

Presenting a Model of Digital Transformation Factors in Resilient Supply Chain Management in the Circular Printing Industry

1. Manochehr Heidari^{id}: Department of Industrial Management, Ki.C, Islamic Azad University, Kish, Iran

2. Mehdi Aliakbarnia Omran^{id}*: Assistant Professor, Department of Management, Amol Institute of Higher Education, Amol, Iran

3. Mahmoud Modiri^{id}: Department of Industrial Management, ST. C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

4. Mohammad Hossein Darvish Motavali^{id}: Department of Industrial Management, WT. C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

*Corresponding Author's Email Address: Mehdiomran@amol.ac.ir

Abstract:

Presenting a Model of Digital Transformation Factors in Resilient Supply Chain Management in the Circular Printing Industry

Objective:

This study aims to design and explain a model of digital transformation factors in resilient supply chain management in the circular printing industry to enhance sustainability and agility in the face of disruptions. The research employed a sequential exploratory mixed-method design (qualitative–quantitative). In the qualitative phase, data were collected through semi-structured interviews with 20 experts, including senior managers, supply chain specialists, and academic professors in the printing industry. Data were analyzed using inductive content analysis and three-step coding (open, axial, and selective). In the quantitative phase, the fuzzy Delphi method was applied to screen the identified factors, and the fuzzy DEMATEL approach was used to determine the causal relationships and map the network of interactions among the factors and subfactors. Data collection tools included interviews and five-point Likert scale questionnaires. The qualitative findings identified four major dimensions: “transformation capacity,” “absorptive capacity,” “adaptive capacity,” and “sustainability capacity.” Quantitative analysis using fuzzy DEMATEL revealed that “transformation capacity” was the most influential factor, exerting a sequential impact on “absorptive capacity,” “adaptive capacity,” and “sustainability capacity.” Conversely, “sustainability capacity” was found to be the most affected factor, serving as a critical bottleneck for achieving long-term supply chain resilience. The final model demonstrated that enhancing transformation capacity through managerial foresight, technological risk management, and digital investment significantly improves supply chain resilience and efficiency within the circular economy framework. The proposed model highlights that strengthening digital transformation capacity can make the printing industry’s supply chain more resilient to disruptions. The integration of smart technologies and digital solutions enhances inter-organizational collaboration, accelerates recovery, and supports long-term sustainability, ultimately advancing the circular economy within the printing sector.

Keywords: Digital transformation, resilient supply chain, circular printing industry, fuzzy DEMATEL, circular economy.

How to Cite: Heidari, M., Aliakbarnia Omran, M., Modiri, M., & Darvish Motavali, M. H. (2025). Presenting a Model of Digital Transformation Factors in Resilient Supply Chain Management in the Circular Printing Industry. *Management, Education and Development in Digital Age*, 2(4), 1-16.



ارائه مدل عوامل تحول دیجیتال در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور در صنعت مدور چاپ

۱. منوچهر حیدری^{ID}: گروه مدیریت صنعتی، واحد بین المللی کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، کیش، ایران

۲. مهدی علی اکبرنیا عمران^{ID}: استادیار، گروه مدیریت، موسسه آموزش عالی آمل، آمل، ایران

۳. محمود مدیری^{ID}: گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴. محمد حسین درویش متولی^{ID}: گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: Mehdiomran@amol.ac.ir

چکیده

هدف این پژوهش، طراحی و تبیین مدل عوامل تحول دیجیتال در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور در صنعت مدور چاپ به منظور بهبود پایداری و چابکی سیستم‌های تولید در مواجهه با اختلالات است. پژوهش حاضر از نوع آمیخته اکتشافی متوالی (کیفی-کمی) است. در بخش کیفی، داده‌ها از طریق مصاحبه نیمه‌ساختار یافته با ۲۰ نفر از خبرگان صنعت چاپ، شامل مدیران ارشد، کارشناسان زنجیره تأمین و اساتید دانشگاهی گردآوری شد. روش تحلیل داده‌ها در این بخش تحلیل محتوای استقرایی و تکنیک کدگذاری سه‌مرحله‌ای (باز، محوری و انتخابی) بود. در بخش کمی، برای شناسایی و تأیید روابط علی-معلولی میان عوامل، از روش دلفی فازی برای غربالگری و از مدل دیمتل فازی برای ترسیم شبکه روابط میان عوامل و زیرعوامل استفاده شد. ابزار گردآوری داده‌ها شامل مصاحبه و پرسش‌نامه پنج‌گزینه‌ای لیکرت بود. نتایج تحلیل کیفی چهار عامل اصلی را در مدل نهایی شناسایی کرد: «ظرفیت تحول»، «ظرفیت جذب»، «ظرفیت تطبیقی» و «ظرفیت تداوم». یافته‌های کمی با روش دیمتل فازی نشان داد که «ظرفیت تحول» بیشترین اثرگذاری را دارد و به ترتیب بر «ظرفیت جذب»، «ظرفیت تطبیقی» و «ظرفیت تداوم» تأثیر می‌گذارد. همچنین مشخص شد که «ظرفیت تداوم» بیشترین اثرپذیری را دارد و به عنوان گلوگاه حیاتی برای پایداری زنجیره تأمین شناخته می‌شود. نتایج مدل‌سازی نهایی حاکی از آن است که تقویت ظرفیت تحول از طریق مدیریت آینده‌نگر، ریسک‌پذیری فناورانه و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های دیجیتال می‌تواند منجر به افزایش تاب‌آوری و کارایی زنجیره تأمین در اقتصاد مدور شود. مدل ارائه‌شده نشان می‌دهد که ارتقاء ظرفیت تحول دیجیتال می‌تواند زنجیره تأمین صنعت چاپ را در برابر اختلالات پایدارتر سازد. استفاده از فناوری‌های هوشمند و راهکارهای دیجیتال، ضمن تقویت همکاری میان اجزای زنجیره، به بهبود بازیابی، انعطاف‌پذیری و پایداری کمک می‌کند و مسیر توسعه پایدار را در صنعت مدور چاپ هموار می‌سازد.

کلیدواژه‌گان: تحول دیجیتال، زنجیره تأمین تاب‌آور، صنعت مدور چاپ، دیمتل فازی، اقتصاد مدور.

نحوه استناددهی: حیدری، منوچهر، علی‌اکبرنیا عمران، مهدی، مدیری، محمود، و درویش متولی، محمدحسین. (۱۴۰۴). ارائه مدل عوامل تحول دیجیتال در مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور در صنعت مدور چاپ. مدیریت، آموزش و توسعه در عصر دیجیتال، ۲(۴)، ۱-۱۶.



مقدمه

در دهه اخیر، تحول دیجیتال به عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی در ارتقای تاب‌آوری و پایداری زنجیره‌های تأمین در صنایع مختلف شناخته شده است. تغییرات سریع فناوری، فشارهای زیست‌محیطی و نیاز به پاسخگویی در برابر اختلالات پیچیده، موجب شده‌اند که بنگاه‌ها رویکردی پویا و فناورانه برای بازطراحی زنجیره تأمین خود اتخاذ کنند (Li et al., 2025). در این میان، صنعت چاپ به عنوان یکی از صنایع تولیدی با ساختار زنجیره تأمین پیچیده، در مواجهه با بحران‌های اقتصادی، همه‌گیری‌ها و تغییرات فناورانه، بیش از پیش نیازمند تاب‌آوری و بازسازی دیجیتالی است. از این رو، مدل‌های مبتنی بر اقتصاد مدور و فناوری‌های هوشمند به عنوان راهکارهایی مؤثر برای پایداری این صنعت مطرح شده‌اند (De Angelis, 2022).

تاب‌آوری زنجیره تأمین به عنوان قابلیت برای مقابله با اختلالات، بازیابی سریع و حفظ عملکرد مؤثر، یکی از اهداف کلیدی در مدیریت مدرن زنجیره‌های تأمین است (Tukamuhabwa et al., 2015). در این چارچوب، تحول دیجیتال نقش میانجی بین نوآوری فناورانه و چابکی سازمانی را ایفا می‌کند و با استفاده از فناوری‌های نوظهور همچون هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء، یادگیری ماشین، و بلاک‌چین، امکان مشاهده، تحلیل و تصمیم‌گیری سریع در سطح زنجیره را فراهم می‌سازد (Faruquee et al., 2021; Jain et al., 2024). مطالعات اخیر نشان داده‌اند که استفاده از فناوری‌های صنعت ۴.۰، همچون سیستم‌های سایبری-فیزیکی، چاپ سه‌بعدی و هوش مصنوعی، قابلیت بازآفرینی فرآیندهای زنجیره تأمین را برای انطباق با تغییرات بازار و اختلالات محیطی افزایش داده است (Nakandala et al., 2023; Singh et al., 2025).

در کنار مزایای فناورانه، اقتصاد مدور به عنوان رویکردی پایدار در مدیریت منابع، به بازنگری در مدل‌های زنجیره تأمین کمک می‌کند تا چرخه عمر محصولات از تولید تا بازیافت به صورت بسته و پیوسته ادامه یابد (Lotfi et al., 2022). این دیدگاه، بر بازاستفاده، بازیافت و کاهش ضایعات تأکید دارد و می‌تواند با ابزارهای دیجیتال ادغام شود تا کارایی شبکه‌های تأمین افزایش یابد (Gkountani et al., 2021). همان‌طور که بیان شده است، مدل‌های کسب‌وکار اقتصاد مدور به عنوان سیستم‌های تطبیقی پیچیده، از طریق فناوری‌های دیجیتال قادر به بهبود تاب‌آوری و پویایی هستند (De Angelis, 2022). به بیان دیگر، پیوند میان اقتصاد مدور و تحول دیجیتال می‌تواند نقش بنیادینی در ارتقای پایداری زنجیره‌های تأمین ایفا کند (Cherrafi et al., 2022).

