یادگیری هوشمند و تحول مدیریت

نقش تحول دیجیتال در افزایش پایداری و تاب‌آوری معادن در برابر بحران‌های زیست‌محیطی و اقتصادی

مریم فرهمند[1*]
علی یقطین[2]
مجید وفایی فرد[3]

تاریخ چاپ: ۱۰ دی ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۸ آذر ۱۴۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۱ آذر ۱۴۰۳
تاریخ ارسال: ۲۲ شهریور ۱۴۰۳

شیوه استناددهی: فرهمند، مریم.، یقطین، علی.، و وفایی‌فرد، مجید. (۱۴۰۳). نقش تحول دیجیتال در افزایش پایداری و تاب‌آوری معادن در برابر بحران‌های زیست‌محیطی و اقتصادی. *یادگیری هوشمند و تحول مدیریت*، ۲ (۴)، ۱۵-۱.

چکیده

هدف این پژوهش بررسی نقش تحول دیجیتال در ارتقای پایداری و افزایش تاب‌آوری معادن در مواجهه با بحران‌های زیست‌محیطی و اقتصادی است. پژوهش حاضر با رویکرد آمیخته و در دو بخش کیفی و کمی انجام شد. در بخش کیفی، با انجام مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ۲۰ نفر از خبرگان صنعت معدن استان تهران، ابعاد و سازوکارهای تحول دیجیتال، پایداری و تاب‌آوری استخراج گردید. در بخش کمی، داده‌ها از طریق پرسشنامه محقق‌ساخته از ۲۸۰ نفر از مدیران و کارشناسان معادن گردآوری شد و با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد تحول دیجیتال اثر مثبت و معناداری بر قابلیت مدیریت ریسک زیست‌محیطی و چابکی اقتصادی دارد. همچنین، مدیریت ریسک زیست‌محیطی پیش‌بین اصلی پایداری معادن و چابکی اقتصادی مهم‌ترین عامل تقویت تاب‌آوری سازمانی شناخته شد. اثر غیرمستقیم تحول دیجیتال بر تاب‌آوری از طریق پایداری و چابکی اقتصادی قوی‌تر از اثر مستقیم آن بود. تحول دیجیتال به‌عنوان یک راهبرد کلیدی، با تقویت ظرفیت‌های زیست‌محیطی و اقتصادی، نقش اساسی در پایداری و تاب‌آوری معادن ایفا می‌کند و بدون آن، مدیریت مؤثر بحران‌های آینده امکان‌پذیر نخواهد بود.

واژگان کلیدی: تحول دیجیتال، پایداری، تاب‌آوری سازمانی، معادن، مدیریت ریسک زیست‌محیطی، چابکی اقتصادی

مشخصات نویسندگان:

۱. گروه مدیریت صنعتی، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. گروه مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران ، ایران
۳. گروه متالوژی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

پست الکترونیکی: maryamm.farahmand@gmail.com

© ۱۴۰۳ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است.

انتشار این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی CC BY-NC 4.0 صورت گرفته است.

Intelligent Learning and Management Transformation

The Role of Digital Transformation in Enhancing the Sustainability and Resilience of Mines Against Environmental and Economic Crises

Maryam Farahmand[1]*
Ali Yaghtin[2]
Majid Vafaei Fard[3]

Submit Date: 12 September 2024
Revise Date: 01 December 2024
Accept Date: 08 December 2024
Publish Date: 30 December 2024

How to cite: Farahmand, M., Yaghtin, A., & Vafaei Fard, M. (2024). The Role of Digital Transformation in Enhancing the Sustainability and Resilience of Mines Against Environmental and Economic Crises. *Intelligent Learning and Management Transformation, 2*(4), 1-15.

Abstract

This study aims to examine the role of digital transformation in improving sustainability and strengthening the resilience of mining organizations in the face of environmental and economic crises. The research adopted a mixed-methods approach. In the qualitative phase, semi-structured interviews were conducted with 20 mining experts in Tehran to identify key dimensions of digital transformation, sustainability, and resilience. In the quantitative phase, data were collected from 280 mining managers and specialists using a researcher-developed questionnaire and analyzed through structural equation modeling. The results revealed that digital transformation has a significant positive effect on environmental risk management capability and economic agility. Environmental risk management emerged as the strongest predictor of sustainability, while economic agility played the most prominent role in enhancing organizational resilience. The indirect effects of digital transformation on resilience, mediated by sustainability and economic agility, were stronger than its direct effect. Digital transformation acts as a strategic driver of sustainable resilience in the mining sector by reinforcing environmental and economic capacities, making it an indispensable foundation for effective crisis management and long-term organizational stability.

Keywords: *Digital Transformation, Sustainability, Organizational Resilience, Mining Industry, Environmental Risk Management, Economic Agility*

Authors' Information:
maryamm.farahmand@gmail.com
1. Department of Industrial Management, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Department of Mechanics, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
3. Department of Metallurgy, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

© 2024 the authors. This is an open access article under the terms of the CC BY-NC 4.0 License.

مقدمه

تحول دیجیتال در دهه اخیر به یکی از بنیادی‌ترین پیشران‌های تغییر در ساختارهای سازمانی، صنعتی و اقتصادی جهان تبدیل شده است. این مفهوم فراتر از صرف به‌کارگیری فناوری‌های نوین اطلاعاتی بوده و دربردارنده دگرگونی عمیق در مدل‌های کسب‌وکار، فرایندهای عملیاتی، الگوهای تصمیم‌گیری، و شیوه‌های خلق ارزش در سازمان‌ها است (Aldoseri, 2024; Chen et al., 2024). در چنین بستری، صنایع مبتنی بر منابع طبیعی، به‌ویژه صنعت معدن، بیش از سایر حوزه‌ها در معرض فشارهای همزمان زیست‌محیطی، اقتصادی و نهادی قرار دارند و نیازمند بازتعریف بنیادین شیوه‌های مدیریتی و فناورانه خود هستند. ادبیات نوین توسعه پایدار نشان می‌دهد که توان بقا و رشد سازمان‌ها در محیط‌های پرتلاطم به میزان زیادی به سطح بلوغ تحول دیجیتال آن‌ها وابسته است (Hajishirzi et al., 2022; Wang & Chen, 2022).

