

(OPEN ACCESS)

A New Path to Sustainability Indicators in the Paper Industry: Network-Based Indicator Analysis Using Fuzzy Cognitive Mapping

Saman Akhoundzadeh¹, Mansor Soufi^{2*}, Seyedeh Ameneh Sajjadi³ and Mehdi Fadaei⁴

1-Ph.D. Candidate, Department of Industrial Management, Ra.C., Islamic Azad University, Rasht, Iran

2*-Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Industrial Management, Ra.C., Islamic Azad University, Rasht, Iran, Email: ms.soufi@iau.ac.ir

3-Assistant Professor, Department of Agronomy, Ra.C., Islamic Azad University, Rasht, Iran

4-Assistant Professor, Department of Industrial Management, Ra.C., Islamic Azad University, Rasht, Iran

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 08 September 2025
Revised: 03 November 2025
Accepted: 14 November 2025
Published online: 19 December 2025

Keywords:
Organizational sustainability, Paper industry, Fuzzy cognitive mapping (FCM), Principal component analysis.

ABSTRACT

Background and Objective: The paper industry, as one of the keys and widely applied sectors in the national economy, has always faced multiple challenges regarding resource consumption, environmental impacts, and social requirements. Achieving sustainability in this industry not only ensures long-term survival and profitability but also contributes to reducing the use of natural resources, improving environmental performance, and strengthening the social standing of organizations. The present study was conducted to identify and analyze the fundamental sustainability indicators in Iran's paper industry, employing the fuzzy cognitive mapping (FCM) method to provide a comprehensive picture of the interactions among key factors and to propose practical strategies for enhancing organizational resilience.

Materials and Methods: The research population consisted of 12 experts from the paper industry and academics specializing in sustainability, selected based on criteria such as extensive professional experience, managerial background, and familiarity with sustainability concepts. Initially, through a systematic review of scientific sources and searches in reputable databases, 93 preliminary indicators were identified. Using principal component analysis (PCA), these were reduced to 24 final indicators across three dimensions: Social (employee training and development, employee satisfaction, customer satisfaction, corporate accountability, employee exposure to chemicals and bleaching agents); Environmental (energy consumption, maintenance planning for energy loss reduction, hazardous waste management, recycling capacity, reduction of environmental pollutants, use of recycled materials, sludge management, air pollution, use of gray water, wood consumption); and Economic (production cost per ton of paper, paper product price, company profitability, operational efficiency, paper quality, wastepaper purchase cost, downtime and production stoppages, revenue from by-products, recycling costs). Although the role of government in policy formulation and the enforcement of environmental and social regulations is highly significant, this

study primarily focused on internal organizational components that are directly under the control of industrial units. Nevertheless, the influence of governmental policies is indirectly reflected through regulatory and environmental indicators incorporated within the analytical framework. Pairwise comparison questionnaires were then designed to measure the intensity of causal relationships among indicators, and the resulting data were transformed into fuzzy numbers. Finally, using FCM Expert software, the fuzzy cognitive map was constructed, and the degree of influence, dependency, and centrality of the indicators was analyzed.

Results: The results revealed that the sustainability structure in the paper industry is shaped around a central core of key indicators that play the most significant role in overall system dynamics. Among these, corporate accountability ranked first with the highest centrality score (14.37), establishing itself as a managerial lever and strategic intervention point. Following this were company profitability (13.78), use of recycled materials (10.92), wood consumption (10.80), and operational efficiency (10.72). These indicators rapidly converged to stable values and were classified as “strong and persistent drivers,” meaning that managerial interventions in these areas can swiftly trigger systemic transformations. In contrast, indicators such as energy consumption, sludge management, and maintenance planning for energy efficiency were categorized as “moderate drivers,” showing slower growth and stabilizing at slightly lower levels, though still exerting substantial long-term influence. Meanwhile, factors like wastepaper purchase cost, production downtime, revenue from by-products, air pollution, and customer satisfaction showed lower centrality, declining early in the iterations and converging to minimal values. This behavior suggests that these peripheral indicators have a weaker role in stimulating the overall network and are more strongly influenced by other components rather than acting as independent change agents.

Conclusion: The findings indicate that achieving sustainability in the paper industry requires a phased and systemic approach. The initial focus should be on designing socially responsible policies, improving efficiency, and developing circular economic models. Subsequently, investments in modern energy and recycling technologies can consolidate the path toward sustainability. Ultimately, enhancing peripheral aspects such as cost management, pollution control, and expansion of by-product markets can reinforce the industry’s long-term sustainability and strengthen its position within the national economy.

Cite this article: Saman Akhoundzadeh, Mansor Soufi, Seyedeh Ameneh Sajjadi and Mehdi Fadaei. 2025. A New Path to Sustainability Indicators in the Paper Industry: Network-Based Indicator Analysis Using Fuzzy Cognitive Mapping. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 40(4), 320-337. DOI: <http://doi.org/10.22092/ijwpr.2025.370575.1813>



Copyright: © 2025 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (<http://ijwpr.areeo.ac.ir/>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

رهیافتی نو بر مؤلفه‌های پایداری در صنعت کاغذسازی: تحلیل شبکه‌ای شاخص‌ها با رویکرد نگاشت شناختی فازی

سلمان آخوندزاده^۱، منصور صوفی^{۲*}، سیده آمنه سجادی^۳ و مهدی فدایی^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران، پست الکترونیکی: ms.soufi@iaui.ac.ir

۳- استادیار، گروه کشاورزی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۴- استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: صنعت کاغذسازی به‌عنوان یکی از صنایع کلیدی و پرکاربرد در اقتصاد ملی، همواره با چالش‌های متعددی در زمینه مصرف منابع، آثار زیست‌محیطی و الزامات اجتماعی مواجه بوده است. توسعه پایدار در این صنعت نه تنها تضمین‌کننده بقا و سودآوری بلندمدت است، بلکه به کاهش مصرف منابع طبیعی، بهبود عملکرد زیست‌محیطی و ارتقای جایگاه اجتماعی سازمان‌ها نیز کمک می‌کند. این پژوهش باهدف شناسایی و تحلیل مؤلفه‌های اساسی پایداری در صنعت کاغذسازی ایران با بهره‌گیری از روش نگاشت شناختی فازی انجام شده است تا تصویری جامع از تعاملات میان عوامل کلیدی ارائه دهد و راهبردهایی عملی برای ارتقای پایداری سازمانی پیشنهاد کند.
تاریخچه مقاله:	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۷	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۱۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۳	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۹/۲۸	
واژه‌های کلیدی:	
پایداری سازمانی، صنعت کاغذسازی، نگاشت شناختی فازی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی	مواد و روش‌ها: جامعه آماری تحقیق شامل ۱۳ خبره صنعت کاغذسازی و دانشجویان فعال در حوزه پایداری بود که بر اساس معیارهایی مانند تجربه کاری طولانی، سابقه مدیریتی و آشنایی با مفاهیم پایداری انتخاب شدند. ابتدا با مرور نظام‌مند منابع علمی و جست‌وجو در پایگاه‌های معتبر، ۹۳ مؤلفه اولیه شناسایی شد. سپس با به‌کارگیری تحلیل عاملی اکتشافی (روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principle Component Analysis))، این مؤلفه‌ها به ۲۴ مؤلفه نهایی در سه بعد اجتماعی (آموزش و توسعه کارکنان، رضایت کارکنان، رضایت مشتری، پاسخگویی شرکت، میزان مواجهه کارکنان با مواد شیمیایی و سفیدکننده)، زیست‌محیطی (میزان مصرف انرژی، برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات برای کاهش اتلاف انرژی، مدیریت پسماندهای خطرناک، توانایی بازیافت، کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی، استفاده از مواد بازیافتی، مدیریت لجن، آلودگی هوا، استفاده از آب خاکستری، میزان مصرف چوب) و اقتصادی (هزینه تولید به ازای هر تن کاغذ، قیمت محصول کاغذ، سودآوری شرکت، کارایی عملیاتی، کیفیت کاغذ تولید شده، هزینه خرید آخال، میزان از کارافتادگی و توقف خط تولید، درآمد حاصل از فروش محصولات جانبی، هزینه‌های بازیافت) تقلیل یافتند. باوجود اینکه نقش دولت در تدوین سیاست‌ها و اعمال نظارت بر شاخص‌های زیست‌محیطی و اجتماعی از اهمیت بالایی برخوردار است، در این پژوهش تمرکز بر مؤلفه‌های داخلی سازمانی بوده که مستقیماً در کنترل واحدهای صنعتی قرار دارند. بااین‌حال، اثر سیاست‌های دولتی به‌طور غیرمستقیم از طریق شاخص‌های مقرراتی و زیست‌محیطی منعکس شده است. در مرحله بعد، پرسشنامه‌های زوجی برای سنجش شدت روابط علت و معلولی میان مؤلفه‌ها طراحی و داده‌های حاصل به اعداد فازی تبدیل شد. درنهایت، با استفاده از نرم‌افزار FCM Expert نگاشت شناختی فازی ترسیم گردید و میزان تأثیرگذاری، تأثیرپذیری و مرکزیت مؤلفه‌ها تحلیل شد.
	یافته‌ها: نتایج نشان داد که ساختار پایداری در صنعت کاغذسازی از یک هسته مرکزی شامل چند مؤلفه کلیدی تشکیل شده است که بیشترین نقش را در پویایی کل سیستم ایفا می‌کنند. در این میان، پاسخگویی شرکت با بالاترین مقدار مرکزیت (۳۷/۱۴) در جایگاه نخست قرار گرفت و به‌عنوان یک اهرم مدیریتی و نقطه مداخله راهبردی شناخته شد. پس‌از آن، سودآوری شرکت (۱۳/۷۸)، استفاده از مواد بازیافتی (۱۰/۹۲)، میزان مصرف چوب