مطالعات نشان می‌دهد که بحران‌هایی نظیر همه‌گیری کووید-۱۹ موجب افزایش تمرکز سازمان‌ها بر اهمیت دیجیتالی‌سازی و مدیریت اختلالات شده است (Elgazzar et al., 2021; Taghipour & Merimi, 2022). بسیاری از صنایع با بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال توانسته‌اند مسیرهای جایگزین برای تأمین، تولید و توزیع ایجاد کنند و از این طریق، انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری خود را افزایش دهند (Mourtzis & Panopoulos, 2022). در صنعت چاپ نیز، چالش‌هایی همچون کمبود مواد اولیه، تأخیر در تأمین، و کاهش هماهنگی میان ذینفعان، ضرورت تحول دیجیتال را بیش از پیش آشکار ساخته است (Sharifian Jazi et al., 2024). با وجود این، چنان‌که پژوهش‌های داخلی نشان داده‌اند، میزان ادغام مؤثر فناوری‌های دیجیتال در زنجیره تأمین صنعت چاپ همچنان محدود است و سیستم‌های فعلی در پیش‌بینی و مدیریت ریسک‌ها کارایی مطلوبی ندارند (Kashmiri Haq & Baqeri Ghareh Bolagh, 2024; Shirazi & Alroaia, 2024).

تحول دیجیتال، به عنوان فرآیندی راهبردی، شامل ادغام فناوری‌های دیجیتال در تمامی ابعاد زنجیره تأمین است و تأثیر چشمگیری بر افزایش شفافیت، همکاری و چابکی شبکه دارد (Alquraish, 2025). بر اساس شواهد، فناوری‌های دیجیتال می‌توانند به شناسایی الگوهای پنهان در داده‌های زنجیره تأمین کمک کنند، خطرات احتمالی را کاهش دهند و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده را تسهیل نمایند (Gao et al., 2022). به طور خاص، پژوهش‌ها بر این نکته تأکید دارند که دیجیتالی‌سازی فرایندها، با افزایش دید در زنجیره، ظرفیت پاسخدهی سریع به تغییرات را تقویت می‌کند (Centobelli et al., 2023). این امر از طریق به‌کارگیری سیستم‌های هشدار زودهنگام، الگوریتم‌های پیش‌بینی‌کننده و زیرساخت‌های داده‌محور، به بهبود کارایی عملیاتی و کاهش آسیب‌پذیری منجر می‌شود (Jeng & Tzeng, 2012).

همچنین، صنعت ۴.۰ و فناوری‌های مرتبط با آن همچون اینترنت اشیاء و رایانش ابری، زمینه‌ساز ظهور زنجیره‌های تأمین هوشمند و خودسازمان‌ده هستند که می‌توانند با حداقل مداخله انسانی و با استفاده از داده‌های بلادرنگ بهینه‌سازی شوند (Chari et al., 2022; Jain et al., 2024). این فناوری‌ها، به‌ویژه در صنایع تولیدی پیچیده مانند

چاپ، امکان پیوند میان تأمین کنندگان، تولید کنندگان، توزیع کنندگان و مشتریان را فراهم می‌آورند و موجب بهبود هماهنگی و کاهش تأخیرهای عملیاتی می‌شوند (Nakandala et al., 2023). از سوی دیگر، تحلیل شبکه‌های تأمین با استفاده از روش‌های چندمعیاره فازی مانند DEMATEL به سازمان‌ها کمک می‌کند تا روابط علی و معلولی میان عوامل مؤثر بر تاب‌آوری را شناسایی کنند و ساختار بهینه تصمیم‌گیری را طراحی نمایند (Ferrazzi et al., 2025; Modiri et al., 2019; Paul & Mahapatra, 2025).

پژوهش‌ها نشان داده‌اند که ظرفیت‌های کلیدی در تاب‌آوری زنجیره تأمین شامل تحول، جذب، تطبیق و تداوم هستند (Gaudenzi et al., 2023). ظرفیت تحول به توانایی سازمان برای ایجاد تغییر در ساختارها، فرآیندها و مدل‌های کسب‌وکار اشاره دارد که می‌تواند از طریق رهبری فناورانه و چشم‌انداز مدیریتی تقویت شود (Ghobakhloo et al., 2025). ظرفیت جذب نیز شامل قابلیت یادگیری و ادغام دانش جدید در پاسخ به تغییرات محیطی است، در حالی که ظرفیت تطبیق و تداوم بر انعطاف‌پذیری و حفظ پایداری در بلندمدت تمرکز دارد (Li et al., 2025; Yuan & Pan, 2023). مدل‌های ترکیبی مانند مدل صنعت ۴.۰ در تعامل با اقتصاد مدور، به‌طور همزمان موجب افزایش چابکی، کاهش هزینه‌ها و بهبود بهره‌وری می‌شوند (Birkel & Müller, 2025; Singh et al., 2025).

از منظر نظری، ارتباط میان تاب‌آوری زنجیره تأمین و اقتصاد مدور در چارچوب پویایی سیستم‌ها مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (De Lima et al., 2022; Kennedy & Linnenluecke, 2022). در این چارچوب، زنجیره تأمین مدور به عنوان سیستمی تطبیقی شناخته می‌شود که در برابر نوسانات محیطی مقاوم بوده و قادر به بازسازی خود است (Krstić et al., 2023). در همین راستا، ترکیب قابلیت‌های دیجیتال با اصول مدور، موجب توسعه مسیرهای جدید برای دستیابی به پایداری زیست‌محیطی و اقتصادی می‌شود (Cherrafi et al., 2022). این پیوند، از طریق بهبود همکاری بین ذینفعان و تسهیل بازتوزیع منابع در شبکه‌های تأمین، می‌تواند به کاهش اتلاف و افزایش کارایی منجر شود (Mamun, 2025).

با این حال، چالش‌هایی همچون هزینه بالای پیاده‌سازی فناوری‌های دیجیتال، کمبود نیروی انسانی متخصص، و نبود زیرساخت‌های مناسب در بسیاری از صنایع، از جمله صنعت چاپ، مانع تحقق کامل ظرفیت‌های دیجیتالی است (Sharifian Jazi et al., 2024; Shirazi & Alroaia, 2024). همچنین، نوسانات اقتصادی و سیاسی، سطح پذیرش فناوری را در سازمان‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ngo et al., 2023). پژوهش‌های اخیر بر ضرورت توسعه چارچوب‌هایی تأکید دارند که بتوانند به‌طور همزمان ابعاد فناورانه، سازمانی و محیطی تحول دیجیتال را در زنجیره تأمین مدور پوشش دهند (Mourtzis & Panopoulos, 2022; Tathavadekar, 2025).

بنابراین، با توجه به افزایش اختلالات در زنجیره تأمین، از جمله بحران‌های جهانی، کمبود منابع و تغییرات اقلیمی، ضرورت دارد تا مدل‌های جامع‌تری برای تبیین روابط میان عوامل تحول دیجیتال و تاب‌آوری زنجیره تأمین در اقتصاد مدور طراحی شود (Ethirajan et al., 2021). این مدل‌ها باید بتوانند تعاملات علی و معلولی بین ظرفیت‌های تحول، جذب، تطبیق و تداوم را مشخص سازند و به مدیران در اتخاذ تصمیم‌های استراتژیک برای تقویت پایداری و انعطاف‌پذیری کمک کنند (Gaudenzi et al., 2023).

با توجه به بررسی‌های انجام شده، شکاف قابل‌توجهی در ادبیات پژوهش در زمینه بررسی هم‌زمان تحول دیجیتال، تاب‌آوری و اقتصاد مدور در صنایع تولیدی، به ویژه در صنعت چاپ، وجود دارد. اغلب مطالعات پیشین یا صرفاً بر زنجیره تأمین دیجیتال تمرکز داشته‌اند یا به بررسی تاب‌آوری در چارچوب غیرمدور پرداخته‌اند (Chhimwal et al., 2021; Ciccullo et al., 2018). از این‌رو، این پژوهش با هدف ارائه مدل عوامل تحول دیجیتال در مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور در صنعت مدور چاپ انجام شد.

روش‌شناسی پژوهش

این مطالعه در دو بخش کیفی و کمی به ارائه مدل عوامل تحول دیجیتال در مدیریت زنجیره تأمین تاب‌آور در صنعت مدور چاپ پرداخته است. تحقیق از لحاظ نتایج پژوهش، تحقیق کاربردی-توسعه‌ای است. همچنین تحقیق بر اساس ماهیت و روش کیفی به روش تحلیل محتوا استقرائی و تکنیک کدگذاری داده‌ها و در فاز کمی از نوع علت-معلولی و تصمیم‌گیری چند معیاره فازی است.



جامعه تحقیق مشارکت‌کنندگان شامل مدیران ارشد، کارشناسان و مشاورین صنعت چاپ و اساتید دانشگاهی رشته‌های مدیریت تکنولوژی، زنجیره تامین و محیط زیست می‌باشند. روش نمونه‌گیری به صورت نمونه‌گیری غیر احتمالی هدفمند با تکنیک گلوله برفی است. در این تحقیق تعداد ۲۰ نفر از خبرگان با تکنیک نظری و گلوله برفی تا رسیدن به اشباع نظری انتخاب شده‌اند. ویژگی خبرگان شامل تحصیلات دانشگاهی مرتبط و کارشناسی ارشد به بالاتر، تجربه کاری حداقل ۱۰ سال به بالا، داشتن پست مدیریتی و تخصصی حداقل ۱۰ سال، سابقه فعالیت پژوهشی و فعالیت‌های مرتبط با موضوع مطالعه، انگیزه کافی و همکاری با محقق و در دسترس بودن است.

