




Paper Type: Original Article

# Modeling a Sustainable and Resilient Supply Chain in the Automotive Industry

Seyedeh Mahboubeh Saeidifar<sup>1</sup>, Iraj Mahdavi<sup>1,\*</sup> , Ali Tajdin<sup>1</sup>, Nikbakhsh Javadian<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Babol, Iran; Seyedeh.mahboubeh.saeidi@gmail.com; Irajustmb@gmail.com; Ali\_tajdin@yahoo.com; Nijavadian@ustmb.ac.ir.

## Citation:

Received: 26 June 2024

Revised: 20 September 2024

Accepted: 02 November 2024

Saeidifar, S. M., Mahdavi, I., Tajdin, A., & Javadian, N. (2024). Modeling a sustainable and resilient supply chain in the automotive industry. *Journal of Quality Engineering and Management*, 14(4), 379-406.

## Abstract

**Purpose:** This work addresses the automotive industry with two important, evolving concepts: sustainability and resiliency. The proposed model is designed to balance economic, environmental, and social objectives while maintaining adaptability to potential supply chain changes and disruptions. A real automotive company is then investigated as the case study to assess the applicability, validity, and performance of the developed model and, eventually, render useful managerial and decision aids.

**Methodology:** To achieve this objective, a comprehensive decision-making model has been developed. In the first stage, supplier evaluation is conducted based on sustainability and resilience criteria. This assessment employs two innovative decision-making approaches: the stochastic fuzzy Best-Worst Method (BWM) and stochastic VIKOR. In the subsequent stage, a multi-objective mathematical model is formulated by incorporating stochastic-fuzzy uncertainty. To solve the model, a fuzzy robust optimization approach combined with a modified multi-choice goal programming method based on a utility function is applied.

**Findings:** In this study, the supply chain of SAIPA Kashan Automotive Company is analyzed across three key dimensions: general criteria, sustainability, and resilience. Indicators such as cost, quality, and reductions in energy consumption were identified as the most critical evaluation factors. Supplier evaluation and ranking were carried out using the fuzzy VIKOR method. The results indicate that, among the main suppliers, the second and fifth options, and among the backup suppliers, the second option, received the highest scores. Furthermore, to assess the robustness and validity of the proposed approach, the results were compared with those obtained using conventional methods.

**Originality/Value:** The value of this research lies in presenting a comprehensive decision-making model under uncertainty and in improving supply chain performance across economic, environmental, and social perspectives. The findings can significantly assist managers and policymakers in the automotive industry in addressing complex supply chain challenges.

**Keywords:** Supply chain management, Sustainability, Resiliency, Automotive industry.



## مدل سازی شبکه زنجیره تامین پایدار و تاب آور در صنعت خودرو

سیده محبوبه سعیدی فرا<sup>۱</sup>، ایرج مهدوی<sup>۱\*</sup>، علی تاجدین<sup>۱</sup>، نیکبخش جوادیان<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران.

### چکیده

**هدف:** این پژوهش به ارایه یک مدل بهینه سازی چندهدفه جهت طراحی زنجیره تامین پایدار با تاکید بر ابعاد تاب آوری پرداخته است. مدل پیشنهادی به گونه ای توسعه یافته است که قادر به ایجاد تعادل بهینه میان اهداف اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی باشد و هم زمان پاسخ مناسبی به تغییرات و اختلالات احتمالی در زنجیره تامین ارایه دهد. جهت اعتبارسنجی و ارزیابی کارایی مدل توسعه یافته، یک مطالعه موردی در صنعت خودروسازی انجام شده است. نتایج این مطالعه نشان دهنده عملکرد مطلوب مدل پیشنهادی بوده و در نهایت ابزارها و راهکارهای مدیریتی کاربردی برای تصمیم گیرندگان زنجیره تامین ارایه گردیده است.

