



Comprehensive analysis of Sustainable Industrial Supply Chain Management System with Fuzzy Delphi, Entropy and COPRAS

Mehdi Ajalli* 

Assistant Professor, Department of Management, Faculty of Management and Accounting, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

m.ajalli@basu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:

Research Full Paper

Article history:

Received: 2025-12-01

Revised: 2025-12-31

Accepted: 2026-02-09

Keywords:

Type your five keywords
Environment;
Sustainable Supply Chain
Management;
Suppliers;
Fuzzy Delphi;
Entropy;
COPRAS.

EXTENDED ABSTRACT

Background and Objectives: Today, the sustainability of any system in any industry has become one of the key strategies. The ultimate goal of sustainability is to improve environmental, economic, and social issues and other process improvements. Meanwhile, lead and zinc production is always accompanied by many environmental pollutants, and reducing pollution issues in this industry is inevitable. Therefore, planning to improve sustainability in the supply chain system of this industry is essential. Understanding the necessity of these measures, the present study has comprehensively evaluated the sustainable suppliers of the lead and zinc industry as one of the national industries and influential in improving the country's economic trend. The importance of supplier evaluation in the lead and zinc industry is much higher than in many other industries, as this industry faces very sensitive technical, environmental, legal, financial, and supply chain risks.

Materials and Methods: The study method is "applied, primary, field-cross-sectional, and mixed" in terms of "purpose, data collection source, place and time of data collection, and data type". The statistical population includes industry experts who were used with a purposive sampling method from the opinions of 60 experts in the section of identifying factors affecting sustainable supply chain management and 30 experts in the section of evaluating factors and ranking sustainable suppliers of the industry. The methods used to identify and evaluate factors and suppliers are Fuzzy Delphi, Shannon Entropy and COPRAS, respectively.

Results: The Delphi analysis showed that seven key factors have high effectiveness in the industry. The entropy output indicates that the "social" index is in the first priority; and the "supervisory and legal", "economic" and "environmental" indices are in the second to fourth priorities.

Conclusion: The COPRAS result also showed that the fifth, sixth and second suppliers are in the first to third ranks, respectively. Finally, practical and research suggestions were presented to the industry and researchers.

* Corresponding author.

E-mail address: m.ajalli@basu.ac.ir

<https://orcid.org/0000-0002-7123-4176>

Cite this article as:

Ajalli, M. (2026). Comprehensive analysis of Sustainable Industrial Supply Chain Management System with Fuzzy Delphi, Entropy and COPRAS. *Journal of Strategic Value Chain Management*, 3(9), 99-126.

DOI: [https://doi.org/ 10.22075/svcn.2026.39907.1076](https://doi.org/10.22075/svcn.2026.39907.1076)

© 2026 authors retain the copyright and full publishing rights. Journal of Strategic Value Chain Management Published by **Semnan University Press**.

This is an open access article under the CC-BY-4.0 license. (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



تحلیل جامع سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنایع با دلفی فازی، آنتروپی و کوپراس

مهدی اجلی*

استادیار گروه مدیریت، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

m.ajalli@basu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: امروزه پایداری هر سیستمی در هر صنعتی، تبدیل به یکی از راهبردهای کلیدی شده است. آرمان نهایی پایداری، بهبود مسائل محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی و سایر بهبودهای فرآیندی است. در این میان تولید سرب و روی همواره با آلاینده‌های محیط‌زیستی بسیاری همراه است و کاهش مسائل آلودگی این صنعت اجتناب‌ناپذیر است. لذا برنامه‌ریزی برای بهبود پایداری در سیستم زنجیره تأمین این صنعت از ضروریات است. تحقیق حاضر با درک ضرورت این اقدامات به تحلیل جامع مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنعت سرب و روی به عنوان یکی از صنایع ملی و تأثیرگذار در بهبود روند اقتصادی کشور پرداخته است.
واژه‌های کلیدی: محیط‌زیست؛ مدیریت زنجیره تأمین پایدار؛ تأمین‌کنندگان؛ دلفی فازی؛ آنتروپی؛ کوپراس.	روش: روش تحقیق از لحاظ "هدف، منبع گردآوری داده‌ها، مکان و زمان جمع‌آوری داده‌ها و نوع داده" از نوع "کاربردی، اولیه، میدانی- مقطعی و آمیخته" است. جامعه آماری شامل خبرگان صنعت هستند که با روش نمونه‌گیری هدفمند از عقاید ۷۰ خبره در بخش شناسایی عوامل تأثیرگذار بر مدیریت زنجیره تأمین پایدار و به تعداد ۳۰ متخصص در بخش ارزیابی عوامل و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان پایدار صنعت استفاده شده است. روش‌های مورداستفاده برای شناسایی، ارزیابی عوامل و تأمین‌کنندگان به ترتیب دلفی فازی، آنتروپی شانون و کوپراس است.
	یافته‌ها: تحلیل دلفی نشان داد که هفت عامل کلیدی از اثربخشی بالایی در صنعت برخوردارند. خروجی آنتروپی حاکی از آن است که شاخص "اجتماعی" در اولویت اول؛ و شاخص‌های "نظارتی و قانونی"، "اقتصادی" و "محیط‌زیستی" در اولویت‌های دوم تا چهارم قرار دارند.
	نتیجه‌گیری: نتیجه ارزیابی با کوپراس نشان داد که تأمین‌کنندگان پنجم، ششم و دوم به ترتیب در رتبه‌های اول تا سوم جای می‌گیرند. در انتها، پیشنهادها برای کاربردی و تحقیقاتی به صنعت و محققان ارائه شدند.

استناد: اجلی، مهدی. (۱۴۰۵). تحلیل جامع سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنایع با دلفی فازی، آنتروپی و کوپراس. مجله مدیریت زنجیره ارزش راهبردی، ۳(۹)، ۹۹-۱۲۶.

DOI: <https://doi.org/10.22075/svcm.2026.39907.1076>

۱. مقدمه

کمسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه (۱۹۸۷)، توسعه پایدار را به عنوان «توسعه‌ای که نیازهای نسل حاضر را بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده در تأمین نیازهای خود برآورده می‌کند» تعریف کرد (هارت و میلستین^۱، ۲۰۰۳). توسعه پایدار فرآیندی است که سعی در حفظ تعادل پویا در درازمدت دارد (اوسوریو^۲ و همکاران، ۲۰۰۵). این امر مستلزم آن است که دغدغه‌های انسانی، مالی و محیط‌زیستی با هم همکاری کنند تا «زندگی بی‌پایان برای نسل بشر» در سیستم اکولوژیکی جهانی تضمین شود (باقری و هجورث^۳، ۲۰۰۷). اصطلاح توسعه پایدار به پایداری وجود انسان با ایجاد تعادل دقیق بین سرمایه‌های اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی در جهانی که دائماً در حال تغییر است، اشاره دارد (آرسکات^۴، ۲۰۰۴). در گذشته، مدیریت زنجیره تأمین^۵ عمدتاً با سیستم پاسخگو و کارآمد تولید و تحویل از حالت ماده خام تا حالت نهایی جزء سروکار داشت. با این حال، امروزه فرض بر این است که مسائل محیط‌زیستی در یک زنجیره تأمین از اهمیت بسیار بالایی برخوردار هستند (سیتز و ولز^۶، ۲۰۰۶). مفهوم توسعه پایدار از نظر سیاست‌گذاری و تحقیق مهم تلقی شده است و در چند دهه آینده، به یکی از بزرگترین فرصت‌ها در تاریخ تجارت تبدیل خواهد شد. با افزایش درآمد، استانداردهای محیط‌زیستی افزایش می‌یابد و مردم نسبت به تخریب محیط‌زیست حساس‌تر و نگران‌تر می‌شوند. مگر اینکه جامعه مقداری ثروت برای تأمین نیازهای اساسی انسان جمع‌آوری کند، چرا که منابع قابل توجهی را به پایداری اختصاص نخواهد داد. اگر مزایای قابل توجهی مانند صرفه‌جویی در هزینه یا تمایز محصول/بازار یا خطرات ناشی از عدم اقدام مانند آسیب به اعتبار و از دست دادن سهم بازار وجود داشته باشد، احتمال اجرای شیوه‌های پایدار بیشتر است (روت^۷ و همکاران، ۲۰۱۷). طلوع صنعتی شدن، شاهد بی‌توجهی قابل توجهی در بین شرکت‌ها در مورد پایداری و پیامدهای محیط‌زیستی انتخاب‌های تجاری آنها بود. بدین منظور سیاست‌هایی با بازده کوتاه‌مدت انتخاب شدند. با این حال، آنها به منافع بلندمدت مردم و کره زمین آسیب می‌رسانند و بنابراین پایدار نیستند. برای جبران هزینه‌های کوتاه‌مدت، سلامت اجتماعی و محیطی با افزایش خطرات بلندمدت به خطر افتاده است. میزان مصرف فعلی افراد و شرکت‌ها از آنچه سیاره ما می‌تواند به طور پایدار جایگزین کند، فراتر رفته و منجر به عواقب وخیمی شده است (گالی^۸، ۲۰۱۲). تشدید گرمایش جهانی و افزایش سطح دی‌اکسید کربن به آستانه‌های بحرانی رسیده است (واکر و پروس^۹، ۲۰۰۸) علاوه بر این، کاهش سریع منابع و کاهش محیط‌زیست باعث عدم تعادل اکولوژیکی قابل توجهی شده است. دولت‌ها در سراسر جهان مجبور شده‌اند سیاست‌ها را تصویب و اقداماتی را برای کاهش تأثیر مخرب فعالیت‌های خود اجرا کنند (گوناسکاران^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۷). در نتیجه، استراتژی‌های محیط‌زیستی شرکت‌ها اکنون نیروی محرکه‌ای برای تصمیمات عملیاتی و استراتژیک آنها هستند (گوپتا^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۵a).

¹ Hart & Milstein

² Osorio

³ Bagheri & Hjorth

⁴ Arscot

⁵ Supply chain management (SCM)

⁶ Seitz & Wells

⁷ Raut

⁸ Galli

⁹ Walker & Preuss

¹⁰ Gunasekaran

¹¹ Gupta

در دنیای امروز که ارتباطات به طور فزاینده‌ای در حال افزایش است، مدیریت زنجیره تأمین یک جنبه حیاتی از عملیات تجاری مدرن است (اجلی^۱، b, ۲۰۲۵a). یکی از استراتژی‌های برجسته زنجیره تأمین در مورد محیط زیست، مدیریت زنجیره تأمین پایدار است که عناصر زنجیره تأمین رو به بالا و رو به پایین را در چارچوب پایداری قرار می‌دهد. به تدریج، مفهوم شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار برای کسب و کارها در سراسر جهان حیاتی شده است و مطالعات در مورد تأثیر آنها جایگاه تثبیت‌شده‌ای در ادبیات مدیریت زنجیره تأمین پایدار کسب کرده است. این شیوه‌ها به ابزارها، راه‌حل‌ها، رویکردها، روش‌ها و استراتژی‌هایی اشاره دارند که به یک شرکت کمک می‌کنند تا عملکرد پایداری خود را از طریق زنجیره تأمین خود بهبود بخشد. مطالعه بلومبرگ^۲ در ۶۰۰ شرکت در اروپا و ایالات متحده نشان داد که پایداری برای شرکت‌ها معنای متفاوتی دارد و بر این اساس، شیوه‌های مختلفی ممکن است دنبال شوند. اگرچه مطالعات مختلف شیوه‌های پایدار را برای صنایع خاص بررسی کرده‌اند، اما هنوز فقدان یک چارچوب سیستماتیک و جامع برای طبقه‌بندی شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار وجود دارد که مانع از استفاده مؤثر از آنها می‌شود (شکریان^۳ و همکاران، ۲۰۲۲). در قرن بیست و یکم، پایداری زیست‌محیطی یک عامل مهم است و از این رو برای سازمان‌ها ضروری است که بر پایداری زنجیره تأمین خود تمرکز کنند. پایداری به یک کلمه جادویی بزرگ تبدیل شده است که باید به همه فناوری‌ها برای حفظ اکوسیستم متصل شود. در دهه‌های اخیر، پایداری در زنجیره تأمین برجسته بوده و تمام مراحل چرخه عمر محصول را از مرحله طراحی، تولید و توزیع گرفته تا استفاده از محصولات توسط کاربران نهایی و دفع آنها در پایان چرخه عمر محصول پوشش داده است. در سال‌های اخیر، نگرانی‌های جهانی مربوط به مسائل محیط‌زیستی و اجتماعی باعث شده است که مصرف‌کنندگان، شرکت‌ها، سازمان‌های دولتی و دانشگاه‌ها پویاتر شوند و توجه اساسی به زنجیره تأمین پایدار داشته باشند (اجلی، ۲۰۲۴). شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار به عنوان یک مهندسی سیستم پیچیده، جامع و پویا برای رسیدگی به فشارها و چالش‌های دو طرفه از منابع خارجی و داخلی در نظر گرفته می‌شوند (لی^۴ و همکاران، ۲۰۲۵).

در سال‌های اخیر، علاقه به مدیریت زنجیره تأمین پایدار، به ویژه در مورد کشورهای در حال توسعه و اقتصادهای نوظهور افزایش یافته است. با این حال، علیرغم این رشد، "دانش فعلی ما برای ایجاد زنجیره‌های تأمین واقعاً پایدار کافی نیست." از طرفی، شناسایی نقش‌های تأمین‌کنندگان و ارزیابی آنها به درک بهتر واقعیت آنها و مدیریت تعامل و عمل متقابل آنها برای پایداری کمک می‌کند (پیرا^۵ و همکاران، ۲۰۲۳).