صنعت معدن به‌عنوان یکی از ارکان اساسی رشد اقتصادی و تأمین مواد اولیه صنایع استراتژیک، همزمان یکی از اصلی‌ترین منابع تولید مخاطرات زیست‌محیطی محسوب می‌شود. استخراج غیراصولی، تخریب زیست‌بوم‌ها، تولید آلاینده‌ها، مصرف بی‌رویه انرژی و آسیب‌های اجتماعی پیرامونی، موجب شده است که این صنعت در کانون توجه سیاست‌گذاران پایداری قرار گیرد (C. Xu et al., 2023; J. Xu et al., 2023). در سال‌های اخیر، بحران‌های اقلیمی، نوسانات شدید اقتصادی، اختلال در زنجیره تأمین جهانی و فشارهای قانونی فزاینده، شرایطی ایجاد کرده‌اند که بدون ارتقای سطح تاب‌آوری سازمانی، بسیاری از بنگاه‌های معدنی توان ادامه فعالیت نخواهند داشت (Wang & Zhang, 2024; Wang et al., 2024). تاب‌آوری در این چارچوب به معنای توانایی سیستم برای پیش‌بینی، جذب، انطباق و بازیابی در برابر شوک‌های محیطی و اقتصادی است که به‌صورت مستقیم با ظرفیت‌های فناورانه و دیجیتال سازمان‌ها پیوند خورده است (Probojakti et al., 2024; Zhang et al., 2021).

تحقیقات اخیر به‌صورت فزاینده نشان می‌دهند که تحول دیجیتال نه‌تنها محرک بهره‌وری و رقابت‌پذیری اقتصادی است، بلکه نقش تعیین‌کننده‌ای در ارتقای پایداری زیست‌محیطی و اجتماعی ایفا می‌کند (Siswanti et al., 2024; Yang & Jin, 2024). فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیا صنعتی، هوش مصنوعی، تحلیل کلان‌داده، سیستم‌های پایش بلادرنگ و پلتفرم‌های تصمیم‌یار هوشمند، امکان کنترل دقیق مصرف انرژی، کاهش ضایعات، پیش‌بینی مخاطرات زیست‌محیطی و بهینه‌سازی فرایندهای استخراج را فراهم ساخته‌اند (Carpitella, 2024; C. Xu et al., 2023). این قابلیت‌ها به‌ویژه در صنایع معدنی که با عدم قطعیت‌های بالا و محیط‌های پرریسک مواجه‌اند، نقشی حیاتی در حفظ پایداری عملیاتی و افزایش تاب‌آوری ساختاری ایفا می‌کنند (Wang et al., 2024; Zhang et al., 2021).

از منظر نظری، تحول دیجیتال زمانی می‌تواند به پایداری و تاب‌آوری منجر شود که در چارچوب یک اکوسیستم مدیریتی هماهنگ شامل رهبری دیجیتال، فرهنگ سازمانی نوآور، حاکمیت شرکتی کارآمد و یادگیری سازمانی پیاده‌سازی گردد (Niţă & Guţu, 2023; Rafiei & Rahbari, 2023; Weber et al., 2022). مطالعات نشان می‌دهند که بدون وجود شایستگی‌های دیجیتال در سطوح مدیریتی،

سرمایه‌گذاری‌های فناورانه اغلب به نتایج مورد انتظار در زمینه پایداری منجر نمی‌شوند (Chen et al., 2024; Ghrbeia & Alzubi, 2024). از سوی دیگر، توسعه سرمایه انسانی دیجیتال و سواد فناورانه کارکنان به‌عنوان زیرساخت اصلی تحقق تحول دیجیتال پایدار شناخته می‌شود (Espina-Romero et al., 2024; Liović & Barišić, 2024).

در سطح سیاست‌گذاری کلان نیز، کشورها به‌طور فزاینده‌ای تحول دیجیتال را به‌عنوان ابزار راهبردی دستیابی به توسعه پایدار در نظر می‌گیرند. چارچوب‌های سیاستی جدید، همگرایی میان نوآوری دیجیتال، رشد اقتصادی سبز و تاب‌آوری سیستم‌های تولیدی را دنبال می‌کنند (Li, 2024; J. Xu et al., 2023). به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، دیجیتالی‌سازی بخش معدن می‌تواند نقشی کلیدی در کاهش شکاف‌های فناورانه، بهبود بهره‌وری منابع و افزایش شفافیت زیست‌محیطی ایفا کند (Armanfar, 2023; Nazarian-Jashnabadi et al., 2024). شواهد تجربی نشان می‌دهد که بنگاه‌هایی که سطوح بالاتری از بلوغ دیجیتال دارند، عملکرد بهتری در شاخص‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و حاکمیتی ثبت می‌کنند (Siswanti et al., 2024; Yang & Jin, 2024).

با وجود رشد چشمگیر ادبیات تحول دیجیتال و پایداری، هنوز خلأ قابل‌توجهی در مطالعات متمرکز بر صنعت معدن، به‌ویژه در زمینه تبیین سازوکارهای علی میان تحول دیجیتال، پایداری و تاب‌آوری در مواجهه با بحران‌های زیست‌محیطی و اقتصادی وجود دارد. اغلب پژوهش‌های پیشین بر صنایع تولیدی یا خدماتی متمرکز بوده‌اند (Shanti et al., 2023; C. Xu et al., 2023; Zhang, 2023) و صنعت معدن با ویژگی‌های منحصربه‌فرد ریسک، سرمایه‌گذاری سنگین، وابستگی به محیط طبیعی و حساسیت اجتماعی، کمتر مورد بررسی نظام‌مند قرار گرفته است. در حالی که ماهیت این صنعت ایجاب می‌کند که تحول دیجیتال در آن نه‌تنها به‌عنوان ابزار افزایش کارایی، بلکه به‌عنوان راهبردی برای بقای بلندمدت و مدیریت بحران‌های پیچیده نگریسته شود (Probojakti et al., 2024; Wang et al., 2024).

از منظر تجربی نیز، مطالعات نشان می‌دهند که دیجیتالی‌سازی فرایندها، یکپارچگی داده‌ها و هوشمندسازی تصمیم‌گیری، ظرفیت سازمان‌ها برای پیش‌بینی بحران‌ها، کاهش آسیب‌پذیری و تسریع بازیابی پس از شوک‌ها را به‌طور معناداری افزایش می‌دهد (Wang & Chen, 2022; Zhang et al., 2021). این ویژگی‌ها در صنعت معدن که با چرخه‌های اقتصادی ناپایدار، نوسانات قیمت جهانی، محدودیت‌های محیط‌زیستی و فشارهای اجتماعی مواجه است، اهمیت دوچندان می‌یابد (Gupta et al., 2024; Trevisan et al., 2023).

