Ind. Manag. Persp. 2026, 16(2), 180-204; doi: 10.48308/JIMP.16.2.180

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

Identifying and prioritizing the challenges of sustainable supply chain management of electric vehicles in Iran

Hesam KordRostami*
Mohammad Rostami**

Extended Abstract

Introduction. The transportation industry, as one of the largest consumers of fossil fuels, significantly contributes to environmental pollutants and greenhouse gas emissions. The development and commercialization of electric vehicles (EVs) have emerged as a key strategy to reduce air pollution, decrease dependence on fossil fuels, and transition toward clean transportation. However, the widespread adoption of EVs is not merely a technological transformation; it requires the design and management of a sustainable, efficient, and integrated supply chain capable of simultaneously addressing economic, social, and environmental challenges. In Iran, despite some preliminary studies and limited initiatives by domestic automakers, the development of this industry faces numerous obstacles. A systematic review of the literature reveals that previous studies have largely addressed technological, economic, or environmental challenges unidimensionally, with few studies providing a comprehensive and simultaneous identification and prioritization of these challenges within an integrated framework at the supply chain level of Iran's automotive industry. Therefore, the main objective of this study is to identify and prioritize the sustainable supply chain management challenges of electric vehicles in Iran, emphasizing the role of the automaker as the focal firm of the supply chain.

Methods. This research is applied in terms of purpose and descriptive-analytical survey in terms of execution. The study employs a mixed-method (qualitative-quantitative) approach. In the qualitative phase, 33 initial challenges across three dimensions (economic, social, and environmental) were identified through a targeted literature review using relevant keywords in Scopus and Noor databases. Subsequently, the fuzzy Delphi technique was applied in two rounds with the participation of 17 experts (academic experts in industrial management and industrial engineering, and industry experts including managers and senior specialists in production, logistics, and planning from Iran Khodro and Saipa companies) to screen and refine these challenges. In the quantitative phase, the fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) with Chang's extent analysis approach was employed to determine the importance and priority of the final challenges. All quantitative analyses were performed in the Excel software environment using Visual Basic coding.

Received: Feb. 27, 2026; Revised: Jun. 06, 2026; Accepted: Jul. 16, 2026; Published Online: Sep. 21, 2026.

*Graduated, Department of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

**Associate Professor, Department of Industrial Engineering and Management, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

Corresponding Author: Rostami_m@shahroodut.ac.ir

Ind. Manag. Persp. 2026, 16(2), 180-204; doi: 10.48308/JIMP.16.2.180

Industrial Management Perspective

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

Original Article

Results and Discussion. The fuzzy Delphi results indicated that out of 33 initial challenges, 18 challenges achieved the necessary threshold (defuzzified mean above 0.7), and the expert disagreement between the two rounds was less than 0.1, indicating a high consensus among the expert panel. The FAHP prioritization results revealed that among the three main sustainability dimensions, economic challenges ranked first with a normalized weight of 0.562, followed by environmental challenges (0.242) and social challenges (0.196). At the sub-criteria level of the economic dimension, "EV battery technology challenges" obtained the highest priority (0.713), followed by "product cost" (0.602). "Challenges of EV parts supply" (0.398), "high infrastructure costs" (0.375), and "production challenges" (0.269) occupied subsequent ranks. In the social dimension, "social acceptance challenge" was identified as the most significant factor (0.495), followed by "after-sales services" (0.467) and "unfavorable social brand image of EVs" (0.320). In the environmental dimension, "environmental pollution of batteries" ranked first (0.525), with "battery recycling" (0.456) and "environmental challenges of manufacturing and production" (0.277) following. The inconsistency rates for all pairwise comparisons were calculated to be below 0.1, confirming the reliability of the results. The discussion section further elaborates on why economic priorities dominate in Iran due to structural factors such as currency fluctuations, dependence on imported battery technology, and insufficient government incentives.

Conclusions. This research provides a comprehensive and prioritized framework of sustainable supply chain challenges for electric vehicles in Iran. The findings emphasize that focusing on battery technology development, reducing product costs, and managing social acceptance are essential prerequisites for success in this area. Practical recommendations are presented across short-term, medium-term, and long-term horizons.

Keywords: Battery Technology, Electric Vehicle, Fuzzy AHP, Fuzzy Delphi, Social Acceptance, Supply Chain Management, Sustainable Supply Chain.

How to Cite: KordRostami, Hesam; Rostami, Mohammad (2026). Identifying and prioritizing the challenges of sustainable supply chain management of electric vehicles in Iran. *Ind. Manag. Persp.*, 16(2), 180-204 *(In Persian)*.

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۵، دوره ۱۶، شماره ۲، صص ۱۸۰ - ۲۰۴، doi : 10.48308/JIMP.16.2.180

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage : https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: پژوهشی

شناسایی و اولویت‌بندی چالش‌های مدیریت زنجیره تامین پایدار خودروهای برقی در ایران

حسام کردرستمی*

محمد رستمی**

چکیده گسترده

مقدمه و اهداف. صنعت حمل‌ونقل به عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی فسیلی، سهم قابل توجهی در انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی و گازهای گلخانه‌ای دارد. در این میان، توسعه و تجاری‌سازی خودروهای برقی به عنوان یک راهبرد کلیدی برای کاهش آلودگی هوا، کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و گذار به سوی حمل‌ونقل پاک مطرح شده است. با این حال، گسترش استفاده از خودروهای برقی صرفاً یک تحول فناورانه نیست، بلکه مستلزم طراحی و مدیریت یک زنجیره تأمین پایدار، کارآمد و یکپارچه است که بتواند چالش‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را به طور همزمان مدیریت کند. در ایران، علی‌رغم انجام برخی مطالعات اولیه و اقدامات محدود خودروسازان داخلی، توسعه این صنعت با موانع متعددی روبرو است. مرور نظام‌مند ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که مطالعات پیشین عمدتاً به صورت تک‌بعدی به چالش‌های فناورانه، اقتصادی یا زیست‌محیطی پرداخته‌اند و کمتر پژوهشی به شناسایی و اولویت‌بندی جامع و همزمان این چالش‌ها در قالب یک چارچوب یکپارچه و در سطح زنجیره تأمین صنعت خودروی ایران توجه داشته است. از این رو، هدف اصلی این پژوهش، شناسایی و اولویت‌بندی چالش‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی در ایران با تأکید بر نقش خودروساز به عنوان بنگاه محوری زنجیره است.

روش‌ها. پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش اجرا، توصیفی-تحلیلی از نوع پیمایشی است. این مطالعه با رویکرد ترکیبی (کیفی-کمی) انجام شده است. در مرحله کیفی، ابتدا با مرور هدفمند ادبیات و استفاده از کلیدواژه‌های مرتبط در پایگاه‌های Scopus و نور، ۳۳ چالش اولیه در سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شناسایی شد. سپس با بهره‌گیری از تکنیک دلفی فازی در دو مرحله و با مشارکت ۱۷ نفر از خبرگان دانشگاهی (اساتید مدیریت صنعتی و مهندسی صنایع) و خبرگان صنعتی (مدیران و کارشناسان ارشد حوزه تولید، لجستیک و برنامه‌ریزی در شرکت‌های ایران‌خودرو و سایپا)، این چالش‌ها غربال‌گری و پالایش شدند. در مرحله کمی، به منظور تعیین میزان اهمیت و اولویت هر یک از چالش‌های نهایی، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (Fuzzy AHP) با رویکرد تحلیل توسعه‌ای چانگ استفاده گردید. کلیه تحلیل‌های کمی در محیط نرم‌افزار Excel با کدنویسی Visual Basic انجام شده است .

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۰۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۵، تاریخ اولین انتشار: ۱۴۰۵/۰۶/۳۰.

*کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

**دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

نویسنده مسئول : Rostami_m@shahroodut.ac.ir

چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۴۰۵، دوره ۱۶، شماره ۲، صص ۱۸۰ - ۲۰۴، doi: 10.48308/JIMP.16.2.180

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

Journal hompage: https://jimp.sbu.ac.ir/?lang=en

نوع مقاله: پژوهشی

یافته‌ها. نتایج مرحله دلفی فازی نشان داد که از میان ۳۳ چالش اولیه، ۱۸ چالش موفق به کسب حد نصاب لازم (میانگین فازی زدایی شده بالاتر از ۰/۷) شده و اختلاف نظر خبرگان در دو مرحله کمتر از ۰/۱ بوده است که حاکی از اجماع بالا در پانل خبرگان می‌باشد. در ادامه، نتایج اولویت‌بندی با روش FAHP نشان داد که در میان سه بعد اصلی پایداری، چالش‌های اقتصادی با وزن نرمال ۰/۵۶۲ در اولویت نخست قرار دارند. پس از آن، به ترتیب چالش‌های زیست‌محیطی با وزن ۰/۲۴۲ و چالش‌های اجتماعی با وزن ۰/۱۹۶ در رتبه‌های دوم و سوم جای می‌گیرند. در سطح زیرمعیارهای بعد اقتصادی، «چالش فناوری باتری خودروهای برقی» با وزن ۰/۷۱۳ بالاترین اولویت را کسب کرد و «قیمت محصول» با وزن ۰/۶۰۲ در رتبه دوم قرار گرفت. همچنین «چالش تأمین قطعات خودروهای برقی» (۰/۳۹۸)، «هزینه بالای زیرساخت» (۰/۳۷۵) و «چالش‌های تولید» (۰/۲۶۹) به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در بعد اجتماعی، «چالش پذیرش اجتماعی» با وزن ۰/۴۹۵ به عنوان مهم‌ترین چالش شناسایی شد و پس از آن «خدمات پس از فروش» (۰/۴۶۷) و «تصویر برند نامطلوب اجتماعی از خودروهای برقی» (۰/۳۲۰) در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. در بعد زیست‌محیطی نیز، «آلودگی محیط‌زیستی باتری» با وزن ۰/۵۲۵ بالاترین اولویت را دارا بود و «بازیافت باتری» (۰/۴۵۶) و «چالش زیست‌محیطی ساخت و تولید» (۰/۲۷۷) در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. نرخ ناسازگاری تمامی مقایسه‌های زوجی کمتر از ۰/۱ محاسبه شد که نشان‌دهنده قابلیت اطمینان نتایج است.

نتیجه‌گیری. این پژوهش یک چارچوب جامع و اولویت‌بندی‌شده از چالش‌های زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی در ایران ارائه می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که تمرکز بر توسعه فناوری باتری، کاهش قیمت تمام‌شده و مدیریت پذیرش اجتماعی، پیش‌نیازهای اساسی موفقیت در این حوزه هستند. پیشنهادهای کاربردی در سه سطح کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: پذیرش اجتماعی، تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، خودرو برقی، دلفی فازی، زنجیره تأمین پایدار، فناوری باتری، مدیریت زنجیره تأمین.

استناددهی: کردرستمی، حسام؛ رستمی، محمد (۱۴۰۵). شناسایی و اولویت بندی چالش های مدیریت زنجیره تامین پایدار خودروهای برقی در ایران. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۱۶(۲)، ۱۸۰-۲۰۴.

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

۱. مقدمه

در فضای رقابتی و پویای اقتصاد جهانی، مدیریت زنجیره تأمین پایدار در صنایع فناورانه، به‌ویژه صنعت خودروسازی، به عنوان یکی از عوامل راهبردی در ایجاد مزیت رقابتی و بهبود عملکرد سازمان‌ها شناخته می‌شود. در دهه‌های اخیر، افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی، محدودیت منابع طبیعی و فشارهای اجتماعی، مفهوم «پایداری» را به یکی از ارکان اساسی تصمیم‌گیری‌های مدیریتی تبدیل کرده است. در این چارچوب، زنجیره تأمین پایدار با تلفیق ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، تلاش می‌کند ضمن حفظ کارایی عملیاتی، اثرات منفی بر محیط زیست و جامعه را کاهش دهد [۱۳].

