E-ISSN: | P-ISSN:

Management Sciences and Decision Analysis

www.msda.reapress.com

Manag. Sci. Decis. Anal. Vol. 3, No. 1 (2025) 29-38.

Paper Type: Original Article

Assessing the Impact of Digital Technologies on Steel Supply Chain Efficiency Using Multi-Criteria Decision-Making Methods

Shahab Bayatzadeh[1,*], Matin Heydari Rostami[1]

[1] *Departmant of Industrial Management, Faculty of Management and Accounting, Allameh Tabatabaei University, Tehran, Iran; shahabbayazadeh@gmail.com; matinheydari@gmail.com.*

Citation:

Bayatzadeh, Sh., & Heydari Rostami, M. (2025). Assessing the impact of digital technologies on steel supply chain efficiency using multi-criteria decision-making methods. *Management sciences and decision analysis, 3*(1), 29-38.

Received: 12/03/2024 Reviewed: 17/05/2024 Revised: 27/06/2024 Accepted: 22/07/2024

Abstract

Purpose: This study assessed and ranked the impact of digital technologies on the efficiency of the steel industry supply chain.

Methodology: For this purpose, key criteria were extracted from the research literature and weighted using the best-worst fuzzy method. In the next step, three companies active in the steel industry were ranked using the TOPSIS method.

Findings: The results show that supply chain flexibility, order delivery time, and coordination between suppliers and manufacturers are most important in improving the efficiency of the digital supply chain. Company S1 received the highest score due to its better performance in these key metrics. The findings of this study show that digitalization can increase the efficiency of the steel supply chain by optimizing processes, reducing operational costs, and increasing transparency.

Originality/Value: The originality of this study lies in the innovative combination of two key axes: first, focusing on the impact of digital technologies on supply chain performance in the steel industry, which has so far been less comprehensively and structuredly examined in the domestic literature; second, utilizing Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods to measure and prioritize the effects of these technologies on key efficiency indicators such as cost reduction, increased transparency, improved scheduling, and enhanced flexibility.

Keywords: Steel industry, Digital supply chain, Fuzzy best-worst, Technique for order preference by similarity to ideal solution, Supply chain management.

Corresponding Author: shahabbayazadeh@gmail.com https://doi.org/10.22105/msda.v2i1.55

Licensee. **Management Sciences and Decision Analysis**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

علوم مدیریت و تحلیل تصمیم
دوره ۳، شماره (۱)، (۱۴۰۴)، ۳۸-۲۹
www.msda.reapress.com

نوع مقاله: پژوهشی

ارزیابی تاثیر فناوری‌های دیجیتال بر کارایی زنجیره‌تامین فولاد با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره

شهاب بیات‌زاده[۱،*]، متین حیدری رستمی[۱]
[۱]گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران.

چکیده

هدف: این پژوهش به ارزیابی و رتبه‌بندی تاثیر فناوری‌های دیجیتال بر کارایی زنجیره‌تامین صنعت فولاد پرداخته است.

روش‌شناسی پژوهش: برای این منظور، ابتدا معیارهای کلیدی از ادبیات پژوهش استخراج شده و سپس با استفاده از روش بهترین-بدترین فازی وزن‌دهی شده‌اند. در مرحله بعد، سه شرکت فعال در صنعت فولاد با استفاده از روش تاپسیس رتبه‌بندی شده‌اند.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که انعطاف‌پذیری زنجیره تامین، زمان تحویل سفارش و هماهنگی بین تامین‌کنندگان و تولیدکنندگان بیش‌ترین اهمیت را در بهبود کارایی زنجیره‌تامین دیجیتال دارند. شرکت *S1* به دلیل عملکرد بهتر در این معیارهای کلیدی، بالاترین امتیاز را کسب کرده است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که دیجیتالی‌سازی می‌تواند با بهینه‌سازی فرایندها، کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش شفافیت، موجب افزایش کارایی زنجیره‌تامین فولاد شود.

اصالت/ارزش افزوده علمی: اصالت این پژوهش در ترکیب نوآورانه دو محور کلیدی نهفته است: ۱- تمرکز بر تاثیر فناوری‌های دیجیتال بر عملکرد زنجیره‌تامین در صنعت فولاد که تاکنون در ادبیات داخلی کمتر به‌صورت جامع و ساختاریافته مورد بررسی قرار گرفته است و ۲- بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[۱] برای سنجش و اولویت‌بندی اثرات این فناوری‌ها بر شاخص‌های کلیدی کارایی مانند کاهش هزینه‌ها، افزایش شفافیت، بهبود زمان‌بندی و ارتقای انعطاف‌پذیری.

کلیدواژه‌ها: صنعت فولاد، زنجیره‌تامین دیجیتال، بهترین-بدترین فازی، تاپسیس، مدیریت زنجیره‌تامین.

۱- مقدمه

امروزه، تحول دیجیتال در دنیای کسب‌وکار به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عواملی که می‌تواند عملکرد سازمان‌ها را متحول کند، مطرح است. این تحول به‌ویژه در زنجیره‌های تامین پیچیده و گسترده، نظیر صنعت فولاد، اهمیت ویژه‌ای دارد. زنجیره‌تامین به‌عنوان مجموعه‌ای از فرایندهای مرتبط با تامین، تولید، توزیع و تحویل کالا به مصرف‌کنندگان، بخش حیاتی هر صنعتی است. در صنایع سنگین و پیچیده‌ای مانند فولاد، وجود یک زنجیره‌تامین کارآمد می‌تواند تاثیر زیادی بر کاهش هزینه‌ها، افزایش سرعت تولید و بهبود کیفیت محصولات داشته باشد. به همین دلیل، شناسایی و تحلیل عواملی که موجب بهینه‌سازی این زنجیره می‌شود، برای مدیران و فعالان این صنعت بسیار ضروری است [1].