در چنین زمینه‌ای، بررسی نقش تحول دیجیتال در افزایش پایداری و تاب‌آوری معادن نه‌تنها یک ضرورت علمی بلکه یک نیاز راهبردی برای سیاست‌گذاران، مدیران صنعتی و سرمایه‌گذاران محسوب می‌شود. این پژوهش با اتکا به رویکردی نظام‌مند و تلفیقی می‌کوشد تا این خلأ دانشی را پر کرده و مدلی تجربی از روابط میان تحول دیجیتال، پایداری و تاب‌آوری در صنعت معدن ارائه دهد.

هدف پژوهش حاضر، تبیین و آزمون نقش تحول دیجیتال در ارتقای پایداری و افزایش تاب‌آوری معادن در برابر بحران‌های زیست‌محیطی و اقتصادی است.

روش‌شناسی

این پژوهش با هدف تبیین نقش تحول دیجیتال در ارتقای پایداری و تاب‌آوری معادن در برابر بحران‌های زیست‌محیطی و اقتصادی، از رویکردی کاربردی و با ماهیت توصیفی–تحلیلی انجام شده است و در چارچوب روش‌شناسی آمیخته (کیفی–کمی) طراحی گردیده است. در بخش کیفی، تمرکز اصلی بر شناسایی مؤلفه‌ها، سازوکارها و ابعاد تحول دیجیتال در صنعت معدن و پیوند آن با پایداری و تاب‌آوری بوده است و در بخش کمی، روابط میان متغیرها و میزان اثرگذاری تحول دیجیتال بر شاخص‌های پایداری و تاب‌آوری مورد آزمون تجربی قرار گرفته است. جامعه آماری پژوهش شامل مدیران، کارشناسان ارشد فنی، مهندسان بهره‌برداری، متخصصان محیط زیست و تصمیم‌گیران حوزه معادن فعال در استان تهران بوده است که به‌طور مستقیم در فرآیندهای برنامه‌ریزی، بهره‌برداری، مدیریت ریسک، ایمنی، محیط زیست و توسعه فناوری در معادن مشارکت داشته‌اند. انتخاب مشارکت‌کنندگان به‌صورت هدفمند و بر اساس معیارهایی نظیر حداقل پنج سال سابقه فعالیت حرفه‌ای در حوزه معدن، آشنایی عملی با فناوری‌های دیجیتال و مشارکت در تصمیم‌گیری‌های راهبردی صورت گرفت. در مرحله کیفی، مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته عمیق با ۲۰ نفر از خبرگان صنعت معدن تهران انجام شد و فرآیند نمونه‌گیری تا رسیدن به اشباع نظری ادامه یافت. در مرحله کمی، نمونه‌ای متشکل از ۲۸۰ نفر از کارشناسان و مدیران معادن استان تهران با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای انتخاب گردید که این حجم نمونه بر اساس فرمول کوکران و با در نظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵ درصد و خطای برآورد ۰/۰۵ تعیین شد.

گردآوری داده‌ها در این پژوهش از طریق دو ابزار اصلی انجام گرفت. در بخش کیفی، ابزار مصاحبه نیمه‌ساختاریافته بر اساس ادبیات نظری و پیشینه پژوهش طراحی شد و محورهای آن شامل وضعیت فعلی تحول دیجیتال در معادن، چالش‌ها و فرصت‌های زیست‌محیطی و اقتصادی، نقش فناوری‌های نوین در مدیریت بحران، سازوکارهای افزایش تاب‌آوری سازمانی و پیامدهای تحول دیجیتال بر پایداری عملیات معدنی بود. مصاحبه‌ها به‌صورت حضوری و در محل سازمان‌ها و شرکت‌های معدنی شهر تهران انجام شد و با رضایت آگاهانه مشارکت‌کنندگان ضبط و سپس به‌طور کامل پیاده‌سازی گردید. در بخش کمی، پرسشنامه‌ای محقق‌ساخته تدوین شد که متغیر تحول دیجیتال را در ابعاد استفاده از فناوری‌های هوشمند، سیستم‌های اطلاعاتی، اینترنت اشیا صنعتی، تحلیل کلان‌داده، اتوماسیون فرایندها و یکپارچگی دیجیتال می‌سنجید و متغیر پایداری و تاب‌آوری معادن را در ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی، عملیاتی و سازمانی ارزیابی می‌کرد. روایی محتوایی پرسشنامه با استفاده

از نظر خبرگان دانشگاهی و متخصصان صنعت معدن تأیید شد و پایایی ابزار از طریق ضریب آلفای کرونباخ مورد بررسی قرار گرفت که مقادیر به‌دست‌آمده برای تمام سازه‌ها بالاتر از حد قابل قبول گزارش شد.

تحلیل داده‌ها در این پژوهش به‌صورت مرحله‌ای و تلفیقی انجام گرفت. در مرحله کیفی، داده‌های حاصل از مصاحبه‌ها با استفاده از روش تحلیل مضمون مورد پردازش قرار گرفت و فرآیند کدگذاری باز، محوری و انتخابی به‌صورت نظام‌مند انجام شد. ابتدا مفاهیم اولیه از متن مصاحبه‌ها استخراج گردید، سپس این مفاهیم در قالب مقوله‌های محوری سامان‌دهی شد و در نهایت، الگوی مفهومی پژوهش در قالب ارتباط میان تحول دیجیتال، پایداری و تاب‌آوری معادن تدوین گردید. در بخش کمی، داده‌های حاصل از پرسشنامه با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای SPSS و SmartPLS تحلیل شد. ابتدا آمار توصیفی برای توصیف ویژگی‌های نمونه و متغیرها ارائه گردید، سپس با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری، روابط علّی میان متغیرها آزمون شد. برازش مدل با شاخص‌هایی نظیر SRMR، NFI و AVE ارزیابی گردید و معناداری مسیرها از طریق آزمون بوت‌استرپ بررسی شد. تلفیق یافته‌های کیفی و کمی در مرحله تفسیر نهایی انجام گرفت تا تصویری جامع و منسجم از نقش تحول دیجیتال در افزایش پایداری و تاب‌آوری معادن در برابر بحران‌های زیست‌محیطی و اقتصادی ارائه شود.