صنعت حمل‌ونقل به عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی و منابع فسیلی، سهم قابل توجهی در انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی دارد. رشد تولید و استفاده از خودروهای احتراق داخلی، علاوه بر افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، موجب تشدید آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای شده است. در این میان، خودروهای برقی به عنوان جایگزینی فناورانه، ساختار تصمیم‌گیری و مدیریت زنجیره تأمین خودروسازان را نیز دستخوش تغییر کرده‌اند. گسترش تولید این خودروها موجب شده است خودروسازان به عنوان بنگاه محوری زنجیره تأمین، با چالش‌های جدیدی در زمینه طراحی محصول، تأمین مواد اولیه راهبردی، توسعه فناوری باتری، انتخاب تأمین‌کنندگان و هماهنگی میان اعضای زنجیره مواجه شوند. گزارش گوئل[1] و همکاران (۲۰۲۱) نشان می‌دهد که توسعه این نوع خودروها می‌تواند نقش مؤثری در کاهش انتشار آلاینده‌ها ایفا کند [۱۲]. رشد جهانی بازار خودروهای برقی در سال‌های اخیر شتاب چشمگیری یافته است. بر اساس گزارش «چشم‌انداز جهانی خودروهای برقی ۲۰۲۵» منتشر شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی، فروش جهانی خودروهای برقی در سال ۲۰۲٤ از ۱۷ میلیون دستگاه فراتر رفته و بیش از ۲۰ درصد خودروهای جدید فروخته‌شده در جهان را به خود اختصاص داده است. همچنین تعداد خودروهای برقی موجود در ناوگان جهانی به حدود ۵۸ میلیون دستگاه رسیده است. این روند بیانگر حرکت گسترده صنعت خودرو به سمت فناوری‌های کم‌کربن و توسعه زنجیره‌های تأمین سازگار با اهداف پایداری است. با این حال، توسعه این صنعت مستلزم مدیریت هم‌زمان چالش‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در سطوح مختلف زنجیره تأمین می‌باشد [۱۵].

با این حال، توسعه خودروهای برقی صرفاً یک تحول فناورانه نیست، بلکه در سطح خودروساز مستلزم بازطراحی زنجیره تأمین، توسعه زیرساخت‌های جدید، مدیریت فناوری باتری و پذیرش اجتماعی است. به بیان دیگر، موفقیت این صنعت در گرو شکل‌گیری یک زنجیره تأمین پایدار و کارآمد می‌باشد. در ایران نیز، با وجود اقدامات اولیه برخی خودروسازان داخلی در حوزه تولید خودروهای برقی، شرکت‌های خودروساز با چالش‌های متعددی در زمینه تأمین قطعات، فناوری، سرمایه‌گذاری، زیرساخت و تجاری‌سازی مواجه هستند [۲۶].

از سوی دیگر، مدیریت زنجیره تأمین پایدار نیازمند همکاری و هماهنگی میان تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مشتریان است و جریان اطلاعات و اعتماد متقابل میان این بازیگران نقشی کلیدی ایفا می‌کند [۱۹]. اگرچه زنجیره تأمین خودروهای برقی از بازیگران متعددی شامل تأمین‌کنندگان، خودروسازان، شبکه توزیع، ارائه‌دهندگان زیرساخت شارژ و بازیافت‌کنندگان تشکیل شده است، اما سطح تمرکز پژوهش حاضر شرکت‌های خودروساز به عنوان بنگاه محوری زنجیره تأمین است. علت این انتخاب آن است که تصمیمات مرتبط با طراحی محصول، توسعه فناوری، مدیریت تأمین‌کنندگان، برنامه‌ریزی تولید و هماهنگی زنجیره عمدتاً در این سطح اتخاذ می‌شود. در چنین شرایطی، شناسایی نظام‌مند چالش‌های موجود و اولویت‌بندی آن‌ها می‌تواند به سیاست‌گذاران و مدیران صنعتی در تخصیص بهینه منابع کمک کند.

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از پژوهش‌های موجود بر یکی از ابعاد پایداری، نظیر مسائل فناورانه، اقتصادی یا زیست‌محیطی خودروهای برقی تمرکز داشته‌اند و کمتر مطالعه‌ای به ارزیابی هم‌زمان این ابعاد در بستر زنجیره تأمین صنعت خودروی ایران آن هم در سطح خودروسازان پرداخته است. همچنین در اغلب پژوهش‌ها، رویکردهای توصیفی یا مفهومی غالب بوده و اولویت‌بندی کمی چالش‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این رو، نیاز به پژوهشی که ضمن شناسایی جامع چالش‌های زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی، اهمیت نسبی آن‌ها را در شرایط صنعت خودروی ایران تعیین نماید، احساس می‌شود.

1. Goel

با توجه به مطالب فوق، هدف اصلی این پژوهش شناسایی و اولویت‌بندی چالش‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی در ایران از منظر شرکت های خودروساز است. نوآوری و سهم علمی پژوهش حاضر را می‌توان در سه محور تبیین کرد. نخست، از منظر نظری، پژوهش حاضر با تمرکز بر شرکت‌های خودروساز به‌عنوان بنگاه محوری زنجیره تأمین، چارچوبی یکپارچه برای تحلیل هم‌زمان چالش‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی ارائه می‌کند؛ در حالی که اغلب مطالعات پیشین هر یک از این ابعاد را به‌صورت مجزا یا در سطح کلان صنعت بررسی کرده‌اند. دوم، از منظر سطح تحلیل، پژوهش حاضر شکاف موجود در ادبیات را با تمرکز بر تصمیمات و چالش‌های شرکت‌های خودروساز در صنعت خودروی ایران پوشش می‌دهد و از این طریق، شناخت دقیق‌تری از اولویت‌های مدیریتی در این سطح فراهم می‌آورد. سوم، از منظر تجربی، پژوهش حاضر با شناسایی، غربالگری، اعتبارسنجی و اولویت‌بندی نظام‌مند چالش‌ها بر پایه قضاوت خبرگان، بستری برای حمایت از تصمیم‌گیری مدیران و سیاست‌گذاران در برنامه‌ریزی توسعه زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی فراهم می‌سازد. برای مدل‌سازی قضاوت‌های زبانی خبرگان و کاهش ابهام در فرآیند ارزیابی نیز از رویکرد فازی استفاده شده است؛ انتخاب این رویکرد مبتنی بر تناسب آن با ماهیت داده‌های پژوهش بوده و به‌عنوان نوآوری پژوهش مطرح نیست. بر این اساس، پژوهش حاضر در پی پاسخگویی به سؤال اصلی «مهم‌ترین چالش‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی در ایران کدام‌اند و از چه درجه اهمیتی برخوردارند؟» است.

همچنین، پژوهش حاضر به سؤالات فرعی زیر پاسخ می‌دهد:

- مهم‌ترین چالش‌های اقتصادی مدیریت زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی در ایران کدام‌اند؟
- مهم‌ترین چالش‌های اجتماعی مدیریت زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی در ایران کدام‌اند؟
- مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی مدیریت زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی در ایران کدام‌اند؟
- اولویت نسبی ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در مدیریت زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی چگونه است؟

مطالب ارائه شده در پژوهش حاضر بدین‌صورت سازماندهی می‌شود: در بخش دوم مختصری درمورد مفاهیم زنجیره تأمین پایدار و خودروهای برقی بیان شده است. بخش سوم به توضیح روش پژوهش پرداخته شده است. بخش چهارم شناسایی چالش های مدیریت زنجیره تامین پایدار خودروهای برقی در ایران برای رتبه‌بندی مولفه ها اختصاص یافته است. بخش پنجم به تشریح نتایج تکنیک های حل و تجزیه وتحلیل داده ها اقدام شده و بخش ششم نیز به نتیجه‌گیری و پیشنهادها اختصاص یافته است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۱.۲ .مدیریت زنجیره تأمین پایدار

مدیریت زنجیره تأمین پایدار به عنوان یکی از رویکردهای نوین مدیریت در قرن بیست و یکم مطرح شده و به عنوان راهبردی برای سازمان‌هایی که در پی رقابت‌پذیری بلندمدت در سطح ملی و بین‌المللی هستند، مورد توجه قرار گرفته است [۲۷]. این رویکرد بر ادغام هم‌زمان سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در تمامی فعالیت‌های زنجیره ارزش تأکید دارد [۳۰].

بر اساس تعاریف ارائه‌شده، مدیریت زنجیره تأمین پایدار مستلزم کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی و اجتماعی، توجه به کل چرخه عمر محصول و اتخاذ نگرشی میان‌رشته‌ای در تصمیم‌گیری‌ها است [۳۰]. تحقق این رویکرد بدون همکاری و هماهنگی میان اعضای زنجیره تأمین امکان‌پذیر نیست. جریان مؤثر اطلاعات، اعتماد متقابل و همسویی اهداف میان تأمین‌کنندگان و مشتریان از پیش‌نیازهای کلیدی مدیریت موفق زنجیره تأمین محسوب می‌شوند [۱۹].

۲.۲ . خودروهای برقی و ضرورت توسعه پایدار

صنعت خودرو یکی از بازیگران اصلی اقتصاد جهانی است و نقش تعیین‌کننده‌ای در رشد اقتصادی و اشتغال دارد. با این حال، سهم بالای بخش حمل‌ونقل در مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، ضرورت گذار به فناوری‌های پاک‌تر را برجسته ساخته است. برآوردها نشان می‌دهد که توسعه خودروهای برقی می‌تواند به کاهش چشمگیر انتشار آلاینده‌ها منجر شود [۱۴].

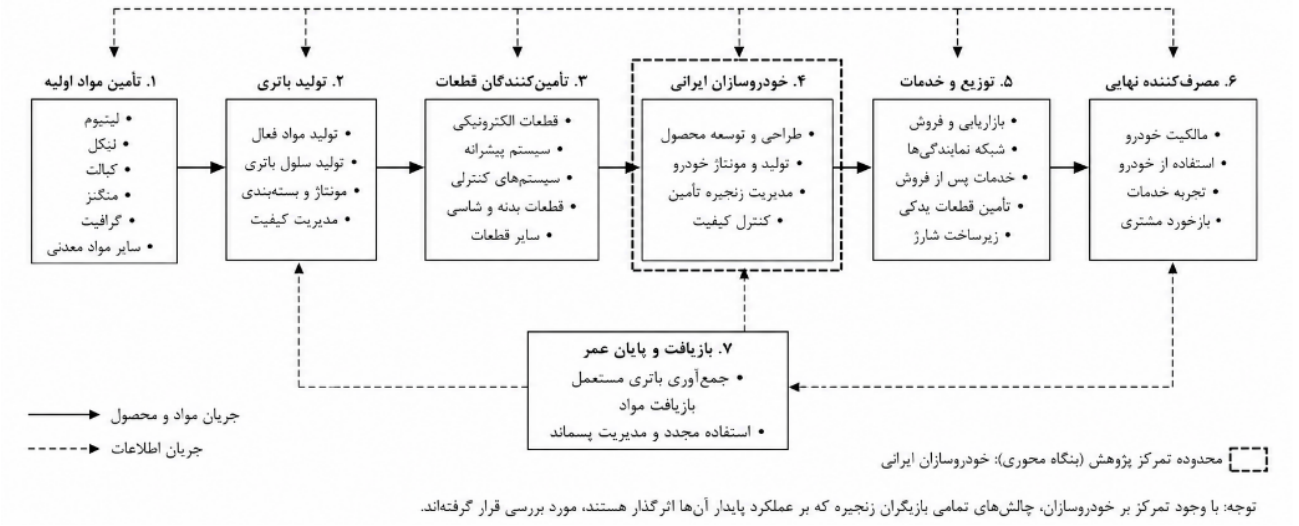
اگرچه خودروهای برقی سابقه‌ای طولانی دارند، اما پیشرفت فناوری باتری و افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی موجب شده است که در دهه‌های اخیر مجدداً مورد توجه قرار گیرند [۳]. با این حال، موانعی نظیر هزینه بالای خرید، محدودیت زیرساخت‌های شارژ و نگرانی‌های مرتبط با فناوری باتری، توسعه گسترده این خودروها را با چالش مواجه کرده است [۳۱]، [۱۷].

در ایران نیز تلاش‌هایی در زمینه تحقیق و توسعه خودروهای برقی انجام شده است، اما تاکنون به تولید انبوه و تجاری‌سازی گسترده منجر نشده است [۲۶]. چالش قیمت تمام‌شده، نبود زیرساخت‌های مناسب و عدم اطمینان نسبت به تقاضای بازار از جمله مسائل مطرح در این حوزه است.

۳.۲. ساختار زنجیره تأمین خودروهای برقی و دامنه پژوهش

زنجیره تأمین خودروهای برقی از مجموعه‌ای از بازیگران به‌هم‌پیوسته شامل تأمین‌کنندگان مواد اولیه راهبردی نظیر لیتیوم، کبالت و نیکل، تولیدکنندگان سلول و بسته‌های باتری، تأمین‌کنندگان قطعات و زیرسیستم‌های خودرو، خودروسازان، شبکه‌های توزیع و خدمات پس از فروش، مصرف‌کنندگان نهایی و در نهایت بازیگران حوزه بازیافت و بازیابی باتری تشکیل شده است. برخلاف خودروهای متعارف، در خودروهای برقی نقش باتری، زیرساخت شارژ و مدیریت پایان عمر محصول اهمیت بسیار بیشتری دارد و همین موضوع موجب پیچیده‌تر شدن ساختار زنجیره تأمین می‌شود.

