusion concerns the central role of digital transformation. Technologies such as IoT, AI, digital twins, cloud computing, and blockchain can significantly improve transparency, traceability, predictive capability, and inter-firm coordination. Nevertheless, technology alone cannot create open innovation. Its effectiveness depends on organizational readiness, common data standards, cybersecurity, partner trust, and the willingness of supply chain members to share information. Therefore, digitalization should be viewed as an enabling infrastructure for open innovation rather than a substitute for strategic and relational capabilities.

The findings further demonstrate that sustainability is increasingly embedded in the innovation agenda of the steel industry. Environmental pressures, energy limitations, carbon-reduction requirements, and circular economy objectives are creating a need for collaborative technological development. Open innovation can support this transition by enabling shared experimentation, joint investment, technology transfer, and cross-sector learning. In this sense, open innovation can contribute simultaneously to competitiveness, resilience, and environmental sustainability.

Overall, the study concludes that the implementation of open innovation in the steel supply chain is shaped by an interconnected system of strategic, cultural, structural, financial, legal, technological, network-based, environmental, human, and governance-related factors. No single component is sufficient to ensure success. Effective implementation requires the coordinated development of managerial commitment, collaborative culture, flexible structures, secure knowledge-sharing mechanisms, digital infrastructure, ecosystem partnerships, absorptive capacity, resilience capabilities, sustainability orientation, and performance measurement systems. The resulting framework provides a comprehensive basis for understanding how strategic industries such as steel can move from closed and internally focused innovation models toward more networked, collaborative, data-driven, and sustainable forms of innovation.

تحلیل ساختاری مؤلفه‌های نوآوری باز در زنجیره تأمین صنایع استراتژیک: تمرکز بر صنعت فولاد

مصطفی ذوالفقاری^۱، مهدی روغنی^۲، شبنم رضویان^۳

۱. گروه مدیریت، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. گروه مدیریت، واحد امیدیه، دانشگاه آزاد اسلامی، امیدیه، ایران

۳. گروه ریاضی، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: m.roghani2014@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله

پژوهشی/اصیل

نحوه استناد به این مقاله:

ذوالفقاری، مصطفی، روغنی، مهدی، و رضویان، شبنم. (۱۴۰۶). تحلیل ساختاری مؤلفه‌های نوآوری باز در زنجیره تأمین صنایع استراتژیک: تمرکز بر صنعت فولاد. مدیریت پویا و تحلیل کسب و کار، ۶(۳)، ۱-۲۵.



© ۱۴۰۶ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده(گان) است. انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY 4.0) صورت گرفته است.

هدف: هدف این پژوهش، شناسایی و تحلیل ساختاری مؤلفه‌های مؤثر بر پیاده‌سازی نوآوری باز در زنجیره تأمین صنعت فولاد و تبیین ابعاد اصلی شکل‌دهنده این رویکرد در بستر یک صنعت استراتژیک بود. **روش‌شناسی:** پژوهش حاضر با رویکرد کیفی و ماهیت اکتشافی انجام شد و برای تحلیل داده‌ها از روش تحلیل تم استفاده گردید. جامعه مشارکت‌کنندگان شامل مدیران زنجیره تأمین، کارشناسان خبره و اعضای هیئت‌علمی مرتبط با حوزه نوآوری، زنجیره تأمین و صنعت فولاد بود. در مجموع ۱۵ نفر با استفاده از نمونه‌گیری هدفمند و گلوله‌برفی تا دستیابی به اشباع نظری انتخاب شدند. داده‌ها از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته عمیق مبتنی بر ۹ پرسش اصلی گردآوری و پس از پیاده‌سازی کامل، در چند مرحله شامل کدگذاری اولیه، تجمیع مفاهیم مشابه، تشکیل مضامین پایه و استخراج مضامین سازمان‌دهنده تحلیل شدند. **یافته‌ها:** تحلیل ۱۵ مصاحبه به استخراج ۲۲۵ کد اولیه منجر شد که پس از کدگذاری ثانویه در ۱۶ مضمون سازمان‌دهنده طبقه‌بندی شدند. این مضامین شامل عوامل استراتژیک و مدیریتی، فرهنگی و انسانی، ساختاری و سازمانی، مالی و اقتصادی، حقوقی و مالکیت فکری، تکنولوژیک و زیرساختی، شبکه‌سازی و اکوسیستم، عوامل مرتبط با تأمین‌کنندگان، عوامل مرتبط با مشتریان و بازار، عوامل زیست‌محیطی و پایداری، عوامل محیطی و حاکمیتی، مدیریت ریسک و تاب‌آوری، مدیریت دانش و ظرفیت جذب، مدیریت منابع انسانی و استعدادها، ارزیابی عملکرد و شاخص‌های کلیدی، و تحول دیجیتال و هوشمندسازی بود. یافته‌ها نشان دادند که پیاده‌سازی نوآوری باز در زنجیره تأمین فولاد حاصل تعامل هم‌زمان قابلیت‌های درون‌سازمانی، روابط بین‌سازمانی، زیرساخت‌های دیجیتال، سازوکارهای حقوقی و مالی و شرایط کلان محیطی است. **نتیجه‌گیری:** نوآوری باز در صنعت فولاد باید به‌عنوان یک قابلیت اکوسیستمی و چندبعدی در نظر گرفته شود که موفقیت آن نیازمند هم‌راستایی راهبردی، فرهنگ همکاری، ساختارهای انعطاف‌پذیر، زیرساخت دیجیتال، مدیریت دانش، مشارکت مؤثر شرکای زنجیره و نظام ارزیابی عملکرد است.

کلیدواژه‌گان: نوآوری باز، زنجیره تأمین، صنعت فولاد، صنایع استراتژیک، تحلیل تم، تحول دیجیتال

مقدمه

در دهه‌های اخیر، شدت گرفتن رقابت جهانی، کوتاه‌تر شدن چرخه عمر فناوری‌ها، پیچیده‌تر شدن نیازهای مشتریان، افزایش ناپایداری محیط کسب‌وکار و رشد شتابان فناوری‌های دیجیتال، الگوهای سنتی نوآوری را با چالش جدی مواجه ساخته است. در چنین شرایطی، اتکای صرف سازمان‌ها به منابع داخلی دانش، تحقیق و توسعه و ظرفیت‌های فناورانه دیگر برای حفظ مزیت رقابتی کافی نیست و بنگاه‌ها ناگزیرند مرزهای سازمانی خود را برای ورود و خروج دانش، فناوری، ایده و قابلیت‌های نوآورانه گسترش دهند. این تحول، مفهوم «نوآوری باز» را به یکی از رویکردهای اصلی در مدیریت نوآوری تبدیل کرده است؛ رویکردی که بر تعامل نظام‌مند با بازیگران بیرونی، استفاده از دانش و فناوری خارجی، تجاری‌سازی دانش داخلی از مسیرهای خارج از سازمان و ایجاد شبکه‌های مشترک خلق ارزش تأکید دارد. شواهد جدید نشان می‌دهد که نوآوری باز نه فقط به توسعه محصولات و فناوری‌های جدید، بلکه به باطراحی مدل‌های کسب‌وکار و ایجاد سازوکارهای جدید خلق و تصاحب ارزش نیز کمک می‌کند (Yun et al., 2025). در سطح صنعتی نیز هم‌افزایی میان نوآوری باز و فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم می‌تواند موجب نوسازی ظرفیت‌های تولیدی، افزایش تعامل میان بازیگران و بازآرایی مسیر توسعه خوشه‌های صنعتی شود (Zen et al., 2025). از این رو، بررسی نوآوری باز دیگر صرفاً موضوعی مرتبط با واحدهای تحقیق و توسعه نیست، بلکه به مسئله‌ای بین‌سازمانی و زنجیره‌ای تبدیل شده است که کل شبکه تأمین، تولید، توزیع، مشتریان، دانشگاه‌ها، استارت‌آپ‌ها و نهادهای تنظیم‌گر را دربرمی‌گیرد.

این ضرورت در صنایع استراتژیک اهمیت دوچندان دارد. صنایع استراتژیک به دلیل سرمایه‌بری بالا، وابستگی گسترده به زیرساخت‌های ملی، نقش در امنیت اقتصادی، پیوندهای گسترده با سایر صنایع و تأثیرپذیری شدید از متغیرهای محیطی، نیازمند سازوکارهای پیچیده‌تر و پایدارتر برای مدیریت نوآوری هستند. صنعت فولاد یکی از برجسته‌ترین مصادیق این گروه از صنایع است؛ صنعتی که از استخراج مواد اولیه و تأمین انرژی تا فرآوری، ذوب، نورد، حمل‌ونقل، توزیع و مصرف در صنایع پایین‌دستی، زنجیره‌ای طولانی و چندلایه دارد. مطالعه نظام زنجیره تأمین در صنعت فولاد نشان می‌دهد که هماهنگی میان تأمین مواد اولیه، عملیات تولید، مدیریت موجودی، لجستیک و پاسخ‌گویی به تقاضا نقش اساسی در عملکرد کل این صنعت دارد (Alam, 2025). در عین حال، زنجیره تأمین فولاد با چالش‌هایی نظیر پیچیدگی جریان مواد، هزینه‌های بالای سرمایه‌ای، نوسان قیمت نهاده‌ها، وابستگی به زیرساخت‌های حمل‌ونقل، محدودیت‌های انرژی و ضرورت هماهنگی میان تعداد زیادی از بازیگران مواجه است. مدل‌های پویایی سیستم نیز نشان داده‌اند که رفتار زنجیره تأمین فولاد از تعامل متقابل بین تولید، موجودی، تقاضا، ظرفیت، تأمین و تأخیرهای زمانی تأثیر می‌پذیرد و هر اختلال در یکی از این اجزا می‌تواند به‌صورت زنجیره‌ای بر سایر بخش‌ها اثر بگذارد (Mohammadi et al., 2022).

در چنین بستری، نوآوری باز می‌تواند به‌عنوان سازوکاری برای افزایش ظرفیت حل مسئله و دسترسی به منابع دانش پراکنده در محیط عمل کند. سازمان‌های فولادی از یک سو دارای دانش فنی، تجربه عملیاتی، زیرساخت صنعتی و ظرفیت سرمایه‌گذاری گسترده‌اند و از سوی دیگر، شرکت‌های دانش‌بنیان، دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی، استارت‌آپ‌ها، تأمین‌کنندگان تخصصی و مشتریان صنعتی می‌توانند منابع مکملی از دانش، فناوری و انعطاف‌پذیری را فراهم کنند. در نتیجه، ترکیب این ظرفیت‌ها از طریق روابط باز و مشارکتی می‌تواند هزینه و زمان توسعه فناوری را کاهش داده و احتمال موفقیت نوآوری را افزایش دهد. پژوهش‌های مرتبط با همسویی راهبردی نوآوری باز در زنجیره تأمین نشان داده‌اند که وقتی رویکرد نوآوری باز با جهت‌گیری استراتژیک شبکه تأمین هماهنگ شود، امکان ایجاد مزیت رقابتی پایدار افزایش می‌یابد (Gonyora et al., 2021). همچنین، پژوهش‌های جدید درباره نوآوری باز و مدل‌های کسب‌وکار پایدار نشان می‌دهند که نوآوری باز می‌تواند پیوند میان کارآفرینی، ایجاد ارزش پایدار و بازآفرینی مدل‌های کسب‌وکار را تقویت کند (Huang & Zhou, 2025). بر این اساس، نوآوری باز

در صنعت فولاد را می‌توان نه صرفاً به‌عنوان فرایند جذب ایده بیرونی، بلکه به‌عنوان یک منطق مدیریتی برای سازمان‌دهی تعاملات میان بازیگران زنجیره تأمین در نظر گرفت.

یکی از مهم‌ترین زمینه‌های تحول در زنجیره تأمین فولاد، حرکت به سمت دیجیتالی‌شدن و صنعت ۴.۰ است. فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، کلان‌داده، رایانش ابری، بلاک‌چین و دوقلوهای دیجیتال ظرفیت ایجاد شفافیت، هماهنگی و تصمیم‌گیری هوشمند در سراسر زنجیره تأمین را دارند. استفاده از اینترنت اشیاء در مدیریت زنجیره تأمین می‌تواند امکان ردیابی بلادرنگ مواد، تجهیزات و محصولات، بهبود دیدپذیری و کاهش عدم قطعیت اطلاعاتی را فراهم سازد، هرچند چالش‌هایی نظیر امنیت داده، هزینه پیاده‌سازی و فقدان استانداردهای یکپارچه همچنان پابرجاست (De Vass et al., 2021). ادغام اینترنت اشیاء صنعتی و هوش مصنوعی نیز در حوزه لجستیک و حمل‌ونقل امکان بهینه‌سازی مسیرها، کاهش هزینه‌ها و ارتقای قابلیت پیش‌بینی را فراهم می‌کند (Bhargava et al., 2022). به‌طور کلی، هوش مصنوعی از طریق پردازش داده‌های حجیم و ایجاد قابلیت‌های تحلیلی و تصمیم‌یار، ظرفیت تغییر فرایندهای سازمانی را دارد و کاربرد آن در حوزه‌های مختلف فناوری نشان‌دهنده قابلیت بالای این فناوری در پشتیبانی از سیستم‌های پیچیده و هوشمند است (Zohuri & Behgounia, 2023). در مدیریت زنجیره تأمین نیز استفاده هم‌زمان از هوش مصنوعی و فناوری‌های دیجیتال می‌تواند برنامه‌ریزی، پیش‌بینی، کنترل عملیات و هماهنگی میان اعضای زنجیره را بهبود دهد (Sharma & Dash, 2023; Singh et al., 2021).

