

Resilience Engineering for Competitive Advantage: An Agent-Based Simulation Model of Strategic Dynamics in the Copper Industry

Taher. Aslani¹, Soleiman. Iranzadeh^{1*}, Majid. Bagherzadeh Khajeh¹

¹ Department of Management, Ta.C., Islamic Azad University, Tabriz, Iran

* Corresponding author email address: iranazadeh@iaut.ac.ir

Article Info

Article type:

Original Research

How to cite this article:

Aslani, T., Iranzadeh, S., & Bagherzadeh Khajeh, M. (2026). Resilience Engineering for Competitive Advantage: An Agent-Based Simulation Model of Strategic Dynamics in the Copper Industry. *Journal of Technology in Entrepreneurship and Strategic Management*, 5(4), 1-21.



© 2026 the authors. Published by KMAN Publication Inc. (KMANPUB), Ontario, Canada. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

ABSTRACT

The present study aimed to design and test an agent-based simulation model to explain how resilience engineering contributes to competitive advantage and to examine the strategic dynamics of organizations operating in the copper industry under conditions of uncertainty and environmental disruption. This applied study employed a quantitative research design based on agent-based modeling and simulation. The research population consisted of managers, senior experts, and specialists in strategic management, production, supply chain, risk management, and business development related to the copper industry in Tehran. A total of 214 participants were selected through purposive sampling. Data were collected using a researcher-developed questionnaire measuring resilience engineering, strategic capabilities, and competitive advantage. The reliability and validity of the measurement instrument were assessed through confirmatory factor analysis, Cronbach's alpha, composite reliability, and average variance extracted. Structural equation modeling was used to examine the relationships among the research variables, and an agent-based simulation model was developed to evaluate organizational behaviors under different environmental disruption scenarios. The inferential findings demonstrated that resilience engineering had a significant positive effect on strategic capabilities and competitive advantage. Strategic capabilities partially mediated the relationship between resilience engineering and competitive advantage. The simulation results indicated that organizations with higher levels of resilience experienced lower performance decline, faster recovery processes, and more sustainable competitive positions when exposed to severe environmental disruptions. Sensitivity analysis revealed that environmental disruption intensity, operational flexibility, and organizational learning speed were the most influential parameters affecting the behavior of the simulation model. Resilience engineering functions as a dynamic strategic capability that can substantially contribute to maintaining and developing competitive advantage in the copper industry. The findings suggest that organizations should move beyond reactive crisis management approaches and integrate resilience into strategic planning, capability development, supply chain design, and technological adaptation processes.

Keywords: Resilience Engineering; Competitive Advantage; Agent-Based Simulation; Copper Industry; Dynamic Capabilities; Strategic Dynamics; Resilient Supply Chain

Extended Abstract

Introduction

The increasing complexity of global industrial systems has transformed resilience from a defensive organizational attribute into a strategic capability for achieving sustainable competitiveness. Industries characterized by high capital intensity, global interdependence, and exposure to environmental uncertainty require new approaches that enable organizations not only to withstand disruptions but also to adapt, learn, and create strategic opportunities from turbulent conditions. The copper industry represents one of the most strategically important sectors in this context due to its critical role in energy transition, electrification, digital infrastructure, and sustainable development. However, copper supply chains are exposed to multiple sources of uncertainty, including price volatility, geopolitical tensions, technological changes, resource limitations, environmental pressures, and disruptions in global logistics networks. These conditions have increased the importance of resilience engineering as a mechanism for strengthening organizational survival and competitive positioning ([Teece et al., 1997](#); [Ushie et al., 2025](#)).

Resilience engineering refers to the systematic design and development of organizational capabilities that allow firms to anticipate disruptions, absorb shocks, adapt operations, and recover through learning and resource reconfiguration. Unlike traditional risk management approaches that primarily focus on preventing failures, resilience-oriented strategies emphasize continuous adaptation and the development of dynamic capabilities. Previous research has demonstrated that organizational resilience contributes to competitive advantage by enhancing flexibility, innovation capability, strategic agility, and the ability to respond effectively to environmental changes ([Burnard et al., 2018](#); [Guillén Mondragón et al., 2022](#); [Liu & Zhang, 2024](#)).

In the copper industry, resilience has particular importance because supply networks involve complex interactions among mining companies, processing facilities, suppliers, logistics providers, and global markets. Disruptions in one part of the network can propagate throughout the entire value chain, creating cascading consequences. Studies have shown that the global copper industry is vulnerable to supply risk propagation due to its complex network structure and high interdependence among actors ([Kang et al., 2023](#); [Song et al., 2024](#)). Therefore, developing resilient supply chain structures and adaptive organizational capabilities is essential for maintaining competitive performance.

Although previous studies have examined relationships between resilience, sustainability, and competitive advantage, many have relied on static analytical approaches. Such methods provide valuable insights into relationships among variables but have limitations in explaining dynamic interactions, nonlinear effects, and the emergence of competitive outcomes from organizational decisions over time. Agent-based simulation provides an appropriate methodological framework for addressing these limitations because it enables researchers to model heterogeneous actors, decision rules, interactions, and system-level outcomes emerging from individual behaviors ([Bonabeau, 2002](#)). Accordingly, this study developed an agent-based simulation model to explore how resilience engineering influences competitive advantage through strategic capabilities and organizational responses under different disruption scenarios.

Methods and Materials

This study employed an applied quantitative design using structural equation modeling and agent-based simulation. The research population consisted of managers and professional experts involved in strategic planning, operations, supply chain management, risk management, technology development, and

business development in the copper industry in Tehran. A purposive sample of 214 participants was selected based on professional experience and familiarity with strategic decision-making processes.

Data were collected through a researcher-developed questionnaire consisting of three main constructs: resilience engineering, strategic capabilities, and competitive advantage. Resilience engineering was measured through dimensions of anticipation and preparedness, absorptive capacity, adaptation and resource reconfiguration, and recovery and organizational learning. Strategic capabilities included strategic agility, operational flexibility, innovation capability, and supply chain collaboration. Competitive advantage was assessed through indicators related to cost efficiency, market position, operational continuity, responsiveness, and sustainable performance.

The measurement model was evaluated through confirmatory factor analysis. Reliability was assessed using Cronbach's alpha and composite reliability, while convergent validity was examined through average variance extracted. Structural equation modeling was applied to test hypothesized relationships among constructs. Subsequently, an agent-based simulation model was developed in which organizations were represented as heterogeneous agents with different levels of resilience, resources, learning capabilities, and strategic behaviors. Multiple environmental scenarios, including supply disruption, competitive pressure, demand volatility, and combined shocks, were simulated to examine changes in competitive performance over time.

Findings

The measurement analysis confirmed the adequacy of the research model. All constructs demonstrated acceptable reliability and validity, with standardized factor loadings, reliability coefficients, and validity indicators exceeding recommended thresholds.

The structural analysis revealed that resilience engineering significantly predicted strategic capabilities. Organizations with higher resilience levels demonstrated stronger strategic agility, operational flexibility, innovation capability, and supply chain coordination. Furthermore, resilience engineering had a significant direct effect on competitive advantage. Strategic capabilities also significantly predicted competitive advantage and partially mediated the relationship between resilience engineering and competitive outcomes.

The simulation findings demonstrated that resilience generated greater competitive benefits under severe disruption scenarios. In low-disruption environments, differences between resilient and less resilient organizations were limited; however, under combined shocks, resilient organizations maintained higher performance levels, recovered faster, and preserved stronger competitive positions. Sensitivity analysis showed that disruption intensity, operational flexibility, and organizational learning speed were the strongest determinants of competitive outcomes within the simulation environment.

Discussion and Conclusion

The findings indicate that resilience engineering represents a strategic capability rather than merely an operational response mechanism. Organizations in the copper industry that develop anticipation capabilities, flexible operations, learning systems, and adaptive decision-making structures are better positioned to transform uncertainty into competitive opportunities. The results demonstrate that resilience becomes particularly valuable when environmental turbulence increases because it reduces vulnerability and enables organizations to recover faster than competitors.

The agent-based simulation approach provided additional insights by demonstrating how individual organizational decisions accumulate into broader competitive patterns. The findings suggest that competitive advantage emerges from continuous interactions among organizational capabilities, environmental conditions, and strategic choices. Therefore, resilience should be integrated into long-term strategic planning rather than treated as a temporary response to crises.

This study contributes to understanding strategic resilience in complex industrial systems by combining empirical analysis with dynamic simulation. The proposed model provides a framework for examining how investments in resilience capabilities influence competitive trajectories over time. For managers in the copper industry, strengthening supply chain flexibility, improving organizational learning, investing in technological capabilities, and developing adaptive strategic processes are essential pathways for achieving sustainable competitive advantage.

مهندسی تاب آوری برای مزیت رقابتی: یک مدل شبیه سازی عامل بنیان از پویایی های راهبردی در صنعت مس

طاهر اصلانی^۱، سلیمان ایران زاده^{۱*}، مجید باقرزاده خواجه^۱

۱. گروه مدیریت، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: iran zadeh@iaut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله

پژوهشی اصیل

نحوه استناد به این مقاله:

اصلانی، طاهر،، ایران زاده، سلیمان،، و باقرزاده خواجه، مجید. (۱۴۰۵). مهندسی تاب آوری برای مزیت رقابتی: یک مدل شبیه سازی عامل بنیان از پویایی های راهبردی در صنعت مس. *تکنولوژی در کار آفرینی و مدیریت استراتژیک*، ۵(۴)، ۲۱-۱.



© ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

هدف پژوهش حاضر طراحی و آزمون یک مدل شبیه سازی عامل بنیان برای تبیین سازوکارهای تبدیل مهندسی تاب آوری به مزیت رقابتی و بررسی پویایی های راهبردی سازمان های فعال در صنعت مس در شرایط عدم قطعیت و اختلالات محیطی بود. این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر روش، کمی و مبتنی بر مدل سازی و شبیه سازی عامل بنیان بود. جامعه پژوهش شامل مدیران، کارشناسان ارشد و متخصصان حوزه های راهبردی، تولید، زنجیره تأمین، مدیریت ریسک و توسعه کسب و کار مرتبط با صنعت مس در تهران بود که ۲۱۴ نفر از آنان با روش نمونه گیری هدفمند انتخاب شدند. داده ها با استفاده از پرسشنامه محقق ساخته شامل مؤلفه های مهندسی تاب آوری، قابلیت های راهبردی و مزیت رقابتی گردآوری شد. روایی و پایایی ابزار با تحلیل عاملی تأییدی، آلفای کرونباخ، پایایی ترکیبی و میانگین واریانس استخراج شده بررسی شد. داده ها با استفاده از مدل سازی معادلات ساختاری و شبیه سازی عامل بنیان تحلیل شدند و رفتار عامل ها در سناریوهای مختلف اختلال محیطی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تحلیل استنباطی نشان داد مهندسی تاب آوری اثر مثبت و معناداری بر قابلیت های راهبردی و مزیت رقابتی دارد. همچنین، قابلیت های راهبردی نقش میانجی جزئی در رابطه میان مهندسی تاب آوری و مزیت رقابتی ایفا کردند. نتایج شبیه سازی نشان داد که در شرایط افزایش شدت اختلالات، سازمان های دارای سطح بالاتر تاب آوری افت عملکرد کمتری داشته، سرعت بازیابی بیشتری نشان داده و مزیت رقابتی پایدارتری حفظ کردند. تحلیل حساسیت نیز نشان داد شدت اختلال محیطی، انعطاف پذیری عملیاتی و سرعت یادگیری سازمانی مهم ترین عوامل اثرگذار بر رفتار مدل بودند. مهندسی تاب آوری می تواند به عنوان یک قابلیت راهبردی پویا، نقش تعیین کننده ای در حفظ و توسعه مزیت رقابتی صنعت مس ایفا کند. نتایج نشان می دهد که سازمان های فعال در این صنعت باید تاب آوری را از یک رویکرد واکنشی مدیریت بحران به یک چارچوب راهبردی برای توسعه قابلیت های سازمانی، شبکه ای و فناورانه تبدیل کنند.