یافته‌ها

پیش از ارائه جداول، داده‌های گردآوری‌شده از ۲۸۰ نفر از مدیران و کارشناسان معادن و واحدهای مرتبط در استان تهران وارد نرم‌افزار شد و پس از بررسی داده‌های مفقود و الگوهای پاسخ‌گویی، تمام پرسشنامه‌های قابل استفاده برای تحلیل باقی ماند. در این بخش، ابتدا آمار توصیفی و همبستگی سازه‌های اصلی پژوهش ارائه می‌شود تا تصویری کلی از سطح تحول دیجیتال، پایداری و تاب‌آوری در نمونه مورد مطالعه به دست آید. سپس، کیفیت مدل اندازه‌گیری از نظر پایایی و روایی همگرا بررسی می‌شود، در ادامه روایی واگرا گزارش می‌گردد، و در نهایت نتایج مدل ساختاری شامل ضرایب مسیرها، اندازه اثر و قدرت تبیین مدل ارائه می‌شود.

جدول ۱. آمار توصیفی و ماتریس همبستگی سازه‌ها (n = ۲۸۰)

سازه‌ها	میانگین	انحراف معیار	۱	۲	۳	۴	۵
۱.تحول دیجیتال(DT)	۳.۷۸	۰.۶۶	—				
۲.قابلیت مدیریت ریسک زیست‌محیطی(ERM)	۳.۶۱	۰.۷۱	۰.۶۳**	—			
۳.چابکی اقتصادی(EAG)	۳.۵۴	۰.۷۴	۰.۵۸**	۰.۴۹**	—		
۴.پایداری معدن(SUS)	۳.۶۹	۰.۶۲	۰.۵۵**	۰.۶۰**	۰.۴۶**	—	
۵.تاب‌آوری معدن(RES)	۳.۷۳	۰.۶۴	۰.۵۷**	۰.۵۲**	۰.۵۹**	۰.۵۶**	—

یافته‌های جدول ۱ نشان می‌دهد میانگین تحول دیجیتال در معادن مورد مطالعه در سطح نسبتاً مطلوب قرار دارد (M = ۳.۷۸, SD = ۰.۶۶) و پایداری و تاب‌آوری نیز در محدوده بالاتر از میانه مقیاس گزارش شده‌اند (به‌ترتیب M = ۳.۶۹ و M = ۳.۷۳). همبستگی‌ها حاکی از آن است که تحول دیجیتال با پایداری (r = ۰.۵۵, p < ۰.۰۱) و تاب‌آوری (r = ۰.۵۷, p < ۰.۰۱) رابطه مثبت و معنادار دارد. همچنین، ارتباط تحول دیجیتال با قابلیت مدیریت ریسک زیست‌محیطی (r = ۰.۶۳, p < ۰.۰۱) و چابکی اقتصادی (r = ۰.۵۸, p < ۰.۰۱) قابل توجه است که به‌طور نظری از نقش فناوری‌های داده‌محور و هوشمندسازی در ارتقای مدیریت بحران‌های محیطی و اقتصادی پشتیبانی می‌کند. در سطح روابط بین‌سازه‌ای، پایداری با قابلیت مدیریت ریسک زیست‌محیطی همبستگی بالاتری دارد (r = ۰.۶۰, p < ۰.۰۱) و تاب‌آوری با چابکی اقتصادی همبستگی نسبتاً قوی‌تری نشان می‌دهد (r = ۰.۵۹, p < ۰.۰۱) که می‌تواند مؤید دو مسیر مکمل برای تاب‌آوری در برابر شوک‌ها باشد.

جدول ۲. پایایی و روایی همگرا سازه‌ها در مدل اندازه‌گیری

سازه‌ها	αکرونباخ	rho_A	پایایی ترکیبی(CR)	میانگین واریانس استخراج‌شده(AVE)
تحول دیجیتال(DT)	۰.۹۱	۰.۹۲	۰.۹۳	۰.۶۹
قابلیت مدیریت ریسک زیست‌محیطی(ERM)	۰.۸۸	۰.۸۹	۰.۹۱	۰.۶۶
چابکی اقتصادی(EAG)	۰.۸۷	۰.۸۸	۰.۹۰	۰.۶۴
پایداری معدن(SUS)	۰.۸۹	۰.۹۰	۰.۹۲	۰.۶۷
تاب‌آوری معدن(RES)	۰.۹۰	۰.۹۱	۰.۹۳	۰.۶۸

مطابق جدول ۲، شاخص‌های پایایی برای همه سازه‌ها در سطح مطلوب قرار دارد؛ آلفای کرونباخ بین ۰.۸۷ تا ۰.۹۱ و پایایی ترکیبی بین ۰.۹۰ تا ۰.۹۳ گزارش شد که نشان‌دهنده ثبات درونی مناسب ابزار و سازه‌ها است. همچنین، مقادیر AVE برای همه سازه‌ها بزرگ‌تر از ۰.۵۰ به دست آمد (۰.۶۴ تا ۰.۶۹) که بیانگر تأیید روایی همگرای سازه‌ها و کفایت تبیین واریانس شاخص‌ها توسط سازه‌های نهفته است. این نتایج نشان می‌دهد مدل اندازه‌گیری از منظر پایایی و روایی همگرا برای آزمون روابط ساختاری قابلیت اتکا دارد.

جدول ۳. روایی واگرا بر اساس نسبت هتروتریت–مونوتریت (HTMT)

سازه‌ها	DT	ERM	EAG	SUS	RES
تحول دیجیتال(DT)	—				
قابلیت مدیریت ریسک زیست‌محیطی(ERM)	۰.۷۴	—			
چابکی اقتصادی(EAG)	۰.۷۰	۰.۶۰	—		
پایداری معدن(SUS)	۰.۶۶	۰.۷۶	۰.۵۷	—	
تاب‌آوری معدن(RES)	۰.۶۸	۰.۶۴	۰.۷۳	۰.۶۹	—

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد تمامی مقادیر HTMT کمتر از آستانه‌های رایج روایی واگرا (کمتر از ۰.۸۵) هستند؛ بیشترین مقدار مربوط به رابطه قابلیت مدیریت ریسک زیست‌محیطی با پایداری است (HTMT = ۰.۷۶) و سایر نسبت‌ها در دامنه ۰.۵۷ تا ۰.۷۴ قرار دارند. این الگو

بیانگر تمایز مفهومی مناسب میان سازه‌ها است و نشان می‌دهد هر سازه، واریانس منحصربه‌فردی را توضیح می‌دهد و هم‌پوشانی مفهومی به حدی نیست که تفسیر مسیرهای ساختاری را مخدوش کند.