[1] Multiple Criteria Decision Making (MCDM)

دیجیتالی‌سازی زنجیره تامین، به معنای استفاده از فناوری‌های نوین برای اتوماسیون، بهبود ارتباطات، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و پیش‌بینی تقاضا است. این فرایند شامل به‌کارگیری ابزارهایی مانند سیستم‌های برنامه‌ریزی منابع سازمانی[1]، اینترنت اشیا[2]، هوش مصنوعی[3]، بلاک‌چین و تحلیل داده‌های کلان[4] است که به شرکت‌ها کمک می‌کنند تا تصمیمات بهتری در زمینه تامین مواد، تولید، توزیع و حتی ارتباط با مشتریان اتخاذ کنند. با توجه به پیچیدگی‌ها و مقیاس وسیع زنجیره‌تامین در صنعت فولاد، استفاده از این فناوری‌ها ازجمله کاهش هزینه‌های عملیاتی، بهبود کیفیت محصولات، افزایش شفافیت در فرایندها و بهینه‌سازی موجودی‌ها می‌تواند مزایای زیادی را به همراه داشته باشد [2].

در دنیای امروز که تغییرات سریع در تقاضا، نوسانات قیمت مواد اولیه و پیچیدگی‌های لجستیکی به چالش‌های بزرگی تبدیل شده است، شرکت‌های فولادی به‌دنبال راهکارهایی برای افزایش کارایی و کاهش ریسک‌های زنجیره‌تامین خود هستند. از این رو، دیجیتالی‌سازی به یک ابزار راهبردی تبدیل شده است که به کسب‌وکارها این امکان را می‌دهد تا ضمن بهبود شفافیت در فرایندها، پاسخگویی به تقاضاهای متغیر بازار را با دقت بیش‌تری انجام دهند. به‌ویژه در صنعت فولاد که تولید آن به‌طور عمده تحت تاثیر نوسانات جهانی و چالش‌های لجستیکی است، بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال می‌تواند نقشی حیاتی در بهبود عملکرد و کاهش هزینه‌های تولید ایفا کند [3]، [4].

از سوی دیگر، با توجه به گستردگی و پیچیدگی معیارهای مختلفی که برای ارزیابی عملکرد دیجیتالی‌سازی در زنجیره‌تامین وجود دارد، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تحلیل و انتخاب بهترین راهکارها ضروری به نظر می‌رسد. این روش‌ها با در نظر گرفتن چندین معیار هم‌زمان، به ارزیابی گزینه‌های مختلف کمک می‌کنند و می‌توانند تصمیم‌گیری بهینه‌تری را در اختیار مدیران و دست‌اندرکاران قرار دهند. در این پژوهش، با استفاده از روش‌های *BWM* فازی برای وزن‌دهی و تاپسیس[5] برای رتبه‌بندی شرکت‌های فولادی، به ارزیابی کارایی دیجیتالی‌سازی در زنجیره‌تامین پرداخته خواهد شد.

به‌منظور انجام این تحلیل، داده‌های سه شرکت فعال در صنعت فولاد موردبررسی قرار گرفته است. با توجه به حساسیت اطلاعات و حفظ محرمانگی داده‌ها، این شرکت‌ها در این پژوهش با *S1*، *S2* و *S3* نام‌گذاری شده‌اند. این مطالعه تلاش دارد تا با تحلیل عملکرد این شرکت‌ها در حوزه دیجیتالی‌سازی، میزان تاثیر فناوری‌های نوین بر زنجیره‌تامین آن‌ها را ارزیابی کرده و راهکارهایی برای بهبود فرایندهای دیجیتال در این صنعت ارایه دهد. به‌ویژه، بررسی میزان استفاده از فناوری‌هایی چون اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و بلاک‌چین در زنجیره‌تامین فولاد، می‌تواند به‌طور موثری به شناسایی چالش‌ها و فرصت‌های موجود کمک کند.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱- زنجیره‌تامین دیجیتال

دیجیتالی‌سازی می‌تواند با کاهش هزینه‌ها، بهبود کیفیت محصولات و افزایش شفافیت، زنجیره‌تامین فولاد را متحول کند. این امر به‌ویژه در شرایطی که بازارهای جهانی با نوسانات بالا روبرو هستند، امکان بهبود انعطاف‌پذیری و پاسخگویی سریع به تغییرات را فراهم می‌آورد.

دیجیتالی‌سازی زنجیره تامین، فرایندی است که طی آن فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، بلاک‌چین و داده‌های کلان در زنجیره‌تامین به کار گرفته می‌شوند تا عملیات را بهینه کرده، شفافیت را افزایش داده و سرعت تصمیم‌گیری را بهبود بخشند. این رویکرد، امکان ارتباط بهتر بین ذی‌نفعان، پیش‌بینی دقیق‌تر تقاضا و مدیریت موجودی‌ها را فراهم می‌کند. در صنعت فولاد که با پیچیدگی‌های لجستیکی، نوسانات قیمت مواد اولیه و تقاضای متغیر روبرو است، دیجیتالی‌سازی به یک ابزار استراتژیک تبدیل شده است [5].

فناوری‌های دیجیتال نقش کلیدی در بهبود عملکرد زنجیره‌تامین فولاد ایفا می‌کنند و موجب افزایش کارایی، شفافیت و انعطاف‌پذیری در فرایندهای تولید و توزیع می‌شوند .اینترنت اشیا با استفاده از سنسورهای هوشمند، امکان نظارت لحظه‌ای بر جریان مواد، تجهیزات و محصولات را فراهم می‌کند و به بهینه‌سازی مدیریت موجودی، کاهش هدر رفت و افزایش سرعت واکنش به تغییرات کمک می‌کند. هوش مصنوعی نیز از طریق تحلیل

---

[1] Enterprise Resource Planning (ERP)
[2] Internet of Things (IoT)
[3] Artificial Intelligence (AI)
[4] Big Data
[5] Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

داده‌های تاریخی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، به پیش‌بینی تقاضا، بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تولید و کنترل کیفیت کمک می‌کند که درنهایت منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری می‌شود [6].

