



کشف و رتبه‌بندی مؤلفه‌های الگوی برنامه‌ریزی و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین پایدار: مورد مطالعه صنعت خودروسازی

حسن هدایتی^۱، محمد طالقانی^{۲*}، آریتا شرح شریفی^۳

۱. گروه مدیریت صنعتی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

۲. گروه حسابداری، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: M.Taleghani@iau.ac.ir

چکیده

هدف پژوهش حاضر کشف، طبقه‌بندی و رتبه‌بندی مؤلفه‌های الگوی برنامه‌ریزی و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین پایدار با تمرکز بر صنعت خودروسازی و مطالعه موردی شرکت سایپا بود. پژوهش حاضر از نظر هدف، توسعه‌ای — کاربردی و از نظر طرح، اکتشافی بود. در مرحله نخست، ۳۵ عامل اولیه مؤثر بر انتخاب تأمین‌کننده پایدار بر اساس ادبیات موضوع و دیدگاه خبرگان شناسایی شد. این عوامل طی سه مرحله ارزیابی خبرگی و با استفاده از پرسشنامه پنج‌درجه‌ای لیکرت پالایش شدند. ملاک حفظ عوامل، کسب میانگین بیشتر از ۳ بود و برای بررسی میزان توافق خبرگان از ضریب هماهنگی کندال استفاده شد. در نهایت، ۲۵ عامل در پنج بعد اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی، قانونی و فنی و سازمانی طبقه‌بندی شدند. برای وزن‌دهی و رتبه‌بندی ابعاد، پرسشنامه مقایسات زوجی در اختیار ۱۰ خبره قرار گرفت و داده‌ها با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی تحلیل شدند. سازگاری قضاوت‌ها نیز بر اساس ماتریس‌های AM و AG ارزیابی شد. ضریب هماهنگی کندال در مراحل اول، دوم و سوم به ترتیب برابر با ۰.۸۰۷، ۰.۸۲۲ و ۰.۸۴۹ بود و در هر سه مرحله در سطح کمتر از ۰.۰۰۱ معنادار شد. نتایج بررسی سازگاری نشان داد نسبت ناسازگاری ماتریس AM برابر با ۰.۰۱۶۲ و برای ماتریس AG برابر با ۰.۰۰۶۳۹ بود که هر دو کمتر از ۰.۱۰ بودند. نتایج AHP فازی نشان داد بعد اقتصادی با وزن ۰.۲۷۲ در رتبه اول، بعد فنی و سازمانی با وزن ۰.۲۵۱ در رتبه دوم، بعد قانونی با وزن ۰.۱۹۱ در رتبه سوم، بعد اجتماعی با وزن ۰.۱۴۷ در رتبه چهارم و بعد زیست‌محیطی با وزن ۰.۱۴۰ در رتبه پنجم قرار گرفت. الگوی انتخاب تأمین‌کننده پایدار در صنعت خودروسازی ماهیتی چندبعدی دارد و اگرچه ملاحظات اقتصادی و فنی و سازمانی بیشترین اهمیت را دارند، ابعاد قانونی، اجتماعی و زیست‌محیطی نیز باید به صورت نظام‌مند در فرایند ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان لحاظ شوند.

کلیدواژگان: زنجیره تأمین پایدار، انتخاب تأمین‌کننده، برنامه‌ریزی تأمین‌کننده، AHP فازی، صنعت خودروسازی، پایداری

تاریخ ارسال: ۱۴ اردیبهشت ۱۴۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۵ شهریور ۱۴۰۵

تاریخ پذیرش: ۲۳ شهریور ۱۴۰۵

تاریخ چاپ اولیه: ۸ مهر ۱۴۰۵

تاریخ چاپ نهایی: ۱ آبان ۱۴۰۶



How to cite: Hedayati, H., Taleghani, M., & Sherej Sharifi, A. (2027). Discovery and Prioritization of the Components of a Supplier Planning and Selection Model in a Sustainable Supply Chain: A Case Study of the Automotive Industry. *Training, Education, and Sustainable Development*, 5(4), 1-24.



© 2027 the authors. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

Discovery and Prioritization of the Components of a Supplier Planning and Selection Model in a Sustainable Supply Chain: A Case Study of the Automotive Industry

Hasan Hedayati¹, Mohammad Taleghani^{1*}, Azita Sherej Sharifi²

1. Department of Industrial Management, Ra.C., Islamic Azad University, Rasht, Iran

2. Department of Accounting, Nos.C., Islamic Azad University, Noshahr, Iran

*Corresponding Author's Email: M.Taleghani@iau.ac.ir

Abstract

This study aimed to identify, classify, and prioritize the components of a supplier planning and selection model in a sustainable supply chain, focusing on the automotive industry and Saipa Automotive Company. This developmental-applied study used an exploratory design. Initially, 35 potential factors affecting sustainable supplier selection were identified based on the literature and expert opinions. These factors were refined through three successive expert-evaluation rounds using a five-point Likert-scale questionnaire. Factors with mean scores greater than 3 were retained, and Kendall's coefficient of concordance was used to assess agreement among experts. Ultimately, 25 factors were classified into five dimensions: economic, environmental, social, legal, and technical-organizational. For weighting and prioritizing the dimensions, a pairwise-comparison questionnaire was completed by 10 experts, and the data were analyzed using fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP). Judgment consistency was assessed using the AM and AG matrices. Kendall's coefficients of concordance for the first, second, and third stages were 0.807, 0.822, and 0.849, respectively, and all were statistically significant at $p < 0.001$. The consistency ratio was 0.0162 for the AM matrix and 0.0639 for the AG matrix, both below the acceptable threshold of 0.10. Fuzzy AHP results showed that the economic dimension ranked first with a weight of 0.272, followed by the technical-organizational dimension with 0.251, the legal dimension with 0.191, the social dimension with 0.147, and the environmental dimension with 0.140. Sustainable supplier selection in the automotive industry is a multidimensional decision problem. Although economic and technical-organizational considerations had the greatest relative importance, legal, social, and environmental dimensions should also be systematically incorporated into supplier planning, evaluation, and selection processes.

Keywords: Sustainable supply chain, Supplier selection, Supplier planning, Fuzzy AHP, Automotive industry, Sustainability

Submit Date: 04 May 2026

Revise Date: 06 September 2026

Accept Date: 14 September 2026

Initial Publish: 30 September 2026

Final Publish: 23 October 2027

زنجیره تأمین در صنایع تولیدی بزرگ، به‌ویژه صنعت خودروسازی، یکی از مهم‌ترین حوزه‌های ایجاد ارزش، کنترل هزینه، مدیریت کیفیت، تضمین تداوم تولید و پاسخ‌گویی به الزامات محیطی و اجتماعی محسوب می‌شود. در چنین صناعی، عملکرد سازمان نهایی تا حد زیادی به توانایی شبکه تأمین‌کنندگان در تأمین به‌موقع مواد، قطعات و خدمات مورد نیاز وابسته است و هرگونه ضعف در انتخاب یا مدیریت تأمین‌کنندگان می‌تواند موجب افزایش هزینه، کاهش کیفیت محصول، تأخیر در تولید، افزایش ریسک‌های عملیاتی و آسیب به اعتبار سازمان شود. از این‌رو، انتخاب تأمین‌کننده از یک تصمیم صرفاً خرید محور به یک مسئله راهبردی و چندمعیاره تبدیل شده است. در رویکردهای جدید، تأمین‌کننده مطلوب صرفاً تأمین‌کننده‌ای نیست که پایین‌ترین قیمت را ارائه کند، بلکه باید از منظر کیفیت، تحویل، انعطاف‌پذیری، قابلیت فنی، تاب‌آوری، عملکرد محیط‌زیستی و مسئولیت‌های اجتماعی نیز توانمندی لازم را داشته باشد. مطالعات مربوط به راهبردهای انتخاب تأمین‌کننده نشان داده‌اند که نحوه طبقه‌بندی و انتخاب تأمین‌کنندگان می‌تواند پیامدهای مستقیم و قابل توجهی برای عملکرد کسب‌وکار داشته باشد و سازمان‌ها باید انتخاب تأمین‌کننده را با اهداف راهبردی خود همسو کنند (Fatemeh Kharidar & Alireza Pouya, 2016; Kharidar & A Pouya, 2016). همچنین پژوهش‌های انجام‌شده در محیط‌های صنعتی نشان می‌دهند که استفاده از رویکردهای ساختاریافته در این حوزه، قابلیت تصمیم‌گیری سازمان را در شرایط پیچیده و نامطمئن افزایش می‌دهد (Amorim et al., 2016; Babaei & Omrani, 2017).

با گسترش مفهوم توسعه پایدار، انتظارات از مدیریت زنجیره تأمین نیز تغییر کرده است. امروزه سازمان‌ها علاوه بر شاخص‌های اقتصادی، با فشارهای محیط‌زیستی، اجتماعی و قانونی گسترده‌ای مواجه‌اند و باید آثار فعالیت‌های تأمین‌کنندگان خود را در کل زنجیره ارزش مدنظر قرار دهند. مفهوم انتخاب تأمین‌کننده پایدار بر همین اساس شکل گرفته است و تلاش می‌کند معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را به‌صورت هم‌زمان در فرایند ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده وارد کند. پژوهش‌های حوزه انتخاب تأمین‌کننده سبز و پایدار نشان داده‌اند که معیارهایی مانند هزینه و کیفیت همچنان اهمیت بالایی دارند، اما موضوعاتی مانند مصرف انرژی، انتشار کربن، استفاده از مواد سازگار با محیط‌زیست، کنترل آلاینده‌ها، رعایت الزامات ایمنی و سلامت و مسئولیت اجتماعی نیز به اجزای اساسی ارزیابی تأمین‌کنندگان تبدیل شده‌اند (Mavi et al., 2017; Yazdani et al., 2017). در همین راستا، مطالعات حوزه معیارهای اجتماعی، اخلاقی و محیط‌زیستی تأکید کرده‌اند که عملکرد پایدار زنجیره تأمین بدون توجه به رفتار تأمین‌کنندگان و سازوکارهای انتخاب آنها قابل تحقق نیست (Guarnieri & Trojan, 2019). مقایسه روش‌های فازی در انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار نیز نشان داده است که مسئله انتخاب تأمین‌کننده ذاتاً با عدم قطعیت و قضاوت ذهنی تصمیم‌گیرندگان همراه است و استفاده از مدل‌های چندمعیاره می‌تواند این پیچیدگی را بهتر مدیریت کند (Rashidi & Cullinane, 2019).

پیچیدگی انتخاب تأمین‌کننده پایدار زمانی افزایش می‌یابد که سازمان ناچار باشد مجموعه‌ای از اهداف گاه متعارض را به‌طور هم‌زمان دنبال کند. برای مثال، تأمین‌کننده‌ای ممکن است از نظر قیمت در وضعیت مطلوبی قرار داشته باشد، اما عملکرد محیط‌زیستی ضعیفی داشته باشد؛ یا یک تأمین‌کننده از نظر فناوری و کیفیت برتر باشد، اما از نظر انعطاف‌پذیری یا ریسک تأمین وضعیت مناسبی نداشته باشد. از این‌رو، ماهیت این مسئله ذاتاً چندمعیاره است. پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌توانند ساختار تصمیم را شفاف کنند و به تصمیم‌گیرندگان در تعیین وزن معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها کمک نمایند (Wu & Zhang, 2021). در حوزه زنجیره تأمین سبز، استفاده از چارچوب‌های چندسطحی نیز برای ادغام معیارهای اقتصادی و محیط‌زیستی مورد توجه قرار گرفته است (Gupta et al., 2021). همچنین در محیط‌های دارای عدم قطعیت، استفاده از مدل‌های فازی و ترکیبی به دلیل توانایی آنها در بازنمایی قضاوت‌های زبانی و مبهم خبرگان، رویکرد مناسبی برای انتخاب تأمین‌کنندگان محسوب می‌شود (Alamroshan et al., 2022; Tirkolaei et al., 2021).

در سال‌های اخیر، مفهوم تاب‌آوری نیز در کنار پایداری به یکی از محورهای مهم انتخاب تأمین‌کنندگان تبدیل شده است. شوک‌های اقتصادی، اختلالات لجستیکی، تغییرات ناگهانی تقاضا، بحران‌های جهانی و محدودیت‌های تأمین نشان داده‌اند که تمرکز صرف بر کارایی اقتصادی کافی نیست و تأمین‌کنندگان باید توانایی سازگاری، پاسخ‌گویی و بازیابی در برابر اختلالات را نیز داشته باشند. در این زمینه، مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده تاب‌آور و پایدار تلاش کرده‌اند معیارهایی مانند انعطاف‌پذیری، قابلیت پاسخ، ظرفیت جایگزینی و ثبات عملکرد را در کنار ابعاد سنتی پایداری وارد مدل کنند (Ghamari et al., 2022). همچنین توسعه مدل‌های سبز - تاب‌آور نشان داده است که یک زنجیره تأمین پایدار باید علاوه بر کاهش پیامدهای منفی محیط‌زیستی، در برابر اختلالات نیز ظرفیت عملیاتی کافی داشته باشد (Hailiang et al., 2023). مطالعات جدیدتر نیز بر تلفیق جنبه‌های پایداری و تاب‌آوری در مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده تأکید دارند و نشان می‌دهند که این دو حوزه باید به‌عنوان ابعاد مکمل تصمیم‌گیری دیده شوند (Becerra & Diaz, 2025).

از سوی دیگر، تحولات فناوری و دیجیتالی‌شدن زنجیره‌های تأمین نیز ماهیت معیارهای انتخاب تأمین‌کننده را تغییر داده است. قابلیت تبادل داده، شفافیت اطلاعات، هماهنگی دیجیتال، ردیابی، توان تحلیل داده و سازگاری با فناوری‌های جدید اکنون می‌توانند در ارزیابی تأمین‌کنندگان نقش داشته باشند. پژوهش در زمینه انتخاب تأمین‌کننده دیجیتال نشان داده است که انتخاب تأمین‌کنندگان دارای قابلیت‌های دیجیتال می‌تواند به تقویت سیستم‌های مدیریت کیفیت زنجیره تأمین و بهبود عملکرد شرکت منجر شود (Sharma & Joshi, 2020). همچنین ظهور صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی موجب شده است که انتخاب تأمین‌کننده به‌صورت فزاینده‌ای تحت تأثیر موضوعاتی مانند گردش مواد، قابلیت بازیافت، فناوری پاک، هوشمندسازی و مدیریت چرخه عمر قرار گیرد (Xie et al., 2022). در زنجیره‌های تأمین چرخشی هوشمند نیز مدل‌های تصمیم‌گیری جدید بر ضرورت استفاده از روش‌های تلفیقی برای سنجش هم‌زمان معیارهای فناورانه، محیط‌زیستی و عملکردی تأکید کرده‌اند (Tavana et al., 2023). انتخاب تأمین‌کنندگان چرخشی و طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته نیز نشان داده است که تصمیم‌گیری درباره تأمین‌کننده باید با تصمیمات کلان‌تر مربوط به ساختار و پایداری زنجیره تأمین هماهنگ شود (Govindan et al., 2020).