کلیدواژگان: مهندسی تاب آوری؛ مزیت رقابتی؛ شبیه سازی عامل بنیان؛ صنعت مس؛ قابلیت های پویا؛ پویایی های راهبردی؛ زنجیره تأمین تاب آور

مقدمه

صنایع معدنی و فلزی، به‌ویژه صنعت مس، در دهه‌های اخیر به‌دلیل نقش بنیادین خود در توسعه زیرساخت‌ها، گذار انرژی، فناوری‌های نوین و اقتصاد کم‌کربن، به یکی از بخش‌های راهبردی اقتصاد جهانی تبدیل شده‌اند. افزایش تقاضای جهانی برای مس به‌عنوان یک ماده حیاتی در تولید شبکه‌های برق، خودروهای الکتریکی، سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر و تجهیزات دیجیتال، اهمیت این صنعت را بیش از پیش افزایش داده است. با وجود این اهمیت، زنجیره ارزش صنعت مس با مجموعه‌ای از عدم قطعیت‌های پیچیده شامل نوسانات قیمت جهانی، محدودیت منابع، اختلالات زنجیره تأمین، تغییرات سیاستی، فشارهای زیست‌محیطی، تحولات فناورانه و تنش‌های ژئوپلیتیکی مواجه است. چنین شرایطی سبب شده است که الگوهای سنتی مدیریت راهبردی که بر پیش‌بینی‌پذیری محیط و بهینه‌سازی ایستا تأکید دارند، برای توضیح رفتار سازمان‌ها در محیط‌های متلاطم کافی نباشند. در این محیط، سازمان‌هایی قادر به حفظ و توسعه مزیت رقابتی خواهند بود که بتوانند نه تنها در برابر شوک‌ها مقاومت کنند، بلکه از طریق یادگیری، بازآرایی منابع و انطباق مستمر، اختلالات را به فرصت‌های راهبردی تبدیل نمایند. از این منظر، تاب‌آوری سازمانی و مهندسی آن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین قابلیت‌های راهبردی برای بقا و رقابت‌پذیری صنایع پیچیده مطرح شده است (Burnard et al., 2018; Teece et al., 1997).

مفهوم تاب‌آوری در حوزه مدیریت راهبردی فراتر از توانایی بازگشت به وضعیت پیش از بحران تعریف می‌شود و به مجموعه‌ای از قابلیت‌های پویا اشاره دارد که سازمان را قادر می‌سازد تهدیدها را شناسایی کند، در برابر اختلالات واکنش مناسب نشان دهد، منابع خود را بازپیکربندی نماید و از تجربیات گذشته برای بهبود عملکرد آینده استفاده کند. در این چارچوب، مهندسی تاب‌آوری به معنای طراحی و توسعه آگاهانه سازوکارهای سازمانی، فناورانه و مدیریتی برای افزایش ظرفیت پیش‌بینی، جذب، انطباق و بازیابی در برابر تغییرات محیطی است. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که تاب‌آوری سازمانی می‌تواند به‌عنوان یک قابلیت متمایزکننده، زمینه ایجاد مزیت رقابتی پایدار را فراهم کند؛ زیرا سازمان‌های تاب‌آور در شرایط عدم قطعیت قادرند سریع‌تر از رقبای واکنش نشان دهند، اختلالات را با هزینه کمتر مدیریت کنند و مسیرهای جدید خلق ارزش را شناسایی نمایند (Guillén Mondragón et al., 2022; Liu & Zhang, 2024; Wang et al., 2022). در محیط‌های صنعتی پیچیده، این قابلیت نه یک ویژگی ثابت، بلکه یک فرایند چندسطحی و پویاست که از تعامل میان منابع داخلی، ساختارهای تصمیم‌گیری، شبکه‌های تأمین، ظرفیت‌های فناورانه و ویژگی‌های محیطی شکل می‌گیرد (Napier et al., 2024).

صنعت مس نمونه‌ای برجسته از یک سیستم پیچیده اقتصادی است که آسیب‌پذیری آن در برابر اختلالات زنجیره تأمین و تغییرات بازار می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای برای صنایع پایین‌دستی و اقتصاد ملی داشته باشد. زنجیره جهانی مس از مجموعه‌ای از بازیگران، مناطق جغرافیایی، تأمین‌کنندگان مواد اولیه، واحدهای استخراج، فرآوری، حمل‌ونقل و مصرف‌کنندگان نهایی تشکیل شده است و همین وابستگی متقابل موجب می‌شود اختلال در یک بخش به‌صورت آبشاری در سایر بخش‌ها منتشر شود. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ساختار شبکه‌ای صنعت مس، به‌ویژه در سطح جهانی، زمینه انتقال ریسک و گسترش اثرات اختلالی را فراهم می‌کند و مدیریت این پیچیدگی نیازمند رویکردهای نوین برای تحلیل و طراحی تاب‌آوری است (Kang et al., 2023; Song et al., 2024). همچنین، نوسانات تقاضای مواد معدنی حیاتی و افزایش وابستگی اقتصادهای نوین به فلزاتی مانند مس، ضرورت توسعه راهبردهای مقاوم در برابر شوک‌های بازار را افزایش داده است (Ushie et al., 2025). بنابراین، تاب‌آوری در صنعت مس صرفاً یک موضوع عملیاتی نیست، بلکه به یک مسئله راهبردی مرتبط با تداوم رقابت، امنیت زنجیره تأمین و توانایی سازمان‌ها برای حفظ موقعیت بازار تبدیل شده است.

یکی از مهم‌ترین حوزه‌هایی که در آن مهندسی تاب‌آوری اهمیت پیدا می‌کند، مدیریت زنجیره تأمین است. زنجیره‌های تأمین سنتی عمدتاً بر کارایی، کاهش هزینه و حداقل‌سازی موجودی تمرکز داشته‌اند، اما تجربه بحران‌های اخیر نشان داده است که کارایی بدون انعطاف‌پذیری می‌تواند آسیب‌پذیری سازمان‌ها را افزایش دهد. در مقابل، زنجیره‌های تأمین تاب‌آور با ایجاد تنوع تأمین‌کنندگان، افزایش قابلیت مشاهده اطلاعات، توسعه همکاری شبکه‌ای، استفاده از فناوری‌های تحلیلی و ایجاد ظرفیت‌های جایگزین، توانایی بیشتری برای مقابله با اختلالات دارند (Chowdhury et al., 2024; Ivanov, 2022; Munir et al., 2024). در صنعت مس، طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین مقاوم و پایدار اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا محدودیت منابع، الزامات زیست‌محیطی و وابستگی به زیرساخت‌های گسترده موجب می‌شود تصمیم‌های زنجیره تأمین اثر مستقیمی بر عملکرد رقابتی شرکت‌ها داشته باشد. مطالعات انجام‌شده در این حوزه نشان داده‌اند که ادغام مؤلفه‌های پایداری، انعطاف‌پذیری و مدیریت ریسک می‌تواند به ایجاد شبکه‌های زنجیره تأمین مقاوم‌تر در صنایع معدنی منجر شود (Akbari-Kasgari et al., 2022; Becerra & Diaz, 2025; Ghamari et al., 2022).

با وجود اهمیت فزاینده تاب‌آوری، بخش قابل توجهی از مطالعات موجود، تاب‌آوری را از منظر شاخص‌های ایستا یا مدل‌های آماری خطی بررسی کرده‌اند. این رویکردها اگرچه در شناسایی روابط میان متغیرها مفید هستند، اما محدودیت‌هایی در توضیح رفتار سیستم‌های پیچیده، تعاملات غیرخطی، سازگاری عامل‌ها و پیامدهای تجمعی تصمیم‌های خرد دارند. در صنعت مس، عملکرد رقابتی حاصل تعامل هم‌زمان میان مجموعه‌ای از بازیگران با اهداف، منابع، قابلیت‌ها و واکنش‌های متفاوت است. یک شرکت ممکن است با سرمایه‌گذاری در ظرفیت‌های ذخیره، فناوری، همکاری تأمین‌کنندگان یا یادگیری سازمانی رفتار متفاوتی از رقیب خود نشان دهد و همین تفاوت‌های خرد در طول زمان می‌تواند به الگوهای کلان متفاوتی از رقابت، بقا و رشد منجر شود. بنابراین، برای درک پویایی‌های راهبردی تاب‌آوری، نیاز به روش‌هایی وجود دارد که بتوانند رفتار عامل‌ها و تعاملات میان آنها را در محیط‌های متغیر بازنمایی کنند.

مدل‌سازی عامل‌بنیان یکی از رویکردهای نوین برای مطالعه چنین سیستم‌هایی است که امکان شبیه‌سازی رفتار عامل‌های مستقل، قواعد تصمیم‌گیری، تعاملات شبکه‌ای و ظهور الگوهای کلان از رفتارهای خرد را فراهم می‌کند. در این رویکرد، هر عامل دارای ویژگی‌های خاص، مجموعه‌ای از قواعد رفتاری و توانایی واکنش به تغییرات محیطی است و رفتار سیستم از طریق تعامل مستمر میان عامل‌ها و محیط شکل می‌گیرد. این ویژگی باعث شده است که مدل‌سازی عامل‌بنیان در تحلیل مسائل پیچیده اجتماعی، اقتصادی و سازمانی کاربرد گسترده‌ای پیدا کند (Bonabeau, 2002). برای افزایش اعتبار و قابلیت بازتولید این مدل‌ها، چارچوب‌هایی مانند پروتکل ODD بر توصیف دقیق موجودیت‌ها، متغیرهای حالت، فرایندها، قواعد تصمیم‌گیری و سازوکارهای تعامل تأکید کرده‌اند (Grimm et al., 2020). استفاده از شبیه‌سازی عامل‌بنیان در مطالعه تاب‌آوری راهبردی می‌تواند امکان بررسی این موضوع را فراهم کند که چگونه تصمیم‌های مختلف سازمانی در طول زمان به پیامدهای متفاوتی در سطح رقابت منجر می‌شوند و تحت چه شرایطی سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری به یک منبع واقعی مزیت رقابتی تبدیل می‌شود.

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های مختلف رابطه میان تاب‌آوری، قابلیت‌های پویا، نوآوری و مزیت رقابتی را مورد بررسی قرار داده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهند که تاب‌آوری سازمانی از طریق تقویت قابلیت‌های نوآوری، ظرفیت جذب دانش، چابکی سازمانی و تحمل ریسک می‌تواند زمینه ایجاد موقعیت رقابتی برتر را فراهم کند (Iqbal et al., 2025; Musa & Enggarsyah, 2025). همچنین، تاب‌آوری زنجیره تأمین به‌عنوان یک قابلیت پویا می‌تواند از طریق افزایش انعطاف‌پذیری و کاهش آسیب‌پذیری، مزیت رقابتی پایدار ایجاد نماید (Pu et al., 2023; Rezaei et al., 2022). در محیط‌هایی که تغییرات فناورانه و اطلاعاتی با سرعت بالا رخ می‌دهند، تاب‌آوری سازمانی نقش واسطه‌ای مهمی میان نوآوری راهبردی و عملکرد رقابتی ایفا می‌کند، زیرا سازمان‌ها را قادر می‌سازد منابع خود را در پاسخ به شرایط جدید بازتنظیم کنند.

(Pratono, 2022). افزون بر این، مطالعات مرتبط با صنعت و تولید نشان داده‌اند که ارزیابی تاب‌آوری باید ابعادی چندگانه شامل ظرفیت عملیاتی، ساختار شبکه، فناوری، سرمایه انسانی و روابط ذی‌نفعان را دربرگیرد (De Marchi et al., 2023; Zapłata et al., 2024). در صنعت معدن نیز تاب‌آوری تنها به سازوکارهای داخلی سازمان محدود نیست و تعامل با ذی‌نفعان، مشروعیت اجتماعی، همکاری فناوریانه و شبکه‌های دانشی نقش مهمی در توان رقابتی شرکت‌ها دارد. توسعه روابط میان شرکت‌های بزرگ معدنی و شرکت‌های دانش‌بنیان می‌تواند ظرفیت نوآوری و سازگاری فناوریانه را افزایش دهد و به ایجاد مزیت‌های جدید در محیط‌های رقابتی منجر شود (Mahdizadeh Bahmanabad et al., 2024). همچنین، توجه به مشارکت ذی‌نفعان و ایجاد مشروعیت اجتماعی برای فعالیتهای معدنی، بخشی از راهبردهای نوین تاب‌آوری در صنایع استخراجی محسوب می‌شود (Chipangamate et al., 2023). در شرایطی مانند تحریم‌ها، محدودیت‌های تجاری یا اختلالات بیرونی، توسعه سازوکارهای حکمرانی، مدیریت ریسک و انعطاف سازمانی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند و می‌تواند بر توانایی شرکت‌ها برای تداوم فعالیت و حفظ مزیت رقابتی اثرگذار باشد (Gholipour et al., 2021).