ابزار گردآوری داده‌ها در بخش کیفی، مصاحبه نیمه ساختار یافته با خبرگان و در بخش کمی شامل دو پرسش‌نامه است. پرسش‌نامه اول به صورت طیف ۵ گزینه‌ای لیکرت از «خیلی کم اهمیت» تا «خیلی پر اهمیت» طراحی شده است که خبرگان میزان اهمیت هر یک از عوامل شناسایی شده را جهت غربالگری بر اساس آن مشخص می‌کنند. پرسش‌نامه دوم مقایسات زوجی است که کارشناسان میزان تاثیر هر یک از عوامل را بر اساس «تاثیر ندارد»، «تاثیر کم»، «تاثیر متوسط»، «تاثیر زیاد» و «تاثیر خیلی زیاد» مشخص کرده‌اند.

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها در بخش کیفی، تحلیل محتوا است. عوامل، زیرعوامل و شاخص‌ها به ترتیب در مرحله کدگذاری انتخابی، محوری و باز استخراج شده‌اند. در بخش کمی، برای غربالگری از روش دلفی فازی استفاده شده است که در آن میزان اهمیت عوامل ارزیابی می‌شوند. برای طراحی مدل از روش دیماتل فازی^۱ استفاده شده است.

یافته‌ها

برای شناسایی عوامل، یک مصاحبه نیمه ساختار یافته با خبرگان صنعت چاپ انجام شده است. خبرگان عوامل را تشریح کرده و در مرحله کدگذاری باز از تحلیل محتوا، نکات کلیدی که بیشترین تاکید بر آن‌ها بود، شناسایی و استخراج شدند. در این مرحله ۵۳ شاخص شناسایی شدند. سپس در کدگذاری محوری برای تعیین زیرعوامل، شاخص‌هایی که با یکدیگر ارتباط معنایی مشترک داشتند در دسته‌های واحد قرار گرفتند و زیرعوامل شکل گرفت. در نهایت در مرحله کدگذاری انتخاب، حوزه‌های تئوری وسیعی جستجو شد و زیرعوامل مشترک بر اساس منطق استقراء و از جزء به کل رسیدن، دسته‌های بزرگتر را شکل دادند و عوامل اصلی مدل استخراج شدند. در این مرحله، شاخص‌ها و زیرعوامل به روش دلفی فازی غربالگری شدند. روش دلفی فازی در سه مرحله انجام شد. پاسخ‌ها جمع‌آوری شد و میانگین امتیازات در هر مرحله به دست آمد. خبرگان همچنین برخی از واژه‌ها را اصلاح و برخی دیگر را ادغام کردند. عواملی که طبق اصل پاره تو اختلاف بین پاسخ‌های خبرگان کمتر از ۰/۲ باشند و میانگین پاسخ‌ها بیشتر از ۸ بوده‌اند، تایید و سایر عوامل حذف شدند. در غربالگری به روش دلفی فازی، تعداد ۸ شاخص غیرضروری حذف و ۴۵ شاخص و ۱۲ زیرعامل تایید شدند که یافته‌های روش تحلیل محتوا در جدول ۱ آمده است:

جدول ۱. عوامل، زیرعوامل و شاخص‌های تحول دیجیتال در مدیریت زنجیره تامین تاب آور در صنعت مدور چاپ

عوامل	زیرعوامل	شاخص‌ها
ظرفیت تحول C۱	چشم انداز مدیریت	آینده نگری و چشم‌اندازهای زنجیره تامین- تعهد مدیریت به استفاده از فناوری‌های دیجیتال در توسعه محصولات/خدمات/راهکارهای جدید- چشم‌انداز مشترک و همکاری بین اعضاء شبکه تامین- سرمایه‌گذاری در فناوری‌های و مهارت‌های دیجیتال زنجیره تامین
مدیریت ریسک		مدیریت دانش و یادگیری- فرهنگ مدیریت ریسک (برنامه‌ها و تمرین‌های آمادگی)- نقش‌ها و مسئولیت‌ها- فرهنگ‌های مشارکتی و تیم‌های مدیریت بحران
توانایی تکنولوژی		بکارگیری تکنولوژی‌های پیشرفته و نوظهور صنعت نسل چهارم- ادغام فناوری دیجیتال- مدیریت و کیفیت سیستم‌های فناوری اطلاعات- توانایی امنیت و سایبری
ظرفیت جذب C۲	لجستیک هوشمند	انبارداری و ذخیره موجودی هوشمند- حمل و نقل هوشمند چندانگانه و بهینه سازی مسیر- برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی شبکه- نظارت بر تحویل‌ها و بهبود جریان اطلاعات

¹ Fuzzy DEMATEL

مشاهده داده ها	نظارت بلادرنگ بر فعالیت‌های زنجیره تأمین- یکپارچه‌سازی اطلاعات و داده‌ها بین سیستم‌ها و پلتفرم‌های مختلف زنجیره تأمین- سیستم‌های پیش‌بینی و هشدار زود هنگام و پیش‌بینی‌کننده
مشارکت	اشتراک‌گذاری و تبادل داده‌ها از طریق روابط مشارکتی رایانش ابری- سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری بین سیستم‌های زنجیره تأمین- ادغام، ارتباط و برنامه‌ریزی یکپارچه SC پیشگیرانه اختلالات
ظرفیت تطبیقی C۳	چابکی افزایش سرعت جریان اطلاعات- مدل‌های مجازی برای امکان تشخیص نقص‌ها امنیت سایبری- سیستم‌های مدیریت تقاضای تأمین
کارایی اقتصادی	نظارت و کنترل تولید و کیفیت- کاهش هزینه‌های کیفیت- پتانسیل بازیافت و نوآوری (بازسازی استفاده و بازیابی مواد تجدیدپذیر)- حلقه بازسازی و بازیافت مواد، محصولات و قطعات
انعطاف پذیری هوشمند	انعطاف پذیری در منبع‌یابی چندگانه تأمین در اقتصاد مدور- لجستیک معکوس هوشمند- انعطاف پذیری تولید از طریق ادغام سیستم‌های سایبری- فیزیکی- تنوع، جایگزینی و شخصی سازی شده تولید سیستم‌های هوشمند
ظرفیت تداوم C۴	پویایی بهینه سازی دیجیتال برای بهره وری بالا- مدل‌های کسب‌وکار جدید- کشف فرصت‌های تجاری جدید- ادغام زنجیره تأمین و مشتری
مهندسی مجدد	تنظیم مجدد شبکه‌های زنجیره تأمین- پیکربندی مشتریان با پلتفرم‌های دیجیتال- طراحی مجدد فرآیندهای یکپارچه‌سازی دیجیتالی شدن- پیکر بندی مجدد زیرساخت‌ها و تجهیزات
سرعت بازیابی	بازاریابی ترجیحات مشتری و توزیع محصولات و خدمات- فروش خدمات از طریق کانال‌های دیجیتال- سیستم یکپارچه برای پشتیبانی از اطلاعات کلیدی مشتری بهبود خدمات مشتری

پس از شناسایی عوامل و زیرعوامل، چگونگی اثرگذاری‌ها و اثرپذیری‌ها و روابط بین آن‌ها با روش دیماتل فازی تعیین شده است. بدین منظور ابتدا عوامل به صورت پرسش نامه مقایسات زوجی طراحی شد و میزان تاثیرگذاری هر یک از عوامل تحول دیجیتال در مدیریت زنجیره تأمین تاب آور در صنعت مدور چاپ مشخص شد و ماتریس مستقیم فازی عوامل و زیرعوامل شکل گرفت که در جدول ۲ و ۳ آمده است:

جدول ۲. ماتریس مستقیم فازی عوامل اصلی

	C۴			C۳			C۲			C۱		
	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L
C۱	۰.۹	۰.۷	۰.۴۵	۰.۹۵	۰.۸۵	۰.۶	۱	۰.۸۵	۰.۶	۰	۰	۰
C۲	۰.۹۵	۰.۸	۰.۵۵	۰.۹۵	۰.۷	۰.۴۵	۰	۰	۰	۰.۶	۰.۳۵	۰.۱
C۳	۱	۰.۹۵	۰.۷	۰	۰	۰	۰.۶	۰.۳۵	۰.۱	۰.۵۵	۰.۳	۰.۰۵
C۴	۰	۰	۰	۰.۵۵	۰.۳	۰.۱	۰.۹۵	۰.۷	۰.۴۵	۰.۶۵	۰.۴	۰.۱۵

جدول ۳. ماتریس مستقیم فازی زیرعوامل

	C۴۳			C۴۲			C...			C۱۲			C۱۱		
	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L	U	M	L
C۱۱	۰.۹	۰.۷۵	۰.۵	۰.۹	۰.۷۵	۰.۵	...	۰.۹۵	۰.۸۵	۰.۶	۰	۰	۰	۰	۰
C۱۲	۰.۸	۰.۶	۰.۳۵	۰.۸	۰.۶	۰.۳۵	...	۰	۰	۰	۰.۸۵	۰.۶۵	۰.۴	۰.۶۵	۰.۴
C۱۳	۰.۹	۰.۶۵	۰.۴	۰.۷	۰.۴۵	۰.۲	...	۰.۹۵	۰.۷۵	۰.۵	۰.۸	۰.۶	۰.۴	۰.۶	۰.۴
C۲۱	۱	۰.۷۵	۰.۵	۰.۹	۰.۶۵	۰.۴	...	۰.۷	۰.۴۵	۰.۲	۰.۷۵	۰.۵	۰.۲۵	۰.۵	۰.۲۵
C۲۲	۰.۸	۰.۶	۰.۳۵	۰.۹	۰.۷	۰.۴۵	...	۰.۹	۰.۷۵	۰.۵	۰.۷۵	۰.۶	۰.۳۵	۰.۶	۰.۳۵
C۲۳	۱	۰.۷۵	۰.۵	۰.۸	۰.۵	۰.۲۵	...	۰.۸	۰.۵۵	۰.۳	۰.۷	۰.۵	۰.۲۵	۰.۵	۰.۲۵
C۳۱	۱	۰.۷	۰.۴۵	۰.۹	۰.۶۵	۰.۴	...	۰.۸	۰.۶	۰.۳۵	۰.۷	۰.۴۵	۰.۲	۰.۴۵	۰.۲
C۳۲	۰.۸	۰.۵۵	۰.۳	۰.۸	۰.۵	۰.۲۵	...	۰.۶۵	۰.۴	۰.۱۵	۰.۶	۰.۳۵	۰.۱	۰.۳۵	۰.۱
C۳۳	۱	۰.۸	۰.۵۵	۱	۰.۸۵	۰.۶	...	۰.۹	۰.۷	۰.۴۵	۰.۸۵	۰.۷	۰.۴۵	۰.۷	۰.۴۵
C۴۱	۰.۹	۰.۷	۰.۴۵	۱	۰.۷	۰.۴۵	...	۰.۹۵	۰.۷	۰.۴۵	۰.۹	۰.۶۵	۰.۴	۰.۶۵	۰.۴