(۱۰/۸۰) و کارایی عملیاتی (۱۰/۷۲) در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. این مؤلفه‌ها با سرعت بالا به مقادیر پایدار همگرا شده و به‌عنوان «محرک‌های قوی و پایدار» شناخته می‌شوند و هرگونه مداخله مدیریتی در آن‌ها می‌تواند به سرعت منجر به تغییرات سیستمی گسترده شود. از سوی دیگر، مؤلفه‌هایی مانند مصرف انرژی، مدیریت لجن و برنامه‌ریزی کاهش اتلاف انرژی در دسته «محرک‌های متوسط» قرار گرفته‌اند که رشد آهسته‌تری دارند و در مقدار نهایی کمی پایین‌تر تثبیت می‌شوند، اما در بلندمدت اثرگذاری مهمی بر سیستم اعمال می‌نمایند. همچنین، عواملی مانند هزینه خرید آخال، میزان توقف خط تولید، درآمد فروش محصولات جانبی، آلودگی هوا و رضایت مشتری با مرکزیت پایین‌تر، دارند. این مؤلفه‌ها در همان تکرارهای ابتدایی روند نزولی پیدا می‌کنند و به مقادیر پایین همگرا می‌شوند. این رفتار بیانگر آن است که این مؤلفه‌ها نقش ضعیف‌تری در تحریک کل شبکه دارند و بیشتر تحت تأثیر سایر مؤلفه‌ها قرار می‌گیرند تا این‌که خود عامل تغییر باشند.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که دستیابی به پایداری در صنعت کاغذسازی نیازمند نگاهی مرحله‌ای و سیستماتیک است. تمرکز اولیه باید بر طراحی سیاست‌های مسئولیت‌پذیر اجتماعی، ارتقای بهره‌وری و توسعه مدل‌های اقتصادی چرخشی باشد و در ادامه با سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین انرژی و بازیافت، مسیر پایداری تثبیت گردد. نهایتاً، بهبود جنبه‌های پیرامونی مانند مدیریت هزینه‌ها، کنترل آلودگی و توسعه بازارهای جانبی می‌تواند پایداری صنعت را در بلندمدت تقویت کرده و جایگاه آن را در اقتصاد ملی ارتقا دهد.

استناد: سلمان آخوندزاده، منصور صوفی، سیده آمنه سجادی و مهدی فدایی. ۱۴۰۴. رهیافتی نو بر مؤلفه‌های پایداری در صنعت کاغذسازی: تحلیل شبکه‌ای شاخص‌ها با رویکرد نگاشت شناختی فازی. نشریه تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۴۰(۴).

DOI: <http://doi.org/10.22092/ijwpr.2025.370575.1813> ۳۲۰-۳۲۷

مقدمه

عملکرد مدیریت پایدار، کنترل آثار اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از سازمان است که تا اطمینان حاصل شود که سازمان به‌صورت پایدار توسعه می‌یابد (Salahi et al., 2023). زمانی که مدیریت پایدار به‌درستی اجرا شود، می‌تواند فرصت‌های مناسبی را در قالب بازارهای جدید، افزایش انگیزش کارکنان و کاهش هزینه تولید برای کسب‌وکارها فراهم نماید (Soufi et al., 2025). بنابراین، برای بسیاری از سازمان‌ها، پیاده‌سازی دستورالعمل‌های پایداری و به‌کارگیری سیستم‌های گزارش دهی مدیریت پایدار، ضرورت دارد (Zachariah et al., 2025; Soltanifar et al., 2023). این مسئله به‌ویژه در کشور ایران که با چالش‌های متعددی مانند، کم‌آبی و خشک‌سالی، کمبود انرژی، افزایش آلاینده‌های زیست‌محیطی و دستمزد پایین نیروی کار مواجه است، یک ضرورت انکارناپذیر و اولویت ملی است.

(Alfi et al., 2022). توجه به اصل ۵۰ قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران و تکیه بر اهمیت موضوع حفظ و نگهداری محیط‌زیست، اشتغال‌زایی و بهبود وضعیت اقتصادی و معیشتی باعث شده که مدیریت پایدار در دهه اخیر موردتوجه بیشتری قرار گرفته و به اساسی‌ترین محور توسعه پایدار تبدیل شود (Alfi et al., 2023; Attar et al., 2016). یکی از مهم‌ترین صنایعی که در این رابطه بایستی موردتوجه و نظارت اساسی قرار گیرد، صنعت کاغذ است. این صنعت در ایران از قرن هفتم هجری آغاز شد و با تأسیس اولین کارخانه مقواسازی در سال ۱۳۱۳ شمسی در کرج وارد مرحله مدرن شد. راه‌اندازی شرکت کاغذ پارس در سال ۱۳۴۹، مجتمع چوب و کاغذ ایران (چوکا) در سال ۱۳۶۴ و شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران سال ۱۳۷۶ نقش مهمی در توسعه این صنعت در ابتدای شکل‌گیری آن داشته است (Mehri Charvadeh et al., 2022). این تعداد در طی سه دهه اخیر به بیش از ۵۰ شرکت کوچک، متوسط و بزرگ



افزایش پیدا کرده است.

باوجود مزایای بسیاری که صنعت کاغذسازی برای خودکفایی تولید کاغذ به همراه داشته است، این صنعت به‌عنوان ششمین بخش آلاینده در سطح جهانی طبقه‌بندی می‌شود (Teng et al., 2023). تولید کاغذ و سلولز همراه با تولید ضایعاتی است که حاوی مواد آلی بسیار پیچیده و آلاینده‌های معدنی ناشی از تجزیه چوب و فراوری شیمیایی سلولز هستند. مقدار سلولز لازم برای پاسخگویی به تقاضا در صنعت کاغذ و مشتقات آن، مصرف قابل‌توجه پوشش گیاهی، علاوه بر مواد شیمیایی موردنیاز برای خمیرسازی و سفید کردن خمیرکاغذ است (Hamed et al., 2025). پساب تولید شده در این فرایندها یکی از اصلی‌ترین منابع آلاینده محسوب می‌شود و تصفیه آن در مقیاس بزرگ، مصرف قابل‌توجه انرژی الکتریکی (حدود ۱۰۰۰ کیلووات ساعت بر تن) را به همراه دارد؛ بنابراین، صنایع در تمامی زمینه‌ها به دنبال جایگزین‌های اکولوژیک صحیحی هستند که آسیب‌های محیط‌زیستی را به حداقل برسانند (Andriani et al., 2020). علاوه بر این، این فرایند منجر به تولید انبوه ضایعات می‌شود که عمدتاً از پلیمرهای غیرقابل تجزیه بیولوژیکی تشکیل شده و بازیافت آن‌ها دشوار است و این مسئله، مشکل پسماند را تشدید می‌کند (Quintana et al., 2024). بنابراین، افزایش پایداری در تولید کاغذ می‌تواند بحران‌های این صنعت را کاهش دهد. بازیافت و تولید انرژی از زباله‌های کاغذی، عناصر حیاتی پایداری صنعت کاغذ هستند که می‌توانند از قطع درختان تا اندازه زیادی جلوگیری کنند، بار زباله‌های جامد را کاهش دهند، فرصت‌های شغلی به وجود بیاورند و موجب جذب سرمایه شوند (Verma et al., 2024).

با وجود اهمیت مفهوم پایداری، بیشتر مطالعات انجام شده در این حوزه بر جنبه‌های اقتصادی تمرکز دارند. مطالعات انگشت‌شماری وجود دارند که هر سه جنبه پایداری را به‌طور کامل پوشش دهد. Mehri و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای با به‌کارگیری مدل‌سازی معادلات ساختاری به شناسایی و اولویت‌بندی مؤلفه‌های پایداری تولید در صنعت کارتن‌سازی

پرداختند. Mehri Charvadeh و همکاران (۲۰۲۲) با بهره‌گیری از تئوری داده بنیاد، آنتروپی شنون و ویکور به شناسایی و رتبه‌بندی مؤلفه‌های مؤثر برای پایداری زنجیره تأمین استوار در صنایع سلولزی پرداختند. Aryaei Monfared و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه خود اهمیت انرژی و راهکارهای بهبود مصرف آن در صنایع خمیر و کاغذ را مورد مطالعه قرار دادند. Chavooshi و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی نقش مدیریت صنایع چوب و کاغذ ایران برای دستیابی به توسعه پایدار، با مقایسه میزان استفاده از پسماندهای کشاورزی در صنایع خمیر و کاغذ ایران با یکدیگر، رهیافت‌های ترویجی مناسبی برای استفاده از انواع پسماندهای کشاورزی در فرایندهای صنایع چوب و کاغذ ایران معرفی کردند. Pourmoussa (۲۰۱۹) به بررسی چالش‌های پیش رو و راهکارهای برون‌رفت از آنها را در صنعت کارتن‌سازی بررسی کرد.