در صنعت فولاد، اهمیت این تحولات بیش از بسیاری از صنایع دیگر است؛ زیرا دیجیتالی‌سازی می‌تواند مسائل سنتی نظیر عدم شفافیت داده‌ها، تأخیرهای لجستیکی، نگهداری واکنشی تجهیزات، ضعف پیش‌بینی تقاضا و ناهماهنگی میان تولیدکنندگان و تأمین‌کنندگان را کاهش دهد. ارزیابی راهبردهای صنعت ۴.۰ برای زنجیره تأمین فولاد نشان داده است که پیاده‌سازی موفق این فناوری‌ها نیازمند توجه هم‌زمان به فرصت‌ها، نقاط ضعف داخلی، تهدیدهای محیطی و شکاف میان وضعیت موجود و مطلوب سازمان است (Motallebi et al., 2025). از سوی دیگر، استفاده از رویکردهای نوآورانه در پیش‌بینی تقاضا و مدیریت موجودی می‌تواند یکی از مهم‌ترین حوزه‌های کاربرد نوآوری باز در صنعت فولاد باشد؛ به‌گونه‌ای که استفاده از داده‌ها، الگوریتم‌های پیش‌بینی و تعامل اطلاعاتی میان اعضای زنجیره امکان بهینه‌سازی سطح موجودی و پاسخ‌گویی دقیق‌تر به تقاضا را فراهم می‌کند (Sukolkit et al., 2024). بنابراین، تحول دیجیتال و نوآوری باز دو جریان جداگانه نیستند، بلکه در بسیاری از موارد فناوری‌های دیجیتال زیرساخت لازم برای تبادل دانش و همکاری باز را ایجاد می‌کنند.

مفهوم «مدیریت زنجیره تأمین باز» نیز در همین زمینه مطرح شده است. این مفهوم بر آن است که منطق نوآوری باز باید از سطح سازمان منفرد فراتر رود و در کل ساختار زنجیره تأمین تعبیه شود. در چنین رویکردی، تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، مشتریان، توسعه‌دهندگان فناوری و سایر شرکا صرفاً بازیگران اجرایی نیستند، بلکه در فرایند خلق، انتقال و بهره‌برداری از دانش مشارکت می‌کنند. مطالعات مربوط به آینده صنعت هوشمند نشان داده‌اند که تلفیق نوآوری باز با شبکه‌های دوقلوی دیجیتال می‌تواند به ظهور مدیریت زنجیره تأمین باز منجر شود و بستری برای همکاری، اشتراک دانش، شبیه‌سازی مشترک و پاسخ‌گویی سریع‌تر به تغییرات فراهم آورد (Rahmanzadeh et al., 2023). این دیدگاه به‌ویژه برای صنعت فولاد اهمیت دارد، زیرا بخش قابل‌توجهی از دانش مورد نیاز برای بهبود فرایندهای تولید، کاهش مصرف انرژی، توسعه آلیاژها، مدیریت لجستیک و افزایش کیفیت محصول در خارج از مرزهای یک شرکت قرار دارد. علاوه بر تحول دیجیتال، مسئله پایداری زیست‌محیطی نیز یکی از نیروهای اصلی محرک نوآوری در صنعت فولاد است. تولید فولاد از جمله فعالیت‌های صنعتی با مصرف بالای انرژی و منابع طبیعی و سهم قابل‌توجه در انتشار کربن محسوب می‌شود؛ بنابراین حرکت به سمت فولاد سبز، کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، افزایش بهره‌وری انرژی و توسعه مدل‌های اقتصاد چرخشی به اولویتی راهبردی تبدیل شده است. تحلیل گزینه‌های زنجیره تأمین برای فولاد سبز نشان می‌دهد که گذار به زنجیره‌های کم‌کربن نیازمند بازنگری اساسی در منابع انرژی،

فناوری‌های تولید، موقعیت جغرافیایی تولید و جریان مواد اولیه است (Lopez et al., 2023). همچنین، تحول سبز در صنعت آهن و فولاد صرفاً از طریق جایگزینی فناوری‌های قدیمی با فناوری‌های جدید محقق نمی‌شود، بلکه نیازمند بازاندیشی در الگوهای نوآوری و تعامل میان سازمان‌ها، دولت، تأمین‌کنندگان فناوری و سایر بازیگران است (Mallett & Pal, 2022). در همین راستا، نوآوری باز می‌تواند به گسترش رویه‌های پایداری از طریق دسترسی به دانش خارجی، همکاری میان‌بخشی و اشتراک راه‌حل‌های زیست‌محیطی کمک کند (do Prado et al., 2025).

همگرایی نوآوری باز و پایداری در ادبیات جدید به‌عنوان یکی از مسیرهای مهم گذارهای پایدار مورد توجه قرار گرفته است. نوآوری باز می‌تواند از طریق ایجاد شبکه‌های چندبازیگری، کاهش محدودیت دانش داخلی، تسهیل انتقال فناوری و افزایش سرعت انتشار راه‌حل‌های سبز، نقش تسریع‌کننده در گذارهای پایداری داشته باشد (Viale et al., 2022). در صنعت فولاد، این نقش می‌تواند در توسعه فناوری‌های کاهش کربن، بازیافت سرباره، کاهش مصرف آب، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، بهینه‌سازی مصرف مواد و توسعه زنجیره‌های تأمین چرخشی نمایان شود. چارچوب‌های جدید برای مدیریت زنجیره تأمین چرخشی در صنعت فولاد نیز نشان داده‌اند که استفاده ترکیبی از فناوری‌هایی نظیر RFID و بلاک‌چین می‌تواند قابلیت رهگیری، شفافیت جریان مواد و بازیافت منابع را ارتقا داده و زمینه تحقق اهداف پایداری را فراهم سازد (Rakshit et al., 2025). از این‌رو، نوآوری باز در صنعت فولاد علاوه بر نقش اقتصادی و فناورانه، می‌تواند به‌عنوان سازوکاری برای پاسخ‌گویی به فشارهای محیط‌زیستی نیز در نظر گرفته شود.

از سوی دیگر، پیچیدگی پیاده‌سازی نوآوری باز در صنعت فولاد به وجود موانع متعدد ساختاری، فرهنگی، اقتصادی و مدیریتی بازمی‌گردد. صنعت فولاد به‌طور سنتی بر ساختارهای سلسله‌مراتبی، سرمایه‌گذاری‌های سنگین، چرخه‌های بلندمدت تصمیم‌گیری و کنترل شدید فرایندهای تولید متکی است؛ ویژگی‌هایی که ممکن است با انعطاف‌پذیری و بازبودن مورد نیاز برای نوآوری باز در تعارض قرار گیرند. تحقیقات مرتبط با زنجیره تأمین فولاد نشان داده‌اند که موانعی نظیر محدودیت زیرساختی، هزینه‌های بالا، مسائل تأمین مواد، ناکارآمدی لجستیک و ضعف هماهنگی میان اعضای زنجیره می‌توانند عملکرد این صنعت را محدود کنند (Kumar et al., 2025). علاوه بر این، تصمیم‌گیری درباره ساختار و عملکرد زنجیره تأمین فولاد به دلیل تعارض میان اهداف اقتصادی، عملیاتی و پایداری پیچیده است و به رویکردهای چندهدفه نیاز دارد (Askary et al., 2024). در چنین شرایطی، پیاده‌سازی نوآوری باز مستلزم آن است که نه تنها مزایای بالقوه همکاری مورد توجه قرار گیرد، بلکه موانع سازمانی، نهادی، حقوقی و اقتصادی مرتبط با همکاری نیز به‌صورت نظام‌مند شناسایی شوند.

یکی دیگر از مؤلفه‌های حیاتی، توسعه روابط اعتمادمحور میان اعضای زنجیره است. نوآوری باز مستلزم مبادله دانش، داده و فناوری است و این مبادله بدون وجود سازوکارهای مؤثر حفاظت از مالکیت فکری، قراردادهای شفاف، تقسیم منافع و مدیریت ریسک دشوار خواهد بود. بنگاه‌ها در عین نیاز به دریافت دانش خارجی، نگران افشای دانش راهبردی، از دست دادن مزیت فناورانه و سوءاستفاده شرکای بیرونی نیز هستند. بنابراین، بازبودن باید با سازوکارهای انتخابی و کنترل‌شده همراه باشد. پژوهش‌های مربوط به استراتژی نوآوری باز نشان می‌دهند که عملکرد فناورانه بنگاه‌ها تحت تأثیر کیفیت طراحی استراتژی نوآوری باز و نحوه مدیریت روابط خارجی قرار دارد (Wang, 2024). به این ترتیب، موفقیت نوآوری باز بیش از آنکه صرفاً به تعداد همکاری‌ها وابسته باشد، به کیفیت حکمرانی این همکاری‌ها، میزان اعتماد، سازوکارهای قراردادی و توانایی سازمان در مدیریت مرزهای دانشی مرتبط است.

از منظر توسعه محصول نیز نوآوری باز می‌تواند نقش قابل‌توجهی در پاسخ‌گویی به نیازهای متنوع مشتریان صنعتی ایفا کند. صنعت فولاد به‌طور فزاینده‌ای با تقاضا برای محصولات سفارشی، آلیاژهای تخصصی، کیفیت بالاتر، کاهش وزن و عملکرد محیط‌زیستی بهتر مواجه است. چارچوب‌های نوآوری باز در توسعه و سفارشی‌سازی نمونه‌های اولیه نشان می‌دهند که مشارکت ذی‌نفعان بیرونی می‌تواند ضمن بهبود

کیفیت طراحی، ارزیابی چرخه عمر و پاسخ‌گویی به نیازهای کاربر را تقویت کند (Gajdzik et al., 2024). چنین رویکردی در صنعت فولاد می‌تواند از طریق مشارکت مشتریان پایین‌دستی، تولیدکنندگان تجهیزات، شرکت‌های مهندسی و مراکز پژوهشی در مراحل طراحی محصول و فرایند تحقق یابد. این تعامل می‌تواند فاصله میان توسعه فناوری و کاربرد صنعتی را کاهش داده و امکان تجاری‌سازی سریع‌تر دانش را فراهم کند.

با وجود افزایش توجه علمی به نوآوری باز، زنجیره تأمین هوشمند، صنعت ۴.۰ و پایداری در صنایع مختلف، بخش مهمی از مطالعات پیشین هر یک از این موضوعات را به‌صورت جداگانه بررسی کرده‌اند. برخی پژوهش‌ها بر دیجیتالی‌سازی و فناوری‌های هوشمند، برخی بر بهینه‌سازی زنجیره تأمین، برخی بر پایداری و برخی دیگر بر نوآوری باز تمرکز داشته‌اند. در نتیجه، هنوز نیاز به چارچوبی یکپارچه وجود دارد که مؤلفه‌های استراتژیک، فرهنگی، ساختاری، مالی، حقوقی، فناوری، شبکه‌ای، محیط‌زیستی و حاکمیتی مؤثر بر نوآوری باز را به‌طور هم‌زمان و در بستر خاص صنعت فولاد بررسی کند. این خلأ به‌ویژه از آن جهت اهمیت دارد که نوآوری باز در صنایع سرمایه‌بر و پیچیده از منظر متفاوتی نسبت به صنایع خدماتی، دیجیتال یا فناوری‌محور برخوردار است. در صنعت فولاد، تصمیم‌های نوآورانه مستقیماً با سرمایه‌گذاری‌های سنگین، ایمنی عملیاتی، پایداری تأمین مواد، محدودیت‌های انرژی، استانداردهای محیط‌زیستی و روابط بلندمدت میان بازیگران زنجیره پیوند دارد.

از سوی دیگر، ساختار نوآوری در صنعت فولاد در حال حرکت از مدل‌های خطی و درون‌سازمانی به سمت اکوسیستم‌های تعاملی است. این تحول، سازمان‌ها را وادار می‌کند تا قابلیت جذب دانش، مهارت‌های مرزگستری، مدیریت همکاری، ارزیابی شرکای فناور، طراحی مدل‌های تسهیم منافع و ایجاد زیرساخت‌های داده‌محور را توسعه دهند. هم‌زمان، پایداری این روابط نیازمند نظام‌های سنجش عملکردی است که بتوانند فراتر از معیارهای سنتی مالی، میزان تجاری‌سازی دانش، ارزش خلق‌شده توسط شرکای بیرونی، تأثیر نوآوری بر بهره‌وری، کاهش هزینه، پایداری و تاب‌آوری را اندازه‌گیری کنند. بر این اساس، تحلیل ساختاری مؤلفه‌های نوآوری باز می‌تواند تصویر جامع‌تری از شرایط لازم برای گذار صنعت فولاد از مدل بسته و سازمان‌محور به مدل شبکه‌ای و اکوسیستم‌محور ارائه کند و مبنایی برای سیاست‌گذاری، طراحی راهبردهای صنعتی و تصمیم‌گیری مدیریتی فراهم سازد.