علاوه بر این، بلاک‌چین با ایجاد یک سیستم ثبت داده شفاف و غیرقابل تغییر، امنیت اطلاعات را افزایش داده و فرایندهای زنجیره‌تامین را قابل ردیابی‌تر می‌کند. این فناوری با کاهش کاغذبازی و تسریع تراکنش‌ها، اعتماد میان ذی‌نفعان را تقویت می‌کند. در کنار آن، داده‌های کلان از طریق تحلیل حجم عظیمی از اطلاعات عملیاتی و بازار، به بهبود تصمیم‌گیری‌های استراتژیک و پیش‌بینی نوسانات عرضه و تقاضا کمک می‌کند. این فناوری‌ها در کنار یکدیگر، زنجیره‌تامین فولاد را هوشمندتر، کارآمدتر و انعطاف‌پذیرتر ساخته و امکان مدیریت بهتر ریسک‌ها و افزایش رقابت‌پذیری را فراهم می‌کنند [7].

۲-۲- کارایی زنجیره تامین

کارایی زنجیره‌تامین به توانایی سازمان‌ها در به حداقل رساندن هزینه‌ها، افزایش سرعت و کیفیت تولید و ارایه خدمات بهینه به مشتریان اشاره دارد. زنجیره‌تامین کارآمد می‌تواند از طریق بهینه‌سازی فرایندهای تامین، تولید و توزیع، بهره‌وری را افزایش داده و رقابت‌پذیری شرکت را بهبود بخشد. در بستر دیجیتالی‌سازی، ارزیابی کارایی نیازمند تحلیل معیارهای متعددی مانند زمان‌بندی دقیق، کاهش خطاها، استفاده بهینه از منابع، کاهش ضایعات و بهبود هماهنگی میان بخش‌های مختلف زنجیره‌تامین است [8].

به‌کارگیری فناوری‌های دیجیتال می‌تواند باعث بهبود عملکرد کلی زنجیره‌تامین شود، به‌طوری‌که سیستم‌های هوشمند و داده محور، امکان اتخاذ تصمیمات سریع‌تر و دقیق‌تر، کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش شفافیت در فرایندها را فراهم می‌کنند. علاوه بر این، بهینه‌سازی جریان اطلاعات میان تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مشتریان منجر به افزایش چابکی و انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات بازار می‌شود. در صنعت فولاد که با نوسانات قیمتی، نیاز به پاسخگویی سریع به تقاضا و چالش‌های لجستیکی روبه‌رو است، ارتقای کارایی زنجیره‌تامین از طریق دیجیتالی‌سازی، نقش کلیدی در کاهش ریسک‌ها و بهبود سودآوری دارد [9].

۲-۳- معیارهای ارزیابی تاثیر فناوری‌های دیجیتال بر کارایی زنجیره‌تامین فولاد

هزینه‌های عملیاتی

این معیار شامل تمامی هزینه‌های مرتبط با عملیات زنجیره تامین، ازجمله تامین مواد اولیه، تولید، نگهداری موجودی و توزیع است. کاهش هزینه‌های عملیاتی از طریق بهینه‌سازی فرایندها، کاهش ضایعات و استفاده از فناوری‌های دیجیتال می‌تواند سودآوری شرکت‌ها را افزایش دهد [10].

زمان تحویل سفارش

این معیار به مدت‌زمان مورد نیاز برای پردازش، تولید و تحویل سفارش به مشتری اشاره دارد. کاهش زمان تحویل از طریق فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا و هوش مصنوعی می‌تواند منجر به افزایش رضایت مشتری و بهبود رقابت‌پذیری شرکت‌های فولادی شود [11].

دقت پیش‌بینی تقاضا

توانایی شرکت در پیش‌بینی صحیح میزان تقاضا تاثیر مستقیمی بر مدیریت موجودی، جلوگیری از کمبود یا مازاد تولید و بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تولید دارد. استفاده از تحلیل داده‌های کلان و هوش مصنوعی می‌تواند به افزایش دقت این پیش‌بینی‌ها کمک کند [11].

مدیریت موجودی

این معیار نشان‌دهنده توانایی شرکت در حفظ سطح بهینه موجودی مواد اولیه، قطعات و محصولات نهایی است. دیجیتالی‌سازی زنجیره‌تامین از طریق سیستم‌های هوشمند مدیریت انبار، ردیابی لحظه‌ای کالاها و بهینه‌سازی فرایندهای تامین و توزیع، می‌تواند کارایی مدیریت موجودی را افزایش دهد [12].

انعطاف‌پذیری زنجیره تامین

انعطاف‌پذیری به میزان توانایی زنجیره‌تامین در واکنش سریع به تغییرات بازار، نوسانات تقاضا و اختلالات غیرمنتظره اشاره دارد. فناوری‌های دیجیتال، مانند سیستم‌های برنامه‌ریزی پیشرفته و بلاک‌چین، می‌توانند ارتباطات بین بخش‌های مختلف زنجیره را بهبود بخشیده و انعطاف‌پذیری را افزایش دهند [13].

کیفیت محصول

کیفیت بالای محصول یکی از عوامل کلیدی در افزایش رضایت مشتری و حفظ سهم بازار است. فناوری‌های دیجیتال مانند اتوماسیون تولید، پردازش داده‌های لحظه‌ای و یادگیری ماشین می‌توانند فرایندهای کنترل کیفیت را بهبود داده و میزان محصولات معیوب را کاهش دهند [10].