۰.۹	۰.۷	۰.۴۵	۰	۰	۰	...	۱	۰.۸۵	۰.۶	۰.۹	۰.۷	۰.۴۵	C _{۳۳}
۰	۰	۰	۰.۹	۰.۶۵	۰.۴	...	۰.۹	۰.۷۵	۰.۵	۰.۹	۰.۶۵	۰.۴	C _{۳۳}

پس از به دست آمدن ماتریس مستقیم فازی، آن‌ها نرمالیزه می‌شوند. بدین منظور بیشترین مقدار جمع سطرها و ستون‌ها در نظر گرفته می‌شود و سپس بازه‌های ماتریس مستقیم فازی بر آن تقسیم شده و در نهایت در ماتریس مستقیم ضرب می‌شود. پس از این مرحله، ماتریس روابط کل فازی برای عوامل و زیرعوامل به دست آمد. در نهایت برای تعیین شدت اثرگذاری و اثرپذیری‌های عوامل، مجموع ستون‌ها و سطرها را ماتریس روابط کلی به دست می‌آید که مجموع آن‌ها میزان تعامل عوامل و کسر آن‌ها خالص اثرگذاری یا اثرپذیری را نشان می‌دهد. جدول ۴ یافته‌های حاصل این مراحل را نشان می‌دهد.

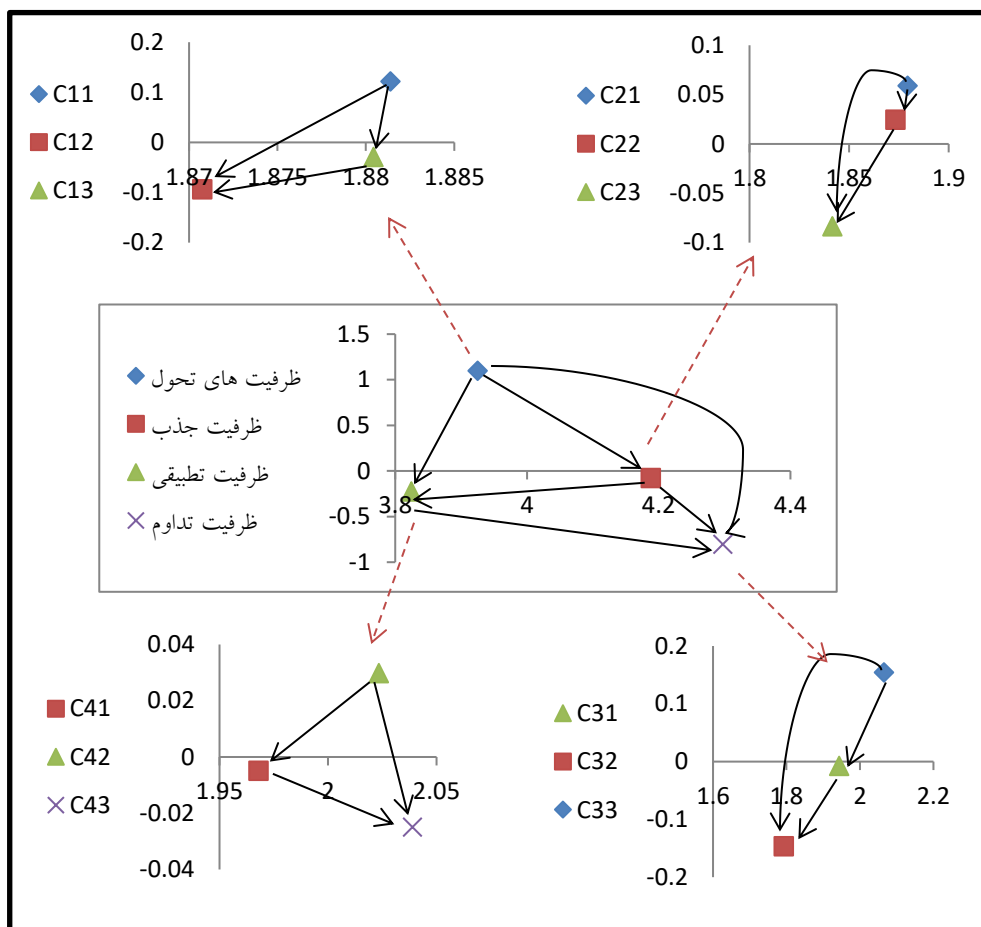
جدول ۴. تعامل و شدت اثرگذاری ها/اثرپذیری‌های عوامل و زیرعوامل تحول دیجیتال در مدیریت زنجیره تامین تاب آور در صنعت مدور چاپ

عوامل/زیرعوامل	اثرگذاری	اثرپذیری	تعامل	اثرگذاری/اثرپذیری	نتیجه
ظرفیت تحول	۲.۹۴۵	۱.۷۸	۴.۷۲۶	۱.۱۶۵	اثرگذارترین
چشم انداز مدیریت	۱.۰۰۲	۰.۸۸	۱.۸۸۱	۰.۱۲۲	اثرپذیر
مدیریت ریسک	۰.۸۸۹	۰.۹۸۲	۱.۸۷۱	-۰.۰۹۳	اثرگذار
توانایی تکنولوژی	۰.۹۲۶	۰.۹۵۵	۱.۸۸	-۰.۰۲۹	اثرپذیر
ظرفیت جذب	۲.۴۸۴	۲.۵۶۶	۵.۰۵	-۰.۰۸۱	اثرپذیر
لجستیک هوشمند	۰.۹۶۹	۰.۹۱	۱.۸۷۹	۰.۰۵۹	اثرپذیر
مشاهده داده ها	۰.۹۴۹	۰.۹۲۴	۱.۸۷۳	۰.۰۲۵	اثرپذیر
مشارکت	۰.۸۷۹	۰.۹۶۳	۱.۸۴۲	-۰.۰۸۴	اثرگذار
ظرفیت تطبیقی	۲.۱۷۵	۲.۴۴۷	۴.۶۲۲	-۰.۲۷۲	اثرپذیر
چابکی	۰.۹۶۸	۰.۹۷۶	۱.۹۴۳	-۰.۰۰۸	اثرپذیر
کارایی اقتصادی	۰.۸۲۳	۰.۹۷	۱.۷۹۲	-۰.۱۴۷	اثرپذیر
انعطاف پذیری هوشمند	۱.۱۱	۰.۹۵۵	۲.۰۶۵	۰.۱۵۴	اثرگذار
ظرفیت تداوم	۲.۱۶۲	۲.۹۷۴	۵.۱۳۵	-۰.۸۱۲	اثرپذیرترین
پویایی	۰.۹۸۲	۰.۹۸۶	۱.۹۶۸	-۰.۰۰۵	اثرگذار
مهندسی مجدد	۱.۰۲۷	۰.۹۹۷	۲.۰۲۳	۰.۰۳	اثرگذار
سرعت بازایی	۱.۰۰۷	۱.۰۳۲	۲.۰۳۹	-۰.۰۲۵	اثرپذیر

بر اساس جدول ۴ عواملی که اثرگذاری/اثرپذیری آن‌ها مقدار مثبت است، آن عامل اثرگذار و بر دیگر عوامل تاثیر قوی دارد. در بین عوامل این مطالعه، «ظرفیت تحول» با مقدار اثرگذاری ۱/۱۶۵ تأثیرگذارترین است. اما «ظرفیت تداوم» با مقدار اثرپذیری خالص برابر با ۰/۸۱۲- تأثیرپذیرترین عامل می‌باشد. علاوه بر این، سه عامل دیگر یعنی «ظرفیت تحول»، «ظرفیت جذب» و «ظرفیت تطبیقی» بر «ظرفیت تداوم» در مدیریت زنجیره تامین تاب آور در صنعت مدور چاپ تاثیر گذار هستند.