**روش شناسی پژوهش:** برای دستیابی به این هدف، یک مدل تصمیم گیری جامع توسعه یافته است. در مرحله نخست، امتیازدهی به تامین کنندگان با توجه به معیارهای پایداری و تاب آوری صورت می گیرد. این ارزیابی با بهره گیری از دو رویکرد نوآورانه تصمیم گیری، شامل روش بهترین-بدترین فازی تصادفی و روش ویکور تصادفی، انجام می پذیرد. در گام بعدی، یک مدل ریاضی چندهدفه با در نظر گرفتن عدم قطعیت های فازی-تصادفی طراحی شده است. به منظور حل این مدل، از رویکرد بهینه سازی استوار فازی و روش برنامه ریزی آرمانی چندگزینه ای اصلاح شده مبتنی بر تابع مطلوبیت استفاده شده است.

**یافته ها:** در این پژوهش، زنجیره تامین شرکت خودروسازی سایپا کاشان با تمرکز بر سه بعد کلیدی شامل معیارهای عمومی، پایداری و تاب آوری مورد ارزیابی قرار گرفته است. شاخص هایی نظیر هزینه، کیفیت و کاهش مصرف انرژی به عنوان مهم ترین معیارها شناسایی شده اند. ارزیابی و رتبه بندی تامین کنندگان با استفاده از روش ویکور فازی انجام پذیرفته است. نتایج حاصل نشان می دهد که در میان تامین کنندگان اصلی، گزینه های دوم و پنجم و در میان تامین کنندگان پشتیبان، گزینه دوم، بالاترین امتیازات را کسب کرده اند. افزون بر این، به منظور بررسی استواری و اعتبار رویکرد پیشنهادی، نتایج به دست آمده با روش های سنتی مقایسه گردیده اند.

**اصالت/ارزش افزوده علمی:** ارزش افزوده این پژوهش در ارایه یک مدل جامع تصمیم گیری در شرایط عدم قطعیت نهفته است که به بهبود عملکرد زنجیره تامین از جنبه های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی کمک می کند. یافته های تحقیق می توانند نقش موثری در حمایت از تصمیم گیری مدیران و سیاست گذاران صنعت ایفا کرده و آن ها را در مواجهه با چالش های پیچیده و پویای زنجیره تامین یاری رسانند.

کلیدواژه ها: مدیریت زنجیره تامین، پایداری، تاب آوری، صنعت خودرو.

### ۱- مقدمه

در محیط رقابتی کنونی، موضوع زنجیره تامین به یکی از دغدغه های اصلی مدیران سازمان ها و نهادهای مختلف تبدیل شده است. مدیران امروزی دریافته اند که برای بهبود بهره وری واحد اقتصادی خود و دستیابی به مزیت رقابتی پایدار، طراحی بهینه زنجیره تامین امری ضروری است [1].

به همین دلیل، طی سال های اخیر، مدیریت زنجیره تامین به یکی از محورهای اصلی پژوهش های علمی تبدیل شده و تحقیقات متعددی در این زمینه انجام پذیرفته است. در رویکردهای سنتی، مسایل زنجیره تامین عمدتاً بر اساس شاخص های عمومی یا عملکردی نظیر هزینه، زمان تحویل و کیفیت توسط پژوهشگران و مدیران بررسی می شد. با این حال، در سال های اخیر، افزایش نگرانی های زیست محیطی، توسعه فناوری، تشدید رقابت در میان

زنجیره‌های تامین، وقوع اختلالات غیرمنتظره و عوامل مشابه، موجب شده است تا ویژگی‌های جدیدی برای بهبود عملکرد زنجیره‌های تامین موردتوجه قرار گیرد. این تغییر رویکرد، زمینه‌ساز انجام تحقیقات متعددی در این حوزه شده است [2]، [3].