علاوه بر معیارهای سطح کلان، تفاوت‌های صنعتی نیز سبب می‌شود که مدل انتخاب تأمین‌کننده نتواند به‌صورت کاملاً عمومی و بدون انطباق با زمینه مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال، در صنعت داروسازی الزامات کیفی و انطباقی اهمیت ویژه دارند و استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری متناسب با شرایط سازمانی ضروری است (Ganguly et al., 2019). در صنایع غذایی، عدم قطعیت در کیفیت، عرضه و تقاضا می‌تواند بر انتخاب و تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان تأثیرگذار باشد (Amorim et al., 2016). در صنعت فولاد نیز معیارهای تاب‌آوری و پایداری به دلیل حساسیت به انرژی، مواد اولیه و اختلالات تأمین اهمیت قابل توجهی دارند (Ghamari et al., 2022). در صنعت نفت و پتروشیمی نیز مطالعات داخلی بر ضرورت شناسایی و اولویت‌بندی بومی معیارهای انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار تأکید کرده‌اند (Nasri et al., 2023). همین مسئله در صنایع تجهیزات پزشکی نیز دیده می‌شود؛ به‌طوری‌که ترکیب معیارهای سبز و چابکی در ارزیابی تأمین‌کنندگان به‌عنوان یک ضرورت مطرح شده است (Alamroshan et al., 2022). بنابراین، معیارهای مناسب انتخاب تأمین‌کننده باید علاوه بر پشتوانه نظری، با اقتضائات صنعت مورد مطالعه نیز سازگار باشند.

صنعت خودروسازی از این منظر دارای ویژگی‌های متمایزی است. تعداد بالای قطعات، تنوع زیاد تأمین‌کنندگان، وابستگی شدید فرآیند تولید به تحویل به‌موقع، حساسیت کیفیت قطعات، پیچیدگی روابط بلندمدت با تأمین‌کنندگان و آثار گسترده محیط‌زیستی و اجتماعی این صنعت، انتخاب تأمین‌کننده را به یکی از تصمیمات حیاتی مدیریت زنجیره تأمین تبدیل کرده است. طراحی سیستم‌های پشتیبان تصمیم مبتنی بر AHP در صنعت خودرو نشان داده است که ساختاردهی سلسله‌مراتبی معیارها می‌تواند قابلیت تصمیم‌گیری درباره تأمین‌کنندگان را بهبود بخشد و درک روشنی از اولویت نسبی معیارهای مختلف فراهم کند (Dweiri et al., 2016). در ایران نیز مدل‌های تأمین در زنجیره تأمین خودروسازی با توجه به ریسک‌های محیطی و عدم قطعیت مورد بررسی قرار گرفته‌اند و نتایج بر لزوم نظر گرفتن هم‌زمان اهداف چندگانه

و مدیریت ریسک در تأمین تأکید دارد (Azar et al., 2021). به همین ترتیب، اولویت‌بندی شاخص‌های انتخاب تأمین‌کننده در شرایط عدم قطعیت نشان داده است که وزن معیارها می‌تواند متأثر از شرایط عملیاتی، ویژگی‌های صنعت و قضاوت خبرگان باشد (Ebrahimpour, 2021).

در کنار مسائل اقتصادی و فنی، توجه به زنجیره تأمین سبز در صنعت خودرو از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. فعالیت‌های تأمین‌کنندگان می‌تواند بر مصرف منابع، انتشار آلاینده‌ها، میزان ضایعات، بازیافت و شدت مصرف انرژی اثرگذار باشد؛ از این رو، خودروسازان برای تحقق اهداف پایداری ناچارند عملکرد محیط‌زیستی تأمین‌کنندگان را در مرحله انتخاب و ارزیابی وارد کنند. مدل‌های تلفیقی انتخاب تأمین‌کننده سبز نشان داده‌اند که معیارهای محیط‌زیستی باید به صورت نظام‌مند در کنار معیارهای اقتصادی و فنی وارد تصمیم شوند (Lo et al., 2018). همچنین پژوهش‌های مبتنی بر QFD و برنامه‌ریزی فازی نشان داده‌اند که وارد کردن دیدگاه مدیریت در ساختار انتخاب تأمین‌کنندگان سبز می‌تواند رابطه میان نیازهای سازمان و ویژگی‌های تأمین‌کنندگان را بهتر آشکار سازد (Khattak et al., 2022). در سطح زنجیره تأمین حلقه‌بسته نیز مدل‌های چندهدفه با رویکرد انتخاب تأمین‌کننده نشان می‌دهند که تصمیم‌گیری درباره تأمین‌کننده با سیاست‌های بازگشت، بازیافت و بازیابی محصول ارتباط تنگاتنگ دارد (Saadi et al., 2022).

عامل دیگری که بر پیچیدگی این تصمیم می‌افزاید، ارتباط میان انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش است. در بسیاری از مسائل واقعی، صرف انتخاب بهترین تأمین‌کننده کافی نیست، بلکه سازمان باید تعیین کند چه سهمی از سفارش به هر تأمین‌کننده تخصیص یابد. مدل‌های یکپارچه انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش نشان داده‌اند که تلفیق این دو تصمیم می‌تواند به نتایج عملیاتی دقیق‌تر منجر شود (Yazdani et al., 2022). همچنین در سطح جهانی، انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش با هدف ایجاد زنجیره تأمین سازگار با محیط‌زیست مورد بررسی قرار گرفته و ضرورت هماهنگی میان عملکرد اقتصادی و محیط‌زیستی تأمین‌کنندگان مورد تأکید قرار گرفته است (Ali et al., 2022). مدل‌های مبتنی بر اعداد فازی نوع دوم نیز نشان داده‌اند که در چنین تصمیم‌هایی عدم قطعیت قضاوت‌ها باید مستقیماً در مدل لحاظ شود (Keshavarz-Ghorabae, 2023). در محیط‌های پویا نیز استفاده از مدل‌های تخصیص سفارش و انتخاب تأمین‌کننده بر اساس شرایط متغیر تقاضا و ظرفیت می‌تواند انعطاف‌پذیری تصمیم‌گیری را افزایش دهد (Harale et al., 2023).

از منظر روش‌شناختی، پژوهش‌های انتخاب تأمین‌کننده طیف گسترده‌ای از ابزارهای تصمیم‌گیری را به کار گرفته‌اند. روش‌هایی مانند AHP، TOPSIS، DEA، DEMATEL، ANP، SWARA، MABAC و رویکردهای ترکیبی برای تعیین وزن معیارها، تحلیل روابط بین آنها و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده شده‌اند. استفاده هم‌زمان از AHP فازی، TOPSIS فازی و DEA نشان داده است که تلفیق روش‌ها می‌تواند ابعاد مختلف عملکرد تأمین‌کنندگان را پوشش دهد (Deepika et al., 2023). روش‌های ترکیبی دلفی فازی، DEMATEL فازی و ANP فازی نیز برای انتخاب تأمین‌کننده در چارچوب زنجیره تأمین LARG به کار رفته‌اند و نقش ارتباط متقابل معیارها را برجسته کرده‌اند (Sadeghian & Mahdavi Molayemi, 2022). از طرف دیگر، مدل‌های مبتنی بر DEA و شبکه عصبی مصنوعی برای انتخاب تأمین‌کننده تاب‌آور نشان‌دهنده حرکت این حوزه به سمت ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری و هوش مصنوعی هستند (Nazari-Shirkouhi et al., 2023). الگوریتم‌های یادگیری ماشین، از جمله جنگل تصادفی، نیز برای طبقه‌بندی معیارهای انتخاب تأمین‌کننده مورد استفاده قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده توسعه رویکردهای داده‌محور در این حوزه است (Ali et al., 2023).

با وجود این تحولات روش‌شناختی، تعیین درست معیارها همچنان پیش‌نیاز اصلی هر مدل انتخاب تأمین‌کننده است. اگر معیارهای انتخاب‌شده نتوانند ابعاد واقعی مسئله را بازنمایی کنند، پیچیده‌ترین روش‌های محاسباتی نیز به نتایج قابل اتکا منجر نخواهند شد. مطالعات انجام‌شده بر اساس پارادایم‌های ناب، چابک، تاب‌آور و سبز نشان داده‌اند که معیارهای انتخاب تأمین‌کننده باید با جهت‌گیری راهبردی زنجیره تأمین همسو شوند (Sadeghi & Ghassemi, 2021). در صنعت ساخت‌وساز نیز تدوین فهرست معیارهای مبتنی بر اصول ناب و پایداری نشان داده است که معیارهای انتخاب می‌توانند وابسته به زمینه صنعتی باشند و لازم است پیش از وزن‌دهی، به صورت بومی شناسایی و پالایش شوند.

(Küpelı & Sertyeşılışık, 2023). همچنین بهبود فرایند انتخاب تأمین‌کننده لجستیکی با استفاده از Lean Six Sigma نشان داده است که تعریف و بازنگری معیارها می‌تواند به کاهش اتلاف و افزایش کارایی انتخاب منجر شود (Tay & Aw, 2021). از این‌رو، کشف و اعتبارسنجی مؤلفه‌های مناسب پیش از رتبه‌بندی آنها اهمیت اساسی دارد.

در انتخاب معیارهای پایدار، توجه به ساختار سلسله‌مراتبی نیز اهمیت دارد؛ زیرا بسیاری از شاخص‌ها در قالب ابعاد کلان‌تر اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، قانونی و فنی قابل طبقه‌بندی هستند. مدل‌های چندسطحی انتخاب تأمین‌کننده پایدار نشان داده‌اند که ساختاردهی سلسله‌مراتبی می‌تواند از پراکندگی معیارها جلوگیری و تحلیل وزن نسبی ابعاد را تسهیل کند (Yazdani et al., 2021). همچنین استفاده از رویکردهای چندمعیاره برای انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار در شرایط صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی، بر ضرورت سازمان‌دهی معیارها در سطوح مختلف و تلفیق ملاحظات سنتی و نوظهور تأکید کرده است (Xie et al., 2022). مدل‌های تصمیم‌گیری در صنعت خودرو نیز نشان داده‌اند که AHP به دلیل قابلیت ساخت سلسله‌مراتب و استفاده از مقایسات زوجی، ابزار مناسبی برای تعیین اهمیت نسبی معیارهای تأمین‌کننده است (Dweiri et al., 2016). به همین دلیل، رویکردهای فازی مبتنی بر AHP می‌توانند در محیط‌هایی که قضاوت‌های خبرگان دقیقاً قابل بیان با اعداد قطعی نیستند، مزیت بیشتری داشته باشند.

در سال‌های اخیر، توجه به سازگاری زنجیره تأمین با تقاضای بازار نیز گسترش یافته است. برای نمونه، در حوزه خودروهای انرژی نو، مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده مبتنی بر نیاز مشتری و تلفیق هستی‌شناسی، QFD و استدلال مبتنی بر مورد توسعه یافته‌اند که نشان می‌دهد انتخاب تأمین‌کننده باید نه تنها با اهداف درونی سازمان، بلکه با تغییرات تقاضا و الزامات بازار نیز همسو باشد (Zheng et al., 2023). هم‌زمان، مدل‌های جدید انتخاب تأمین‌کننده در صنایع مختلف به‌سوی در نظر گرفتن تعداد بیشتری از ابعاد و عدم قطعیت‌های واقعی حرکت کرده‌اند؛ به‌گونه‌ای که تلفیق پایداری، تاب‌آوری، هوشمندی و قابلیت‌های عملیاتی به یکی از روندهای اصلی این حوزه تبدیل شده است (Becerra & Diaz, 2025; Tavana et al., 2023). با این حال، توسعه مدل‌های بسیار پیچیده بدون شناسایی دقیق مؤلفه‌های مناسب برای محیط مورد مطالعه می‌تواند فاصله میان مدل نظری و کاربرد صنعتی را افزایش دهد.

بررسی مطالعات موجود همچنین نشان می‌دهد که با وجود حجم قابل توجه تحقیقات در زمینه انتخاب تأمین‌کننده، هنوز درباره ترکیب دقیق معیارها، وزن نسبی ابعاد و اولویت عوامل در صنایع و کشورها توافق واحدی وجود ندارد. تفاوت در ساختار بازار، مقررات، سطح فناوری، شرایط اقتصادی، فشارهای محیط‌زیستی، ماهیت محصول و سیاست‌های سازمانی موجب می‌شود وزن و اهمیت معیارها از یک محیط به محیط دیگر تغییر کند. مدل‌های بهینه‌سازی مقاوم در شرایط خرید ناب نیز نشان داده‌اند که عدم قطعیت می‌تواند ساختار ترجیحات نسبت به تأمین‌کنندگان را تغییر دهد (Babaei & Omrani, 2017). از سوی دیگر، مطالعات مربوط به تأمین جهانی نشان داده‌اند که گستره جغرافیایی و الزامات محیط‌زیستی می‌توانند معیارهای تصمیم‌گیری را پیچیده‌تر کنند (Ali et al., 2022). پژوهش‌های داخلی در زمینه اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان نیز بر اهمیت انطباق شاخص‌ها با ویژگی‌های خاص محیط سازمانی تأکید دارند (Ebrahimpour Azbari et al., 2021; Nasri et al., 2023).