جدول ۴. نتایج مدل ساختاری: ضرایب مسیر، معناداری، اندازه اثر و قدرت تبیین

مسیرهای ساختاری	β	t	p	f^2
تحول دیجیتال → (DT) قابلیت مدیریت ریسک زیست‌محیطی(ERM)	۰.۶۳	۱۴.۹۲	< .۰۰۱	۰.۶۶
تحول دیجیتال → (DT) چابکی اقتصادی(EAG)	۰.۵۸	۱۲.۴۷	< .۰۰۱	۰.۵۰
قابلیت مدیریت ریسک زیست‌محیطی → (ERM) پایداری معدن(SUS)	۰.۴۴	۸.۸۶	< .۰۰۱	۰.۲۴
تحول دیجیتال → (DT) پایداری معدن(SUS)	۰.۲۷	۵.۲۱	< .۰۰۱	۰.۰۹
چابکی اقتصادی → (EAG) تاب‌آوری معدن(RES)	۰.۴۱	۸.۱۲	< .۰۰۱	۰.۲۱
پایداری معدن → (SUS) تاب‌آوری معدن(RES)	۰.۲۹	۵.۷۴	< .۰۰۱	۰.۱۱
تحول دیجیتال → (DT) تاب‌آوری معدن(RES)	۰.۱۸	۳.۶۷	< .۰۰۱	۰.۰۵

یافته‌های جدول ۴ نشان می‌دهد تحول دیجیتال به‌طور مستقیم و قوی بر قابلیت مدیریت ریسک زیست‌محیطی اثر می‌گذارد ($\beta = ۰.۶۳, t = ۱۴.۹۲, p < .۰۰۱$) و اندازه اثر آن بزرگ ارزیابی می‌شود ($f^2 = ۰.۶۶$). همچنین، اثر تحول دیجیتال بر چابکی اقتصادی معنادار و نسبتاً قوی است ($\beta = ۰.۵۸, t = ۱۲.۴۷, p < .۰۰۱; f^2 = ۰.۵۰$). در تبیین پایداری، قابلیت مدیریت ریسک زیست‌محیطی نقش پررنگ‌تری نسبت به اثر مستقیم تحول دیجیتال دارد (به‌ترتیب $\beta = ۰.۴۴$ در برابر $\beta = ۰.۲۷$) و اندازه اثر مسیر ERM → SUS در سطح متوسط گزارش شد ($f^2 = ۰.۲۴$). در تبیین تاب‌آوری، چابکی اقتصادی اثر مستقیم معناداری نشان داد ($\beta = ۰.۴۱, p < .۰۰۱; f^2 = ۰.۲۱$) و پایداری نیز به‌عنوان یک مسیر تکمیلی به افزایش تاب‌آوری کمک کرد ($\beta = ۰.۲۹, p < .۰۰۱; f^2 = ۰.۱۱$)، در حالی که اثر مستقیم تحول دیجیتال بر تاب‌آوری با وجود معناداری، کوچک‌تر است ($\beta = ۰.۱۸, p < .۰۰۱; f^2 = ۰.۰۵$) که از تقویت نقش مسیرهای غیرمستقیم و سازوکارهای میانی حمایت می‌کند. از نظر قدرت تبیین مدل نیز، توان تبیین قابلیت مدیریت ریسک زیست‌محیطی توسط تحول دیجیتال برابر با $R^2 = ۰.۴۰$، توان تبیین چابکی اقتصادی برابر با $R^2 = ۰.۳۴$، توان تبیین پایداری برابر با $R^2 = ۰.۴۹$ و توان تبیین تاب‌آوری برابر با $R^2 = ۰.۵۶$ به دست آمد که در مجموع نشان‌دهنده کفایت تبیینی مناسب مدل در تفسیر پایداری و تاب‌آوری معادن در برابر بحران‌های زیست‌محیطی و اقتصادی است.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش به‌طور منسجم نشان داد که تحول دیجیتال نقشی بنیادین در ارتقای پایداری و افزایش تاب‌آوری معادن در برابر بحران‌های زیست‌محیطی و اقتصادی ایفا می‌کند. نتایج مدل ساختاری بیانگر آن است که تحول دیجیتال به‌صورت مستقیم و معنادار بر قابلیت مدیریت ریسک زیست‌محیطی و چابکی اقتصادی اثر می‌گذارد و این دو سازه به‌عنوان مسیرهای میانجی، نقش تعیین‌کننده‌ای در تبیین پایداری

و تاب‌آوری معادن دارند. این الگو به‌روشنی مؤید آن است که فناوری‌های دیجیتال نه‌تنها کارایی عملیاتی را ارتقا می‌دهند، بلکه زیرساخت‌های شناختی و تصمیم‌گیری سازمان را برای مواجهه با محیط‌های پرتلاطم تقویت می‌کنند. این نتیجه با دیدگاه‌هایی همسو است که تحول دیجیتال را محرک اصلی توسعه پایدار و تاب‌آوری سازمانی معرفی می‌کنند (Aldoseri, 2024; Hajishirzi et al., 2022; Wang & Chen, 2022).

نخستین یافته مهم پژوهش نشان داد که تحول دیجیتال تأثیر قوی و معناداری بر قابلیت مدیریت ریسک زیست‌محیطی دارد. این نتیجه بیانگر آن است که استفاده از فناوری‌های هوشمند نظیر سیستم‌های پایش بلادرنگ، تحلیل کلان‌داده و ابزارهای پیش‌بینی، ظرفیت سازمان‌های معدنی را برای شناسایی، کنترل و کاهش مخاطرات زیست‌محیطی به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. این یافته با نتایج مطالعاتی که تحول دیجیتال را عامل کلیدی در بهبود عملکرد زیست‌محیطی و کاهش اثرات مخرب فعالیت‌های صنعتی معرفی کرده‌اند، هم‌راستا است (Carpitella, 2024; C. Xu et al., 2023; Yang & Jin, 2024). همچنین پژوهش‌های Wang نشان می‌دهد که سازمان‌هایی که از سطح بالاتری از بلوغ دیجیتال برخوردارند، در مدیریت شوک‌های محیطی و بحران‌های اکولوژیکی عملکرد پایدارتر و کم‌ریسک‌تری دارند (Wang et al., 2024). این هم‌راستایی نظری و تجربی نشان می‌دهد که تحول دیجیتال به‌عنوان ستون فقرات حکمرانی زیست‌محیطی نوین در صنعت معدن عمل می‌کند.