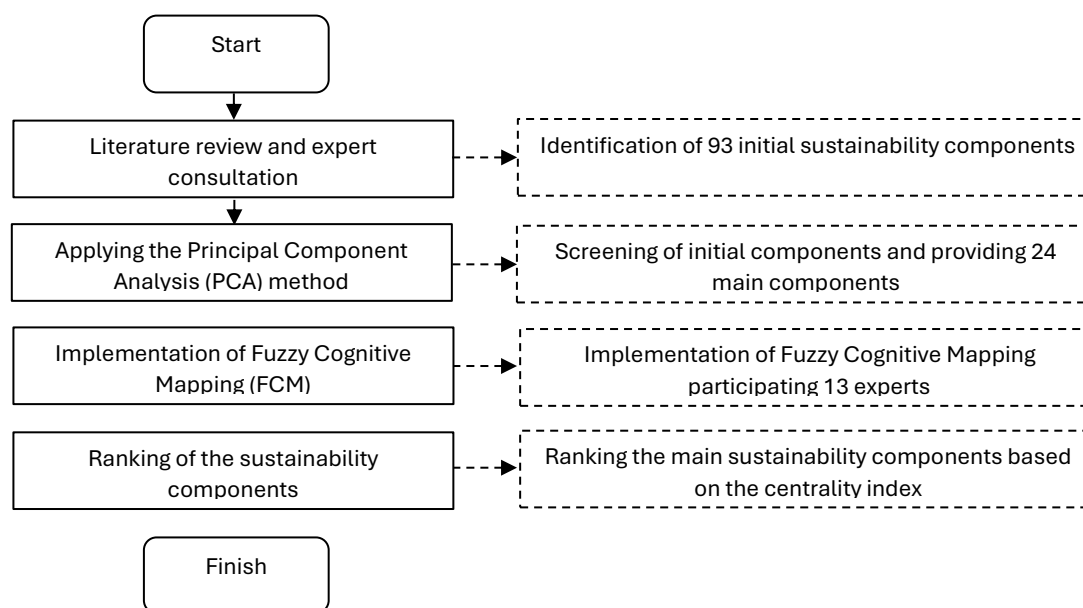
باوجود پیشرفت‌های قابل‌ملاحظه در حوزه پایداری، شکاف‌های قابل‌توجهی همچنان پابرجا است. نخست آنکه به دلیل ماهیت پیچیده و پویای پایداری، درک جامعی از مؤلفه‌های آن که بر پایه یک چارچوب نظری مستحکم باشد، وجود ندارد. علاوه بر این، اغلب مطالعات تجربی موجود در این زمینه مبتنی بر پژوهش‌های مفهومی و آماری هستند که توانایی محدودی در بررسی رابطه علت و معلولی دارند. از این‌رو، ارزیابی‌های عمیق در ابعاد پایداری سازمانی به‌ندرت یافت می‌شود و این موضوع دامنه پژوهش را محدود می‌کند. این مطالعه با به‌کارگیری رویکرد نگاشت شناختی فازی، تحلیل عمیقی را برای ارزیابی مؤلفه‌های پایداری در صنعت کاغذسازی ارائه می‌دهد. در مقایسه با مدل‌های خطی مرسوم، نگاشت شناختی فازی توانایی تحلیل ساختارهای بازخوردی و غیرخطی، مدیریت عوامل کیفی، در تحلیل هم‌زمان رابطه‌های مستقیم و غیرمستقیم بین آن‌ها و مدل‌سازی سیستم‌هایی را دارد که مبتنی بر دانش خبرگی است. علاوه بر این، انعطاف‌پذیری و توانایی پردازش داده‌های پیچیده، نگاشت شناختی فازی را به گزینه‌ای ترجیحی در بسیاری از

با توجه به شرایط فذکر شده، ۵ خبره دانشگاهی و ۸ خبره صنعت کاغذسازی به عنوان خبرگان تحقیق شناسایی شدند. در گام نخست، ۵۹ مؤلفه پایداری از طریق مرور نظام مند مقالات علمی در پایگاه های معتبری مانند Scopus و Elsevier استخراج شدند. در ادامه، این مؤلفه ها در اختیار خبرگان قرار گرفتند تا با توجه به شرایط و نیازهای خاص صنعت بازیگری شوند و اگر مؤلفه دارای اهمیتی از دید پژوهشگر دورمانده باشد، به فهرست مؤلفه ها اضافه گردد. حاصل این فرایند، شناسایی ۳۳ مؤلفه ارزیابی پایداری زیست محیطی، ۲۷ مؤلفه ارزیابی پایداری اجتماعی و ۳۳ مؤلفه ارزیابی پایداری اقتصادی است. در گام سوم، با طراحی و توزیع پرسشنامه تحلیل مؤلفه های اصلی بر مبنای مقیاس ۵ گزینه ای از بسیار کم (۱) تا بسیار زیاد (۵)، مؤلفه های پایداری غربال سازی شدند. نهایتاً، روش نگاشت شناختی فازی برای تحلیل مؤلفه های پایداری و ارائه راهکارهای بهبود مورد استفاده قرار گرفت. مؤلفه های منتخب با نظر ۱۳ خبره بررسی و ماتریس مجاورت و منعکس کننده روابط میان آنها، تشکیل شد. در این پژوهش، از میانگین هندسی (میانگین هندسی شاخص عددی است که از حاصل ضرب چند عدد و گرفتن ریشه n ام آن (تعداد اعداد برابر n) به دست می آید) برای تجميع نظرات خبرگان استفاده شد. این روش به دلیل مناسب بودن برای ترکیب داده های فازی و کاهش اثر مقادیر حدی نسبت به میانگین حسابی، در مطالعات مبتنی بر قضاوت خبرگان توصیه می شود. شکل (۱) چارچوب پژوهش را در گام های متوالی نشان می دهد.

کاربردهای پیشرفته، به ویژه در صنعت کاغذ تبدیل کرده است. هدف این پژوهش آن است تا ضمن بررسی مسئله پژوهش در بستر پایداری، مبانی نظری موجود در این رابطه را گسترش دهد. در این مطالعه سعی خواهد شد تا ضمن بررسی عوامل شکل دهنده پایداری در سیستم تولید و بازیافت کاغذ، نگرشی مدیریتی برای درک مؤلفه های پایداری در صنعت کاغذ، ارائه دهد.

مواد و روش ها

این پژوهش از رویکردی نظام مند برای تحلیل مؤلفه های پایداری سازمانی در صنعت کاغذسازی استفاده کرده است. برای کاهش اثر محدودیت های ناشی از توسعه محدود صنعت کاغذسازی، ترکیبی از خبرگان دانشگاهی و صنعت برای جمع آوری داده ها انتخاب شدند؛ به گونه ای که خبرگان صنعتی از مدیران و کارشناسان با سابقه شرکت های اصلی این صنعت در ایران بودند تا تجربه عملی در تصمیم گیری ها لحاظ شود. خبرگان صنعت کاغذسازی می بایست دارای: (۱) حداقل ۱۰ سال سابقه کاری مرتبط، (۲) حداقل ۵ سال سابقه کار در پست های مدیریتی، (۳) مدرک کارشناسی یا بالاتر در رشته های مهندسی چوب و کاغذ، مهندسی صنایع، مهندسی شیمی، مهندسی محیط زیست و سایر رشته های مرتبط و (۴) آشنایی با مفهوم پایداری و مؤلفه های پایداری باشند. در این پژوهش برای انتخاب خبرگان تحقیق از روش هدفمند و نمونه گیری به روش گلوله برفی استفاده شده است. به این صورت که نمونه گیری تا رسیدن به اشباع نظری ادامه می یابد.