در مجموع، ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که انتخاب تأمین‌کننده پایدار یک مسئله چندبعدی، پیچیده و زمینه‌محور است و دستیابی به تصمیم مناسب مستلزم شناسایی دقیق معیارهای اثرگذار، پالایش آنها با استفاده از قضاوت متخصصان و سپس تعیین اهمیت نسبی هر بعد است. مطالعات گذشته ابزارها و چارچوب‌های متنوعی برای ارزیابی تأمین‌کنندگان ارائه کرده‌اند، اما تفاوت شرایط صنعت خودروسازی ایران، پیچیدگی ساختار تأمین، محدودیت‌های اقتصادی و قانونی، الزامات محیط‌زیستی و اهمیت قابلیت‌های فنی و سازمانی موجب می‌شود استفاده مستقیم از مدل‌های عمومی بدون بومی‌سازی کافی نباشد. افزون بر این، بخش مهمی از مطالعات پیشین بر رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان یا توسعه مدل‌های ریاضی تمرکز داشته‌اند، در حالی که شناسایی و سازمان‌دهی نظام‌مند مؤلفه‌های بومی برنامه‌ریزی و انتخاب تأمین‌کننده و تعیین وزن ابعاد

اصلی آنها در بستر صنعت خودروسازی همچنان نیازمند بررسی بیشتر است. از این رو، ترکیب یک مرحله کیفی برای کشف و پالایش مؤلفه‌ها با یک رویکرد AHP فازی برای تعیین اولویت نسبی ابعاد می‌تواند چارچوبی متناسب با ماهیت مسئله و قضاوت خبرگان فراهم کند. بنابراین، هدف پژوهش حاضر کشف، دسته‌بندی و رتبه‌بندی مؤلفه‌های الگوی برنامه‌ریزی و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین پایدار با تمرکز بر صنعت خودروسازی و مطالعه موردی شرکت سایپا است.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نظر هدف، توسعه‌ای - کاربردی و از نظر ماهیت و نحوه دستیابی به داده‌ها، پژوهشی اکتشافی است که با تمرکز بر کشف و اولویت‌بندی مؤلفه‌های مؤثر بر برنامه‌ریزی و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین پایدار صنعت خودروسازی انجام شد. در این پژوهش، ابتدا از یک رویکرد کیفی برای شناسایی و تدوین مؤلفه‌ها، معیارها و زیرمعیارهای مرتبط با انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار استفاده شد و پس از نهایی‌شدن ساختار مفهومی، مؤلفه‌های شناسایی‌شده با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) وزن‌دهی و رتبه‌بندی شدند. پژوهش از نظر فلسفه تحقیق بر رویکرد عمل‌گرایانه استوار بود؛ زیرا مسئله پژوهش ماهیتی کاربردی و تصمیم‌محور داشت و هدف اصلی آن دستیابی به مجموعه‌ای از معیارهای قابل استفاده برای تصمیم‌گیری در زمینه برنامه‌ریزی و انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار در صنعت خودروسازی بود. از نظر منطق پژوهش نیز رویکردی استقرایی اتخاذ شد؛ به این معنا که ساختار اولیه مدل بر اساس بررسی نظام‌مند مبانی نظری، مطالعات پیشین، مستندات سازمانی و دیدگاه‌های خبرگان شکل گرفت و سپس روابط سلسله‌مراتبی میان مؤلفه‌های اصلی و زیرمؤلفه‌ها تدوین شد. راهبرد پژوهش، مطالعه موردی بود و شرکت خودروسازی سایپا به‌عنوان بستر مورد مطالعه در نظر گرفته شد. همچنین پژوهش از نظر افق زمانی، مقطعی بود و داده‌های مورد نیاز در یک دوره مشخص از خبرگان مرتبط با حوزه زنجیره تأمین، تأمین و خرید، مدیریت تولید، مدیریت کیفیت، لجستیک، محیط‌زیست و پایداری گردآوری شد.

جامعه مشارکت‌کنندگان پژوهش را مدیران، کارشناسان ارشد، متخصصان دانشگاهی و خبرگان دارای تجربه مرتبط با مدیریت زنجیره تأمین، ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان، مدیریت خرید، صنعت خودرو و پایداری تشکیل دادند. انتخاب مشارکت‌کنندگان به شیوه نمونه‌گیری هدفمند و بر مبنای معیار تخصص انجام گرفت تا افرادی وارد مطالعه شوند که از دانش نظری و تجربه عملی کافی در موضوع پژوهش برخوردار باشند. معیارهای اصلی ورود به مطالعه شامل برخورداری از حداقل مدرک کارشناسی ارشد در حوزه‌های مدیریت، مهندسی صنایع، مدیریت زنجیره تأمین یا حوزه‌های مرتبط، حداقل پنج سال سابقه حرفه‌ای یا پژوهشی مرتبط با صنعت خودرو یا مدیریت تأمین‌کنندگان، آشنایی با مباحث زنجیره تأمین پایدار و برخورداری از تجربه در ارزیابی، برنامه‌ریزی یا انتخاب تأمین‌کنندگان بود. در بخش کیفی، مصاحبه‌ها با ۱۵ نفر از خبرگان واجد شرایط انجام شد و فرایند گردآوری داده‌ها تا دستیابی به اشباع مفهومی، یعنی زمانی که مصاحبه‌های جدید منجر به ظهور مفهوم یا مؤلفه جدیدی نمی‌شد، ادامه یافت. برای اجرای بخش AHP نیز از خبرگان واجد صلاحیت همین حوزه استفاده شد و پرسشنامه مقایسات زوجی در اختیار آنان قرار گرفت تا اهمیت نسبی مؤلفه‌ها و زیرمؤلفه‌های نهایی‌شده بر اساس قضاوت تخصصی آنان تعیین شود. استفاده از خبرگان دارای سوابق علمی و اجرایی مرتبط موجب شد ساختار نهایی پژوهش هم از منظر نظری و هم از منظر الزامات اجرایی صنعت خودروسازی قابل تفسیر باشد.

گردآوری داده‌های پژوهش در دو مرحله اصلی انجام شد. در مرحله کیفی، ابزار اصلی گردآوری داده‌ها مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با خبرگان بود. چارچوب اولیه مصاحبه با استفاده از بررسی پیشینه پژوهش و مطالعات مرتبط با انتخاب تأمین‌کننده پایدار تدوین شد و محورهای مصاحبه به‌گونه‌ای تنظیم گردید که دیدگاه خبرگان درباره ابعاد اقتصادی، عملیاتی، زیست‌محیطی، اجتماعی، مدیریتی و سازمانی مؤثر بر برنامه‌ریزی و انتخاب تأمین‌کنندگان شناسایی شود. در آغاز مصاحبه، پرسش‌های کلی درباره معیارهای ضروری برای انتخاب یک تأمین‌کننده مناسب در زنجیره تأمین پایدار مطرح شد و سپس با استفاده از پرسش‌های کاوشگر، ابعاد، مصادیق و زیرمؤلفه‌های هر معیار مورد بررسی عمیق‌تر قرار

گرفت. مجموعه اولیه مفاهیم استخراج شده از ادبیات شامل معیارهایی مانند هزینه، کیفیت، تحویل و خدمات، انعطاف پذیری، پایداری مالی، سیستم مدیریت محیط زیستی، طراحی محصولات سبز، حمل و نقل سبز، فناوری سبز، کنترل انتشار آلاینده ها، گزارش کرین، مدیریت چرخه عمر محصول، آموزش مدیریت کرین، حقوق کارکنان، ایمنی و سلامت شغلی، مسئولیت اجتماعی، مشارکت در فعالیت های بشردوستانه، استفاده از مواد اولیه سازگار با محیط زیست، رعایت استانداردهای محیط زیستی در فرایند تولید، مدیریت آلودگی ناشی از بازیافت، استفاده از فناوری های پاک، یکپارچگی مدیریتی، ثبات و قابلیت اطمینان سازمانی، هماهنگی با نهادهای دولتی، تعهد به قوانین، مدیریت فاضلاب و منابع آب، حفاظت از پوشش گیاهی و تنوع زیستی، اطلاع رسانی زیست محیطی، انجام بازرسی های زیست محیطی منظم، توسعه منطقه ای متعادل، اعتبار و خوشنامی اقتصادی، درآمدزایی و دفع مسئولانه ضایعات بود. این فهرست صرفاً به عنوان چارچوب اولیه برای هدایت مصاحبه ها به کار رفت و مشارکت کنندگان امکان افزودن، حذف، ادغام یا اصلاح مؤلفه ها را بر اساس تجربه و دانش تخصصی خود داشتند.

مصاحبه ها با رضایت مشارکت کنندگان ثبت و سپس به صورت کامل پیاده سازی شد. برای افزایش اعتبار داده های کیفی، تلاش شد مشارکت کنندگانی با تنوع مناسب از نظر سابقه اجرایی، تخصص حرفه ای و تجربه مرتبط با مدیریت تأمین کنندگان انتخاب شوند. همچنین مفاهیم استخراج شده چندین بار با متن مصاحبه ها تطبیق داده شد و ساختار اولیه مؤلفه ها برای تعدادی از خبرگان ارائه گردید تا میزان انطباق آن با دیدگاه های بیان شده مورد بررسی قرار گیرد. قابلیت اعتماد یافته های کیفی از طریق بازبینی مکرر داده ها، تطبیق کدها با محتوای مصاحبه ها و بررسی ساختار نهایی مؤلفه ها توسط افراد آشنا با موضوع پژوهش تقویت شد. در نهایت، مجموعه مفاهیم مشابه ادغام و مؤلفه ها و زیرمؤلفه های نهایی در قالب یک ساختار سلسله مراتبی شامل هدف اصلی، معیارهای اصلی و زیرمعیارهای متناظر سازمان دهی شدند.

پس از نهایی شدن مؤلفه ها، ابزار مرحله دوم یک پرسشنامه مقایسات زوجی مبتنی بر فرایند تحلیل سلسله مراتبی بود. در این پرسشنامه، معیارهای هر سطح از ساختار سلسله مراتبی به صورت دوهو با یکدیگر مقایسه شدند و خبرگان میزان برتری یا اهمیت هر معیار را نسبت به معیار دیگر تعیین کردند. برای ثبت قضاوت ها از مقیاس استاندارد نه درجه ای ساعتی استفاده شد؛ به گونه ای که عدد ۱ نشان دهنده اهمیت برابر دو معیار و مقادیر ۳، ۵، ۷ و ۹ به ترتیب بیانگر ترجیح متوسط، قوی، بسیار قوی و مطلق یک معیار نسبت به معیار دیگر بود و مقادیر ۲، ۴، ۶ و ۸ نیز برای قضاوت های بینابینی مورد استفاده قرار گرفتند. در مواردی که معیار دوم نسبت به معیار اول ارجح بود، مقدار معکوس عدد متناظر در ماتریس مقایسات زوجی ثبت شد. ساختار پرسشنامه به گونه ای طراحی شد که ابتدا مقایسات زوجی میان مؤلفه های اصلی و سپس مقایسات زوجی میان زیرمؤلفه های متعلق به هر مؤلفه اصلی انجام شود. روایی محتوایی این ابزار از طریق تطبیق مستقیم گویه ها و مقایسات زوجی با ساختار حاصل از بخش کیفی و بازبینی آن توسط خبرگان تأمین شد.

تحلیل داده ها در مرحله نخست با استفاده از تحلیل محتوای کیفی انجام شد. برای این منظور، متن پیاده شده مصاحبه ها چندین بار مطالعه و واحدهای معنایی مرتبط با برنامه ریزی و انتخاب تأمین کنندگان پایدار مشخص شد. سپس مفاهیم اولیه از متن استخراج و به صورت کدهای اولیه ثبت شدند. کدهایی که از نظر معنا و مفهوم دارای شباهت بودند در قالب زیرمؤلفه ها دسته بندی و زیرمؤلفه های مرتبط نیز در سطوح بالاتر تحت عنوان مؤلفه های اصلی سازمان دهی شدند. در طول تحلیل، فرایند مقایسه مستمر میان کدها، مفاهیم و متن اصلی مصاحبه ها انجام گرفت تا از همپوشانی غیرضروری مفاهیم جلوگیری و مرز مفهومی میان مؤلفه ها مشخص شود. علاوه بر داده های حاصل از مصاحبه، نتایج بررسی مبانی نظری و مستندات مرتبط نیز برای تفسیر و تکمیل مفاهیم مورد استفاده قرار گرفت. فرایند تحلیل تا زمانی ادامه یافت که ساختار مفهومی منسجمی از عوامل مؤثر بر برنامه ریزی و انتخاب تأمین کنندگان پایدار حاصل شد و مؤلفه جدیدی از داده های مصاحبه استخراج نشد. محصول این مرحله، یک ساختار سلسله مراتبی از مؤلفه ها و زیرمؤلفه های مرتبط با انتخاب تأمین کننده پایدار بود که مبنای ورود به مرحله اولویت بندی قرار گرفت.

در مرحله دوم، برای تعیین اهمیت نسبی و رتبه بندی مؤلفه ها و زیرمؤلفه ها از فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. ابتدا مسئله تصمیم گیری در قالب یک سلسله مراتب شامل هدف اصلی پژوهش در سطح نخست، مؤلفه های اصلی در سطح دوم و زیرمؤلفه های هر معیار در سطوح بعدی

تنظیم شد. سپس بر اساس پاسخ‌های خبرگان، ماتریس‌های مقایسات زوجی تشکیل گردید. در موارد وجود بیش از یک خبره، قضاوت‌های فردی با استفاده از میانگین هندسی تجمیع شد؛ زیرا میانگین هندسی با ماهیت نسبتی مقیاس AHP و ویژگی متقابل ماتریس مقایسات زوجی سازگار است. پس از تشکیل ماتریس تجمیعی، وزن نسبی هر یک از معیارها از طریق نرمال‌سازی ماتریس و استخراج بردار اولویت محاسبه شد. در ادامه، وزن محلی هر زیرمؤلفه درون مؤلفه اصلی مربوط به خود تعیین شد و برای دستیابی به وزن نهایی، وزن محلی هر زیرمؤلفه در وزن معیار بالادستی آن ضرب گردید. بدین ترتیب وزن کلی تمامی مؤلفه‌ها و زیرمؤلفه‌های مدل محاسبه و رتبه نهایی آنها مشخص شد؛ به‌طوری‌که معیار دارای وزن بیشتر به‌عنوان مؤلفه دارای اولویت بالاتر در برنامه‌ریزی و انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار در نظر گرفته شد. برای کنترل منطقی بودن قضاوت‌های خبرگان، سازگاری هر یک از ماتریس‌های مقایسات زوجی بررسی شد. برای این منظور، ابتدا بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس محاسبه و سپس شاخص ناسازگاری تعیین شد. در ادامه، نسبت ناسازگاری از تقسیم شاخص ناسازگاری بر شاخص تصادفی متناظر با ابعاد ماتریس، یعنی $(GR=CI/RI)$ ، به دست آمد. نسبت ناسازگاری کمتر از ۰.۱۰ به‌عنوان سطح قابل قبول سازگاری قضاوت‌ها در نظر گرفته شد. در صورتی که مقدار نسبت ناسازگاری یک ماتریس از حد قابل قبول فراتر می‌رفت، مقایسات مربوطه برای بازبینی در اختیار خبره قرار می‌گرفت تا ناسازگاری قضاوت‌ها کاهش یابد. در نهایت، بر اساس وزن‌های نهایی حاصل از AHP، مؤلفه‌ها و زیرمؤلفه‌های الگوی برنامه‌ریزی و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین پایدار از بیشترین تا کمترین اهمیت رتبه‌بندی شدند. کلیه مراحل تحلیل به‌گونه‌ای طراحی شد که خروجی نهایی پژوهش ضمن برخورداری از پشتوانه کیفی حاصل از دیدگاه خبرگان، امکان تعیین اهمیت نسبی و اولویت عملی مؤلفه‌ها را نیز در محیط صنعت خودروسازی فراهم سازد.