بنابراین، هدف پژوهش حاضر تحلیل ساختاری و شناسایی مؤلفه‌های مؤثر بر پیاده‌سازی نوآوری باز در زنجیره تأمین صنایع استراتژیک با تمرکز بر صنعت فولاد است.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از حیث رویکرد روش‌شناختی، یک مطالعه کیفی با ماهیت اکتشافی بود که با هدف شناسایی، تحلیل و تبیین ساختاری مؤلفه‌های نوآوری باز در زنجیره تأمین صنایع استراتژیک، با تمرکز بر صنعت فولاد، انجام شد. با توجه به پیچیدگی تعاملات میان بازیگران زنجیره تأمین صنعت فولاد، نقش جریان‌های درون‌سازمانی و برون‌سازمانی دانش و فناوری، و ضرورت دستیابی به درکی عمیق از سازوکارهای شکل‌گیری و پیاده‌سازی نوآوری باز در این صنعت، از استراتژی تحلیل تم استفاده شد. انتخاب این روش امکان شناسایی الگوهای تکرارشونده، مضامین آشکار و نهفته و روابط مفهومی موجود در تجربه‌ها و دیدگاه‌های خبرگان را فراهم ساخت و به پژوهشگر اجازه داد تا فراتر از توصیف سطحی داده‌ها، ابعاد و مؤلفه‌های مؤثر بر نوآوری باز در زنجیره تأمین صنعت فولاد را استخراج و سازمان‌دهی کند. جامعه مشارکت‌کنندگان پژوهش شامل مدیران ارشد و میانی زنجیره تأمین و نوآوری در شرکت‌های فعال صنعت فولاد، کارشناسان خبره دارای تجربه تخصصی در حوزه‌های مدیریت زنجیره تأمین، تحقیق و توسعه، فناوری و نوآوری، و اعضای هیئت‌علمی دانشگاه‌ها با سوابق علمی و پژوهشی

مرتبط با مدیریت زنجیره تأمین، نوآوری و صنایع استراتژیک بود. در مجموع، ۱۵ نفر از خبرگان واجد شرایط در مطالعه مشارکت کردند. انتخاب مشارکت‌کنندگان به صورت غیرتصادفی و هدفمند آغاز شد و در ادامه، با بهره‌گیری از تکنیک گلوله‌برفی، از مشارکت‌کنندگان اولیه خواسته شد سایر افراد دارای دانش و تجربه تخصصی مرتبط با مسئله پژوهش را معرفی کنند. معیارهای اصلی ورود به مطالعه شامل برخورداری از دانش تخصصی در زمینه زنجیره تأمین یا نوآوری، سابقه حرفه‌ای یا پژوهشی مرتبط با صنعت فولاد و توانایی ارائه دیدگاه تحلیلی درباره تعاملات بین‌سازمانی و سازوکارهای نوآوری باز بود. فرایند نمونه‌گیری و انجام مصاحبه‌ها تا دستیابی به اشباع نظری و محتوایی ادامه یافت؛ به این معنا که در مصاحبه‌های پایانی، داده جدیدی که موجب ایجاد تم یا مقوله مفهومی تازه و معناداری شود به دست نیامد و مضامین استخراج‌شده از تکرار و ثبات کافی برخوردار شدند.

ابزار اصلی گردآوری داده‌ها در این پژوهش، مصاحبه نیمه‌ساختاریافته عمیق بود که متناسب با هدف اکتشافی مطالعه و ضرورت دسترسی به تجربه‌ها، ادراکات، تفسیرها و دانش ضمنی خبرگان انتخاب شد. برای انجام مصاحبه‌ها، یک راهنمای مصاحبه شامل ۹ پرسش اصلی، باز و چالش‌برانگیز تدوین شد که ابعاد مختلف نوآوری باز در زنجیره تأمین صنعت فولاد را پوشش می‌داد. محتوای پرسش‌ها به گونه‌ای تنظیم شد که مشارکت‌کنندگان بتوانند درباره مفهوم و ضرورت نوآوری باز در صنعت فولاد، منابع داخلی و خارجی ایده و دانش، نحوه تعامل با تأمین‌کنندگان، مشتریان، دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی، شرکت‌های دانش‌بنیان و سایر شرکای فناورانه، سازوکارهای انتقال و اشتراک دانش، زیرساخت‌های سازمانی و فناورانه موردنیاز، عوامل تسهیل‌کننده و بازدارنده همکاری‌های نوآورانه، نقش مدیریت و فرهنگ سازمانی، الزامات حقوقی و قراردادی، موانع ورود و خروج دانش و فناوری و پیامدهای به کارگیری نوآوری باز در عملکرد زنجیره تأمین دیدگاه خود را به تفصیل بیان کنند. در جریان مصاحبه‌ها، افزون بر پرسش‌های اصلی، از پرسش‌های کاوشگر و پیگیری‌کننده متناسب با پاسخ هر مشارکت‌کننده استفاده شد تا مفاهیم ضمنی روشن‌تر شده و نمونه‌ها، شواهد و تجربه‌های عینی مرتبط با هر موضوع استخراج شود. چارچوب اولیه پرسش‌های مصاحبه بر اساس هدف و سؤال اصلی پژوهش و بررسی مفهومی ادبیات حوزه نوآوری باز و زنجیره تأمین تدوین شد و برای افزایش اعتبار محتوایی، تناسب و وضوح آن پیش از اجرای اصلی مورد بررسی قرار گرفت. مصاحبه‌ها پس از توضیح اهداف پژوهش و کسب رضایت مشارکت‌کنندگان انجام شد و محتوای آن‌ها با اجازه افراد ضبط و سپس به صورت کامل و کلمه‌به‌کلمه پیاده‌سازی شد. هم‌زمان با گردآوری داده‌ها، یادداشت‌های میدانی و تحلیلی نیز تهیه شد تا نکات زمینه‌ای، برداشت‌های اولیه پژوهشگر و موضوعات نیازمند پیگیری در مصاحبه‌های بعدی ثبت شود. برای افزایش اعتمادپذیری یافته‌ها، تلاش شد تنوع مناسبی از نظر جایگاه حرفه‌ای و نوع تجربه تخصصی در میان مشارکت‌کنندگان ایجاد شود و فرایند مصاحبه تا زمانی ادامه یابد که داده‌های حاصل از مصاحبه‌های جدید، افزوده مفهومی قابل توجهی نسبت به داده‌های قبلی ایجاد نکند. همچنین، در فرایند تحلیل از بازبینی مکرر متن مصاحبه‌ها، مقایسه مستمر کدها با داده‌های خام، ادغام کدهای مشابه و کنترل سازگاری میان کدها و مضامین استفاده شد تا ارتباط میان داده‌های اولیه و ساختار مفهومی نهایی پژوهش حفظ شود.

داده‌های حاصل از مصاحبه‌ها با استفاده از روش تحلیل تم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. فرایند تحلیل هم‌زمان با گردآوری داده‌ها آغاز شد تا یافته‌های اولیه بتوانند جهت مصاحبه‌های بعدی و پرسش‌های کاوشگر را مشخص کنند و امکان بررسی عمیق‌تر مفاهیم در حال شکل‌گیری فراهم شود. در مرحله نخست، متن پیاده‌شده هر مصاحبه چندین بار با دقت مطالعه شد تا پژوهشگر با کلیت داده‌ها، فضای حاکم بر تجربه مشارکت‌کنندگان و مفاهیم اصلی مطرح‌شده آشنا شود. سپس واحدهای معنایی مرتبط با موضوع پژوهش شناسایی و برای هر بخش، کدهای اولیه متناسب با محتوای آن استخراج شد. کدگذاری در مراحل اولیه با رویکردی باز و منعطف انجام گرفت تا تا حد امکان مفاهیم از خود داده‌ها استخراج شوند و ساختار مفهومی از پیش تعیین‌شده بر داده‌های تجربی تحمیل نشود. در ادامه، کدهای مشابه یا دارای همپوشانی معنایی از طریق فرایند مقایسه مستمر در کنار یکدیگر قرار گرفتند و ضمن حذف کدهای تکراری و تلفیق مفاهیم نزدیک، در قالب خوشه‌های

مفهومی سازمان‌دهی شدند. این خوشه‌ها در مرحله بعد مبنای شکل‌گیری تم‌های فرعی قرار گرفتند و با بررسی روابط مفهومی و الگوهای مشترک میان آن‌ها، تم‌های اصلی مرتبط با پیاده‌سازی نوآوری باز در زنجیره تأمین صنعت فولاد شکل گرفت. در مرحله بازبینی، مضامین استخراج‌شده مجدداً با کدهای اولیه، گزاره‌های مشارکت‌کنندگان و کل مجموعه داده‌ها تطبیق داده شدند تا انسجام درونی هر تم، تمایز مفهومی میان تم‌ها و پوشش کافی محتوای مصاحبه‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. سپس حدود مفهومی هر تم مشخص شد و برای هر یک، عنوانی انتخاب گردید که بتواند ماهیت و دامنه معنایی آن را به‌طور دقیق منعکس کند. در مرحله نهایی، ساختار حاصل از تم‌های اصلی و فرعی به‌عنوان چارچوب مفهومی مؤلفه‌های نوآوری باز در زنجیره تأمین صنعت فولاد تفسیر شد و روابط میان مؤلفه‌ها با توجه به شواهد موجود در مصاحبه‌ها توضیح داده شد. برای ارتقای قابلیت اعتماد تحلیل کیفی، اصول اعتبارپذیری، انتقال‌پذیری، اتکاپذیری و تأییدپذیری مورد توجه قرار گرفت؛ از جمله با بازگشت مکرر به داده‌های خام، حفظ زنجیره مستند از متن مصاحبه تا کد و تم، مقایسه پیوسته داده‌های جدید با مضامین در حال شکل‌گیری، ثبت یادداشت‌های تحلیلی و ارائه توصیف روشن از فرایند نمونه‌گیری، گردآوری و تحلیل داده‌ها. تحلیل داده‌ها تا مرحله‌ای ادامه یافت که ساختار تماتیک از ثبات مفهومی کافی برخوردار شد و مجموعه مضامین نهایی توانست تصویری منسجم از عوامل، الزامات، سازوکارها و پیامدهای نوآوری باز در زنجیره تأمین صنعت فولاد ارائه کند.

یافته‌ها

بررسی ویژگی‌های جمعیت‌شناختی ۱۵ نفر از خبرگان مشارکت‌کننده در پژوهش نشان داد که ۱۰ نفر معادل ۶۶.۶۷ درصد مرد و ۵ نفر معادل ۳۳.۳۳ درصد زن بودند. از نظر وضعیت تأهل، ۱۲ نفر معادل ۸۰ درصد متأهل و ۳ نفر معادل ۲۰ درصد مجرد بودند. بررسی توزیع سنی نشان داد که ۵ نفر معادل ۳۳.۳۳ درصد در گروه سنی ۲۵ تا ۳۵ سال، ۳ نفر معادل ۲۰ درصد در گروه سنی ۳۵ تا ۴۵ سال و ۷ نفر معادل ۴۶.۶۷ درصد در گروه سنی بیش از ۴۵ سال قرار داشتند؛ بنابراین، بیشترین سهم مشارکت‌کنندگان به خبرگان بالاتر از ۴۵ سال اختصاص داشت. از نظر تحصیلات نیز ترکیب مشارکت‌کنندگان کاملاً متوازن بود، به‌گونه‌ای که ۵ نفر معادل ۳۳.۳۳ درصد دارای مدرک کارشناسی، ۵ نفر معادل ۳۳.۳۳ درصد دارای مدرک کارشناسی ارشد و ۵ نفر معادل ۳۳.۳۳ درصد دارای مدرک دکتری بودند. همچنین، از نظر سابقه کاری، ۲ نفر معادل ۱۳.۳۳ درصد کمتر از ۱۰ سال سابقه، ۶ نفر معادل ۴۰ درصد حدود ۱۰ سال سابقه و ۷ نفر معادل ۴۶.۶۷ درصد بیش از ۱۰ سال سابقه کاری داشتند. در مجموع، ۸۶.۶۷ درصد مشارکت‌کنندگان دارای ۱۰ سال یا بیشتر سابقه کاری بودند که نشان‌دهنده برخورداری نمونه از سطح قابل‌توجهی از تجربه حرفه‌ای و تخصص مرتبط با زنجیره تأمین، نوآوری، مدیریت صنعتی و صنعت فولاد است و می‌تواند به غنای داده‌های حاصل از مصاحبه‌های تخصصی کمک کند.