در سال‌های اخیر، با افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی، توجه پژوهشگران به طراحی شبکه زنجیره‌تامین با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی، از جمله کاهش انتشار کربن، معطوف شده است [4]، [5]. این رویکرد که با عنوان زنجیره‌تامین سبز شناخته می‌شود، زمینه‌ساز انجام پژوهش‌های گسترده‌ای در این حوزه بوده است. به تدریج، ابعاد اجتماعی نظیر اشتغال‌زایی و ارتقای ایمنی نیز در طراحی و مدیریت زنجیره‌های تامین موردتوجه قرار گرفت و مفهومی با عنوان طراحی شبکه زنجیره‌تامین با ملاحظات اجتماعی شکل گرفت. در همین راستا، و با هدف دستیابی به توسعه پایدار در زنجیره‌های تامین، پژوهشگران به طراحی شبکه‌هایی پرداختند که هم‌زمان سه بعد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را مدنظر قرار می‌دهند. به‌طورکلی، زمانی که این سه بعد به‌صورت هم‌زمان در طراحی شبکه لحاظ شوند، شبکه حاصل به‌عنوان زنجیره‌تامین پایدار شناخته می‌شود [6]، [7]، [8]. برای درک اهمیت پایداری در کسب‌وکار، می‌توان به نمونه‌هایی از شرکت‌هایی اشاره کرد که به دلیل تمرکز صرف بر رویکردهای سنتی زنجیره‌تامین، با شکست مواجه شدند. به‌عنوان نمونه، فروپاشی ساختمان رانا پلازا در ۲۴ آوریل ۲۰۱۳ که به کشته شدن بیش از هزار کارگر انجامید، و همچنین رسوایی مرتبط با تولید روغن پالم که بهره‌کشی‌های اجتماعی و آسیب‌های زیست‌محیطی گسترده‌ای را در زنجیره‌تامین برخی از شرکت‌های بزرگ آشکار ساخت، از جمله مصادیق بارز این مساله به شمار می‌روند.

از سوی دیگر، همه‌گیری ویروس کرونا به‌روشنی نقاط ضعف صنایع امروزی را آشکار ساخت؛ به‌گونه‌ای که در مدت کوتاهی پس از آغاز این بحران، بسیاری از کسب‌وکارها با اختلالات جدی مواجه شدند که در برخی موارد به تعلیق یا حتی تعطیلی آن‌ها انجامید [9]. به‌عنوان نمونه، شیوع کووید-۱۹ که از شهر ووهان چین، به‌عنوان یکی از مراکز جهانی صنایع خودروسازی، الکترونیک و تجهیزات پزشکی آغاز شد، به دلیل اعمال قرنطینه و محدودیت‌های گسترده، مانع از جابه‌جایی افراد و مواد از این منطقه گردید. این موضوع موجب اختلال در بسیاری از زنجیره‌های تامین جهانی وابسته به ووهان شد. به‌طور مشابه، شرکت هیوندای نیز ناچار شد به دلیل تأخیر در تامین مواد اولیه ناشی از شیوع ویروس کرونا در چین، خطوط تولید خود در کره جنوبی را متوقف کند. این نمونه‌ها، ضرورت اتخاذ رویکردهایی جهت افزایش تاب‌آوری و توانمندی صنایع در مواجهه با اختلالات مشابه را برای پژوهشگران و مدیران برجسته ساخت. در این میان، یکی از مفاهیم کلیدی در حوزه زنجیره‌تامین، مفهوم تاب‌آوری است. به‌طور کلی، تاب‌آوری به توانایی زنجیره‌تامین در بازگشت به وضعیت عادی پس از وقوع اختلالات و بحران‌ها به‌منظور پاسخ‌گویی به تقاضای مشتریان اشاره دارد [10-12].

با توجه به اینکه عدم قطعیت بخش جدایی‌ناپذیر محیط کسب‌وکار محسوب می‌شود و پیش‌بینی دقیق پارامترهایی مانند تقاضای مشتریان بسیار دشوار است [13]، یکی از چالش‌های اساسی مدیران و پژوهشگران در حوزه زنجیره‌تامین، مواجهه با این عدم قطعیت است. بی‌توجهی به این ویژگی ذاتی مساله و نادیده گرفتن آن در مرحله برنامه‌ریزی زنجیره‌تامین می‌تواند منجر به ارایه راهکارهای غیرواقعی و در نهایت، آسیب‌های جدی به کسب‌وکار شود. بنابراین، لحاظ کردن عدم قطعیت در فرآیند طراحی شبکه زنجیره‌تامین امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر به شمار می‌آید [13-16].