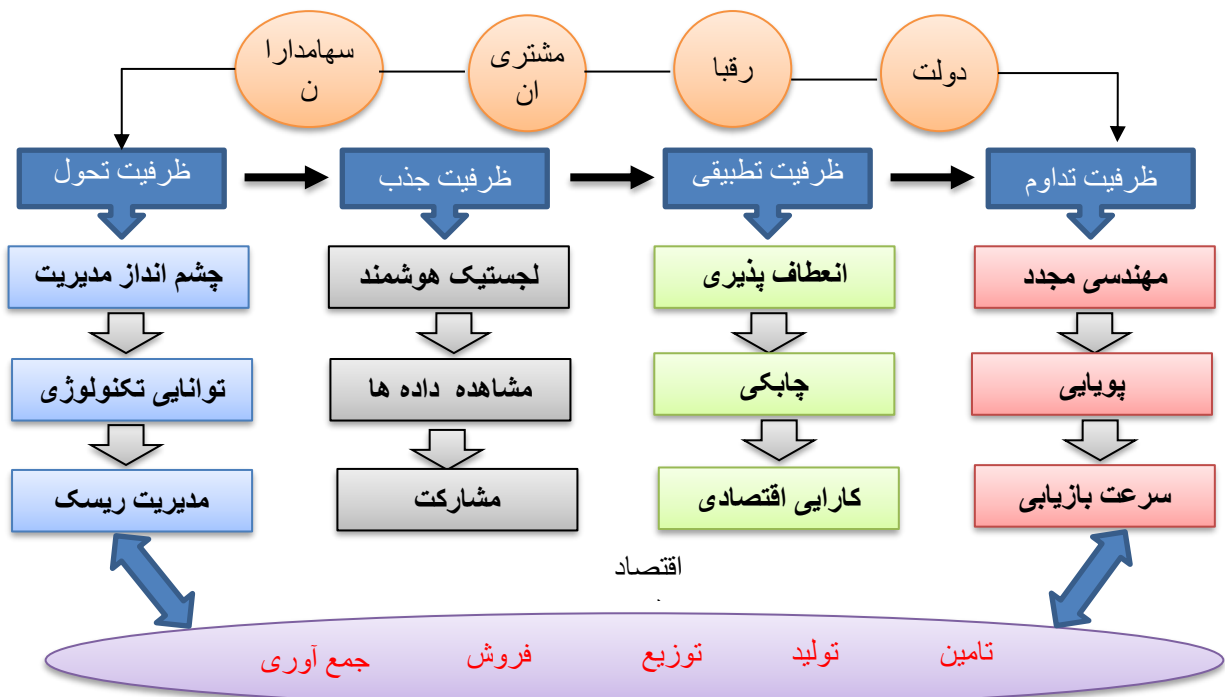
شکل ۱ نقشه شبکه روابط و چگونگی اثرگذاری‌ها و اثرپذیری‌های عوامل و زیرعوامل به صورت جهت دار نشان می‌دهد. طبق این نقشه، در بین عوامل به ترتیب «ظرفیت تحول» بر «ظرفیت جذب»، «ظرفیت تطبیقی» و «ظرفیت تداوم» نفوذگذار هستند. ظرفیت تحول چشم انداز مدیریت و آینده نگری و سناریوهای محتمل وقوع اختلالات و

ریسک‌ها را در نظر می‌گیرد و در نتیجه ظرفیت جذب تاب آوری زنجیره تامین را از طریق بهبود روش‌ها برای آمادگی بیشتر برای مقابله با اختلالات بهبود می‌دهد. از طرفی دیگر، تقویت ظرفیت جذب نیز می‌تواند انعطاف‌پذیری و چابکی زنجیره تامین را برای پاسخگویی به تقاضا را افزایش دهد. این فرآیند علت و معلولی باعث می‌شود که بهبود یک ظرفیت موجب تقویت ظرفیت‌های دیگر در زنجیره تامین تاب آور بر اساس تحول دیجیتال گردد.



شکل ۱. نقشه علی- معلولی و نقشه شبکه روابط عوامل و زیرعوامل تحول دیجیتال در مدیریت زنجیره تامین تاب آور در صنعت مدور چاپ

بنابراین با توجه به یافته‌های دیمتلفازی، شکل ۲ مدل عوامل تحول دیجیتال در مدیریت زنجیره تامین تاب آور در صنعت مدور چاپ را نشان می‌دهد. طبق این مدل، عامل «ظرفیت تحول» بر سه عامل «ظرفیت جذب»، «ظرفیت تطبیقی» و «ظرفیت تداوم» تاثیرگذار است. همچنین عامل «ظرفیت جذب» بر «ظرفیت تطبیقی» و «ظرفیت تداوم» نفوذ دارد. در نهایت عامل «ظرفیت تطبیقی» بر «ظرفیت تداوم» موثر است. این مدل، نقشه شبکه روابط، نقش ذینفعان و بهرمندان از سیستم و سیستم اقتصاد مدور که به صورت یک سیستم حلقه بسته برای زنجیره تامین تاب آور عمل می‌کند، نشان می‌دهد. این مدل بر حمایت‌های ذینفعان شامل دولت، سهامداران، مردم و رقبا در تحول دیجیتال تاکید دارد تا بتواند صنعت چاپ را به اهداف توسعه پایدار برساند. از طرفی دیگر، این مدل با تمرکز بر اقتصاد مدور شکل گرفته است. در حلقه بسته اقتصاد مدور زنجیره تامین تاب آور باید ارتباط و مشارکت بین تامین کنندگان، تولید، توزیع، فروش و جمع آوری شکل بگیرد تا بتوان حلقه بسته را در هنگام تاب آوری ایجاد کرد. در این بخش نیز فناوری‌های پیشرفته می‌توانند این ارتباط را گسترش دهند و به جریان اطلاعات سرعت ببخشند.



شکل ۲. مدل تولید شده تحول دیجیتال برای مدیریت زنجیره تامین تاب آور در اقتصاد مدور

بحث و نتیجه گیری

یافته‌های پژوهش حاضر با هدف ارائه مدل عوامل تحول دیجیتال در مدیریت زنجیره تامین تاب آور در صنعت مدور چاپ نشان داد که از میان چهار عامل اصلی شناسایی شده، «ظرفیت تحول» بیشترین میزان اثرگذاری را دارد و به ترتیب بر «ظرفیت جذب»، «ظرفیت تطبیقی» و «ظرفیت تداوم» تأثیر می‌گذارد. این نتیجه نشان می‌دهد که توانایی سازمان در ایجاد تغییرات فناورانه و بازنگری راهبردی در ساختار زنجیره تامین، مهم‌ترین پیش‌نیاز برای شکل‌گیری زنجیره‌های تامین مقاوم در برابر اختلالات است. یافته حاضر با نتایج پژوهش‌های (Li et al., 2025) و (Ghobakhloo et al., 2025) هم‌راستا است که تأکید کرده‌اند قابلیت تحول دیجیتال سازمانی از طریق سرمایه‌گذاری در فناوری‌های هوشمند و ایجاد زیرساخت‌های داده‌محور، زمینه‌ساز انعطاف‌پذیری، پایداری و کارایی در زنجیره‌های تامین جهانی است.

بر اساس مدل دیمتل فازی، اثرگذاری بالای «ظرفیت تحول» بیانگر آن است که چشم‌انداز مدیریتی، توان فناورانه و مدیریت ریسک به عنوان مؤلفه‌های اصلی این ظرفیت، موجب فعال‌سازی سایر توانمندی‌های زنجیره تامین در شرایط بحران می‌شوند. چنین یافته‌ای تأییدکننده دیدگاه (Tukamuhabwa et al., 2015) است که تاب‌آوری زنجیره تامین را حاصل برهم‌کنش میان قابلیت‌های فناورانه، سازمانی و تصمیم‌گیری دانسته است. در این راستا، (Birkel & Müller, 2025) نیز نشان داده‌اند که فناوری‌های صنعت ۴.۰ می‌توانند با هوشمندسازی جریان اطلاعات و خودکارسازی فرآیندها، زنجیره‌های تامین را تا سال ۲۰۳۵ به سیستم‌هایی خودتطبیق‌پذیر و مقاوم در برابر اختلالات تبدیل کنند. یافته‌های حاضر به‌ویژه در زمینه نقش چشم‌انداز مدیریتی در هدایت مسیر تحول دیجیتال با نتایج (Centobelli et al., 2023) همسو است که در صنعت کشتی‌سازی، تصمیم‌گیری راهبردی مدیران در زمینه دیجیتالی‌سازی را عامل اصلی موفقیت در حفظ پایداری زنجیره تامین معرفی کرده‌اند.

در تبیین یافته‌ها می‌توان گفت که «ظرفیت جذب» به عنوان دومین مؤلفه مهم در مدل، نقش واسطه‌ای میان تحول دیجیتال و تاب‌آوری ایفا می‌کند. این ظرفیت، توان سازمان در یادگیری فناورانه، ادغام داده‌ها و مدیریت روابط مشارکتی را نشان می‌دهد. یافته حاضر با مطالعه (Ngo et al., 2023) همخوانی دارد که بیان می‌کند، سازمان‌هایی که از ظرفیت جذب دیجیتال بالاتری برخوردارند، قادرند فناوری‌های جدید را سریع‌تر تطبیق دهند و در نتیجه، تأخیرهای زنجیره تامین را کاهش دهند. همچنین، (Yuan & Pan,)

(2023) تأکید کرده‌اند که ظرفیت جذب، پیوند حیاتی بین تحول دیجیتال و اجرای موفق اقتصاد مدور است؛ به گونه‌ای که شرکت‌ها از طریق یادگیری مستمر، قابلیت بازیافت، بازتولید و طراحی مجدد چرخه‌های تأمین را ارتقا می‌دهند.

در سطحی دیگر، «ظرفیت تطبیقی» در این پژوهش به عنوان عامل سوم تأثیرگذار، بیانگر توان سازمان در واکنش سریع به تغییرات محیطی و تنظیم مجدد فرآیندهای زنجیره تأمین است. بر اساس نتایج دیمتل، این ظرفیت بیشتر از طریق افزایش چابکی، کارایی اقتصادی و انعطاف‌پذیری هوشمند تقویت می‌شود. مطالعه (Gaudenzi et al., 2023) نیز چنین نتیجه‌ای را تأیید کرده است که تاب‌آوری سازمانی حاصل از ظرفیت تطبیقی، زمانی بیشترین کارایی را دارد که در ترکیب با زیرساخت‌های دیجیتال قرار گیرد. همچنین، (Nakandala et al., 2023) بر نقش فناوری‌های صنعت ۴.۰ در توسعه قابلیت‌های انطباق‌پذیر سازمانی تأکید کرده و نشان داده‌اند که این فناوری‌ها نه تنها باعث بهبود فرآیندهای تولیدی می‌شوند، بلکه توان سازمان را در پیش‌بینی و مقابله با اختلالات افزایش می‌دهند.