جدول ۱

کدهای اولیه استخراج‌شده از مصاحبه‌های انجام‌شده با پیل خبرگان

ردیف	کد	کدهای شناسایی‌شده در مرحله کدگذاری اولیه
۱	M1	مصاحبه‌شونده ساختار سلسله‌مراتبی و صلب؛ نگاه معاملاتی به تأمین‌کنندگان؛ ضعف در شبکه‌سازی صنعتی؛ مقاومت فرهنگی در برابر تغییر؛ فقدان تفکر سیستمی؛ جزیره‌ای عمل کردن واحدها؛ عدم تحمل ریسک نوآوری؛ فقدان بودجه مستقل نوآوری؛ بروکراسی کند اداری؛ ضعف در ارتباطات برون‌سازمانی؛ نگاه کوتاه‌مدت به سودآوری؛ تمرکز افراطی بر تولید انبوه؛ بی‌اعتمادی به ایده‌های بیرونی؛ فقدان استراتژی نوآوری باز؛ ضعف در مدیریت تغییر
۲	M2	لزوم هم‌آفرینی با معادن؛ هزینه‌های بالای تحقیق و توسعه؛ چالش کیفیت مواد اولیه؛ نیاز به سنسورگذاری تجهیزات؛ تأخیر در لجستیک ورودی؛ وابستگی به تأمین‌کنندگان خاص؛ ضعف در پایش لحظه‌ای بار؛ نیاز به بومی‌سازی قطعات؛ عدم اشتراک داده با تأمین‌کننده؛ پایین



بودن بهره‌وری کوره؛ استهلاک بالای ماشین‌آلات؛ نیاز به فناوری‌های سورتینگ؛ چالش‌های حمل‌ونقل ریلی؛ نوسانات قیمت سنگ‌آهن؛ ضعف در پیش‌بینی تقاضا			۳	M۳	فقدان اعتماد نهادی؛ ترس از افشای اسرار تجاری؛ ضعف قوانین مالکیت فکری؛ قراردادهای یک‌طرفه با تأمین‌کننده؛ پیچیدگی حقوقی قراردادهای مشارکت؛ عدم شفافیت در تسهیم منافع؛ ریسک سرقت ایده‌ها؛ فقدان مراجع تخصصی فناوری؛ طولانی بودن فرایند ثبت اختراع؛ ضعف در ارزش‌گذاری دانش؛ ابهام در مالکیت دستاوردهای مشترک؛ نیاز به استانداردسازی قراردادهای چالش‌های مالیاتی همکاری مشترک؛ ضعف در قراردادهای محرمانگی؛ ترس از تبعات قانونی شکست پروژه
محدودیت‌های تأمین مالی؛ نیاز به مدل‌های تسهیم درآمد؛ نوسانات نرخ ارز؛ تورم ساختاری؛ چالش‌های قیمت‌گذاری دستوری؛ عدم تمایل بانک‌ها به تأمین مالی نوآوری؛ نیاز به سرمایه‌گذاری خطرپذیر؛ ضعف در ارزیابی مالی طرح‌ها؛ بازگشت سرمایه طولانی؛ ریسک بالای سرمایه‌گذاری فناوری؛ هزینه‌های پنهان انتقال فناوری؛ نبود مشوق‌های مالیاتی کارآمد؛ ضعف در تأمین مالی زنجیره تأمین؛ کمبود نقدینگی استارت‌آپ‌ها؛ هزینه‌های بالای تست آزمایشی			۴	M۴	
نیاز به ایجاد مرکز نوآوری؛ استفاده از اینترنت اشیاء؛ یکپارچه‌سازی سیستم‌های اطلاعاتی؛ هوش مصنوعی در پایش کیفیت؛ دوقلوهای دیجیتال در خط تولید؛ چالش تحلیل کلان‌داده‌ها؛ نیاز به داشبوردهای مدیریتی؛ اتوماسیون فرایندهای زنجیره تأمین؛ ردیابی هوشمند محصولات؛ ضعف زیرساخت شبکه صنعتی؛ مقاومت پرسنل در برابر دیجیتالی‌شدن؛ هزینه بالای تجهیزات هوشمند؛ یکپارچگی ERP با تأمین‌کنندگان؛ بلاک‌چین در شفافیت زنجیره؛ نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه			۵	M۵	
بحران کمبود آب؛ قطعی‌های مکرر برق و گاز؛ لزوم حرکت به سمت فولاد سبز؛ فشارهای زیست‌محیطی منطقه‌ای؛ نیاز به فناوری‌های کاهش کربن؛ بازیافت حرارت؛ مدیریت پسماند و سرباره؛ اقتصاد چرخشی؛ تصفیه پساب‌های صنعتی؛ الزامات ISO ۱۴۰۰۱؛ جریمه‌های آلودگی؛ کاهش ردیابی کربن؛ جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر؛ همکاری با سازمان‌های محیط‌زیستی؛ نوآوری در کاهش مصرف انرژی			۶	M۶	
تجاری‌سازی دانش رسوب‌کرده؛ نوآوری برون‌سو؛ همکاری با مشتریان پایین‌دستی؛ تغییر سید محصولات متناسب با تقاضا؛ نیاز به فولادهای آلیاژی خاص؛ سفارشی‌سازی انبوه؛ شناسایی نیازهای آتی بازار؛ ایجاد ارزش افزوده برای مشتری؛ خدمات پس از فروش هوشمند؛ مشارکت مشتری در طراحی آلیاژ؛ تنوع‌بخشی محصولات؛ تحلیل بازخورد مشتریان؛ برندسازی مشترک؛ چابکی در پاسخ به نیاز بازار؛ توسعه بازارهای صادراتی			۷	M۷	
ضرورت اشتراک ریسک با شرکت‌های دانش‌بنیان؛ عدم تمایل استارت‌آپ‌ها به همکاری؛ تفاوت زبان سازمان و دانشگاه؛ طولانی بودن فرایند جذب ایده؛ ضعف رویدادهای استارت‌آپی؛ نیاز به شتاب‌دهنده تخصصی فولاد؛ تجاری‌نشدن پایان‌نامه‌های دانشگاهی؛ رویکرد نظری دانشگاه‌ها؛ کندی استارت‌آپ‌ها در مقیاس‌پذیری؛ چالش ارزیابی پیمانکار فناوری؛ نیاز به منتورینگ؛ ایجاد اسپین‌آف سازمانی؛ شبکه‌سازی با پارک‌های علم و فناوری؛ خرید سهام شرکت‌های فناوری؛ استفاده از پلتفرم‌های جمع‌سپاری			۸	M۸	
کمبود نیروی انسانی متخصص؛ مهاجرت نخبگان صنعتی؛ ضعف آموزش مهارت‌محور؛ نیاز به مدیران توسعه‌دهنده نوآوری؛ ارزیابی عملکرد سنتی؛ عدم پاداش‌دهی به ایده‌ها؛ فرسودگی شغلی؛ ضعف کار تیمی؛ لزوم چرخش شغلی؛ مقاومت مدیران میانی؛ ضعف جانشین‌پروری؛ جذب استعدادهای دیجیتال؛ آموزش مبانی نوآوری باز؛ فرهنگ سرزنش شکست؛ تضاد منافع تولید و تحقیق و توسعه			۹	M۹	
رویکرد مبتنی بر اکوسیستم؛ پلتفرم‌های تبادل فناوری؛ جذب ایده‌های باز؛ شناسایی گلوگاه‌های تولید؛ کاهش ضایعات؛ افزایش راندمان متالورژیکی؛ بومی‌سازی مواد و قطعات؛ مهندسی معکوس؛ استفاده از پتنت‌های آزاد؛ الگوبرداری از رقیب؛ همکاری رقابتی؛ ایجاد کنسرسیوم‌های تحقیق و توسعه؛ انتقال فناوری میان‌صنعتی؛ رصد روندهای فناوری جهانی؛ ایجاد پایگاه داده ایده‌ها			۱۰	M۱۰	
افزایش تاب‌آوری زنجیره تأمین؛ مدیریت ریسک اختلالات؛ چابکی در تغییر تأمین‌کننده؛ تأمین منابع جایگزین؛ مدیریت موجودی با کمک شرکا؛ کاهش هزینه انبارداری؛ لجستیک معکوس هوشمند؛ پیش‌بینی اختلالات ژئوپلیتیک؛ تأمین دوگانه؛ ارزیابی ریسک تأمین‌کنندگان؛ شفافیت سراسری زنجیره؛ کاهش زمان تحویل؛ هماهنگی برنامه‌ریزی تولید و تأمین؛ اشتراک ریسک نوسانات تقاضا؛ سیستم‌های هشدار زودهنگام			۱۱	M۱۱	
حمایت مدیریت ارشد؛ تعهد هیئت‌مدیره به نوآوری؛ تدوین سند استراتژی نوآوری باز؛ همسویی با اهداف کلان؛ تخصیص منابع مالی؛ تعریف شاخص‌های عملکرد نوآوری؛ کمیته راهبری نوآوری؛ تمرکززدایی؛ تفویض اختیار؛ حمایت از پروژه‌های پرریسک؛ ساختار ماتریسی؛ فرهنگ یادگیری؛ چشم‌انداز مشترک با شرکا؛ پایش محیط کسب‌وکار؛ انعطاف‌پذیری استراتژیک			۱۲	M۱۲	
پلتفرم‌های دیجیتال یکپارچه؛ سیستم‌های اطلاعاتی جزیره‌ای؛ استانداردسازی پروتکل تبادل داده؛ امنیت سایبری؛ معماری سرویس‌گرا؛ رایانش ابری؛ پلتفرم B۲B؛ ردیابی کربن؛ شبکه ارزش؛ معماری باز سیستم‌های کنترل؛ اپلیکیشن‌های تأمین‌کنندگان؛ API های باز؛ یکپارچگی با گمرک و بنادر؛ سیستم‌های خبره؛ مدیریت دانش شرکای تجاری			۱۳	M۱۳	
مشکل اندازه‌گیری بازده نوآوری؛ ابهام شاخص‌های موفقیت؛ زمان‌بر بودن نتایج مالی؛ تمرکز بر شاخص‌های ورودی؛ غفلت از شاخص‌های خروجی؛ دشواری ارزیابی شرکای بیرونی؛ داشبورد ارزیابی اکوسیستم؛ تعامل شاخص‌های تولید و نوآوری؛ نبود سیستم بازخورد مستمر؛ ارزیابی بلوغ دیجیتال؛ سنجش نفوذ فناوری؛ ممیزی قراردادهای باز؛ رضایت شرکای نوآور؛ پایش موفقیت ایده‌های جذب‌شده؛ ارزیابی تأثیر نوآوری بر هزینه تمام‌شده			۱۴	M۱۴	
تحریم‌های بین‌المللی؛ محدودیت واردات فناوری؛ تعرفه‌های گمرکی؛ رقابت جهانی فولاد؛ تغییر مقررات دولتی؛ دامپینگ رقیب؛ استانداردهای کیفی بین‌المللی؛ بحران‌های جهانی و اختلال لجستیک؛ نوسانات بازار انرژی؛ الزامات تجارت جهانی؛ فرصت سرمایه‌گذاری خارجی؛ مشکلات انتقال ارز؛ دیپلماسی فناوری؛ تطابق با سازوکار تنظیم مرزی کربن؛ تغییرات زنجیره جهانی سنگ‌آهن			۱۵	M۱۵	

نتایج کدگذاری اولیه نشان داد که از ۱۵ مصاحبه انجام شده، در مجموع ۲۲۵ کد اولیه استخراج شد؛ به گونه ای که از هر مصاحبه ۱۵ مفهوم اولیه مرتبط با شرایط، الزامات، موانع، سازوکارها و پیامدهای پیاده سازی نوآوری باز در زنجیره تأمین صنعت فولاد شناسایی شد. تنوع کدهای استخراج شده نشان داد که نوآوری باز در صنعت فولاد پدیده ای چندبعدی است و صرفاً به فعالیت های تحقیق و توسعه یا جذب فناوری محدود نمی شود، بلکه مجموعه ای از عوامل مدیریتی، فرهنگی، انسانی، ساختاری، مالی، حقوقی، فناورانه، محیطی و بین سازمانی را دربرمی گیرد. در سطح سازمانی، مفاهیمی مانند حمایت مدیریت ارشد، ساختار سازمانی، فرهنگ پذیرش ایده های بیرونی، ظرفیت ریسک پذیری و نظام های انگیزشی برجسته بودند؛ در سطح بین سازمانی نیز همکاری با تأمین کنندگان، مشتریان، دانشگاه ها، شرکت های دانش بنیان و سایر بازیگران اکوسیستم نوآوری نقش محوری داشت. همچنین، تحول دیجیتال، پایداری زیست محیطی، تاب آوری زنجیره تأمین، مالکیت فکری و شرایط کلان اقتصادی و سیاسی از دیگر حوزه هایی بودند که در مصاحبه ها به طور مکرر مورد تأکید قرار گرفتند.