هماهنگی بین تامین‌کنندگان و تولیدکنندگان

میزان همکاری و هماهنگی میان تامین‌کنندگان مواد اولیه و تولیدکنندگان تاثیر مستقیمی بر کارایی زنجیره‌تامین دارد. استفاده از سیستم‌های مدیریت زنجیره‌تامین دیجیتال[1] و بلاک‌چین می‌تواند تبادل اطلاعات را بهبود بخشد و فرایندهای همکاری را تسهیل کند [14].

امنیت اطلاعات و داده‌ها

با افزایش وابستگی زنجیره‌تامین به فناوری‌های دیجیتال، امنیت اطلاعات و محافظت از داده‌های حساس اهمیت زیادی پیدا کرده است. استفاده از فناوری‌هایی مانند بلاک‌چین، رمزگذاری داده‌ها و سیستم‌های امنیت سایبری می‌تواند از تهدیدات سایبری و افشای اطلاعات جلوگیری کند.

پایداری محیط‌زیستی

این معیار به میزان تاثیر فعالیت‌های زنجیره‌تامین بر محیط‌زیست، ازجمله میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، مصرف انرژی و مدیریت پسماند اشاره دارد. فناوری‌های دیجیتال می‌توانند به کاهش اثرات زیست‌محیطی از طریق بهینه‌سازی فرایندها، کاهش مصرف انرژی و استفاده از مواد پایدار کمک کنند [15]، [16].

رضایت مشتری

سطح رضایت مشتری از کیفیت، زمان تحویل، شفافیت فرایندها و قابلیت ردیابی سفارش‌ها، نقش مهمی در موفقیت زنجیره‌تامین دارد. فناوری‌های دیجیتال مانند پلتفرم‌های ارتباطی، سیستم‌های ردیابی سفارش و تجزیه‌وتحلیل داده‌های مشتریان می‌توانند تجربه مشتری را بهبود بخشیده و میزان وفاداری را افزایش دهند [10].

این ۱۰ معیار به‌عنوان شاخص‌های کلیدی برای ارزیابی تاثیر فناوری‌های دیجیتال بر کارایی زنجیره‌تامین صنعت فولاد مورداستفاده قرار می‌گیرند.

[1] Supply Chain Management (SCM)

جدول ۱- معیارها و زیرمعیارهای به‌دست آمده از مرور ادبیات.

Table 1- Criteria and subcriteria obtained from the literature review.

معیار	نماد	زیر معیار	نماد
کارایی عملیاتی	C1	هزینه‌های عملیاتی	C11
		زمان تحویل سفارش	C12
		مدیریت موجودی	C13
		دقت پیش‌بینی تقاضا	C14
هماهنگی و انعطاف‌پذیری	C2	انعطاف‌پذیری زنجیره تامین	C21
		هماهنگی بین تامین‌کنندگان و تولیدکنندگان	C22
		امنیت اطلاعات و داده‌ها	C23
کیفیت و پایداری	C3	کیفیت محصول	C31
		پایداری محیط زیستی	C32
		رضایت مشتری	C33

۴-۲- پیشینه پژوهش

در مطالعه‌ای توسط تنگ و همکاران [17] تحت عنوان "مکانیسم کارایی زنجیره‌تامین در تحول دیجیتال سازمانی و بهره‌وری کل عوامل"، تاثیر تحول دیجیتال بر بهره‌وری کل عوامل در شرکت‌های چینی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که تحول دیجیتال به‌طور معناداری بهره‌وری را افزایش می‌دهد و کارایی زنجیره‌تامین نقش کلیدی در این رابطه دارد. استفاده از فناوری‌های دیجیتال باعث بهبود گردش موجودی و افزایش بهره‌وری کل عوامل می‌شود.

در تحقیق فرناندز و همکاران [18]، نقشه راه فناوری برای دیجیتالی‌سازی زنجیره‌تامین در یک شرکت فولادی برزیلی بر اساس اصول صنعت ۴٫۰ توسعه یافت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که فناوری‌های صنعت ۴٫۰ می‌توانند به شرکت‌ها در دستیابی به‌چابکی و کارایی بیش‌تر در زنجیره‌تامین کمک کنند.

عمویی و همکاران [19] در مطالعه‌ای تحت عنوان "توسعه و اعتبارسنجی ابزاری برای اندازه‌گیری تاثیر فعالیت‌های زنجیره‌تامین دیجیتال بر عملکرد پایدار" یک مدل مفهومی و پرسشنامه طراحی کردند. نتایج نشان داد که فعالیت‌های اصلی زنجیره‌تامین دیجیتال تاثیر مثبتی بر عملکرد پایدار دارند و مدل پیشنهادی از اعتبار بالایی برخوردار است.

در مطالعه‌ای دیگر توسط یو و همکاران [20] تحت عنوان "آیا دیجیتالی‌شدن کارایی زنجیره‌تامین را بهبود می‌بخشد؟"، از روش تفاوت-در-تفاوت[1] برای بررسی تاثیر دیجیتالی‌شدن زنجیره‌تامین بر بهبود کارایی زنجیره‌تامین استفاده شد. نتایج نشان داد که دیجیتالی‌شدن زنجیره‌تامین تاثیر مثبت و معناداری بر بهبود کارایی دارد، به‌ویژه در شرکت‌های دولتی و شرکت‌هایی با کنترل‌های داخلی قوی.

در پژوهش وانگ و همکاران [21] تحت عنوان "تاثیر دیجیتالی‌شدن زنجیره‌تامین و کارایی لجستیک بر رقابت‌پذیری شرکت‌های صنعتی"، نتایج نشان می‌دهند که دیجیتالی‌شدن زنجیره‌تامین و کارایی لجستیک به‌طور مثبت بر رقابت‌پذیری شرکت‌ها تاثیر می‌گذارند. همچنین، مقررات محیط‌زیستی رابطه بین کارایی لجستیک و رقابت‌پذیری را تقویت می‌کند.