با وجود تعدد بازیگران، در پژوهش حاضر خودروسازان ایرانی به عنوان بنگاه محوری زنجیره در نظر گرفته شده‌اند؛ زیرا تصمیمات مرتبط با طراحی محصول، انتخاب فناوری، توسعه شبکه تأمین، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و مدیریت ارتباط با مشتریان عمدتاً در این سطح اتخاذ می‌شود. با این حال، با توجه به ماهیت بین‌سازمانی زنجیره تأمین خودروهای برقی، برخی از چالش‌های شناسایی‌شده نظیر زیرساخت شارژ، تأمین انرژی برق، سیاست‌های تشویقی دولت و بازیافت باتری در سطوح فراتر از مرزهای سازمانی خودروساز قرار دارند، اما به دلیل تأثیر مستقیم بر عملکرد و توسعه پایدار صنعت خودروهای برقی در تحلیل پژوهش لحاظ شده‌اند (شکل ۱).



شکل ۱. ساختار زنجیره تأمین خودروهای برقی و محدوده تمرکز پژوهش

٤.٢. پژوهش‌های پیشین

مطالعات پیشین مرتبط با چالش‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی از منظر شرکت‌های خودروساز را می‌توان در سه محور اصلی طبقه‌بندی کرد: پژوهش‌های مرتبط با ابعاد پایداری در تصمیم‌گیری‌های خودروسازان، مطالعات متمرکز بر چالش‌های ساختاری و عملیاتی شرکت‌های خودروساز، و تحقیقات مرتبط با فناوری، توسعه محصول و پذیرش خودروهای برقی که بر تصمیمات راهبردی خودروسازان اثرگذار هستند.

در حوزه مدیریت زنجیره تأمین پایدار، پژوهشگران بر ادغام هم‌زمان ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در تصمیمات راهبردی شرکت‌های خودروساز و سایر بازیگران زنجیره تأمین تأکید کرده‌اند [۲۷]، [۳۰] و [۲۹]. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که شرکت‌های خودروساز در تصمیمات راهبردی خود ناگزیر از ایجاد توازن میان اهداف اقتصادی، الزامات اجتماعی و ملاحظات زیست‌محیطی هستند؛ هرچند وزن هر یک از این ابعاد در مطالعات مختلف متفاوت گزارش شده است. برخی مطالعات، بعد اقتصادی را مهم‌ترین عامل در پیاده‌سازی پایداری معرفی کرده‌اند [۶]، در حالی که در پژوهش خوشنودی (۱۳۹۷)، بعد زیست‌محیطی دارای اولویت بالاتری گزارش شده است [۱۶]. افزون بر این، نقش مدیریت ریسک، تاب‌آوری و هماهنگی میان اعضای زنجیره تأمین در تحقق پایداری مورد توجه قرار گرفته است [۹]، [۷]. بنابراین، تحقق زنجیره تأمین پایدار در صنعت خودروهای برقی مستلزم آن است که خودروساز، به عنوان بنگاه محوری زنجیره، بتواند میان اهداف اقتصادی، مسئولیت‌های اجتماعی و الزامات زیست‌محیطی تعادل برقرار کند.

در زمینه صنعت خودرو، معادی رودسری و همکاران (۱۴۰۲) به آسیب‌شناسی ساختار این صنعت و چالش‌های رقابت‌پذیری پرداخته‌اند [۲۰]. نتایج این پژوهش‌ها بیانگر آن است که محدودیت‌های فناورانه، وابستگی به واردات و ضعف زیرساخت‌های حمایتی، از موانع اساسی توسعه پایدار در این بخش محسوب می‌شوند.

در حوزه خودروهای برقی نیز پژوهش‌های متعددی، چالش‌های پیش روی شرکت‌های خودروساز در توسعه زنجیره تأمین این محصولات را بررسی کرده‌اند. نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که هزینه بالای تولید، فناوری باتری و محدودیت زیرساخت‌های شارژ از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی خودروسازان در توسعه این خودروها هستند [۳۱]، [۱۷]. همچنین نقش نگرش مصرف‌کنندگان، اعتماد به فناوری و پذیرش اجتماعی در موفقیت تجاری این محصولات برجسته شده است [۲۵، ۲].

در سال‌های اخیر، مطالعات بین‌المللی جدیدی به تحول ساختاری در اکوسیستم زنجیره تأمین خودروهای برقی پرداخته‌اند و نشان داده‌اند که گذار به این فناوری نقش شرکت‌های خودروساز را به عنوان بنگاه محوری زنجیره تأمین پررنگ‌تر کرده است. این تحول موجب افزایش پیچیدگی در مدیریت شبکه تأمین، وابستگی بیشتر به مواد اولیه راهبردی و ضرورت هماهنگی مؤثر میان تأمین‌کنندگان و سایر بازیگران زنجیره شده است [۲۳]. علاوه بر این، پژوهش‌های جدید از جمله تحقیق ژانگ[1] و همکاران (۲۰۲۵) درباره چرخه عمر باتری و طراحی زنجیره تأمین چرخشی تأکید می‌کنند که بدون مدیریت پایدار استخراج مواد اولیه، تولید و بازیافت باتری، مزایای زیست‌محیطی خودروهای برقی به طور کامل محقق نخواهد شد [۳۵].

از سوی دیگر، مطالعات منتشرشده در ادبیات داخلی نیز به کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و رویکردهای فازی در تحلیل مسائل زنجیره تأمین پرداخته‌اند [۲۱، ۲۸] که از نظر روش‌شناسی با پژوهش حاضر هم‌راستا هستند. این مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از رویکردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند به مدیران شرکت‌های خودروساز در تحلیل ساختاری، ارزیابی و اولویت‌بندی نظام‌مند چالش‌های زنجیره تأمین در محیط‌های صنعتی پیچیده کمک کند. جدول ۱ خلاصه‌ای از ادبیات موضوع بصورت منتخب را نشان می‌دهد.

1. Zhang

جدول ۱. مقایسه پژوهش حاضر با مطالعات منتخب پیشین

مهم‌ترین یافته	روش	ابعاد پایداری	سطح تحلیل زنجیره	حوزه تمرکز	پژوهش
اهمیت هماهنگی و تاب‌آوری زنجیره	تحلیلی	اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی	کل زنجیره	مدیریت زنجیره تأمین پایدار	[۹]
نقش مدیریت ریسک در پایداری	تحلیلی	اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی	کل زنجیره	پایداری زنجیره تأمین	[۷]
وابستگی فناورانه و ضعف زیرساخت	توصیفی	عمدتاً اقتصادی	خودروساز	صنعت خودروی ایران	[۲۰]
اهمیت هزینه تولید و فناوری باتری	تحلیلی	اقتصادی و فناورانه	خودروساز و بازار	خودروهای برقی	[۳۱]، [۱۷]
نقش نگرش و اعتماد به فناوری	پیمایشی	اجتماعی	مصرف‌کننده	پذیرش خودروهای برقی	[۲۵] ، [۲]
افزایش پیچیدگی شبکه تأمین	مرور ادبیات	ساختاری	کل زنجیره	زنجیره تأمین خودروهای برقی	[۲۳]
اهمیت بازیافت و چرخه عمر باتری	مرور نظام‌مند	زیست‌محیطی	باتری و بازیافت	زنجیره تأمین چرخشی باتری	[۳۵]
شناسایی و اولویت‌بندی یکپارچه چالش‌ها	دلفی فازی + FAHP	اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی	سطح خودروساز	زنجیره تأمین خودروهای برقی در ایران	پژوهش حاضر

بررسی جدول ۱ نشان می‌دهد که مطالعات پیشین عمدتاً بر یکی از ابعاد پایداری، یک بخش خاص از زنجیره تأمین یا یک گروه ذی‌نفع متمرکز بوده‌اند. همچنین بخش قابل توجهی از پژوهش‌های موجود دارای ماهیت مفهومی، توصیفی یا مروری بوده و کمتر به اولویت‌بندی کمی چالش‌ها پرداخته‌اند. علاوه بر این، تمرکز ویژه بر صنعت خودروی ایران و ارزیابی هم‌زمان چالش‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در سطح خودروسازان در ادبیات موجود محدود است. از این رو، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از رویکرد ترکیبی دلفی فازی و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، تلاش می‌کند این خلأ را پوشش داده و تصویری اولویت‌بندی‌شده از چالش‌های زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی در ایران ارائه نماید.

۳. روش‌شناسی پژوهش

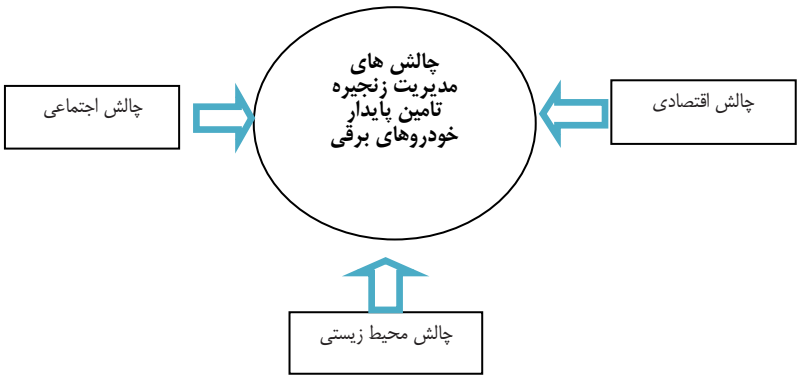
این پژوهش از نظر هدف کاربردی است. از نظر روش و نوع داده، کیفی - کمی (ترکیبی) و به لحاظ نوع تحقیق، توصیفی - تحلیلی و از انواع پیمایشی می‌باشد، زیرا از ابزار پرسشنامه مقایسه زوجی و مصاحبه نیمه ساختاریافته برای گردآوری داده‌ها استفاده می‌کند، بدین صورت که عوامل و مولفه‌های اولیه چالش‌های مدیریت زنجیره تامین پایدار خودروهای برقی نخست از طریق مطالعه و بررسی مقاله‌ها و منابع معتبر علمی و پژوهشی و بررسی پیشینه تحقیق، کتب مرتبط و مصاحبه با اعضای پانل خبرگان شناسائی و تعیین شده و پس از آن برای نهائی کردن شاخص‌ها و مولفه‌ها از نظرات گروه از خبرگان استفاده شده است. برای ساخت مدل مفهومی پژوهش و انجام مقایسه زوجی از نظر دو گروه از خبرگان مرتبط با موضوع جمعاً به تعداد ۱۷ نفر استفاده شد. نمونه‌گیری خبرگان به روش هدفمند انجام شد. معیار انتخاب افراد شامل برخورداری سابقه تخصصی در حوزه‌های مرتبط با تولید، زنجیره تأمین، لجستیک، برنامه‌ریزی تولید، مدیریت صنعتی و مهندسی صنایع بود. گروه اول متخصصان دانشگاهی در حوزه مدیریت صنعتی و صنایع، که این گروه از متخصصان از اساتید مدعو در مرکز تحقیق و توسعه گروه خودروسازی سایپا و ایران خودرو انتخاب، و گروه دوم شامل مدیران و کارشناسان معاونت های تولید و لجستیک دو شرکت خودروسازی سایپا و ایران خودرو می باشد. جدول ۲ خلاصه اطلاعات مربوط به گروه خبرگان را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مشخصات خبرگان مشارکت‌کننده در پژوهش

حداقل سابقه تخصصی	حوزه تخصصی	تعداد	گروه خبرگان
۵ سال	مهندسی صنایع، مدیریت صنعتی	۴ نفر	اعضای هیئت علمی و مدرسان دانشگاه
۱۰ سال	مدیریت تولید، زنجیره تأمین، لجستیک، برنامه‌ریزی تولید	۶ نفر	مدیران و مشاوران حوزه تولید و لجستیک
۵ سال	برنامه‌ریزی تولید، لجستیک، مهندسی صنایع، مهندسی تولید	۷ نفر	کارشناسان ارشد حوزه تولید، لجستیک و مهندسی
—	—	۱۷ نفر	جمع کل

با توجه به اینکه واحد تحلیل پژوهش، چالش‌های زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی از منظر خودروسازان به عنوان بنگاه محوری زنجیره است، خبرگان انتخاب‌شده شامل متخصصان دانشگاهی حوزه مدیریت زنجیره تأمین و همچنین مدیران و کارشناسان ارشد حوزه تولید، لجستیک، برنامه‌ریزی و توسعه محصول در شرکت‌های خودروسازی ایران‌خودرو و سایپا بودند. این ترکیب امکان ارزیابی همزمان چالش‌های درون‌سازمانی و برون‌سازمانی مؤثر بر توسعه خودروهای برقی را فراهم نموده است.