یافته‌ها

در مرحله نخست، بر اساس مرور ادبیات موضوع، بررسی مطالعات پیشین و دریافت نظر خبرگان، فهرست اولیه‌ای شامل ۳۵ عامل مؤثر بر انتخاب تأمین‌کننده پایدار در صنعت خودروسازی و به‌طور خاص شرکت سایپا استخراج شد. به‌منظور پالایش این عوامل و دستیابی به مجموعه‌ای مورد توافق خبرگان، فرایند نظرخواهی خبرگی در سه مرحله انجام گرفت. پرسشنامه اولیه بر مبنای مقیاس پنج‌درجه‌ای لیکرت تنظیم شد و خبرگان میزان اهمیت هر عامل را ارزیابی کردند. علاوه بر گویه‌های بسته، امکان ارائه پیشنهاد برای اصلاح، ادغام یا افزودن عوامل نیز فراهم شد. تمام پرسشنامه‌های توزیع‌شده تکمیل و گردآوری شدند و پیگیری پاسخ‌ها از طریق تماس تلفنی صورت گرفت. پیش از تحلیل میانگین پاسخ‌ها، توزیع داده‌ها از نظر چولگی و کشیدگی بررسی شد. با توجه به ماهیت داده‌های حاصل از طیف لیکرت، ملاک بررسی نرمال بودن، قرار گرفتن مقادیر چولگی و کشیدگی در دامنه ۲- تا ۲ در نظر گرفته شد. همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، چولگی تمامی متغیرها بین ۰.۹۷۶- و ۰.۸۶۸ و کشیدگی آنها بین ۰.۹۹۱- و ۰.۹۹۲ قرار داشت. بنابراین هیچ‌یک از شاخص‌ها از حدود مورد قبول خارج نبودند و توزیع داده‌ها برای انجام تحلیل‌های مورد نظر مناسب ارزیابی شد.

جدول ۱. بررسی نرمال بودن عوامل اولیه مؤثر بر انتخاب تأمین‌کننده پایدار

عامل	چولگی	کشیدگی
هزینه	۰.۶۸۱	۰.۲۰۴
کیفیت	۰.۴۹۱-	۰.۴۷۴-
تحویل و خدمات	۰.۶۲۸	۰.۳۰۸
انعطاف‌پذیری	۰.۵۱۳-	۰.۳۷۸
پایداری مالی	۰.۸۵۸	۰.۴۹۶
سیستم مدیریت محیطی	۰.۳۰۰-	۰.۰۹۸-
طراحی محصولات سبز	۰.۶۰۶-	۰.۸۳۲-
حمل و نقل سبز	۰.۴۹۷-	۰.۵۴۲-

۰.۸۲۶	۰.۲۳۲	تکنولوژی سبز
۰.۶۹۵-	۰.۰۵۳-	اثرات انتشار آلاینده‌ها
۰.۶۵۱	۰.۲۹۶-	گزارش کربن
۰.۰۷۶	۰.۶۶۱	مدیریت دوره عمر محصول
۰.۹۹۲	۰.۱۷۰	آموزش در رابطه با مدیریت کربن
۰.۸۴۳-	۰.۰۹۹	حقوق کارکنان
۰.۱۱۴-	۰.۸۳۴	سیستم امنیت و سلامت شغلی
۰.۷۸۶-	۰.۴۲۸-	حقوق و مسئولیت اجتماعی
۰.۹۲۳	۰.۵۱۴	شرکت در کارهای بشردوستانه
۰.۹۹۱-	۰.۵۰۷	مواد اولیه دوست‌دار محیط زیست
۰.۵۴۹	۰.۲۳۹-	رعایت استانداردهای محیطی در پروسه تولید
۰.۶۳۴	۰.۱۳۵	نتایج آلودگی هوا در اثر بازیافت
۰.۷۳۷	۰.۸۴۸-	استفاده از تکنولوژی‌های پاک برای بازیافت
۰.۸۳۱-	۰.۸۹۲-	یکپارچگی مدیریت و چشم‌انداز
۰.۲۰۰-	۰.۰۶۱	ثبات سیاسی
۰.۴۸۰-	۰.۵۵۸	هماهنگی با بخش‌های دولتی
۰.۶۰۰	۰.۸۶۸	تعهد کامل به قوانین
۰.۱۳۷-	۰.۷۴۰-	عدم سوءپیشینه مدیریت و کارکنان
۰.۸۲۱	۰.۱۳۷	سیستم تخلیه فاضلاب
۰.۶۳۶-	۰.۰۶۱-	مدیریت منابع آبی
۰.۴۷۲-	۰.۹۷۶-	عدم صدمه به پوشش گیاهی منطقه و گونه‌های جانوری بر اثر ایجاد ساختمان و تسهیلات
۰.۷۰۸-	۰.۳۲۵-	ابلاغ پیام‌های زیست‌محیطی به کارکنان و جامعه
۰.۷۲۷-	۰.۶۷۵-	انجام بازرسی زیست‌محیطی به‌طور منظم
۰.۷۳۸	۰.۵۸۸	توسعه منطقه‌ای متعادل
۰.۱۵۹	۰.۳۷۷-	اعتبار و خوشنامی اقتصادی
۰.۰۹۹	۰.۰۵۷	درآمدزایی
۰.۷۱۰-	۰.۶۶۸-	دفع ضایعات اجتناب‌ناپذیر به‌طور مسئولانه

پس از گردآوری پرسشنامه‌های مرحله نخست، میانگین ارزیابی خبرگان برای تمامی ۳۵ عامل محاسبه شد. ملاک حفظ یک عامل، برخورداری از میانگین بیشتر از ۳ بود. نتایج نشان داد پنج عامل «آموزش در رابطه با مدیریت کربن» با میانگین ۲.۴۶، «نتایج آلودگی هوا در اثر بازیافت» با میانگین ۲.۶۴، «استفاده از تکنولوژی‌های پاک برای بازیافت» با میانگین ۲.۳۶، «ثبات سیاسی» با میانگین ۲.۵۴ و «سیستم تخلیه فاضلاب» با میانگین ۲.۵۶ نتوانستند حد نصاب مورد نظر را کسب کنند و از ادامه فرایند حذف شدند. در نتیجه، ۳۰ عامل وارد مرحله دوم شدند.

در مرحله دوم، پرسشنامه جدید بر اساس ۳۰ عامل باقی‌مانده تدوین شد و مجدداً در اختیار خبرگان قرار گرفت. برای افزایش دقت قضاوت‌ها، مفاهیم عوامل برای خبرگان تشریح و از آنها خواسته شد با تمرکز بر مهم‌ترین و مؤثرترین معیارهای انتخاب تأمین‌کننده پایدار، ارزیابی خود را انجام دهند. مهلت پاسخ‌گویی مرحله دوم ده روز تعیین شد. در این مرحله، تمامی ۳۰ عامل میانگین بیش از ۳ به دست آوردند و بنابراین همگی به مرحله سوم انتقال یافتند.

در مرحله سوم، نتایج مرحله قبل در اختیار خبرگان قرار گرفت و از آنها خواسته شد با توجه به همپوشانی احتمالی برخی مفاهیم، قضاوت‌های خود را بازبینی کنند. نتایج این مرحله نشان داد پنج عامل «مدیریت منابع آبی» با میانگین ۲.۹۸، «عدم صدمه به پوشش گیاهی منطقه و گونه‌های جانوری بر اثر ایجاد ساختمان و تسهیلات» با میانگین ۲.۴۳، «ابلاغ پیام‌های زیست‌محیطی به کارکنان و جامعه» با میانگین ۲.۸۷ و

«درآمدزایی» با میانگین ۲۰۹۸ از حد نصاب ۳ پایین تر بودند. همچنین «عدم سوءپیشینه مدیریت و کارکنان» با میانگین ۳۰۶ در ارزیابی نهایی در مجموعه عوامل نهایی حفظ نشد. در نتیجه، ۲۵ عامل به عنوان عوامل نهایی الگوی انتخاب تأمین کننده پایدار شناسایی شدند. نتایج سه مرحله به صورت تجمیعی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. میانگین ارزیابی عوامل در مراحل سه گانه پالایش خبرگی

عامل	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	وضعیت نهایی
هزینه	۴۵۰	۴۰۴	۴۰۲	حفظ شد
کیفیت	۴۶۲	۴۹۶	۴۹۶	حفظ شد
تحويل و خدمات	۴۴۶	۴۰۴	۴۰۴	حفظ شد
انعطاف پذیری	۴۵۸	۴۹۶	۴۹۶	حفظ شد
پایداری مالی	۴۵۶	۴۰۶	۴۰۴	حفظ شد
سیستم مدیریت محیطی	۴۴۶	۴۹۶	۴۹۶	حفظ شد
طراحی محصولات سبز	۴۴۸	۴۰۸	۴۰۰	حفظ شد
حمل و نقل سبز	۴۴۲	۴۹۶	۴۹۸	حفظ شد
تکنولوژی سبز	۴۴۲	۴۹۶	۴۰۴	حفظ شد
اثرات انتشار آلاینده ها	۴۴۲	۴۰۸	۴۰۰	حفظ شد
گزارش کرین	۴۴۶	۳۱۰	۴۹۸	حفظ شد
مدیریت دوره عمر محصول	۴۵۸	۴۰۸	۴۹۶	حفظ شد
آموزش در رابطه با مدیریت کرین	۲۴۶	—	—	حذف شد
حقوق کارکنان	۴۵۰	۴۰۸	۴۹۸	حفظ شد
سیستم امنیت و سلامت شغلی	۴۴۸	۴۰۸	۴۰۸	حفظ شد
حقوق و مسئولیت اجتماعی	۴۵۸	۳۹۳	۴۰۲	حفظ شد
شرکت در کارهای بشردوستانه	۴۴۶	۴۵۸	۴۲۰	حفظ شد
مواد اولیه دوستدار محیط زیست	۴۵۸	۴۰۸	۴۰۴	حفظ شد
رعایت استانداردهای محیطی در پروسه تولید	۴۴۸	۴۰۸	۴۰۶	حفظ شد
نتایج آلودگی هوا در اثر بازیافت	۲۶۴	—	—	حذف شد
استفاده از تکنولوژی های پاک برای بازیافت	۲۳۶	—	—	حذف شد
یکپارچگی مدیریت و چشم انداز	۴۴۴	۴۰۸	۴۰۴	حفظ شد
ثبات سیاسی	۲۵۴	—	—	حذف شد
هماهنگی با بخش های دولتی	۴۴۲	۴۴۸	۴۰۰	حفظ شد
تعهد کامل به قوانین	۴۴۸	۳۰۸	۴۰۲	حفظ شد
عدم سوءپیشینه مدیریت و کارکنان	۴۵۶	۴۰۶	۳۰۶	حذف نهایی
سیستم تخلیه فاضلاب	۲۵۶	—	—	حذف شد
مدیریت منابع آبی	۴۵۰	۴۹۶	۲۹۸	حذف شد
عدم صدمه به پوشش گیاهی منطقه و گونه های جانوری بر اثر ایجاد ساختمان و تسهیلات	۴۵۲	۴۴۲	۲۴۳	حذف شد

حذف شد	۲.۸۷	۴.۴۸	۴.۵۸	ابلاغ پیام‌های زیست‌محیطی به کارکنان و جامعه
حفظ شد	۴.۱۲	۴.۱۰	۴.۴۸	انجام بازرسی زیست‌محیطی به‌طور منظم
حفظ شد	۴.۲۰	۳.۰۶	۴.۴۲	توسعه منطقه‌ای متعادل
حفظ شد	۴.۰۶	۴.۰۸	۴.۵۰	اعتبار و خوشنامی اقتصادی
حذف شد	۲.۹۸	۴.۰۸	۴.۴۸	درآمذزایی
حفظ شد	۴.۲۰	۴.۰۴	۴.۴۶	دفع ضایعات اجتناب‌ناپذیر به‌طور مسئولانه

به‌منظور بررسی میزان توافق میان خبرگان، ضریب هماهنگی کندال در هر سه مرحله محاسبه شد. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد ضریب کندال از ۰.۸۰۷ در مرحله نخست به ۰.۸۲۲ در مرحله دوم و ۰.۸۴۹ در مرحله سوم افزایش یافت. سطح معناداری در هر سه مرحله کمتر از ۰.۰۰۱ بود. بنابراین، توافق خبرگان در تمامی مراحل از سطح بالایی برخوردار بود و روند افزایشی ضریب کندال نیز نشان‌دهنده افزایش همگرایی قضاوت‌ها در طول فرایند پالایش معیارها بود. افزایش ضریب از مرحله اول به دوم ۰.۰۱۵ و از مرحله دوم به سوم ۰.۰۲۷ بود. بر اساس داده‌های اولیه ارائه‌شده نیز میزان بهبود مرحله دوم نسبت به مرحله اول ۰.۰۲۱ و بهبود مرحله سوم نسبت به مرحله دوم ۰.۰۲۷ گزارش شده بود.