شکل ۱- فرایند اجرای تحقیق

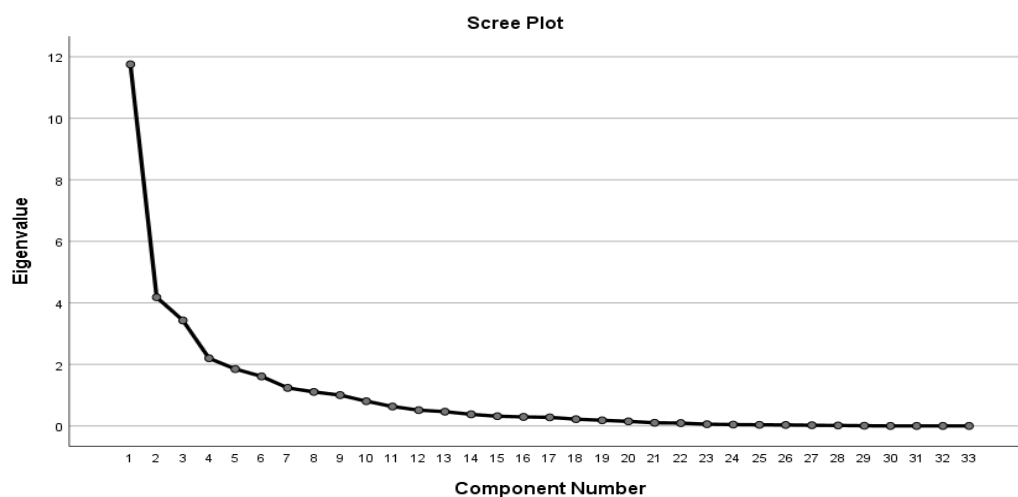
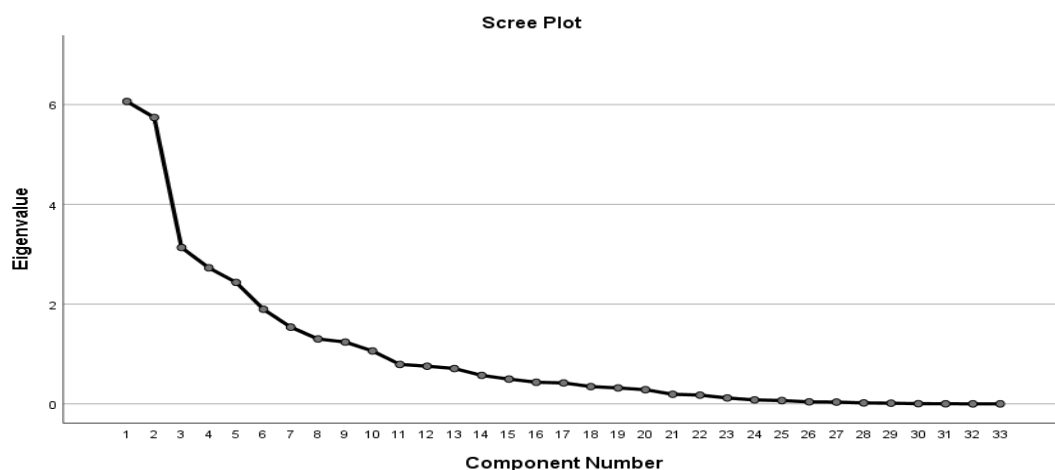
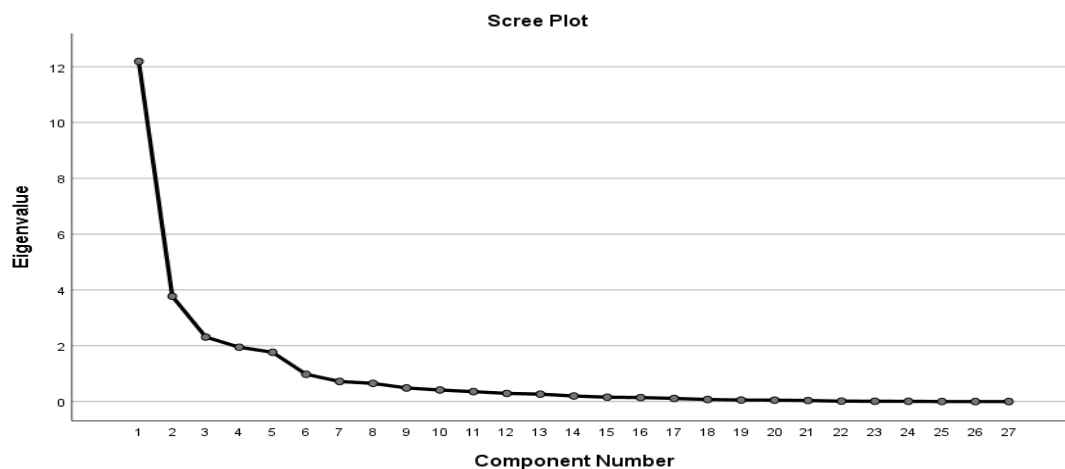
Figure 1. Research Implementation Process

بتواند همه واریانس مجموعه مورد نظر را تبیین کند و در واقع هدف آن تحلیل واریانس کل است. این مؤلفه‌ها در قالب پرسشنامه ۵ گزینه‌ای از بسیار کم (۱) تا بسیار زیاد (۵) مورد ارزیابی قرار گرفتند. در ادامه با استفاده از ملاک نگهداری مؤلفه‌هایی که ارزش ویژه آنها بزرگ‌تر از یک کیزر گاتمن است؛ ۵ مؤلفه اجتماعی، ۱۰ مؤلفه زیست‌محیطی و ۹ مؤلفه اقتصادی به‌عنوان مؤلفه‌های نهایی پایداری شناسایی شدند. این مؤلفه‌ها به ترتیب حدود ۸۲، ۸۲ و ۸۶ درصد از واریانس کل داده‌ها را تبیین می‌کنند که میزان قابل‌قبولی است. از چرخش واریماکس برای رسیدن به ساختاری ساده و قابل تفسیر استفاده شد و تعداد نهایی عوامل نیز با نمودار اسکری کتل تأیید گردید. در شکل (۲) مؤلفه‌ها در محور افقی و مقادیر ویژه در محور عمودی نشان داده شده‌اند به‌طوری‌که همراه با حرکت به سمت راست، از مقادیر ویژه کاسته می‌شود.

روش تجزیه و تحلیل این پژوهش، نقشه شناختی فازی است که توسط کوسکو در سال ۱۹۸۶ به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده با تعاملات گسترده بین اجزا معرفی شد. این روش با بهره‌گیری از سیستم‌های نوروفازی، مجموعه‌ای از مفاهیم (نرون‌ها) و روابط علی بین آنها را در قالب یک فرایند استدلال پویا سازمان‌دهی می‌کند که امکان شبیه‌سازی و تحلیل رفتار سیستم در شرایط مختلف را فراهم می‌سازد (Movahedi et al., 2023).

نتایج

در این تحقیق به‌منظور تعیین تعداد مؤلفه‌های اساسی ابتدا از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شده است. روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در جستجوی ساختاری است که



شکل ۲- نمودار اسکری کتل عوامل اجتماعی، زیست محیطی و اقتصادی
Figure 2. Scatter Chart of Social, Environmental, and Economic Factors

عملی، تمایل و توانایی در مشارکت مؤثر انجام شد. تمامی تحلیل‌ها و ارزیابی‌ها در همکاری نزدیک با این گروه انجام شد تا نتایج هم مبتنی بر مبانی نظری و هم بر واقعیات عملیاتی باشند (جدول ۱).

پس از شناسایی مؤلفه‌های نهایی پایداری و برای اعمال مدل پیشنهادی در شرایط واقعی صنعت کاغذسازی، گروهی متشکل از ۱۳ خبره دانشگاهی و صنعت کاغذسازی به بررسی روابط علی میان مؤلفه‌های پایداری و شدت آنها پرداخت. انتخاب خبرگان بر اساس معیارهایی مانند دانش نظری، تجربه

جدول ۱- مؤلفه‌های اصلی پایداری

Table 1-Main Components of Sustainability

Dimension	Indicator	Component
Social	F1	Employee training and development
	F2	Employee satisfaction
	F3	Customer satisfaction
	F4	Corporate accountability
	F5	Employee exposure to chemicals
	F6	Energy consumption rate
	F7	Energy waste reduction
	F8	Hazardous waste management
	F9	Recyclability capability
Environmental	F10	Reduction of environmental pollutants
	F11	Use of recycled materials
	F12	Sludge management
	F13	Air pollution
	F14	Use of greywater
	F15	Wood consumption rate
	F16	Production cost
	F17	Paper price
	F18	Company profitability
Economic	F19	Operational efficiency
	F20	Paper Quality
	F21	Akhal Price
	F22	Machine breakdown and downtime
	F23	Revenue from by-products
	F24	Recycling costs

تعیین کنند (جدول ۲). از آنجایی که قضاوت خبرگان ماهیت مبهم و نامطمئن داشت، متغیرهای زبانی به اعداد فازی مثلثی تبدیل شدند. سپس ماتریس‌های فازی حاصل از داوری‌ها محاسبه و میانگین آنها به صورت ماتریس مجاورت تجمیعی استخراج گردید (جدول ۳).

برای ارزیابی مؤلفه‌های پایداری توسط خبرگان، پرسشنامه‌ای بر اساس مؤلفه‌های جدول (۱) طراحی شد. در این پرسشنامه، ۲۴ مؤلفه منتخب در سطر و ستون نخست قرار گرفتند و از خبرگان خواسته شد تا شدت روابط علی میان آنها را با مقیاس زبانی بدون تأثیر (NI) تا تأثیر کامل (CI)

جدول ۲- ماتریس متغیرهای زبانی فازی مربوط به "خبره یک"
Table 2- Matrix of Fuzzy Linguistic Variables for "Expert 1"