مطالعه حاضر به دنبال پاسخگویی به سوال اساسی زیر است: "رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان پایدار صنعت سرب و روی بر مبنای عوامل کلیدی تأثیرگذار بر سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار چگونه است؟"

بدین منظور این پژوهش به شناسایی عوامل تأثیرگذار بر سیستم زنجیره تأمین پایدار و ارزیابی جامع تأمین‌کنندگان پایدار صنعت با رویکرد ترکیبی دلفی فازی، آنتروپی و کوپراس پرداخته است. صنعت سرب و روی در ایران یکی از بخش‌های کلیدی معدن و فلزات غیرآهنی است که با ذخایر غنی (حدود ۱۲ میلیون تن فلز محتوی روی، معادل ۵ درصد ذخایر جهانی) و تولید سالانه بیش از ۱۴۰ هزار تن روی و ۵۰ هزار تن سرب، نقش مهمی در صادرات غیرنفتی و تأمین نیازهای داخلی ایفا می‌کند. ایران با رتبه ششم جهانی در ذخایر سرب و روی، پتانسیل بالایی برای توسعه پایدار دارد، اما چالش‌هایی

¹ Ajalli

² Bloomberg

³ Shekarian

⁴ Li

⁵ Pereira

مانند تامین مواد اولیه، تحریم‌ها و بهره‌وری پایین، ضرورت تمرکز بر پایداری را برجسته می‌کند. پایداری در این صنعت بر سه بعد اقتصادی (ارزش افزوده و صادرات)، محیط‌زیستی (کاهش آلودگی و بازیافت) و اجتماعی (اشتغال و مسئولیت‌های محلی) استوار است. طرح جامع سرب و روی (تدوین شده در سال ۱۳۹۹) چشم‌انداز "صنعتی پاک، بهره‌ور و پایدار در تراز جهانی" را ترسیم کرده و بر تکمیل زنجیره تامین با تمرکز بر اکتشاف، فرآوری و صنایع پایین‌دستی تاکید دارد. زنجیره تامین سرب و روی ایران از استخراج تا مصرف نهایی، عمدتاً داخلی است و بیش از ۸۰ درصد تولید برای صادرات (به بازارهایی مانند هند، چین و ترکیه) استفاده می‌شود. ظرفیت تولید شمش روی حدود ۲۰۰ هزار تن در سال است، اما مصرف داخلی تنها ۴۰ هزار تن است.

اهمیت ارزیابی تأمین‌کنندگان در صنعت سرب و روی بسیار بالاتر از بسیاری از صنایع دیگر است، زیرا این صنعت با ریسک‌های فنی، محیط‌زیستی، قانونی، مالی و زنجیره تأمین بسیار حساسی مواجه است. مهم‌ترین دلایل اهمیت ارزیابی دقیق و مستمر تأمین‌کنندگان عبارتند از: ۱- ریسک‌های محیط‌زیستی و بهداشتی بسیار بالا؛ ۲- الزامات قانونی و بین‌المللی سخت‌گیرانه؛ ۳- ریسک زنجیره تأمین و امنیت تأمین مواد اولیه؛ ۴- کیفیت و خلوص محصول؛ ۵- مسئولیت اجتماعی و جلوگیری از "معادن تعارضی"؛ ۶- ریسک مالی و اعتباری (روت و همکاران، ۲۰۱۷). برای ارزیابی تأمین‌کنندگان پایدار می‌توان از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه استفاده کرد. این روش‌ها بر اساس دو زمینه اصلی بنا شده‌اند: رویکردهای ریاضی و انسانی. از نظر رویکردهای ریاضی، روش‌های متعددی برای انتخاب و رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس ویژگی‌های چندگانه در بسیاری از مطالعات پزشکی، مهندسی، کشاورزی و حمل و نقل ارائه شده است. این روش‌ها شامل تاپسیس^۱، ویکور^۲، مجموع ساده وزنی^۳ آراس^۴، تودیم^۵، واسپاس^۶، مورا^۷ و ارزیابی بر اساس فاصله از راه‌حل میانگین^۸ هستند (ابراهیم^۹ و همکاران، ۲۰۲۳). اما در هیچ کدام از مطالعات به شناسایی عوامل کلیدی و تأثیرگذار بر سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنعت سرب و روی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان این صنعت پرداخته نشده است. از طرفی بهره‌گیری از رویکرد ترکیبی آنتروپی شانون و کوپراس برای ارزیابی تأمین‌کنندگان پایدار صنعت سرب و روی از دیگر مزیت‌های پژوهش حاضر محسوب می‌شود.

با عنایت به مسائل و اهداف مطرح‌شده، سوالات اساسی این تحقیق به صورت زیر ارائه می‌شوند:

- عوامل کلیدی تأثیرگذار بر سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنعت سرب و روی کدامند؟
- وزن عوامل در زنجیره تأمین پایدار صنعت سرب و روی به چه نحوی است؟
- رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان پایدار صنعت بر مبنای عوامل چگونه است؟
- چه توصیه‌هایی برای بهبود سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنعت می‌توان ارائه داد؟

¹ TOPSIS

² VIKOR

³ SAW

⁴ ARAS

⁵ TODIM

⁶ WASPAS

⁷ MOORA

⁸ EDAS

⁹ Ibrahim

۲. مبانی نظری و مدل تحقیق

در این بخش، ابتدا به توصیف مفهوم کلیدی "سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار" پرداخته می‌شود؛ سپس با مرور جامع ادبیات مشخص شد که هیچ پژوهش جامعی در زمینه شناسایی عوامل و زیرعوامل‌های تأثیرگذار بر سیستم مدیریت زنجیره تأمین صنایع انجام نشده است و تنها یک مطالعه (روت و همکاران، ۲۰۱۷) به تمامی ابعاد این سیستم از دیدگاه‌های مختلف پرداخته است. لذا همین ابعاد و عوامل مبنای بررسی و ارزیابی در صنعت سرب و روی قرار گرفت. در انتهای این بخش به پیشینه مطالعات کلیدی داخلی و خارجی اشاره شده و شکاف تحقیقات قبلی بحث شده است.

۱.۲. مدیریت زنجیره تأمین پایدار

در طول دهه‌های گذشته، اصطلاح زنجیره تأمین در مطالعات بی‌شماری مورد بحث قرار گرفته است. پیش از مطرح شدن نگرانی‌ها در مورد محیط‌زیست، مدیریت زنجیره تأمین صرفاً اثربخشی و پاسخگویی یک سیستم را از دریافت مواد اولیه و رویه‌های تولید تا تحویل محصولات به کاربران نهایی در نظر می‌گرفت (اجلی و همکاران، ۲۰۲۱b؛ اجلی و همکاران، ۲۰۲۲). نسل بعدی محققان اظهار داشتند که مدیریت زنجیره تأمین نیاز به به‌روزرسانی دارد؛ با توجه به پایداری و مفهوم تولید و مصرف حلقه بسته به دلیل تأثیر محیط‌زیستی زنجیره‌های تأمین و محدودیت‌های منابع و مواد اولیه اجتناب‌ناپذیر است. این امر منجر به افزایش روزافزون تعداد مطالعات با تمرکز ویژه بر پایداری در صنایع مختلف شد و در نتیجه زنجیره تأمین پایدار به اصطلاحات این حوزه اضافه شد (اجلی و همکاران، ۲۰۱۷). در طول دهه‌های گذشته، اصطلاح زنجیره تأمین در مطالعات بی‌شماری مورد بحث قرار گرفته است. پیش از مطرح شدن نگرانی‌ها در مورد محیط‌زیست، مدیریت زنجیره تأمین صرفاً اثربخشی و پاسخگویی یک سیستم را از دریافت مواد اولیه و رویه‌های تولید تا تحویل محصولات به کاربران نهایی در نظر می‌گرفت. نسل بعدی محققان اظهار داشتند که مدیریت زنجیره تأمین نیاز به به‌روزرسانی دارد؛ با توجه به پایداری و مفهوم تولید و مصرف حلقه بسته به دلیل تأثیر زیست‌محیطی زنجیره‌های تأمین و محدودیت‌های منابع و مواد اولیه، اجتناب‌ناپذیر است. این امر منجر به افزایش روزافزون تعداد مطالعات با تمرکز ویژه بر پایداری در صنایع مختلف شد و در نتیجه زنجیره تأمین پایدار به اصطلاحات این حوزه اضافه شد. تغییرات ناشی از آگاهی جامعه در مورد فعالیت‌های تهدیدکننده زمین در صنایع، متخصصان را مجبور به اصلاح فرآیندهای صنعت کرده است. این فعالیت‌ها سال‌هاست که از علل اصلی ایجاد گسترده زباله‌های جامد و مایع، آلودگی هوا، پایداری و گرمایش جهانی و کاهش منابع تجدیدناپذیر و مواد حیاتی جهان بوده‌اند. فشار رسانه‌های اجتماعی و سازمان‌های غیردولتی، درخواست‌های جامعه جهانی (به عنوان مثال، ۱۷ هدف توسعه پایدار که توسط سازمان ملل متحد و کنفرانس جهانی تغییرات اقلیمی اخیر که در گلاسکو در سال ۲۰۲۱ برگزار شد) تعیین شده است، و انتظارات مختلف مشتریان و ذینفعان از پایداری، برخی از انگیزه‌ها و ابتکارات مهمی هستند که سازمان‌ها را به تغییر سیاست زنجیره تأمین خود به سمت زنجیره تأمین سوق می‌دهند. امروزه، شرکت‌هایی که از شیوه‌های پایدار استفاده می‌کنند، مزایای رقابتی و اقتصادی قابل توجهی نسبت به شرکت‌هایی که آنها را نادیده می‌گیرند، دارند. در نتیجه، کسب و کارها به اهمیت پایداری و کاربرد آن در طراحی زنجیره تأمین خود پی برده‌اند (شکریان و همکاران، ۲۰۲۲).

نیاز سازمان‌ها به سازمندی مجدد فرآیندهای زنجیره تأمین خود به منظور بهبود عملکرد عملیاتی، ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلودگی محیط‌زیست و گرمایش جهانی توسط شرکت‌ها است. این امر منجر به تولید محصولات با

عملکرد بهتر مطابق با الزامات مقررات محیط‌زیستی می‌شود. علاوه بر این، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی محیط‌زیست، سازمان‌ها را به سازماندهی مجدد عملیات زنجیره تأمین خود سوق داده است که در نتیجه منجر به حفظ منابع کمیاب شده است. شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار به عنوان یک فلسفه سازمانی مهم برای دستیابی به سود یک شرکت و همچنین اهداف سهم بازار در نظر گرفته می‌شوند. این امر منجر به کاهش خطرات و اثرات محیط‌زیستی می‌شود، در حالی که بهبود کارایی اکولوژیکی چنین شرکت‌هایی و شرکای زنجیره تأمین آنها را تضمین می‌کند. پیوند ابعاد محیط‌زیستی و مدیریت زنجیره تأمین یک موضوع روز در سطح جهانی است و نمی‌تواند توسط شرکت‌ها نادیده گرفته شود. افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و نگرانی‌های محیط‌زیستی منجر به نیاز به کاهش آلودگی محیط‌زیستی ناشی از توسعه صنعتی با مدیریت زنجیره تأمین شده است. علاوه بر این موارد، مزیت رقابتی به دست آمده از طریق به کارگیری شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار (با رویکرد سبز)، بر شرکت‌ها فشار می‌آورد تا ابتکارات مدیریت زنجیره تأمین پایدار (سبز) را نادیده بگیرند (موگونی^۱ و همکاران، ۲۰۲۴).

۲.۲. پیشینه و شکاف مطالعات پیشین

خانی و ابراهیم‌پور سامانی (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای به بررسی شاخص‌های مؤثر بر زنجیره تأمین پایدار برای بخش مواد غذایی کشاورزی پرداختند. این پژوهش مفهوم جدیدی را برای ارزیابی و شناسایی شاخص‌ها، چالش‌های زنجیره‌های تأمین غذایی - کشاورزی که دربرگیرنده شاخص‌های پایداری و دیگر شاخص‌های درگیر همراه با شاخص‌های ویژه می‌باشد، ارائه می‌دهد. ابراهیم‌پور سامانی و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهشی به طراحی مدل پایدار زنجیره تأمین در صنایع غذایی و کشاورزی با تأکید بر ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی پرداختند. یافته‌ها نشان می‌دهد که عوامل کلیدی نظیر پاسخگویی به مشتریان، بسته‌بندی، برندینگ و قابلیت ردیابی، به بهبود زنجیره تأمین کمک می‌کنند. همچنین، عواملی مانند تولید و عملیات، مسئولیت اجتماعی، و ایمنی و سلامت محصول به عنوان عوامل اساسی در پایداری زنجیره تأمین شناخته شدند. علاوه بر این، عوامل جدیدی مانند تحریم‌های تجاری و تشکیل اتحادیه‌ها نیز بر رقابت‌پذیری و توزیع بهینه منابع تأثیرگذار بودند. ابراهیم‌پور سامانی و داودی (۱۴۰۴) در مطالعه‌ای به شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های کلیدی در زنجیره تأمین پایدار مواد غذایی با تکنیک دیمتل فازی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که بعد اقتصادی در میان ابعاد پایداری اهمیت بیشتری را دارد. در این بعد، معیارهایی همچون عملکرد پشتیبانی، استفاده از فناوری‌های متناسب با شرایط منطقه‌ای و ارتقای سطح دانش کشاورزان، به عنوان عوامل کلیدی شناخته شدند. در بعد اجتماعی، عوامل سیاسی، اجتماعی و فرهنگی و رفع تحریم‌ها و در بعد زیست‌محیطی، چالش‌های مدیریت زیست‌محیطی از اهمیت بالایی برخوردارند. همچنین، چالش‌های مدیریت زیست‌محیطی، عوامل سیاسی، اجتماعی و فرهنگی و مسئله رفع تحریم‌ها از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پایداری زنجیره تأمین مواد غذایی کشاورزی به شمار می‌روند. علاوه بر این، معیارهایی نظیر عملکرد پشتیبانی، بهره‌گیری از فناوری‌های متناسب با شرایط منطقه‌ای و ارتقای سطح دانش کشاورزان، بیشترین تأثیر را در بهبود پایداری این زنجیره دارند.