با وجود پیشرفت‌های نظری و تجربی در حوزه تاب‌آوری سازمانی، هنوز خلأ مهمی در زمینه توضیح پویایی زمانی تبدیل تاب‌آوری به مزیت رقابتی در صنایع پیچیده‌ای مانند صنعت مس وجود دارد. بیشتر پژوهش‌های موجود روابط میان متغیرها را در یک مقطع زمانی بررسی کرده‌اند، در حالی که مزیت رقابتی حاصل فرایندی تدریجی و وابسته به تعاملات مداوم میان سازمان، رقبا و محیط است. همچنین، کمتر مطالعه‌ای تلاش کرده است تا از طریق یک مدل شبیه‌سازی عامل‌بنیان، چگونگی ظهور مزیت رقابتی از تصمیم‌های خرد مرتبط با سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری، یادگیری سازمانی، بازآرایی منابع و واکنش به اختلالات را بررسی کند. این خلأ به‌ویژه در صنعت مس که با پیچیدگی شبکه‌ای، وابستگی متقابل جهانی و عدم قطعیت بالا مواجه است، اهمیت بیشتری دارد.

بر این اساس، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از رویکرد شبیه‌سازی عامل‌بنیان، در پی آن است که مدلی پویا برای تبیین چگونگی تبدیل مهندسی تاب‌آوری به مزیت رقابتی در صنعت مس طراحی و آزمون کند و نقش تعاملات راهبردی عامل‌ها، قابلیت‌های سازمانی و شرایط محیطی را در شکل‌گیری پویایی‌های رقابتی بررسی نماید.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و توسعه‌ای و از نظر رویکرد روش‌شناختی، یک مطالعه کمی مبتنی بر مدل‌سازی و شبیه‌سازی عامل‌بنیان بود که با هدف طراحی و آزمون یک مدل پویا برای تبیین نقش مهندسی تاب‌آوری در شکل‌گیری و حفظ مزیت رقابتی در صنعت مس انجام شد. منطق اصلی پژوهش بر این فرض استوار بود که مزیت رقابتی در صنایع سرمایه‌بر و مواجه با عدم قطعیت، از جمله صنعت مس، حاصل یک رابطه خطی و ایستا میان منابع سازمانی و عملکرد نیست، بلکه از تعامل مستمر میان تصمیم‌های راهبردی مدیران، ظرفیت‌های تاب‌آوری سازمانی، تغییرات محیط رقابتی، محدودیت‌های زنجیره تأمین، نوسانات بازار، قابلیت‌های فناوریانه و واکنش رقبا در طول زمان پدید می‌آید. بر این اساس، استفاده از شبیه‌سازی عامل‌بنیان امکان بازنمایی ناهمگنی کنشگران، قواعد تصمیم‌گیری متفاوت و پیامدهای تجمعی تعاملات آنان را فراهم ساخت. جامعه آماری پژوهش شامل مدیران، کارشناسان ارشد، متخصصان برنامه‌ریزی راهبردی، کارشناسان مدیریت ریسک، زنجیره تأمین، تولید، بازاریابی، فناوری و توسعه کسب‌وکار فعال در شرکت‌ها و سازمان‌های مرتبط با صنعت مس بود که در سال ۲۰۲۶ در تهران فعالیت داشتند. با توجه به ضرورت برخورداری مشارکت‌کنندگان از دانش تخصصی درباره ساختار صنعت، تصمیم‌گیری راهبردی و سازوکارهای مواجهه سازمان‌ها با اختلالات، نمونه‌گیری به شیوه هدفمند انجام شد و تنها افرادی وارد مطالعه شدند که حداقل پنج سال سابقه فعالیت حرفه‌ای در صنعت مس، صنایع معدنی و فلزی مرتبط یا حوزه‌های تخصصی مرتبط با برنامه‌ریزی و مدیریت راهبردی داشتند. در

مجموع، ۲۱۴ نفر به عنوان نمونه نهایی پژوهش انتخاب شدند و داده‌های آنان در مرحله تجربی پژوهش مورد تحلیل قرار گرفت. معیارهای ورود شامل برخورداری از سابقه حرفه‌ای مرتبط، آشنایی با فرایندهای تصمیم‌گیری سازمانی، تجربه مواجهه با تغییرات بازار یا اختلالات عملیاتی و تمایل آگاهانه برای شرکت در پژوهش بود. پرسشنامه‌ها پس از ارائه توضیح درباره اهداف مطالعه و اطمینان بخشی در خصوص محرمانه ماندن اطلاعات در اختیار مشارکت‌کنندگان قرار گرفت و داده‌های گردآوری شده به صورت تجمیعی و بدون ثبت اطلاعات هویتی تحلیل شدند. داده‌های حاصل از این مرحله برای شناسایی روابط میان متغیرها، تخمین دامنه پارامترهای رفتاری عامل‌ها و تعیین قواعد تصمیم‌گیری در محیط شبیه‌سازی استفاده شد. در ساختار مفهومی مدل، عامل‌های اصلی شامل بنگاه‌های فعال در صنعت مس بودند که از نظر سطح تاب‌آوری، منابع مالی، ظرفیت فناوریانه، انعطاف‌پذیری عملیاتی، قابلیت یادگیری، توان پاسخ به اختلال، شدت سرمایه‌گذاری راهبردی و قدرت رقابتی با یکدیگر تفاوت داشتند. محیط مدل نیز شرایط بازار، شدت رقابت، نوسانات تقاضا، اختلالات زنجیره تأمین، تغییر هزینه‌های عملیاتی و شوک‌های محیطی را بازنمایی می‌کرد. این طراحی امکان بررسی آن را فراهم کرد که چگونه تصمیم‌های خرد بنگاه‌ها در زمینه پیش‌بینی، جذب، انطباق و بازیابی در برابر اختلالات، در سطح کلان به الگوهای متفاوتی از مزیت رقابتی و عملکرد پایدار منجر می‌شوند.

برای گردآوری داده‌های مورد نیاز جهت ساخت، پارامتردهی و اعتبارسنجی مدل عامل‌بنیان، از یک پرسشنامه محقق‌ساخته چندبخشی استفاده شد که گویه‌های آن بر اساس چارچوب مفهومی پژوهش و مؤلفه‌های اصلی مهندسی تاب‌آوری، قابلیت‌های راهبردی و مزیت رقابتی تدوین گردید. بخش نخست ابزار به اطلاعات جمعیت‌شناختی و حرفه‌ای مشارکت‌کنندگان، از جمله سابقه فعالیت، حوزه تخصصی، سطح سازمانی و میزان تجربه آنان در صنعت اختصاص داشت. بخش دوم، مهندسی تاب‌آوری را در چهار بعد اصلی پیش‌بینی و آمادگی در برابر اختلال، ظرفیت جذب و مقاومت، قابلیت انطباق و بازآرایی منابع و سرعت بازیابی و یادگیری پس از اختلال ارزیابی می‌کرد. در این چارچوب، پیش‌بینی و آمادگی به توان سازمان برای شناسایی علائم اولیه تهدید، سناریوسازی، ایجاد ذخایر راهبردی و طراحی برنامه‌های اقتضایی اشاره داشت؛ ظرفیت جذب بیانگر توان سازمان برای حفظ کارکردهای کلیدی هنگام مواجهه با اختلال بود؛ قابلیت انطباق، انعطاف‌پذیری در تخصیص منابع، اصلاح فرایندها و تغییر الگوهای تصمیم‌گیری را منعکس می‌کرد؛ و بازیابی و یادگیری نیز سرعت بازگشت به سطح مطلوب عملکرد و میزان تبدیل تجربه بحران به دانش سازمانی را اندازه‌گیری می‌کرد. بخش سوم پرسشنامه به سنجش قابلیت‌های راهبردی اختصاص داشت و متغیرهایی نظیر چابکی راهبردی، انعطاف‌پذیری عملیاتی، قابلیت نوآوری، توان بازپیکربندی منابع، همکاری در زنجیره تأمین، ظرفیت اطلاعاتی و سرعت پاسخ‌گویی به تغییرات محیطی را شامل می‌شد. بخش چهارم، مزیت رقابتی را از طریق شاخص‌هایی مانند کارایی هزینه، قابلیت حفظ سهم بازار، کیفیت پاسخ به نیاز مشتری، سرعت واکنش به رقبا، قابلیت تداوم عملیات، نوآوری و پایداری عملکرد مورد سنجش قرار داد. تمامی گویه‌ها بر اساس مقیاس پنج‌درجه‌ای لیکرت از «کاملاً مخالفم» تا «کاملاً موافقم» تنظیم شدند؛ به گونه‌ای که نمره بالاتر نشان‌دهنده سطح بالاتر سازه مورد نظر بود.

به منظور افزایش روایی محتوایی ابزار، نسخه اولیه پرسشنامه در اختیار گروهی از صاحب‌نظران حوزه مدیریت راهبردی، مدیریت صنعتی، مدیریت ریسک، شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده و صنایع معدنی قرار گرفت و بر اساس دیدگاه آنان، گویه‌های مبهم، تکراری یا کم‌ارتباط اصلاح یا حذف شدند. سپس یک اجرای مقدماتی با مشارکت گروهی خارج از نمونه اصلی صورت گرفت تا وضوح گویه‌ها، زمان مورد نیاز برای تکمیل پرسشنامه و انسجام درونی ابعاد مورد بررسی قرار گیرد. پایایی مقیاس‌ها از طریق ضریب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی بررسی شد و مقدار حداقل ۰.۷۰ به عنوان سطح قابل قبول در نظر گرفته شد. برای بررسی روایی سازه نیز از تحلیل عاملی تأییدی، بارهای عاملی استاندارد شده و میانگین واریانس استخراج شده استفاده شد. در مرحله بعد، اطلاعات حاصل از پرسشنامه مستقیماً به پارامترهای مدل عامل‌بنیان تبدیل نشد، بلکه ابتدا میانگین، پراکندگی، همبستگی و ضرایب استاندارد شده روابط میان متغیرها استخراج گردید و از این مقادیر

برای تعیین توزیع اولیه ویژگی‌های عامل‌ها، شدت قواعد رفتاری و احتمال انتخاب راهبردهای مختلف استفاده شد. برای مثال، عامل‌هایی با سطح بالاتر مهندسی تاب‌آوری دارای احتمال بیشتری برای سرمایه‌گذاری پیشگیرانه، ایجاد ظرفیت مازاد، تنوع‌بخشی به تأمین‌کنندگان، بازتخصیص سریع‌تر منابع و تغییر راهبرد در مواجهه با شوک‌های محیطی در نظر گرفته شدند. در مقابل، عامل‌های دارای تاب‌آوری پایین‌تر با تأخیر بیشتر در تشخیص اختلال، دامنه محدودتر گزینه‌های واکنشی و سرعت پایین‌تر بازبازی مدل‌سازی شدند. علاوه بر داده‌های پرسشنامه، برای تعریف منطق محیط شبیه‌سازی از شاخص‌های ساختاری مرتبط با صنعت، مانند شدت رقابت، دامنه نوسان تقاضا، احتمال وقوع اختلال در تأمین، فشار هزینه‌ای و عدم قطعیت محیطی استفاده شد. این متغیرها در مدل به صورت پارامترهای قابل تغییر تعریف شدند تا امکان اجرای سناریوهای متعدد با سطوح متفاوت آشفتگی محیطی فراهم شود.