Sustainability components		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20	F21	F22	F23	F24
Employee training and development	F1		MI	LI	NI	MI	MI	HI	MI	NI	NI	MI	LI	NI	NI	NI	LI	NI	MI	HI	MI	NI	LI	NI	NI
Employee satisfaction	F2	NI		NI	LI	NI	LI	MI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	CI	MI	NI	MI	NI	NI	NI
Customer satisfaction	F3	LI	NI		NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	MI	HI	NI	NI	NI	NI	LI	NI
Corporate accountability	F4	MI	NI	HI		NI	MI	NI	HI	NI	HI	NI	CI	MI	MI	MI	NI	NI	NI	NI	MI	NI	NI	NI	NI
Employee exposure to chemicals	F5	NI	HI	NI	LI		NI	NI	LI	NI	NI	LI	MI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI
Energy consumption rate	F6	NI	NI	NI	MI	NI		MI	NI	NI	NI	NI	NI	LI	NI	NI	MI	MI	HI	CI	NI	NI	NI	NI	NI
Energy waste reduction	F7	NI	NI	NI	MI	NI	CI		NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	HI	LI	MI	MI	NI	NI	MI	NI	NI
Hazardous waste management	F8	LI	NI	NI	CI	MI	NI	NI		LI	MI	NI	NI	NI	NI	NI	LI	NI	LI	NI	NI	NI	NI	NI	LI
Recyclability capability	F9	NI	NI	NI	CI	NI	MI	NI	LI		MI	CI	MI	NI	MI	LI	MI	NI	HI	MI	NI	NI	NI	HI	LI
Reduction of environmental pollutants	F10	NI	LI	NI	CI	LI	NI	NI	NI	NI		NI	LI	NI	MI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI
Use of recycled materials	F11	NI	NI	NI	LI	NI	MI	NI	NI	NI	LI		LI	NI	NI	MI	CI	NI	MI	HI	NI	NI	NI	MI	MI
Sludge management	F12	NI	NI	NI	HI	NI	LI	NI	NI	MI	MI	LI		NI	MI	NI	LI	NI	MI	MI	NI	NI	NI	HI	HI
Air pollution	F13	NI	LI	NI	CI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI		NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI
Use of greywater	F14	NI	NI	NI	HI	LI	LI	NI	LI	LI	NI	NI	LI	NI		NI	LI	NI	LI	MI	NI	NI	NI	NI	NI
Wood consumption rate	F15	NI	NI	MI	LI	MI	MI	NI	HI	NI	HI	HI	LI	NI	MI		CI	MI	MI	LI	CI	NI	NI	NI	NI
Production cost	F16	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI		CI	CI	NI	LI	NI	NI	NI	NI
Paper price	F17	NI	NI	HI	NI	NI	NI	NI	NI	LI	NI	HI	MI	NI	LI	MI	NI		CI	NI	LI	MI	NI	LI	NI
Company profitability	F18	MI	MI	NI	LI	NI	NI	MI	MI	MI	NI	NI	LI	NI	NI	LI	NI	NI		NI	NI	NI	NI	NI	NI
Operational efficiency	F19	NI	NI	NI	NI	NI	MI	NI	NI	NI	LI	MI	NI	NI	NI	NI	CI	MI	HI		NI	NI	LI	NI	HI
Paper Quality	F20	NI	NI	CI	LI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	LI	HI	CI	MI	NI		NI	NI	NI	NI
Akhal Price	F21	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	LI	NI	NI	NI	HI	CI	CI	MI	NI	NI		NI	NI	NI
Machine breakdown and downtime	F22	NI	LI	NI	NI	LI	NI	HI	NI	LI	NI	LI	NI	NI	NI	NI	MI	LI	MI	CI	MI	NI		NI	NI
Revenue from by-products	F23	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	LI	MI	NI	MI	MI	NI	NI	NI	NI	NI	HI	NI	NI	NI	NI		NI
Recycling costs	F24	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	LI	NI	MI	LI	NI	NI	MI	MI	LI	LI	NI	NI	NI	NI	MI	

جدول ۳- ماتریس مجاورت تجمیع شده

Table 3- Aggregated Adjacency Matrix

Sustainability components		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20	F21	F22	F23	F24
Employee training and development	F1		0.38	0.24	0.06	0.63	0.49	0.77	0.63	0.09	0.09	0.49	0.38	0.07	0.09	0.07	0.38	0.03	0.49	0.81	0.63	0.03	0.40	0.07	0.07
Employee satisfaction	F2	0.09		0.09	0.40	0.09	0.25	0.21	0.09	0.07	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07	0.03	0.09	0.03	0.09	0.82	0.58	0.03	0.49	0.03	0.03
Customer satisfaction	F3	0.40	0.09		0.11	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07	0.09	0.34	0.45	0.07	0.07	0.03	0.09	0.12	0.03
Corporate accountability	F4	0.49	0.11	0.72		0.11	0.49	0.19	0.81	0.07	0.81	0.11	0.82	0.66	0.58	0.58	0.07	0.07	0.09	0.09	0.49	0.03	0.07	0.07	0.07
Employee exposure to chemicals	F5	0.11	0.81	0.07	0.40		0.09	0.09	0.45	0.07	0.07	0.25	0.66	0.09	0.09	0.03	0.11	0.07	0.09	0.09	0.07	0.07	0.11	0.07	0.09
Energy consumption rate	F6	0.09	0.07	0.07	0.48	0.07		0.57	0.07	0.07	0.07	0.09	0.07	0.40	0.07	0.07	0.65	0.48	0.72	0.84	0.09	0.07	0.09	0.07	0.07
Energy waste reduction	F7	0.09	0.09	0.09	0.48	0.11	0.96		0.11	0.09	0.09	0.07	0.09	0.09	0.09	0.07	0.72	0.25	0.57	0.65	0.11	0.03	0.65	0.09	0.07
Hazardous waste management	F8	0.40	0.09	0.09	0.96	0.57	0.07	0.09		0.40	0.65	0.09	0.11	0.09	0.09	0.03	0.34	0.07	0.34	0.09	0.07	0.03	0.07	0.09	0.37
Recyclability capability	F9	0.11	0.09	0.11	0.96	0.09	0.57	0.09	0.34		0.57	0.96	0.48	0.07	0.36	0.45	0.57	0.09	0.72	0.48	0.09	0.07	0.07	0.60	0.41
Reduction of environmental pollutants	F10	0.09	0.34	0.09	0.96	0.40	0.09	0.09	0.11	0.09		0.09	0.40	0.13	0.57	0.07	0.09	0.09	0.11	0.09	0.09	0.07	0.08	0.09	0.07
Use of recycled materials	F11	0.09	0.07	0.09	0.40	0.09	0.57	0.09	0.09	0.11	0.34		0.34	0.07	0.07	0.65	0.84	0.07	0.57	0.60	0.09	0.07	0.07	0.48	0.61
Sludge management	F12	0.09	0.07	0.07	0.60	0.09	0.28	0.09	0.11	0.48	0.57	0.34		0.09	0.48	0.07	0.34	0.07	0.48	0.48	0.09	0.07	0.09	0.60	0.62
Air pollution	F13	0.07	0.25	0.07	0.91	0.10	0.10	0.09	0.09	0.07	0.10	0.07	0.09		0.09	0.07	0.09	0.07	0.09	0.09	0.09	0.03	0.09	0.07	0.06
Use of greywater	F14	0.09	0.07	0.09	0.72	0.34	0.40	0.11	0.34	0.25	0.11	0.07	0.34	0.09		0.07	0.34	0.07	0.34	0.57	0.09	0.07	0.09	0.07	0.07
Wood consumption rate	F15	0.05	0.05	0.48	0.34	0.42	0.52	0.07	0.50	0.07	0.53	0.81	0.28	0.05	0.24		0.84	0.48	0.54	0.31	0.80	0.07	0.05	0.07	0.05
Production cost	F16	0.07	0.07	0.09	0.09	0.07	0.11	0.09	0.09	0.11	0.09	0.11	0.09	0.07	0.07	0.11		0.71	0.96	0.11	0.34	0.11	0.09	0.09	0.09
Paper price	F17	0.03	0.07	0.72	0.09	0.03	0.07	0.03	0.03	0.25	0.07	0.45	0.17	0.03	0.12	0.36	0.09		0.84	0.09	0.40	0.36	0.07	0.40	0.06
Company profitability	F18	0.36	0.48	0.11	0.40	0.07	0.09	0.48	0.48	0.57	0.09	0.11	0.34	0.07	0.07	0.40	0.10	0.11		0.11	0.11	0.09	0.09	0.11	0.09
Operational efficiency	F19	0.09	0.09	0.09	0.11	0.09	0.57	0.11	0.09	0.09	0.34	0.48	0.09	0.09	0.07	0.09	0.84	0.48	0.72		0.11	0.09	0.40	0.09	0.62
Paper Quality	F20	0.09	0.09	0.96	0.40	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.07	0.34	0.72	0.84	0.57	0.11		0.07	0.09	0.09	0.07
Akhal Price	F21	0.03	0.03	0.07	0.07	0.03	0.09	0.07	0.07	0.07	0.03	0.41	0.07	0.03	0.03	0.81	0.84	0.53	0.52	0.09	0.08		0.07	0.07	0.09
Machine breakdown and downtime	F22	0.07	0.25	0.07	0.07	0.34	0.07	0.60	0.09	0.25	0.07	0.25	0.09	0.07	0.03	0.07	0.48	0.25	0.44	0.71	0.36	0.07		0.07	0.06
Revenue from by-products	F23	0.07	0.07	0.07	0.09	0.07	0.07	0.07	0.25	0.48	0.07	0.48	0.36	0.03	0.03	0.07	0.09	0.09	0.60	0.07	0.07	0.07	0.07		0.07
Recycling costs	F24	0.07	0.07	0.07	0.09	0.07	0.09	0.07	0.09	0.45	0.09	0.65	0.34	0.07	0.07	0.60	0.57	0.25	0.40	0.09	0.09	0.07	0.07	0.36	

از سایر مؤلفه‌ها حاصل می‌گردد. نهایتاً، معیار مرکزیت هر یک از مؤلفه‌ها شامل مجموع تأثیرگذاری و تأثیرپذیری آن مؤلفه است. بنابراین در هنگام تحلیل نگاشت شناختی فازی باید این شاخص در مرکز توجه تصمیم‌گیرندگان قرار گیرد. در جدول (۴) مؤلفه‌ها بر اساس معیار مرکزیت و به ترتیب نزولی رتبه‌بندی شده‌اند.