گوپتا و باروا (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به ارائه چارچوبی برای غلبه بر موانع نوآوری سبز در شرکت‌های کوچک و متوسط با استفاده از روش‌های بهترین - بدترین و تاپسیس فازی پرداختند. نتایج این تحلیل می‌تواند به عنوان سنگ بنایی

¹ Mugoni

برای مدیران شرکت‌های کوچک و متوسط عمل کند تا موانع نوآوری سبز در شرکت خود را از بین برده و بر آنها غلبه کنند و به طور سالم در بازار رقابت کنند. این مقاله چارچوبی را برای مطالعات آینده در این حوزه از کار تحقیقاتی تعیین می‌کند. گرینلند^۱ و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به بررسی موانع پذیرش نوآوری پایدار: پایداری آب، تولید مواد غذایی و آبیاری قطره‌ای در استرالیا پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه بهره‌وری آب آبیاری مستقیم به رسمیت شناخته شده است، اما این عامل تعیین‌کننده اصلی انتخاب روش آبیاری توسط کشاورزان نیست. روابط پیچیده بین موانع داخلی و خارجی که مانع پذیرش آبیاری مستقیم می‌شوند، شناسایی شده‌اند. این موانع شامل هزینه‌ها، رضایت از روش‌های آبیاری جایگزین، ویژگی‌های کشاورز که مناسب بودن نوآوری و میزان تدریجی یا رادیکال بودن آن را تعیین می‌کند، به علاوه خطرات چندبعدی مختلف است. حمایت دولت از روش‌های آبیاری جایگزین و کم‌مصرف نیز یک مانع اساسی است. آفوم و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای به بررسی شیوه‌های تولید سبز و عملکرد پایدار در میان شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی غنا با پیوند توضیحی ادغام زنجیره تأمین سبز پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که شیوه‌های تولید سبز تأثیر مثبت و معناداری بر عملکرد پایدار اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی دارد. همچنین، شیوه‌های تولید سبز تأثیر مثبت و معناداری بر یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین سبز دارند. علاوه بر این، یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین سبز نقش واسطه‌ای بین شیوه‌های تولید سبز و عملکرد پایدار ایفا می‌کند. باه^۲ و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به بررسی همبستگی بین فشارهای ذینفعان، شیوه‌های تولید سبز، اعتبار شرکت، عملکرد زیست‌محیطی و مالی با ارائه شواهدی از شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی پرداختند. یافته‌ها نشان داد که فشارهای ذینفعان سازمانی و شیوه‌های تولید سبز تأثیر منفی اما معناداری بر عملکرد مالی دارند. این مطالعه بر اهمیت فشارهای ذینفعان در الزامی کردن ابتکارات تولید سبز برای رشد سازمانی تأکید می‌کند و در عین حال سیاست‌گذاران، مدیران و محققان را نیز راهنمایی می‌کند. موگونی و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی به بررسی سیستماتیک شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار و عملکرد زیست‌محیطی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که شواهد قابل توجهی وجود دارد که شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار بر عملکرد زیست‌محیطی تأثیر مثبت می‌گذارند. تعداد قابل توجهی از محققان بر مدیریت زنجیره تأمین پایدار و پایداری زیست‌محیطی تمرکز دارند و توجه کمی به عملکرد عملیاتی و اجتماعی معطوف شده است. مطالعات آینده باید عملکرد اجتماعی و عملکرد عملیاتی را به عنوان متغیرهای واسطه‌ای بررسی کنند. علاوه بر این، مطالعات صنعت‌محورتر باید از روش‌های قوی مانند روش‌های ترکیبی استفاده کنند و متغیرهای واسطه‌ای و تعدیل‌کننده را برای بررسی رابطه بین شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار و عملکرد زیست‌محیطی در نظر بگیرند. اجل (۲۰۲۴b) در پژوهشی با استفاده از رویکرد ترکیبی دلفی-بهترین-بدترین و تاپسیس فازی برای ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان در صنایع بالادستی پتروشیمی پرداختند. مدل پیشنهادی این تحقیق راهنمای خوبی در ارزیابی موفق و آتی تأمین‌کنندگان بالقوه به منظور بهبود عرضه و دستیابی به مزیت رقابتی و برآورده کردن بیشتر نیازهای مشتریان است. اجل (۲۰۲۵b) در مطالعه‌ای به ارزیابی تأمین‌کنندگان سبز صنعت سرب در به‌کارگیری بلاکچین با رویکرد ترکیبی دلفی-مورا فازی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که عامل "پشتیبانی مدیریت ارشد"، با بیشترین وزن، حیاتی‌ترین عامل است و عوامل "مدیریت سازمانی (پشتیبانی مدیریت ارشد)"، (ثبت، ردیابی و تجارت)،

¹ Greenland² Baah

(امنیت سایبری، همکاری‌های قابل اعتماد و اتکا) و (قابلیت قرارداد هوشمند) از نظر اهمیت در ارزیابی آمادگی تأمین‌کنندگان سبز برای پذیرش فناوری بلاکچین، در اولویت‌های بعدی قرار دارند. عامل "لجستیک مشارکتی" با کمترین وزن در رتبه آخر قرار گرفت. در نهایت، با توجه به لزوم رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان کلیدی صنعت از نظر آمادگی، از تکنیک مورا استفاده شد. تحلیل نهایی نشان داد که تأمین‌کننده سوم رتبه اول و تأمین‌کننده دوم رتبه آخر را کسب کردند. اجلی (۲۰۲۵d) در مطالعه‌ای به ارزیابی صنایع کلیدی تولید سیمان بر اساس عوامل توسعه پایدار با رویکرد ترکیبی فازی فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و ویکور پرداختند. این پژوهش، اولین مطالعه کاربردی در زمینه ارزیابی عوامل توسعه پایدار صنعت سیمان کشور و رتبه‌بندی صنایع کلیدی سیمان با تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است؛ به طوری که نتایج آن می‌تواند در ارزیابی سایر صنایع تولید سیمان و صنایع وابسته کشور مورد استفاده قرار گیرد. اجلی و همکاران (۲۰۲۵e) با استفاده از رویکردهای ترکیبی تحلیل مسیر و تصمیم‌گیری چندمعیاره به ارزیابی تأمین‌کنندگان ناب-چابک پرداختند. نتایج نشان داد که معیار «چابکی» در رتبه اول، «ناب» در رتبه دوم و «سستی» در رتبه آخر قرار دارد. سپس با توجه به اهمیت رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان ناب و چابک در صنعت، با استفاده از تاپسیس و بر اساس وزن معیارها، شش تأمین‌کننده توسط کارشناسان ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که تأمین‌کننده چهارم در رتبه اول قرار دارد. تأمین‌کننده اول نیز در رتبه ششم قرار گرفت. در نهایت، تحلیل حساسیت رتبه‌بندی انجام شد. در مجموع، نتایج نشان‌دهنده درجه بالایی از پایداری رتبه‌بندی‌ها با توجه به روش مورد استفاده است. بنابراین، مدل پیشنهادی در این مطالعه، چارچوب مناسبی را برای ارزیابی تأمین‌کنندگان صنعت بر اساس معیارهای کلیدی سستی، ناب و چابکی ارائه می‌دهد. گوپتا و همکاران (۲۰۲۵a) در مطالعه‌ای به بررسی شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز و پایداری در شرکت‌های تولیدی هند با استفاده از رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری پرداختند. این مطالعه نشان می‌دهد که اتخاذ شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز محدود به بهبود عملکرد شرکت است و فراتر از ایجاد تولید و جامعه پایدار می‌رود. این مطالعه در مرحله اکتشافی است و یک رویکرد جامع برای درک تأثیرات شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز اتخاذ می‌کند. مطالعات بیشتر در مورد شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز باید برای دستیابی به بینش‌های عمیق‌تر انجام شود. این مدل تصویر وسیع‌تری را برای تولیدکنندگان فراهم می‌کند تا ضمن اتخاذ شیوه‌های مدیریت زنجیره تأمین سبز برای تولید پایدار و پایداری، چشم‌انداز بلندمدتی را توسعه دهند. گوپتا و همکاران (۲۰۲۵b) در پژوهشی با استفاده از رویکرد دلفی، کوکوسو^۱ و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی فیثاغورثی یکپارچه به بررسی موانع و استراتژی‌های کاهش برای زنجیره تأمین پایدار در صنعت مواد غذایی پرداختند. این مطالعه نشان می‌دهد که فقدان تخصص حرفه‌ای، مهم‌ترین مانع برای اجرای شیوه‌های پایداری در زنجیره تأمین مواد غذایی است. توسعه فناوری پایدار به عنوان برترین استراتژی کاهش اثرات توصیه می‌شود و پس از آن، سایر استراتژی‌ها قرار دارند. این تحقیق بینش‌های ارزشمندی در مورد چالش‌های صنعت مواد غذایی در اتخاذ شیوه‌های زنجیره تأمین پایدار ارائه می‌دهد. این تحقیق، نقشه راهی برای استراتژی‌های مؤثر کاهش اثرات به منظور تقویت مسئولیت‌پذیری و تاب‌آوری زیست‌محیطی در این بخش ارائه می‌دهد.

مطالعه حاضر با هدف تحلیل جامع سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنایع با دلفی فازی، آنتروپی و کوپراس در صنایع سرب و روی انجام شده است. با عنایت به بررسی ادبیات مشخص می‌شود که مطالعات بسیار اندکی در زمینه

¹ CoCoSo

سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار صورت گرفته است. از طرفی هیچ پژوهش داخلی و خارجی به شناسایی و ارزیابی عوامل تأثیرگذار بر مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنایع سرب و روی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان این صنایع نپرداخته است. استفاده همزمان از تکنیک‌های آنتروپی شانون و کوپراس برای ارزیابی عوامل و تأمین‌کنندگان این صنعت (به عنوان یکی از صنایع ملی ایران) نیز از مزیت‌های دیگر این پژوهش محسوب می‌شود.

در جدول ۱، توصیفی جامع از عوامل و زیرعوامل‌های تأثیرگذار بر مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنایع با اقتباس از مطالعه روت و همکاران (۲۰۱۷) ارائه شده است که به دلیل جامع و کامل بودن عوامل مورد اشاره، جهت بررسی نهایی خبرگان به منظور بومی‌سازی در سیستم مدیریت زنجیره تأمین صنایع سرب و روی مبنای پژوهش حاضر قرار گرفته است:

جدول ۱: عوامل و زیرعوامل‌های تأثیرگذار بر مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنایع

عامل اصلی	زیرعامل‌ها	توصیف زیرعامل
عوامل محیط‌زیستی	کاهش مواد خطرناک	شیوه‌های پایدار در یک سازمان، مصرف مواد خطرناک/مضر/سمی را که تأثیر بسیار بدی بر محیط‌زیست و بشر دارند، کاهش می‌دهد.
	کاهش بلایای محیط‌زیستی	از آنجا که شیوه‌های پایدار شامل فعالیت‌های سازگار با محیط‌زیست می‌شوند، بنابراین، فراوانی بلایای محیط‌زیستی را کاهش می‌دهند؛ همچنین آلودگی از همه نوع و دسته را کاهش می‌دهند، تولید زباله را کم می‌کنند و مشکل دفع زباله را به طور مؤثر حل می‌کنند.
	کاهش مصرف انرژی	این امر از طریق طراحی سبز و شیوه‌های سبز در سازمان محقق می‌شود. این امر باعث استفاده بهتر از منابع مالی یک سازمان می‌شود.
	لجستیک معکوس ^۱	این بخش به عملیات مربوط به استفاده مجدد از محصولات می‌پردازد. فعالیت‌های نوسازی و بازسازی نیز در لجستیک معکوس گنجانده شده‌اند.
	کاهش فشار اقلیمی جهانی و کمبود منابع اکولوژیکی	برخی از منابع محدود هستند؛ از این رو، استفاده از این نوع منابع باید بهینه شود تا منابع برای استفاده‌های آینده ذخیره شوند.
	بهبود سیستم طراحی سبز	طراحی سبز باعث صرفه‌جویی در مواد و هزینه آن می‌شود؛ انتشار گازهای گلخانه‌ای، حوادث، مصرف انرژی و ضایعات را کاهش می‌دهد. این امر مشتریان را راضی می‌کند و به صنعت مزیت رقابتی می‌دهد.
	بهبود سیستم خرید سبز	خرید سبز فرآیندی است که شامل فعالیت‌های کاهش، استفاده مجدد و بازیافت مواد می‌شود.
عوامل اقتصادی	بهبود سیستم تولید سبز	این عامل شامل اصول، تکنیک‌ها و عملیات پایدار برای تولید محصولی است که انرژی کمتری مصرف می‌کند و از ورودی‌هایی با تأثیر کم بر محیط‌زیست استفاده می‌کند، همچنین فرآیندهایی که آلودگی کمتری ایجاد می‌کنند و ضایعات و آلودگی صفر تولید می‌کنند.
	کاهش هزینه	شیوه‌های پایدار شامل کاهش، استفاده مجدد و بازیافت مواد است که به نوبه خود، هزینه خرید مواد، تولید قطعات، زمان مورد نیاز برای تولید، مصرف انرژی، تصفیه ضایعات، تخلیه ضایعات و لجستیک را کاهش می‌دهد.
	کاهش جریمه برای بلایای محیط‌زیستی	به دلیل اجرای شیوه‌های پایدار، ایمنی افزایش و احتمال وقوع بلایای محیط‌زیستی کاهش می‌یابد.
	افزایش مشوق‌های مالی	ارائه مشوق‌های مالی یا پاداش یا تخفیف مالیاتی یا وام‌های کم‌بهره، صنایع را برای اجرای شیوه‌های پایدار تشویق خواهد کرد.