ارائه چارچوب مفهومی به درک موضوع و یا مفهوم مورد بحث کمک کرده و با ارائه ساختاری مشخص، تصمیم گیری و اقدام را پشتیبانی می کند. به منظور شناسایی چالش‌های زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی، ابتدا مرور هدفمند ادبیات انجام شد. در این مرحله، مطالعات بین‌المللی از پایگاه Scopus و مطالعات فارسی از پایگاه نور استخراج گردیدند. جستجو با استفاده از کلیدواژه‌هایی نظیر «زنجیره تأمین»، «مدیریت زنجیره تأمین پایدار»، «چالش‌های اقتصادی»، «چالش‌های اجتماعی»، «چالش‌های محیط زیستی»، «خودرو برقی» و «خودرو الکتریکی» و معادل‌های انگلیسی آن‌ها انجام شد. پس از بررسی و تجمیع مطالعات مرتبط، ۲۱ منبع علمی به طور مستقیم در استخراج چالش‌های اولیه مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین برخی چالش‌ها بر اساس پیشنهادهای پنل خبرگان به فهرست اولیه افزوده شدند. در نتیجه، مجموعه‌ای شامل ۳۳ چالش اولیه در سه بعد اقتصادی، اجتماعی و محیطزیستی تدوین شد که مبنای اجرای فرایند دلفی فازی قرار گرفت. سه معیار کلی و زیرمعیارهای مرتبط با آن به همراه توضیحات لازم و ادبیات مربوط در شکل ۲ منعکس گردید.



شکل ۲.چارچوب مفهومی چالش‌های مدیریت زنجیره تامین پایدار خودروهای برقی

در جدول ۳ معیارها و زیرمعیارهای مرتبط با چالش‌های مدیریت زنجیره تامین پایدار خودرو های برقی به همراه مفاهیم و ادبیات مربوط و توضیحات لازم ارائه شده است.

جدول ۳. چالش‌های مدیریت زنجیره تامین پایدار خودروهای برقی در ایران

معیار	زیرمعیار	توضیحات	ادبیات مربوط
اقتصادی	قیمت محصول	قیمت خرید بالا برای مشتری	[۱۴]، [۳۴]، [۲۴]، [۴]، [۳۳]، [۲] [۱۹]، [۷]، [۱۰].
اقتصادی	چالش های تولید	هزینه بالای مواد مورد استفاده در وسایل نقلیه الکتریکی. مانند مس، آهنربا، لیتیوم و بسیاری دیگر برای واردات مواد از خارج از کشور نیاز است	[۲۶]، [۳۳]، [۱۸].
اقتصادی	چالش فناوری باتری خودروهای برقی	محدودیت‌های فنی مرتبط با عملکرد باتری شامل زمان طولانی شارژ، ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی، عمر مفید باتری و محدودیت مسافت قابل پیمایش با هر بار شارژ.	[۱۴]، [۳]، [۳۳]
اقتصادی	هزینه های بالای قطعات و نگهداری خودرو	هزینه بالای نگهداری و قطعات خودرو مانند باتری در مقایسه با خودروهای غیر الکتریکی	[۱۶]، [۳۱] ،[۱۴]
اقتصادی	چالش طراحی سازه و بدنه خودرو	لزوم طراحی سازه‌های سبک‌وزن و مقاوم به منظور جبران وزن بالای باتری‌ها و حفظ عملکرد، ایمنی و بهره‌وری انرژی خودرو.	[۱]، [۳]، [۶]
اقتصادی	هزینه بالای زیرساخت	هزینه راه اندازی و پشتیبانی خط تولید، شارژ باتری و..	[۱۴]،[۳۴].
اقتصادی	سهم بازار	سهم بازار خودروهای برقی از نظر فروش کلی هنوز ناچیز است و تنها ۱۴ درصد از آن را تشکیل می‌دهند	[۱]، [۲۴].
اقتصادی	چالش تامین قطعات خودروهای برقی	تولید قطعات خودروهای برقی در ایران هنوز به صورت انبوه نیست و این صنعت در مرحله شکل گیری می باشد	[۱۸]،[۳۴].
اقتصادی	چالش توسعه محصول	پیچیدگی طراحی، توسعه و تجاری‌سازی خودروهای برقی و ضرورت مدیریت ریسک‌های فنی، مالی و بازار در طول چرخه توسعه محصول.	[۱۰]، [۲۲]، ،[۷].
اقتصادی	هزینه تحقیق و توسعه شرکت های خودرو ساز	هزینه تحقیق و توسعه شرکت‌های خودروساز	[۴] [۲۴]، [۱۴]، [۶]
اقتصادی	تسهیل فرایند جذب وسرمایه گذاری خارجی	تسهیل فرایند جذب وسرمایه گذاری خارجی در تولید خودروهای برقی	[۲۰]، [۶]
اجتماعی	چالش پذیرش اجتماعی	میزان تمایل و آمادگی مصرف‌کنندگان برای خرید و استفاده از خودروهای برقی و پذیرش این فناوری به عنوان جایگزین خودروهای متعارف.	[۶]، [۱۹]، [۲۴]، [۱۴]، [۴]، [۳۱]، [۹]
اجتماعی	فرهنگ جامعه	سطح آگاهی، ارزش‌ها و الگوهای رفتاری جامعه در ارتباط با استفاده از خودروهای برقی و توجه به پیامدهای زیست‌محیطی آن.	[۱۴]، [۶]، [۲۴]
اجتماعی	چالش اضطراب مسافت (برد)	اضطراب محدوده چیزی است که راننده خودروهای برقی در هنگام اتمام شارژ باتری احساس می‌کند و منابع الکتریسیته (ایستگاه های شارژ) در دسترس نیستند	[۴]، [۲۴].
اجتماعی	وجود خلاء تحقیقاتی	توسعه پشتوانه نظري و شناخت دقیق چالش ها و فرصت های این نوع از خود روهای الکتریکی	[۲۷]، [۹]، [۱۰]، [۲۲].
اجتماعی	محدودیت حمل مسافر و بار	ظرفیت حمل بار و مسافر کم جهت مصارف شهری و برون شهری در مقایسه با هزینه	[۲۷]، [۷]، [۲]، [۳۲].
اجتماعی	سیاست گذاری در صنعت خودر	مقررات، قوانین و مداخلات دولتی که می‌توانند توسعه، تولید و عرضه خودروهای برقی را تسهیل یا محدود کنند.	پیشنهاد اعضای پانل
اجتماعی	توجه به سیاست‌هاي اجتماعی	میزان پیروی تولید کننده از سیاست‌ها و قوانین مربوط به آن منطقه (تعداد تقدیرنامه از سازمان‌ها و نهادهاي اجتماعی یا کاهش شکایات اجتماعی)	پیشنهاد اعضای پانل

معیار	زیرمعیار	توضیحات	ادبیات مربوط
اجتماعی	خدمات پس از فروش	تعداد کم خودروهای برقی موجب پشتیبانی ضعیف در سطح جاده ها برای این نوع از خود روها می‌شود	پیشنهاد اعضای پانل
اجتماعی	تصویر برند نامطلوب اجتماعی از خودرو برقی	برداشت منفی مصرف‌کنندگان از کیفیت، قابلیت اطمینان، ایمنی یا ارزش اقتصادی خودروهای برقی و تولیدکنندگان آن‌ها.	[۱۸]،[۳۴].
اجتماعی	عدم بلوغ تکنولوژی خودروهای برقی	وجود محدودیت‌های فناورانه در سامانه‌های خودروهای برقی که می‌تواند بر عملکرد، قابلیت اطمینان و اعتماد بازار به این فناوری تأثیر بگذارد.	[۲۷]، [۳۴]، [۹]، [۴]، [۱۰]، [۳۳]، [۱۹]، [۳۲].
اجتماعی	سیاست‌های تشویقی دولت	مشوق‌های مالی، اعتباری، مالیاتی و حمایتی دولت با هدف افزایش تولید، سرمایه‌گذاری و تقاضا برای خودروهای برقی.	[۲]،[۳۲].
اجتماعی	نگرش اجتماعی	نگرش در مورد خودروهای الکتریکی و هنجارهای ذهنی	پیشنهاد اعضای پانل
محیط زیستی	زیرساخت‌های جاده‌ای	توسعه شبکه‌های زیرساختی برای شارژ/تعویض باتری، از جمله تعداد، مکان، نوع و ظرفیت ایستگاه‌های مرتبط.	[۳]، [۷]، [۲۴]، [۴]، [۱۰]، [۳۲]
محیط زیستی	مسئله گرمایش	افزایش دمای باتری و سایر اجزای حیاتی خودرو در زمان شارژ یا بهره‌برداری که می‌تواند ایمنی و کارایی سیستم را کاهش دهد.	[۱۴]، [۷]، [۳۴]، [۳۲].
محیط زیستی	آلودگی محیط زیستی باتری	پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از استخراج مواد اولیه، تولید، استفاده و دفع باتری‌های مورد استفاده در خودروهای برقی.	[۲۶]، [۷]، [۲] [۱۲]، [۱۰]، [۳۲]
محیط زیستی	محدودیت استفاده در روزهای گرم	کاهش عملکرد خودروهای برقی در شرایط دمایی بالا و آب‌وهوای گرم که می‌تواند بر برد حرکتی و کارایی باتری اثر منفی بگذارد.	[۷]، [۱۹]، [۱۴]، [۴]، [۱۰]،
محیط زیستی	تامین انرژی برق	یک شبکه برق برای تامین انرژی ایستگاه های شارژ مورد نیاز است	[۲] [۹]، .
محیط زیستی	طراحی منطبق با محیط زیست	محصولات طراحی شده بر مبناي حفظ محیط‌زیست که منجر به کاهش مصرف منابع و تولید آلودگی یا بازیابی مواد وکاهش استفاده از مواد خطرناک شود	[۲۷]، [۳۳]، [۲۴]، [۷]، [۱۹]، [۲]،
محیط زیستی	فناوری (سطح دانش و تکنولوژی)	هزینه توسعه قابلیت های فناوری تأمین کننده	[۲۷]، [۹].
محیط زیستی	چالش زیست محیطی ساخت و تولید	مصرف انرژی، انتشار آلاینده‌ها و آثار زیست‌محیطی ناشی از فرایند تولید خودروهای برقی و اجزای اصلی آن.	[۲۷]، [۷]، [۲]، [۳۲].
محیط زیستی	بازیافت باتری	چالش‌های مرتبط با جمع‌آوری، بازیافت و مدیریت پسماند باتری‌های فرسوده به منظور کاهش آثار زیست‌محیطی و بازیابی مواد ارزشمند.	[۱۲]، [۷]، [۲۴]، [۳۳]، [۱۹]، [۱]
محیط زیستی	استفاده از منابع تجدید پذیر در فرایند ساخت و تولید	درصد استفاده تأمین کننده از ماشین هایی که از انرژي تجدید پذیر استفاده میکنند	[۲۷]، [۷]، [۲۴]، [۴]، [۱۰]، [۳۲]

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

اجرای تکنیک دلفی فازی

تکنیک دلفی برای اولین بار توسط دالکی و هولمر[1] در شرکت راند ارائه گردید. تکنیک دلفی فازی یک روش پیمایشی مبتنی بر نظر متخصصان یا خبرگان است و دارای سه خصیصه ی پاسخهای بی نام، تکرارو بازخورد کنترل شده و پاسخی گروهی آماری می‌باشد. این تکنیک روشی نظام مند به منظور گردآوری و هماهنگی قضاوت های آگاهانه گروهی از متخصصان در خصوص سوال یا موضوع خاصی است [۱۱]. گام‌های این روش به شرح زیر می‌باشد:

1. Dalkey and Helmer

گام اول: پرسشنامه‌ای بدون نام و نشان برای خبرگان ارسال شد و از آن ها خواسته شد به منظور تعیین مرتبط بودن عوامل اولیه شناسایی شده با موضوع اصلی پژوهش و غربال‌گری آن ها، میزان اهمیت هر عامل را با استفاده از متغیرهای زبانی منعکس شده در جدول ۴ را نشان دهند.