یافته دوم پژوهش نشان داد که تحول دیجیتال اثر مثبت و معناداری بر چابکی اقتصادی معادن دارد. چابکی اقتصادی در این پژوهش به‌عنوان توان سازمان برای تطبیق سریع با تغییرات بازار، نوسانات اقتصادی و شوک‌های مالی تعریف شد. نقش پررنگ تحول دیجیتال در تقویت این قابلیت با نتایج مطالعاتی هم‌خوانی دارد که دیجیتالی‌سازی فرایندها و مدل‌های کسب‌وکار را شرط لازم برای حفظ مزیت رقابتی در محیط‌های بی‌ثبات اقتصادی معرفی می‌کنند (Probojakti et al., 2024; Zhang, 2023). Shanti و همکاران نیز نشان دادند که بانک‌ها و صنایع دیجیتالی‌شده، در شرایط بحران اقتصادی از انعطاف‌پذیری مالی و سرعت تصمیم‌گیری بیشتری برخوردارند (Shanti et al., 2023). این نتایج تأیید می‌کند که تحول دیجیتال در صنعت معدن صرفاً یک ابزار فناورانه نیست، بلکه یک قابلیت راهبردی برای مدیریت عدم‌قطعیت‌های اقتصادی است.

در گام بعد، نتایج پژوهش نشان داد که قابلیت مدیریت ریسک زیست‌محیطی مهم‌ترین پیش‌بین پایداری معادن است. این یافته بیانگر آن است که پایداری در صنعت معدن، بیش از هر چیز در گرو توانایی سازمان در کنترل اثرات زیست‌محیطی و کاهش آسیب‌های اکولوژیکی است. این نتیجه با چارچوب‌های نظری توسعه پایدار همسو است که حفاظت از محیط زیست را هسته مرکزی پایداری صنعتی می‌دانند (Trevisan et al., 2023; J. Xu et al., 2023). همچنین Siswanti و همکاران نشان داده‌اند که تحول دیجیتال از طریق بهبود نظام‌های حاکمیت

شرکتی و عملکرد زیست‌محیطی، پایداری سازمانی را تقویت می‌کند (Siswanti et al., 2024). بنابراین یافته‌های این پژوهش، زنجیره علّی «تحول دیجیتال ← مدیریت ریسک زیست‌محیطی ← پایداری» را به‌عنوان یکی از مسیرهای اصلی بقای بلندمدت معادن تثبیت می‌کند. نتایج همچنین نشان داد که چابکی اقتصادی و پایداری هر دو به‌صورت معنادار به افزایش تاب‌آوری معادن منجر می‌شوند. تاب‌آوری در این مدل نه یک پیامد مستقیم تحول دیجیتال، بلکه حاصل هم‌افزایی ظرفیت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی سازمان است. این الگو با یافته‌های Zhang و همکاران که تاب‌آوری سازمانی را محصول هم‌زمان ساختارهای فناورانه و شایستگی‌های مدیریتی می‌دانند، مطابقت دارد (Zhang et al., 2021). Wang و Chen نیز گزارش کرده‌اند که شرکت‌هایی که به‌طور هم‌زمان بر تحول دیجیتال و توسعه قابلیت‌های عملیاتی تمرکز دارند، در برابر بحران‌ها سازگارتر و پایدارتر عمل می‌کنند (Wang & Chen, 2022). این هم‌راستایی نتایج، اعتبار بیرونی مدل مفهومی پژوهش را تقویت می‌کند.

از منظر کلان، یافته‌های پژوهش تأیید می‌کند که تحول دیجیتال در صنعت معدن نه‌تنها یک ضرورت فناورانه بلکه یک الزام راهبردی برای تحقق توسعه پایدار و تاب‌آوری ملی است. نتایج با رویکرد سیاستی Xu و همکاران که تحول دیجیتال را موتور محرک توسعه پایدار معرفی می‌کنند همسو است (J. Xu et al., 2023). همچنین پژوهش Li نشان می‌دهد که دولت‌ها با تقویت زیرساخت‌های دیجیتال می‌توانند مسیر تحول پایدار صنایع استراتژیک از جمله معدن را هموار سازند (Li, 2024). در مجموع، این پژوهش تصویری منسجم از سازوکارهای علی میان تحول دیجیتال، پایداری و تاب‌آوری در صنعت معدن ارائه می‌دهد که از پشتوانه نظری و تجربی قوی برخوردار است.

با وجود ارزش‌های علمی پژوهش حاضر، برخی محدودیت‌ها وجود دارد. نخست، داده‌ها از معادن مستقر در استان تهران گردآوری شده و تعمیم نتایج به سایر مناطق جغرافیایی نیازمند احتیاط است. دوم، استفاده از ابزار خودگزارشی ممکن است تحت تأثیر سوگیری پاسخ‌دهندگان قرار گرفته باشد. سوم، پژوهش به‌صورت مقطعی انجام شده و پویایی‌های زمانی تحول دیجیتال و تاب‌آوری در بلندمدت مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین برخی متغیرهای زمینه‌ای نظیر سیاست‌های دولتی، شرایط حقوقی و فرهنگ سازمانی می‌توانستند تصویر جامع‌تری از روابط مدل ارائه دهند که در این پژوهش لحاظ نشدند.

پژوهش‌های آینده می‌توانند با رویکرد طولی، مسیرهای تحول دیجیتال و تاب‌آوری معادن را در دوره‌های زمانی مختلف بررسی کنند. انجام مطالعات مقایسه‌ای میان استان‌ها و کشورهای مختلف نیز می‌تواند به شناسایی الگوهای بومی و بین‌المللی کمک کند. همچنین افزودن متغیرهایی نظیر رهبری دیجیتال، فرهنگ نوآوری، سیاست‌های حمایتی دولت و سرمایه انسانی دیجیتال می‌تواند مدل‌های مفهومی جامع‌تری ارائه دهد. بهره‌گیری از روش‌های کیفی عمیق مانند مطالعات موردی نیز برای کشف سازوکارهای درونی تحول دیجیتال در سازمان‌های معدنی توصیه می‌شود.

مدیران معادن باید تحول دیجیتال را در سطح راهبردی سازمان نهادینه کرده و آن را به هسته تصمیم‌گیری‌های کلان پیوند دهند. سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های داده‌محور، سیستم‌های پایش هوشمند و آموزش سرمایه انسانی دیجیتال باید در اولویت برنامه‌های توسعه قرار گیرد. همچنین تدوین چارچوب‌های یکپارچه برای مدیریت ریسک زیست‌محیطی و اقتصادی مبتنی بر فناوری می‌تواند به ارتقای پایدار تاب‌آوری معادن کمک کند. هم‌افزایی میان دولت، بخش خصوصی و مراکز علمی در توسعه اکوسیستم دیجیتال معدن، نقش کلیدی در تحقق اهداف توسعه پایدار این صنعت خواهد داشت.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافعی وجود ندارد.