¹ Reverse logistics

عامل اصلی	زیرعامل‌ها	توصیف زیرعامل
عوامل نظارتی و قانونی	بهبود مقررات محیط‌زیستی	دولت دستورالعمل‌های محیط‌زیستی (مثلاً مقررات مربوط به مواد خطرناک و سمی) را برای رعایت توسط صنایع تدوین می‌کند و همیشه تهدید به جریمه شدن سازمان‌ها به دلیل عدم رعایت قوانین وجود دارد.
	بهبود مسئولیت اجتماعی شرکت ^۱	این عامل، بخش جدایی‌ناپذیر از فرآیند خلق ثروت است، حتی اگر سود مالی فوری برای صنعت نداشته باشد، اما اگر به درستی مدیریت شود، رقابت‌پذیری کسب‌وکار را افزایش داده و بازده را به حداکثر می‌رساند.
	بهبود مقررات و استانداردها (به عنوان مثال ISO 14000 و برچسب‌گذاری محیط‌زیستی)	گواهینامه‌ها، سازمان‌ها را به سمت بهبود کیفیت، با رویکردی سازگار با محیط‌زیست، سوق می‌دهند. ایزو ۱۴۰۰۰ نقش حیاتی در فعالیت‌های سازگار با محیط‌زیست بین تأمین‌کننده و مشتری ایفا می‌کند.
عوامل اجتماعی	محصولات سازگار با محیط‌زیست	این روزها به دلیل افزایش آگاهی عمومی، مشتریان تقاضای زیادی برای محصولات با کیفیت بالا و سازگار با محیط‌زیست دارند.
	افزایش آگاهی مشتریان از ابتکارات سبز	می‌توان سهمی که آنها می‌توانند در جهت پایداری داشته باشند را درک کرد، مانند استفاده صحیح و کارآمد از یک جزء خاص.
	کاهش فشار جامعه	گروه‌های اجتماعی اساساً در گروه شرکای صنعت قرار نمی‌گیرند، اما با صنعت و جامعه آشنا هستند.
	بهبود همکاری محیط‌زیستی با مشتریان	مشتریان باید تشویق شوند تا دانش مربوط به پایداری را کسب کنند و باید انگیزه لازم برای استفاده از محصولات و خدمات سازگار با محیط‌زیست را داشته باشند.
عوامل دانشی	افزایش اشتغال‌پذیری	از آنجایی که اجرای شیوه‌های پایدار در مراحل مختلف یک صنعت مستلزم ایجاد تغییرات مثبت در تمام رویه‌ها و فرآیندها است، این امر مستلزم زیرساخت‌های خوب و نیروی انسانی آموزش‌دیده است.
	بهبود تعلیم و تربیت	آگاهی اعضای مدیریت ارشد در مورد مزایای پایداری به آنها کمک می‌کند تا تصمیمات سازگار با محیط‌زیست بگیرند.
	افزایش دسترسی اطلاعات	بدون دانش و اطلاعات کافی در مورد شیوه‌های سبز، اجرای آن بسیار دشوار می‌شود.
عوامل محیط کسب و کار	بهبود تصویر برند و افزایش سهم بازار	تصویر سبز از یک صنعت، تصویر مثبتی از برند ارائه می‌دهد و به افزایش سهم بازار و سودآوری کمک می‌کند.
	بهبود بازاریابی جهانی	صنایع می‌توانند محصولات خود را بر اساس تصویر سبز یک شرکت تبلیغ کنند، که این امر به آنها مزیت رقابتی در فضای بازاریابی جهانی می‌دهد و از آنجایی که شرکت‌ها از استانداردهای محیط‌زیستی پیروی می‌کنند، بازارهای جدیدی به روی آنها باز می‌شود.
	افزایش مزیت رقابتی	صنایعی که شیوه‌های پایدار را اجرا کرده‌اند، نسبت به سایر صنایعی که آن را اجرا نمی‌کنند، از مزیت رقابتی بسیار خوبی برخوردارند که در نهایت برای صنعت سود مالی به همراه دارد. رقابت‌پذیری جهانی محرک بسیار مهمی برای شیوه‌های پایدار در یک صنعت است.
	کاهش فشار سرمایه‌گذاران و سهامداران	سهامداران یا سرمایه‌گذاران در صنعت سهم دارند. آنها همچنین حق دریافت سود سهامی را دارند که شرکت اعلام می‌کند.
	کاهش فشارهای رقبا برای سبز شدن	رقبایی که سیستم مدیریت محیط‌زیستی دارند، از مزیت رقابتی و تصویر مثبت برند بهره‌مند می‌شوند و سود مالی برای رقا به همراه خواهد داشت.
	کاهش فشار کسب و کار به کسب و کار	صنایع بزرگ، طبق سیاست‌های سبز خود، می‌توانند تنها به صنایع کوچک که دارای گواهینامه سبز هستند، وظایفی محول کنند.
	کاهش فشار و تمایل تأمین‌کنندگان	تأمین‌کنندگان می‌توانند ایده‌ها و پیشنهادهای ارزشمندی ارائه دهند که می‌توان آن‌ها را برای پایداری پیاده‌سازی کرد، لازم به ذکر است که این عامل به عنوان نیروی محرکه مستقیم عمل نمی‌کند، اما همکاری و ادغام در زنجیره‌های تأمین می‌تواند به طور مؤثرتری از پایداری پشتیبانی کند.

¹ Corporate Social Responsibility (CSR)

عامل اصلی	زیرعامل‌ها	توصیف زیرعامل
عوامل سازمانی	همکاری محیط‌زیستی با تأمین‌کنندگان	می‌توان با تأمین‌کنندگان سازگار با محیط‌زیست همکاری کرد تا رابطه خوبی با آنها برقرار شود و کیفیت محصولات بهبود یابد.
	بهبود بهداشت و ایمنی	بهداشت و ایمنی صنعتی باید درجه خوبی از رفاه جسمی، روانی و اجتماعی کارکنان صنعت را ارتقا داده و حفظ کند تا پایداری را ارتقا دهد.
	بهبود توانایی‌ها و تلاش‌های سازمانی	ارزیابی قابلیت‌های صنعت قبل از اقدام به اجرای شیوه‌های سبز الزامی است و همچنین باید ارزیابی در مورد تلاش‌های لازم برای حفظ پایداری در صنعت انجام شود.
	بهبود مدیریت سازمانی	تعهد سازمانی از سوی مدیران ارشد و حمایت مدیران میانی و سایر کارکنان بسیار ضروری است.

۳. روش‌شناسی تحقیق

روش مطالعه در این تحقیق بر مبنای "هدف، منبع گردآوری داده‌ها، مکان و زمان جمع‌آوری داده‌ها و نوع داده" از نوع "کاربردی، اولی، میدانی و مقطعی، آمیخته" است. جامعه آماری شامل خبرگان و متخصصان صنعت سرب و روی است که برای جمع‌آوری داده‌ها با روش نمونه‌گیری هدفمند و در دسترس، ۷۰ نفر در بخش شناسایی عوامل با رویکرد کیفی دلفی فازی و به تعداد ۳۰ نفر (گزینش به صورت تصادفی ساده از میان ۷۰ نفر) در بخش ارزیابی عوامل و تأمین‌کنندگان منتخب صنعت در نظر گرفته شدند. جدول ۲ مشخصات نمونه آماری این مطالعه را به صورت جزئی ارائه می‌دهد:

جدول ۲: مشخصات نمونه خبرگان

واحد	سابقه کاری	مدرک تحصیلی
ایمنی، محیط‌زیستی و تضمین کیفیت (۲۴ نفر)	۱۵ نفر بالای ۲۵ سال	۱ نفر دکتری
	۷ نفر بین ۲۰ تا ۲۵ سال	۲۰ نفر کارشناسی ارشد
	۲ نفر بین ۱۵ تا ۲۰ سال	۳ نفر کارشناسی
بازرگانی و سفارشات (۳۸ نفر)	۱۹ نفر بالای ۲۵ سال	---
	۱۳ نفر بین ۱۵ تا ۲۵ سال	۲۶ نفر کارشناسی ارشد
	۶ نفر بین ۱۵ تا ۲۰ سال	۱۲ نفر کارشناسی
برنامه‌ریزی، تولید و تعمیرات (۸ نفر)	۶ نفر بالای ۲۰ سال	۲ نفر دکتری
	۲ نفر بین ۱۰ تا ۲۰ سال	۶ نفر کارشناسی ارشد

روش دلفی امکان ایجاد اجماع بین متخصصان را فراهم می‌کند، در حالی که منطق فازی به طور مؤثر ابهام و عدم قطعیت ذاتی در فرآیند ارزیابی را برطرف می‌کند. این روش شامل چندین دور نظرسنجی فردی برای دستیابی به اجماع بین شرکت‌کنندگان در مورد یک موضوع تحقیقاتی است و هدف آن دستیابی به اجماع ساختاریافته و مستدل است. با این حال، اختلافات در ارزیابی‌های متخصصان ممکن است پس از چندین دور ادامه یابد. در چنین مواردی، روش‌های جایگزین، مانند دلفی فازی و سناریوهای مبتنی بر دلفی^۱ ممکن است تکنیک دلفی اولیه را بهبود بخشند (کالئو و پیلا^۲، ۲۰۲۳؛ بلاسکو-بلاسکو^۳ و همکاران، ۲۰۲۵).

¹ Delphi- based scenarios (DBS)

² Calleo and Pilla

³ Blasco-Blasco

پس از شناسایی عوامل نهایی، با استفاده از روش آنتروپی شانون^۱، وزن عوامل و اولویت آنها از نظر اهمیت در ارزیابی تأمین کنندگان تعیین می شوند.

آنتروپی یک مفهوم محوری در فیزیک و زمینه های مرتبط است. از زمان پیشنهاد مفهوم آنتروپی توسط کلاوسوس^۲ در سال ۱۸۵۰، آنتروپی به روش های مختلف و در اشکال مختلف معرفی شده است. آنتروپی به طور طبیعی پیچیدگی یک سیستم، به ویژه سیستمی با ذرات با کمیت ماکرو را توصیف می کند. وون نیومان^۳ نشان می دهد که می توان آنتروپی را برای یک ذره/حالت واحد در سطح کوانتومی تعریف کرد. در حد ذره/حالت مختلط قابل تشخیص، آنتروپی وون نیومان به آنتروپی شانون تبدیل می شود، که مفهوم کلیدی در نظریه اطلاعات است و توسط شانون در دهه ۱۹۴۰ معرفی شد. این کمیت، عدم قطعیت یا تصادفی بودن اطلاعات را کمی می کند. جوهره اطلاعات در توانایی آن در کاهش عدم قطعیت نهفته است و آنتروپی شانون دقیقاً این عدم قطعیت را اندازه گیری می کند. به طور خاص، آنتروپی شانون، عدم قطعیت هر مجموعه داده آموزنده، از جمله سیستم های فیزیکی، را با در نظر گرفتن توزیع احتمال همه نتایج ممکن یک رویداد، کمی می کند. علاوه بر این، آنتروپی شانون را می توان به عنوان کاندیدایی برای آنتروپی غیرتعدالی در نظر گرفت و ترکیب آن با دینامیک مداری می تواند بینش هایی در مورد آنتروپی دینامیکی ارائه دهد. از آنجا که اطلاعات تقریباً در همه شاخه های علوم از جمله فیزیک، شیمی، زیست شناسی و غیره و حتی بشریت فراگیر است، آنتروپی شانون از محدوده نظریه ارتباطات یا فیزیک آماری فراتر می رود و در چندین حوزه دیگر از جمله مدیریت نیز به کار گرفته شده است (کائو^۴ و همکاران، ۲۰۲۵). مفهوم آنتروپی شانون پایه های هیدرولوژیکی و جغرافیایی دارد و از نظر ریاضی به راحتی قابل درک است. بنابراین، به طور گسترده در مطالعات مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (ساکی مالهی^۵ و همکاران، ۲۰۲۲).

در انتهای پژوهش، با روش کوپراس^۶، شش تأمین کننده منتخب صنعت بر مبنای وزن شاخص های استخراجی مورد ارزیابی مجدد خبرگان قرار می گیرند و اولویت بندی آنها برای همکاری با صنعت مشخص می شوند.