جدول ۲

نتایج کدگذاری ثانویه و مضامین مؤثر بر پیاده سازی نوآوری باز در زنجیره تأمین صنعت فولاد

مضمون فراگیر	مضامین سازمان دهنده	مضامین پایه
عوامل مؤثر بر پیاده سازی نوآوری باز در زنجیره تأمین صنعت فولاد	عوامل استراتژیک و مدیریتی	حمایت و تعهد مستمر مدیریت ارشد؛ همسویی نوآوری باز با استراتژی های کلان؛ تدوین چشم انداز مشترک با شرکای زنجیره؛ تمرکززدایی و تفویض اختیار؛ ریسک پذیری استراتژیک مدیران؛ آینده پژوهی روندهای جهانی فولاد؛ تعریف شاخص های کلیدی عملکرد
	عوامل فرهنگی و انسانی	مقاومت فرهنگی در برابر تغییر و ایده های بیرونی؛ فرهنگ اشتراک دانش؛ ضعف کار تیمی بین واحدی؛ آموزش مبانی نوآوری باز؛ نظام های پاداش و انگیزش؛ اعتماد متقابل بین شرکا؛ حفظ نخبگان و متخصصان تحقیق و توسعه
	عوامل ساختاری و سازمانی	بروکراسی کند؛ ساختار سلسله مراتبی؛ انعطاف پذیری و چابکی؛ ساختار ماتریسی و تیم های چند تخصصی؛ دفتر مستقل نوآوری باز؛ کوتاه سازی فرایند ارزیابی و جذب ایده
	عوامل مالی و اقتصادی	محدودیت تأمین مالی؛ ابهام در بازگشت سرمایه؛ مدل های تسهیم درآمد، هزینه و ریسک؛ هزینه بالای تحقیق و توسعه مشترک؛ سرمایه گذاری خطرپذیر شرکتی؛ تأمین بودجه پایلوت و آزمایشگاه؛ ارزش گذاری دارایی های نامشهود و فناوری
	عوامل حقوقی و مالکیت فکری	ضعف حمایت از مالکیت فکری؛ ترس از افشای اسرار تجاری؛ پیچیدگی قراردادهای محرمانگی؛ ابهام مالکیت دستاوردهای مشترک؛ خلأهای حقوقی مشارک های مشترک؛ سازوکارهای حل اختلاف
	عوامل تکنولوژیک و زیرساختی	یکپارچه سازی سیستم های اطلاعاتی؛ اینترنت اشیاء و بلاک چین؛ پلتفرم های دیجیتال تبادل فناوری؛ امنیت سایبری؛ کلان داده و هوش مصنوعی؛ زیرساخت رایانش ابری بین شرکتی
	عوامل شبکه سازی و اکوسیستم	همکاری با شرکت های دانش بنیان، پارک ها و استارت آپ ها؛ ارتباط دانشگاه و صنعت؛ الگوبرداری و همکاری با رقبا؛ شبکه سازی و خوشه سازی صنعتی؛ رویدادهای Reverse Pitch و هکاتون؛ کارگزاران تبادل فناوری
	عوامل مرتبط با تأمین کنندگان	گذار از رابطه معاملاتی به مشارکت بلندمدت؛ هم آفرینی با معادن؛ اشتراک داده های موجودی و تولید؛ توانمندسازی فناورانه تأمین کنندگان؛ مشارکت تأمین کنندگان در مراحل اولیه طراحی
	عوامل مرتبط با مشتریان و بازار	مشارکت مشتری در طراحی محصول؛ نوآوری برون سو؛ شناسایی نیازهای آتی بازار؛ پلتفرم های جمع سپاری؛ دریافت بازخورد داده محور از مشتریان
	عوامل زیست محیطی و پایداری	توسعه فولاد سبز؛ کاهش مصرف آب و انرژی؛ اقتصاد چرخشی؛ مدیریت ارزش افزای سرباره؛ استانداردهای آلاینده و کربن؛ فناوری های جذب و ذخیره کربن
	عوامل محیطی و حاکمیتی کلان	تحریم های بین المللی؛ سیاست های دولتی و قیمت گذاری؛ ضعف زیرساخت های لجستیکی؛ نوسانات نرخ ارز و تورم؛ مشوق های مالیاتی تحقیق و توسعه؛ فقدان سیاست باثبات نوآوری در صنعت فولاد
	عوامل مدیریت ریسک و تاب آوری	مدیریت وابستگی به شرکای خارجی؛ پروتکل های مشترک ارزیابی ریسک؛ تاب آوری در برابر شوک های فناورانه؛ تداوم کسب و کار؛ مدیریت عدم قطعیت تجاری سازی؛ پایش گلوگاه های دانشی و عملیاتی



مدیریت دانش و ظرفیت جذب	ظرفیت جذب دانش خارجی؛ انتقال دانش ضمنی؛ مستندسازی و یادگیری از پروژه‌ها؛ جلوگیری از نشت دانش راهبردی؛ یکپارچه‌سازی دانش‌های پراکنده زنجیره
مدیریت منابع انسانی و استعدادها	جذب و پرورش نیروهای مرزگستر؛ نظام ارزیابی و پاداش نوآورانه؛ آموزش مهارت‌های نرم و تفکر طراحی؛ حفظ استعدادهای کلیدی
ارزیابی عملکرد و شاخص‌های کلیدی	شاخص‌های عملکرد مشترک؛ ارزیابی سهم شرکا در خلق ارزش؛ اندازه‌گیری بازگشت سرمایه نوآوری؛ پایش نرخ تجاری‌سازی ایده‌های بیرونی
تحول دیجیتال و هوشمندسازی	یکپارچگی پلتفرم‌های دیجیتال؛ اینترنت اشیاء صنعتی؛ دوقلوهای دیجیتال؛ استانداردهای داده‌ها؛ بلوغ دیجیتال بنگاه‌های زنجیره؛ هوش مصنوعی و یادگیری ماشین؛ سامانه‌های ابری مشترک؛ بلاک‌چین؛ امنیت سایبری؛ یکپارچه‌سازی ERP؛ مراکز نوآوری دیجیتال مشترک

در مرحله کدگذاری ثانویه، کدهای اولیه از نظر شباهت معنایی، همپوشانی مفهومی و ارتباط با مسئله اصلی پژوهش مقایسه، ادغام و سازمان‌دهی شدند. حاصل این فرایند، شناسایی ۱۶ مضمون سازمان‌دهنده بود که در کنار یکدیگر ساختار مفهومی عوامل مؤثر بر پیاده‌سازی نوآوری باز در زنجیره تأمین صنعت فولاد را شکل دادند. این مضامین شامل عوامل استراتژیک و مدیریتی، فرهنگی و انسانی، ساختاری و سازمانی، مالی و اقتصادی، حقوقی و مالکیت فکری، تکنولوژیک و زیرساختی، شبکه‌سازی و اکوسیستم، عوامل مرتبط با تأمین‌کنندگان، عوامل مرتبط با مشتریان و بازار، زیست‌محیطی و پایداری، محیطی و حاکمیتی، مدیریت ریسک و تاب‌آوری، مدیریت دانش و ظرفیت جذب، مدیریت منابع انسانی و استعدادها، ارزیابی عملکرد و شاخص‌های کلیدی و تحول دیجیتال و هوشمندسازی بود. این طبقه‌بندی نشان می‌دهد که پیاده‌سازی نوآوری باز در صنعت فولاد نیازمند یک نگاه اکوسیستمی است و نمی‌توان آن را صرفاً به فعالیت واحد تحقیق و توسعه یا اتخاذ فناوری‌های جدید تقلیل داد.

در سطح درون‌سازمانی، عوامل استراتژیک و مدیریتی، فرهنگی و انسانی و ساختاری و سازمانی از مضامین بنیادین محسوب شدند. مشارکت‌کنندگان تأکید داشتند که بدون حمایت مستمر مدیریت ارشد، تخصیص منابع، تدوین استراتژی مشخص برای نوآوری باز و ایجاد انعطاف در ساختار تصمیم‌گیری، تعامل مؤثر با منابع دانش بیرونی شکل نخواهد گرفت. در کنار این موارد، مقاومت فرهنگی در برابر تغییر، نگرانی نسبت به پذیرش ایده‌های خارج از سازمان، ضعف اعتماد، فرهنگ سرزنش شکست و محدود بودن تعامل میان واحدهای سازمانی از موانع مهم پیاده‌سازی نوآوری باز شناسایی شدند. بنابراین، ایجاد فرهنگ یادگیری، پذیرش ریسک کنترل‌شده، تقویت همکاری بین‌واحدی و ایجاد نظام‌های انگیزشی متناسب با مشارکت کارکنان در فرایند نوآوری از الزامات مهم این حوزه به شمار می‌رود.

عوامل مالی، اقتصادی و حقوقی نیز جایگاه برجسته‌ای در یافته‌ها داشتند. هزینه بالای تحقیق و توسعه در صنعت فولاد، طولانی بودن دوره بازگشت سرمایه پروژه‌های فناورانه، ریسک زیاد اجرای پابلوت‌های صنعتی و محدودیت منابع مالی موجب می‌شود شرکت‌ها برای اجرای پروژه‌های نوآوری باز به سازوکارهای نوین تأمین مالی، سرمایه‌گذاری خطرپذیر شرکتی و مدل‌های تسهیم هزینه، منفعت و ریسک نیاز داشته باشند. در بعد حقوقی نیز حفاظت از مالکیت فکری، تعیین حقوق طرفین در نتایج حاصل از پروژه‌های مشترک، محرمانگی اطلاعات فنی، نحوه ارزش‌گذاری دانش و سازوکارهای حل اختلاف از الزامات اساسی همکاری پایدار بین سازمان‌های فولادی و شرکای نوآوری شناسایی شد. فقدان چارچوب‌های قراردادی روشن می‌تواند اعتماد میان طرفین را کاهش داده و تمایل بازیگران بیرونی به ورود به پروژه‌های مشترک را محدود کند.

یافته‌ها همچنین نشان داد که فناوری و تحول دیجیتال نقش تسهیل‌کننده‌ای در تحقق نوآوری باز در زنجیره تأمین فولاد دارند. یکپارچه‌سازی سیستم‌های اطلاعاتی، استفاده از اینترنت اشیاء صنعتی، هوش مصنوعی، کلان‌داده، بلاک‌چین، رایانش ابری، دوقلوهای دیجیتال و پلتفرم‌های تبادل داده می‌تواند جریان اطلاعات و دانش را میان شرکای زنجیره تسریع کند و امکان تصمیم‌گیری مشترک و مبتنی بر داده

را افزایش دهد. با این حال، ایجاد این زیرساخت‌ها نیازمند استانداردسازی داده‌ها و پروتکل‌های ارتباطی، ارتقای امنیت سایبری و افزایش بلوغ دیجیتال تأمین‌کنندگان کوچک و متوسط است. از این منظر، تحول دیجیتال نه یک عامل مستقل، بلکه بستری برای تسهیل تعاملات نوآوری باز در سراسر اکوسیستم فولاد محسوب می‌شود.

در بعد شبکه‌ای، یافته‌ها بر ضرورت عبور از مرزهای سنتی بنگاه و ایجاد روابط نظام‌مند با شرکت‌های دانش‌بنیان، استارت‌آپ‌ها، دانشگاه‌ها، مراکز پژوهشی، پارک‌های علم و فناوری، تأمین‌کنندگان و حتی رقبا تأکید داشتند. شکل‌گیری کنسرسیوم‌های تحقیق و توسعه، استفاده از شتاب‌دهنده‌های تخصصی، برگزاری رویدادهای حل مسئله، بهره‌گیری از کارگزاران انتقال فناوری و توسعه پلتفرم‌های جمع‌سپاری از جمله سازوکارهایی بودند که می‌توانند جریان ورود و خروج دانش را تقویت کنند. در حوزه تأمین‌کنندگان نیز تغییر رویکرد از روابط صرفاً معاملاتی و کوتاه‌مدت به مشارکت راهبردی و بلندمدت، اشتراک داده‌های تولید و موجودی و مشارکت تأمین‌کنندگان در توسعه محصولات و فرایندها به‌عنوان مؤلفه‌های مهم مطرح شدند. از سوی دیگر، مشارکت مشتریان در طراحی محصولات، تحلیل داده‌های بازار و بهره‌گیری از نوآوری برون‌سو امکان افزایش سرعت پاسخگویی به نیازهای بازار و تجاری‌سازی دانش داخلی شرکت را فراهم می‌کند.

مضامین زیست‌محیطی و پایداری نیز جایگاه ویژه‌ای در ساختار نهایی داشتند. محدودیت منابع آب و انرژی، الزامات کاهش انتشار کربن، حرکت به سمت فولاد سبز و تشدید استانداردهای محیط‌زیستی باعث شده است نوآوری باز به‌عنوان یکی از سازوکارهای دسترسی سریع‌تر به فناوری‌های پاک و راه‌حل‌های مشترک زیست‌محیطی مطرح شود. همکاری میان فولادسازان، تأمین‌کنندگان انرژی، مراکز دانشگاهی و شرکت‌های فناوری می‌تواند به توسعه فناوری‌های کاهش مصرف انرژی، بازیافت حرارت، مدیریت پسماند، استفاده مجدد از سرباره و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند. در نتیجه، پیوند میان نوآوری باز و اهداف پایداری در صنعت فولاد یکی از ابعاد مهم مدل استخراج‌شده از داده‌ها محسوب می‌شود.

در سطح کلان نیز شرایط محیطی و حاکمیتی تأثیر قابل‌توجهی بر موفقیت نوآوری باز داشتند. تحریم‌های بین‌المللی، محدودیت انتقال فناوری، نوسانات نرخ ارز، تغییرات مقررات، قیمت‌گذاری دستوری و ضعف زیرساخت‌های حمل‌ونقل و لجستیک می‌توانند تعاملات نوآورانه را محدود کنند. در مقابل، مشوق‌های مالیاتی، حمایت‌های سیاستی، تسهیل انتقال فناوری و ایجاد چارچوب‌های باثبات برای همکاری شرکت‌های بزرگ با شرکت‌های دانش‌بنیان می‌تواند زمینه رشد اکوسیستم نوآوری فولاد را فراهم کند. یافته‌ها در عین حال نشان دادند که این صنعت برای مقابله با شوک‌های خارجی و اختلالات زنجیره تأمین نیازمند تقویت تاب‌آوری، تنوع‌بخشی به تأمین‌کنندگان، توسعه منابع جایگزین و ایجاد سیستم‌های هشدار زودهنگام است.