«ظرفیت تداوم» نیز به عنوان تأثیرپذیرترین عامل مدل، نشان‌دهنده مرحله نهایی تاب‌آوری زنجیره تأمین است که پس از بروز اختلال، بر بازیابی، پویایی و مهندسی مجدد تأکید دارد. یافته حاضر با مطالعات (De Angelis, 2022) و (Cherrafi et al., 2022) مطابقت دارد که بیان کرده‌اند، سازمان‌های دیجیتال‌شده با استفاده از تحلیل داده‌های پیش‌بینی‌کننده و شبکه‌های دیجیتال، قادرند سرعت بازیابی خود را افزایش دهند و فرآیندهای خود را پس از بحران بازطراحی کنند. در واقع، بر اساس یافته‌های این تحقیق، تداوم در زنجیره تأمین زمانی تحقق می‌یابد که سه ظرفیت دیگر (تحول، جذب و تطبیق) به اندازه کافی تقویت شده باشند و ساختارهای ارتباطی زنجیره به صورت دیجیتال و هوشمند مدیریت شوند (Li et al., 2025; Singh et al., 2025).

یکی دیگر از نتایج مهم مطالعه حاضر، تأیید نقش روابط علی بین عوامل مختلف در ساختار زنجیره تأمین تاب‌آور است. بر اساس تحلیل شبکه روابط، ظرفیت تحول به صورت مستقیم بر ظرفیت جذب و غیرمستقیم بر ظرفیت تداوم تأثیر دارد. این امر نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در فناوری‌های دیجیتال، ایجاد ساختار مدیریتی مبتنی بر آینده‌نگری، و پذیرش رویکردهای نوآورانه در رهبری، می‌تواند زنجیره تأمین را از مرحله «پاسخ واکنشی» به مرحله «مدیریت پیش‌نگر» ارتقا دهد (Chari et al., 2022). یافته مشابهی در مطالعه (Mourtzis & Panopoulos, 2022) مشاهده شده است که فرایند تحول دیجیتال را به عنوان مسیر گذار از تولید سنتی به سیستم‌های مقاوم و هوشمند تبیین کرده است.

از سوی دیگر، یافته‌های پژوهش نشان داد که «مدیریت ریسک دیجیتال» و «توانایی فناورانه» از مؤلفه‌های فرعی ظرفیت تحول هستند که نقش کلیدی در تاب‌آوری دارند. این نتیجه با مطالعات (Ethirajan et al., 2021) و (Faruquee et al., 2021) هم‌راستا است که به اهمیت روابط راهبردی با تأمین‌کنندگان، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های داده‌محور و ارتقای اعتماد دیجیتال در بهبود مدیریت ریسک اشاره کرده‌اند. همچنین، (Elgazzar et al., 2022) تأکید کرده‌اند که در شرایط بحرانی مانند همه‌گیری کرونا، سازمان‌هایی که تحول دیجیتال را به عنوان راهبرد تاب‌آوری پیاده‌سازی کردند، توانستند ساختارهای عملیاتی خود را سریع‌تر بازیابی کنند.

در تفسیر یافته‌ها می‌توان گفت که ماهیت سیستم‌های چاپ مدرن به دلیل وابستگی شدید به تأمین‌کنندگان مواد اولیه و فناوری‌های پیچیده، نیازمند مدل‌هایی است که بتوانند به شکل هم‌زمان ابعاد فناورانه، مدیریتی و زیست‌محیطی را در خود جای دهند. این یافته با پژوهش (Tathavadekar, 2025) هماهنگ است که نشان می‌دهد تلفیق استراتژی‌های اقتصاد مدور با تحول دیجیتال، می‌تواند همزمان موجب افزایش پایداری محیطی و کاهش ریسک‌های تأمین شود. همچنین، (Mamun, 2025) بیان می‌کند که فناوری‌های دیجیتال نظیر بلاک‌چین و اینترنت اشیاء از طریق افزایش شفافیت و قابلیت ردیابی در زنجیره تأمین، زمینه‌ساز شکل‌گیری زنجیره‌های مدور و تاب‌آور می‌شوند.

یافته‌های این پژوهش همچنین با مطالعه (Kennedy & Linnenluecke, 2022) هم‌سو است که بر ضرورت همگرایی دو مفهوم «اقتصاد مدور» و «تاب‌آوری» تأکید دارد. به بیان دیگر، تاب‌آوری در اقتصاد مدور زمانی محقق می‌شود که سیستم زنجیره تأمین به جای واکنش منفعلانه، از طریق فناوری‌های دیجیتال به ساختاری خودترمیم و داده‌محور تبدیل شود (Krstić et al., 2023). در همین راستا، (Lotfi et al., 2022) اشاره کرده‌اند که طراحی شبکه‌های تأمین حلقه‌بسته با در نظر گرفتن معیارهای ریسک و پایداری، می‌تواند به کاهش آسیب‌پذیری سیستم کمک کند.

از منظر روش‌شناختی، استفاده از مدل دیمتل فازی در این پژوهش امکان بررسی روابط علی و معلولی پیچیده بین عوامل را فراهم کرده است. روش‌های فازی برای درک عدم قطعیت در تصمیم‌گیری‌های کارشناسان و اولویت‌بندی دقیق عوامل مؤثر بر تاب‌آوری زنجیره تأمین بسیار کارآمد هستند (Jeng & Tzeng, 2012; Paul & Mahapatra, 2025). به کارگیری رویکرد فازی در تحلیل‌های مدیریتی، هم‌راستا با نتایج (Ferrazzi et al., 2025) است که در صنایع تولیدی نشان داده‌اند، روش‌های فازی-دیمتل به سازمان‌ها کمک می‌کنند تا روابط متقابل میان متغیرهای کلیدی را به صورت کمی شناسایی کنند. این یافته‌ها با نتایج (Modiri et al., 2019) نیز همخوانی دارد که دیمتل فازی را ابزاری قدرتمند برای تحلیل علیت در محیط‌های تصمیم‌گیری پیچیده معرفی کرده‌اند.

در جمع‌بندی، یافته‌های پژوهش حاضر تأیید می‌کند که برای ارتقای تاب‌آوری زنجیره تأمین در صنعت چاپ، تمرکز بر ظرفیت تحول دیجیتال اهمیت راهبردی دارد. سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین، توسعه مهارت‌های دیجیتال کارکنان، و نهادینه‌سازی فرهنگ یادگیری مستمر می‌تواند توان انطباق، بازیابی و پایداری سیستم را افزایش دهد. این نتیجه با مدل‌های پیشنهادی (Ghobakhloo et al., 2025) و (Singh et al., 2025) منطبق است که نشان می‌دهند صنعت ۴۰٪ و فناوری‌های مرتبط، بنیان‌گذار نسل جدیدی از زنجیره‌های تأمین پایدار هستند. همچنین، یافته‌های این پژوهش در تأکید بر نقش «ظرفیت تحول» در فعال‌سازی سایر ظرفیت‌ها، با نتایج (Chhimwal et al., 2021) و (Ciccullo et al., 2018) سازگار است که بر اهمیت هم‌افزایی میان دیجیتالی‌سازی و پایداری زیست‌محیطی تأکید کرده‌اند.

یکی از محدودیت‌های اساسی این پژوهش، تمرکز آن بر صنعت چاپ ایران و محدود بودن جامعه آماری به ۲۰ نفر از خبرگان این حوزه است؛ بنابراین، تعمیم نتایج به سایر صنایع تولیدی یا کشورهای دیگر باید با احتیاط صورت گیرد. محدودیت دیگر مربوط به ماهیت داده‌های فازی است که اگرچه امکان مدل‌سازی روابط پیچیده را فراهم می‌کند، اما به شدت وابسته به قضاوت‌های انسانی خبرگان بوده و ممکن است سوگیری ذهنی در آن وجود داشته باشد. همچنین، مدل ارائه‌شده صرفاً عوامل داخلی صنعت چاپ را در نظر گرفته است و اثرات متغیرهای بیرونی مانند سیاست‌های کلان اقتصادی، تغییرات قوانین زیست‌محیطی و تحولات بازار جهانی به‌طور مستقیم بررسی نشده‌اند. در نهایت، به دلیل زمان‌بر بودن فرایند جمع‌آوری داده‌ها در فاز کیفی و کمی، امکان بررسی پویایی متغیرها در بازه‌های زمانی بلندمدت فراهم نشد.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، مدل ارائه‌شده در صنایع دیگر نظیر بسته‌بندی، نساجی یا خودروسازی آزمون شود تا قابلیت تعمیم آن بهبود یابد. همچنین، افزودن متغیرهای بیرونی مانند سیاست‌های حمایتی دولت، وضعیت رقابت بین‌المللی و نوسانات بازار جهانی می‌تواند تصویر جامع‌تری از پویایی زنجیره تأمین ارائه دهد. استفاده از روش‌های ترکیبی پیشرفته‌تر همچون تحلیل شبکه فازی (FANP) یا مدل‌سازی معادلات ساختاری برای تأیید روابط علی شناسایی‌شده، می‌تواند دقت یافته‌ها را افزایش دهد. از سوی دیگر، مطالعات آینده می‌توانند به بررسی تأثیر عوامل فرهنگی و اجتماعی بر پذیرش تحول دیجیتال در میان کارکنان و مدیران صنعت چاپ بپردازند و مدل‌های رفتاری را در کنار مدل‌های فنی توسعه دهند.