تحلیل داده‌ها در دو سطح تجربی و شبیه‌سازی انجام شد. در سطح نخست، داده‌های حاصل از پرسشنامه پس از کنترل کامل بودن پاسخ‌ها، بررسی داده‌های مفقود و شناسایی موارد پرت، وارد فرایند تحلیل آماری شدند. ابتدا شاخص‌های توصیفی شامل میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر نمرات برای متغیرهای اصلی محاسبه شد. سپس پیش‌فرض‌های تحلیل‌های چندمتغیری از نظر توزیع داده‌ها، هم‌خطی چندگانه و روابط میان متغیرها ارزیابی گردید. برای بررسی ساختار اندازه‌گیری متغیرهای مکنون، تحلیل عاملی تأییدی انجام شد و شاخص‌های برازش مدل اندازه‌گیری مورد بررسی قرار گرفت. پس از تأیید کفایت مدل اندازه‌گیری، روابط میان ابعاد مهندسی تاب‌آوری، قابلیت‌های راهبردی و مزیت رقابتی با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری ارزیابی شد. ضرایب مسیر استاندارد شده، ضرایب همبستگی و میزان واریانس تبیین‌شده متغیرهای درون‌زا به عنوان ورودی تجربی برای کالیبراسیون مدل شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین برای اجتناب از تعیین دلخواه پارامترها، دامنه تغییر متغیرهای اصلی بر اساس میانگین و انحراف معیار مشاهده‌شده در داده‌های واقعی تعریف شد و ناهمگنی عامل‌ها از طریق تخصیص مقادیر اولیه متفاوت به ویژگی‌هایی مانند تاب‌آوری، چابکی، منابع، قابلیت نوآوری و قدرت رقابتی بازنمایی گردید. در سطح دوم، یک مدل شبیه‌سازی عامل‌بنیان طراحی شد که در آن هر بنگاه به عنوان یک عامل مستقل با مجموعه‌ای از منابع، قابلیت‌ها، قواعد تصمیم‌گیری و حافظه عملکردی عمل می‌کرد. در ابتدای هر اجرای شبیه‌سازی، عامل‌ها از نظر سطح اولیه مهندسی تاب‌آوری، ظرفیت عملیاتی، منابع قابل تخصیص، قابلیت نوآوری و موقعیت رقابتی ناهمگن بودند. در هر دوره زمانی، محیط رقابتی بر اساس مجموعه‌ای از پارامترهای بیرونی شامل شدت رقابت، تغییر تقاضا، نوسانات هزینه و احتمال وقوع اختلال به‌روزرسانی می‌شد. عامل‌ها وضعیت محیط و عملکرد پیشین خود را ارزیابی کرده و سپس میان مجموعه‌ای از اقدامات راهبردی شامل حفظ راهبرد موجود، افزایش سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری، تنوع‌بخشی زنجیره تأمین، تخصیص منابع به نوآوری، افزایش انعطاف‌پذیری ظرفیت و تعدیل ساختار هزینه تصمیم‌گیری می‌کردند. احتمال انتخاب هر راهبرد تابعی از سطح تاب‌آوری، منابع موجود، تجربه اختلالات قبلی، عملکرد نسبی در مقایسه با رقبای و شدت تغییرات محیطی بود. پس از انتخاب راهبرد، عملکرد هر عامل بر اساس ترکیبی از بهره‌وری، تداوم عملیات، سهم نسبی بازار، سرعت بازبازی، نوآوری و توان حفظ عملکرد در شرایط اختلال محاسبه می‌شد و شاخص ترکیبی مزیت رقابتی از تحول این مؤلفه‌ها در طول زمان به دست می‌آمد. همچنین عامل‌ها دارای سازوکار یادگیری بودند؛ به این معنا که راهبردهایی که در دوره‌های قبلی به پیامدهای مطلوب‌تری منجر شده بودند، احتمال انتخاب بیشتری در دوره‌های بعد پیدا می‌کردند و راهبردهای ناکارآمد به تدریج با احتمال کمتری تکرار می‌شدند.

برای بررسی رفتار مدل، ابتدا یک سناریوی پایه با سطح متوسط عدم قطعیت و اختلال تعریف شد و سپس سناریوهای جایگزین شامل محیط کم‌آشفتگی، محیط با رقابت شدید، اختلالات شدید زنجیره تأمین، نوسان بالای تقاضا و وضعیت شوک ترکیبی اجرا گردید. در هر سناریو، سطوح مختلف مهندسی تاب‌آوری برای عامل‌ها اعمال شد تا مشخص شود افزایش ظرفیت پیش‌بینی، جذب، انطباق و بازبازی تحت چه شرایطی بیشترین اثر را بر مزیت رقابتی ایجاد می‌کند. به دلیل ماهیت تصادفی مدل عامل‌بنیان، هر سناریو در تکرارهای متعدد اجرا شد و

میانگین نتایج حاصل از اجراها برای مقایسه سناریوها مورد استفاده قرار گرفت تا تأثیر نوسانات تصادفی بر استنتاج‌های نهایی کاهش یابد. خروجی‌های اصلی مدل شامل متوسط مزیت رقابتی عامل‌ها، پراکندگی عملکرد بنگاه‌ها، نرخ بقا در شرایط اختلال، سرعت بازیابی پس از شوک، پایداری مزیت رقابتی، میزان تغییر سهم نسبی بازار و بازده سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری بود. علاوه بر مقایسه سناریوها، تحلیل حساسیت نیز انجام شد تا مشخص شود تغییر پارامترهای کلیدی، به‌ویژه شدت اختلال، هزینه سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری، سرعت یادگیری، انعطاف‌پذیری عملیاتی و شدت رقابت، تا چه اندازه خروجی‌های مدل را تغییر می‌دهد. اعتبارسنجی مدل از طریق مقایسه الگوهای رفتاری حاصل از شبیه‌سازی با روابط مشاهده‌شده در داده‌های تجربی، بررسی سازگاری جهت و شدت روابط و همچنین آزمون رفتار مدل در شرایط حدی انجام شد. به‌این‌ترتیب، مدل تنها بر بازتولید یک وضعیت ایستا متمرکز نبود، بلکه قابلیت آن برای توضیح چگونگی ظهور، تقویت یا تضعیف مزیت رقابتی در نتیجه تعامل پویا میان تاب‌آوری سازمانی، رفتار رقبا و آشفتگی‌های محیطی مورد ارزیابی قرار گرفت. سطح معنی‌داری در تحلیل‌های آماری ۰.۰۵ در نظر گرفته شد و نتایج حاصل از بخش تجربی و شبیه‌سازی به‌صورت مکمل برای تبیین پویایی‌های راهبردی صنعت مس مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها

در این پژوهش، داده‌های ۲۱۴ نفر از مدیران، کارشناسان ارشد و متخصصان حوزه‌های مرتبط با صنعت مس مورد تحلیل قرار گرفت. از مجموع مشارکت‌کنندگان، ۱۶۶ نفر معادل ۷۷.۶ درصد مرد و ۴۸ نفر معادل ۲۲.۴ درصد زن بودند. از نظر سنی، ۳۴ نفر معادل ۱۵.۹ درصد در گروه سنی ۳۵ سال و کمتر، ۸۱ نفر معادل ۳۷.۹ درصد در گروه ۳۶ تا ۴۵ سال، ۷۲ نفر معادل ۳۳.۶ درصد در گروه ۴۶ تا ۵۵ سال و ۲۷ نفر معادل ۱۲.۶ درصد در گروه ۵۶ سال و بالاتر قرار داشتند. بنابراین، بیشترین فراوانی به گروه سنی ۳۶ تا ۴۵ سال تعلق داشت و در مجموع ۷۱.۵ درصد مشارکت‌کنندگان در دامنه سنی ۳۶ تا ۵۵ سال قرار داشتند که بیانگر حضور غالب افراد دارای تجربه حرفه‌ای تثبیت‌شده در نمونه بود. از نظر سطح تحصیلات، ۶۳ نفر معادل ۲۹.۴ درصد دارای مدرک کارشناسی، ۱۱۸ نفر معادل ۵۵.۱ درصد دارای مدرک کارشناسی ارشد و ۳۳ نفر معادل ۱۵.۴ درصد دارای مدرک دکتری بودند. همچنین، از نظر سابقه حرفه‌ای مرتبط، ۵۹ نفر معادل ۲۷.۶ درصد دارای ۵ تا ۱۰ سال سابقه، ۶۷ نفر معادل ۳۱.۳ درصد دارای ۱۱ تا ۱۵ سال سابقه، ۴۹ نفر معادل ۲۲.۹ درصد دارای ۱۶ تا ۲۰ سال سابقه و ۳۹ نفر معادل ۱۸.۲ درصد دارای بیش از ۲۰ سال سابقه فعالیت حرفه‌ای بودند. بر این اساس، ۷۲.۴ درصد پاسخ‌دهندگان بیش از ۱۰ سال سابقه حرفه‌ای داشتند. از نظر حوزه فعالیت سازمانی نیز ۴۳ نفر معادل ۲۰.۱ درصد در سطوح مدیریت ارشد و میانی، ۵۱ نفر معادل ۲۳.۸ درصد در برنامه‌ریزی و مدیریت راهبردی، ۴۷ نفر معادل ۲۲.۰ درصد در تولید و عملیات، ۳۶ نفر معادل ۱۶.۸ درصد در مدیریت ریسک، زنجیره تأمین و تدارکات و ۳۷ نفر معادل ۱۷.۳ درصد در حوزه‌های بازاریابی، فناوری، نوآوری و توسعه کسب‌وکار فعالیت داشتند. این پراکندگی نشان داد که نمونه پژوهش از نظر حوزه تخصصی از تنوع مناسبی برخوردار بوده و دیدگاه‌های بخش‌های مختلف دخیل در تصمیم‌گیری راهبردی و تاب‌آوری صنعت مس در داده‌های پژوهش منعکس شده است.

جدول ۱

شاخص‌های توصیفی متغیرهای اصلی پژوهش

متغیر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی
پیش‌بینی و آمادگی	۳.۶۲	۰.۷۱	۱.۶۰	۵.۰۰	-۰.۳۸	-۰.۲۱
ظرفیت جذب و مقاومت	۳.۴۸	۰.۷۴	۱.۴۰	۵.۰۰	-۰.۳۱	-۰.۱۷
قابلیت انطباق و بازاریابی	۳.۷۱	۰.۶۸	۱.۸۰	۵.۰۰	-۰.۴۶	۰.۰۸
بازایی و یادگیری	۳.۶۶	۰.۷۰	۱.۶۰	۵.۰۰	-۰.۴۱	-۰.۰۵
مهندسی تاب‌آوری	۳.۶۲	۰.۶۱	۱.۸۵	۴.۹۵	-۰.۳۷	-۰.۱۲
چابکی راهبردی	۳.۵۸	۰.۷۳	۱.۵۰	۵.۰۰	-۰.۳۴	-۰.۱۰
انعطاف‌پذیری عملیاتی	۳.۵۱	۰.۷۵	۱.۲۵	۵.۰۰	-۰.۲۹	-۰.۱۵
قابلیت نوآوری	۳.۶۳	۰.۶۹	۱.۷۵	۵.۰۰	-۰.۴۲	۰.۰۶
همکاری در زنجیره تأمین	۳.۵۵	۰.۷۲	۱.۵۰	۵.۰۰	-۰.۳۳	-۰.۰۸
قابلیت‌های راهبردی	۳.۵۷	۰.۶۲	۱.۸۱	۴.۹۴	-۰.۳۵	-۰.۰۵
مزیت رقابتی	۳.۶۹	۰.۶۶	۱.۶۷	۵.۰۰	-۰.۴۸	۰.۱۲