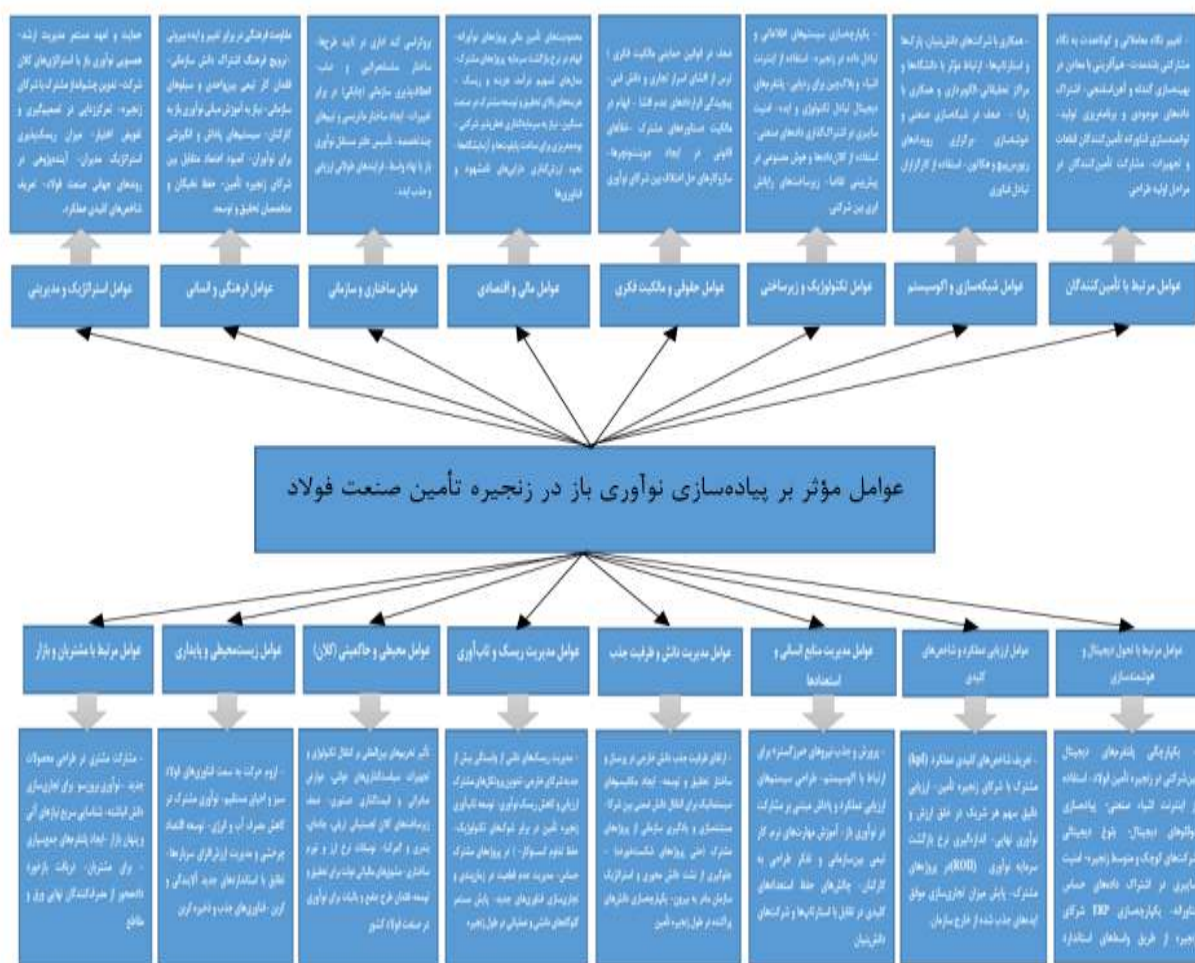
مدیریت دانش، ظرفیت جذب و منابع انسانی نیز حلقه اتصال میان دانش بیرونی و قابلیت‌های درونی سازمان را تشکیل می‌دهند. صرف دسترسی به دانش و فناوری خارجی برای ایجاد ارزش کافی نیست و سازمان باید توانایی شناسایی، جذب، تطبیق، ترکیب و به‌کارگیری آن دانش را داشته باشد. از این رو، آموزش کارکنان، توسعه نیروهای مرزگستر، انتقال دانش ضمنی میان شرکا، مستندسازی تجربه پروژه‌های مشترک و یادگیری از پروژه‌های ناموفق از مؤلفه‌های مهم شناسایی شده بودند. همچنین، نظام ارزیابی عملکرد و پاداش باید به‌گونه‌ای طراحی شود که همکاری برون‌سازمانی، خلق ایده، اشتراک دانش و مشارکت در پروژه‌های نوآوری را تشویق کند.

در نهایت، ارزیابی عملکرد به‌عنوان سازوکار بازخورد مدل مطرح شد. نتایج نشان داد که شرکت‌های فولادی برای مدیریت مؤثر نوآوری باز باید علاوه بر شاخص‌های سنتی مالی، شاخص‌هایی مانند تعداد ایده‌های جذب‌شده از بیرون، نرخ تبدیل ایده به پروژه، نرخ تجاری‌سازی فناوری، زمان توسعه راه‌حل، سهم شرکای بیرونی در خلق ارزش، کاهش هزینه ناشی از نوآوری، میزان نفوذ فناوری جدید و بازگشت سرمایه نوآوری را مورد پایش قرار دهند. وجود چنین نظامی امکان ارزیابی مستمر کیفیت همکاری‌ها، شناسایی نقاط ضعف و اصلاح

ساختارهای مشارکتی را فراهم کرده و چرخه یادگیری و بهبود مستمر نوآوری باز را تکمیل می‌کند. برآیند این یافته‌ها نشان داد که مدل پیاده‌سازی نوآوری باز در زنجیره تأمین صنعت فولاد از تعامل پویا میان قابلیت‌های درونی سازمان، روابط شبکه‌ای، زیرساخت‌های فناورانه، شرایط نهادی و محیطی و سازوکارهای یادگیری و ارزیابی شکل می‌گیرد.

شکل ۱

مدل پارادایمی مؤثر بر پیاده‌سازی نوآوری باز در زنجیره تأمین صنعت فولاد



بحث و نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر تحلیل ساختاری مؤلفه‌های مؤثر بر پیاده‌سازی نوآوری باز در زنجیره تأمین صنعت فولاد بود. یافته‌های حاصل از تحلیل مصاحبه‌های خبرگان نشان داد که پیاده‌سازی نوآوری باز در این صنعت، پدیده‌ای چندسطحی و چندبعدی است که نمی‌توان آن را صرفاً به ورود فناوری جدید یا برون‌سپاری فعالیت‌های تحقیق و توسعه تقلیل داد. در مرحله کدگذاری اولیه، ۲۲۵ کد از مصاحبه‌ها استخراج شد و در مرحله کدگذاری ثانویه این کدها در قالب ۱۶ مضمون سازمان‌دهنده شامل عوامل استراتژیک و مدیریتی، فرهنگی و انسانی، ساختاری و سازمانی، مالی و اقتصادی، حقوقی و مالکیت فکری، تکنولوژیک و زیرساختی، شبکه‌سازی و اکوسیستم، عوامل مرتبط با تأمین‌کنندگان،

عوامل مرتبط با مشتریان و بازار، زیست‌محیطی و پایداری، محیطی و حاکمیتی، مدیریت ریسک و تاب‌آوری، مدیریت دانش و ظرفیت جذب، مدیریت منابع انسانی و استعدادها، ارزیابی عملکرد و شاخص‌های کلیدی و تحول دیجیتال و هوشمندسازی طبقه‌بندی شدند. این یافته در مجموع نشان می‌دهد که نوآوری باز در زنجیره تأمین فولاد باید در قالب یک اکوسیستم تعاملی دیده شود که در آن سازمان، تأمین‌کنندگان، مشتریان، شرکت‌های دانش‌بنیان، دانشگاه‌ها، بازیگران فناور و نهادهای حاکمیتی به‌صورت هم‌زمان در فرایند خلق و انتقال دانش نقش دارند. این برداشت با نتایج پژوهش‌هایی همسو است که نشان داده‌اند نوآوری باز در صورت هم‌راستایی با مدل کسب‌وکار، راهبرد سازمان و روابط بین‌سازمانی می‌تواند به افزایش ظرفیت خلق ارزش و تقویت مزیت رقابتی منجر شود (Gonyora et al., 2021; Yun et al., 2025).

یکی از مهم‌ترین یافته‌های پژوهش، نقش عوامل استراتژیک و مدیریتی در موفقیت نوآوری باز بود. حمایت مدیریت ارشد، تعهد هیئت‌مدیره، همسویی نوآوری باز با اهداف کلان سازمان، تدوین چشم‌انداز مشترک با شرکا، تفویض اختیار و ریسک‌پذیری مدیریت از جمله مؤلفه‌هایی بودند که خبرگان به آن‌ها اشاره کردند. این نتیجه نشان می‌دهد که نوآوری باز، بدون حمایت نهادی و مدیریتی، به مجموعه‌ای از فعالیت‌های پراکنده و کوتاه‌مدت تبدیل خواهد شد. به بیان دیگر، تا زمانی که نوآوری باز در سطح راهبرد سازمان تثبیت نشود، تعامل با بازیگران بیرونی نمی‌تواند به یک قابلیت پایدار سازمانی تبدیل شود. این یافته با پژوهش Wang (2024) همخوان است که بر اهمیت طراحی استراتژی مشخص برای نوآوری باز و تأثیر آن بر عملکرد فناورانه شرکت‌ها تأکید کرده است (Wang, 2024). همچنین، نتایج Yun و همکاران نشان می‌دهد که پویایی نوآوری باز زمانی می‌تواند به نوآوری مدل کسب‌وکار منجر شود که در سطح مدیریتی و استراتژیک با ساختار خلق و تصاحب ارزش سازمان هماهنگ باشد (Yun et al., 2025). یافته‌های Zen و همکاران نیز نشان می‌دهد که نوسازی مسیر توسعه صنعتی در بستر صنعت ۴.۰ مستلزم هماهنگی بین فناوری، راهبرد نوآوری و ساختارهای همکاری در سطح خوشه صنعتی است (Zen et al., 2025).

بعد فرهنگی و انسانی نیز یکی دیگر از محورهای اصلی یافته‌ها بود. مقاومت در برابر تغییر، بی‌اعتمادی به ایده‌های بیرونی، فرهنگ سرزنش شکست، ضعف کار تیمی، کمبود نظام‌های پاداش و کمبود نیروی متخصص از جمله موانعی بودند که مشارکت‌کنندگان بر آن‌ها تأکید داشتند. این یافته نشان می‌دهد که حتی در صورت وجود فناوری و منابع مالی کافی، فقدان آمادگی فرهنگی می‌تواند جریان دانش را در مرزهای سازمانی محدود کند. نوآوری باز ذاتاً نیازمند پذیرش این اصل است که همه دانش‌های ارزشمند در داخل سازمان قرار ندارند و بخشی از دانش مورد نیاز باید از خارج جذب یا به‌طور مشترک تولید شود. در عین حال، سازمان باید کارکنان خود را برای تعامل با شرکای خارجی، اشتراک دانش، یادگیری بین‌سازمانی و مدیریت پروژه‌های مشترک آماده کند. این برداشت با مطالعات مرتبط با نوآوری باز و گذارهای پایداری سازگار است که بر نقش یادگیری بین‌سازمانی و تعامل میان بازیگران مختلف در توسعه ظرفیت نوآوری تأکید دارند (Viale et al., 2022). همچنین، در پژوهش Gonyora و همکاران، همسویی میان رفتارهای سازمانی، راهبردهای همکاری و روابط زنجیره تأمین به‌عنوان یکی از پیش‌شرط‌های دستیابی به مزیت رقابتی پایدار مطرح شده است (Gonyora et al., 2021).

در بعد ساختاری و سازمانی، نتایج پژوهش نشان داد که ساختارهای سلسله‌مراتبی، بروکراسی اداری، جزیره‌ای عمل کردن واحدها و طولانی بودن فرایند ارزیابی و جذب ایده از مهم‌ترین موانع نوآوری باز هستند. در مقابل، ساختارهای ماتریسی، تیم‌های میان‌وظیفه‌ای، تمرکززدایی و ایجاد دفتر مستقل نوآوری می‌تواند انعطاف‌پذیری سازمان را افزایش دهند. این نتیجه از آن جهت اهمیت دارد که صنعت فولاد به‌طور سنتی دارای ساختارهای رسمی، پیچیده و سرمایه‌بر است و همین امر می‌تواند سرعت پذیرش فناوری و ایده‌های بیرونی را کاهش دهد. بنابراین، سازمان‌های فولادی برای حرکت به سمت نوآوری باز نیازمند بازطراحی ساختارهای تصمیم‌گیری و کوتاه‌کردن مسیرهای سازمانی هستند. یافته‌های مربوط به نوسازی خوشه‌های صنعتی نیز نشان داده‌اند که ترکیب فناوری‌های صنعت ۴.۰ با رویکرد نوآوری باز، نیازمند تغییر در الگوهای سازمان‌دهی و همکاری است (Zen et al., 2025). همچنین، پژوهش Rahmanzadeh و همکاران نشان می‌دهد که مدیریت

زنجیره تأمین باز، به ساختاری متصل، شبکه‌ای و داده‌محور نیاز دارد که بتواند جریان دانش را میان سازمان‌ها تسهیل کند (Rahmanzadeh et al., 2023).