جدول ۳. ضریب هماهنگی کندال و میزان اجماع خبرگان در مراحل پالایش

مرحله	تعداد عوامل	ضریب کندال	توصیف اجماع	سطح معناداری
مرحله اول	۳۵	۰.۸۰۷	قوی	۰.۰۰۱>
مرحله دوم	۳۰	۰.۸۲۲	بسیار قوی	۰.۰۰۱>
مرحله سوم	۳۰	۰.۸۴۹	بسیار قوی	۰.۰۰۱>

در مجموع، پس از تکمیل سه مرحله پالایش، ۲۵ عامل به‌عنوان مؤلفه‌های نهایی انتخاب تأمین‌کننده پایدار شناسایی شدند. بر اساس شباهت مفهومی عوامل و نظر خبرگان، این عوامل در پنج بعد اصلی اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی، قانونی و فنی و سازمانی طبقه‌بندی شدند. بعد اقتصادی شامل سه عامل، بعد زیست‌محیطی شامل شش عامل، بعد اجتماعی شامل پنج عامل، بعد قانونی شامل سه عامل و بعد فنی و سازمانی شامل هشت عامل بود. ساختار نهایی مدل در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴. ابعاد و مؤلفه‌های نهایی الگوی انتخاب تأمین‌کننده پایدار

بعد اصلی	عوامل فرعی
اقتصادی	هزینه؛ پایداری مالی؛ اعتبار و خوشنامی اقتصادی
زیست‌محیطی	سیستم مدیریت محیطی؛ اثرات انتشار آلاینده‌ها؛ گزارش کربن؛ دفع ضایعات اجتناب‌ناپذیر به‌طور مسئولانه؛ مواد اولیه دوست‌دار محیط زیست؛ انجام بازرسی زیست‌محیطی به‌طور منظم
اجتماعی	سیستم امنیت و سلامت شغلی؛ حقوق و مسئولیت اجتماعی؛ شرکت در کارهای بشردوستانه؛ توسعه منطقه‌ای متعادل؛ حقوق کارکنان
قانونی	هماهنگی با بخش‌های دولتی؛ تعهد کامل به قوانین؛ رعایت استانداردهای محیطی در پروسه تولید
فنی و سازمانی	کیفیت؛ تحویل و خدمات؛ انعطاف‌پذیری؛ یکپارچگی مدیریت و چشم‌انداز؛ تکنولوژی سبز؛ طراحی محصولات سبز؛ حمل و نقل سبز؛ مدیریت دوره عمر محصول

پس از تعیین ساختار نهایی عوامل، مرحله وزن دهی و اولویت بندی با استفاده از AHP فازی انجام شد. برای این منظور، پرسشنامه مقایسات زوجی در اختیار ۱۰ نفر از خبرگان قرار گرفت. پاسخ های خبرگان به اعداد فازی مثلثی متناظر تبدیل و سپس دیدگاه های آنان تجمیع شد. برای ارزیابی سازگاری مقایسات زوجی، از روش گاگوس و بوچر استفاده شد. در این روش، ماتریس فازی اولیه به دو ماتریس AM و AG تبدیل شد؛ ماتریس AM از مقادیر میانی ترجیحات فازی و ماتریس AG از میانگین کران های بالا و پایین اعداد فازی تشکیل شد. ماتریس AM نشان داد بعد اقتصادی در مقایسه با بعد اجتماعی، زیست محیطی و فنی و سازمانی دارای مقدار ترجیح ۲ و در مقایسه با بعد قانونی دارای ترجیح ۴ بود. ساختار کامل این ماتریس در جدول ۵ گزارش شده است.

جدول ۵. ماتریس مقایسات زوجی AM و وزن نسبی ابعاد

بعد	اقتصادی	اجتماعی	زیست محیطی	قانونی	فنی و سازمانی	وزن نسبی
اقتصادی	۱.۰۰۰	۲.۰۰۰	۲.۰۰۰	۴.۰۰۰	۲.۰۰۰	۰.۳۶۰
اجتماعی	۰.۵۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۹۰۰	۱.۰۰۰	۰.۱۷۸
زیست محیطی	۰.۵۰۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۵۰۰	۲.۰۰۰	۰.۱۹۳
قانونی	۰.۲۵۲	۰.۵۳۳	۰.۶۶۷	۱.۰۰۰	۲.۴۰۰	۰.۱۴۳
فنی و سازمانی	۰.۵۰۰	۱.۰۰۰	۰.۵۰۰	۰.۴۵۰	۱.۰۰۰	۰.۱۲۶

پس از نرمال سازی ماتریس AM، سطر اقتصادی به ترتیب مقادیر ۰.۳۶۳، ۰.۳۶۱، ۰.۳۸۷، ۰.۴۵۲ و ۰.۲۳۸ را به خود اختصاص داد و وزن نسبی آن ۰.۳۶۰ به دست آمد. مقادیر متناظر برای بعد اجتماعی ۰.۱۸۲، ۰.۱۸۱، ۰.۱۹۴، ۰.۲۱۵ و ۰.۱۱۹ با وزن ۰.۱۷۸؛ برای بعد زیست محیطی ۰.۱۸۲، ۰.۱۸۱، ۰.۱۹۴، ۰.۱۶۹ و ۰.۲۳۸ با وزن ۰.۱۹۳؛ برای بعد قانونی ۰.۰۹۱، ۰.۰۹۶، ۰.۱۲۹، ۰.۱۱۳ و ۰.۲۸۶ با وزن ۰.۱۴۳؛ و برای بعد فنی و سازمانی ۰.۱۸۲، ۰.۱۸۱، ۰.۰۹۷، ۰.۰۵۱ و ۰.۱۱۹ با وزن ۰.۱۲۶ بود.

برای ماتریس AM، حاصل ضرب ماتریس در بردار وزن نسبی برای ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی، قانونی و فنی و سازمانی به ترتیب ۱.۹۲۶، ۰.۹۴۹، ۰.۸۱۷، ۰.۷۵۹ و ۰.۶۴۵ به دست آمد و مقادیر بردار ویژه به ترتیب ۵.۳۴۴، ۵.۳۳۳، ۴.۲۳۹، ۵.۳۰۴ و ۵.۱۲۶ بود. میانگین بردارهای ویژه برابر با $\lambda_{max}=5.0693$ به دست آمد. بنابراین شاخص ناسازگاری از رابطه زیر محاسبه شد:

$$CI = (5.0693 - 5) / 4 = 0.0173$$

با توجه به اینکه مقدار $RI(M)$ برای پنج معیار برابر با ۱.۰۷ بود، نسبت ناسازگاری ماتریس AM برابر شد با:

$$CR_M = 0.0173 / 1.07 = 0.0162$$

از آنجا که مقدار ۰.۰۱۶۲ کمتر از ۰.۱۰ بود، قضاوت های مربوط به ماتریس AM از سازگاری قابل قبول برخوردار بودند. ماتریس AG نیز بر اساس میانگین کران بالایی و پایینی اعداد فازی تشکیل شد که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶. ماتریس مقایسات زوجی AG و وزن نسبی ابعاد

بعد	اقتصادی	اجتماعی	زیست محیطی	قانونی	فنی و سازمانی	وزن نسبی
اقتصادی	۱.۰۰۰	۱.۵۰۰	۱.۵۰۰	۳.۷۵۰	۱.۵۰۰	۰.۳۱۶
اجتماعی	۰.۶۶۷	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۴۵۰	۱.۰۰۰	۰.۱۸۴
زیست محیطی	۰.۶۶۷	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۱.۲۵۰	۱.۵۰۰	۰.۱۹۴
قانونی	۰.۲۶۷	۰.۶۹۳	۰.۸۰۰	۱.۰۰۰	۱.۹۵۰	۰.۱۵۶
فنی و سازمانی	۰.۶۶۷	۱.۰۰۰	۰.۶۶۷	۰.۵۸۷	۱.۰۰۰	۰.۱۵۰

پس از نرمال سازی ماتریس AG، مقادیر نرمال شده برای بعد اقتصادی به ترتیب ۰.۳۰۶، ۰.۲۸۹، ۰.۳۰۲، ۰.۴۶۷ و ۰.۲۱۶ بود و وزن نسبی آن ۰.۳۱۶ محاسبه شد. برای بعد اجتماعی مقادیر ۰.۲۰۴، ۰.۱۹۳، ۰.۲۰۱، ۰.۱۸۰ و ۰.۱۴۴ با وزن ۰.۱۸۴؛ برای بعد زیست محیطی ۰.۲۰۴، ۰.۲۰۱، ۰.۱۸۰ و ۰.۱۴۴ با وزن ۰.۱۸۴؛ برای بعد قانونی ۰.۲۰۴، ۰.۲۰۱، ۰.۱۸۰ و ۰.۱۴۴ با وزن ۰.۱۸۴؛ و برای بعد فنی و سازمانی ۰.۲۰۴، ۰.۲۰۱، ۰.۱۸۰ و ۰.۱۴۴ با وزن ۰.۱۸۴ محاسبه شد.

۰.۱۹۳، ۰.۲۰۱، ۰.۱۵۶ و ۰.۲۱۶ با وزن ۰.۱۹۴؛ برای بعد قانونی ۰.۰۸۲، ۰.۱۳۴، ۰.۱۶۱، ۰.۱۲۴ و ۰.۲۸۱ با وزن ۰.۱۵۶؛ و برای بعد فنی و سازمانی ۰.۲۰۴، ۰.۱۹۳، ۰.۱۳۴، ۰.۰۷۳ و ۰.۱۴۴ با وزن ۰.۱۵۰ به دست آمد.

حاصل ضرب ماتریس AG در بردار وزن نسبی برای ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی، قانونی و فنی و سازمانی به ترتیب ۱.۶۹۴، ۰.۹۶۵، ۰.۸۷۹، ۰.۸۱۵ و ۰.۷۶۵ بود. بردار ویژه متناظر این ابعاد نیز به ترتیب ۵.۳۶۳، ۵.۲۳۲، ۴.۵۳۴، ۵.۲۱۵ و ۵.۱۱۶ محاسبه شد. میانگین این مقادیر برابر با $\lambda_{max}=5.0919$ بود. بر این اساس:

$$CI = (5.0919 - 5) / 4 = 0.0230$$

با توجه به مقدار $RI(G)=0.3597$ ، نسبت ناسازگاری برابر با:

$$CR_G = 0.0230 / 0.3597 = 0.0639$$

به دست آمد. بنابراین، نسبت ناسازگاری هر دو ماتریس AM و AG کمتر از ۰.۱۰ بود و می توان نتیجه گرفت که قضاوت های خبرگان در مقایسات زوجی از سازگاری لازم برخوردار بوده اند. خلاصه محاسبات سازگاری در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷. نتایج بررسی سازگاری ماتریس های مقایسات زوجی AHP فازی

ماتریس	λ_{max}	CI	RI	CR	وضعیت
AM	۵.۰۶۹۳	۰.۰۱۷۳	۱.۰۷۰۰	۰.۰۱۶۲	سازگار
AG	۵.۰۹۱۹	۰.۰۲۳۰	۰.۳۵۹۷	۰.۰۶۳۹	سازگار

در ادامه، برای تعیین وزن نهایی ابعاد، محاسبات AHP فازی بر اساس اعداد فازی مثلی انجام گرفت. پس از تجميع مقادیر فازی و محاسبه گستره ترکیبی، مقادیر S_1 برای ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست محیطی، قانونی و فنی و سازمانی به ترتیب برابر با (۰.۳۰۰، ۰.۱۲۸، ۰.۰۶۰)، (۰.۴۲۳، ۰.۰۹۰، ۰.۲۰۸)، (۰.۰۴۰۹، ۰.۱۰۰، ۰.۳۱۴)، (۰.۰۲۱۱، ۰.۰۹۱۷، ۰.۳۸۰) و (۰.۰۳۰۴، ۰.۱۸۷۵، ۰.۲۳۳) به دست آمد. به عنوان نمونه، برای بعد اقتصادی مجموع فازی مقایسات برابر با (۲.۷۱، ۴.۰۳، ۵.۳۱) و مجموع کلی مقادیر فازی برابر با (۳۱.۴۸۴، ۱۷.۷۰۰، ۴۵.۱۶۶) بود؛ بنابراین گستره ترکیبی این بعد به صورت زیر محاسبه شد:

$$S_1 = (2.71/45.166, 4.03/31.484, 5.31/17.700) = (0.060, 0.128, 0.300)$$

پس از محاسبه S_1 ، درجه بزرگی هر عدد فازی نسبت به سایر ابعاد تعیین شد. برای بعد اقتصادی، درجات بزرگی در مقایسه با ابعاد اجتماعی، زیست محیطی، قانونی و فنی و سازمانی به ترتیب ۰.۸۹۶، ۰.۹۰۱، ۰.۸۹۹ و ۱.۰۰۰ بود. برای بعد اجتماعی، مقادیر متناظر با اقتصادی، زیست محیطی، قانونی و فنی و سازمانی به ترتیب ۰.۴۸۴، ۰.۹۴۴، ۰.۹۹۱ و ۱.۰۰۰ به دست آمد. برای بعد زیست محیطی این مقادیر برابر با ۰.۴۶۱، ۱.۰۰۰، ۱.۰۰۰ و ۱.۰۰۰؛ برای بعد قانونی برابر با ۰.۶۲۹، ۱.۰۰۰، ۰.۹۷۶ و ۱.۰۰۰؛ و برای بعد فنی و سازمانی برابر با ۰.۸۲۷، ۱.۰۰۰ و ۱.۰۰۰ بود. سپس کمینه درجه بزرگی هر بعد استخراج و پس از نرمال سازی به عنوان وزن نهایی مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۸. مقادیر گستره ترکیبی، وزن نهایی و رتبه ابعاد مؤثر بر انتخاب تأمین کننده پایدار

رتبه	وزن نهایی	مقدار S_1	بعد
۱	۰.۲۷۲	(۰.۳۰۰، ۰.۱۲۸، ۰.۰۶۰)	اقتصادی
۲	۰.۲۵۱	(۰.۲۳۳، ۰.۱۸۷۵، ۰.۰۳۰۴)	فنی و سازمانی
۳	۰.۱۹۱	(۰.۳۸۰، ۰.۰۹۱۷، ۰.۰۲۱۱)	قانونی
۴	۰.۱۴۷	(۰.۲۰۸، ۰.۰۹۰، ۰.۰۴۲۳)	اجتماعی
۵	۰.۱۴۰	(۰.۳۱۴، ۰.۱۰۰، ۰.۰۴۰۹)	زیست محیطی

نتایج نهایی AHP فازی نشان داد که بعد اقتصادی با وزن ۰.۲۷۲ بالاترین اهمیت را در الگوی برنامه ریزی و انتخاب تأمین کنندگان پایدار در صنعت خودروسازی به خود اختصاص داد. پس از آن، بعد فنی و سازمانی با وزن ۰.۲۵۱ در رتبه دوم قرار گرفت. بعد قانونی با وزن ۰.۱۹۱ رتبه

سوم، بعد اجتماعی با وزن ۰.۱۴۷ رتبه چهارم و بعد زیست‌محیطی با وزن ۰.۱۴۰ رتبه پنجم را به دست آورد. بنابراین، یافته‌ها نشان داد که اگرچه انتخاب تأمین‌کننده پایدار ماهیتی چندبعدی دارد و مجموعه‌ای از ملاحظات اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی، قانونی و فنی - سازمانی را دربرمی‌گیرد، در ارزیابی خبرگان صنعت خودروسازی، ملاحظات اقتصادی و فنی - سازمانی بیشترین سهم را در اولویت‌بندی ابعاد الگوی انتخاب تأمین‌کننده پایدار داشته‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که الگوی برنامه‌ریزی و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین پایدار صنعت خودروسازی دارای ساختاری چندبعدی است و پس از فرایند شناسایی، پالایش و اجماع خبرگان، ۲۵ عامل در پنج بعد اصلی اقتصادی، فنی و سازمانی، قانونی، اجتماعی و زیست‌محیطی طبقه‌بندی شدند. نتایج فرایند نظرخواهی خبرگی نشان داد که میزان هماهنگی دیدگاه خبرگان در مراحل متوالی افزایش یافته است؛ به‌طوری‌که ضریب هماهنگی کندانال از ۰.۸۰۷ در مرحله نخست به ۰.۸۲۲ در مرحله دوم و ۰.۸۴۹ در مرحله سوم رسید. این روند افزایشی نشان داد که با بازخورد دادن نتایج مراحل قبل، شفاف‌تر شدن تعریف معیارها و بازنگری قضاوت‌ها، دیدگاه خبرگان در خصوص مؤلفه‌های اساسی انتخاب تأمین‌کننده پایدار به همگرایی بیشتری رسیده است. در نهایت، نتایج AHP فازی نشان داد که بعد اقتصادی با وزن ۰.۲۷۲ در رتبه نخست، بعد فنی و سازمانی با وزن ۰.۲۵۱ در رتبه دوم، بعد قانونی با وزن ۰.۱۹۱ در رتبه سوم، بعد اجتماعی با وزن ۰.۱۴۷ در رتبه چهارم و بعد زیست‌محیطی با وزن ۰.۱۴۰ در رتبه پنجم قرار گرفت. همچنین نسبت ناسازگاری هر دو ماتریس مورد استفاده برای کنترل سازگاری قضاوت‌های خبرگان کمتر از ۰.۱ به دست آمد که بیانگر انسجام قابل قبول مقایسات زوجی بود.