نتایج جدول ۱ نشان داد که میانگین تمامی متغیرهای اصلی پژوهش بالاتر از نقطه میانی مقیاس، یعنی ۳.۰۰، قرار داشت. در میان ابعاد مهندسی تاب‌آوری، بیشترین میانگین مربوط به قابلیت انطباق و بازاریابی با میانگین ۳.۷۱ و انحراف معیار ۰.۶۸ بود و پس از آن بازایی و یادگیری با میانگین ۳.۶۶، پیش‌بینی و آمادگی با میانگین ۳.۶۲ و ظرفیت جذب و مقاومت با میانگین ۳.۴۸ قرار داشتند. این یافته نشان می‌دهد که از دیدگاه مشارکت‌کنندگان، بنگاه‌های مورد بررسی بیش از آنکه صرفاً بر مقاومت اولیه در برابر اختلال متکی باشند، از قابلیت تغییر در تخصیص منابع، بازتنظیم عملیات و سازگاری با شرایط جدید برخوردار بودند. میانگین کلی مهندسی تاب‌آوری برابر با ۳.۶۲ و انحراف معیار آن ۰.۶۱ بود. در میان قابلیت‌های راهبردی نیز قابلیت نوآوری با میانگین ۳.۶۳ بیشترین مقدار و انعطاف‌پذیری عملیاتی با میانگین ۳.۵۱ کمترین مقدار را نشان داد. میانگین کلی قابلیت‌های راهبردی ۳.۵۷ و میانگین مزیت رقابتی ۳.۶۹ به دست آمد. دامنه انحراف معیار متغیرها بین ۰.۶۱ تا ۰.۷۵ قرار داشت و نشان داد که در کنار وجود گرایش عمومی به سطوح نسبتاً بالای متغیرهای پژوهش، پراکندگی کافی میان پاسخ‌دهندگان نیز وجود داشته است. همچنین، مقادیر چولگی از -۰.۴۸ تا -۰.۲۹ و مقادیر کشیدگی از -۰.۲۱ تا ۰.۱۲ متغیر بود. قرار گرفتن تمامی این مقادیر در دامنه قابل قبول نشان‌دهنده نبود انحراف شدید از توزیع نرمال بود و بنابراین داده‌ها از نظر توزیع برای انجام تحلیل‌های چندمتغیری و مدل‌سازی ساختاری مناسب ارزیابی شدند.

جدول ۲

شاخص‌های پایایی، روایی همگرا و کیفیت مدل اندازه‌گیری

سازه	تعداد گویه	دامنه بار عاملی استاندارد	آلفای کرونباخ	پایایی ترکیبی	میانگین واریانس استخراج‌شده
پیش‌بینی و آمادگی	۵	۰.۶۸-۰.۸۴	۰.۸۶	۰.۸۸	۰.۵۹
ظرفیت جذب و مقاومت	۵	۰.۶۵-۰.۸۲	۰.۸۴	۰.۸۶	۰.۵۵
قابلیت انطباق و بازاریابی	۵	۰.۷۱-۰.۸۷	۰.۸۹	۰.۹۰	۰.۶۴
بازایی و یادگیری	۵	۰.۶۹-۰.۸۵	۰.۸۷	۰.۸۹	۰.۶۱
چابکی راهبردی	۴	۰.۷۲-۰.۸۶	۰.۸۵	۰.۸۷	۰.۶۳
انعطاف‌پذیری عملیاتی	۴	۰.۷۰-۰.۸۴	۰.۸۴	۰.۸۶	۰.۶۰

قابلیت نوآوری	۴	۰.۷۳-۰.۸۸	۰.۸۸	۰.۸۹	۰.۶۷
همکاری در زنجیره تأمین	۴	۰.۶۷-۰.۸۳	۰.۸۳	۰.۸۵	۰.۵۸
مزیت رقابتی	۶	۰.۷۰-۰.۸۹	۰.۹۰	۰.۹۱	۰.۶۵

نتایج جدول ۲ نشان داد که مدل اندازه‌گیری از پایایی و روایی همگرایی مطلوبی برخوردار بود. دامنه بارهای عاملی استاندارد شده تمامی گویه‌ها بین ۰.۶۵ تا ۰.۸۹ قرار داشت و هیچ‌یک از گویه‌های باقی‌مانده در مدل دارای بار عاملی کمتر از سطح قابل قبول نبود. ضرایب آلفای کرونباخ سازه‌ها بین ۰.۸۳ تا ۰.۹۰ و ضرایب پایایی ترکیبی بین ۰.۸۵ تا ۰.۹۱ قرار داشت که همگی بالاتر از مقدار معیار ۰.۷۰ بودند و انسجام درونی مناسب ابزارهای اندازه‌گیری را تأیید کردند. همچنین، مقادیر میانگین واریانس استخراج شده از ۰.۵۵ تا ۰.۶۷ متغیر بود و از مقدار معیار ۰.۵۰ بیشتر بود؛ بنابراین، بیش از نیمی از واریانس شاخص‌های هر سازه به‌وسیله عامل نهفته مربوط به آن تبیین شد و روایی همگرایی سازه‌ها مورد تأیید قرار گرفت. بررسی روایی واگرا نیز نشان داد که مقادیر نسبت HTMT بین سازه‌ها در دامنه ۰.۵۴ تا ۰.۸۱ قرار داشت و هیچ مقداری از آستانه ۰.۸۵ فراتر نرفت. افزون بر این، نتایج تحلیل عاملی تأییدی نشان داد که مدل اندازه‌گیری با داده‌های تجربی برازش مناسبی دارد؛ به‌طوری‌که نسبت کای‌دو به درجه آزادی برابر با ۲.۳۱، شاخص برازش تطبیقی برابر با ۰.۹۳۶، شاخص برازش افزایشی برابر با ۰.۹۴۱، شاخص تاکر-لونیس برابر با ۰.۹۲۸، شاخص نیکویی برازش برابر با ۰.۹۱۷ و ریشه میانگین مربعات خطای تقریب برابر با ۰.۰۶۸ به دست آمد. مجموعه این شاخص‌ها نشان داد که ساختار مفهومی متغیرهای مورد استفاده برای پارامتردهی مدل عامل‌بنیان از پشتوانه تجربی مناسبی برخوردار است و داده‌های اندازه‌گیری شده می‌توانند مبنای قابل اتکایی برای تعیین قواعد رفتاری و توزیع پارامترهای عامل‌ها باشند.

جدول ۳

نتایج مدل ساختاری روابط میان مهندسی تاب‌آوری، قابلیت‌های راهبردی و مزیت رقابتی

مسیر اثر	ضریب استاندارد	خطای استاندارد	آماره t	سطح معنی‌داری	حد پایین اطمینان ۹۵ درصد	حد بالا فاصله اطمینان ۹۵ درصد
مهندسی تاب‌آوری ← قابلیت‌های راهبردی	۰.۶۲۳	۰.۰۵۸	۱۰.۷۴	<۰.۰۰۱	۰.۵۰۸	۰.۷۳۲
مهندسی تاب‌آوری ← مزیت رقابتی	۰.۳۱۴	۰.۰۷۱	۴.۴۲	<۰.۰۰۱	۰.۱۷۵	۰.۴۵۱
قابلیت‌های راهبردی ← مزیت رقابتی	۰.۴۸۷	۰.۰۶۶	۷.۳۸	<۰.۰۰۱	۰.۳۵۸	۰.۶۱۴
اثر غیرمستقیم مهندسی تاب‌آوری بر مزیت رقابتی از طریق قابلیت‌های راهبردی	۰.۳۰۳	۰.۰۴۲	۷.۲۱	<۰.۰۰۱	۰.۲۲۶	۰.۳۹۰
اثر کل مهندسی تاب‌آوری بر مزیت رقابتی	۰.۶۱۷	۰.۰۵۹	۱۰.۴۶	<۰.۰۰۱	۰.۵۰۲	۰.۷۲۹

نتایج جدول ۳ نشان داد که مهندسی تاب‌آوری دارای اثر مثبت، نسبتاً قوی و معنی‌داری بر قابلیت‌های راهبردی بود؛ به‌گونه‌ای که ضریب استاندارد این مسیر برابر با ۰.۶۲۳ و آماره t برابر با ۱۰.۷۴ به دست آمد. بنابراین، افزایش قابلیت سازمان برای پیش‌بینی اختلال، جذب شوک، بازآرایی منابع، انطباق با شرایط متغیر و یادگیری پس از بحران با افزایش چابکی راهبردی، انعطاف‌پذیری عملیاتی، نوآوری و همکاری در زنجیره تأمین همراه بود. مهندسی تاب‌آوری علاوه بر این اثر، اثر مستقیم و معنی‌داری نیز بر مزیت رقابتی داشت که ضریب استاندارد آن ۰.۳۱۴ بود. قابلیت‌های راهبردی نیز با ضریب ۰.۴۸۷ اثر مثبت و معنی‌داری بر مزیت رقابتی نشان دادند. از نظر قدرت تبیین مدل، مهندسی تاب‌آوری ۳۸.۸ درصد از واریانس قابلیت‌های راهبردی را تبیین کرد و مهندسی تاب‌آوری همراه با قابلیت‌های راهبردی در مجموع ۵۷.۱ درصد از واریانس مزیت رقابتی را توضیح دادند. تحلیل اثر غیرمستقیم با استفاده از باز نمونه‌گیری بوت‌استرپ نشان داد که اثر غیرمستقیم مهندسی

تاب‌آوری بر مزیت رقابتی از طریق قابلیت‌های راهبردی برابر با ۰.۳۰۳ و معنی‌دار بود و فاصله اطمینان ۹۵ درصد آن از ۰.۲۲۶ تا ۰.۳۹۰ به دست آمد که صفر را دربرنمی‌گرفت. در نتیجه، قابلیت‌های راهبردی نقش میانجی جزئی در رابطه میان مهندسی تاب‌آوری و مزیت رقابتی داشتند. نکته قابل توجه آن بود که اثر کل مهندسی تاب‌آوری بر مزیت رقابتی به ۰.۶۱۷ رسید؛ بنابراین، بخش قابل ملاحظه‌ای از ارزش رقابتی تاب‌آوری نه فقط از طریق کاهش مستقیم آسیب‌پذیری، بلکه از طریق تبدیل ظرفیت‌های تاب‌آورانه به قابلیت‌های راهبردی قابل استفاده در رقابت ایجاد می‌شود. این ضرایب تجربی در ادامه به‌عنوان مبنای کالیبراسیون شدت روابط و قواعد تصمیم‌گیری عامل‌ها در مدل شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۴

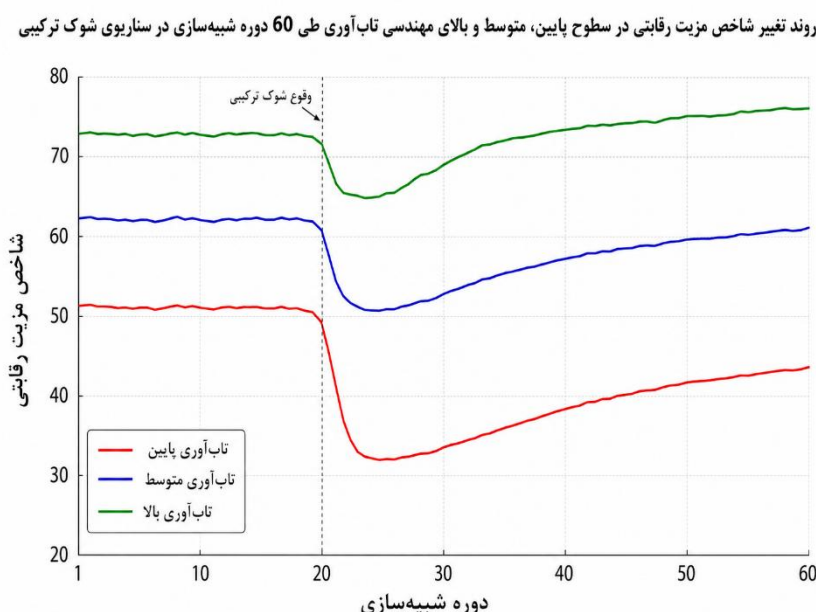
نتایج شبیه‌سازی عامل‌بنیان مزیت رقابتی در سناریوهای مختلف محیطی و سطوح متفاوت تاب‌آوری