جدول٤. عبارت زبانی به کار رفته در روش دلفی فازی و طیف اهمیت آنها

عبارت کلامی	امتیاز طیف اهمیت
خیلی زیاد	۵
زیاد	۴
متوسط	۳
کم	۲
خیلی کم	۱

گام دوم: تبدیل متغیرهای کلامی به اعداد فازی مثلثی: در این مرحله متغیرهای کلامی با توجه به جدول۴ به صورت اعداد فازی مثلثی تعریف شدند به منظور تبدیل عبارت‌های زبانی به اعداد فازی از جدول ۵ استفاده گردید [۸]:

جدول۵. عبارت زبانی به کار رفته در روش دلفی فازی و طیف اهمیت آنها

عبارت کلامی	امتیاز طیف اهمیت (l,m ,u)
خیلی زیاد	(۰/۷۵ ،۱ ،۱)
زیاد	(۰/۵ ، ۰/۷۵ ،۱)
متوسط	(۰/۲۵ ،۰/۵ ،۰/۷۵)
کم	(۰ ،۰/۲۵ ،۰/۵)
خیلی کم	(۰ ،۰ ،۰/۲۵)

عدد فازی مثلثی با سه عدد حقیقی به صورت(M= (l,m,u نمایش داده می شود. کران بالا u بیشینه مقادیر عدد فازی M ، کران پایین l کمینه عدد فازی M و m محتمل ترین مقدار یک عدد فازی است. تابع عضویت یک عدد فازی مثلثی به صورت زیر است:

رابطه (۱)

$$Um(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l} & l \le x \le \\ \frac{u-x}{u-m} & m \le x \le u \\ otherwise \end{cases}$$

رابطه (۱)

در ادامه، اعداد فازی مثلثی به نظر هریک از خبرگان داده شد و مجموعه اعداد فازی مثلثی برای هر خبره با استفاده از رابطه ۲ به دست آمد:

$$\widetilde{A(i)} = (a_1^{(i)}\ a_2^{(i)}\ a_3^{(i)}) \quad \text{i=1,2,3,....n}$$

رابطه (۲)

گام سوم: در این مرحله میانگین مجموعه ها $\tilde{A}$(i) در رابطه ۲ از طریق رابطه ۳ محاسبه می شود:

$$\widetilde{Am} = (am1\ am2\ am3\ \dots) = (\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} ai1\ \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} ai2)$$

رابطه (۳)

سپس برای هر خبره مقدار اختلاف از میانگین با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد:

رابطه(۴)

$$\widetilde{Am} = (\alpha m1 - a_1^{(i)}\ \alpha m2 - a_2^{(i)} - a_1^{(i)}\ \alpha m3 - a_3^{(i)}) = (\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_1^{(i)} - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_2^{(i)} - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_3^{(i)})$$

گام چهارم: بعد از اینکه بازخورد اولیه به خبرگان داده شد و مرحله دوم دلفی انجام گرفت نظرات اصلاح شده خبرگان در قالب اعداد فازی مثلثی به صورت رابطه ۵ محاسبه می‌گردد:

$$\tilde{B}(i) = (b_1^{(i)}\ b_2^{(i)}\ b_3^{(i)}) \quad i = 1,2,3,\ldots n$$ رابطه (۵)

در این مرحله نیز همانند گام دوم میانگین نظرات اصلاح شده خبرگان($mB^{(i)}$) در مرحله دوم دلفی از رابطه ٦ محاسبه می‌شود:

رابطه(۶)

$$\tilde{B}m = (b_{m1}, b_{m2}\ b_{m3}) = (\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} b_1^{(i)} - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} b_2^{(i)} - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} b_3^{(i)})$$

گام پنجم: فازی زادیی کردن؛ روش های مختلفی برای فازی زدایی مقادیر نهایی هر یک از شاخص‌ها وجود دارد. در این مطالعه از روش ساده مرکز ثقل (بر اساس رابطه ۵) برای فازی زدایی مقادیر هر یک از مراحل دلفی استفاده می‌شود:

$$Sj = \frac{Uj+mj+Lj}{3}$$ رابطه(۷)

گام ششم: محاسبه میزان اختلاف نظر خبرگان در دو مرحله؛ میزان اختلاف نظر خبرگان در دو مرحله دلفی از طریق (رابطه ۱) محاسبه شد. تکرار مراحل دلفی تا آنجا پیش رفت که اختلاف نظر (خبرگان بین دو مرحله نظر سنجی به کمتر از حد آستانه خیلی کم ۰/۱) برسد و در این صورت فرایند نظرسنجی متوقف می‌شود.

رابطه(۸)

$$S(\tilde{B}_m\ \tilde{A}_m) = \frac{1}{3}(|\ b_{m1} - a_{m1}\ | + |\ b_{m2} - a_{m2}\ | + |\ b_{m3} - a_{m3}\ |)$$

برای بدست آوردن میانگین فازی از روابط ۲ ، ۳ و ۴ و همچنین فازی زدائی از رابطه ۷ استفاده شده است که میانگین فازی و فازی زدایی معیارها در جدول ۶ نمایش داده شده است.

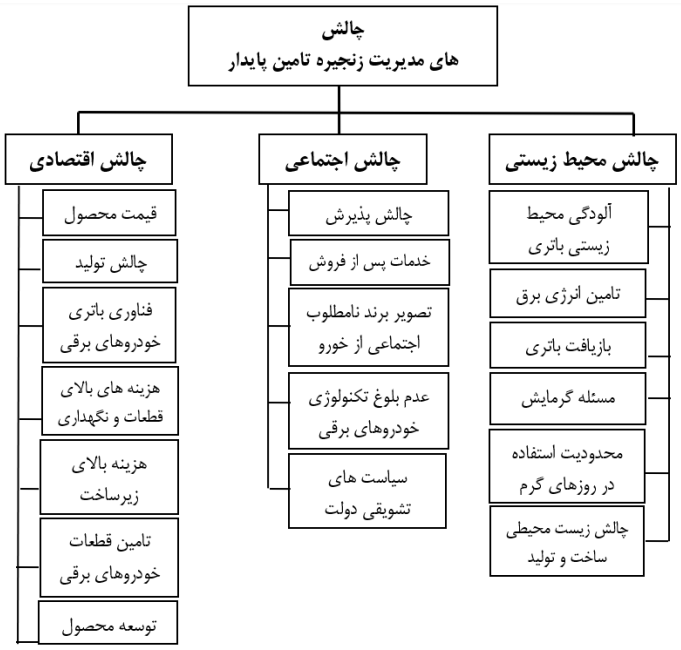
میزان اختلاف نظر خبرگان در مراحل اول و دوم:

جدول ٦. اختلاف نظر خبرگان در مراحل اول و دوم

ردیف	معیار	زیرمعیار	مرحله اول	مرحله دوم	اختلاف مرحله اول و دوم
۱	اقتصادی	قیمت محصول	۰/۸۱۱	۰/۷۲۵	۰/۰ ۸۶
۲		چالش های تولید	۰/۸۳۳	۰/۷۶۵	۰/۰ ۶۸
۳		چالش فناوری باتری خودروهای برقی	۰/۸۶۱	۰/۷۸۸	۰/۰ ۷۳
۴		هزینه های بالای قطعات خودرو	۰/۷۷۸	۰/۷۵۵	۰/۰ ۲۳
۵		هزینه بالای زیرساخت	۰/۷۶۷	۰/۷۳۸	۰/۰ ۲۹
۶		چالش تامین قطعات خودروهای برقی	۰/۷۳۳	۰/۷۲۲	۰/۰۱۱
۷		چالش توسعه محصول	۰/۷۱۱	۰/۷۰	۰/۰۱۱

ردیف	معیار	زیرمعیار	مرحله اول	مرحله دوم	اختلاف مرحله اول و دوم
۸	اجتماعی	چالش پذیرش اجتماعی	۰/۷۰۵	۰/۷۰۰	۰/۰۰۵
۹		خدمات پس از فروش	۰/۸۳۹	۰/۸۱۱	۰/۰ ۲۸
۱۰		تصویر برند نامطلوب اجتماعی از خوروهای برقی	۰/۸۷۲	۰/۸۳۸	۰/۰ ۳۴
۱۱		عدم بلوغ تکنولوژی خودروهای برقی	۰/۷۲۸	۰/۷۰۴	۰/۰۲۴
۱۲		سیاست های تشویقی دولت	۰/۷۰۵	۰/۷۰۵	۰
۱۳	محیط زیستی	مسئله گرمایش	۰/۷۳۵	۰/۷۱۳	۰/۰۲۲
۱۴		آلودگی محیط زیستی باتری	۰/۷۵۸	۰/۷۴۸	۰/۰ ۱
۱۵		محدودیت استفاده در روزهای گرم	۰/۸۱۷	۰/۸۰۰	۰/۰ ۱۷
۱۶		تامین انرژی برق	۰/۷۸۸	۰/۷۷۲	۰/۰ ۱۶
۱۷		چالش زیست محیطی ساخت و تولید	۰/۷۰۰	۰/۷۰۰	۰
۱۸		بازیافت باتری	۰/۸۰۶	۰/۸۰۳	۰/۰ ۳

جدول ۶ میزان اختلاف نظر خبرگان در مراحل اول و دوم را نشان می دهد. از ۳۰ مولفه باقی مانده در مرحله دوم دلفی ۱۲ مولفه به دلیل کسب میانگن کمتر از ۰/۷ مورد پذیرش قرار نگرفت و در نهایت ۱۸ مولفه باقی مانده است، همان طور که جدول ۶ نشان می دهد میزان اختلاف نظر خبرگان در مراحل اول و دوم برای مولفه های باقی مانده کمتر از حد آستانه خیلی کم (۰/۱) است و لذا نظرسنجی در این مرحله متوقف می شود. در واقع میتوان گفت در این اجماع خوبی بین خبرگان پدید آمده است و این مولفه ها دارای میانگین بالایی از نظر اهمیت هستند و مورد تایید نهایی قرار گرفتند.بنابراین، با استفاده از تکنیک دلفی فازی در نهایت ۱۸ عامل تأثیرگذار به عنوان شاخص چالش های مدیریت زنجیره تامین پایدار خودروهای برقی در ایران شناسائی شدند که الگوی آن در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۳. اولویت‌بندی چالش‌های مدیریت زنجیره تامین پایدار خودروهای برقی در ایران

به منظور اولویت‌بندی چالش‌های نهایی شناسایی‌شده، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) استفاده شد. انتخاب این روش با توجه به ماهیت مسئله پژوهش و اتکای آن به قضاوت‌های خبرگان در شرایط عدم قطعیت صورت گرفت. روش FAHP یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در حوزه مدیریت، پایداری و زنجیره تأمین بوده و امکان مدل‌سازی ابهام موجود در قضاوت‌های انسانی را فراهم می‌کند. در این پژوهش، نسخه تحلیل توسعه‌ای چانگ برای محاسبه اوزان معیارها به کار گرفته شد. اگرچه در سال‌های اخیر نسخه‌های توسعه‌یافته دیگری نیز برای تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و همچنین روش‌های نوینی نظیر BWM ارائه شده‌اند، اما به دلیل کاربرد گسترده روش چانگ در مطالعات مشابه، سادگی محاسبات و تناسب آن با ساختار داده‌های پژوهش، این رویکرد برای تحلیل انتخاب گردید.

محاسبه وزن سه معیار اصلي با رویکرد AHP فازی

برای تجزیه و تحلیل داده‌های بدست آمده از محیط نرم افزار تحلیل اکسل و کدنویسی Visual Basic استفاده شده است.

در گام نخست معیارهای اصلی براساس هدف بصورت زوجی مقایسه شده‌اند. مقایسه زوجی بسیار ساده است و تمامی عناصر هر خوشه باید به صورت دو به دو مقایسه شوند. بنابراین اگر در یک خوشه n عنصر وجود داشته باشد $\frac{n(n-1)}{2}$ مقایسه صورت خواهد گرفت. چون سه معیار اصلي وجود دارد بنابراین تعداد مقایسه‌های انجام شده برابر است با:

$$\frac{n(n-1)}{2} = \frac{3(3-1)}{2} = 3$$

بنابراین ۳ مقایسه زوجی از دیدگاه گروهی متشکل از ۱۷ نفر از خبرگان انجام شده است. دیدگاه خبرگان با استفاده از مقیاس فازی کمی شده است. گردآوری دیدگاه خبرگان با طیف نه درجه ساعتی گردآوری شده است. فازی سازی دیدگاه خبرگان براساس جدول ۷ صورت گرفته است.