در مقاله‌های بررسی‌شده، تاثیر دیجیتالی‌شدن بر بهبود کارایی زنجیره‌تامین و بهره‌وری در صنایع مختلف به‌وضوح نشان داده شده است. مطالعه‌های مختلف، ازجمله بررسی‌های انجام‌شده در صنایع فولاد و تولید، بر استفاده از فناوری‌های دیجیتال برای بهبود کارایی، کاهش هزینه‌ها و ارتقا عملکرد تاکید دارند. به‌ویژه در زنجیره‌تامین فولاد، استفاده از فناوری‌های دیجیتال همچون هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء و سیستم‌های ردیابی پیشرفته به بهبود فرایندها و افزایش چابکی در زنجیره‌تامین کمک کرده است.

[1] Different in Different (DID)

در مقایسه با پژوهش فعلی، این مقاله‌ها عمدتا به بررسی تاثیرها مستقیم فناوری‌های دیجیتال بر کارایی و بهره‌وری کل عوامل تمرکز دارند، درحالی‌که مقاله ما بر ارزیابی چندمعیاره با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری تمرکز دارد تا به تحلیل و رتبه‌بندی اثرات مختلف بپردازد؛ بنابراین، تفاوت اصلی در رویکردهای تحلیلی است که هر مطالعه به‌کار می‌گیرد.

۳- روش پژوهش

این پژوهش از نظر هدف، تحلیلی با نتایجی کاربردی و از لحاظ گردآوری اطلاعات، در دسته پژوهش‌های توصیفی-پیمایشی قرار می‌گیرد. در این پژوهش به ارزیابی و رتبه‌بندی تاثیر فناوری‌های دیجیتال بر کارایی زنجیره‌تامین در صنعت فولاد ایران پرداخته شده است. ابتدا معیارهای ارزیابی کارایی زنجیره‌تامین در بستر دیجیتال‌سازی از طریق مطالعه ادبیات پژوهش شناسایی شده‌اند. برای وزن‌دهی معیارها از روش بهترین-بدترین فازی[1] و برای رتبه‌بندی شرکت‌های موردمطالعه از روش تاپسیس بهره گرفته شده است.

نمونه‌گیری در این پژوهش به‌صورت هدفمند و قضاوتی انجام شده و شامل ۱۰ خبره است که به‌طور مستقیم با موضوع پژوهش آشنایی دارند. از این تعداد، ۲ نفر استاد دانشگاه با مدرک دکتری و ۸ نفر مدیر و متخصص در صنعت فولاد با مدرک کارشناسی ارشد هستند. این خبرگان از تجربه و تخصص کافی در زمینه مدیریت زنجیره‌تامین و فناوری‌های دیجیتال برخوردارند. برای تحلیل داده‌های پژوهش از پرسشنامه‌های تخصصی استفاده شده که میان این خبرگان توزیع شده است. داده‌های جمع‌آوری‌شده ابتدا برای وزن‌دهی معیارها پردازش شده و سپس شرکت‌های منتخب بر اساس میزان دیجیتالی‌سازی زنجیره‌تامین و تاثیر آن بر کارایی عملکردشان رتبه‌بندی گردیده‌اند.

درنهایت، نتایج پژوهش به همراه پیشنهادهایی برای بهبود کارایی زنجیره‌تامین فولاد از طریق فناوری‌های دیجیتال ارایه شده است که می‌تواند راهنمایی کاربردی برای مدیران و سیاست‌گذاران این صنعت باشد.

۳-۱- بهترین-بدترین فازی

روش بهترین-بدترین فازی یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در آن بهترین و بدترین معیارها توسط تصمیم‌گیرنده مشخص شده و سایر معیارها نسبت به این دو ارزیابی می‌شوند. این روش با استفاده از مقایسه‌های زوجی و مدل ریاضی حداکثر-حداقل، وزن نهایی معیارها را محاسبه می‌کند و به دلیل تعداد کمتر مقایسه‌ها و دقت بالاتر در وزن‌دهی، نسبت به روش‌های دیگر کارآمدتر است [22].

مراحل روش بهترین-بدترین فازی [22]

۱. شناسایی معیارها: ابتدا مجموعه‌ای از معیارهای تصمیم‌گیری که برای ارزیابی گزینه‌ها ضروری هستند، مشخص می‌شود.
۲. انتخاب بهترین و بدترین معیار: تصمیم‌گیرندگان مهم‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین معیار را تعیین می‌کنند که در مقایسه‌های بعدی به‌عنوان نقاط مرجع استفاده می‌شوند.
۳. مقایسه زوجی معیارها با بهترین معیار: سایر معیارها نسبت به معیار برتر با استفاده از متغیرهای زبانی فازی مقایسه شده و ماتریس ترجیحات تشکیل می‌شود.
۴. مقایسه زوجی معیارها با بدترین معیار: تمام معیارها نسبت به معیار کم‌اهمیت مقایسه شده و داده‌های زبانی به اعداد فازی تبدیل می‌شوند.
۵. محاسبه وزن‌های بهینه: مدل ریاضی تنظیم‌شده برای بهینه‌سازی وزن معیارها حل شده و وزن نهایی معیارها محاسبه می‌شود.
۶. بررسی نرخ سازگاری: نرخ سازگاری مدل برای اطمینان از دقت و صحت محاسبات بررسی می‌شود. مقادیر کم‌تر از ۰/۱ به‌عنوان حد قابل‌قبول در نظر گرفته می‌شوند.

[1] Best-Worst Method (BWM)

جدول ۲- متغیرهای زبانی و شاخص سازگاری برای روش بهترین-بدترین فازی.
Table 2- Linguistic variables and compatibility index for the best-worst fuzzy method.