یافته مهم دیگر به عوامل مالی و اقتصادی مربوط بود. مشارکت‌کنندگان محدودیت تأمین مالی، هزینه بالای تحقیق و توسعه، طولانی بودن دوره بازگشت سرمایه، هزینه ساخت پایلوت‌های صنعتی و نبود سازوکار مناسب برای تسهیم ریسک را از مهم‌ترین موانع اجرای پروژه‌های نوآوری باز دانستند. این یافته با ویژگی‌های اقتصادی صنعت فولاد هم‌خوانی دارد، زیرا بسیاری از نوآوری‌های این صنعت نیازمند سرمایه‌گذاری‌های سنگین، تجهیزات پیچیده و آزمایش‌های صنعتی پرهزینه هستند. در چنین شرایطی، مشارکت با شرکت‌های فناوری، سرمایه‌گذاران خطرپذیر، دانشگاه‌ها و تأمین‌کنندگان می‌تواند هزینه و ریسک نوآوری را میان چند بازیگر توزیع کند. نتایج پژوهش Askary و همکاران نیز نشان می‌دهد که تصمیم‌گیری در زنجیره تأمین فولاد باید هم‌زمان اهداف اقتصادی، عملیاتی و پایداری را مورد توجه قرار دهد و محدودیت منابع می‌تواند ساختار بهینه زنجیره را تحت تأثیر قرار دهد (Askary et al., 2024). همچنین، Kumar و همکاران تأکید کرده‌اند که موانع مالی، زیرساختی و عملیاتی از جمله عوامل محدودکننده عملکرد زنجیره تأمین صنعت فولاد هستند (Kumar et al., 2025). عوامل حقوقی و مالکیت فکری نیز از مضامین مهم پژوهش بود. ابهام در مالکیت دستاوردهای مشترک، ترس از افشای اسرار تجاری، ضعف قراردادهای محرمانگی و پیچیدگی حل اختلاف از جمله چالش‌های مطرح‌شده توسط خبرگان بود. ماهیت نوآوری باز ایجاب می‌کند که سازمان‌ها بخشی از دانش خود را با شرکای بیرونی به اشتراک بگذارند؛ در نتیجه، هرگونه ابهام درباره حقوق مالکیت می‌تواند مانع همکاری شود. این یافته نشان می‌دهد که برای تقویت نوآوری باز در صنعت فولاد، ایجاد چارچوب‌های قراردادی شفاف، استانداردسازی توافق‌نامه‌های مشارکت و تعریف دقیق حقوق طرفین ضرورت دارد. ادبیات نوآوری باز نیز تأکید می‌کند که بازبودن مرزهای سازمانی باید با سازوکارهای مناسب حفاظت از دارایی‌های دانشی همراه باشد و نمی‌توان نوآوری باز را معادل دسترسی آزاد و بدون کنترل به دانش سازمان دانست (Huang & Zhou, 2025). همچنین، مطالعه Viale و همکاران بر ضرورت شکل‌گیری نهادها و سازوکارهایی تأکید می‌کند که بتوانند همکاری بین‌بازیگری را در گذارهای فناورانه و پایدار تسهیل کنند (Viale et al., 2022).

یافته‌های پژوهش همچنین نشان داد که فناوری و زیرساخت دیجیتال یکی از مهم‌ترین بسترهای تحقق نوآوری باز در زنجیره تأمین فولاد است. اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی، کلان‌داده، رایانش ابری، بلاک‌چین، دوقلوهای دیجیتال و یکپارچگی سیستم‌های اطلاعاتی از جمله فناوری‌هایی بودند که در مصاحبه‌ها مورد تأکید قرار گرفتند. این نتیجه نشان می‌دهد که دیجیتالی‌شدن صرفاً ابزاری برای اتوماسیون نیست، بلکه می‌تواند به‌عنوان زیرساخت ارتباطی برای تبادل داده و دانش میان شرکای زنجیره عمل کند. این یافته با مطالعه De Vass و همکاران همسو است که فرصت‌های اینترنت اشیاء در افزایش دیدپذیری و هماهنگی زنجیره تأمین را نشان داده‌اند (De Vass et al., 2021). همچنین، Bhargava و همکاران نقش تلفیق هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء صنعتی را در بهبود عملکرد لجستیک و زنجیره تأمین مورد تأکید قرار داده‌اند (Bhargava et al., 2022). Sharma و Dash نیز بر نقش هوش مصنوعی در هوشمندسازی فرایندهای مدیریت زنجیره تأمین تأکید کرده‌اند (Sharma & Dash, 2023). یافته‌های Singh و همکاران نیز نشان می‌دهد که تلفیق هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء می‌تواند قابلیت پیش‌بینی، ردیابی و بهینه‌سازی زنجیره تأمین را تقویت کند (Singh et al., 2021).

یافته مربوط به تحول دیجیتال با پژوهش‌های اختصاصی‌تر در صنعت فولاد نیز هم‌راستا است. Motallebi و همکاران نشان داده‌اند که استقرار راهبردهای صنعت ۴.۰ در زنجیره تأمین فولاد به شناسایی نقاط ضعف داخلی، فرصت‌های فناورانه و شکاف‌های اجرایی نیاز دارد (Motallebi et al., 2025). همچنین، Sukolkit و همکاران نشان داده‌اند که استفاده از رویکردهای نوآورانه در مدیریت موجودی و پیش‌بینی تقاضا می‌تواند تصمیم‌گیری در صنعت فولاد را بهبود دهد (Sukolkit et al., 2024). از سوی دیگر، Rahmanzadeh و همکاران بر این

نکته تأکید کرده‌اند که دوقلوهای دیجیتال و مدیریت باز زنجیره تأمین می‌توانند بستر جدیدی برای تعامل میان بازیگران صنعتی فراهم کنند (Rahmanzadeh et al., 2023). بنابراین، یافته پژوهش حاضر مبنی بر اهمیت تحول دیجیتال، نه تنها در سطح فناوری بلکه در سطح همکاری بین‌سازمانی نیز قابل تبیین است.

شبکه‌سازی و اکوسیستم یکی دیگر از ابعاد برجسته یافته‌ها بود. همکاری با شرکت‌های دانش‌بنیان، استارت‌آپ‌ها، دانشگاه‌ها، مراکز تحقیقاتی، پارک‌های علم و فناوری و حتی رقبا به عنوان یکی از سازوکارهای کلیدی نوآوری باز مطرح شد. این نتیجه نشان می‌دهد که مزیت نوآوری در صنعت فولاد دیگر صرفاً از منابع داخلی بنگاه ناشی نمی‌شود، بلکه به کیفیت جایگاه آن در شبکه دانش و فناوری وابسته است. مطالعه Zen و همکاران نیز نشان داده است که تعامل میان بازیگران خوشه‌های صنعتی و ترکیب نوآوری باز با صنعت ۴۰٪ می‌تواند مسیر نوسازی صنعتی را تسریع کند (Zen et al., 2025). همچنین، پژوهش Gonyora و همکاران نشان می‌دهد که همسویی استراتژیک نوآوری باز در زنجیره تأمین می‌تواند مزیت رقابتی پایداری ایجاد کند (Gonyora et al., 2021). این موضوع در صنعت فولاد به دلیل پیچیدگی دانش فنی و هزینه بالای توسعه فناوری، اهمیت بیشتری دارد.

در حوزه تأمین‌کنندگان و مشتریان نیز نتایج نشان داد که حرکت از روابط معاملاتی کوتاه‌مدت به روابط مشارکتی بلندمدت ضروری است. هم‌آفرینی با معادن، اشتراک داده‌های تولید و موجودی، مشارکت تأمین‌کنندگان در توسعه فناوری و مشارکت مشتریان در طراحی محصولات از جمله مؤلفه‌های مهم شناسایی شده بودند. این نتیجه با منطق نوآوری باز سازگار است؛ زیرا ارزش نوآورانه در زنجیره تأمین از طریق تبادل دانش میان چند بازیگر شکل می‌گیرد. Gajdzik و همکاران نشان داده‌اند که مشارکت ذی‌نفعان در فرایند توسعه و سفارشی‌سازی محصول می‌تواند کیفیت و تناسب محصول با نیازهای بازار را افزایش دهد (Gajdzik et al., 2024). همچنین، مطالعه Alam بر اهمیت یکپارچگی بین حلقه‌های مختلف زنجیره تأمین فولاد و هماهنگی میان جریان مواد، تولید و بازار تأکید دارد (Alam, 2025). از این رو، توسعه نوآوری باز می‌تواند نقش مهمی در کاهش فاصله میان تصمیم‌های تولیدی و نیازهای واقعی بازار ایفا کند.

بعد زیست‌محیطی و پایداری نیز از یافته‌های مهم پژوهش بود. حرکت به سمت فولاد سبز، کاهش مصرف آب و انرژی، مدیریت سرباره، توسعه اقتصاد چرخشی و کاهش انتشار کربن از جمله موضوعاتی بودند که مشارکت‌کنندگان به آن‌ها اشاره کردند. این نتیجه نشان می‌دهد که در صنعت فولاد، نوآوری باز به طور فزاینده‌ای با اهداف پایداری پیوند خورده است. مطالعه Lopez و همکاران نشان می‌دهد که گذار به فولاد بدون فسیل نیازمند بازطراحی زنجیره تأمین، فناوری‌های تولید و منابع انرژی است (Lopez et al., 2023). Mallett و Pal نیز بر ضرورت بازاندیشی در الگوهای نوآوری برای تحول سبز صنعت آهن و فولاد تأکید کرده‌اند (Mallett & Pal, 2022). علاوه بر این، do Prado و همکاران نشان داده‌اند که نوآوری باز می‌تواند از طریق همکاری بین‌سازمانی و دسترسی به منابع دانش متنوع، به توسعه شیوه‌های پایدارتر کمک کند (do Prado et al., 2025). یافته‌های Rakshit و همکاران درباره استفاده از RFID و بلاک‌چین برای توسعه زنجیره تأمین چرخشی فولاد نیز مؤید اهمیت همگرایی فناوری دیجیتال، پایداری و نوآوری در این صنعت است (Rakshit et al., 2025).

نتایج نشان داد که عوامل محیطی و حاکمیتی، از جمله تحریم‌های بین‌المللی، نوسانات نرخ ارز، تغییر سیاست‌های دولتی، قیمت‌گذاری دستوری و ضعف زیرساخت‌های لجستیکی، می‌توانند بر توانایی شرکت‌های فولادی برای اجرای نوآوری باز اثر بگذارند. این یافته اهمیت محیط نهادی را در پیاده‌سازی نوآوری برجسته می‌کند. در صنعتی که دسترسی به فناوری‌های بین‌المللی، تجهیزات و سرمایه خارجی می‌تواند تحت تأثیر محدودیت‌های سیاسی و اقتصادی قرار گیرد، توسعه همکاری‌های داخلی و ظرفیت‌های بومی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. مطالعه Kumar و همکاران نشان می‌دهد که مجموعه‌ای از موانع محیطی و عملیاتی می‌تواند اثربخشی زنجیره تأمین فولاد را کاهش دهد.

(Kumar et al., 2025). همچنین، پژوهش Askary و همکاران بیانگر آن است که پایداری زنجیره تأمین فولاد به تصمیم‌گیری هماهنگ در شرایط پیچیده و محدودیت‌های متعدد وابسته است (Askary et al., 2024).

مدیریت ریسک و تاب‌آوری نیز یکی دیگر از مضامین کلیدی بود. تنوع‌بخشی به منابع تأمین، کاهش وابستگی به شرکای محدود، توسعه سیستم‌های هشدار زودهنگام و مدیریت عدم قطعیت از مؤلفه‌های مورد تأکید خبرگان بودند. این نتیجه با ماهیت پیچیده زنجیره تأمین فولاد سازگار است. Mohammadi و همکاران نشان داده‌اند که در زنجیره تأمین فولاد، تغییرات در یکی از اجزای سیستم می‌تواند از طریق روابط بازخوردی بر سایر بخش‌ها اثر بگذارد (Mohammadi et al., 2022). از این رو، نوآوری باز می‌تواند از طریق گسترش شبکه شرکا، دسترسی به منابع جایگزین و افزایش تنوع دانش و فناوری، به ارتقای تاب‌آوری زنجیره کمک کند.