مهم‌ترین خروجی تحلیل استاتیک نگاشت شناختی فازی؛ مشخص شدن میزان تأثیرگذاری، تأثیرپذیری و مرکزیت مؤلفه‌های پایداری سازمانی است. میزان تأثیرگذاری هر یک از مؤلفه‌ها از مجموع قدر مطلق آثار آن مؤلفه بر سایر مؤلفه‌های به‌دست‌آمده است. همچنین، تأثیرپذیری هر یک از مؤلفه‌ها نیز از مجموع قدر مطلق میزان تأثیرپذیری آن مؤلفه

جدول ۴- رتبه‌بندی مؤلفه‌های پایداری بر اساس معیار مرکزیت

Table 4- Ranking of Sustainability Components Based on Centrality

Rank	Indicator	Component	Input	Output	Centrality
1	F ₄	Company accountability	6.15	8.22	14.37
2	F ₁₈	Company profitability	3.51	10.27	13.78
3	F ₁₁	Use of recycled materials	5.4	5.52	10.92
4	F ₁₅	Wood consumption rate	6.61	4.19	10.8
5	F ₁₉	Operational efficiency	4.45	6.27	10.72
6	F ₁₆	Production cost (Per ton)	2.01	8.47	10.48
7	F ₉	Recyclability capability	7.32	3.13	10.45
8	F ₁₂	Sludge management	5.27	4.33	9.6
9	F ₆	Energy consumption rate	4.14	5.1	9.24
10	F ₁₇	Paper price	3.78	4.61	8.39
11	F ₁	Employee training and development	6.29	1.65	7.94
12	F ₈	Hazardous waste management	4.01	3.8	7.81
13	F ₇	Energy waste reduction	4.28	2.79	7.07
14	F ₂₀	Paper Quality	3.76	3.11	6.87
15	F ₂₄	Recycling costs	3.62	2.63	6.25
16	F ₁₀	Reduction of environmental pollutants	2.2	3.81	6.01
17	F ₁₄	Use of greywater	3.64	2.23	5.87
18	F ₂₂	Machine breakdown and downtime	3.93	1.54	5.47
19	F ₅	Employee exposure to chemicals	2.57	2.7	5.27
20	F ₂	Employee satisfaction	2.75	2.51	5.26
21	F ₂₃	Revenue from by-products	2.17	2.44	4.61
22	F ₃	Customer satisfaction	1.19	2.58	3.77
23	F ₂₁	Akhal Price	3.11	0.36	3.47
24	F ₁₃	Air pollution	1.16	1.06	2.22

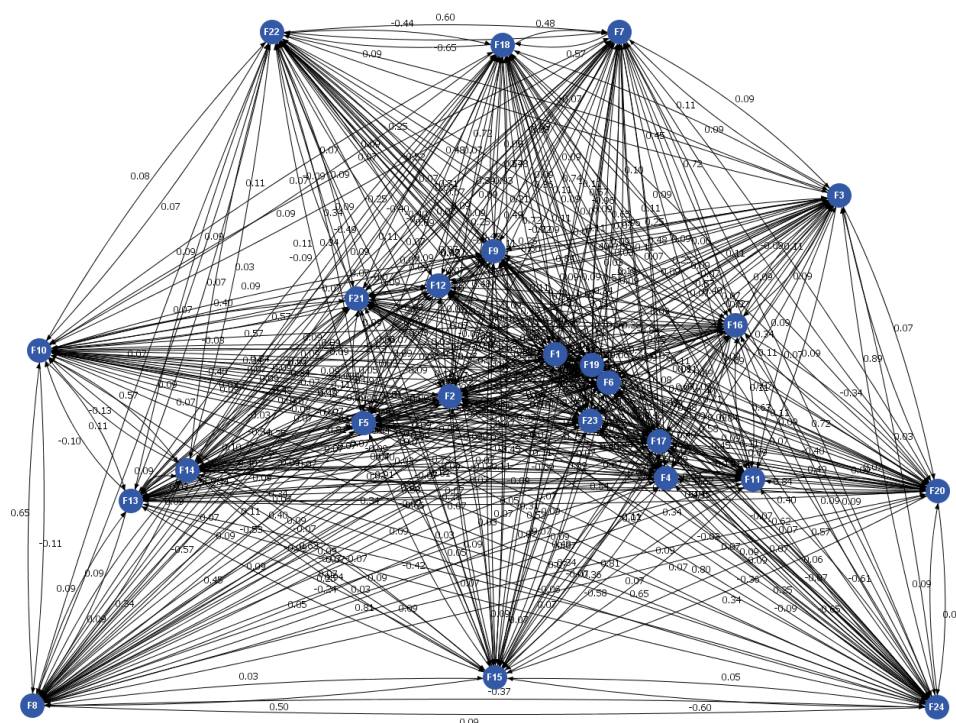
یافته‌های حاصل از تحلیل نگاشت شناختی فازی نشان می‌دهد که در ساختار پایداری صنایع سلولزی، برخی مؤلفه‌ها نقش محوری و سیستمی به‌مراتب پررنگ‌تری نسبت به سایر مؤلفه‌ها ایفا می‌کنند. مؤلفه پاسخگویی شرکت با بالاترین مقدار مرکزیت (۱۴/۳۷) و ترکیب هم‌زمان ورودی قابل توجه (۶/۱۵) و خروجی بسیار بالا (۸/۲۲)، به‌عنوان گره‌ای کلیدی

یافته‌های حاصل از تحلیل نگاشت شناختی فازی نشان می‌دهد که در ساختار پایداری صنایع سلولزی، برخی مؤلفه‌ها نقش محوری و سیستمی به‌مراتب پررنگ‌تری نسبت به سایر

به صورت مستقیم بر بقیه اجزا اثرگذارند. در نقطه مقابل، عواملی مانند هزینه تولید به ازای هر تن کاغذ با خروجی بسیار بالا و ورودی محدود، به عنوان «محرک‌های کم اثرپذیر» مطرح‌اند که می‌توانند به عنوان نقاط تمرکز سیاست‌گذاری برای ایجاد تغییرات گسترده استفاده شوند. در نهایت، برخی مؤلفه‌ها مانند آلودگی هوا، هزینه خرید آخال و رضایت مشتری با مرکزیت پایین، نقش محدودتری در ساختار روابط این سیستم خاص دارند، هرچند ممکن است از منظر اجتماعی یا مقرراتی اهمیت بالایی پیدا کنند.

در ادامه، ساختار گرافیکی نگاشت شناختی فازی از عناصر پایداری در شکل (۳) ارائه شده است. در این مدل، ۲۴ عامل پایداری توسط ۵۵۲ ارتباط جهت‌دار به هم متصل شده‌اند که بیانگر روابط علی بین مؤلفه‌های پایداری است. در این مطالعه، تابع انتقال "سیگموئید"، قانون فعال‌سازی "قانون فعال‌سازی کوسکو با حافظه خودی" و مقدار اندیس اسپیلون (همگرایی) برابر با ۰/۰۰۱ در نظر گرفته شده است.

و دوجهی عمل می‌کند؛ به این معنا که هم به شدت از تغییرات سایر مؤلفه‌ها تأثیر می‌پذیرد و هم قادر است به صورت گسترده بر کل شبکه مؤلفه‌ها اثر بگذارد. این ویژگی، پاسخگویی را به یک «اهرم مدیریتی» و نقطه مداخله راهبردی برای ارتقاء پایداری تبدیل می‌کند. پس‌از آن، سودآوری شرکت با مرکزیت ۱۳/۷۸ و خروجی برجسته (۱۰/۲۷) بیشتر به عنوان یک «محرک اقتصادی» ظاهر می‌شود که با اعمال اثرگذاری قابل‌ملاحظه بر مؤلفه‌های دیگر، می‌تواند جهت‌گیری کلی سیستم را دگرگون نماید. مؤلفه استفاده از مواد بازیافتی با مرکزیت ۱۰/۹۲ و توازن نسبی بین ورودی و خروجی، نقش میانجی میان الزامات زیست‌محیطی و ملاحظات اقتصادی را ایفا کرده و حلقه اتصال میان سیاست‌های سبز و عملکرد مالی شرکت‌ها محسوب می‌شود. از سوی دیگر، برخی مؤلفه‌ها مانند توانایی بازیافت (ورودی بالا و خروجی پایین) یا آموزش و توسعه کارکنان بیشتر در موقعیت «پیامد» قرار دارند، به این معنا که بهبود آن‌ها به شدت وابسته به تغییرات سایر مؤلفه‌ها است و کمتر

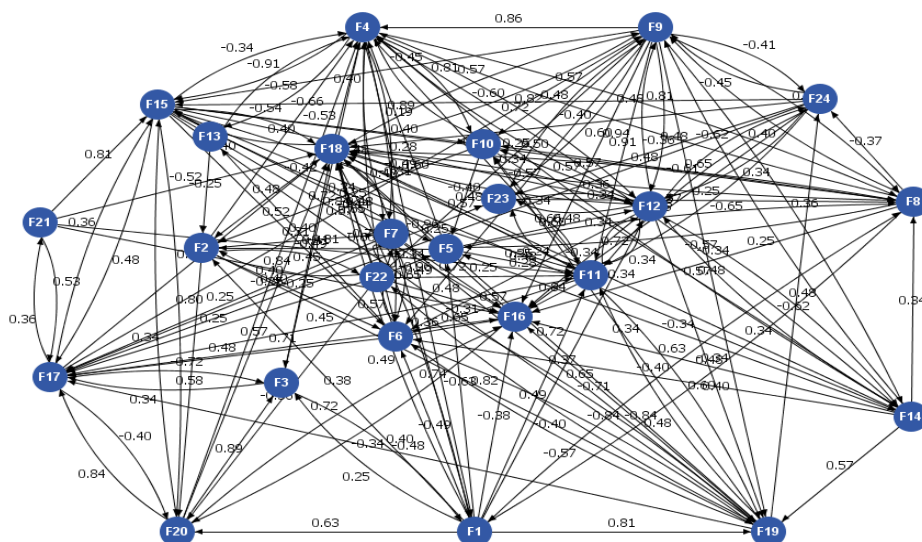


شکل ۳- نگاشت شناختی فازی روابط مؤلفه‌های پایداری

Figure 3. Cognitive Map of Sustainability Elements' Relationships

یا عدم وجود اثرگذاری در نظر گرفته شده است. بنابراین، مقادیر کمتر از ۰/۱۵ از جدول حذف شده و باقی مقادیر، مبنای محاسبات قرار می‌گیرند. شکل (۴) نگاشت روابط معنادار مؤلفه‌های پایداری را نشان می‌دهد.