موازین اخلاقی

در تمامی مراحل پژوهش حاضر اصول اخلاقی مرتبط با نشر و انجام پژوهش رعایت گردیده است.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در انجام این پژوهش ما را همراهی کردند تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

Extended Abstract

Introduction

Digital transformation has become a fundamental driver of sustainable development and organizational resilience in contemporary industrial systems. Rather than merely introducing new technologies, digital transformation represents a systemic reconfiguration of organizational structures, operational processes, business models, and decision-making architectures (Aldoseri, 2024). In resource-intensive sectors such as mining, where environmental vulnerability and economic volatility converge, digital transformation has emerged as a strategic imperative for long-term survival and competitiveness (Hajishirzi et al., 2022; Wang & Chen, 2022). Mining organizations today face unprecedented pressure arising from climate change, environmental regulations, market fluctuations, and social accountability demands, making resilience and sustainability core objectives of industrial governance (Wang et al., 2024; J. Xu et al., 2023).

Recent studies demonstrate that digital technologies—such as artificial intelligence, industrial internet of things, big-data analytics, and real-time monitoring platforms—enable firms to reduce environmental impacts,

optimize resource consumption, enhance risk management, and improve adaptive capacity (Carpitella, 2024; C. Xu et al., 2023; Yang & Jin, 2024). At the organizational level, digital transformation strengthens managerial cognition, accelerates strategic response to environmental disturbances, and supports evidence-based decision making (Chen et al., 2024; Ghrbeia & Alzubi, 2024). Moreover, digital maturity has been linked to superior environmental, social, and governance performance across industries (Armanfar, 2023; Siswanti et al., 2024).

However, much of the existing literature has focused on manufacturing, banking, and service sectors (Shanti et al., 2023; C. Xu et al., 2023; Zhang, 2023), while the mining industry—despite its strategic importance and heightened exposure to environmental and economic shocks—has received limited empirical attention. The complexity of mining operations, capital intensity, ecological sensitivity, and dependence on volatile global commodity markets amplify the necessity for digitally enabled sustainability and resilience strategies (Probojakti et al., 2024; Trevisan et al., 2023). Furthermore, leadership capability, organizational learning, governance structures, and digital culture have been shown to significantly moderate the effectiveness of digital transformation initiatives (Niţă & Guţu, 2023; Rafiei & Rahbari, 2023; Weber et al., 2022).

Policy frameworks increasingly recognize digital transformation as a cornerstone of sustainable industrial development (Li, 2024; J. Xu et al., 2023). Governments now promote digital infrastructure expansion and smart industry programs to enhance national economic resilience and environmental stewardship. In this context, understanding how digital transformation contributes to environmental sustainability and economic resilience in mining is not only a scientific necessity but also a strategic policy priority (Nazarian-Jashnabadi et al., 2024; Wang et al., 2024).

This study therefore investigates the role of digital transformation in enhancing the sustainability and resilience of mining organizations against environmental and economic crises.

Methods and Materials

This research employed a mixed-methods design integrating qualitative exploration and quantitative hypothesis testing. The study population consisted of managers, engineers, environmental specialists, and senior technical staff working in mining organizations located in Tehran. In the qualitative phase, semi-structured interviews were conducted with 20 industry experts selected through purposive sampling until theoretical saturation was achieved. The interview protocol focused on digital transformation practices, environmental risk management, crisis response mechanisms, and organizational resilience capabilities.

In the quantitative phase, a survey instrument was developed to measure digital transformation, environmental risk management capability, economic agility, sustainability, and organizational resilience. The questionnaire was distributed to 280 mining professionals selected using stratified random sampling. Data reliability and validity were evaluated using Cronbach’s alpha, composite reliability, average variance extracted, and discriminant validity tests. Structural equation modeling was employed to test the hypothesized relationships using SmartPLS and SPSS.

Findings

Descriptive analysis revealed that mining organizations exhibited moderately high levels of digital transformation, sustainability, and resilience. Correlation analysis indicated significant positive relationships among all core constructs. Digital transformation demonstrated strong associations with environmental risk management and economic agility.

Structural equation modeling confirmed that digital transformation exerted a strong and significant effect on environmental risk management capability and economic agility. Environmental risk management emerged as the strongest predictor of sustainability, while economic agility and sustainability jointly explained a substantial portion of organizational resilience. The direct effect of digital transformation on resilience was significant but weaker than its indirect effects through environmental and economic mechanisms, indicating that digital transformation primarily strengthens resilience by enhancing organizational capabilities rather than acting as a stand-alone driver.

The model exhibited strong explanatory power, with high coefficients of determination for sustainability and resilience, and robust predictive relevance.

Discussion and Conclusion

The findings provide compelling empirical evidence that digital transformation serves as a foundational enabler of sustainability and resilience in the mining sector. Rather than functioning merely as a technological upgrade, digital transformation restructures organizational intelligence, enhances risk perception, improves strategic foresight, and enables rapid adaptive responses to complex crises. The dominant mediating role of environmental risk management highlights the central importance of ecological governance in mining sustainability, while the contribution of economic agility underscores the necessity of organizational flexibility in volatile markets.

The results demonstrate that resilience in mining organizations is not produced directly by technology alone, but emerges from the interaction of digital capabilities with environmental stewardship and economic adaptability. This integrated mechanism explains why firms that invest simultaneously in digital infrastructure, environmental governance, and agile management systems are better positioned to withstand environmental disruptions and economic shocks.

From a theoretical perspective, this study advances sustainability and resilience scholarship by empirically validating a multi-pathway model linking digital transformation with environmental and economic subsystems in a high-risk industrial context. Practically, the results suggest that mining leaders must embed digital transformation within a broader governance architecture that prioritizes environmental risk management, economic flexibility, and continuous organizational learning.

In conclusion, digital transformation represents a strategic engine of sustainable resilience for the mining industry. Organizations that successfully integrate digital intelligence with environmental responsibility and

economic adaptability will achieve superior long-term stability, competitiveness, and societal legitimacy in an increasingly uncertain global landscape.

References

Aldoseri, A. (2024). AI-Powered Innovation in Digital Transformation: Key Pillars and Industry Impact. *Sustainability*, *16*(5), 1790. https://doi.org/10.3390/su16051790

Armanfar, S. (2023). Investigating the Impact of Financial Digital Transformation on Environmental Performance, Social Responsibility, and Corporate Governance. 2nd National Conference on Modern Developments in Financial, Economic, and Accounting Studies, Maragheh.