تجمیع دیدگاه خبرگان: بهتر است برای تجمیع دیدگاه خبرگان از میانگین هندسی هریک از سه عدد فازی مثلثی استفاده شود.

$$F_{AGR} = \left(\prod(l) \prod(m) \prod(u)\right)$$

با استفاده از میانگین فازی دیدگاه خبرگان، ماتریس مقایسه زوجی در **Error! Reference source not found.**۷ نمایش داده شده است.

جدول ۷. ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اصلی (اجتماعی، اقتصاد ی، محیط زیستی)

	C1	C2	C3
C1	(۱،۱،۱)	(۰/۴۸۵، ۰/۳۸۳، ۰/۳۰۸)	(۱/۹۱۹، ۱/۳۹۵، ۰/۹۷۸)
C2	(۳/۲۵۲، ۲/۶۱۳، ۲/۰۶۴)	(۱،۱،۱)	(۳/۴۰۶، ۲/۶۴۹، ۱/۸۵۶)
C3	(۱/۰۲۴، ۰/۷۱۷، ۰/۵۲۱)	(۰/۵۳۹، ۰/۳۷۸، ۰/۲۹۴)	(۱،۱،۱)

پس از تشکیل ماتریس مقایسه‌های زوجی بدست آمده، بردار ویژه محاسبه گردیده است. ابتدا میانگین هندسي هر سطر براي کران پایین، مياني و بالا محاسبه شد. میانگین هاي هندسي در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۸. میانگین هندسي سطرهاي ماتریس مقایسه زوجي

	L	M	U
C1	۰/۶۷۰	۰/۸۱۱	۰/۹۷۶
C2	۱/۵۶۵	۱/۹۰۶	۲/۲۲۹
C3	۰/۵۳۵	۰/۶۴۷	۰/۸۲۰
جمع کل	۲/۷۶۹	۳/۳۶۴	۴/۰۲۵
معکوس	۰/۲۴۸	۰/۲۹۷	۰/۳۶۱

پس از محاسبه جمع میانگین هندسي مربوط به هر کدام از کران هاي پایین، مياني و بالا میزان وزن هاي فازي، قطعي و نرمال هر کدام از معیارها به دست مي آید. برای نرمال سازی ترجیحات هر معیار، باید مقادیر آن معیار بر مجموع تمامی ترجیحات (عناصر ستون) تقسیم شود. چون مقادیر فازی هستند بنابراین میانگین هندسي فازی هر سطر در معکوس مجموع ضرب می‌شود. معکوس مجموع باید محاسبه شود.

$F_l^{-1} = (1/u_l, 1/m_l, 1/l_l)$

$(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} M_g^j)^{-1} = (0.248, 0.297, 0.361)$

$S_k = \sum_{i=1}^{n} M * (\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} M_g^j)^{-1}$

وزن فازي از ضرب معکوس مجموع در هر کدام از اعداد جدول ۵ به دست مي آید. در محاسبه وزن قطعي هر معیار به کران مياني ضریب ۲ داده مي شود و سپس جمع ۳ کران تقسیم بر ۴ مي شود. سپس مجموع وزن هاي قطعي محاسبه شده و نرمال سازي انجام مي شود. براساس جدول ۹ تك تك وزن هاي قطعي بر مجموع وزن هاي قطعي براي براورد وزن نرمال هرمعیار تقسیم مي شود.

جدول ۹. محاسبه وزن فازي، قطعي و نرمال معیارهاي اصلي

	وزن فازي			وزن قطعي	وزن نرمال
	L	M	U		
محیط زیستی	۰/۱۶۶	۰/۲۴۱	۰/۳۵۲	۰/۲۵۰	۰/۲۴۲
۰/۳۸۹	۰/۳۸۹	۰/۵۶۷	۰/۸۰۵	۰/۵۸۲	۰/۵۶۲
اجتماعي	۰/۱۲۳	۰/۱۹۲	۰/۲۹۶	۰/۲۰۳	۰/۱۹۶

براساس بردار ویژه بدست آمده معیار اقتصادي با وزن نرمال ۰/۵۶۲از بیشترین اولویت در بین چالش های مدیریت زنجیره تامین پایدار خودروهای برقی در ایران برخوردار است. معیار محیط زیستی با وزن نرمال ۰/۲۴۲در اولویت دوم و معیار اجتماعي با وزن نرمال ۰/۱۹۶ در اولویت سوم قرار دارد. نرخ ناسازگاری مقایسه‌های انجام شده ۰/۰۳۷ بدست آمده است که کوچک تر از ۰/۱می‌باشد و بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اعتماد کرد.

تعیین اولویت زیرمعیارهای شاخص اقتصادی

در زیرمعیار اقتصادی چون از ۷ زیرمعیار استفاده شده است بنابراین ۲۱ مقایسه زوجی انجام گرفته است.

$$\frac{n(n-1)}{2}=\frac{7(7-1)}{2}=21$$

وزن فازي از ضرب این عدد فازي در ماتریس به دست آمده از میانگین هاي هندسي کران هاي جدول۱۰ مقایسات زوجي به دست مي آید. در محاسبه وزن قطعي هر معیار به کران مياني ضریب ۲ داده مي شود و سپس جمع ۳ کران تقسیم بر ۴ مي شود.

جدول ۱۰. محاسبه وزن فازي، قطعي و نرمال شاخص اقتصادی

	وزن فازي			وزن قطعي	وزن نرمال
	L	M	U		
هزینه بالای زیرساخت	۰/۲۵۵	۰/۳۷۹	۰/۵۴۷	۰/۳۹۰	۰/۳۷۵
چالش‌های تولید	۰/۱۸۲	۰/۲۶۹	۰/۳۹۷	۰/۲۷۹	۰/۲۶۹
چالش توسعه محصول	۰/۱۰۲	۰/۱۵۲	۰/۲۳۲	۰/۱۵۹	۰/۱۵۳
هزینه های بالای قطعات و نگهداری خودرو	۰/۱۳۶	۰/۲۰۰	۰/۳۰۸	۰/۲۱۱	۰/۲۰۳
قیمت محصول	۰/۴۸۲	۰/۶۰۲	۰/۷۵۲	۰/۶۰۹	۰/۶۰۲
چالش تامین قطعات خودروهای برقی	۰/۳۱۸	۰/۳۹۸	۰/۴۹۸	۰/۴۰۳	۰/۳۹۸
چالش فناوری باتری خودروهای برقی	۰/۵۳۹	۰/۷۱۳	۰/۹۴۴	۰/۷۲۷	۰/۷۱۳

بر این اساس بردار ویژه اولویت زیرمعیارهاي شاخص اقتصادی به صورت جدول ۱۱ خواهد بود.

جدول۱۱. اولویت‌بندي زیرمعیارها شاخص اقتصادی

عنوان زیرمعیار	وزن	رتبه زیرمعیار
چالش فناوری باتری خودروهای برقی	۰/۷۱۳	اول
قیمت محصول	۰/۶۰۲	دوم
چالش تامین قطعات خودروهای برقی	۰/۳۹۸	سوم
هزینه بالای زیرساخت	۰/۳۷۵	چهارم
چالش های تولید	۰/۲۶۹	پنجم
هزینه های بالای قطعات و نگهداری خودرو	۰/۲۰۳	ششم
چالش توسعه محصول	۰/۱۵۳	هفتم

براساس بردار ویژه بدست آمده چالش فناوری باتری خودروهای برقی با وزن نرمال ۰/۷۱۳ از بیشترین اولویت برخوردار است. قیمت محصول (۰/۶۰۲)، چالش تامین قطعات خودروهای برقی (۰/۳۹۸) و سایر شاخص ها مطابق جدول در رتبه هاي بعدي قرار دارند.نرخ ناسازگاری مقایسه‌های انجام شده ۰/۰۱۰ برآورد شده است که کوچک تر از ۰/۱می‌باشد و بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اعتماد کرد.

تعیین اولویت زیرمعیارهای شاخص اجتماعی

مقادیر فازی سازی شده میانگین دیدگاه خبرگان جهت تعیین اولویت زیرمعیارهای عوامل اجتماعی در **Error! Reference source not found.** ارائه شده است. چون از ۵ زیرمعیار استفاده شده است بنابراین ۱۰ مقایسه زوجی انجام گرفته است.

$$\frac{n(n-1)}{2} = \frac{5(5-1)}{2} = 10$$

وزن فازي از ضرب این عدد فازي در ماتریس به دست آمده از میانگین هاي هندسي کران هاي جدول مقایسات زوجي به دست مي‌آید. در محاسبه وزن قطعي هر معیار به کران مياني ضریب ۲ داده مي شود و سپس جمع ۳ کران تقسیم بر ۴ مي‌شود (جدول ۱۲).

جدول ۱۲. محاسبه وزن فازي، قطعي و نرمال زیرمعیارهاي اجتماعی

	وزن فازي			وزن قطعي	وزن نرمال
	L	M	U		
سیاست‌های تشویقی دولت	۰/۲۱۷	۰/۲۸۷	۰/۳۷۹	۰/۲۹۲	۰/۲۸۷
عدم بلوغ تکنولوژی خودروهای برقی	۰/۱۵۵	۰/۲۱۳	۰/۲۹۳	۰/۲۱۹	۰/۲۱۳
تصویر برند نامطلوب اجتماعی از خوروهای برقی	۰/۲۲۶	۰/۳۲۱	۰/۴۴۹	۰/۳۲۹	۰/۳۲۰
خدمات پس از فروش	۰/۳۳۵	۰/۴۶۶	۰/۶۵۴	۰/۴۸۰	۰/۴۶۷
چالش پذیرش اجتماعی	۰/۳۳۲	۰/۵۰۵	۰/۷۱۳	۰/۲۱۴	۰/۴۹۵

بر این اساس بردار ویژه اولویت زیرمعیارهاي عوامل اجتماعی به صورت جدول ۱۳ خواهد بود.

جدول ۱۳. اولویت‌بندي زیرمعیارهاي عوامل اجتماعی

عنوان زیرمعیار	وزن	رتبه زیرمعیار
چالش پذیرش اجتماعی	۰/٤۹٥	اول
خدمات پس از فروش	۰/٤٦۷	دوم
تصویر برند نامطلوب اجتماعی از خوروهای برقی	۰/۳۲۰	سوم
سیاست های تشویقی دولت	۰/۲۸۷	چهارم
عدم بلوغ تکنولوژی خودروهای برقی	۰/۲۱۳	پنجم

براساس بردار ویژه بدست آمده چالش پذیرش اجتماعی با وزن نرمال ۰/۴۹۵ از اولویت نخست برخوردار است. اولویت سایر شاخص‌ها در جدول ۱۲ منعکس شده است. نرخ ناسازگاری مقایسه‌های انجام شده ۰/۰۰۰ بدست آمده است که کوچکتر از ۰/۱ می‌باشد و بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اعتماد کرد.

تعیین اولویت زیرمعیارهای شاخص عوامل محیط زیستی

مقادیر فازی سازی شده میانگین دیدگاه خبرگان جهت تعیین اولویت زیرمعیارهای عوامل محیط زیستی در **Error! Reference source not found.**۱۴ ارائه شده است. چون از ۶ زیرمعیار استفاده شده است بنابراین ۱۵ مقایسه زوجی انجام گرفته است.

$$\frac{n(n-1)}{2}=\frac{6(6-1)}{2}=15$$

مجموع وزن هاي قطعي محاسبه شده و نرمال سازي انجام مي شود. بدين معني كه تك تك وزن هاي قطعي بر مجموع وزن هاي قطعي براي براورد وزن نرمال هر زير معيار تقسيم مي شود

جدول ١٤. محاسبه وزن فازي، قطعي و نرمال زيرمعيارهاي عوامل محيط زيستي

	وزن فازي			وزن قطعي	وزن نرمال
	L	M	U		
مسئله گرمایش	۰/۱۴۵	۰/۲۱۱	۰/۳۱۵	۰/۲۲۰	۰/۲۱۲
آلودگی محیط زیستی باتری	۰/۳۵۷	۰/۵۳۰	۰/۷۶۳	۰/۵۴۵	۰/۵۲۵
محدودیت استفاده در روزهای گرم	۰/۱۷۳	۰/۲۵۹	۰/۴۰۴	۰/۲۷۴	۰/۲۶۳
تامین انرژی برق	۰/۱۱۳	۰/۱۷۱	۰/۲۶۶	۰/۱۸۰	۰/۱۷۲
چالش زیست محیطی ساخت و تولید	۰/۱۷۵	۰/۲۷۵	۰/۴۳۳	۰/۲۹۰	۰/۲۷۷
بازیافت باتری	۰/۲۹۸	۰/۴۶۰	۰/۶۹۳	۰/۴۷۸	۰/۴۵۶

بر این اساس بردار ویژه اولویت زیرمعیارهاي عوامل محیط زیستی به صورت جدول ۱۵ خواهد بود.