در طول دو دهه گذشته، محققان گام های مهمی در گسترش و اصلاح فرآیند تصمیم گیری گروهی چندمعیاره^۷ برای پرداختن به چالش های مختلف تصمیم گیری و انتخاب برداشته اند. هدف اصلی این تلاش ها، ارتقای فرآیندهای تصمیم گیری و در نتیجه دستیابی به نتایج آگاهانه تر است. یکی از این روش های کاربردی، روش کوپراس است که توسط زاوادسکاس و کاکلاوسکاس^۸ در سال ۱۹۹۶ معرفی شد. کوپراس بر ایجاد روابط متناسب و مستقیم بین اهمیت و سودمندی نامزدهای احتمالی، به ویژه در سناریوهایی که شامل معیارهای رقیب هستند، تمرکز دارد. این روش، عملکرد نامزدها را در چندین معیار ارزیابی می کند و در عین حال وزن های اختصاص داده شده به هر معیار را در نظر می گیرد. کوپراس با بررسی راه حل های ایده آل مثبت و منفی، امکان قضاوت آگاهانه را فراهم می کند. مزیت اصلی آن در سادگی نسبی و توانایی آن در ایجاد ترتیب ترجیحات واضح و متمایز نهفته است. رویکرد کوپراس که به دلیل پیچیدگی کم، کارایی و

¹ Shanoon's Entropy Method

² Clausius

³ Von Neumann

⁴ Cao

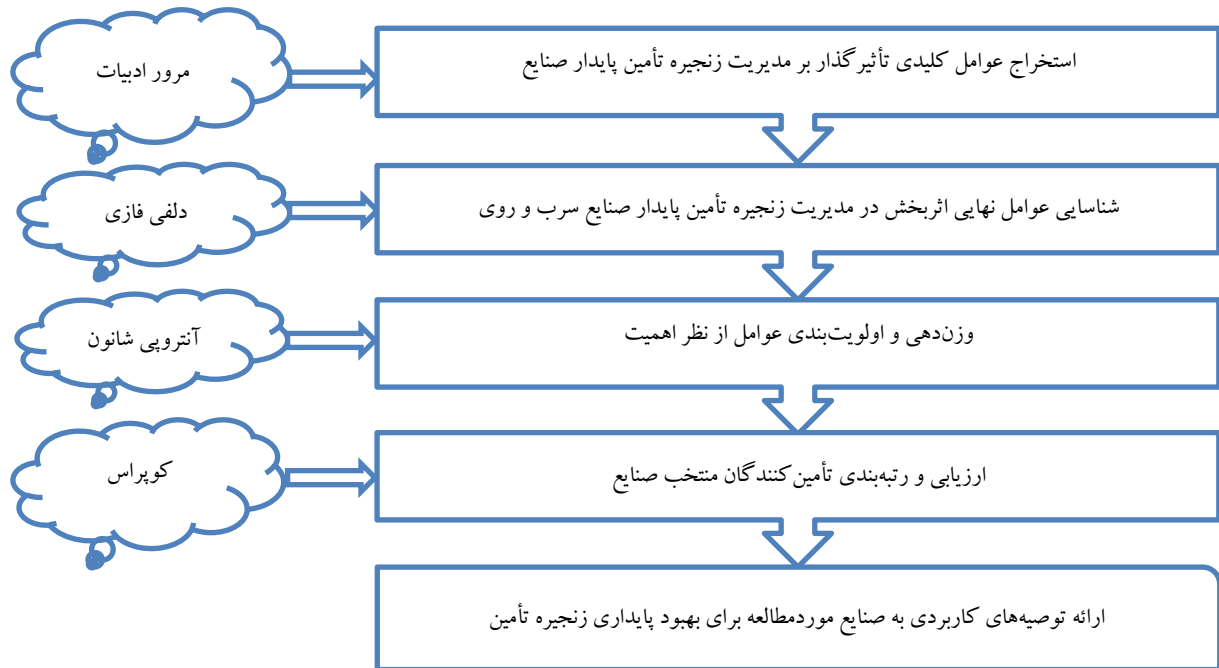
⁵ Saki Malehi

⁶ Complex Proportional Assessment (COPRAS)

⁷ Multi-Criteria Group Decision-Making (MCGDM)

⁸ Zavadskas and Kaklauskas

انعطاف‌پذیری‌اش شناخته می‌شود، یک سیستم رتبه‌بندی است که محاسبات آن نیازی به رویه‌های ریاضی پیچیده ندارد و همین امر آن را در دسترس‌تر و کاربردی‌تر می‌کند (رحیم^۱ و همکاران، ۲۰۲۴). در شکل ۱، به طور خلاصه مراحل انجام تحقیق نشان داده شده است:



شکل ۱: مراحل انجام تحقیق

۱.۳. دلفی فازی^۲

روش دلفی، که در ابتدا توسط دالکی و هلمر^۳ (۱۹۶۳) توسعه داده شد، یک تکنیک استخراج نظرات خبرگان ساختاریافته است که برای دستیابی به اجماع از طریق دورهای تکراری قضاوت طراحی شده است. اگرچه روش سنتی دلفی به طور گسترده در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما محدودیت‌های متعددی را نشان می‌دهد: زمان‌بر است، در مدیریت ابهام زبانی انعطاف‌پذیری ندارد و اغلب در درک ابهام ذاتی استدلال انسانی برای پرداختن به این چالش‌ها ناکارآمد است. روش دلفی فازی توسط موری^۴ و همکارانش (۱۹۸۵) معرفی شد و نظریه مجموعه فازی^۵ را با فرآیند دلفی مرسوم ادغام کرد. روش دلفی فازی با اجازه دادن به بیان نظرات خبرگان به صورت اعداد فازی، تصمیم‌گیری را بهبود می‌بخشد و در نتیجه عدم دقت و ذهنیت معمول در ارزیابی‌های دنیای واقعی را بهتر درک می‌کند. در نتیجه، این روش به طور فزاینده‌ای در حوزه‌های متنوعی مانند منابع انسانی، ارزیابی پایداری و مدیریت ریسک به کار گرفته شده است (الهی^۶ و همکاران، ۲۰۲۵). در تحقیق حاضر مراحل زیر برای اجرای این روش طی می‌شوند (اجلی و همکاران، ۱۴۰۱؛ اجلی، ۱۴۰۳a؛ اجلی، ۱۴۰۳b؛ اجلی و همکاران، ۲۰۲۱؛ اجلی، ۲۰۲۵c).

¹ Rahim

² Fuzzy Delphi (FD)

³ Dalkey and Helmer

⁴ Murray

⁵ Fuzzy set theory (FST)

⁶ Elahi

مرحله اول: استخراج عوامل تأثیرگذار بر توسعه سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنعت سرب و روی از مرورادبیات؛
مرحله دوم: گردآوری عقاید خبرگان صنعت با متغیرهای زبانی و اعداد فازی و حقیقی متناظر در جدول ۳؛

جدول ۳: متغیرهای زبانی و اعداد فازی و حقیقی متناظر با آنها (الهی و همکاران، ۲۰۲۵)

متغیر زبانی	عدد فازی	عدد حقیقی
خیلی ضعیف	(۱ و ۱ و ۲)	۱
ضعیف	(۱ و ۲ و ۳)	۲
متوسط	(۲ و ۳ و ۴)	۳
خوب	(۳ و ۴ و ۵)	۴
خیلی خوب	(۴ و ۵ و ۵)	۵

مرحله سوم: استخراج عوامل اثربخش: در این مرحله، ارزش حاصل شده از هر عامل با ارزش متوسط (حد آستانه) مقایسه شده و عوامل نهایی شناسایی می شوند.

مرحله چهارم: در این مرحله، متوسط ارزش هندسی نظرات در رابطه با هر عامل با رابطه زیر محاسبه می شود:

$$a_i = (l_i * m_i * u_i); \text{ So that: } l_i = \min(a_L^{(i)}); m_i = (\prod_{i=1}^n a_m^{(i)})^{\frac{1}{n}}; u_i = \max(a_u^{(i)}) \quad (1)$$

مرحله پنجم: در مرحله نهایی، با دیفازی سازی نظرات در رابطه با هر عامل به صورت زیر، عامل های کلیدی نهایی شناسایی می شوند:

$$a_i = \frac{l_i + 2 m_i + u_i}{4} \quad (2)$$

بدین ترتیب اگر ارزش دی فازی شده هر عامل بالاتر از متوسط ارزش های دی فازی شده باشد، عامل مربوطه مورد پذیرش واقع شده و در غیر این صورت از بررسی مرحله بعدی تصمیم گیری حذف می شود.

۲.۳. آنتروپی شانون

نظریه اطلاعات، حوزه ای از ریاضیات است که به مطالعه کمی سازی، ذخیره سازی و انتقال اطلاعات دیجیتال می پردازد. هدف از پیدایش آن، کمی سازی اطلاعات موجود در رویدادهای تصادفی است. این حوزه اساساً پس از کار (هارتلی^۱، ۱۹۲۸؛ نایکوئیست^۲، ۱۹۲۴) در دهه ی ۱۹۲۰، اما عمدتاً توسط کلود شانون^۳ در دهه ی ۱۹۴۰، در مقاله ی تأثیرگذارش با عنوان «نظریه ی ریاضی ارتباطات» (۱۹۴۸) (که به همین دلیل است که این ریاضیدان به عنوان پدر نظریه اطلاعات شناخته می شود) تأسیس شد. این حوزه در تقاطع چندین رشته قرار دارد: نظریه احتمال، آمار، علوم کامپیوتر، مکانیک آماری، مهندسی اطلاعات و مهندسی برق. کاربردهای مباحث اساسی نظریه اطلاعات شامل رمزگذاری منابع اطلاعات، فشرده سازی داده ها (مثلاً برای فایل های فشرده) رمزگذاری کانال ها و همچنین تشخیص و تصحیح خطا است. مفهوم کلیدی در نظریه اطلاعات، آنتروپی است که معیاری برای درجه علیت یا عدم قطعیتی است که رویدادهای تصادفی

¹ Hartley

² Nyquist

³ Claude Shannon

دارند. آنتروپی و مقدار اطلاعات به شرح زیر با هم مرتبط هستند: هرچه مقدار اطلاعات بیشتر باشد، بی‌نظمی بیشتر است و آنتروپی نیز بیشتر است؛ هرچه مقدار اطلاعات کمتر باشد، انتخاب کمتر است و آنتروپی نیز کمتر است. شاید یکی از راه‌های ارزیابی اهمیت یک ابزار ریاضی، توانایی آن در سازگاری موفقیت‌آمیز با زمینه‌های علمی متفاوت از زمینه‌هایی باشد که در ابتدا برای آن ایجاد شده است، و می‌توان مشاهده کرد که آنتروپی شانون نیز این نوع تطبیق‌پذیری را دارد. در واقع، آنتروپی در چندین حوزه دانش، عمدتاً در فیزیک، به کار گرفته شده است، جایی که طیف گسترده‌ای از کاربردها را برای سیستم‌های آزاد پیدا کرده است. علاوه بر این، آنتروپی یکی از چندین راه برای اندازه‌گیری تنوع زیستی است و توسط زیست‌شناسان و بوم‌شناسان تحت نام شاخص شانون به کار می‌رود (سارایوا^۱، ۲۰۲۳).

در این تکنیک، وزن شاخص‌ها بر اساس میزان پراکندگی موجود در هر شاخص ماتریس تصمیم محاسبه می‌شود. به این ترتیب، شاخصی که واگرایی مقادیر آن بیشتر (همگرایی مقادیر آن کمتر) است و از پراکندگی و اغتشاش بیشتری (کمتری) برخوردار است، اهمیت بالاتری (کمتری) در تصمیم‌گیری دارد. در این روش، گام‌های زیر جهت تعیین وزن شاخص‌ها طی می‌شود:

گام ۱: بی‌بعد کردن ماتریس تصمیم با دیدگاه نسبتی با رابطه بی‌بعدسازی نسبتی شاخص‌های مثبت برای تمامی شاخص‌های مثبت و منفی (نوع شاخص تأثیری در بی‌بعدسازی در این مرحله ندارد).

گام ۲: محاسبه درجه همگرایی مقادیر هر شاخص با استفاده از رابطه ۳:

$$E_j = -k \left(\sum_{i=1}^m r_{ij} \cdot \ln(r_{ij}) \right) \quad (3)$$

مقدار k از رابطه ۴ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$k = \frac{1}{\ln(m)} \quad (4)$$

گام ۳: محاسبه مقدار واگرایی هر شاخص با رابطه ۵ به صورت زیر:

$$D_j = 1 - E_j \quad (5)$$

گام ۴: استخراج وزن شاخص‌ها با رابطه ۶ به صورت زیر:

$$w_j = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^n D_j} \quad (6)$$

۳.۳. کوپراس

ارزیابی تناسبی پیچیده (کوپراس) تکنیک بسیار مفیدی است که معمولاً برای تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود. کوپراس عمدتاً بر استخراج وزن نسبی و مطلوبیت هر گزینه تمرکز دارد. این مطلوبیت را می‌توان بر حسب رتبه‌بندی همه گزینه‌ها تبدیل کرد تا مطلوب‌ترین گزینه از بین همه انتخاب شود. تکنیک ارزیابی تناسبی پیچیده یک ابزار تصمیم‌گیری چندمعیاره است. روش کوپراس، گزینه‌های موجود را بر اساس معیارهای مختلف به همراه معیارهای وزنی مرتبط، رتبه‌بندی می‌کند. تمرکز اصلی کوپراس، یافتن راه‌حلی با نسبت به راه‌حل ایده‌آل و نسبت به راه‌حل ایده‌آل-بدترین است

¹ Saraiva

(موسوی نسب و ستوده انوری^۱، ۲۰۱۷؛ سیراج^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). طبق گفته نارش بابو^۳ و همکاران (۲۰۱۹) روش کوپراس امکان ارزیابی الزامات مستقیم و متناسب درجه اهمیت و سودمندی جایگزین ها را در سیستمی از وزن ها و مقادیر عناصر فراهم می کند. در اینجا درجه سودمندی از ۰ تا ۱۰۰٪ بین بهترین و ضعیف ترین جایگزین ها، متغیر است. روش کوپراس، ابزاری برای مقابله کارآمد با مسئله تصمیم گیری چندمعیاره است که برای ارزیابی مقادیر شاخص های حداکثرسازی و حداقل سازی و بررسی جداگانه تأثیر شاخص های حداکثرسازی و حداقل سازی ویژگی بر ارزیابی نتایج استفاده می شود. مزایای این روش سادگی محاسبه آن، توانایی آن در انعکاس واضح درجه بهبود و وخامت گزینه ها در مقایسه با سایر گزینه ها و اطمینان از منطقی و قابل اعتماد بودن نتایج رتبه بندی است (حاجی آقا و همکاران، ۲۰۲۳؛ لیو و شن^۴، ۲۰۲۴).

این تکنیک اولین بار توسط کاکلاuskas^۵ و همکاران در سال ۲۰۰۶ ارائه شد و شامل دو ورودی اصلی است: ۱- ماتریس تصمیم و ۲- بردار وزن شاخص ها. به طور کلی در این روش، ۵ مرحله زیر اجراء می شود (حسین زاده لطفی^۶ و همکاران، ۲۰۲۳):

مرحله ۱: بی بعدسازی (نرمالسازی) ماتریس تصمیم به صورت نسبتی با استفاده از رابطه نرمالسازی نسبتی برای شاخص های مثبت به صورت زیر (به دلیل ایجاد تمایز بین شاخص های مثبت و منفی در مراحل بعدی، به هم جهت کردن شاخص ها نیازی نیست):

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (7)$$

مرحله ۲: استخراج ماتریس نرمالایز موزون از طریق حاصل ضرب وزن هر شاخص در ستون مربوط به آن شاخص به صورت زیر:

$$t_{ij} = r_{ij} \times w_j \quad (8)$$

مرحله ۳: محاسبه مجموع سطری ماتریس نرمالایز موزون برای شاخص های مثبت (S_i^+) و منفی (S_i^-) در هر گزینه به صورت زیر:

$$S_i^+ = \sum_{j \in J^+} t_{ij} \quad (9)$$

$$S_i^- = \sum_{j \in J^-} t_{ij} \quad (10)$$

که J^+ مجموعه شاخص های مثبت و J^- مجموعه شاخص های منفی را نشان می دهد.