همان‌طور که میانگین هندسی پاسخ خبرگان، در جدول (۳) نشان می‌دهد، میزان اثرگذاری برخی مؤلفه‌ها بر روی سایر مؤلفه‌ها بسیار پایین است. با در نظر گرفتن مقدار قطعی ۰/۰۳ به عنوان عدم اثرگذاری و ۰/۲۷ به عنوان اثرگذاری پایین، حداقل بین این ۲ مقدار (۰/۱۵) مبنای تعیین وجود

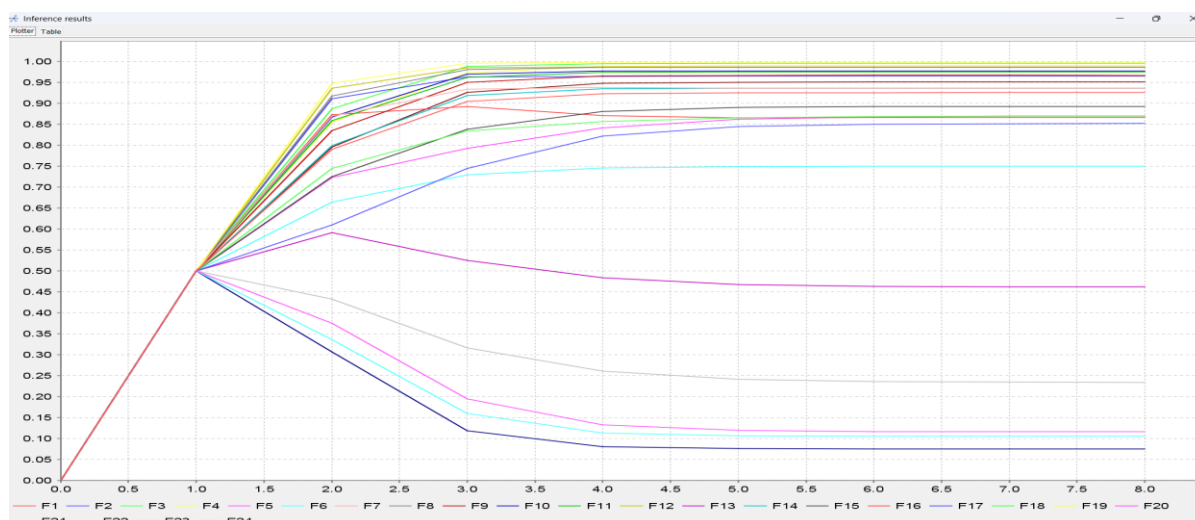


شکل ۴- نگاشت شناختی فازی روابط معنادار مؤلفه‌های پایداری

Figure 4. Cognitive Map of Sustainability Elements' Significance Relationships

تکرارها، زمان یا سطح اتصال بین عوامل در مدل نگاشت شناختی فازی است. نقطه شروع همه مؤلفه‌ها در مقدار یکسان (حدود ۰/۵) است، اما با شروع فرایند انتشار آثار، رفتار آن‌ها در مسیر همگرایی متفاوت می‌شود. شایان ذکر است که شاخص همگرایی (۶) در این پژوهش مقدار ۰/۰۰۱ در نظر گرفته شده است.

در نهایت، رابط گرافیکی رفتار پویای مؤلفه‌های پایداری در شکل (۵)، نشان داده شده است. روندهای نمایش داده شده در نمودار، دیدگاه روشنی از اهمیت نسبی و رفتار ۲۴ عامل (F₁ تا F₂₄) را در طول فرایند تحلیل ارائه می‌دهند. محور عمودی مقادیر نرمال شده یا مقیاس یافته تأثیر یا اهمیت عوامل را نشان می‌دهد، درحالی‌که محور افقی بیانگر پیشرفت در



شکل ۵- نتایج فعال‌سازی گرافیکی
Figure 5. Graphical Activation Results

F23 (درآمد حاصل از فروش محصولات جانبی) و F13 (آلودگی هوا) است که در همان تکرارهای ابتدایی روند نزولی پیدا می‌کنند و به مقادیر بسیار پایین (۰/۱ تا ۰/۴) همگرا می‌شوند. این رفتار بیانگر آن است که این مؤلفه‌ها نقش ضعیف‌تری در تحریک کل شبکه دارند و بیشتر تحت تأثیر سایر مؤلفه‌ها قرار می‌گیرند تا این‌که خود عامل تغییر باشند. نکته مهم در تحلیل این نمودار این است که ساختار شبکه پایداری صنعت کاغذسازی، یک هسته مرکزی از مؤلفه‌های کلیدی دارد که شامل پاسخگویی، سودآوری، استفاده از مواد بازیافتی و مصرف منابع است و این هسته با سرعت و قدرت بالا به تعادل می‌رسد. در مقابل، مؤلفه‌های پیرامونی مانند هزینه خرید آخال یا میزان توقف خط تولید، در سطح پایین‌تری تثبیت می‌شوند و نقش کمتری در شکل‌دهی به رفتار کل سیستم دارند. این تفاوت رفتار، مبنای مهمی برای اولویت‌بندی اقدامات بهبود پایداری است؛ به این معنا که تمرکز بر گروه اول می‌تواند بازده بالاتری نسبت به سرمایه‌گذاری بر گروه سوم داشته باشد.

بحث

یافته‌های این پژوهش نشان داد که ساختار پایداری در صنعت کاغذسازی ایران، متشکل از مجموعه‌ای از مؤلفه‌های کلیدی است که در سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی

در گروه اول، مؤلفه‌هایی مانند F4 (پاسخگویی شرکت)، F18 (سودآوری شرکت)، F11 (استفاده از مواد بازیافتی) و F15 (میزان مصرف چوب) با شیب صعودی تند در همان تکرارهای ابتدایی به مقادیر نزدیک به حداکثر (۰/۹۵ تا ۱) می‌رسند و بعد در سطحی تقریباً پایدار باقی می‌مانند. این رفتار نشان می‌دهد که این مؤلفه‌ها نه تنها حساسیت بالایی نسبت به تغییرات سایر مؤلفه‌ها دارند، بلکه اثرگذاری آن‌ها در کل سیستم سریع و پایدار است. درواقع، این گروه به‌عنوان «محرک‌های قوی و پایدار» شناخته می‌شوند که هرگونه مداخله مدیریتی در آن‌ها می‌تواند به سرعت منجر به تغییرات سیستمی گسترده شود.

گروه دوم، شامل مؤلفه‌هایی مانند F6 (میزان مصرف انرژی)، F7 (برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات) برای کاهش اتلاف انرژی و F12 (مدیریت لجن) است که روند صعودی دارند اما سرعت رشد آن‌ها کمتر از گروه اول است و در مقدار نهایی کمی پایین‌تر (حدود ۰/۸ تا ۰/۹) تثبیت می‌شوند. این مؤلفه‌ها اثرگذار هستند اما برای رسیدن به سطح پایدار به زمان بیشتری نیاز دارند و به‌نوعی «محرک‌های متوسط اثر» محسوب می‌گردند.