جدول ۱۵. اولویت‌بندي زیرمعیار هاي عوامل محیط زیستی

عنوان زیرمعیار	وزن	رتبه زیرمعیار
آلودگی محیط زیستی باتری	۰/۵۲۵	اول
بازیافت باتری	۰/۴۵۶	دوم
چالش زیست محیطی ساخت و تولید	۰/۲۷۷	سوم
محدودیت استفاده در روزهای گرم	۰/۲۶۳	چهارم
مسئله گرمایش	۰/۲۱۲	پنجم
تامین انرژی برق	۰/۱۷۲	ششم

براساس بردار ویژه بدست آمده آلودگی محیط زیستی باتری با وزن نرمال ۰/۵۲۵ از اولویت بیشتري برخوردار است. شاخص‌های بازیافت باتری و چالش زیست محیطی ساخت و تولید در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

بحث: در این بخش نتایج پژوهش حاضر با نتایج چند تحقیق مشابه مقایسه می شود:

نتایج پژوهش حاضر نشان داد در میان سه بعد اصلی مدیریت زنجیره تأمین پایدار، بعد اقتصادی با وزن نرمال ۰/۵۶۲ در اولویت نخست قرار دارد، پس از آن بعد زیست‌محیطی با وزن ۰/۲۴۲ و در نهایت بعد اجتماعی با وزن ۰/۱۹۶ قرار گرفته‌اند. این یافته نشان می‌دهد که در بستر صنعت خودروسازی ایران، ملاحظات اقتصادی همچنان تعیین‌کننده‌ترین عامل در توسعه زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی محسوب می‌شود.

نکته قابل توجه آن است که نتایج پژوهش صرفاً محدود به چالش‌های داخلی خودروسازان نیست، بلکه بخشی از عوامل شناسایی‌شده در سطح اکوسیستم زنجیره تأمین خودروهای برقی قرار دارند. برای مثال، زیرساخت شارژ، تأمین انرژی برق، سیاست‌های تشویقی دولت و بازیافت باتری در اختیار بازیگران دیگری نظیر نهادهای سیاست‌گذار، وزارت نیرو، شهرداری‌ها و شرکت‌های مدیریت پسماند قرار دارند. با این

حال، از آنجا که خودروسازان به عنوان بنگاه محوری زنجیره بیشترین تأثیرپذیری را از این عوامل دارند، این متغیرها در چارچوب زنجیره تأمین خودروهای برقی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. بنابراین نتایج پژوهش علاوه بر خودروسازان، می‌تواند برای سیاست‌گذاران صنعتی، نهادهای تنظیم‌گر و سرمایه‌گذاران حوزه زیرساخت نیز کاربرد داشته باشد.

این نتیجه با یافته‌های پژوهش بادپا و همکاران (۱۳۹۷) که عامل اقتصادی را مهم‌ترین چالش در پیاده‌سازی مدیریت زنجیره تأمین پایدار معرفی کرده‌اند همسو است [۶]. با این حال، در برخی مطالعات، بعد زیست‌محیطی در اولویت نخست قرار گرفته است [۱۶] که این تفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت در سطح توسعه صنعتی، سیاست‌های حمایتی دولت‌ها و بلوغ فناوری در کشورهای مورد بررسی باشد. در شرایط اقتصاد ایران، محدودیت‌های مالی، هزینه‌های بالای تولید، وابستگی به واردات فناوری باتری و نوسانات ارزی سبب شده‌اند که دغدغه‌های اقتصادی بر سایر ابعاد غلبه داشته باشند.

از منظر مدیریتی، این یافته نشان می‌دهد که موفقیت برنامه‌های توسعه خودروهای برقی در ایران پیش از هر چیز مستلزم کاهش ریسک‌های اقتصادی زنجیره تأمین است. در چنین شرایطی، سیاست‌هایی نظیر حمایت هدفمند از سرمایه‌گذاری در تولید باتری، توسعه ظرفیت داخلی تأمین قطعات راهبردی، ارائه مشوق‌های مالی برای خودروسازان و کاهش وابستگی به واردات فناوری می‌تواند اثربخشی بیشتری نسبت به مداخلات صرفاً زیست‌محیطی داشته باشد. به بیان دیگر، تا زمانی که موانع اقتصادی اصلی برطرف نشوند، تحقق اهداف اجتماعی و زیست‌محیطی توسعه خودروهای برقی نیز با محدودیت مواجه خواهد بود.

در سطح زیرمعیارهای اقتصادی، «چالش فناوری باتری خودروهای برقی» در رتبه نخست قرار گرفت. این یافته با نتایج پژوهش‌های پیشین که فناوری باتری، زیرساخت شارژ و هزینه‌های مرتبط با آن را مهم‌ترین مانع توسعه خودروهای برقی دانسته‌اند هم‌راستا است [۳۱]، [۱۷]. وابستگی به فناوری‌های پیشرفته، هزینه بالای تحقیق و توسعه و نبود ظرفیت تولید انبوه باتری در داخل کشور، این چالش را تشدید می‌کند. بنابراین، بدون توسعه زنجیره ارزش باتری در داخل کشور، حرکت به سوی تولید انبوه خودروهای برقی با ریسک بالا همراه خواهد بود. اولویت بالای چالش فناوری باتری بیانگر آن است که توسعه خودروهای برقی در ایران بیش از آنکه یک مسئله مونتاژ یا تولید خودرو باشد، یک مسئله فناورانه در حوزه ذخیره‌سازی انرژی محسوب می‌شود. از این رو، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های باتری، توسعه همکاری‌های فناورانه با شرکت‌های صاحب دانش و حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان فعال در این حوزه باید به عنوان یکی از محورهای اصلی سیاست‌گذاری صنعتی در نظر گرفته شود.

در بعد اجتماعی، «چالش پذیرش اجتماعی» بالاترین اولویت را کسب کرد. این یافته با مطالعه نیلاشی[1] و همکاران (۲۰۲۲) که نگرش مصرف‌کنندگان، هنجارهای ذهنی و اعتماد به فناوری را از عوامل کلیدی پذیرش خودروهای برقی معرفی کرده‌اند همخوانی دارد [۲۵]. در ایران، علاوه بر نگرانی‌های فنی، عدم اطمینان نسبت به خدمات پس از فروش، بازار دست دوم و زیرساخت شارژ، بر تصمیم مصرف‌کنندگان اثرگذار است. بنابراین، توسعه فنی بدون مدیریت ادراک اجتماعی، منجر به نفوذ پایدار در بازار نخواهد شد.

در بعد زیست‌محیطی، «آلودگی محیط‌زیستی باتری» در اولویت نخست قرار گرفت. این نتیجه نشان می‌دهد که اگرچه خودروهای برقی در مرحله بهره‌برداری آلایندگی کمتری دارند، اما چرخه عمر باتری و فرآیند تولید آن همچنان دغدغه مهمی محسوب می‌شود. یافته حاضر با مطالعاتی که به اثرات زیست‌محیطی تولید و بازیافت باتری اشاره کرده‌اند همسو است [۱۲]، [۲۴]. بنابراین، توسعه خودروهای برقی بدون طراحی نظام بازیافت و مدیریت چرخه عمر باتری، نمی‌تواند به پایداری واقعی منجر شود.

مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات مشابه در سایر کشورهای در حال توسعه نشان‌دهنده شباهت‌ها و تفاوت‌هایی است. برای مثال، در مطالعات انجام‌شده در هند توسط ویرمانی[2] و همکاران (۲۰۲۳) [۳۱] و مالزی توسط اسدی و همکاران (۲۰۲۲) [۵]، چالش‌های زیرساخت شارژ و قیمت تمام‌شده خودرو نیز به عنوان موانع اصلی شناسایی شده‌اند. با این حال، در این کشورها، سیاست‌های حمایتی دولت از جمله

1. Nilashi
2. Virmani

معافیت‌های مالیاتی گسترده، اختصاص خطوط ویژه تردد و یارانه خرید، تا حدودی توانسته است تعادل بین ابعاد اقتصادی و زیست‌محیطی را برقرار کند. در ایران، به دلیل محدودیت‌های بودجه‌ای و اولویت‌های متفاوت سیاستی، این مشوق‌ها هنوز به سطح کافی نرسیده است و همین امر باعث شده است که بعد اقتصادی با فاصله بیشتری نسبت به سایر ابعاد از جمله زیست محیطی در اولویت باقی بماند.

به طور کلی، نتایج نشان می‌دهد چالش‌های اقتصادی نقش پیشران اولیه، چالش‌های اجتماعی نقش تسهیل‌گر بازار و چالش‌های زیست‌محیطی نقش تنظیم‌کننده بلندمدت را در توسعه زنجیره تأمین پایدار خودروهای برقی در ایران ایفا می‌کنند. این تعامل سه‌گانه باید در سیاست‌گذاری‌ها به صورت همزمان مدنظر قرار گیرد.

۵. نتیجه‌گیری وپیشنهادها

در این پژوهش با استفاده از تکنیک دلفی فازی به شناسائی مولفه ها و در مرحله کمی با تکنیک AHP فازی نتایج حاصل از رتبه بندی مهم ترین چالش های مدیریت زنجیره تامین پایدار خودروهای برقی در ایران ارائه شد. این رتبه‌بندی نتایجی را در برمی‌گیرد که مهم‌ترین آن‌ها به‌شرح ذیل می‌باشند:

باتوجه به یافته‌های به دست آمده، چالش های مدیریت زنجیره تامین پایدار خودروهای برقی در ایران که در این پژوهش ارائه شده، الگویی مناسب برای دسته بندی و ساختاردهی عناصر مربوط به مسائل برای درک جزئیات مناسب از چالش های مربوطه است و باعث کاهش پیچیدگی و رفع ابهام و درک مناسب تر مسائل می‌شود. علاوه بر چالش هایی که در این مطالعه شناسایی و احصا شد بخشی از چالش های پیش رو در استفاده از خودروهای برقی، چالش های جهانی است که تمامی استفاده کنندگان از این وسیله نقلیه ار در جهان شامل می‌شود. به عنوان نمونه، ایجاد زیرساخت‌ها و ایستگاه‌های شاژر از چالش هایی است که استفاده از این خودروها را با محدودیت‌هایی مواجه کرده است این خودروها برای مسافرت‌های درون شهری می‌توانند کارآیی داشته باشند، اما به دلیل عدم وجود ایستگاه‌های شاژر در فواصل معین در جاده‌های جهان، پیمودن مسافت‌های بین جاده‌ای طولانی با خودروهای برقی عملاً غیرممکن است. لذا چالش قیمت تمام شده و تضمین مشتری مهم‌ترین موضوع مورد تأکید خودروسازان است که تنها راه‌حل موجود برای مرتفع نمودن این چالش قیمت و تشویق مردم به خرید این نوع خـودرو، کمک دولت در قالب یک بسته سیاستی ـ حمایتی است. زیرساخت کنوني شارژ خودروهای برقی متناسب با نیاز آینده روبه‌رشد این صنعت نیست. اما نگراني حول این امر به دو دلیل در آینده نزدیک کمترخواهد شد. اول اینکه نسل جدید خودروهای برقی، برد مسافتي بیشتري از مدل‌هاي کنوني خواهند داشت، به همین دلیل امکان شاژر خانگي خودروها فراهم می‌شود؛ دوم، کاهش زمان لازم براي شارژ خودروها، امکان شارژ سریع و فوق سریع در ایستگاه‌هاي شارژ را فراهم می‌کند.

پیشنهاد می‌شود مشوق‌های لازم برای امکان حضور شرکت‌های خصوصی به خصوص شرکت‌های دانش‌بنیان در زمینه مشارکت با صاحبان فناوری در نظر گرفته شود (از جمله معافیت‌ها و تخفیف‌های مالیاتی). با این روش می‌توان با ایجاد یک بازار رقابتی داخلی، رقابت مطلوبی برای سرعت بخشیدن به گسترش تولید واستفاده از خودروهای برقی ایجاد کرد .پیشنهاد می‌گردد دولت با اتخاذ سیاست‌های عملیاتی و کاربردی قوانین حمایت‌کننده در زمینه صنعت خودروهای برقی را عملیاتی کند، مانند بند (ب) ماده (۱۲) قانون رفع موانع تولید که در آن دولت مکلف به طرح‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی که یکی از آنها «جایگزین کردن خودروهاي کم مصرف و یا برقي با خودروهاي پرمصرف» است اشاره دارد. همچنین چالش قیمت تمـام شده و تضمین مشتری (چالش پذیرش اجتماعی خودروهای برقی) مهم‌ترین موضوع مورد تأکید خودروسازان است که تنها راه حل موجود برای پر کردن این اختلاف قیمت و تشویق مردم به خرید این نوع خودرو، کمک دولت در قالب یک بسته سیاستی- حمایتی است.