مرحله ۴: محاسبه امتیاز گزینه ها (U_i) با استفاده از رابطه زیر:

¹ Mousavi-Nasab & Sotoudeh-Anvari

² Sairaj

³ Naresh Babu

⁴ Liu & Shen

⁵ Kaklauskas

⁶ Hosseinzadeh Lotfi

$$U_i = S_i^+ + \frac{\min(S_i^-) \times \sum_{i=1}^m S_i^-}{S_i^- \times \min(S_i^-) \times \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_i^-}} = S_i^+ + \frac{\sum_{i=1}^m S_i^-}{S_i^- \times \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_i^-}} \quad (11)$$

$\sum_{i=1}^m S_i^-$ و $\sum_{i=1}^m \frac{1}{S_i^-}$ برای همه گزینه‌ها مقداری ثابت است. همچنین داریم:

$$\sum_{i=1}^m S_i^- = \sum_{j \in J^-} w_j \quad (12)$$

مرحله ۵: رتبه‌بندی گزینه‌ها برحسب U_i به صورت نزولی.

۴. یافته‌های تحقیق

۴.۱. استخراج شاخص‌های کلیدی

با عنایت به مراحل اجرایی دلفی فازی، خروجی نهایی ارزیابی عوامل با نظرات خبرگان صنعت به صورت جدول ۴ ارائه می‌شود:

جدول ۴: خروجی نهایی دلفی فازی

ردیف	عامل	ارزش دیفازی‌شده	پذیرش یا رد
۱	محیط‌زیستی	۰/۷۰۲	✓
۲	اقتصادی	۰/۶۹۱	✓
۳	نظارتی و قانونی	۰/۷۰۷	✓
۴	اجتماعی	۰/۶۸۶	✓
۵	دانشی	۰/۶۹۸	✓
۶	محیط کسب و کار	۰/۶۹۰	✓
۷	سازمانی	۰/۷۰۵	✓
حد آستانه: ۰/۶۸۲			

۴.۲. وزن‌دهی و اولویت‌بندی شاخص‌ها

در مرحله اول اجرای آنتروپی، امتیاز تخصیصی مستخرج از عقاید متخصصان از ۲۰ در جدول ۵ برای شش تأمین‌کننده منتخب صنعت آورده شده است:

جدول ۵: امتیازدهی شاخص‌ها

شاخص‌ها	SSCM1	SSCM2	SSCM3	SSCM4	SSCM5	SSCM6	SSCM7
تأمین‌کنندگان	محیط‌زیستی	اقتصادی	نظارتی و قانونی	اجتماعی	دانشی	محیط کسب و کار	سازمانی
S1	۱۱	۱۸	۱۵	۱۰	۱۷	۱۴	۱۶
S2	۱۷	۱۳	۸	۱۳	۱۲	۱۸	۱۱
S3	۱۴	۱۴	۱۴	۱۷	۱۶	۱۳	۱۴
S4	۱۲	۹	۱۲	۱۲	۱۰	۱۵	۱۷
S5	۱۵	۱۶	۱۶	۸	۱۳	۱۰	۱۲
S6	۱۰	۱۲	۱۸	۱۹	۱۵	۱۶	۱۵
جمع	۷۹	۸۲	۸۳	۷۹	۸۳	۸۶	۸۵

در مرحله دوم با استفاده از رویکرد بنرمال سازی نسبتی برای شاخص های مثبت، مقادیر نرمال داده ها در جدول ۶ محاسبه می شود:

جدول ۶: نرمال سازی نسبتی داده ها

شاخص ها تأمین کنندگان	SSCM1	SSCM2	SSCM3	SSCM4	SSCM5	SSCM6	SSCM7
	محیط زیستی	اقتصادی	نظارتی و قانونی	اجتماعی	دانشی	محیط کسب و کار	سازمانی
S1	۰/۱۳۹	۰/۲۲۰	۰/۱۸۱	۰/۱۲۷	۰/۲۰۵	۰/۱۶۳	۰/۱۸۸
S2	۰/۲۱۵	۰/۱۵۹	۰/۰۹۶	۰/۱۶۵	۰/۱۴۵	۰/۲۰۹	۰/۱۲۹
S3	۰/۱۷۷	۰/۱۷۱	۰/۱۶۹	۰/۲۱۵	۰/۱۹۳	۰/۱۵۱	۰/۱۶۵
S4	۰/۱۵۲	۰/۱۱۰	۰/۱۴۵	۰/۱۵۲	۰/۱۲۰	۰/۱۷۴	۰/۲۰۰
S5	۰/۱۹۰	۰/۱۹۵	۰/۱۹۳	۰/۱۰۱	۰/۱۵۷	۰/۱۱۶	۰/۱۴۱
S6	۰/۱۲۷	۰/۱۴۶	۰/۲۱۷	۰/۲۴۱	۰/۱۸۱	۰/۱۸۶	۰/۱۷۶

در مرحله سوم، با استخراج ارزش k برابر $۰/۵۵۸۱$ ، ارزش های LN برای اعداد جدول ۶ به صورت جدول ۷ محاسبه می شود:

جدول ۷: ارزش های LN داده های جدول قبلی

شاخص ها تأمین کنندگان	SSCM1	SSCM2	SSCM3	SSCM4	SSCM5	SSCM6	SSCM7
	محیط زیستی	اقتصادی	نظارتی و قانونی	اجتماعی	دانشی	محیط کسب و کار	سازمانی
S1	-۱/۹۷۲	-۱/۵۱۶	-۱/۷۱۱	-۲/۰۶۷	-۱/۵۸۶	-۱/۸۱۵	-۱/۶۷۰
S2	-۱/۵۳۶	-۱/۸۴۲	-۲/۳۳۹	-۱/۸۰۴	-۱/۹۳۴	-۱/۵۶۴	-۲/۰۴۵
S3	-۱/۷۳۰	-۱/۷۶۸	-۱/۷۸۰	-۱/۵۳۶	-۱/۶۴۶	-۱/۸۸۹	-۱/۸۰۴
S4	-۱/۸۸۵	-۲/۲۰۹	-۱/۹۳۴	-۱/۸۸۵	-۲/۱۱۶	-۱/۷۴۶	-۱/۶۰۹
S5	-۱/۶۶۱	-۱/۶۳۴	-۱/۶۴۶	-۲/۲۹۰	-۱/۸۵۴	-۲/۱۵۲	-۱/۹۵۸
S6	-۲/۰۶۷	-۱/۹۲۲	-۱/۵۲۸	-۱/۴۲۵	-۱/۷۱۱	-۱/۵۸۲	-۱/۷۳۵

در ادامه در مرحله چهارم، ارزش های Ej برای شاخص ها به صورت جدول ۸ محاسبه می شود:

جدول ۸: ارزش های Ej شاخص ها

	SSCM1	SSCM2	SSCM3	SSCM4	SSCM5	SSCM6	SSCM7
	-۱/۷۷۵۱۰	-۱/۷۶۹۲۴	-۱/۷۶۳۳۰	-۱/۷۵۰۰۴	-۱/۷۷۶۲۴	-۱/۷۷۶۱۴	-۱/۷۸۰۴۲
Ej	۰/۹۹۰۷۰	۰/۹۸۷۴۳	۰/۹۸۴۱۲	۰/۹۷۶۷۱	۰/۹۹۱۳۴	۰/۹۹۱۲۸	۰/۹۹۳۶۷

در مرحله پنجم، ارزش های Dj شاخص ها به صورت جدول ۹ استخراج می شود:

جدول ۹: ارزش های Dj شاخص ها

	SSCM1	SSCM2	SSCM3	SSCM4	SSCM5	SSCM6	SSCM7	جمع
Dj	۰/۰۰۹۳۰	۰/۰۱۲۵۷	۰/۰۱۵۸۸	۰/۰۲۳۲۹	۰/۰۰۸۶۶	۰/۰۰۸۷۲	۰/۰۰۶۳۳	۰/۰۸۴۷۴

و در مرحله نهایی، ارزش وزنی شاخص ها در جدول ۱۰ ارائه می شود:

جدول ۱۰: ارزش وزنی شاخص ها

	SSCM1	SSCM2	SSCM3	SSCM4	SSCM5	SSCM6	SSCM7
Wj	۰/۱۰۹۷	۰/۱۴۸۳	۰/۱۸۷۴	۰/۲۷۴۸	۰/۱۰۲۲	۰/۱۰۲۹	۰/۰۷۴۷
اولویت شاخص	۴	۳	۲	۱	۶	۵	۷
شاخص	محیط زیستی	اقتصادی	نظارتی و قانونی	اجتماعی	دانشی	محیط کسب و کار	سازمانی

بر اساس جدول ۱۰، شاخص "اجتماعی" با بالاترین وزن در اولویت اول؛ و شاخص‌های "نظارتی و قانونی"، "اقتصادی" و "محیط‌زیستی" در اولویت‌های دوم تا چهارم از نظر اثربخشی جای گرفتند.

۳.۴. ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان صنعت

در ابتدا ماتریس تصمیم تجمیعی مستخرج از نظرات خبرگان صنعت برای تأمین‌کنندگان بر مبنای تمامی شاخص‌های مثبت (امتیاز ۱ تا ۲۰) به صورت جدول ۱۱ تشکیل می‌شود:

جدول ۱۱: ماتریس تصمیم تجمیعی نظرات خبرگان صنعت برای تأمین‌کنندگان

شاخص‌ها	SSCM1	SSCM2	SSCM3	SSCM4	SSCM5	SSCM6	SSCM7
تأمین‌کنندگان	محیط‌زیستی	اقتصادی	نظارتی و قانونی	اجتماعی	دانشی	محیط کسب و کار	سازمانی
S1	۱۲	۱۱	۸	۱۶	۱۰	۱۳	۱۳
S2	۱۴	۱۷	۱۴	۱۲	۱۵	۱۵	۱۷
S3	۱۷	۹	۱۰	۱۸	۱۹	۱۱	۱۱
S4	۱۵	۱۳	۱۷	۱۱	۱۱	۱۷	۱۴
S5	۱۰	۱۵	۱۵	۱۷	۱۶	۱۴	۱۸
S6	۱۶	۱۹	۱۱	۱۵	۱۴	۱۶	۱۰
وزن شاخص‌ها	۰/۱۰۹۷	۰/۱۴۸۳	۰/۱۸۷۴	۰/۲۷۴۸	۰/۱۰۲۲	۰/۱۰۲۹	۰/۰۷۴۷

سپس در مرحله اول کوپراس، ماتریس نرمالایز مستخرج از نظرات جدول ۱۱ در جدول ۱۲ محاسبه می‌شود:

جدول ۱۲: ماتریس تصمیم نرمالایز

شاخص‌ها	SSCM1	SSCM2	SSCM3	SSCM4	SSCM5	SSCM6	SSCM7
تأمین‌کنندگان	محیط‌زیستی	اقتصادی	نظارتی و قانونی	اجتماعی	دانشی	محیط کسب و کار	سازمانی
S1	۰/۱۴۲۹	۰/۱۳۱۰	۰/۱۰۶۷	۰/۱۷۹۸	۰/۱۱۷۶	۰/۱۵۱۲	۰/۱۵۶۶
S2	۰/۱۶۶۷	۰/۲۰۲۴	۰/۱۸۶۷	۰/۱۳۴۸	۰/۱۷۶۵	۰/۱۷۴۴	۰/۲۰۴۸
S3	۰/۲۰۲۴	۰/۱۰۷۱	۰/۱۳۳۳	۰/۲۰۲۲	۰/۲۲۳۵	۰/۱۲۷۹	۰/۱۳۲۵
S4	۰/۱۷۸۶	۰/۱۵۴۸	۰/۲۲۶۷	۰/۱۲۳۶	۰/۱۲۹۴	۰/۱۹۷۷	۰/۱۶۸۷
S5	۰/۱۱۹۰	۰/۱۷۸۶	۰/۲۰۰۰	۰/۱۹۱۰	۰/۱۸۸۲	۰/۱۶۲۸	۰/۲۱۶۹
S6	۰/۱۹۰۵	۰/۲۲۶۲	۰/۱۴۶۷	۰/۱۶۸۵	۰/۱۶۴۷	۰/۱۸۶۰	۰/۱۲۰۵
وزن شاخص‌ها	۰/۱۰۹۷	۰/۱۴۸۳	۰/۱۸۷۴	۰/۲۷۴۸	۰/۱۰۲۲	۰/۱۰۲۹	۰/۰۷۴۷

در ادامه ماتریس نرمالایز موزون به صورت جدول ۱۳ استخراج می‌شود:

جدول ۱۳: ماتریس نرمالایز موزون

شاخص‌ها	SSCM1	SSCM2	SSCM3	SSCM4	SSCM5	SSCM6	SSCM7
تأمین‌کنندگان	محیط‌زیستی	اقتصادی	نظارتی و قانونی	اجتماعی	دانشی	محیط کسب و کار	سازمانی
S1	۰/۱۴۲۹	۰/۱۳۱۰	۰/۱۰۶۷	۰/۱۷۹۸	۰/۱۱۷۶	۰/۱۵۱۲	۰/۱۵۶۶
S2	۰/۱۶۶۷	۰/۲۰۲۴	۰/۱۸۶۷	۰/۱۳۴۸	۰/۱۷۶۵	۰/۱۷۴۴	۰/۲۰۴۸
S3	۰/۲۰۲۴	۰/۱۰۷۱	۰/۱۳۳۳	۰/۲۰۲۲	۰/۲۲۳۵	۰/۱۲۷۹	۰/۱۳۲۵
S4	۰/۱۷۸۶	۰/۱۵۴۸	۰/۲۲۶۷	۰/۱۲۳۶	۰/۱۲۹۴	۰/۱۹۷۷	۰/۱۶۸۷
S5	۰/۱۱۹۰	۰/۱۷۸۶	۰/۲۰۰۰	۰/۱۹۱۰	۰/۱۸۸۲	۰/۱۶۲۸	۰/۲۱۶۹
S6	۰/۱۹۰۵	۰/۲۲۶۲	۰/۱۴۶۷	۰/۱۶۸۵	۰/۱۶۴۷	۰/۱۸۶۰	۰/۱۲۰۵

از آنجایی که تمامی شاخص‌ها جنبه مثبت دارند در مرحله بعدی، مقدار S_i^+ برای تمامی تأمین‌کنندگان محاسبه شده و مقادیر S_i^- برای تمامی ردیف‌ها صفر در نظر گرفته می‌شود که در جدول ۱۴ ارائه شده است:

جدول ۱۴: مقادیر S_i^+ و S_i^-

تأمین کنندگان	S_i^+	S_i^-
S1	۰/۱۴۳۸	۰
S2	۰/۱۷۱۶	۰
S3	۰/۱۶۴۶	۰
S4	۰/۱۶۵۲	۰
S5	۰/۱۸۱۷	۰
S6	۰/۱۷۳۲	۰

در مرحله چهارم، امتیاز تمامی تأمین کنندگان بایستی محاسبه شود. با توجه به ارزش های صفر برای S_i^- ، رتبه گزینه ها بر اساس S_i^+ به صورت جدول ۱۵ حاصل می شود:

جدول ۱۵: امتیاز تأمین کنندگان

تأمین کنندگان	رتبه
S1	۶
S2	۳
S3	۵
S4	۴
S5	۱
S6	۲

بر اساس جدول ۱۵، تأمین کنندگان پنجم، ششم و دوم به ترتیب در رتبه های اول تا سوم جای می گیرند.