نخستین و مهم‌ترین یافته پژوهش، قرار گرفتن بعد اقتصادی در بالاترین رتبه بود. این بعد شامل هزینه، پایداری مالی و اعتبار و خوشنامی اقتصادی تأمین‌کننده بود و وزن ۰.۲۷۲ را به خود اختصاص داد. این نتیجه نشان می‌دهد که حتی در چارچوب زنجیره تأمین پایدار، معیارهای اقتصادی همچنان بنیان تصمیم‌گیری در انتخاب تأمین‌کننده محسوب می‌شوند. پایداری یک تأمین‌کننده زمانی برای شرکت خودروساز ارزش عملی دارد که تأمین‌کننده علاوه بر رعایت الزامات محیط‌زیستی و اجتماعی، قادر باشد قطعات و مواد مورد نیاز را با هزینه قابل قبول، ظرفیت مالی پایدار و ریسک اقتصادی پایین تأمین کند. این یافته با مطالعاتی همسو است که نشان داده‌اند هزینه، قیمت، توان مالی، قابلیت تأمین و عملکرد اقتصادی همچنان در کنار شاخص‌های پایداری از مهم‌ترین معیارهای انتخاب تأمین‌کنندگان هستند (Mavi et al., 2017; Rashidi & Cullinane, 2019; Wu & Zhang, 2021; Ali et al., 2022; Yazdani et al., 2022). بنابراین، یافته حاضر تأیید می‌کند که گذار به زنجیره تأمین پایدار به معنای حذف منطق اقتصادی نیست، بلکه مستلزم توسعه تصمیم‌گیری اقتصادی در چارچوبی جامع‌تر است.

برتری بعد اقتصادی را می‌توان با ویژگی‌های ساختاری صنعت خودروسازی نیز توضیح داد. این صنعت به دلیل تعداد زیاد قطعات، وابستگی شدید تولید به شبکه تأمین‌کنندگان، حساسیت نسبت به هزینه تمام‌شده و ضرورت استمرار تولید، به ثبات مالی و اقتصادی تأمین‌کنندگان وابستگی بالایی دارد. تأمین‌کننده‌ای که از نظر مالی ناپایدار باشد، حتی در صورت برخورداری از عملکرد محیط‌زیستی مناسب، ممکن است در تأمین مستمر قطعات، سرمایه‌گذاری در فناوری و حفظ استانداردهای کیفی با مشکل مواجه شود. مطالعات صنعت خودرو نیز نشان داده‌اند که معیارهای هزینه، کیفیت، زمان تحویل و قابلیت تأمین از ارکان اساسی تصمیم‌گیری درباره تأمین‌کنندگان هستند و روش AHP می‌تواند این معیارها را به‌صورت منظم در ساختار تصمیم‌گیری وارد کند (Dweiri et al., 2016). همچنین مطالعات انجام‌شده در زنجیره تأمین ایران خودرو نشان داده‌اند که مدیریت ریسک تأمین و ملاحظات اقتصادی باید در مدل‌های تأمین به‌صورت هم‌زمان لحاظ شوند (Azar et al., 2022).

2021, al.). در پژوهش‌های مربوط به انتخاب تأمین‌کننده تحت عدم قطعیت نیز توان اقتصادی و قابلیت استمرار همکاری از اجزای مهم ارزیابی تأمین‌کنندگان معرفی شده‌اند (Ebrahimipour Azbari et al., 2021).

دومین یافته مهم، قرار گرفتن بعد فنی و سازمانی با وزن ۰.۲۵۱ در رتبه دوم بود. این بعد مجموعه گسترده‌ای از معیارها شامل کیفیت، تحویل و خدمات، انعطاف‌پذیری، یکپارچگی مدیریت و چشم‌انداز، تکنولوژی سبز، طراحی محصولات سبز، حمل‌ونقل سبز و مدیریت دوره عمر محصول را در بر می‌گرفت. اهمیت بالای این بعد نشان می‌دهد که صنعت خودروسازی به تأمین‌کنندگانی نیاز دارد که نه فقط از حیث قیمت، بلکه از نظر توان فنی، قابلیت پاسخ‌گویی، کیفیت مستمر، انعطاف عملیاتی و همسویی راهبردی با شرکت خودروساز نیز در سطح قابل قبولی قرار داشته باشند. این یافته با مطالعاتی مطابقت دارد که تأکید می‌کنند انتخاب تأمین‌کننده باید با قابلیت‌های فنی، کیفیت، انعطاف‌پذیری و توان پاسخ‌گویی زنجیره تأمین پیوند داشته باشد (Sadeghi & Ghassemi, 2021; Tay & Aw, 2021). همچنین در پژوهش‌های مربوط به زنجیره تأمین سبز - چابک، انعطاف‌پذیری و قابلیت‌های عملیاتی در کنار شاخص‌های محیط‌زیستی از معیارهای مهم انتخاب تأمین‌کنندگان گزارش شده‌اند (Alamroshan et al., 2022).

اهمیت بالای بعد فنی و سازمانی را می‌توان ناشی از پیچیدگی فنی محصولات خودروبی دانست. کوچک‌ترین نقص در کیفیت قطعات می‌تواند بر عملکرد محصول نهایی، ایمنی مصرف‌کننده و اعتبار برند خودروساز اثرگذار باشد. افزون بر این، تأخیر یک تأمین‌کننده در تحویل قطعات می‌تواند کل خط تولید را متوقف کند. بنابراین، معیارهای کیفیت، تحویل، انعطاف‌پذیری و یکپارچگی مدیریتی در چنین محیطی اهمیت ویژه‌ای دارند. این نتیجه با یافته‌های پژوهش‌هایی همسو است که برای انتخاب تأمین‌کننده در صنایع پیچیده، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره را با تأکید بر شاخص‌های کیفیت، تحویل و قابلیت فنی به کار گرفته‌اند (Ali et al., 2023; Deepika et al., 2023). همچنین توسعه مدل‌های مبتنی بر صنعت ۴.۰ و اقتصاد چرخشی نشان می‌دهد که قابلیت فناوری، نوآوری سبز و مدیریت چرخه عمر محصول به‌طور فزاینده‌ای به بخشی از شایستگی‌های مورد انتظار از تأمین‌کنندگان تبدیل شده‌اند (Tavana et al., 2023; Xie et al., 2022). از این منظر، قرار گرفتن معیارهایی مانند تکنولوژی سبز و طراحی محصولات سبز در بعد فنی و سازمانی نشان‌دهنده گسترش مفهوم قابلیت فنی از کیفیت و تحویل سنتی به سمت قابلیت‌های فناورانه و پایدار است.

بعد قانونی با وزن ۰.۱۹۱ در رتبه سوم قرار گرفت و شامل هماهنگی با بخش‌های دولتی، تعهد کامل به قوانین و رعایت استانداردهای محیطی در فرایند تولید بود. این یافته بیانگر آن است که انتخاب تأمین‌کننده در صنعت خودرو تنها یک رابطه تجاری دوجانبه نیست، بلکه در بستری از مقررات، استانداردها و الزامات نهادی شکل می‌گیرد. تأمین‌کننده‌ای که توانایی انطباق با مقررات را نداشته باشد می‌تواند شرکت اصلی را با ریسک‌های حقوقی، زیست‌محیطی، عملیاتی و اعتباری مواجه سازد. اهمیت این بعد با مطالعاتی که بر معیارهای اخلاقی، اجتماعی و محیط‌زیستی در انتخاب تأمین‌کننده تأکید دارند همخوانی دارد (Guarnieri & Trojan, 2019). همچنین در مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده سبز، رعایت الزامات محیط‌زیستی و استانداردهای مرتبط یکی از عوامل اصلی در ارزیابی تأمین‌کنندگان محسوب می‌شود (Khattak et al., 2022; Yazdani et al., 2017). بنابراین، رعایت قوانین و مقررات را می‌توان نه یک معیار جانبی، بلکه بخشی از ظرفیت سازمانی تأمین‌کننده برای همکاری پایدار و کم‌ریسک با خودروساز دانست.

قرار گرفتن بعد اجتماعی با وزن ۰.۱۴۷ در رتبه چهارم نیز از یافته‌های قابل توجه پژوهش بود. این بعد شامل سیستم امنیت و سلامت شغلی، حقوق و مسئولیت اجتماعی، مشارکت در فعالیتهای بشردوستانه، توسعه منطقه‌ای متعادل و حقوق کارکنان بود. اگرچه وزن این بعد کمتر از ابعاد اقتصادی، فنی و قانونی بود، حضور مستقل آن در مدل نهایی بیانگر آن است که خبرگان، عملکرد اجتماعی تأمین‌کنندگان را بخشی از مفهوم پایداری تلقی کرده‌اند. این نتیجه با ادبیات زنجیره تأمین پایدار همخوان است که تأکید می‌کند ارزیابی تأمین‌کنندگان نباید به شاخص‌های مالی و محیط‌زیستی محدود شود و موضوعاتی مانند حقوق نیروی کار، سلامت و ایمنی، مسئولیت اجتماعی و آثار فعالیت سازمان بر جامعه نیز باید مورد توجه قرار گیرند (Guarnieri & Trojan, 2019; Yazdani et al., 2021). در مدل‌های پایدار و تاب‌آور نیز بعد

اجتماعی به عنوان یکی از اجزای اصلی ارزیابی تأمین کنندگان در کنار عملکرد اقتصادی و محیط زیستی مطرح شده است (Becerra & Diaz, 2025; Ghamari et al., 2022).

وزن نسبتاً پایین تر بعد اجتماعی را می توان با ماهیت تصمیم گیری صنعتی و اولویت های جاری سازمان ها توضیح داد. در محیط های صنعتی، شاخص هایی که اثر مستقیم تر و کوتاه مدت تری بر هزینه، کیفیت و استمرار تولید دارند معمولاً در قضاوت مدیران وزن بالاتری دریافت می کنند. در مقابل، برخی پیامدهای اجتماعی در بازه زمانی طولانی تر نمایان می شوند و ممکن است ارتباط مستقیم آنها با عملکرد عملیاتی برای تصمیم گیرندگان کمتر قابل مشاهده باشد. با وجود این، شناسایی پنج مؤلفه اجتماعی در مدل نهایی نشان می دهد که بعد اجتماعی از فرایند انتخاب تأمین کننده حذف نشده، بلکه به عنوان یک حوزه مستقل و ضروری در ساختار پایدار انتخاب تأمین کنندگان به رسمیت شناخته شده است. این موضوع با رویکردهای چندسطحی انتخاب تأمین کننده پایدار نیز سازگار است که بر ضرورت توجه هم زمان به ابعاد مختلف پایداری تأکید دارند (Keshavarz-Ghorabae, 2023; Wu & Zhang, 2021).

بعد زیست محیطی با وزن ۰.۱۴۰ در رتبه پنجم قرار گرفت. این بعد شامل سیستم مدیریت محیطی، اثرات انتشار آلاینده ها، گزارش کربن، دفع مسئولانه ضایعات اجتناب ناپذیر، استفاده از مواد اولیه دوست دار محیط زیست و انجام بازرسی زیست محیطی منظم بود. پایین تر بودن رتبه این بعد نسبت به سایر ابعاد نباید به معنای کم اهمیت بودن ملاحظات زیست محیطی تفسیر شود؛ زیرا شش مؤلفه محیط زیستی در ساختار نهایی باقی ماندند و برخی مؤلفه های سبز مانند تکنولوژی سبز، طراحی محصولات سبز، حمل و نقل سبز و مدیریت دوره عمر محصول نیز در بعد فنی و سازمانی جای گرفتند. بنابراین، وزن واقعی ملاحظات سبز در ساختار مدل تنها محدود به بعد زیست محیطی مستقل نیست و بخشی از آن در قابلیت های فنی و سازمانی منعکس شده است. این وضعیت با تحول ادبیات انتخاب تأمین کننده سبز همخوان است که در آن معیارهای محیط زیستی به طور روزافزونی با فناوری، طراحی محصول، لجستیک و مدیریت چرخه عمر ادغام شده اند (Govindan et al., 2020; Lo et al., 2018; Xie et al., 2022).

وجود معیارهایی مانند انتشار آلاینده ها، گزارش کربن و مواد اولیه دوست دار محیط زیست با مطالعاتی همسو است که بر ضرورت ارزیابی تأمین کنندگان بر اساس عملکرد سبز و آثار محیط زیستی تأکید دارند (Hailiang et al., 2023; Tirkolaee et al., 2021). همچنین انتخاب تأمین کنندگان چرخشی و طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته نشان داده است که کنترل مصرف منابع، بازیافت و کاهش ضایعات باید از سطح عملیات داخلی شرکت فراتر رفته و تأمین کنندگان را نیز شامل شود (Govindan et al., 2020). در مطالعات مربوط به تأمین کنندگان پایدار صنایع نفت و پتروشیمی نیز معیارهای محیط زیستی در کنار معیارهای اقتصادی و اجتماعی به عنوان اجزای مهم اولویت بندی گزارش شده اند (Nasri et al., 2023). بنابراین، یافته حاضر نشان می دهد که صنعت خودروسازی نیز نمی تواند پایداری تأمین را صرفاً بر شاخص های سنتی خرید مبتنی سازد.