از دیدگاه مدیریتی، پیشنهاد می‌شود مدیران صنعت چاپ با تدوین نقشه راه تحول دیجیتال، به تقویت «ظرفیت تحول» به‌عنوان عامل راهبردی بپردازند و زیرساخت‌های فناورانه خود را برای ادغام فناوری‌های نوین ارتقا دهند. همچنین لازم است برنامه‌های آموزشی برای توسعه مهارت‌های دیجیتال و داده‌محور در میان کارکنان طراحی شود تا ظرفیت جذب و تطبیق سازمان افزایش یابد. مدیران می‌توانند از طریق ایجاد سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار زودهنگام، میزان آمادگی زنجیره تأمین در مواجهه با اختلالات را ارزیابی کنند. در سطح سیاست‌گذاری، توسعه همکاری‌های بین‌سازمانی و تقویت ارتباط میان بخش خصوصی و نهادهای پژوهشی می‌تواند به افزایش کارایی و پایداری اقتصاد مدور کمک کند. در نهایت، پیشنهاد می‌شود سازمان‌ها از فناوری‌های هوشمند مانند اینترنت اشیاء، یادگیری ماشین و بلاک‌چین برای افزایش شفافیت، قابلیت ردیابی و اعتماد میان اجزای زنجیره استفاده کنند تا مسیر دستیابی به زنجیره تأمین تاب‌آور و پایدار در صنعت چاپ هموار گردد.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در طی مراحل این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.



مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

موازن اخلاقی

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

Extended Summary

Introduction

The rapid acceleration of digital transformation has reshaped the foundations of modern supply chains, creating both unprecedented opportunities and new vulnerabilities. As industrial systems face growing complexity due to globalization, technological disruption, and environmental instability, the need for resilient supply chain management has become increasingly critical (Li et al., 2025). In this context, the integration of digital technologies is no longer optional but rather a strategic imperative to enhance adaptability, visibility, and sustainability across supply chain networks (Ghobakhloo et al., 2025). Resilience—the ability of a supply chain to anticipate, absorb, recover from, and adapt to unexpected disruptions—has been widely recognized as a multidimensional capability (Tukamuhabwa et al., 2015). However, the literature highlights that traditional supply chain structures are ill-equipped to manage the dynamic challenges of the digital era, particularly in circular industries such as printing, where materials, energy, and production processes are interdependent and resource-intensive (De Angelis, 2022).

Recent research has underscored that digital transformation plays a dual role in supply chain resilience: as both an enabler of operational efficiency and a catalyst for strategic renewal (Singh et al., 2025). Technologies associated with Industry 4.0—such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), and cyber-physical systems—facilitate data-driven decision-making, predictive analytics, and real-time coordination, thereby reducing systemic risks (Nakandala et al., 2023). At the same time, these technologies enable the development of circular supply chain models, where materials are continuously reused, remanufactured, or recycled to minimize waste and maximize value retention (Lotfi et al., 2022). The integration of digital and circular paradigms thus creates an ecosystem of interconnected actors and processes capable of learning, adapting, and self-correcting under uncertainty (Kennedy & Linnenluecke, 2022).

Within this emerging paradigm, the printing industry faces unique challenges. The industry's dependence on imported materials, complex production processes, and fluctuating demand patterns makes it particularly vulnerable to supply chain



disruptions. Events such as the COVID-19 pandemic and global economic fluctuations have further amplified these vulnerabilities, exposing the lack of adaptive capacity and digital preparedness in the sector (Elgazzar et al., 2022; Taghipour & Merimi, 2021). Despite recent efforts toward digitalization, the existing digital systems in the printing industry remain fragmented, limiting their ability to predict, absorb, and recover from disruptions effectively (Sharifian Jazi et al., 2024; Shirazi & Alroaia, 2024). Consequently, the question arises: how can digital transformation enhance supply chain resilience within a circular printing industry context?

Theoretical and empirical studies suggest that the resilience of supply chains depends on the interaction of multiple capabilities, including transformation, absorptive, adaptive, and continuity capacities (Gaudenzi et al., 2023). Transformation capacity refers to the strategic and technological ability of an organization to initiate and manage digital change (Ghobakhloo et al., 2025). Absorptive capacity encompasses the ability to capture and integrate external knowledge and technologies to strengthen supply chain learning and collaboration (Yuan & Pan, 2023). Adaptive capacity represents the flexibility and agility required to reconfigure operations and respond to market or environmental shifts (Nakandala et al., 2023). Finally, continuity capacity ensures long-term recovery and sustainability by embedding digital solutions into ongoing operations (Cherrafi et al., 2022). These interrelated capacities align with the dynamic capability framework, which emphasizes how firms leverage internal and external resources to achieve resilience and competitiveness (Chari et al., 2022).

While many studies have examined the digitalization of supply chains, few have explicitly linked digital transformation to resilience within the framework of circular economy principles (De Lima et al., 2022; Mamun, 2025). Furthermore, research in developing industries—such as the Iranian printing sector—remains limited, despite its growing importance in the national manufacturing landscape. The present study, therefore, aims to develop a comprehensive model of digital transformation factors influencing resilient supply chain management in the circular printing industry. By combining qualitative and quantitative approaches, this research identifies and validates the key dimensions and interrelations of digital transformation that strengthen supply chain resilience.

Methods and Materials

This study adopted a sequential exploratory mixed-methods design comprising qualitative and quantitative phases. In the qualitative phase, data were collected through semi-structured interviews with 20 experts, including senior managers, consultants, and academic specialists in supply chain management, environmental management, and printing technology. Purposive and snowball sampling techniques were applied to ensure the inclusion of participants with at least ten years of relevant professional experience. The qualitative data were analyzed using inductive content analysis and a three-stage coding process (open, axial, and selective coding).

In the quantitative phase, two structured questionnaires were distributed among the same group of experts. The first questionnaire used a five-point Likert scale to assess the significance of identified factors, while the second utilized pairwise comparisons to determine the causal relationships among variables. The fuzzy Delphi method was applied to filter and refine the qualitative results, and the fuzzy Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) method was employed to construct a causal network map illustrating the relationships among key dimensions and sub-dimensions.

Findings

The qualitative analysis revealed four main dimensions of digital transformation affecting supply chain resilience in the circular printing industry: transformation capacity, absorptive capacity, adaptive capacity, and continuity capacity. Under these



four dimensions, twelve sub-dimensions and forty-five specific indicators were identified. The fuzzy Delphi process confirmed the importance of these indicators and removed eight nonessential ones based on consensus among experts.

The fuzzy DEMATEL analysis further established the causal relationships between the identified factors. Among the four dimensions, transformation capacity emerged as the most influential factor, exerting significant direct effects on absorptive, adaptive, and continuity capacities. The quantitative results indicated that the total influence score for transformation capacity was 1.165, confirming its dominant role in shaping overall resilience. In contrast, continuity capacity displayed the highest level of dependency, with an influence score of -0.812, suggesting it is the most outcome-oriented and vulnerable dimension.

The analysis of sub-dimensions revealed that managerial foresight, technological capability, and digital risk management were the primary drivers of transformation capacity. In the absorptive capacity dimension, smart logistics, data visibility, and collaborative partnerships played critical roles. Adaptive capacity was primarily driven by operational agility, economic efficiency, and intelligent flexibility. Finally, continuity capacity was shaped by digital dynamism, process re-engineering, and recovery speed. The causal network indicated that strengthening transformation capacity initiates a chain reaction that enhances the other three dimensions, ultimately reinforcing the resilience of the entire circular supply chain system.

Discussion and Conclusion

The results of this study confirm that digital transformation acts as the cornerstone of resilient supply chain management in the circular printing industry. The finding that transformation capacity is the most influential dimension suggests that visionary leadership, strategic investment in digital technologies, and proactive risk management are essential for initiating and sustaining resilience-oriented change. This result aligns with the dynamic capability perspective, which posits that organizations capable of sensing, seizing, and transforming opportunities in turbulent environments are more likely to maintain competitive advantage.

Moreover, the strong causal link between transformation and absorptive capacities highlights the importance of digital learning and data integration mechanisms in fostering collaboration across the supply chain. When firms effectively absorb technological knowledge and external innovations, they can improve real-time coordination, reduce lead times, and enhance supply chain visibility. Similarly, the relationship between absorptive and adaptive capacities underscores the role of flexibility and agility in translating digital insights into operational adjustments. The ability to rapidly reconfigure production systems, adopt alternative suppliers, and manage multi-channel logistics networks determines how effectively an organization can respond to disruptions.

Continuity capacity, identified as the most affected dimension, represents the ultimate measure of resilience—the extent to which the system can sustain operations and recover after disruptions. The finding that continuity depends heavily on transformation, absorptive, and adaptive capacities reinforces the view that resilience is not a static state but a dynamic and cumulative process. Once digital transformation strengthens data integration, agility, and collaboration, organizations can sustain performance even during crises.

The proposed model also underscores the significance of circular economy principles in reinforcing digital resilience. In the circular printing industry, reusing materials, adopting zero-waste practices, and extending product life cycles are deeply intertwined with digital enablers such as predictive analytics, smart logistics, and blockchain-based traceability. The convergence of circular and digital strategies thus ensures that sustainability and resilience evolve concurrently rather than as separate agendas.



From a managerial perspective, this study provides a framework for identifying which capacities should be prioritized to enhance resilience through digital transformation. Managers should first invest in transformation capacity by articulating a clear digital vision, supporting technology adoption, and fostering a culture of innovation. Second, they should strengthen absorptive capacity through training programs, data-sharing platforms, and cross-functional collaboration. Third, enhancing adaptive capacity requires reconfigurable supply chain systems and the use of AI-based forecasting tools to anticipate demand and supply fluctuations. Finally, continuity capacity can be achieved through proactive recovery planning, digital process re-engineering, and sustained monitoring of supply chain performance.

In conclusion, the findings demonstrate that digital transformation is not merely a technological upgrade but a strategic process that redefines how supply chains in circular industries operate, adapt, and thrive. By leveraging digital tools to build transformation, absorptive, adaptive, and continuity capacities, organizations in the printing sector can achieve both operational robustness and environmental sustainability. The model proposed in this study offers a comprehensive roadmap for integrating digital and circular paradigms, ensuring that supply chains become more intelligent, interconnected, and resilient in the face of future uncertainties.