۵- نتیجه گیری و پیشنهادها

مدیریت زنجیره تأمین در صنایع سرب و روی، به معنای مدیریت یکپارچه و بهینه تمام مراحل از استخراج سنگ معدن تا تحویل محصول نهایی (شمش سرب، شمش روی، کنسانتره، اسید سولفوریک و محصولات جانبی) به مشتری نهایی با هدف کاهش هزینه ها، افزایش کیفیت، کاهش ریسک های محیط زیستی و تأمین پایدار مواد است. در کل، مدیریت زنجیره تأمین در این صنعت بسیار پیچیده و حساس است زیرا هم مواد سمی و خطرناک هستند، هم تحت تأثیر شدید قیمت های جهانی و تحریم قرار دارد و هم مسائل محیط زیستی و اجتماعی آن بسیار بالاست.

بنابراین اهمیت ارزیابی تأمین کنندگان پایدار در صنعت سرب و روی نیز بسیار بالاست، چون این صنعت یکی از آلاینده ترین و پریسک ترین صنایع از نظر محیط زیست، سلامت انسان و مسئولیت اجتماعی است. دلایل اصلی اهمیت این ارزیابی عبارتند از:

- ریسک های بالای محیط زیستی: استخراج و فرآوری سرب و روی، پسماندهای خطرناک (مانند سرباره، خاکستر، اسید سولفوریک و فلزات سنگین) تولید می کند. نشت سرب و کادمیوم به خاک و آب های زیرزمینی اثرات جبران ناپذیری دارد (سرب یک نورو توکسین دائمی است). بسیاری از معادن قدیمی سرب و روی در جهان هنوز آثار آلودگی چند دهه ای دارند (مثل منطقه می تاکو در ژاپن یا بنکر هیل در آمریکا). لذا ارزیابی پایداری تأمین کننده کمک می کند از خرید مواد از منابعی که استانداردهای محیط زیستی را رعایت نمی کنند، جلوگیری شود.

- ریسک سلامت و ایمنی کارگران و جوامع محلی: مسمومیت با سرب در کارگران معادن و ذوب (به ویژه کودکان در مناطق غیررسمی) بسیار شایع است. در کشورهایی مثل چین، پرو، بولیوی و حتی برخی مناطق ایران، گزارش های متعددی از مسمومیت سرب کودکان در نزدیکی معادن وجود دارد. تأمین کننده ای که ایمنی کار و سلامت جامعه محلی را جدی نگیرد، ریسک حقوقی و اعتباری بزرگی برای خریدار ایجاد می کند.
 - الزامات قانونی و استانداردهای بین المللی: اتحادیه اروپا با مقررات REACH و RoHS، محدودیت های سختی برای سرب وضع کرده است. شرکت های بزرگ مثل Nyrstar، Teck، Glencore موظف شده اند فقط از تأمین کنندگانی خرید کنند که گواهی نامه پایداری دارند.
 - ریسک شهرت: یک رسوایی محیط زیستی یا نقض حقوق بشر در زنجیره تأمین (مثل استفاده از کار کودک در معادن Artisanal در آفریقا یا آمریکای لاتین) می تواند به سرعت برند خریدار را نابود کند. مثلاً در سال ۲۰۲۱-۲۰۲۳ چندین باتری ساز خودروهای برقی به دلیل استفاده از سرب و روی روی با منشأ غیرمسئولانه مورد انتقاد شدید قرار گرفتند.
 - پایداری کسب و کار در بلندمدت: منابع سرب و روی محدود هستند و بسیاری از معادن با عیار بالا در حال اتمام اند. تأمین کنندگانی که مدیریت پسماند ضعیف دارند، زودتر تعطیل می شوند یا با جریمه های سنگین مواجه می شوند و امنیت تأمین مواد اولیه خریدار به خطر می افتد.
 - فشار مشتریان نهایی و سرمایه گذاران: در حال حاضر، خودروسازان برقی (تسلا، فولکس واگن، بی ام و)، تولید کنندگان باتری LG و سامسونگ) و شرکت های گالوانیزه فولاد در قراردادهای خود بند "تأمین مسئولانه" دارند و از تأمین کنندگان خود گزارش سالانه پایداری درخواست می کنند.
- با عنایت به ضرورت های اشاره شده، در این مطالعه پس از استخراج عوامل کلیدی تأثیرگذار بر سیستم مدیریت زنجیره تأمین پایدار صنایع، طی پرسشنامه دلفی فازی و نظرات خبرگان سرب و روی، هفت عامل نهایی در پایداری زنجیره تأمین صنعت شناسایی شدند. سپس ارزیابی عوامل با آنتروپی شانون صورت گرفت و در انتها از تکنیک کوپراس برای رتبه بندی تأمین کنندگان صنعت بهره گرفته شد. بر اساس اولویت عوامل از نظر اهمیت، پیشنهاد های زیر به صنعت ارائه شدند:
- عوامل اجتماعی: به مسئولان صنعت پیشنهاد می شود که در بهبود فرآیند تولید محصولات سازگار با محیط زیست اهتمام بیشتری بورزند. همچنین در آگاهی بخشی به مشتریان و ذینفعان زنجیره تأمین برای تمرکز بر ابتکارات سبز تلاش کرده و همکاری تنگاتنگ با مشتریان در رعایت بهداشت محیط زیستی با هدف توسعه ظرفیت تولید برای اشتغال پذیری بیشتر جامعه اقدامات مؤثری بردارند.
 - عوامل نظارتی و قانونی: در این زمینه، تقویت مسئولیت های اجتماعی صنایع و رعایت مقررات و استانداردهای محیط زیستی توصیه می شود.
 - عوامل اقتصادی: در این زمینه، بازیافت مواد و پسماندها و صرفه جویی در مصرف انرژی با برنامه ریزی مناسب و مدیریت ضایعات می تواند رهگشا باشد.
 - عوامل محیط زیستی: بدین منظور، کنترل آسیب های محیط زیستی ناشی از مواد خطرناک از جمله جیوه و اسید، لجستیک معکوس برای پاک سازی بیشتر محیط، طراحی مجدد یا توسعه طراحی سازگار با محیط زیست و سبز،

¹ Responsible Sourcing

طراحی سیستم خرید سبز از زمان سفارش تا دریافت و ورود با انبار و کنترل فرآیندهای داخلی تولید و استفاده از فناوری‌های پیشرفته و دستگاه‌های پاک با آلایندگی کم برای صنعت مفید خواهد بود.

- عوامل محیط کسب و کاری: به مدیران صنعت توصیه می‌شود با تبلیغات مؤثر بر تصویرسازی بهتر از برند در داخل و خارج به منظور افزایش سهم بازار و کسب مزایای رقابتی بیشتر، برنامه‌ریزی راهبردی برای افزایش سهم بازارهای جهانی و توسعه صادرات بیشتر و همکاری مناسب با تأمین کنندگان منتخب صنعت به بهبود کسب و کارها کمک کنند.

- عوامل دانشی: به مدیران صنعت پیشنهاد می‌شود با سرمایه‌گذاری بیشتر در آموزش (تعلیم و تربیت) کارکنان و ایجاد یک سیستم اطلاعاتی یکپارچه و هوشمند در صنعت، زمینه را برای پایداری در سیستم زنجیره تأمین صنعت فراهم آورند. همچنین بهره‌گیری از فناوری بلاکچین و بکارگیری ابزارهای هوش مصنوعی در زنجیره تأمین صنعت، باعث بهبود عملکرد فرآیندها می‌شود.

- عوامل سازمانی: در این زمینه، استفاده از سیستم‌های بهبود ایمنی و بهداشت در محیط کار و بهبود ساختار سازمانی با بهره‌گیری از مدیران توانمند و با دانش و تجربه بالا برای برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر سیستم زنجیره تأمین با هدف پایداری توصیه می‌شود.

با مقایسه نتایج ارزیابی عوامل در این پژوهش با مطالعه روت و همکاران (۲۰۱۷) مشخص می‌شود که در پژوهش حاضر عوامل اجتماعی در رتبه اول اهمیت در زنجیره تأمین صنایع سرب و روی ایران قرار دارند. این در حالی است که عوامل محیط‌زیستی در اولویت اول خروجی مطالعه روت و همکاران قرار گرفته است. اما عوامل نظارتی و قانونی در هر دو مطالعه در اولویت دوم اهمیت جای گرفته‌اند که کاملاً باهم مطابقت دارند. همچنین عوامل اجتماعی در رتبه سوم اهمیت در مطالعه روت و همکاران قرار دارد. به طور خلاصه "عوامل اجتماعی"، "نظارتی و قانونی" و "محیط‌زیستی" از اهمیت بیشتری نسبت به سایر ابعاد برخوردارند.

به طور خلاصه، ارزیابی پایداری تأمین کنندگان از نظر پایداری در صنعت سرب و روی، دیگر یک «کار خوب» اختیاری نیست؛ یک الزام رقابتی، قانونی و اخلاقی است. شرکتی که تأمین کننده‌اش، آلودگی شدید یا نقض حقوق بشر داشته باشد، در میان مدت از بازارهای اروپا، آمریکا و حتی چین پیشرفته حذف خواهد شد. بنابراین ارزیابی دقیق و انتخاب تأمین کنندگان سبز و مسئولانه، یکی از مهم‌ترین عوامل بقا و رشد در این صنعت در دهه‌های آینده است.

همچنین برای تحقیقات آینده پیشنهاد می‌شود که مطالعه بیشتری برای طراحی یک مدل جامع و هوشمند پایدار برای زنجیره تأمین صنعت با تمرکز بر ابعاد کلیدی انقلاب صنعتی چهارم به ویژه هوش مصنوعی، بلاکچین و اینترنت اشیاء انجام شود. بهره‌گیری از رویکرد آماری تحلیل عاملی اکتشافی برای کشف مدل جامع‌تر نیز پیشنهاد می‌شود. استفاده از سایر تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه از جمله فرآیندهای تحلیل سلسله‌مراتبی، بهترین - بدترین و سوارا برای استخراج وزن شاخص‌ها و مقایسه با نتایج این مطالعه به منظور انتخاب بهترین روش نیز مفید است. بهره‌گیری از سایر تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از جمله ویکور، واسپاس و آراس برای اولویت‌بندی تأمین کنندگان صنعت برای اطمینان از ارزیابی انجام‌شده در این تحقیق ضروری است. از محدودیت‌های تحقیق می‌توان به دسترسی محدود به خبرگان (به دلیل پراکندگی صنایع سرب و روی) برای گردآوری داده‌ها در شناسایی و ارزیابی با تکنیک‌های تصمیم‌گیری بود که با پیگیری‌های بیشتر تا حدی مرتفع شد.

تعارض منافع

تعارض منافع ندارم.

سپاسگزاری

بر خود لازم می‌دانم که از حمایت‌های معنوی دانشگاه بوعلی سینا قدردانی نمایم.