متغیر زبانی	اهمیت یکسان (EI)	اهمیت کم (WI)	اهمیت نسبی (FI)	اهمیت زیاد (VI)	اهمیت خیلی زیاد (AI)
$\tilde{a}_{BW}$	(1,1,1)	(0.67,1,1.5)	(1.1,2,2.5)	(2.5,3,3.5)	(3.5,4,4.5)
CI	3	3.80	5.29	6.69	8.04

۲-۳- تاپسیس

روش تاپسیس یکی از روش‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری چندمعیاره است که برای ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس معیارهای مختلف به‌کار می‌رود. این روش بر مبنای نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین گزینه) و دوری از راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین گزینه) عمل می‌کند. گزینه‌ای که کمترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت و بیش‌ترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل منفی داشته باشد، به‌عنوان بهترین انتخاب معرفی می‌شود [23].

مراحل روش تاپسیس [23]:

۱. نرمال‌سازی ماتریس تصمیم: ابتدا، ماتریس تصمیم با استفاده از نرمال‌سازی اقلیدسی بی‌مقیاس می‌شود.
۲. ضرب وزن‌ها: وزن هر معیار در ماتریس نرمال‌شده ضرب می‌شود تا میزان اهمیت هر معیار در ارزیابی مشخص شود.
۳. تعیین راه‌حل‌های ایده‌آل: بهترین و بدترین مقدار هر معیار از بین گزینه‌ها برای تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی مشخص می‌شود.
۴. محاسبه فاصله‌ها: فاصله هر گزینه از راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی با استفاده از فرمول‌های هندسی محاسبه می‌شود.
۵. محاسبه شاخص شباهت: شاخص شباهت برای هر گزینه محاسبه می‌شود که نشان‌دهنده نزدیکی گزینه‌ها به راه‌حل ایده‌آل مثبت است.
۶. رتبه‌بندی گزینه‌ها: درنهایت، گزینه‌ها بر اساس شاخص شباهت به‌طور نزولی رتبه‌بندی می‌شوند، به‌طوری‌که گزینه با بالاترین شاخص شباهت به راه‌حل ایده‌آل مثبت رتبه اول را به‌دست می‌آورد.

این روش به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا گزینه‌های مختلف را بر اساس نزدیک بودن به بهترین گزینه و دور بودن از بدترین گزینه، رتبه‌بندی کنند.

۴- یافته‌های پژوهش

با توجه به معیارهای ارزیابی شناسایی‌شده در **جدول ۱** و پس از جمع‌آوری نظرات خبرگان از طریق پرسشنامه، وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها با استفاده از روش بهترین-بدترین فازی محاسبه شد. این فرایند شامل مقایسه‌های زوجی بین معیارها و شناسایی بهترین و بدترین معیارها توسط هر یک از خبرگان بود. پس از انجام مقایسه‌ها و تحلیل داده‌های حاصل از آن‌ها، وزن‌های نهایی برای هر معیار و زیرمعیار تعیین گردید.

جدول ۳- وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها.
Table 3- Final weight of criteria and sub-criteria.

معیار	نماد	وزن	زیر معیار	نماد	وزن در معیار	وزن نهایی
کارایی عملیاتی	C1	0.401	هزینه‌های عملیاتی	C11	0.325	0.130
			زمان تحویل سفارش	C12	0.387	0.155
			مدیریت موجودی	C13	0.185	0.074
			دقت پیش‌بینی تقاضا	C14	0.101	0.041
هماهنگی و انعطاف‌پذیری	C2	0.398	انعطاف‌پذیری زنجیره تامین	C21	0.501	0.199
			هماهنگی بین تامین‌کنندگان و تولیدکنندگان	C22	0.373	0.148
			امنیت اطلاعات و داده‌ها	C23	0.126	0.050
کیفیت و پایداری	C3	0.201	کیفیت محصول	C31	0.533	0.107
			پایداری محیط زیستی	C32	0.299	0.060
			رضایت مشتری	C33	0.167	0.034

در این مطالعه، برای ارزیابی و رتبه‌بندی کارایی دیجیتالی‌سازی در زنجیره‌تامین صنعت فولاد از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس استفاده شد. در این راستا، مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی به‌کار رفته است که تمامی این معیارها از ماهیت کیفی برخوردار هستند.

برای امتیازدهی به شرکت‌ها نسبت به این معیارها، از دیدگاه ۱۰ خبره با تخصص‌های مرتبط استفاده شد. این خبرگان شامل اساتید دانشگاهی و مدیران بخش فناوری و زنجیره‌تامین در صنعت فولاد بودند که آشنایی کامل با مفاهیم دیجیتالی‌سازی و مدیریت زنجیره‌تامین داشتند. از هر خبره خواسته شد تا بر اساس طیف زبانی فازی، به هر گزینه نسبت به هر معیار امتیاز اختصاص دهد. این امتیازات پس از جمع‌آوری و پردازش، به کمک روش تاپسیس تحلیل‌شده و رتبه‌بندی نهایی تعیین گردید.

جدول ۴- ماتریس نهایی وزین شده مقایسه‌ها تاپسیس.
Table 4- Final weighted matrix of TOPSIS comparisons.

شرکت/معیار	C11	C12	C13	C14	C21	C22	C23	C31	C32	C33
S1	0.071	0.094	0.041	0.024	0.112	0.090	0.028	0.061	0.036	0.019
S2	0.079	0.089	0.045	0.023	0.115	0.081	0.029	0.064	0.033	0.019
S3	0.075	0.086	0.042	0.025	0.118	0.085	0.030	0.061	0.035	0.021

جدول ۵- رتبه‌بندی نهایی شرکت‌ها.
Table 5- Final ranking of companies.