بر اساس اولویت‌بندی انجام‌شده، پیشنهادهای عملیاتی پژوهش در سه افق زمانی تفکیک می‌گردد:

پیشنهادهای کوتاه‌مدت (۱-۲ ساله):

۱. ارائه معافیت‌های مالیاتی و عوارضی برای واردکنندگان فناوری باتری و قطعات کلیدی خودروهای برقی به منظور کاهش هزینه تمام‌شده.
۲. الزام خودروسازان به ارائه گارانتی حداقل ۸ ساله یا ۱۶۰٬۰۰۰ کیلومتر برای باتری خودروهای برقی به منظور کاهش اضطراب مسافت و افزایش پذیرش اجتماعی.
۳. راه‌اندازی حداقل ۵۰ ایستگاه شارژ سریع در کلانشهرهای تهران، اصفهان، مشهد و تبریز با مشارکت شهرداری‌ها و بخش خصوصی.

پیشنهادهای میان‌مدت (۳-۵ ساله):

۱. تشکیل «کنسرسیوم ملی باتری» با مشارکت ایران‌خودرو، سایپا، شرکت‌های دانش‌بنیان و دانشگاه‌ها به منظور بومی‌سازی فناوری تولید سلول باتری و کاهش وابستگی به واردات.
۲. تصویب استانداردهای اجباری بازیافت باتری با رویکرد مسئولیت توسعه‌یافته تولیدکننده (EPR) و ایجاد صندوق تضمین بازیافت.
۳. توسعه بازار دست دوم خودروهای برقی از طریق اوراق بهادار کردن باتری‌های مستعمل و ارائه گواهی سلامت باتری.

پیشنهادهای بلندمدت (۵-۱۰ ساله):

۱. احداث حداقل یک کارخانه تولید سلول باتری در مقیاس صنعتی در داخل کشور با همکاری فناورانه بین‌المللی (از جمله انتقال فناوری).
۲. بازنگری اساسی در الگوی قیمت‌گذاری حامل‌های انرژی به گونه‌ای که مزیت نسبی خودروهای برقی در هزینه سوخت مصرف‌کننده قابل مشاهده باشد.
۳. ایجاد صندوق ملی تحقیق و توسعه فناوری خودروهای برقی با تأمین مالی از محل عوارض واردات خودروهای فسیلی.

با وجود دستاوردهای پژوهش، این مطالعه دارای محدودیت‌هایی نیز است؛ از جمله محدود بودن جامعه خبرگان به دو شرکت بزرگ خودروسازی کشور و اتکا به قضاوت‌های ذهنی خبرگان در فرآیند وزن‌دهی. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی از روش‌های کمی مکمل مانند DEMATEL یا ANP فازی برای تحلیل روابط علی بین چالش‌ها استفاده شود؛ تحلیل حساسیت بر نتایج وزن‌دهی انجام گیرد و همچنین مطالعه در سطح سیاست‌گذاری ملی و مقایسه بین‌المللی توسعه یابد. علاوه بر روش‌های پیشنهادی، پژوهش‌های آتی می‌توانند با نگاشت چالش‌های شناسایی‌شده بر روی اهداف توسعه پایدار (SDGs) مرتبط نظیر SDG 7 (انرژی پاک و مقرون‌به‌صرفه)، SDG 9 (صنعت، نوآوری و زیرساخت) و SDG 12 (مصرف و تولید مسئولانه)، چارچوب نظری پژوهش را غنی‌تر سازند.

از جمله محدودیت‌های پژوهش حاضر استفاده از یک رویکرد وزن‌دهی کلاسیک برای اولویت‌بندی چالش‌ها است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، از روش‌های نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره نظیر BWM، FUCOM و سایر رویکردهای پیشرفته وزن‌دهی استفاده شده و نتایج حاصل با یافته‌های این پژوهش مقایسه گردد. چنین مقایسه‌ای می‌تواند به ارزیابی پایداری و استحکام رتبه‌بندی عوامل و افزایش قابلیت اتکای نتایج کمک نماید. در مجموع، گذار به خودروهای برقی در ایران نه صرفاً یک تحول فناورانه، بلکه یک تغییر ساختاری در زنجیره تأمین، نظام سیاست‌گذاری و رفتار مصرف‌کننده است که نیازمند رویکردی یکپارچه و چندبعدی می‌باشد.

تعارض منافع. برای ارائه مطالب و نگارش این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از هیچ فرد، نهاد و سازمانی دریافت نشده است و نتایج و دستاوردهای این مقاله به نفع یا ضرر سازمان یا فردی خاص نخواهد بود. حضور نویسندگان در این پژوهش به‌عنوان شاهدی بی‌طرف ولی متخصص بوده است و نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

منابع

1. Abdulmaleki Samani, H., & Mir Hosseinian, S. (2017). Design challenges of electric vehicle body and existing solutions. *First International Conference on Modern Propulsion Systems (Focus on Electric Vehicles)*, Tehran. (In Persian)
2. Ahmad, F., Alam, M. S., Alsaidan, I. S., & Shariff, S. M. (2020). Battery swapping station for electric vehicles: Opportunities and challenges. *IET Smart Grid*, 3(3), 280-286.
3. Alanazi, F. (2023). Electric vehicles: Benefits, challenges, and potential solutions for widespread adaptation, 13, 2-23.
4. Ares Sheikhi, A., Mahmoudi, S., & Shojaei, S. (2017). Analysis of charging technologies and infrastructure challenges for electric vehicles. *Islamic Council Research Center*, 82. (In Persian)
5. Asadi, S., Nilashi, M., Iranmanesh, M., Ghobakhloo, M., Samad, S., Alghamdi, A., Almulihi, A., & Mohd, S. (2022). Drivers and barriers of electric vehicle usage in Malaysia: A DEMATEL approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 177, 105965.
6. Badpa, H., Dehghan Dehnavi, H., & Nasirian, M. (2018). Examining and prioritizing the challenges of using supply chain management in improving industrial project performance. *Second International Conference on Management, Industrial Engineering, Economics and Accounting*. (In Persian)
7. Baran, R., & Legey, L. F. (2013). The introduction of electric vehicles in Brazil: Impacts on oil and electricity consumption. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(5), 907-917.
8. Deng, H. (1999). Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison. *International Journal of Approximate Reasoning*, 21(3), 215-231.
9. Egbue, O., Long, S., & Samaranayake, V. A. (2017). Mass deployment of sustainable transportation: Evaluation of factors that influence electric vehicle adoption. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(2), 193-223.
10. Elah Moradi, E., Mirzamohammadi, S., & Naini Foundation, A. (2019). Factors affecting consumers' willingness to pay for electric cars in Iran. *Energy Policy and Planning Research*, 9(18), 29-48. (In Persian)
11. Fink-Hafner, D., Dagen, T., Doušak, M., Novak, M., & Hafner-Fink, M. (2019). Delphi method: Strengths and weaknesses. *Metodološki Zvezki*, 16(2), 1-19.
12. Goel, S., Sharma, R., & Kumar Rathore, A. (2021). A review on barriers and challenges of electric vehicles in India and vehicle-to-grid optimization. *Transportation Engineering*, 4, 100057.
13. Hong, J., Zhang, Y., & Ding, M. (2017). Sustainable supply chain management practices, supply chain dynamic capabilities, and enterprise performance. *Journal of Cleaner Production*, 198, 181-190.
14. Inkar, G., Jadhav, G., Kamthe, A., & Ghode, S. (2022). Review on challenges of electric vehicles. *Energy Policy*, 66, 147-155.
15. International Energy Agency (IEA). (2025). *Global EV Outlook 2025*. Paris: International Energy Agency.
16. Khoshnoudi, M. (2018). Identifying and prioritizing effective factors on sustainable supply chain performance. *Second International Conference on New Developments in Management, Economics and Accounting*. (In Persian)
17. Krishna, M. K. (2022). Identifying barriers to electric vehicle adoption: Systematic review, economy and perception. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*, 4, 61-89.
18. Kumar Tarie, P., Chand, P., & Gupta, G. (2021). Barriers to the adoption of electric vehicles: Evidence from India. *Journal of Cleaner Production*, 291(1), 101-131.
19. Lee, J. H., Chakraborty, D., Hardman, S. J., & Tal, G. (2020). Exploring electric vehicle charging patterns: Mixed usage of charging infrastructure. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*.
20. Maadi Roudsari, M. H., Tabatabaian, S. H., & Radfar, R. (2023). Pathology of the country's automobile industry using grounded theory strategy and providing solutions for improvement. *Danesh Investment Science Quarterly*, 12(1), 125-138. (In Persian)

21. Mohammadi, A., & Hosseini, S. (2023). Application of fuzzy multi-criteria decision-making methods in supply chain risk assessment: A case study of the automotive industry. *Industrial Management Perspective*, 14(2), 45-68. (In Persian)
22. Mubasheri, S., & Khajezadeh, A. (2013). Evaluating environmental and economic effects of load response resources and electric vehicles in production planning. *National Power Plant Conference*, 7. (In Persian)
23. Müller, M., Wietschel, M., & Gnann, T. (2024). The electric vehicle supply chain ecosystem: Changing roles of automotive suppliers. *Sustainability*, 16(4), 1570.
24. Muzir, N. A. Q., Mojumder, M. R. H., Hasanuzzaman, M., & Selvaraj, J. (2022). Challenges of electric vehicles and their prospects in Malaysia: A comprehensive review. *Sustainability*, 14, 52-69.
25. Nilashi, M., Iranmanesh, M., & Ghobakhloo, M. (2022). Drivers and barriers of electric vehicle usage in Malaysia: A DEMATEL approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 177, 1-26.
26. Pireh Babi, S., Moseibi, A., & Zandi, M. (2022). Electric vehicle development scenarios in Iran using system dynamics method. *Sustainable Energy Systems Quarterly*, 2(1), 1-17. (In Persian)
27. Rajabi Farjad, H., & Nazari, M. (2020). The effect of knowledge management on organizational performance with the role of sustainable supply chain management. *Scientific Thought Ready*, 19(75), 141-168. (In Persian)
28. Rezaei, M., & Karimi, N. (2022). Identification and prioritization of supply chain risks using a hybrid fuzzy Delphi and fuzzy analytic network process (FANP) approach. *Industrial Management Perspective*, 13(3), 89-112. (In Persian)
29. Rokneddini, S. A., Andalib Ardakani, D., Zare Ahmadabadi, H., & Hosseini Bamkan, S. M. (2023). Modeling the Enablers of Industry 4.0 in the Implementation of a Sustainable Supply Chain with fuzzy DEMATEL-ANP. Journal of industrial management perspective, 13(1), 141-172. (In Persian)
30. Shishehbori, A., & Shojaei, O. A. (2022). The impact of sustainable supply chain management on organizational effectiveness: The mediating role of total quality management, 4(1), 59-78. (In Persian)
31. Virmani, N., Agarwal, V., Karuppiah, K., Agarwal, S., Raut, R. D., & Paul, S. K. (2023). Mitigating barriers to adopting electric vehicles in an emerging economy context. *Journal of Cleaner Production*, 414, 137557.
32. Wang, Z., Ching, T. W., Huang, S., Wang, H., & Xu, T. (2021). Challenges faced by electric vehicle motors and their solutions. *IEEE Access*, 9, 5228-5249.
33. Wu, Y., Jia, W., Li, L., & Song, Z. (2019). Risk assessment of electric vehicle supply chain based on fuzzy synthetic evaluation. *Energy*, 182(1), 397-411.
34. Yazdanipour, S., & Latif Shabgahi, G. (2013). Challenges in using electric vehicles as power reserve in distribution networks. *16th Iranian Electrical Engineering Student Conference*, Kazerun. (In Persian)
35. Zhang, L., Li, X., & Zhao, Y. (2025). Integrating sustainability across the lifecycle of electric vehicle batteries: Circular supply chain challenges and policy implications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 198, 114567.