منابع

- ابراهیم‌پور سامانی، جمشید؛ خانی، ناصر؛ یزدانی، بیتا؛ داودی، سید محمدرضا (۱۴۰۳). طراحی مدل پایدار زنجیره تأمین در صنایع غذایی و کشاورزی با تأکید بر ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی: کاربرد روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری. مدیریت زنجیره تأمین. ۲۶(۸۴). ۷۷-۱۰۲.
- ابراهیم‌پور سامانی، جمشید؛ داودی، سید محمدرضا (۱۴۰۴). شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های کلیدی در زنجیره تأمین پایدار مواد غذایی با تکنیک دیمتل فازی. اقتصاد کشاورزی و توسعه. (انتشار آنلاین از ۱۶ شهریور ۱۴۰۴).
- اجلی، مهدی (۱۴۰۳a). ارزیابی معیارهای توسعه مواد و صنایع معدنی با پتانسیل بالا بر پایه زنجیره ارزش با استفاده از روش تحلیل نسبت ارزیابی وزندهی ترجیحی. فصلنامه علمی مدیریت استاندارد و کیفیت. ۱۴(۳). ۱۲۱-۱۰۱. doi: 10.22034/jsqm.2025.472534.1597
- اجلی، مهدی و عظیمی، حسین (۱۴۰۳b). طراحی مدل پیاده‌سازی نظام آراستگی ۵S در صنعت روی با ترکیب سوارا، دلفی و مورا. فصلنامه علمی مدیریت استاندارد و کیفیت. ۱۳(۴). ۶۴-۳۳. doi: 10.22034/jsqm.2024.399105.1497
- اجلی، مهدی؛ زینتی، بابک؛ صابری‌فرد، نیما (۱۴۰۱). رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان ناب صنعت خودرو با تکنیک ارزیابی نسبت افزودنی، نشریه علمی اندیشه‌آمد، دوره ۲۱، شماره ۸۱، شماره پیاپی ۲۱، شهریور، صفحه ۹۴-۷۱.
- خانی، ناصر؛ ابراهیم‌پور سامانی، جمشید (۱۴۰۲). شاخص‌های مؤثر بر زنجیره تأمین پایدار برای بخش مواد غذایی کشاورزی. مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۸(۲). ۱۸۷-۲۰۲.

References

- Afum, E., Osei-Ahenkan, V. Y., Agyabeng-Mensah, Y., Owusu, J. A., Kusi, L. Y., & Ankomah, J. (2020). Green manufacturing practices and sustainable performance among Ghanaian manufacturing SMEs: The explanatory link of green supply chain integration. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 31(6), 1457–1475.
- Ajalli, M. (2024a). Conceptual modeling of determining factors in the assessment of sustainability and resilience of the supply chain: a study of rubber industry suppliers in Iran. *J Rubber Res* 27, 259–274. <https://doi.org/10.1007/s42464-024-00257-3>.
- Ajalli, M. (2024b). A Fuzzy Delphi-BWM-TOPSIS Hybrid Approach to Assessment Suppliers Resilience. *Journal of Industrial Engineering and Management Studies*, 11(1), 181-195. doi: 10.22116/jiems.2024.472125.1571. (In Persian)
- Ajalli, M. (2025a). A Combined Decision System for Critical Success Factors and Influential Parts of Blockchain Technology. *Iran J Sci*. <https://doi.org/10.1007/s40995-025-01844-8>.
- Ajalli, M. (2025b). Assessing of Green Suppliers in Applying Blockchain with Fuzzy Delphi-MOORA Hybrid Approach. *Quarterly journal of Industrial Technology Development*, 23(61), 37-54. doi: 10.22034/jtd.2024.2037386.1949.
- Ajalli, M. (2025c). A hybrid approach of CFA-FAHP-SWARA-ARAS for evaluating the readiness criteria of zinc industry green suppliers in blockchain technology adopting, *Results in Engineering*, Volume 27, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106034>.

- Ajalli, M. (2025d). Evaluation of key cement production industries based on sustainable development factors with a combined approach of Fuzzy (AHP-VIKOR). *Journal of Industrial Engineering and Management Studies*, 12(1), 1-13. doi: 10.22116/jiems.2024.474464.1572.
- Ajalli, M., Soleiman Ekhtiyari, N. Zandi, P. (2025e). A Combined of Path Analysis-MCDM Approaches to Evaluation of Leagile Suppliers IJIEPR; 36 (2): 116-129 URL: <http://ijiepr.iust.ac.ir/article-1-2153-en.html>.
- Ajalli, M., Azimi, H., Mohammadi Balani, A., & Rezaei, M. (2017). Application of Fuzzy AHP and COPRAS to Solve the Supplier Selection Problems, *International Journal of Supply Chain Management*. 6(3), 112-119.
- Ajalli, M., Nasisri, A. and Hedayati, H. (2021b). Effect of GSCM on Environmental Collaboration and Sustainability Performance Using Factors Analysis and Decision Making Techniques. *Environment and Interdisciplinary Development*, 6(74), 60-77. doi: 10.22034/envj.2022.309177.1147. (In Persian)
- Ajalli, M., Saberifard, N., Zinati, B. (2021a). Evaluation and Ranking the Resilient Suppliers with the Combination of Decision Making Techniques, *Management and Production Engineering Review*, Volume 12, Number 3, September, pp. 129–140, DOI: 10.24425/mper.2021.137685.
- Ajalli, M., Zinati, B. and Saberifard, N. (2022). Ranking of Pure Suppliers with Additive Ratio Assessment Technique (Case Study: vehicle manufacturing industry). *Logistics Thought*, 21(81), 71-94. doi: 10.22034/lot.2022.1266439.1171. (In Persian)
- Anam, M.Z., Bari, A.M., Paul, S.K., Ali, S.M., Kabir, G., (2022). Modelling the drivers of solar energy development in an emerging economy: Implications for sustainable development goals, *Res. Conserv. Recycl. Adv.* 13, 200068.
- Arscot, L. (2004). Sustainable development in the oil and gas Industry. *J Energy Resour Technol*; 126(1):1–5.
- Baah, C., Opoku-Agyeman, D., Acquah, I. S. K., Agyabeng-Mensah, Y., Afum, E., Faibil, D., et al. (2021). Examining the correlations between stakeholder pressures, green production practices, firm reputation, environmental and financial performance: Evidence from manufacturing SMEs. *In Sustainable Production and Consumption*, 27 pp. 100–114).
- Bagheri, A, Hjorth, P. (2007). A framework for process indicators to monitor for sustainable development: *practice to an urban water system. Environ Dev Sustain*; 9:143–61.
- Blasco-Blasco, O., Pinto-Delacadena, P.A., Vinueza-Cabezas, A. et al. (2025). Crafting a competency-based questionnaire based on Fuzzy Delphi: a proposal for enhanced hiring process. *Qual Quant* 59, 3245–3269. <https://doi.org/10.1007/s11135-025-02086-x>.
- Calleo, Y., Pilla, F. (2023). Delphi-based future scenarios: a bibliometric analysis of climate change case studies. *Futures*, 149, 103143.
- Cao, W., Huang, Y. & Zhang, H. (2025). Screen chaotic motion by Shannon entropy in curved spacetimes. *Eur. Phys. J. C* 85, 568. <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-025-14310-x>
- Elahi, M., Enayati, R., Keramatpour, M. (2025). A fuzzy Delphi-SERVQUAL model using degree of belief structure for assessing customer satisfaction in automotive after-sales services, *Applied Soft Computing*, Volume 184, Part B, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2025.113770>.
- Galli, A. et al. (2012). Integrating ecological, carbon and water footprint into a “footprint family” of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. *Ecol. Ind.* 16, 100–112. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.017>.
- Greenland, S., Levin, E., Dalrymple, J.F., O’Mahony, B., (2019). Sustainable innovation adoption barriers: water sustainability, food production and drip irrigation in Australia, *Soc. Responsib. J.* 15 (6), 727–741.
- Gunasekaran, A. et al. (2017). Big data and predictive analytics for supply chain and organizational performance. *J. Bus. Res.* 70, 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.08.004>.
- Gupta, H., Barua, M.K. (2018). A framework to overcome barriers to green innovation in SMEs using BWM and Fuzzy TOPSIS, *Sci. Total Environ.* 633, 122–139.
- Gupta, N., Garg, P., Ahuja, N. (2025b). An integrated pythagorean fuzzy delphi-AHP-CoCoSo approach for exploring barriers and mitigation strategies for sustainable supply chain in the food industry, *Supply Chain Analytics*, Volume 10, <https://doi.org/10.1016/j.sca.2025.100105>.

- Gupta, P., Sharma, Y., Chauhan, A. et al. (2025a). Investigation of green supply chain management practices and sustainability in Indian manufacturing enterprises using a structural equation modelling approach. *Sci Rep* 15, 14909. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95940-9>.
- Hajiagha, S.H.R.; Hashemi, S.S.; Zavadskas, E.K. (2013). A complex proportional assessment method for group decision making in an interval-valued intuitionistic fuzzy environment. *Technol. Econ. Dev. Econ.*, 19, 22–37.
- Hart, S., Milstein, MB. (2003). Creating sustainable value, *Academy of Management Executive*. 17(2); p. 56–69.
- Heinberg, R. (2007). *Peak everything; waking up to the century of declines*. Canada: New Society Publishers.
- Hosseinzadeh Lotfi, F., Allahviranloo, T., Pedrycz, W., Shahriari, M., Sharafi, H., Razipour GhalehJough, S. (2023). The Complex Proportional Assessment (COPRAS) in Uncertainty Environment. In: *Fuzzy Decision Analysis: Multi Attribute Decision Making Approach*. Studies in Computational Intelligence, vol 1121. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44742-6_12.
- Ibrahim, H.A., Zaidan, A.A., Qahtan, S., Zaidan, B.B. (2023). Sustainability assessment of palm oil industry 4.0 technologies in a circular economy applications based on interval-valued Pythagorean fuzzy rough set-FWZIC and EDAS methods, *Applied Soft Computing*, Volume 136, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110073>.
- Karmaker, C.L., Aziz, R.A., Palit, T., Bari, A.M. (2022). Analyzing supply chain risk factors in the small and medium enterprises under fuzzy environment: implications towards sustainability for emerging economies, *Sustain. Technol. Entrep.* 100032.
- Li, X., Li, Y., Li, G. et al. (2025). Sustainable supply chain management practices and performance: The moderating effect of stakeholder pressure. *Humanit Soc Sci Commun* 12, 336. <https://doi.org/10.1057/s41599-025-04676-4>.
- Liu, P., & Shen, J. (2024). GHF-COPRAS Multiple Attribute Decision-Making Method Based on Cumulative Prospect Theory and Its Application to Enterprise Digital Asset Valuation. *Axioms*, 13(5), 297. <https://doi.org/10.3390/axioms13050297>.
- Mousavi-Nasab, S.H., Sotoudeh-Anvari, A. (2017). A comprehensive MCDM-based approach using TOPSIS, COPRAS and DEA as an auxiliary tool for material selection problems, *Materials & Design*, Volume 121, Pages 237-253, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.041>.
- Mugoni, E., Kanyepe, J., Tukuta, M. (2024). Sustainable Supply Chain Management Practices (SSCMPS) and environmental performance: A systematic review, *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, Volume 3, Issue 1, <https://doi.org/10.1016/j.stae.2023.100050>.
- Mugoni, E., Kanyepe, J., Tukuta, M. (2024). Sustainable Supply Chain Management Practices (SSCMPS) and environmental performance: A systematic review, *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, Volume 3, Issue 1, <https://doi.org/10.1016/j.stae.2023.100050>.
- Naresh Babu, M., Anandan, V. & Muthukrishnan, N. (2019). Analysis of EN24 steel in turning process with copper nanofluids under minimum quantity lubrication. *J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.* 41, 101. <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1606-1>.
- Osorio, LAR. Lobato, MO., Castillo, XAD. (2005). Debates on sustainable development: towards a holistic view of reality. *Environ Dev Sustain*; 7:501.
- Pereira, M., Hendry, LC. Silva, ME. Bossle, MB. Antonialli, LM (2023), "Sustainable supply chain management in a global context: the perspective of emerging economy suppliers". *RAUSP Management Journal*, Vol. 58 No. 3 pp. 197–218, doi: <https://doi.org/10.1108/RAUSP-05-2022-0141>.
- Rahim, M., Akhtar, Y., Yang, M. -S., Ali, H. E. M. and Elhag, A. A., (2024). Improved COPRAS Method With Unknown Weights Under p, q-Quasirung Orthopair Fuzzy Environment: Application to Green Supplier Selection," in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 69783-69795,, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3400016. keywords: {Green products; Decision making; Sustainable development; Companies; Supply chains; Business; Uncertainty; Social factors; Ecology; Product delivery; p, q-quasirung orthopair fuzzy sets; COPRAS method; MCGDM; green supplier selection}.

- Rahman, M.M., Bari, A.M., Ali, S.M., Taghipour, A. (2022). Sustainable supplier selection in the textile dyeing industry: an integrated multi-criteria decision analytics approach, *Res., Conserv. Recycl. Adv.*, 200117.
- Raut, R.D., Narkhede, B., Gardas, B.B. (2017). To identify the critical success factors of sustainable supply chain management practices in the context of oil and gas industries: ISM approach, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 68, Part 1, Pages 33-47, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.067>.
- Sairaj, B. Patil, Tushar, A. Patole, Rasika, S. Jadhav, Shruti, S. Suryawanshi, Sunil, J. Raykar, (2022). Complex Proportional Assessment (COPRAS) based Multiple-Criteria Decision Making (MCDM) paradigm for hard turning process parameters, *Materials Today: Proceedings*, Volume 59, Part 1, Pages 835-840, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.142>.
- Saki Malehi, E., Ashrafi, S. M., & Ghafouri, H. R. (2022). Performance evaluation of using Shannon's entropy crossing time to monitor drought: a case study of the Karkheh. *Hydrological Sciences Journal*, 67(13), 1971–1987. <https://doi.org/10.1080/02626667.2022.2116981>.
- Saraiva, P., (2023). On Shannon entropy and its applications, *Kuwait Journal of Science*, Volume 50, Issue 3, Pages 194-199, <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2023.05.004>.
- Seitz, MA, Wells, PE. (2006). Challenging the implementation of corporate sustainability. *Bus Process Manag J*; 12(6), [822-36].
- Sharma, H., Sohani, N., & Yadav, A. (2021). Comparative analysis of ranking the lean supply chain enablers: An AHP, BWM and fuzzy SWARA based approach. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Shekarian, E.; Ijadi, B.; Zare, A.; Majava, J. (2022). Sustainable Supply Chain Management: A Comprehensive Systematic Review of Industrial Practices. *Sustainability*, 14, 7892. <https://doi.org/10.3390/su14137892>.
- Walker, H. & Preuss, L. (2008). Fostering sustainability through sourcing from small businesses: Public sector perspectives. *J. Clean. Prod.* 16(15), 1600–1609. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.014>.