یافته‌های مربوط به مدیریت دانش و ظرفیت جذب نیز نشان داد که دسترسی به دانش بیرونی به‌تنهایی کافی نیست و شرکت باید توانایی شناسایی، جذب، تفسیر و به‌کارگیری آن را داشته باشد. ایجاد سازوکارهای انتقال دانش ضمنی، مستندسازی تجربه پروژه‌ها و جلوگیری از نشت دانش راهبردی از جمله مؤلفه‌های این بعد بود. این نتیجه از نظر نظری اهمیت زیادی دارد، زیرا نوآوری باز بدون ظرفیت جذب مناسب ممکن است به انباشت اطلاعات بدون تبدیل آن به ارزش عملی منجر شود. ادبیات نوآوری باز و مدل‌های کسب‌وکار پایدار نیز بر ضرورت ایجاد قابلیت‌های سازمانی برای ترکیب منابع داخلی و خارجی دانش تأکید دارد (Huang & Zhou, 2025). همچنین، Viale و همکاران یادگیری، تبادل دانش و ایجاد شبکه‌های چندبازگیری را از سازوکارهای مهم گذارهای نوآورانه و پایدار می‌دانند (Viale et al., 2022).

در نهایت، ارزیابی عملکرد و تعریف شاخص‌های کلیدی به‌عنوان یک بعد مستقل در یافته‌ها ظاهر شد. نرخ تجاری‌سازی ایده‌ها، بازگشت سرمایه نوآوری، سهم شرکای بیرونی در خلق ارزش، میزان نفوذ فناوری‌های جدید و شاخص‌های مشترک با شرکای زنجیره از جمله معیارهای مطرح‌شده بودند. اهمیت این یافته در آن است که بدون نظام ارزیابی مناسب، سازمان نمی‌تواند میان همکاری‌های موفق و ناموفق تمایز قائل شود و یادگیری لازم برای اصلاح مدل نوآوری باز را به دست آورد. این نتیجه با تأکید Wang بر لزوم پیوند دادن استراتژی نوآوری باز با عملکرد سازمانی همخوان است (Wang, 2024). همچنین، مطالعات مربوط به نوآوری باز و مدل کسب‌وکار نشان می‌دهد که ارزش واقعی همکاری‌های باز زمانی آشکار می‌شود که پیامدهای آن در سطح عملکرد، خلق ارزش و مزیت رقابتی قابل اندازه‌گیری باشد (Yun et al., 2025). در مجموع، یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که موفقیت نوآوری باز در زنجیره تأمین صنعت فولاد حاصل تعامل میان قابلیت‌های درونی بنگاه، زیرساخت دیجیتال، اعتماد و همکاری بین‌سازمانی، حمایت مدیریتی، منابع مالی، چارچوب‌های حقوقی، الزامات پایداری و شرایط محیط کلان است و هیچ‌یک از این ابعاد به‌تنهایی نمی‌تواند موفقیت این الگو را تضمین کند.

پژوهش حاضر با وجود تلاش برای دستیابی به تصویری جامع از مؤلفه‌های نوآوری باز در زنجیره تأمین صنعت فولاد، با برخی محدودیت‌ها همراه بود. نخست، ماهیت کیفی مطالعه و استفاده از ۱۵ خبره موجب می‌شود یافته‌ها بیش از آنکه قابلیت تعمیم آماری داشته باشند، از قابلیت تعمیم تحلیلی برخوردار باشند. دوم، انتخاب مشارکت‌کنندگان به شیوه هدفمند و گلوله‌برفی ممکن است موجب تمرکز بیشتر بر شبکه‌ای از خبرگان با تجربه‌های نسبتاً مشابه شده باشد. سوم، بخش قابل توجهی از داده‌ها مبتنی بر ادراک و تجربه حرفه‌ای مشارکت‌کنندگان بود و امکان وجود سوگیری ادراکی یا محافظه‌کاری در بیان مسائل حساس سازمانی، حقوقی یا فناورانه وجود دارد. چهارم، صنعت فولاد دارای زیرحوزه‌های متنوعی از جمله استخراج، احیا، ذوب، نورد، لجستیک و صنایع پایین‌دستی است و وزن و اهمیت برخی مؤلفه‌ها ممکن است در بخش‌های مختلف زنجیره متفاوت باشد. همچنین، شرایط اقتصادی، فناورانه و نهادی صنعت فولاد در طول زمان تغییر می‌کند و بخشی از یافته‌ها ممکن است تحت تأثیر شرایط محیطی دوره انجام پژوهش قرار گرفته باشد.

پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده مدل استخراج‌شده در این مطالعه را در قالب مطالعات کمی و با استفاده از روش‌هایی مانند مدل‌سازی معادلات ساختاری، تحلیل مسیر، مدل‌سازی تفسیری ساختاری یا دیمتل مورد آزمون قرار دهند تا شدت و جهت روابط میان مؤلفه‌ها مشخص شود. همچنین، مقایسه مدل نوآوری باز در بخش‌های مختلف زنجیره فولاد، از معادن تا صنایع پایین‌دستی، می‌تواند تفاوت‌های ساختاری و اجرایی هر بخش را آشکار سازد. انجام مطالعات تطبیقی میان شرکت‌های فولادی داخلی و شرکت‌های فعال در کشورهای مختلف نیز می‌تواند نقش محیط نهادی، سطح بلوغ دیجیتال و سیاست‌های صنعتی را روشن‌تر کند. بررسی طولی تغییرات مدل نوآوری باز در فرایند گذار به فولاد سبز و صنعت ۴.۰ نیز توصیه می‌شود. علاوه بر این، پژوهش‌های آینده می‌توانند نقش متغیرهای میانجی یا تعدیل‌گر مانند ظرفیت جذب، اعتماد بین‌سازمانی، بلوغ دیجیتال، شدت رقابت و عدم قطعیت محیطی را در رابطه میان نوآوری باز و عملکرد زنجیره تأمین بررسی کنند.

برای مدیران صنعت فولاد پیشنهاد می‌شود نوآوری باز به‌عنوان بخشی از استراتژی کلان سازمان تعریف شود و مسئولیت مشخصی برای سیاست‌گذاری، هماهنگی و ارزیابی آن ایجاد گردد. تشکیل دفاتر نوآوری باز، ایجاد کمیته‌های مشترک با تأمین‌کنندگان و مشتریان، طراحی قراردادهای استاندارد برای حفاظت از دانش و تقسیم منافع و توسعه صندوق‌های سرمایه‌گذاری شرکتی می‌تواند اجرای پروژه‌های مشترک را تسهیل کند. همچنین، لازم است زیرساخت‌های تبادل داده میان اعضای زنجیره توسعه یابد و از فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیاء صنعتی، دوقلوهای دیجیتال، هوش مصنوعی و بلاک‌چین برای افزایش شفافیت و همکاری استفاده شود. طراحی نظام‌های انگیزشی برای کارکنان، آموزش مهارت‌های همکاری بین‌سازمانی، توسعه نیروهای مرزگستر و تقویت فرهنگ پذیرش ایده‌های بیرونی نیز ضروری است. از سوی دیگر، ایجاد همکاری‌های بلندمدت با دانشگاه‌ها، شرکت‌های دانش‌بنیان و استارت‌آپ‌ها و تعریف پروژه‌های مشترک در زمینه کاهش مصرف انرژی، کاهش انتشار کربن، بومی‌سازی تجهیزات و ارتقای تاب‌آوری زنجیره تأمین می‌تواند نوآوری باز را از سطح فعالیت‌های پراکنده به یک قابلیت سازمانی و اکوسیستمی پایدار تبدیل کند.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازین اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازین و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

شفافیت داده‌ها

داده‌ها و مآخذ پژوهش حاضر در صورت درخواست از نویسنده مسئول و ضمن رعایت اصول کپی رایت ارسال خواهد شد.



References

- Alam, S. (2025). A Study on Supply Chain System of Manufacturing Steel Industry. *International Journal of Science, Engineering and Technology*, 13(3).
- Askary, M., Makui, A., & Tajik, M. (2024). A Robust Multi-Objective MIP Model to Optimize the Supply Chain of Steel Industry Taking into Account the Sustainability Approach. *RAIRO-Operations Research*, 58(2), 1059-1091. <https://doi.org/10.1051/ro/2024004>
- Bhargava, A., Bhargava, D., Kumar, P. N., Sajja, G. S., & Ray, S. (2022). Industrial IoT and AI Implementation in Vehicular Logistics and Supply Chain Management for Vehicle Mediated Transportation Systems. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 13(Suppl 1), 673-680. <https://doi.org/10.1007/s13198-021-01581-2>
- De Vass, T., Shee, H., & Miah, S. J. (2021). IoT in Supply Chain Management: Opportunities and Challenges for Businesses in Early Industry 4.0 Context. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 14(2), 148-161. <https://doi.org/10.31387/oscm0450293>
- do Prado, G. F., de Souza, J. T., & Piekarski, C. M. (2025). Sustainable and Innovative: How Can Open Innovation Enhance Sustainability Practices? *Sustainability*, 17(2), 454. <https://doi.org/10.3390/su17020454>
- Gajdzik, B., Siwiec, D., Wolniak, R., & Pacana, A. (2024). Approaching Open Innovation in Customization Frameworks for Product Prototypes with Emphasis on Quality and Life Cycle Assessment (QLCA). *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 10(1), 100268. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100268>
- Gonyora, A. M., Migiyo, S., Ngwenya, B., & Mashau, P. (2021). Investigating Open Innovation Strategic Alignment for Sustainable Competitive Advantage in the Automotive Supply Chain in South Africa. *Journal of Transport and Supply Chain Management*, 15, 554. <https://doi.org/10.4102/jtscm.v15i0.554>
- Huang, J., & Zhou, P. (2025). Open Innovation and Entrepreneurship: A Review from the Perspective of Sustainable Business Models. *Sustainability*, 17(3), 939. <https://doi.org/10.3390/su17030939>
- Kumar, R., Tiwari, S., & Kansara, S. (2025). Barriers Prioritization of the Indian Steel Industry Supply Chain: Applying AHP and Fuzzy AHP Method. *Vision*, 29(2), 200-208. <https://doi.org/10.1177/09722629211065687>
- Lopez, G., Galimova, T., Fasihi, M., Bogdanov, D., & Breyer, C. (2023). Towards Defossilised Steel: Supply Chain Options for a Green European Steel Industry. *Energy*, 273, 127236. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127236>
- Mallett, A., & Pal, P. (2022). Green Transformation in the Iron and Steel Industry in India: Rethinking Patterns of Innovation. *Energy Strategy Reviews*, 44, 100968. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100968>
- Mohammadi, M. A., Sayadi, A. R., Khoshfarman, M., & Kashan, A. H. (2022). A Systems Dynamics Simulation Model of a Steel Supply Chain: Case Study. *Resources Policy*, 77, 102690. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102690>
- Motallebi, S., Zandieh, M., Tabriz, A. A., & Tirkolaee, E. B. (2025). Assessing the Industry 4.0 Strategies for a Steel Supply Chain: SWOT, Game Theory, and Gap Analysis. *Heliyon*, 11(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41374>
- Rahmanzadeh, S., Pishvae, M. S., & Govindan, K. (2023). Emergence of Open Supply Chain Management: The Role of Open Innovation in the Future Smart Industry Using Digital Twin Network. *Annals of Operations Research*, 329(1), 979-1007. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04254-2>
- Rakshit, S., Islam, N., & Paul, T. (2025). Advancing Circular Supply Chain Management in the Steel Industry: An RFID-Enabled Blockchain Framework for Sustainability. *Annals of Operations Research*, 1-27. <https://doi.org/10.1007/s10479-025-06673-x>
- Sharma, P., & Dash, B. (2023). Smart SCM Using AI and Microsoft 365. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 12(1), 44-54. <https://doi.org/10.17148/IJARCCCE.2023.12106>
- Singh, S., Gupta, A., & Shukla, A. P. (2021). Optimizing Supply Chain through Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI). Tashkent, Uzbekistan.
- Sukolkit, N., Arunyanart, S., & Apichottanakul, A. (2024). An Open Innovative Inventory Management Based Demand Forecasting Approach for the Steel Industry. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 10(4), 100407. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100407>
- Viale, R., Etzkowitz, H., & Ranga, M. (2022). Open Innovation and Its Role in Sustainability Transitions: Toward a Research Agenda. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(3), 141. <https://doi.org/10.3390/joitmc8030141>
- Wang, S. (2024). *The Development of Open Innovation Strategy Model on Technology Firm Performance in Shenzhen*, China Siam University].



- Yun, J. J., Zhao, X., Del Gaudio, G., Della Corte, V., & Sadoi, Y. (2025). Leveraging Business Model Innovation through the Dynamics of Open Innovation: A Multi-Country Investigation in the Restaurant Industry. *European Journal of Innovation Management*, 28(4), 1342-1365. <https://doi.org/10.1108/EJIM-07-2023-0607>
- Zen, A. C., Santos, C. A. F. D., Spindler, E. D. S., & Pimenta Alonso, A. M. (2025). The Role of Industry 4.0 and Open Innovation Practices in the Renewal Path of an Industrial Cluster. *European Planning Studies*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/09654313.2025.2527349>
- Zohuri, B., & Behgounia, F. (2023). Application of Artificial Intelligence Driving Nano-Based Drug Delivery System. In (pp. 145-212). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89925-3.00007-1>