سناریوی محیطی	مزیت رقابتی در تاب‌آوری پایین	مزیت رقابتی در تاب‌آوری متوسط	مزیت رقابتی در تاب‌آوری بالا	افزایش مزیت رقابتی در تاب‌آوری بالا نسبت به پایین	تداوم عملیات در بنگاه‌های با تاب‌آوری بالا	متوسط زمان بازیابی در تاب‌آوری بالا
محیط کم‌آشفتگی	۵۹.۸	۶۸.۴	۷۵.۹	۲۶.۹ درصد	۹۸.۲ درصد	۲.۸ دوره
سناریوی پایه	۵۱.۴	۶۴.۷	۷۳.۸	۴۳.۶ درصد	۹۴.۶ درصد	۴.۱ دوره
رقابت شدید	۴۵.۸	۶۰.۹	۷۰.۶	۵۴.۱ درصد	۹۲.۱ درصد	۴.۸ دوره
اختلال شدید	۳۹.۶	۵۸.۸	۶۹.۷	۷۶.۰ درصد	۸۷.۸ درصد	۶.۳ دوره
زنجیره تأمین						
شوک ترکیبی	۳۱.۹	۵۳.۴	۶۶.۸	۱۰۹.۴ درصد	۸۱.۴ درصد	۷.۶ دوره

نتایج جدول ۴ بر مبنای اجرای مکرر مدل عامل‌بنیان نشان داد که سطح مهندسی تاب‌آوری در تمامی شرایط محیطی با مزیت رقابتی بالاتر همراه بود، اما اندازه این تفاوت با افزایش آشفتگی محیطی به‌طور محسوسی بیشتر شد. در محیط کم‌آشفتگی، شاخص مزیت رقابتی عامل‌های دارای تاب‌آوری پایین برابر با ۵۹.۸، در سطح متوسط برابر با ۶۸.۴ و در سطح تاب‌آوری بالا برابر با ۷۵.۹ بود؛ بنابراین، مزیت رقابتی عامل‌های تاب‌آور در این محیط ۲۶.۹ درصد بیش از عامل‌های کم‌تاب‌آور بود. در سناریوی پایه، این تفاوت به ۴۳.۶ درصد و در شرایط رقابت شدید به ۵۴.۱ درصد افزایش یافت. بیشترین شکاف میان عامل‌ها در سناریوهای اختلال شدید زنجیره تأمین و شوک ترکیبی مشاهده شد. در سناریوی اختلال زنجیره تأمین، شاخص مزیت رقابتی عامل‌های کم‌تاب‌آور به ۳۹.۶ کاهش یافت، در حالی که عامل‌های دارای تاب‌آوری بالا مقدار ۶۹.۷ را حفظ کردند؛ به عبارت دیگر، تاب‌آوری بالا با مزیت ۷۶.۰ درصدی نسبت به تاب‌آوری پایین همراه بود. در شدیدترین وضعیت شبیه‌سازی شده، یعنی شوک ترکیبی شامل هم‌زمانی اختلال تأمین، فشار هزینه‌ای، نوسان تقاضا و تشدید رقابت، مزیت رقابتی عامل‌های دارای تاب‌آوری پایین به ۳۱.۹ سقوط کرد، در حالی که این شاخص در عامل‌های دارای تاب‌آوری متوسط ۵۳.۴ و در عامل‌های دارای تاب‌آوری بالا ۶۶.۸ باقی ماند. در این وضعیت، تفاوت میان تاب‌آوری بالا و پایین به ۱۰۹.۴ درصد رسید. همچنین نرخ تداوم عملیات عامل‌های با تاب‌آوری بالا حتی در شوک ترکیبی ۸۱.۴ درصد باقی ماند. هرچند میانگین زمان بازیابی آنان از ۲.۸ دوره در محیط کم‌آشفتگی به ۷.۶ دوره در شوک ترکیبی افزایش یافت، این عامل‌ها همچنان توانستند با حفظ منابع کلیدی، بازپیکربندی سریع‌تر عملیات و استفاده از تجربه دوره‌های قبلی، وضعیت رقابتی خود را نسبت به عامل‌های کم‌تاب‌آور حفظ کنند. بنابراین، نتایج شبیه‌سازی نشان داد که بازده راهبردی سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری ماهیتی وابسته به شرایط دارد و با افزایش شدت عدم قطعیت و اختلال، ارزش رقابتی آن به‌صورت غیرخطی افزایش می‌یابد.

شکل ۱

روند تغییر شاخص مزیت رقابتی در سطوح پایین، متوسط و بالای مهندسی تاب‌آوری طی ۶۰ دوره شبیه‌سازی در سناریوی شوک ترکیبی



روندهای شبیه‌سازی‌شده در شکل ۱ نشان دادند که پیش از وقوع شوک، هر سه گروه عامل‌ها از روند نسبتاً باثباتی برخوردار بودند، هرچند سطح مزیت رقابتی عامل‌های دارای تاب‌آوری بالا از ابتدا بیشتر بود. پس از ورود شوک ترکیبی، کاهش عملکرد در هر سه سطح مشاهده شد، اما دامنه افت و مدت ماندگاری اثر شوک تفاوت قابل توجهی داشت. عامل‌های دارای تاب‌آوری پایین شدیدترین افت را تجربه کردند و پس از کاهش اولیه، تنها بخشی از عملکرد ازدست‌رفته خود را بازیابی کردند. در مقابل، عامل‌های دارای تاب‌آوری متوسط پس از یک افت محسوس، به تدریج وارد مسیر بازیابی شدند و در دوره‌های بعد به سطحی نزدیک‌تر به وضعیت پیش از اختلال بازگشتند. عامل‌های دارای تاب‌آوری بالا نه تنها افت اولیه کوچک‌تری داشتند، بلکه شیب بازیابی آنها نیز سریع‌تر بود. ویژگی مهم روند مشاهده‌شده آن بود که فاصله میان سه گروه پس از وقوع شوک افزایش یافت؛ به این معنا که تاب‌آوری صرفاً مانع افت عملکرد نشد، بلکه از طریق ایجاد امکان یادگیری، تغییر قواعد تخصیص منابع، تنوع‌بخشی گزینه‌های پاسخ و اتخاذ راهبردهای سازگارتر، به عامل‌های تاب‌آور اجازه داد پس از اختلال از موقعیت نسبی بهتری در مقایسه با رقبای برخوردار شوند. بنابراین، رفتار زمانی مدل نشان داد که مهندسی تاب‌آوری می‌تواند از یک قابلیت دفاعی برای حفاظت از عملیات به یک قابلیت تهاجمی و رقابتی تبدیل شود؛ زیرا بنگاه‌هایی که سریع‌تر از اختلال عبور می‌کنند، در دوره‌ای که رقبای هنوز با پیامدهای بحران مواجه هستند، فرصت بیشتری برای جذب تقاضا، تثبیت روابط تأمین، بازتخصیص منابع و توسعه موقعیت بازار پیدا می‌کنند.

جدول ۵

نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای کلیدی مدل عامل‌بنیان

پارامتر مدل	مقدار پایه	تغییر مورد آزمون	اثر تغییر ۲۰ درصدی کاهشی بر مزیت رقابتی	اثر تغییر ۲۰ درصدی افزایشی بر مزیت رقابتی	ضریب حساسیت استاندارد	رتبه حساسیت
شدت اختلال محیطی	۰.۵۰	۲۰± درصد	۱۱.۸+ درصد	۱۴.۷- درصد	۰.۶۶-	۱
انعطاف‌پذیری عملیاتی	۰.۶۰	۲۰± درصد	۹.۶- درصد	۱۲.۴+ درصد	۰.۵۵	۲

۳	۰.۴۵	۱۰.۱+درصد	۷.۸-درصد	۲۰±درصد	۰.۵۰	سرعت یادگیری سازمانی
۴	۰.۳۹	۸.۸+درصد	۶.۹-درصد	۲۰±درصد	۰.۵۵	تنوع‌بخشی تأمین‌کنندگان
۵	۰.۳۴	۷.۷+درصد	۶.۰-درصد	۲۰±درصد	۰.۶۰	شدت سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری
۶	-۰.۲۷	۵.۹-درصد	۴.۷+درصد	۲۰±درصد	۰.۴۰	هزینه سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری
۷	-۰.۲۱	۴.۶-درصد	۳.۸+درصد	۲۰±درصد	۰.۵۰	شدت رقابت

نتایج تحلیل حساسیت ارائه‌شده در جدول ۵ نشان داد که رفتار مدل بیش از همه نسبت به شدت اختلال محیطی حساس بود. افزایش ۲۰ درصدی شدت اختلال موجب کاهش ۱۴.۷ درصدی شاخص مزیت رقابتی شد و کاهش ۲۰ درصدی آن، مزیت رقابتی را ۱۱.۸ درصد افزایش داد. ضریب حساسیت استاندارد این پارامتر برابر با -۰.۶۶ بود و آن را در رتبه نخست قرار داد. پس از شدت اختلال، انعطاف‌پذیری عملیاتی با ضریب حساسیت ۰.۵۵، مهم‌ترین پارامتر درون‌سازمانی مدل بود؛ به‌طوری‌که افزایش ۲۰ درصدی این قابلیت موجب افزایش ۱۲.۴ درصدی مزیت رقابتی شد. سرعت یادگیری سازمانی نیز ضریب حساسیت ۰.۴۵ داشت و افزایش آن باعث شد عامل‌ها با سرعت بیشتری راهبردهای ناکارآمد را کنار گذاشته و پاسخ‌هایی را که در دوره‌های گذشته پیامدهای مطلوب‌تری ایجاد کرده بودند، تقویت کنند. تنوع‌بخشی به تأمین‌کنندگان با ضریب ۰.۳۹ و شدت سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری با ضریب ۰.۳۴ در رتبه‌های بعد قرار گرفتند. در مقابل، افزایش هزینه سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری اثر منفی بر مزیت رقابتی داشت، اما اندازه این اثر با ضریب -۰.۲۷ کمتر از اثر مثبت ناشی از خود سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری بود. این نتیجه نشان داد که حتی با در نظر گرفتن هزینه ایجاد ظرفیت‌های مازاد، انعطاف عملیاتی، سیستم‌های هشدار، تنوع تأمین و قابلیت بازیابی، منافع بلندمدت تاب‌آوری در محیط‌های پرآشفتگی می‌تواند از هزینه‌های آن بیشتر باشد. شدت رقابت نیز دارای ضریب حساسیت منفی -۰.۲۱ بود، اما اهمیت آن از پارامترهای مرتبط با اختلال و ظرفیت‌های داخلی کمتر بود. اجرای مجدد تحلیل حساسیت با مقادیر اولیه متفاوت عامل‌ها، تغییر بذر اعداد تصادفی و دامنه‌های جایگزین برای پارامترهای محیطی نیز ترتیب کلی اثرها را تغییر نداد؛ در نتیجه، جهت روابط اصلی و برتری نسبی عامل‌های دارای تاب‌آوری بالا از پایداری مناسبی برخوردار بود.