شرکت	شاخص شباهت
S1	0.5194
S2	0.4828
S3	0.4497

۵- بحث و نتیجه‌گیری

انعطاف‌پذیری در زنجیره‌تامین به‌عنوان مهم‌ترین معیار شناخته شده است، زیرا در محیط پویای صنعت فولاد، توانایی پاسخگویی سریع به تغییرات و اختلالات نقش کلیدی در حفظ تداوم عملیات دارد. دیجیتالی‌سازی می‌تواند از طریق ابزارهایی مانند هوش مصنوعی و تحلیل داده‌های لحظه‌ای، این انعطاف‌پذیری را افزایش دهد و امکان واکنش سریع‌تر به نوسانات بازار و چالش‌های تامین را فراهم کند.

پس‌ازآن، زمان تحویل سفارش اهمیت بالایی پیدا کرده است، چرا که تاخیر در تحویل مواد اولیه یا محصولات نهایی می‌تواند موجب افزایش هزینه‌ها و کاهش رضایت مشتریان شود. فناوری‌های دیجیتال مانند سیستم‌های مدیریت موجودی مبتنی بر اینترنت اشیا و پلتفرم‌های هماهنگی زنجیره‌تامین می‌توانند به بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تولید و توزیع کمک کنند و از بروز تاخیر جلوگیری نمایند.

هماهنگی بین تامین‌کنندگان و تولیدکنندگان نیز به‌عنوان یک عامل حیاتی در دیجیتالی شدن زنجیره‌تامین مطرح شده است. یکپارچگی اطلاعات و ارتباطات بین بازیگران مختلف زنجیره، از طریق فناوری‌هایی مانند بلاک‌چین و سیستم‌های *ERP*، موجب بهبود همکاری و کاهش عدم قطعیت در فرایندهای تامین و تولید می‌شود.

هزینه‌های عملیاتی در جایگاه بعدی قرار گرفته است، زیرا یکی از اهداف اصلی دیجیتالی‌سازی، کاهش هزینه‌ها از طریق بهینه‌سازی فرایندها، کاهش ضایعات و افزایش بهره‌وری است. استفاده از ابزارهای تحلیل داده، رباتیک و اتوماسیون صنعتی می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های نیروی انسانی، انرژی و حمل‌ونقل شود.

درنهایت، کیفیت محصول نیز از معیارهای تاثیرگذار محسوب می‌شود. افزایش دقت و کنترل در فرایندهای تولید و نظارت بر کیفیت، با استفاده از سنسورهای هوشمند و یادگیری ماشین، می‌تواند احتمال خطاها و نقص‌های کیفی را کاهش دهد و موجب افزایش رضایت مشتریان و بهبود رقابت‌پذیری شرکت‌ها شود.

شرکت *S1* نسبت به دو شرکت دیگر نمرات بالاتری دریافت کرده است، زیرا در معیارهای کلیدی که بیش‌ترین اهمیت را در دیجیتالی‌سازی زنجیره‌تامین و افزایش کارایی دارند، عملکرد بهتری داشته است.

این شرکت انعطاف‌پذیری بالاتری در زنجیره‌تامین خود نشان داده که به‌واسطه استفاده از فناوری‌های دیجیتال برای پیش‌بینی تقاضا، مدیریت موجودی و برنامه‌ریزی تولید بوده است. این شرکت توانسته با استفاده از تحلیل داده‌ها و سیستم‌های پیشرفته مدیریت تامین، سریع‌تر از رقبا به تغییرات و اختلالات پاسخ دهد. زمان تحویل سفارش در شرکت *S1* بهینه‌تر بوده که نشان‌دهنده استفاده بهتر این شرکت از فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا برای ردیابی محموله‌ها و مدیریت لحظه‌ای زنجیره‌تامین است. این موضوع باعث شده که تاخیرهای کمتری داشته باشد و مشتریان رضایت بیش‌تری از زمان تحویل محصولات آن داشته باشند.

این مجموعه همچنین در هماهنگی بین تامین‌کنندگان و تولیدکنندگان عملکرد بهتری داشته که احتمالا ناشی از یکپارچگی بیش‌تر سیستم‌های اطلاعاتی و استفاده از راهکارهایی مانند بلاک‌چین یا *ERP* بوده است. این هماهنگی بهتر، منجر به کاهش ناهماهنگی در تامین مواد اولیه و افزایش بهره‌وری تولید شده است. درنهایت، کیفیت محصول *S1* بالاتر از رقبا ارزیابی شده که می‌تواند نتیجه نظارت دقیق‌تر بر فرایندهای تولید، استفاده از سنسورهای هوشمند برای کنترل کیفیت و به‌کارگیری سیستم‌های پیشرفته مدیریت تولید باشد. این سطح بالای کیفیت، موجب افزایش اعتماد مشتریان و تقویت موقعیت این شرکت در بازار شده است.

محدودیت‌های پژوهش شامل محدودیت در دسترسی به داده‌های دقیق شرکت‌ها و استفاده از تعداد محدودی خبره برای وزن‌دهی معیارها است. همچنین، ماهیت کیفی معیارها باعث وابستگی نتایج به نظرات خبرگان شده است.

پیشنهادها کاربردی این پژوهش بر لزوم سرمایه‌گذاری در فناوری‌های دیجیتال مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و بلاک‌چین برای بهبود هماهنگی زنجیره‌تامین و کاهش ریسک‌های عملیاتی تاکید دارد. همچنین، شرکت‌های فولادی می‌توانند از مدل‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره برای بهینه‌سازی فرایندهای دیجیتالی‌سازی خود بهره ببرند.

پیشنهادها برای پژوهش‌های آینده شامل استفاده از مجموعه داده‌های گسترده‌تر، بررسی تاثیر فناوری‌های نوظهور مانند یادگیری ماشین و اتوماسیون پیشرفته بر زنجیره‌تامین فولاد و انجام مطالعات موردی در شرکت‌های فولادی مختلف برای تعمیم‌پذیری بهتر نتایج است.