یکی دیگر از نتایج مهم پژوهش، کاهش تعداد عوامل از ۳۵ معیار اولیه به ۲۵ معیار نهایی بود. در مرحله نخست، عواملی مانند آموزش مدیریت کربن، نتایج آلودگی هوا در اثر بازیافت، استفاده از فناوری های پاک برای بازیافت، ثبات سیاسی و سیستم تخلیه فاضلاب به دلیل کسب میانگین کمتر از ۳ حذف شدند. در مرحله سوم نیز مدیریت منابع آبی، عدم صدمه به پوشش گیاهی و گونه های جانوری، ابلاغ پیام های زیست محیطی به کارکنان و جامعه و درآمدزایی نتوانستند حد نصاب لازم را حفظ کنند و از ساختار نهایی خارج شدند. این پالایش نشان می دهد که خبرگان میان معیارهایی که از نظر نظری مرتبط با پایداری هستند و معیارهایی که برای تصمیم عملی انتخاب تأمین کننده در صنعت خودرو اهمیت مستقیم تر دارند تمایز قائل شده اند. چنین نتیجه ای با دیدگاهی همسو است که انتخاب معیارهای تأمین کننده را وابسته به زمینه صنعتی می داند و بر ضرورت بومی سازی معیارها تأکید دارد (Küpelı & Sertyeşılışık, 2023; Sadeghian & Mahdavi Molayemi, 2022). به بیان دیگر، همه شاخص های مطرح شده در ادبیات جهانی لزوماً در یک صنعت و محیط سازمانی خاص وزن و کارکرد یکسانی ندارند.

افزایش ضریب همبستگی کندال از ۰.۸۰۷ به ۰.۸۴۹ نیز اهمیت روش‌شناختی دارد. این نتیجه نشان داد که با ادامه تعامل ساختاریافته با خبرگان، ارائه بازخورد و پالایش تدریجی معیارها، میزان توافق درباره ساختار مدل افزایش یافته است. چنین فرایندی برای موضوع انتخاب تأمین‌کننده اهمیت دارد، زیرا بسیاری از معیارها ماهیتی کیفی و مبتنی بر قضاوت دارند و ممکن است در آغاز برداشت‌های متفاوتی از آنها وجود داشته باشد. پژوهش‌های پیشین نیز برای کاهش ابهام در تعیین معیارها از روش‌های مبتنی بر نظر خبرگان و مدل‌های فازی استفاده کرده‌اند (Khattak et al., 2022; Sadeghian & Mahdavi Molayemi, 2022). در عین حال، سازگار بودن ماتریس‌های AHP فازی نیز نشان داد که قضاوت‌های نهایی خبرگان درباره اهمیت نسبی ابعاد از انسجام منطقی مطلوب برخوردار بوده‌اند.

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که انتخاب تأمین‌کننده پایدار در صنعت خودروسازی باید بر اساس یک منطق متوازن ولی اولویت‌بندی‌شده صورت گیرد. ابعاد اقتصادی و فنی و سازمانی در مرکز تصمیم‌گیری قرار دارند، اما قانونی، اجتماعی و زیست‌محیطی نیز اجزای ضروری مدل هستند. این الگو با مطالعاتی که انتخاب تأمین‌کننده را مسئله‌ای چندمعیاره و متشکل از ترکیب معیارهای اقتصادی، عملیاتی، محیط‌زیستی و اجتماعی می‌دانند همسو است (Mavi et al., 2017; Wu & Zhang, 2021; Yazdani et al., 2021). همچنین نتایج با رویکردهای جدیدی سازگار است که پایداری، تاب‌آوری و قابلیت‌های سازمانی را به‌صورت مکمل در ارزیابی تأمین‌کنندگان وارد می‌کنند (Becerra & Diaz, 2025; Hailiang et al., 2023; Nazari-Shirkouhi et al., 2023). بر این اساس، مدل حاصل از پژوهش می‌تواند مبنایی برای تبدیل تصمیم انتخاب تأمین‌کننده از یک ارزیابی عمدتاً قیمت‌محور به یک نظام چندبعدی باشد که ضمن حفظ الزامات اقتصادی صنعت، عملکرد فنی، انطباق قانونی و مسئولیت‌های اجتماعی و محیط‌زیستی را نیز در تصمیم نهایی منعکس می‌کند.

پژوهش حاضر با چند محدودیت همراه بود که باید در تفسیر و تعمیم نتایج مورد توجه قرار گیرد. نخست، داده‌های اصلی پژوهش بر قضاوت گروهی از خبرگان مرتبط با صنعت خودروسازی و محیط مورد مطالعه استوار بود و بنابراین وزن معیارها می‌تواند تحت تأثیر تجربه حرفه‌ای، جایگاه سازمانی و برداشت تخصصی مشارکت‌کنندگان قرار گرفته باشد. دوم، مطالعه در بستر شرکت سایپا و صنعت خودروسازی انجام شد و ساختار معیارها و به‌ویژه وزن نسبی آنها ممکن است در صنایع دیگر یا حتی در سایر شرکت‌های خودروسازی متفاوت باشد. سوم، اهمیت مؤلفه‌ها در یک مقطع زمانی مشخص ارزیابی شد، در حالی که شرایط اقتصادی، الزامات قانونی، فناوری‌های تولید، سیاست‌های محیط‌زیستی و ساختار بازار تأمین ممکن است در طول زمان تغییر کنند. همچنین AHP فازی روابط وابستگی یا اثرگذاری متقابل میان معیارها را به‌صورت مستقیم مدل‌سازی نمی‌کند و ساختار تصمیم بر مبنای یک سلسله‌مراتب مشخص از ابعاد و مؤلفه‌ها شکل گرفته است.

پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی مدل حاضر را در سایر شرکت‌های خودروسازی و صنایع دارای زنجیره تأمین پیچیده مانند فولاد، پتروشیمی، لوازم خانگی، تجهیزات پزشکی و صنایع غذایی آزمون کنند تا میزان ثبات یا تغییر ساختار و وزن معیارها مشخص شود. انجام مطالعات مقایسه‌ای میان شرکت‌ها و صنایع مختلف می‌تواند به شناسایی معیارهای عمومی و معیارهای زمینه‌محور انتخاب تأمین‌کننده پایدار کمک کند. همچنین پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده تغییرات وزن معیارها در دوره‌های زمانی مختلف بررسی شود تا اثر تحولات اقتصادی، فناوری و مقررات محیط‌زیستی بر اولویت‌های انتخاب تأمین‌کننده مشخص گردد. بررسی جداگانه دیدگاه مدیران خرید، مدیران تولید، کارشناسان کیفیت، متخصصان محیط‌زیست و مدیران ارشد نیز می‌تواند تفاوت الگوی ترجیحات گروه‌های حرفه‌ای را آشکار کند. علاوه بر این، توسعه مدل با استفاده از روش‌هایی که وابستگی متقابل میان معیارها را در نظر می‌گیرند و انجام تحلیل حساسیت نسبت به تغییر وزن ابعاد می‌تواند شناخت دقیق‌تری از پایداری رتبه‌بندی معیارها فراهم سازد.

پیشنهاد می‌شود شرکت‌های خودروسازی ساختار پنج‌بعدی شناسایی‌شده در این پژوهش را در نظام ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان خود وارد کنند و از تصمیم‌گیری صرفاً مبتنی بر قیمت و هزینه فاصله بگیرند. با توجه به رتبه نخست بعد اقتصادی، لازم است وضعیت مالی، ثبات اقتصادی و اعتبار تجاری تأمین‌کنندگان پیش از انعقاد یا تمدید قراردادهای به‌صورت نظام‌مند ارزیابی شود. هم‌زمان، وزن بالای بعد فنی و سازمانی ایجاب می‌کند شاخص‌هایی مانند کیفیت، قابلیت تحویل، انعطاف‌پذیری، توان فناوری، طراحی سبز و مدیریت چرخه عمر در ارزیابی

دوره‌ای تأمین‌کنندگان لحاظ شوند. همچنین توصیه می‌شود رعایت قوانین، استانداردهای محیط‌زیستی، حقوق کارکنان، ایمنی و سلامت شغلی و مدیریت آلاینده‌ها به‌عنوان الزامات رسمی قراردادهای تأمین تعریف شوند. سازمان می‌تواند برای هر تأمین‌کننده یک کارت امتیازی پایداری ایجاد کند و وزن‌های به‌دست‌آمده را در ارزیابی اولیه، تمدید قرارداد، توسعه تأمین‌کننده و تخصیص فرصت‌های همکاری به کار گیرد. بازنگری دوره‌ای وزن معیارها نیز ضروری است تا نظام انتخاب تأمین‌کنندگان با تغییر شرایط بازار، فناوری، الزامات قانونی و اهداف پایداری شرکت هماهنگ باقی بماند.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافع وجود ندارد.

موازین اخلاقی

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

شفافیت داده‌ها

داده‌ها و مآخذ پژوهش حاضر در صورت درخواست از نویسنده مسئول و ضمن رعایت اصول کپی رایت ارسال خواهد شد.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

Extended Abstract

Introduction

Supplier selection has evolved from a purchasing-oriented decision focused primarily on price, quality, and delivery into a strategic and multidimensional problem affecting the competitiveness, continuity, resilience, and sustainability of supply chains. This transformation is particularly important in the automotive industry, where manufacturers depend on extensive networks of suppliers for thousands of parts, materials, technologies, and specialized services. The performance of these suppliers directly influences production continuity, final product quality, operational costs, environmental impacts, and corporate reputation. Consequently, supplier planning and selection require an integrated framework capable of incorporating conventional economic and technical criteria together with environmental, social, and regulatory considerations. Previous studies have demonstrated that supplier-selection strategies are closely associated with organizational and business performance and should therefore be aligned with the strategic objectives and operating environment of the focal firm (Fatemeh Kharidar & Alireza Pouya, 2016; F Kharidar & A Pouya, 2016). Supplier selection under uncertainty also requires structured approaches capable of simultaneously addressing multiple and potentially conflicting decision criteria (Amorim et al., 2016; Babaei & Omrani, 2017).

The increasing emphasis on sustainable supply chain management has further expanded the scope of supplier evaluation. Sustainable supplier selection requires organizations to consider not only economic performance but also environmental responsibility and social performance. Accordingly, criteria such as pollution reduction, carbon management, environmentally friendly materials, occupational health and safety, employee rights, social responsibility, and compliance with environmental standards are increasingly incorporated into supplier-selection frameworks (Mavi et al., 2017; Yazdani et al., 2017). Ethical, social, and environmental considerations have similarly been recognized as essential components of contemporary supplier-selection decisions (Guarnieri & Trojan, 2019). Because many sustainability criteria are qualitative and expert judgments are inherently uncertain, fuzzy and multi-criteria decision-making approaches have gained considerable attention in this field (Rashidi & Cullinane, 2019; Wu & Zhang, 2021).

Recent research has also emphasized the integration of sustainability with resilience, agility, digitalization, and circular-economy principles. Supplier resilience is particularly important because disruptions in supply, transportation, financial stability, or production capacity can propagate throughout complex industrial networks. Sustainable and resilient supplier-selection frameworks therefore incorporate criteria related to flexibility, responsiveness, continuity, technological capabilities, and recovery capacity (Becerra & Diaz, 2025; Ghamari et al., 2022; Hailiang et al., 2023). Simultaneously, Industry 4.0 and circular-economy developments have broadened supplier-selection criteria to include digital capabilities, green technologies, recycling potential, product life-cycle management, and resource efficiency (Govindan et al., 2020; Sharma & Joshi, 2020; Xie et al., 2022). Integrated fuzzy decision-making methods have consequently been increasingly employed to capture the interaction between operational, environmental, technological, and strategic requirements (Keshavarz-Ghorabae, 2023; Tavana et al., 2023).

The relative importance of supplier-selection criteria, however, is strongly dependent on industrial and organizational context. Studies conducted in the pharmaceutical, steel, medical-device, construction, food, oil, petrochemical, and automotive industries indicate that the composition and importance of supplier criteria vary according to industry-specific technological requirements, regulatory pressures, uncertainty, supply risks, and competitive conditions (Alamroshan et al., 2022; Ganguly et al., 2019; Küpeli & Sertyeşilşik, 2023; Nasri et al., 2023). In automotive supply chains in particular, quality, delivery reliability, flexibility, cost control, technological competence, and supplier integration are critical because failures in any of these areas can disrupt production systems. AHP-based decision-support systems have therefore been specifically developed for automotive supplier selection (Dweiri et al., 2016). Iranian research has similarly emphasized supply risk, uncertainty, and the need to prioritize supplier-selection indicators in accordance with local organizational conditions (Azar et al., 2021; Ebrahimpour Azbari et al., 2021).

A wide range of analytical techniques has been applied to supplier selection, including fuzzy AHP, TOPSIS, DEA, DEMATEL, ANP, SWARA, machine learning, neural networks, and integrated multi-criteria methods (Ali et al., 2023; Deepika et al., 2023; Nazari-Shirkouhi et al., 2023). Other studies have integrated supplier selection with order allocation and green supply chain design (Ali et al., 2022; Yazdani et al., 2022), while demand-driven models have connected supplier selection to changing market and customer requirements (Zheng et al., 2023). Nevertheless, sophisticated analytical methods cannot compensate for an inadequately specified set of decision criteria. The identification, contextual refinement, and prioritization of appropriate criteria therefore remain fundamental stages in developing a practically useful supplier-selection model. Accordingly, this study aimed to discover, categorize, and prioritize the components of a supplier planning and selection model for a sustainable supply chain in the automotive industry, with Saipa Automotive Company as the case context.

Methods and Materials

The study was developmental and applied in purpose and exploratory in design. It focused on identifying and prioritizing the components required for sustainable supplier planning and selection in the automotive industry. The research process consisted of an expert-based qualitative identification and refinement stage followed by fuzzy AHP prioritization. The case context was Saipa Automotive Company. Participants were selected purposively from managers, senior specialists, academic experts, and professionals with relevant knowledge and experience in supply chain management, purchasing and procurement, supplier evaluation, automotive operations, sustainability, environmental management, and related fields.

An initial pool of 35 supplier-selection factors was generated through examination of the relevant theoretical and empirical literature and expert input. Expert judgments were collected through structured questionnaires using a five-point Likert scale. Participants evaluated the importance of each factor and were also able to propose modifications or additional considerations. The criteria were progressively refined across three expert-evaluation rounds. Factors with mean scores greater than 3 were retained, while factors failing to meet the defined threshold were removed. Kendall's coefficient of concordance was calculated at each stage to assess agreement among experts.

After the final criteria were established, conceptually related factors were organized into broader dimensions. The resulting hierarchical framework constituted the basis for fuzzy AHP analysis. Pairwise-comparison questionnaires were completed by 10 qualified experts. Linguistic judgments were converted into corresponding triangular fuzzy numbers, and expert judgments were aggregated. The consistency of fuzzy pairwise comparisons was assessed using the Gogus and Boucher approach by constructing AM and AG matrices and calculating their respective consistency ratios. Ratios below 0.10 were considered acceptable. Fuzzy synthetic extent values and degrees of possibility were subsequently calculated, and normalized final weights were derived to determine the priority of the main dimensions.