در مجموع، الگوی یافته‌های تجربی و شبیه‌سازی‌شده یک نتیجه یکپارچه را نشان داد. نخست، مهندسی تاب‌آوری در سطح داده‌های واقعی با قابلیت‌های راهبردی و مزیت رقابتی رابطه مثبت و معنی‌داری داشت و بخشی از اثر آن از طریق تقویت چابکی، انعطاف‌پذیری، نوآوری و همکاری زنجیره تأمین منتقل می‌شد. دوم، مدل عامل‌بنیان نشان داد که این رابطه در طول زمان و تحت شرایط متفاوت محیطی ثابت نیست؛ بلکه با افزایش شدت اختلال، فاصله عملکردی میان بنگاه‌های تاب‌آور و کم‌تاب‌آور افزایش می‌یابد. سوم، مزیت اصلی تاب‌آوری تنها در کاهش شدت افت اولیه خلاصه نمی‌شود، بلکه سرعت بازیابی، حفظ تداوم عملیات و توان یادگیری از اختلال نیز در شکل‌گیری مزیت رقابتی پایدار نقش دارند. چهارم، تحلیل حساسیت نشان داد که انعطاف‌پذیری عملیاتی و سرعت یادگیری در کنار شدت اختلال از مهم‌ترین محرک‌های رفتار مدل هستند. بر این اساس، یافته‌های پژوهش از این دیدگاه حمایت کردند که در صنعت مس، مهندسی تاب‌آوری زمانی می‌تواند به منبع مزیت رقابتی تبدیل شود که از سطح اقدامات واکنشی و مدیریت بحران فراتر رود و در قواعد تصمیم‌گیری راهبردی، تخصیص منابع، طراحی زنجیره تأمین و سازوکارهای یادگیری سازمانی نهادینه شود.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر، طراحی و آزمون یک مدل شبیه‌سازی عامل‌بنیان برای تبیین نقش مهندسی تاب‌آوری در ایجاد مزیت رقابتی در صنعت مس بود. یافته‌های پژوهش نشان داد که مهندسی تاب‌آوری دارای اثر مثبت و معنادار بر قابلیت‌های راهبردی و مزیت رقابتی است و بخش قابل توجهی از اثر تاب‌آوری بر عملکرد رقابتی از طریق تقویت قابلیت‌هایی مانند چابکی راهبردی، انعطاف‌پذیری عملیاتی، نوآوری و همکاری در زنجیره تأمین منتقل می‌شود. همچنین، نتایج شبیه‌سازی عامل‌بنیان نشان داد که اهمیت تاب‌آوری در شرایط عادی محدودتر است، اما با افزایش شدت اختلالات محیطی، فاصله عملکردی میان سازمان‌های دارای تاب‌آوری بالا و پایین به‌صورت قابل توجهی افزایش می‌یابد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که تاب‌آوری صرفاً یک سازوکار دفاعی برای کاهش آسیب‌های ناشی از بحران نیست، بلکه یک قابلیت راهبردی پویا است که می‌تواند مسیر دستیابی به مزیت رقابتی پایدار را در محیط‌های پیچیده و متلاطم فراهم سازد.

یکی از مهم‌ترین یافته‌های پژوهش، اثر مثبت و معنادار مهندسی تاب‌آوری بر قابلیت‌های راهبردی بود. بر اساس نتایج مدل ساختاری، افزایش سطح تاب‌آوری سازمانی با ارتقای توانایی سازمان در انطباق، بازآرایی منابع، نوآوری، واکنش سریع و مدیریت روابط شبکه‌ای همراه بود. این یافته با دیدگاه قابلیت‌های پویا هم‌راستا است که بر اهمیت توانایی سازمان برای حس کردن تغییرات محیطی، بهره‌برداری از فرصت‌ها و بازپیکربندی منابع در مواجهه با تغییرات تأکید دارد (Teece et al., 1997). از این منظر، تاب‌آوری زمانی به یک مزیت رقابتی تبدیل می‌شود که از سطح ظرفیت واکنشی فراتر رفته و به بخشی از معماری راهبردی سازمان تبدیل شود. مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که سازمان‌های تاب‌آور از طریق توسعه قابلیت‌های پویا، انعطاف‌پذیری و ظرفیت نوآوری، توان بیشتری برای حفظ عملکرد خود در محیط‌های مختل شده دارند (Iqbal et al., 2025; Musa & Enggarsyah, 2025). بنابراین، یافته حاضر نشان می‌دهد که در صنعت مس، سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری نباید به اقدامات کوتاه‌مدت مدیریت بحران محدود شود، بلکه باید به‌عنوان یک رویکرد جامع برای توسعه قابلیت‌های راهبردی مورد توجه قرار گیرد.

یافته دیگر پژوهش، نقش میانجی قابلیت‌های راهبردی در رابطه میان مهندسی تاب‌آوری و مزیت رقابتی بود. اگرچه تاب‌آوری به‌طور مستقیم بر مزیت رقابتی اثر داشت، بخش مهمی از این اثر از طریق قابلیت‌هایی مانند چابکی، نوآوری، انعطاف‌پذیری عملیاتی و همکاری شبکه‌ای منتقل شد. این نتیجه بیانگر آن است که وجود منابع تاب‌آورانه به‌تنهایی تضمین‌کننده عملکرد رقابتی نیست، بلکه سازمان باید بتواند این منابع را به قابلیت‌های عملیاتی و راهبردی تبدیل کند. یافته حاضر با مطالعاتی همسو است که نشان داده‌اند تاب‌آوری سازمانی از طریق افزایش انعطاف‌پذیری، توان تحلیل اطلاعات و قابلیت‌های مدیریتی، زمینه ایجاد مزیت رقابتی پایدار را فراهم می‌کند (Liu & Zhang, 2024; Wang et al., 2022). همچنین، پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه زنجیره تأمین نشان داده‌اند که تاب‌آوری زمانی بیشترین اثر را بر رقابت‌پذیری دارد که با قابلیت‌های مدیریتی، تحلیل داده، انعطاف سازمانی و ظرفیت تصمیم‌گیری سریع همراه شود (Munir et al., 2024; Rezaei et al., 2022). در صنعت مس، این موضوع اهمیت بیشتری دارد؛ زیرا ماهیت سرمایه‌بر، پیچیدگی شبکه تأمین و وابستگی به بازارهای جهانی باعث می‌شود که صرفاً داشتن ظرفیت تولید یا منابع فیزیکی نتواند مزیت پایدار ایجاد کند و توانایی سازمان در بازتنظیم و استفاده هوشمندانه از منابع به عامل تعیین‌کننده تبدیل شود.

نتایج شبیه‌سازی عامل‌بنیان نشان داد که اثر تاب‌آوری در شرایط مختلف محیطی یکسان نیست و با افزایش شدت اختلال، ارزش راهبردی آن افزایش می‌یابد. در سناریوی شوک ترکیبی، عامل‌های دارای سطح بالای تاب‌آوری توانستند افت عملکرد کمتری تجربه کنند، سریع‌تر بازیابی شوند و فاصله رقابتی خود را نسبت به عامل‌های کم‌تاب‌آور افزایش دهند. این یافته با مطالعاتی که تاب‌آوری را یک فرایند

چندسطحی و پویا معرفی کرده‌اند، هم‌خوانی دارد؛ زیرا تاب‌آوری در چنین رویکردی نه یک وضعیت ثابت، بلکه یک مسیر تحول مستمر در تعامل میان سازمان و محیط تلقی می‌شود (Napier et al., 2024). همچنین، پژوهش‌های مربوط به زیرساخت‌ها و سیستم‌های پیچیده نشان داده‌اند که سازمان‌ها در محیط‌های پرتلاطم زمانی قادر به حفظ عملکرد هستند که بتوانند هم‌زمان ظرفیت مقاومت، سازگاری و یادگیری را توسعه دهند (Burnard et al., 2018; Engler et al., 2018). بنابراین، یافته‌های مدل شبیه‌سازی حاضر نشان می‌دهد که ارزش واقعی مهندسی تاب‌آوری در شرایط بحرانی آشکار می‌شود؛ زیرا در دوره‌های ثابت، تفاوت میان سازمان‌های تاب‌آور و غیرتاب‌آور ممکن است محدود باشد، اما هنگام وقوع شوک، این تفاوت به یک مزیت رقابتی تعیین‌کننده تبدیل می‌شود.

یکی دیگر از یافته‌های مهم، اهمیت انعطاف‌پذیری عملیاتی و یادگیری سازمانی در نتایج تحلیل حساسیت بود. مدل نشان داد که افزایش سرعت یادگیری و توانایی بازتنظیم عملیات می‌تواند اثر قابل توجهی بر حفظ مزیت رقابتی داشته باشد. این موضوع بیانگر آن است که تاب‌آوری واقعی نه فقط به ذخیره منابع، بلکه به توانایی سازمان برای تفسیر اطلاعات، اصلاح تصمیم‌ها و تغییر مسیر در زمان مناسب وابسته است. مطالعات انجام‌شده در حوزه زنجیره تأمین نیز نشان داده‌اند که یادگیری، مدیریت ریسک و قابلیت‌های تحلیلی از مهم‌ترین عوامل تقویت‌کننده تاب‌آوری هستند و سازمان‌ها را قادر می‌سازند در برابر اختلالات پیچیده واکنش مؤثرتری نشان دهند (Chowdhury et al., 2024; Ivanov, 2022). در صنعت مس که تغییرات قیمت، محدودیت‌های تأمین و تحولات فناوری به‌صورت هم‌زمان رخ می‌دهند، توانایی یادگیری سریع و اصلاح راهبردها می‌تواند تفاوت میان سازمان‌های واکنش‌پذیر و سازمان‌های پیشرو را مشخص کند.

نتایج پژوهش همچنین اهمیت ساختار شبکه‌ای و مدیریت ریسک در زنجیره تأمین صنعت مس را تأیید کرد. تحلیل مدل نشان داد که تنوع‌بخشی تأمین‌کنندگان و همکاری شبکه‌ای از جمله عوامل مؤثر بر کاهش آسیب‌پذیری عامل‌ها بودند. این نتیجه با مطالعاتی که بر نقش شبکه‌های پیچیده در انتقال ریسک صنعت مس تأکید کرده‌اند، هماهنگ است. در زنجیره جهانی مس، وابستگی شدید میان استخراج، فرآوری، حمل‌ونقل و مصرف نهایی موجب می‌شود اختلال در یک بخش به سایر بخش‌ها منتقل شود؛ بنابراین، ایجاد شبکه‌های مقاوم و انعطاف‌پذیر اهمیت اساسی دارد (Kang et al., 2023; Song et al., 2024). همچنین، پژوهش‌های انجام‌شده درباره طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین پایدار و مقاوم در صنایع معدنی نشان داده‌اند که ترکیب مدیریت ریسک، پایداری و انعطاف‌پذیری می‌تواند عملکرد بلندمدت سازمان‌ها را بهبود دهد (Akbari-Kasgari et al., 2022; Ghamari et al., 2022). بر این اساس، یافته‌های حاضر بر ضرورت نگاه شبکه‌ای به تاب‌آوری در صنعت مس تأکید می‌کند و نشان می‌دهد که تاب‌آوری یک ویژگی صرفاً درون‌سازمانی نیست، بلکه از تعامل سازمان با تأمین‌کنندگان، شرکا و سایر ذی‌نفعان نیز شکل می‌گیرد.

از نظر روش‌شناختی نیز استفاده از مدل‌سازی عامل‌بنیان در این پژوهش امکان بررسی پویایی‌هایی را فراهم کرد که در روش‌های مقطعی کمتر قابل مشاهده هستند. مدل نشان داد که تصمیم‌های خرد سازمان‌ها، مانند سرمایه‌گذاری در تاب‌آوری، انتخاب راهبرد تأمین، افزایش انعطاف عملیاتی یا تقویت یادگیری، می‌توانند در طول زمان به پیامدهای کلان مانند حفظ سهم بازار و افزایش مزیت رقابتی منجر شوند. این یافته اهمیت استفاده از روش‌های شبیه‌سازی برای تحلیل سیستم‌های پیچیده اقتصادی و صنعتی را برجسته می‌کند. مدل‌سازی عامل‌بنیان به دلیل توانایی بازنمایی رفتار عامل‌های ناهمگن و تعاملات غیرخطی، ابزار مناسبی برای مطالعه سیستم‌هایی است که در آنها نتیجه نهایی از جمع ساده رفتار اجزا حاصل نمی‌شود (Bonabeau, 2002). همچنین، استفاده از چارچوب‌های استاندارد برای طراحی و اعتبارسنجی مدل‌های شبیه‌سازی، مانند پروتکل ODD، امکان افزایش شفافیت و قابلیت بازتولید چنین مطالعاتی را فراهم می‌کند (Grimm et al., 2020).

در مجموع، یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که مهندسی تاب‌آوری می‌تواند به‌عنوان یک سازوکار راهبردی برای ایجاد مزیت رقابتی در صنعت مس عمل کند، اما تحقق این نقش مستلزم توسعه هم‌زمان قابلیت‌های سازمانی، شبکه‌ای و فناورانه است. در شرایطی که صنعت مس با افزایش تقاضای جهانی، فشارهای زیست‌محیطی، محدودیت منابع و اختلالات زنجیره تأمین مواجه است، سازمان‌هایی موفق خواهند بود که تاب‌آوری را از یک برنامه واکنشی به یک فلسفه راهبردی برای طراحی آینده سازمان تبدیل کنند. این نتیجه با مطالعاتی که تاب‌آوری را عامل کلیدی برای تداوم عملکرد، نوآوری و رقابت‌پذیری در صنایع مختلف معرفی کرده‌اند، هم‌خوانی دارد (Pratono, 2022; Pu et al., 2023; Zapłata et al., 2024).