Carpitella, S. (2024). Overcoming Barriers to Digital Transformation Towards Greener Supply Chains in Automotive Paint Shop Operations. *Sustainability*, *16*(5), 1948. https://doi.org/10.3390/su16051948

Chen, A., Li, L., & Shahid, W. (2024). Digital transformation as the driving force for sustainable business performance: A moderated mediation model of market-driven business model innovation and digital leadership capabilities. *Heliyon*, *10*(8). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29509

Espina-Romero, L., Parra, D. E. R., Hurtado, H. G., Rodriguez, E. P., Arias-Montoya, F., Sánchez, J. G. N., Talavera-Aguirre, R., Corzo, J. R., & Pírela, R. A. V. (2024). The Role of Digital Transformation and Digital Competencies in Organizational Sustainability: A Study of SMEs in Lima, Peru. *Sustainability*, *16*(16), 6993. https://doi.org/10.3390/su16166993

Ghrbeia, S. B., & Alzubi, A. (2024). Building Micro-Foundations for Digital Transformation: A Moderated Mediation Model of the Interplay Between Digital Literacy and Digital Transformation. *Sustainability*, *16*(9), 3749. https://doi.org/10.3390/su16093749

Gupta, P., Lakhera, G., Sharma, M., & Joshi, S. K. (2024). Health Economics and Sustainability in the Era of Digital Transformation. 241-266. https://doi.org/10.4018/979-8-3373-0240-9.ch011

Hajishirzi, R., Costa.C, & Aparicio.M. (2022). Boosting Sustainability through Digital Transformation's Domains and Resilience. *Sustainability*, *14*, 1822. https://doi.org/10.3390/su14031822

Li, H. (2024). Impact of Digital Government on Digital Transformation of Enterprises From the Perspective of Urban Economic Sustainable Development. *Sustainability*, *16*(7), 2667. https://doi.org/10.3390/su16072667

Liović, K., & Barišić, I. (2024). Digital Transformation of the Internal Audit Function - Analysis of Technology Acceptance Factors and Perspectives of Future Development. In P. Alexandre (Ed.), *ERAZ Conference - Knowledge Based Sustainable Development: Vol 10. Conference Proceedings* (pp. 147-156). https://doi.org/10.31410/ERAZ.2024.147

Nazarian-Jashnabadi, J., Haseli, G., & Tomaskova, H. (2024). Digital transformation for the sustainabledevelopment of business intelligence goals. In *Decision Support Systems for Sustainable Computing* (pp. 169-186). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23597-9.00008-1

Niţă, V., & Guţu, I. (2023). The Role of Leadership and Digital Transformation in Higher Education Students' Work Engagement. *International journal of environmental research and public health*, *20*(6), 5124. https://doi.org/10.3390/ijerph20065124

Probojakti, W., Utami, H. N., Prasetya, A., & Riza, M. (2024). Driving Sustainable Competitive Advantage in Banking: The Role of Transformational Leadership and Digital Transformation in Organizational Agility and Corporate Resiliency. *Business Strategy and the Environment*, *34*(1), 670-689. https://doi.org/10.1002/bse.4005

Rafiei, H., & Rahbari, S. (2023). The Relationship Between Digital Transformation Leadership and Organizational Learning in Employees of Chaharmahal and Bakhtiari Province Road and Transportation Organization. First National Conference on Sustainable Development in Management, Industries, and Accounting,

Shanti, R., Siregar, H., Zulbainarni, N., & Tony. (2023). Role of Digital Transformation on Digital Business Model Banks. *Sustainability*, *15*(16293). https://doi.org/10.3390/su152316293

Siswanti, I., Riyadh, H. A., Nawangsari, L. C., Mohd Yusoff, Y., & Wibowo, M. W. (2024). The impact of digital transformation for sustainable business: The meditating role of corporate governance and financial performance. *Cogent Bus. Manag.*, *11*, 2316954. https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2316954

Trevisan, L. V., Eustachio, J. H. P. P., Dias, B. G., Filho, W. L., & Pedrozo, E. Á. (2023). Digital transformation towards sustainability in higher education: state-of-the-art and future research insights. *Environment, Development and Sustainability*. https://doi.org/10.1007/s10668-022-02874-7

Wang, B., & Zhang, Q. (2024). How does external social network affect business model innovation in the context of digital transformation: A moderated mediation model. *Journal of the Knowledge Economy*, *15*(1), 4265-4283. https://doi.org/10.1007/s13132-023-01250-8

Wang, D., & Chen, S. (2022). Digital transformation and enterprise resilience: Evidence from China. *Sustainability*, *14*, 14218. https://doi.org/10.3390/su142114218

Wang, S., Song, Y., & Zhang, W. (2024). A Study on the Impact of Digital Transformation on Green Resilience in China. *Sustainability*, *16*(5), 2189. https://doi.org/10.3390/su16052189

Weber, E., Krehl, E. H., & Büttgen, M. (2022). The Digital Transformation Leadership Framework: Conceptual and Empirical Insights Into Leadership Roles in Technology-Driven Business Environments. *Journal of Leadership Studies*, *16*(1), 6-22. https://doi.org/10.1002/jls.21810

Xu, C., Zhu, S., Yang, B., Bai-qi, M., & Yi, D. (2023). A Review of Policy Framework Research on Promoting Sustainable Transformation of Digital Innovation. *Sustainability*, *15*(9), 7169. https://doi.org/10.3390/su15097169

Xu, J., Yu, Y., Zhang, M., & Zhang, J. Z. (2023). Impacts of digital transformation on eco-innovation and sustainable performance: Evidence from Chinese manufacturing companies. *Journal of Cleaner Production*, *393*, 266-278. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136278

Yang, Q., & Jin, S. (2024). Exploring the Impact of Digital Transformation on Manufacturing Environment, Social Responsibility, and Corporate Governance Performance: The Moderating Role of Top Management Teams. *Sustainability*, *16*(11), 4342. https://doi.org/10.3390/su16114342

Zhang, J., Long, J., & Alexandra Martina Eugenie von, S. (2021). How Does Digital Transformation Improve Organizational Resilience?—Findings From PLS-SEM and fsQCA. *Sustainability*, *13*(20), 11487. https://doi.org/10.3390/su132011487

Zhang, L. (2023). Corporate Decision on Digital Transformation: The Impact of Non-Market Factors. *Sustainability*, *15*(24), 16628. https://doi.org/10.3390/su152416628