در مقابل، گروه سوم شامل مؤلفه‌هایی مانند F21 (هزینه خرید آخال)، F22 (میزان از کارافتادگی و توقف خط تولید)،

بر این اساس، بسته راهبردی پیشنهادی برای ارتقای پایداری صنعت کاغذسازی شامل مجموعه‌ای از اقدامات منسجم در چهار محور کلیدی است. نخست، تقویت مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها به منظور افزایش اعتماد و تعامل مؤثر با ذی‌نفعان و بهبود تصویر عمومی صنعت که می‌تواند به ارتقای سرمایه اجتماعی و پذیرش عمومی فعالیت‌های صنعتی منجر شود. دوم، افزایش سهم مواد بازیافتی در فرایند تولید باهدف کاهش وابستگی به منابع چوبی و کاهش آثار زیست‌محیطی ناشی از بهره‌برداری بیش‌ازحد از منابع طبیعی. سوم، بهبود بهره‌وری و کاهش اتلاف منابع از طریق پیاده‌سازی فناوری‌های نوین مانند خودکارسازی هوشمند، سیستم‌های پایش لحظه‌ای و تحلیل داده‌های عملکردی که زمینه تصمیم‌گیری دقیق‌تر و بهینه‌سازی فرایندهای تولید را فراهم می‌سازد. چهارم، حرکت به سمت مدل‌های اقتصادی چرخشی که با بازچرخانی مواد، استفاده دوباره از پسماندها و کاهش ضایعات، به ایجاد هم‌افزایی میان سودآوری اقتصادی و پایداری زیست‌محیطی منجر می‌شود. افزون بر این، نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در شرایط فعلی صنعت کاغذسازی ایران، نقش دولت به‌عنوان سیاست‌گذار، ناظر زیست‌محیطی و تسهیل‌گر توسعه پایدار باید در سطحی راهبردی‌تر تقویت گردد تا با بهره‌گیری از ابزارهایی مانند مشوق‌های مالیاتی، الزامات قانونی و حمایت از فناوری‌های سبز، اجرای مؤلفه‌های شناسایی‌شده در سطح ملی تسهیل شود. درنهایت، با توجه به روند شتابان تحولات فناورانه، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده تأثیر فناوری‌های نوظهور مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء صنعتی، فناوری نانو و بازیافت زیستی بر پایداری صنعت کاغذ مورد بررسی قرار گیرد تا نقش نوآوری در دستیابی به توسعه پایدار این صنعت به‌صورت جامع‌تر تبیین شود.

با یکدیگر در تعامل هستند. تحلیل نگاشت شناختی فازی نشان داد که مؤلفه‌هایی مانند پاسخگویی شرکت، سودآوری، استفاده از مواد بازیافتی، میزان مصرف چوب و کارایی عملیاتی دارای بیشترین شاخص مرکزیت بوده و در نقش محرک‌های قوی و پایدار سیستم عمل می‌کنند. این مؤلفه‌ها در همان مراحل ابتدایی تحلیل به مقادیر بالا و پایدار همگرا شده‌اند و به‌عنوان نقاط تمرکز اصلی سیاست‌گذاری در مسیر پایداری صنعت شناخته می‌شوند. در مقابل، عواملی مانند آلودگی هوا، هزینه خرید آخال و رضایت مشتری با مرکزیت پایین‌تر، نقش تأثیرپذیر و تبعی در شبکه پایداری داشته و بیشتر از سایر مؤلفه‌ها تأثیر می‌پذیرند تا آن‌که خود عامل تغییر باشند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که برای دستیابی به توسعه پایدار در صنعت کاغذ، تمرکز بر بهبود عملکرد مدیریتی، بهره‌وری اقتصادی و گسترش چرخه بازیافت در اولویت قرار دارد.

یافته‌های این تحقیق با مطالعات پیشین ازجمله پژوهش‌های [Mehri Charvadeh](#) و همکاران (۲۰۲۲) و [Mohamadi Nematabad](#) و همکاران (۲۰۲۳) همسو است؛ به‌گونه‌ای که در هر دو تحقیق نیز مؤلفه‌های اقتصادی مانند سودآوری، هزینه تولید و کارایی عملیاتی و مؤلفه‌های زیست‌محیطی مانند بازیافت و مصرف چوب به‌عنوان عوامل کلیدی در پایداری صنایع سلولزی معرفی شده‌اند. همچنین، نتایج مطالعه حاضر یافته‌های [Aryaei Monfared](#) و همکاران (۲۰۱۸) را تأیید می‌کند که بر نقش حیاتی بهبود بهره‌وری انرژی در صنایع خمیر و کاغذ تأکید داشته‌اند. با این حال، پژوهش حاضر نسبت به مطالعات گذشته با بهره‌گیری از رویکرد نگاشت شناختی فازی، توانسته است ساختار روابط علی و اثرات متقابل میان مؤلفه‌ها را با دقت بیشتری مدل‌سازی کند و علاوه بر شناسایی اهمیت نسبی شاخص‌ها، نقش سیستمی هر عامل را نیز آشکار سازد.

References

- Alfi, S., Taleghani, M., Vatanparast, M.R. & Homayounfar, M., 2023. A dynamic model for assessing the sustainability of small and medium-sized enterprises. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 17(2), 1–13. DOI: <https://doi.org/10.22094/QJIE.2024.1184391>
- Alfi, S., Taleghani, M., Vatanparast, M.R. & Homayounfar, M., 2022. Studying the fundamentals and concepts of sustainability of small and medium-sized businesses based on financial indicators. *Agricultural Marketing and Commercialization Journal*, 6(1), 194–210.
- Andriani, D., Apriyana, A., Karina, M. & Souza, T.C., 2020. The optimization of bacterial cellulose production and its applications: A review. *Cellulose*, 27, 288–296. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03273-9>
- Aryaei Monfared, M. H., Dashtbani Khezri, R. & Vaziri, V., 2018. Energy Importance and Ways to Improve Energy Efficiency in the Pulp and Paper Industry. *Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources*, 6(2), 15–27. DOI: <https://doi.org/10.22069/ejang.2019.6490>. 1183
- Attar, M., Gilaninia, S. & Homayounfar, M., 2016. A study of the effect of green supply chain management's components on the performance of the pharmaceutical distribution companies' system in Iran. *Arabian Journal of Business and Management Review (OMAN Chapter)*, 5 (8), 48–54. DOI: <https://doi.org/10.12816/0027246>
- Chavooshi, A., Bahmani, A.A., Darijani, A., Mootab Saei, A., Mehrabi, E. & Gholipour, M., 2012. The role of wood and paper industries management of Iran in sustainable development. *Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources*, 1 (3), 79–96.
- Hamed, M.M., Sandberg, M., Olsson, R.T., Pedersen, J., Benselfelt, T. & Wohler, J., 2025. Wood and cellulose: The most sustainable advanced materials for past, present, and future civilizations. *Advanced Materials*, 37(22), 2415787. DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.202415787>
- Mehri Charvadeh, M., Pourmoussa, S., Tajdini, A., Tamjidi, A. and Safdari, V.R., 2022. Effective indicators for the stability of a stable supply chain model in the cellulosic industry by VIKOR method. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 39(1), 12–26. DOI: <https://doi.org/10.22092/ijwpr.2022.357861.1711>
- Mohamadi Nematabad, S., Pourmoussa, S., Tajdini, A., Jahan latibari, A. & Lashgari, A., 2023. Identifying and prioritizing the components of sustainable production in the corrugated box making industry. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 38(1), 21–36. DOI: <https://doi.org/10.22092/ijwpr.2021.356457.1699>
- Movahedi, M., Homayounfar, M., Fadaei Eshkiki, M. and Soufi, M., 2023. Development of a model based on fuzzy cognitive map to analyze the performance of stock exchange firms. *Journal of Securities Exchange*, 16 (61), 5741–90. DOI: <https://doi.org/10.30495/jsm.2023.1997481.1885>
- Muiruri, J.K., Yeo, J.C., Zhu, Q., Ye, E., Loh, X.J. & Li, Z., 2023. Bacterial cellulose: Recent advances in biosynthesis, functionalization strategies and emerging applications. *European Polymer Journal*, 199, 112446. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2023.112446>
- Pourmoussa, S., 2018. Challenges and Strategies for the Development of the Iranian Corrugated Box Making Industries. *Packaging science and art*, 10(37), 6–13. DOI: <https://doi.org/10.1001/psa.2018.10.37.1.22286675.1398.10.37.1.5>
- Quintana, E., Valls, C. & Roncero, M.B., 2024. Valorization of waste-paper sludge as a sustainable source for packaging applications. *Polymer Bulletin*, 81, 9321–9345. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00289-024-05138-8>
- Salahi, F., Daneshvar, A., Homayounfar, M. & Pourghader Chobar, A., 2023. Presenting an integrated model for production planning and preventive maintenance scheduling considering uncertainty of parameters and disruption of facilities. *Journal of Industrial Management Perspective*, 13(1), 105–140. DOI: <https://doi.org/10.48308/jimp.13.1.105>
- Soltanifar, M., Zargar, S. M. & Homayounfar, M., 2022. Green supplier selection: A hybrid group voting analytical hierarchy process approach. *Journal of Operational Research in its Applications*, 19(273), 113–132. DOI: <https://doi.org/10.1001/1.22517286.2022.19.2.3.5>
- Soufi, M., Fadaei, M., Homayounfar, M., Gheibdoust, H. & Rezaee Kelidbari, H., 2025. Evaluating the drivers of green supply chain management adoption in Iran's construction industry. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 36(6), 1626–1649. DOI: <https://doi.org/10.1108/MEQ-04-2022-0105>
- Teng, C.P., Tan, M.Y., Toh, J.P.W., Lim, Q.F.,

- Wang, X., Ponsford, D., Lin, E.M.J., Thitsartarn, W. & Tee, S.Y., 2023. Advances in cellulose-based composites for energy applications. *Materials*, 16(11), 3856. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16103856>
- Verma, J., Petru, M. & Goel, S., 2024. Cellulose based materials to accelerate the transition towards sustainability. *Industrial Crops and Products*, 210, 118078. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118078>
- Zachariah, S.M., Naseem, S., Rizwan, M., Nair, G.G., Grohens, Y., Sadiqa, A., Ahmad, A. & Thomas, S., 2025. Eco-friendly cellulose paper composites: A sustainable solution for EMI shielding and green engineering applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 292, 139127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.139127>