Findings

The initial stage identified 35 potential factors associated with sustainable supplier selection. Examination of skewness and kurtosis showed that all values fell within the acceptable range of -2 to +2, indicating an appropriate distribution of the expert-response data. In the first expert-evaluation stage, five factors obtained mean scores below 3 and were eliminated: training related to carbon management, air-pollution outcomes resulting from recycling, use of clean technologies for recycling, political stability, and wastewater-discharge systems. Consequently, 30 factors entered the second stage.

All 30 remaining factors obtained mean values greater than 3 during the second stage and were therefore retained for the third round. During the third stage, further refinement led to the exclusion of water-resource management, prevention of damage to regional vegetation and animal species caused by buildings and facilities, communication of environmental messages to employees and society, revenue generation, and absence of adverse records among management and employees. The final framework consequently consisted of 25 factors.

Expert agreement increased throughout the successive evaluation stages. Kendall's coefficient of concordance was 0.807 in the first stage, 0.822 in the second stage, and 0.849 in the third stage, with all coefficients statistically significant at $p < 0.001$. The progressive increase in concordance demonstrated greater convergence of expert judgments as the criteria were clarified and refined.

The 25 final factors were classified into five principal dimensions. The economic dimension consisted of cost, financial stability, and economic reputation. The environmental dimension included environmental management systems, pollutant emissions, carbon reporting, responsible disposal of unavoidable waste, environmentally friendly raw materials, and regular environmental inspections. The social dimension comprised occupational safety and health systems, social rights and responsibility, participation in philanthropic activities, balanced regional development, and employee rights. The legal dimension included

coordination with governmental sectors, full compliance with laws, and compliance with environmental standards in production processes. The technical and organizational dimension included quality, delivery and services, flexibility, management and vision integration, green technology, green product design, green transportation, and product life-cycle management.

Fuzzy AHP results demonstrated acceptable consistency. For the AM matrix, the maximum eigenvalue was 5.0693, the consistency index was 0.0173, and the consistency ratio was 0.0162. For the AG matrix, the maximum eigenvalue was 5.0919, the consistency index was 0.0230, and the consistency ratio was 0.0639. Both consistency ratios were below the 0.10 threshold.

Final fuzzy AHP weighting showed that the economic dimension had the highest priority with a weight of 0.272. The technical and organizational dimension ranked second with a weight of 0.251, followed by the legal dimension with 0.191. The social dimension ranked fourth with a weight of 0.147, while the environmental dimension ranked fifth with a weight of 0.140. Thus, economic and technical-organizational considerations jointly represented the most influential dimensions of sustainable supplier planning and selection in the studied automotive context.

Discussion and Conclusion

The findings indicate that sustainable supplier selection in the automotive industry is inherently multidimensional and cannot be appropriately addressed through conventional cost-based purchasing criteria alone. Although the economic dimension received the highest weight, the final model simultaneously incorporated technical, organizational, legal, social, and environmental considerations. The prominence of economic criteria can be interpreted in light of the automotive industry's dependence on cost control, financial stability, continuity of supply, and the long-term viability of suppliers. A financially unstable supplier may compromise delivery continuity, investment capacity, quality improvement, and technological development even when its environmental or social performance is satisfactory.

The technical and organizational dimension, which ranked second, was nearly as important as the economic dimension. This finding highlights the operational realities of automotive production, where quality failures, delivery delays, insufficient flexibility, and weak technological capabilities can immediately disrupt production. Importantly, this dimension also incorporated green technology, green product design, green transportation, and product life-cycle management, indicating that environmental sustainability is partly embedded in technical and organizational capabilities rather than existing exclusively as a separate environmental category.

The legal dimension ranked third, demonstrating the importance of regulatory compliance, governmental coordination, and adherence to environmental production standards. Supplier non-compliance can expose an automotive manufacturer to legal, operational, reputational, and sustainability risks. The social and environmental dimensions received comparatively lower weights but remained integral components of the final model. Their inclusion demonstrates that occupational health and safety, employee rights, social responsibility, emissions control, carbon reporting, environmentally friendly materials, and responsible waste management are recognized as essential aspects of sustainable sourcing.

Overall, the study produced a context-specific hierarchical model consisting of 25 supplier-selection factors grouped into five dimensions. The increasing Kendall coefficients demonstrated strong and progressively improving agreement among experts, while the acceptable fuzzy AHP consistency ratios supported the logical coherence of the pairwise judgments. The resulting priority structure indicates that sustainable supplier planning in the automotive industry should retain strong economic and operational foundations while systematically incorporating legal, social, and environmental responsibilities. The model can therefore support the development of a more comprehensive supplier-evaluation system in which sustainability is integrated into, rather than separated from, conventional procurement and supply chain decision-making.

References

- Alamroshan, F., La'li, M., & Yahyaei, M. (2022). The green-agile supplier selection problem for the medical devices: a hybrid fuzzy decision-making approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(5), 6793-6811. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14690-z>
- Ali, H., Zhang, J., Liu, S., & Shoaib, M. (2022). An Integrated Decision-Making Approach for Global Supplier Selection and Order Allocation to Create an Environment-Friendly Supply Chain. *Kybernetes*, 52(8), 2649-2671. <https://doi.org/10.1108/k-10-2021-1046>
- Ali, M. R., Nipu, S. M. A., & Khan, S. A. (2023). A decision support system for classifying supplier selection criteria using machine learning and random forest approach. *Decision Analytics Journal*, 7, 100238.
- Amorim, P., Curcio, E., Almada-Lobo, E., Barbosa-Povoa, A., & Grossmann, I. E. (2016). Supplier selection in the processed food industry under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 252(3), 801-814. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.02.005>
- Azar, A., Rabiee, M., Modarres Yazdi, M., & Fatahatfard Haghighi, M. (2021). The Fuzzy-Robust Multiple Objectives Mathematical Model for Sourcing: The Approach for Risk Management in the Supply Chain of Iran Khodro. 15(1), 51-76. https://mri.modares.ac.ir/article_13_90739fae8f0d235c134678edb433f785.pdf
- Babaei, M., & Omrani, H. (2017). Robust optimization approach for supplier selection under lean procurement. *International journal of industrial engineering and production management*, 28 (3), 459-469. https://conference.modares.ac.ir/files/site1/rds_journals/2660/article-2660-2850.pdf
- Becerra, P., & Diaz, J. (2025). Supplier Selection Model Considering Sustainable and Resilience Aspects for Mining Industry. *Systems*, 13(2), 81. <https://doi.org/10.3390/systems13020081>
- Deepika, S., Anandakumar, S., Kumar, M. B., & Baskar, C. (2023). Performance Appraisal of Supplier Selection in Construction Company With Fuzzy AHP, Fuzzy TOPSIS, and DEA: A Case Study Based Approach. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 45(6), 10515-10528. <https://doi.org/10.3233/jifs-231790>
- Dweiri, F., Kumar, S., Khan, S. A., & Jain, V. (2016). Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. *Expert Systems with Applications*, 62, 273-283. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.06.030>
- Ebrahimpour Azbari, M., Abdollahi, A., Akbari, M., & Gholami, K. (2021). Ranking of Supplier Selection Indicators for Outsourcing Services under Uncertainty. *Roshd -e- Fanavari*, 65(17), 46-55. <https://doi.org/10.52547/jstpi.20769.17.65.46>
- Ganguly, A., Kumar, C., & Chatterjee, D. (2019). A Decision-Making Model for Supplier Selection in Indian Pharmaceutical Organizations. *Journal of Health Management*, 21(3), 351-371. <https://doi.org/10.1177/0972063419868552>
- Ghamari, R., Mahdavi-Mazdeh, M., & Ghannadpour, S. F. (2022). Resilient and Sustainable Supplier Selection via a New Framework: A Case Study from the Steel Industry. *Environment, Development and Sustainability*, 24(8), 10403-10441. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01872-5>
- Govindan, K., Mina, H., Esmaeili, A., & Gholami-Zanjani, S. M. (2020). An integrated hybrid approach for circular supplier selection and closed loop supply chain network design under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118384. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118384>
- Guarnieri, P., & Trojan, F. (2019). Decision Making on Supplier Selection Based on Social, Ethical, and Environmental Criteria: A Study in the Textile Industry. *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 347-361. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.023>
- Gupta, S., Chatterjee, P., Yazdani, M., & González, E. D. S. (2021). A Multi-Level Programming Model for Green Supplier Selection. *Management Decision*, 59(10), 2496-2527. <https://doi.org/10.1108/md-04-2020-0472>
- Hailiang, Z., Khokhar, M., Islam, T., & Sharma, A. (2023). A model for green-resilient supplier selection: fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(18), 54035-54058. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25749-4>
- Harale, N., Thomassey, S., & Zeng, X. (2023). Dynamic Small-Series Fashion Order Allocation and Supplier Selection: A Ga-Topsis-Based Model. *International Journal of Industrial Optimization*, 4(2), 82-102. <https://doi.org/10.12928/ijio.v4i2.7640>
- Keshavarz-Ghorabae, M. (2023). Sustainable Supplier Selection and Order Allocation Using an Integrated ROG-Based Type-2 Fuzzy Decision-Making Approach. *Mathematics*, 11(9), 2014. <https://doi.org/10.3390/math11092014>
- Kharidar, F., & Pouya, A. (2016). A Taxonomy of Supplier Selection Strategies and Their Business Performance (Case Study: Tile and Ceramic Companies). *Commercial Research Journal*(80), 121-149. https://pajooreshnameh.itsr.ir/article_24065.html?lang=en
- Kharidar, F., & Pouya, A. (2016). The Taxonomy of supplier selection strategies and their business performance (The case study of ceramic and tile companies). *Iranian Journal of Trade Studies*, 20(80), 119-147. https://pajooreshnameh.itsr.ir/article_24065_2b898a50a374fd6e5795f440d1731c01.pdf

- Khattak, B. K., Naseem, A., Ullah, M., Imran, M., & Ferik, S. E. (2022). Incorporating Management Opinion in Green Supplier Selection Model Using Quality Function Deployment and Interactive Fuzzy Programming. *PLoS One*, 17(6), e0268552. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268552>
- Küpelı, G. T., & Sertyeşılışık, B. (2023). A Preliminary List of Lean and Sustainability Based Supplier Selection Criteria in the Construction Industry. *Itu Press Press of the Istanbul Technical University*. <https://doi.org/10.58278/0.2023.21>
- Lo, H.-W., Liou, J. J. H., Wang, H.-S., & Tsai, Y.-S. (2018). An integrated model for solving problems in green supplier selection and order allocation. *Journal of Cleaner Production*, 190, 339-352. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.105>
- Mavi, R. K., Zarbakhshnia, N., & Khazraei, A. (2017). An integrated SWARA-MABAC approach for sustainable supplier selection. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 30(1), 1-22. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2017.1314828>
- Nasri, S. A., Sarabi, A. H., Shabanian, A., Hosseini, S. M., & Noushadi, R. (2023). Identifying and Sustainably Prioritizing Supplier Selection Criteria in the Oil and Petrochemical Industry: A Case Study of the National Iranian Oil Company. *Energy Policy and Planning Research*, 9(1).
- Nazari-Shirkouhi, S., Tavakoli, M., Govindan, K., & Mousakhani, S. (2023). A hybrid approach using Z-number DEA model and Artificial Neural Network for Resilient supplier Selection. *Expert Systems with Applications*(222), 119746. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119746>
- Rashidi, K., & Cullinane, K. (2019). A Comparison of Fuzzy DEA and Fuzzy TOPSIS in Sustainable Supplier Selection: Implications for Sourcing Strategy. *Expert Systems with Applications*, 121, 266-281. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.12.025>
- Saadi, E., Fathi Hafshejani, K., & Radfar, R. (2022). Designing a Multi-Objective Closed-Loop Supply Chain Mathematical Model with a Supplier Selection Approach and Discount Consideration. *Engineering Management and Soft Computing*, 7(2), 73-113.
- Sadeghi, M., & Ghassemi, B. (2021). The Role of Strategic Thinking and Prioritizing Supplier Selection Criteria in Supply Chain Management with a Focus on the LARG Paradigm. *Strategic Management Research*, 27(82), 109-132.
- Sadeghian, S. H. R., & Mahdavi Molayemi, H. (2022). Application of a Hybrid Model Based on Fuzzy Delphi, Fuzzy DEMATEL, and Fuzzy ANP for Supplier Selection in a LARG Supply Chain (Case Study: Khuzestan Steel Company). *Interdisciplinary Studies in Management and Engineering*, 5(4), 2302-2311. <https://civilica.com/doc/1507413/>
- Sharma, M., & Joshi, S. (2020). Digital supplier selection reinforcing supply chain quality management systems to enhance firm's performance. *The TQM Journal*. <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2020-0160>
- Tavana, M., Sorooshian, S., & Mina, H. (2023). An integrated group fuzzy inference and best-worst method for supplier selection in intelligent circular supply chains. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05680-0>
- Tay, H. L., & Aw, H. S. (2021). Improving logistics supplier selection process using lean six sigma-an action research case study. *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*, 14(2), 336-359. <https://doi.org/10.1108/JGOSS-05-2020-0025>
- Tirkolaee, E. B., Dashtian, Z., Weber, G. W., Tomášková, H., Soltani, M., & Mousavi, N. (2021). An Integrated Decision-Making Approach for Green Supplier Selection in an Agri-Food Supply Chain: Threshold of Robustness Worthiness. *Mathematics*, 9(11), 1304. <https://doi.org/10.3390/math9111304>
- Wu, Y., & Zhang, K. (2021). Hybrid MCDM approaches for sustainable supplier selection: A systematic review. *Sustainability*, 13(16), 9234. <https://doi.org/10.3390/su13169234>
- Xie, Z., Tian, G., & Tao, Y. (2022). A multi-criteria decision-making framework for sustainable supplier selection in the circular economy and Industry 4.0 era. *Sustainability*, 14(24), 16809. <https://doi.org/10.3390/su142416809>
- Yazdani, M., Chatterjee, P., & Stević, Ž. (2022). A Two-Stage Integrated Model for Supplier Selection and Order Allocation: An Application in Dairy Industry. *Operational Research in Engineering Sciences Theory and Applications*, 5(3), 210-229. <https://doi.org/10.31181/oresta241122181y>
- Yazdani, M., Chatterjee, P., Zavadskas, E. K., & Zolfani, S. H. (2017). Integrated QFD-MCDM Framework for Green Supplier Selection. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3728-3740. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.095>
- Yazdani, M., Pamučar, D., Chatterjee, P., & Torkayesh, A. E. (2021). "A Multi-Tier Sustainable Food Supplier Selection Model Under Uncertainty". *Operations Management Research*, 15(1-2), 116-145. <https://doi.org/10.1007/s12063-021-00186-z>
- Zheng, J., Li, Y.-H., & Fan, Z. P. (2023). Demand-Driven NEV Supplier Selection: An Integrated Method Based on Ontology-QFD-CBR. *Frontiers in Energy Research*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.958885>