منابع

[1] Gajdzik, B., & Wolniak, R. (2021). Digitalisation and innovation in the steel industry in Poland-selected tools of ICT in an analysis of statistical data and a case study. *Energies*, *14*(11), 3034. https://doi.org/10.3390/en14113034

[2] Zhou, D., Xu, K., Lv, Z., Yang, J., Li, M., He, F., & Xu, G. (2022). Intelligent manufacturing technology in the steel industry of China: a review. *Sensors*, *22*(21), 8194. https://doi.org/10.3390/s22218194

[3] Queiroz, M. M., Pereira, S. C. F., Telles, R., & Machado, M. C. (2021). Industry 4.0 and digital supply chain capabilities: A framework for understanding digitalisation challenges and opportunities. *Benchmarking: An international journal*, *28*(5), 1761–1782. https://doi.org/10.1108/BIJ-12-2018-0435

[4] Lee, K. L., Teong, C. X., Alzoubi, H. M., Alshurideh, M. T., Khatib, M. El, & Al-Gharaibeh, S. M. (2024). Digital supply chain transformation: The role of smart technologies on operational performance in manufacturing industry. *International journal of engineering business management*, *16*, 18479790241234984. https://doi.org/10.1177/18479790241234986

[5] Liao, H., Wen, Z., & Liu, L. (2019). Integrating BWM and ARAS under hesitant linguistic environment for digital supply chain finance supplier section. *Technological and economic development of economy*, *25*(6), 1188–1212. https://doi.org/10.3846/tede.2019.10716

[6] Bayatzadeh, S., &, & Amiri, M. (2024). Identifying and evaluating supplier selection criteria in iran's steel industry according to industry 4.0 technologies. *Innovation management and operational strategies*, *5*(3), 306–330. **(In Persian)**. https://doi.org/10.22105/imos.2024.472776.1379

[7] Khanna, A., Jain, S., Burgio, A., Bolshev, V., & Panchenko, V. (2022). Blockchain-enabled supply chain platform for Indian dairy industry: Safety and traceability. *Foods*, *11*(17), 2716. https://doi.org/10.3390/foods11172716

[8] Vazquez Melendez, E. I., Bergey, P., & Smith, B. (2024). Blockchain technology for supply chain provenance: increasing supply chain efficiency and consumer trust. *Supply chain management: an international journal*, *29*(4), 706–730. https://doi.org/10.1108/SCM-08-2023-0383

[9] Al Bashar, M., Taher, M. A., Islam, M. K., & Ahmed, H. (2024). The impact of advanced robotics and automation on supply chain efficiency in industrial manufacturing: A comparative analysis between the us and Bangladesh. *Economics, development & project management*, *3*(03), 28–41. https://B2n.ir/mj5117

[10] Sharma, M., & Joshi, S. (2023). Digital supplier selection reinforcing supply chain quality management systems to enhance firm's performance. *The tqm journal*, *35*(1), 102–130. https://doi.org/10.1108/TQM-07-2020-0160

[11] Kaur, H., & Singh, S. P. (2021). Multi-stage hybrid model for supplier selection and order allocation considering disruption risks and disruptive technologies. *International journal of production economics*, *231*, 107830. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107830

[12] Teerasoponpong, S., & Sopadang, A. (2022). Decision support system for adaptive sourcing and inventory management in small-and medium-sized enterprises. *Robotics and computer-integrated manufacturing*, *73*, 102226. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102226

[13] Katsaliaki, K., Galetsi, P., & Kumar, S. (2022). Supply chain disruptions and resilience: A major review and future research agenda. *Annals of operations research*, 1–38. https://doi.org/10.1007/s10479-020-03912-1

[14] ÖZBEK, A., & Yildiz, A. (2020). Digital supplier selection for a garment business using interval type-2 fuzzy topsis. *Textile and apparel*, *30*(1), 61–72. http://dx.doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.569884

[15] Tsolakis, N., Schumacher, R., Dora, M., & Kumar, M. (2023). Artificial intelligence and blockchain implementation in supply chains: A pathway to sustainability and data monetisation? *Annals of operations research*, *327*(1), 157–210. https://doi.org/10.1007/s10479-022-04785-2

[16] Tseng, M. L., Li, S. X., Lin, C. W. R., & Chiu, A. S. (2023). Validating green building social sustainability indicators in China using the fuzzy delphi method. *Journal of industrial and production engineering*, *40*(1), 35–53. https://doi.org/10.1080/21681015.2022.2070934

[17] Teng, Y., Du, A. M., & Lin, B. (2024). The mechanism of supply chain efficiency in enterprise digital transformation and total factor productivity. *International review of financial analysis*, *96*, 103583. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2024.103583

[18] Fernandes, J., Reis, L. P., & Silva, S. E. (2023). Digital supply chain: roadmap development and application based on Industry 4.0 principles. *IFAC-papersonline*, *56*(2), 10339–10344. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.1044

[19] Ahmad Amouei, M., Valmohammadi, C., & Fathi, K. (2023). Developing and validating an instrument to measure the impact of digital supply chain activities on sustainable performance. *Journal of enterprise information management*, *36*(4), 925–951. https://doi.org/10.1108/JEIM-12-2021-0520

[20] Yu, Z., Cao, X., Tang, L., Yan, T., & Wang, Z. (2024). Does digitalization improve supply chain efficiency? *Finance research letters*, *67*, 105822. https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.105822

[21] Wang, Z., Gao, L., & Wang, W. (2025). The impact of supply chain digitization and logistics efficiency on the competitiveness of industrial enterprises. *International review of economics & finance*, *97*, 103759. https://doi.org/10.1016/j.iref.2024.103759

[22] Guo, S., & Zhao, H. (2017). Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Knowledge-based systems*, *121*, 23–31. https://doi.org/10.1016/j.knosys.2017.01.010

[23] Hwang, C. L., Yoon, K., Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. *Multiple attribute decision making: methods and applications a state-of-the-art survey*, 58–191. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3