این پژوهش با وجود ارائه یک مدل پویا برای تحلیل نقش مهندسی تاب‌آوری در مزیت رقابتی صنعت مس، دارای محدودیت‌هایی بود. نخست، داده‌های تجربی پژوهش از دیدگاه مدیران و کارشناسان فعال در تهران گردآوری شد و ممکن است دیدگاه‌ها و تجربیات سایر مناطق جغرافیایی یا شرکت‌های بین‌المللی صنعت مس را به‌طور کامل منعکس نکند. دوم، اگرچه مدل عامل‌بنیان تلاش کرد پیچیدگی‌های محیط رقابتی را بازنمایی کند، اما مانند هر مدل شبیه‌سازی ناگزیر بر مجموعه‌ای از فرضیات و ساده‌سازی‌ها استوار است و ممکن است تمامی عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری واقعی سازمان‌ها، مانند تغییرات سیاسی، شرایط اقتصاد کلان یا رفتارهای پیش‌بینی‌نشده رقبا، در آن لحاظ نشده باشد. سوم، پارامترهای مدل بر اساس داده‌های مقطعی و ادراک خبرگان تعیین شد و تغییرات بلندمدت برخی متغیرها ممکن است در طول زمان متفاوت از مقادیر مورد استفاده در مدل رخ دهد. چهارم، پژوهش حاضر بر صنعت مس تمرکز داشت و تعمیم نتایج آن به سایر صنایع نیازمند بررسی شرایط ساختاری و محیطی هر صنعت است.

پژوهش‌های آینده می‌توانند مدل ارائه‌شده را با استفاده از داده‌های طولی واقعی شرکت‌های صنعت مس توسعه دهند تا تغییرات تاب‌آوری و مزیت رقابتی در دوره‌های زمانی مختلف به‌صورت تجربی بررسی شود. همچنین پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی، تعامل میان عوامل مختلف مانند سیاست‌های دولتی، تحولات فناوری، تغییرات زیست‌محیطی و رفتار رقبا در مدل شبیه‌سازی وارد شود. استفاده از رویکردهای ترکیبی مانند ادغام مدل عامل‌بنیان با پویایی‌شناسی سیستم‌ها، یادگیری ماشین و تحلیل شبکه می‌تواند امکان پیش‌بینی دقیق‌تر رفتار سیستم‌های پیچیده صنعتی را فراهم کند. همچنین، بررسی تطبیقی میان صنایع معدنی مختلف یا مقایسه شرکت‌های داخلی و بین‌المللی می‌تواند به شناسایی الگوهای عمومی و اختصاصی مهندسی تاب‌آوری کمک نماید.

مدیران صنعت مس می‌توانند تاب‌آوری را به‌عنوان یکی از محورهای اصلی برنامه‌ریزی راهبردی سازمان در نظر بگیرند و آن را در فرایندهای تصمیم‌گیری، سرمایه‌گذاری و توسعه قابلیت‌ها نهادینه کنند. ایجاد سیستم‌های هشدار زودهنگام، توسعه تنوع تأمین‌کنندگان، تقویت ظرفیت‌های تحلیل داده، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین، آموزش نیروی انسانی و ایجاد فرهنگ یادگیری سازمانی می‌تواند سازمان‌ها را برای مواجهه با اختلالات را افزایش دهد. همچنین، شرکت‌های فعال در صنعت مس باید از نگاه صرفاً درون‌سازمانی به تاب‌آوری فاصله گرفته و همکاری با تأمین‌کنندگان، شرکت‌های فناور، مراکز پژوهشی و سایر ذی‌نفعان را به‌عنوان بخشی از راهبرد رقابتی خود توسعه دهند. اتخاذ چنین رویکردی می‌تواند به تبدیل تاب‌آوری از یک هزینه پیشگیرانه به یک سرمایه راهبردی برای حفظ و توسعه مزیت رقابتی منجر شود.

تقدیر و تشکر

از تمامی کسانی که در انجام این مطالعه همراهی نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازن اخلاقی

در پژوهش حاضر تمامی موازن 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.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

References

- Akbari-Kasgari, M., Khademi-Zare, H., Fakhrzad, M. B., Hajiaghaei-Keshteli, M., & Honarvar, M. (2022). Designing a Resilient and Sustainable Closed-Loop Supply Chain Network in Copper Industry. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24(5), 1553-1580. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02266-x>
- Becerra, P., & Diaz, J. (2025). Supplier Selection Model Considering Sustainable and Resilience Aspects for Mining Industry. *Systems*, 13(2), 81. <https://doi.org/10.3390/systems13020081>
- Bonabeau, E. (2002). Agent-Based Modeling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(Suppl. 3), 7280-7287. <https://doi.org/10.1073/pnas.082080899>
- Burnard, K., Bhamra, R., & Tsinopoulos, C. (2018). Building Organizational Resilience: Four Configurations. *Ieee Transactions on Engineering Management*, 65(3), 351-362. <https://doi.org/10.1109/TEM.2018.2796181>
- Chipangamate, N. S., Nwaila, G. T., Bourdeau, J. E., & Zhang, S. E. (2023). Integration of Stakeholder Engagement Practices in Pursuit of Social Licence to Operate in a Modernising Mining Industry. *Resources Policy*, 85, 103851. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103851>
- Chowdhury, M. M. H., Islam, M. T., Ali, I., & Quaddus, M. (2024). The Role of Social Capital, Resilience, and Network Complexity in Attaining Supply Chain Sustainability. *Business Strategy and the Environment*, 33(3), 2621-2639. <https://doi.org/10.1002/bse.3613>
- De Marchi, M., Friedrich, F., Riedl, M., Zadek, H., & Rauch, E. (2023). Development of a Resilience Assessment Model for Manufacturing Enterprises. *Sustainability*, 15(24), 16947. <https://doi.org/10.3390/su152416947>
- Engler, E., Göge, D., & Brusch, S. (2018). ResilienceN-A Multi-Dimensional Challenge for Maritime Infrastructures. *NAŠE MORE: Znanstveni časopis za more i pomorstvo*, 65(2), 123-129. <https://doi.org/10.17818/NM/2018/2.8>
- Ghamari, R., Mahdavi-Mazdeh, M., & Ghannadpour, S. F. (2022). Resilient and Sustainable Supplier Selection via a New Framework: A Case Study from the Steel Industry. *Environment, Development and Sustainability*, 24(8), 10403-10441. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01872-5>
- Gholipour, R., Abooei, M., Piran-Nejad, A., Fazeli, M., & Alizadeh, M. (2021). Designing Governance Mechanisms under Sanctions. *Resource Management in the Law Enforcement Force*, 9(1), 67-90. <https://sid.ir/paper/964282/fa>
- Grimm, V., Railsback, S. F., Vincenot, C. E., Berger, U., Gallagher, C., DeAngelis, D. L., & Ayllón, D. (2020). The ODD Protocol for Describing Agent-Based and Other Simulation Models: A Second Update to Improve Clarity, Replication, and Structural Realism. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 23(2), 7. <https://doi.org/10.18564/jasss.4259>
- Guillén Mondragón, I. J., Rendón Trejo, A., & Morales Alquicira, A. (2022). Is Organizational Resilience a Competitive Advantage? *Mercados y Negocios*, 23(46), 57-82. <https://doi.org/10.32870/myn.vi46.7670>

- Iqbal, Y., Rehman, S. U., Akram, I., Abdulmuhsin, A. A., & Afzal, M. A. (2025). Uncovering the Relationship between Intellectual Capital, Organizational Resilience, Innovation Capacity, Risk-Taking Tolerance and Competitive Advantage in Manufacturing Context. *Business Process Management Journal*, 1-23. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-03-2025-0264>
- Ivanov, D. (2022). Viable Supply Chain Model: Integrating Agility, Resilience and Sustainability Perspectives-Lessons from and Thinking Beyond the COVID-19 Pandemic. *Annals of Operations Research*, 319(1), 1411-1431. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03640-6>
- Kang, X., Wang, M., Chen, L., & Li, X. (2023). Supply Risk Propagation of Global Copper Industry Chain Based on Multi-Layer Complex Network. *Resources Policy*, 85, 103797. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103797>
- Liu, X., & Zhang, D. (2024). Research on Impact Mechanism of Organizational Resilience on Sustainable Competitive Advantage of Enterprises. *Sustainability*, 16(16), 6954. <https://doi.org/10.3390/su16166954>
- Mahdizadeh Bahmanabad, A., Payandeh, R., & Shayesteh Asl, M. (2024). Identifying Drivers of Technological Collaboration between Large Companies and Knowledge-Based Firms: A Case Study of the National Iranian Copper Industries Company. *Management Improvement*, 1-26. <https://doi.org/10.22034/jmi.2024.420794.3028>
- Munir, M. A., Hussain, A., Farooq, M., Rehman, A. U., & Masood, T. (2024). Building Resilient Supply Chains: Empirical Evidence on Ambidexterity, Risk Management, and Analytics Capability. *Technological Forecasting and Social Change*, 200, 123146. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.123146>
- Musa, S., & Enggarsyah, D. T. (2025). Absorptive Capacity, Organizational Creativity, Organizational Agility, Organizational Resilience and Competitive Advantage in Disruptive Environments. *Journal of Strategy and Management*, 18(2), 303-325. <https://doi.org/10.1108/JSMA-10-2023-0265>
- Napier, E., Liu, S. Y., & Liu, J. (2024). Adaptive Strength: Unveiling a Multilevel Dynamic Process Model for Organizational Resilience. *Journal of Business Research*, 171, 114334. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114334>
- Pratono, A. H. (2022). The Strategic Innovation under Information Technological Turbulence: The Role of Organisational Resilience in Competitive Advantage. *Competitiveness Review*, 32(3), 475-491. <https://doi.org/10.1108/CR-03-2021-0046>
- Pu, G., Li, S., & Bai, J. (2023). Effect of Supply Chain Resilience on Firm's Sustainable Competitive Advantage: A Dynamic Capability Perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(2), 4881-4898. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22483-1>
- Rezaei, G., Hosseini, S. M. H., & Sana, S. S. (2022). Exploring the Relationship between Data Analytics Capability and Competitive Advantage: The Mediating Roles of Supply Chain Resilience and Organization Flexibility. *Sustainability*, 14(16), 10444. <https://doi.org/10.3390/su141610444>
- Song, Y., Bai, W., & Zhang, Y. (2024). Resilience Assessment of Trade Network in Copper Industry Chain and the Risk Resistance Capacity of Core Countries. *Resources Policy*, 92, 105034. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.105034>
- Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic Capabilities and Strategic Management. *Strategic management journal*, 18(7), 509-533. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199708\)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z)
- Ushie, O. J., Nwokolo, S. C., Ohiero, P. O., Iwuji, P. C., Eyime, E. E., & Ogbulezie, J. C. (2025). Resilient Strategies to Mitigate the Volatility of Copper and Aluminium Critical Mineral Demand for Net-Zero Electricity Network Production. *Sustainable Energy Research*, 12(1), 56. <https://doi.org/10.1186/s40807-025-00178-8>
- Wang, J., Chen, R., & Zhang, S. (2022). The Mediating and Moderating Effect of Organizational Resilience on Competitive Advantage: Evidence from Chinese Companies. *Sustainability*, 14(21), 13797. <https://doi.org/10.3390/su142113797>
- Zapłata, S., Muradin, M., Feliczek, P., Banach, J. K., & Sieciński, K. (2024). Organizational Resilience Opacity in the Prism of Circular Strategy-Metal Industry Manufacturing Practice. *Sustainability*, 16(23), 10517. <https://doi.org/10.3390/su162310517>