References

- Alquraish, M. (2025). Digital Transformation, Supply Chain Resilience, and Sustainability: A Comprehensive Review with Implications for Saudi Arabian Manufacturing. *Sustainability*, 17(10), 4495. <https://doi.org/10.3390/su17104495>
- Birkel, H., & Müller, J. M. (2025). Resilient by nature or technology? How Industry 4.0 enhances Supply Chain Resilience until 2035. *Supply Chain Management: An International Journal*, 30(3), 304-322. <https://doi.org/10.1108/SCM-07-2023-0340>
- Centobelli, P., Cerchione, R., Maglietta, A., & Oropallo, E. (2023). Sailing through a digital and resilient shipbuilding supply chain: An empirical investigation. *Journal of Business Research*, 158, 113686. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113686>
- Chari, A., Niedenzu, D., Despeisse, M., Machado, C. G., Azevedo, J. D., Boavida-Dias, R., & Johansson, B. (2022). Dynamic capabilities for circular manufacturing supply chains-Exploring the role of Industry 4.0 and resilience. *Business Strategy and the Environment*, 31(5), 2500-2517. <https://doi.org/10.1002/bse.3040>
- Cherrafi, A., Chiarini, A., Belhadi, A., El Baz, J., & Chaouni Benabdellah, A. (2022). Digital technologies and circular economy practices: vital enablers to support sustainable and resilient supply chain management in the post-COVID-19 era. *The TQM Journal*, 34(7), 179-202. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2021-0374>
- Chhimwal, M., Agrawal, S., & Kumar, G. (2021). Measuring circular supply chain risk: A bayesian network methodology. *Sustainability*, 13(15), 8448. <https://doi.org/10.3390/su13158448>
- Ciccullo, F., Pero, M., Caridi, M., Gosling, J., & Purvis, L. (2018). Integrating the environmental and social sustainability pillars into the lean and agile supply chain management paradigms: A literature review and future research directions. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2336-2350. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.176>
- De Angelis, R. (2022). Circular economy business models as resilient complex adaptive systems. *Business Strategy and the Environment*, 31(5), 2245-2255. <https://doi.org/10.1002/bse.3019>
- De Lima, F. A., Seuring, S., & Sauer, P. C. (2022). A systematic literature review exploring uncertainty management and sustainability outcomes in circular supply chains. *International Journal of Production Research*, 60(19), 6013-6046. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1976859>
- Elgazzar, Y., El-Shahawy, R., & Senousy, Y. (2022). The role of digital transformation in enhancing business resilience with pandemic of COVID-19. In *Digital transformation technology: Proceedings of ITAF 2020* (pp. 323-333). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2275-5_20
- Ethirajan, M., Arasu M, T., Kandasamy, J., Kek, V., Nadeem, S. P., & Kumar, A. (2021). Analysing the risks of adopting circular economy initiatives in manufacturing supply chains. *Business Strategy and the Environment*, 30(1), 204-236. <https://doi.org/10.1002/bse.2617>
- Faruquee, M., Paulraj, A., & Irawan, C. A. (2021). Strategic supplier relationships and supply chain resilience: is digital transformation that precludes trust beneficial? *International Journal of Operations & Production Management*, 41(7), 1192-1219. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-10-2020-0702>
- Ferrazzi, M., Costa, F., Frecassetti, S., & Portioli-Staudacher, A. (2025). Unlocking synergies in lean manufacturing for enhanced environmental performance: a cross-sector investigation through fuzzy DEMATEL. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 100219. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2025.100219>
- Gao, Y., Leng, Y., & Shan, B. (2022). Control Supply Chain Risks in Digital Transformation: A New Way to Improve Supply Chain Resilience. *Journal of Organizational and End User Computing (JOEUC)*, 34(7), 1-18. <https://doi.org/10.4018/JOEUC.298680>



- Gaudenzi, B., Pellegrino, R., & Confente, I. (2023). Achieving supply chain resilience in an era of disruptions: a configuration approach of capacities and strategies. *Supply Chain Management: An International Journal*, 28(7), 97-111. <https://doi.org/10.1108/SCM-09-2022-0383>
- Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Foroughi, B., Tseng, M. L., Nikbin, D., & Khanfar, A. A. (2025). Industry 4.0 digital transformation and opportunities for supply chain resilience: a comprehensive review and a strategic roadmap. *Production Planning & Control*, 36(1), 61-91. <https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2252376>
- Gkountani, V. A., Tsoulfas, G. T., & Rachaniotis, N. P. (2021). Circular economy and resilience: convergences and deviations in the case of agri-food supply chains. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/899/1/012001>
- Jain, N. K., Chakraborty, K., & Choudhary, P. (2024). Building supply chain resilience through industry 4.0 base technologies: Role of supply chain visibility and environmental dynamism. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 39(8), 1750-1763. <https://doi.org/10.1108/JBIM-09-2023-0550>
- Jeng, D., & Tzeng, G. H. (2012). Social Influence on the Use of Clinical Decision Support Systems: Revisiting the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology by the Fuzzy DEMATEL Technique. *Computers & Industrial Engineering*, 819-828. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.12.016>
- Kashmiri Haq, M. A., & Baqeri Ghareh Bolagh, H. (2024). A Reflection on the Role of Artificial Intelligence (AI) Adoption and Digital Transformation on Supply Chain Resilience and Value Co-creation: The Moderating Role of Market Uncertainty. *Supply chain management*, 26(85), 35-46. https://scmj.ihu.ac.ir/article_209725_9144a37da5e8e163dbe571e10cdfbd75.pdf
- Kennedy, S., & Linnenluecke, M. K. (2022). Circular economy and resilience: A research agenda. *Business Strategy and the Environment*, 31(6), 2754-2765. <https://doi.org/10.1002/bse.3004>
- Krstić, M., Elia, V., Agnusdei, G. P., De Leo, F., Tadić, S., & Miglietta, P. P. (2023). Evaluation of the agri-food supply chain risks: the circular economy context. *British Food Journal*. <https://doi.org/10.1108/BFJ-12-2022-1116>
- Li, P., Chen, Y., & Guo, X. (2025). Digital transformation and supply chain resilience. *International Review of Economics & Finance*, 99, 104033. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2025.104628>
- Lotfi, R., Nazarpour, H., Gharehbaghi, A., Sarkhosh, S. M. H., & Khanbaba, A. (2022). Viable closed-loop supply chain network by considering robustness and risk as a circular economy. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(46), 70285-70304. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20713-0>
- Mamun, M. M. (2025). *Circular Economy and Digital Supply Chain: The role of emerging technologies for facilitating sustainability* School of Innovation & technology, University of VAASA. <https://osuva.uwasa.fi/items/59acbf49-8c3b-4826-ab9f-e973b2c73e76>
- Modiri, M., Shiramin, M. D., & Shirazi, H. K. (2019). Identification and Prioritization of Influencing Factors on Safety Performance with hybrid Fuzzy DEMATEL and Analytical Network Process Approach (DANP)(Case Study: A Combined Cycle Power Plant). *Journal of Health & Safety at Work*, 9(1). https://jhs.w.tums.ac.ir/browse.php?a_id=6038&slc_lang=en&sid=1&printcase=1&hbnr=1&hmb=1
- Mourtzis, D., & Panopoulos, N. (2022). Digital transformation process towards resilient production systems and networks. In *Supply Network Dynamics and Control* (pp. 11-42). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09179-7_2
- Nakandala, D., Yang, R., Lau, H., & Weerabahu, S. (2023). Industry 4.0 technology capabilities, resilience and incremental innovation in Australian manufacturing firms: a serial mediation model. *Supply Chain Management: An International Journal*, 28(4), 760-772. <https://doi.org/10.1108/SCM-08-2022-0325>
- Ngo, V. M., Pham, H. C., & Nguyen, H. H. (2023). Drivers of digital supply chain transformation in SMEs and large enterprises-a case of COVID-19 disruption risk. *International Journal of Emerging Markets*, 18(6), 1355-1377. <https://doi.org/10.1108/IJOEM-10-2021-1561>
- Paul, A., & Mahapatra, S. S. (2025). An integrated fuzzy-AHP and fuzzy-DEMATEL approach for analyzing sustainable supply chain factors in the mining industry. *Supply Chain Analytics*, 10, 100113. <https://doi.org/10.1016/j.sca.2025.100113>
- Sharifian Jazi, S., Mohammadi, A., Abbasi, A., & Ali Mohammadlou, M. (2024). Identifying Effective Challenges on the Implementation of the Circular Economy and Industry 4.0 in Supply Chain Management. *Management Researches in Iran*, 28(2), 146-183. https://mri.modares.ac.ir/article_661_en.html
- Shirazi, H. K., & Alroaia, Y. V. (2024). Identification of the challenges of using the technology of 4.0 industry in the circular supply chain of sustainable agriculture. *Journal of Public Service Marketing*, 2(5), 19-35. https://www.academia.edu/125595504/Identification_the_challenges_of_using_the_technology_of_4_0_industry_in_the_circular_supply_chain_of_sustainable_agriculture
- Singh, R., Rani, S., & Kandpal, V. (2025). Driving Environmental Resilience: Integrating Industry 4.0 for Circular Economy. In *Green Futures: Navigating the Path to Environmental Resilience* (pp. 23-40). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-0843-0_2
- Taghipour, A., & Merimi, M. (2021). Digital Transformation of Supply Chains during Crisis: COVID-19. 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, IEOM, <https://doi.org/10.46254/AN11.20211298>
- Tathavadekar, V. P. (2025). *Sustainable and Resilient Supply Chain Practices through Digital Transformation and Circular Economy Strategies*. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5448394
- Tukamuhabwa, B. R., Stevenson, M., Busby, J., & Zorzini, M. (2015). Supply chain resilience: definition, review and theoretical foundations for further study. *International Journal of Production Research*, 53(18), 5592-5623. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1037934>
- Yuan, S., & Pan, X. (2023). The effects of digital technology application and supply chain management on corporate circular economy: A dynamic capability view. *Journal of Environmental Management*, 341, 118082. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118082>