صنعت خودروسازی یکی از بزرگ‌ترین و اثرگذارترین صنایع جهان به‌شمار می‌رود که نقش به‌سزایی در اقتصاد و جامعه ایفا می‌کند. این صنعت تأثیرات گسترده‌ای بر جنبه‌های مختلف زندگی افراد، توسعه اقتصادی، حمل‌ونقل و ارتباطات، تحقیق و توسعه، محیط‌زیست و رفاه شهری دارد و از این رو، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. ساختار زنجیره‌تامین در صنعت خودروسازی در کشورهای مختلف می‌تواند بسیار متنوع باشد و به عواملی هم‌چون سطح توسعه صنعت خودروسازی، سیاست‌های حمایتی دولت، میزان تولید داخلی قطعات و مواد اولیه و همچنین حضور تولیدکنندگان محلی و بین‌المللی بستگی دارد [17]، [18].

استراتژی‌های پایداری در زنجیره‌تامین صنعت خودروسازی از اهمیت بالایی برخوردارند، چراکه این صنعت با چالش‌های متعددی در حوزه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی مواجه است. توجه به اصول پایداری در این زنجیره نه تنها می‌تواند به کاهش آثار منفی زیست‌محیطی منجر شود، بلکه موجب ارتقا کارایی و بهره‌وری در فرآیندهای تولید نیز خواهد شد.

یکی از استراتژی‌های رایج در این زمینه، استفاده از مواد بازیافتی و کاهش مصرف منابع طبیعی است. بسیاری از شرکت‌های خودروسازی، از جمله جنرال موتورز، تلاش می‌کنند تا از مواد بازیافتی در تولید قطعات خودرو بهره بگیرند. این رویکرد ضمن کاهش مصرف انرژی و منابع معدنی، آثار منفی زیست‌محیطی ناشی از استخراج مواد اولیه را نیز کاهش می‌دهد.

علاوه بر این، بسیاری از خودروسازان به سمت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهینه‌سازی مصرف سوخت در محصولات خود حرکت کرده‌اند. به‌عنوان نمونه، شرکت تویوتا با تولید خودروهای هیبریدی و برقی، نقش مهمی در کاهش آلودگی هوا و مصرف سوخت ایفا کرده است. اتخاذ چنین استراتژی‌هایی نه تنها آثار زیست‌محیطی را کاهش می‌دهد، بلکه از منظر اقتصادی نیز مزایایی به همراه دارد؛ چراکه تقاضا برای خودروهای سبز و دوستدار محیط‌زیست در بازارهای جهانی رو به افزایش است.

در نهایت، توجه به پایداری اجتماعی در زنجیره‌تامین خودرو نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. به‌عنوان مثال، شرکت‌هایی که به تامین حقوق کارگران و رعایت استانداردهای کار شفاف در تامین‌کنندگان خود اهمیت می‌دهند، می‌توانند به تقویت اعتبار برند خود و ارتقا روابط تجاری با شرکای مختلف کمک کنند.

یکی از مهم‌ترین استراتژی‌ها برای کاهش اختلالات و ریسک‌های حاصل از زنجیره‌تامین در صنعت خودرو، تمرکز بر تاب‌آوری زنجیره‌تامین است [19]، [20]. برای درک بهتر مفهوم تاب‌آوری در زنجیره‌تامین، می‌توان به مثال زیر اشاره کرد. پس از وقوع زلزله سال ۲۰۱۱ در ژاپن، خطوط تولید بسیاری از شرکت‌های خودروسازی دچار آسیب و توقف شدند. شواهد نشان می‌دهد که کارخانه نیشان موتور، علی‌رغم تحمل آسیب‌های فیزیکی گسترده و زیان‌های قابل‌توجه، روند بازیابی سریع‌تری نسبت به سایر رقبا داشت. درحالی‌که شش ماه پس از حادثه، میزان کاهش تولید نیشان تنها حدود چهار درصد بود، سایر شرکت‌ها به‌طور میانگین با کاهش ۲۴/۸٪ تولید مواجه شدند. این عملکرد چشمگیر نیشان موتور را می‌توان نتیجه پیاده‌سازی مولفه‌های تاب‌آوری در سطح کارخانه و زنجیره‌تامین آن دانست. این مثال به‌خوبی نقش حیاتی و تاثیرگذار تاب‌آوری در زنجیره‌تامین صنعت خودروسازی را نمایان می‌سازد.

با توجه به اهمیت روزافزون موضوعات پایداری و تاب‌آوری در زنجیره‌تامین، پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی چندهدفه زنجیره‌تامین پایدار با در نظر گرفتن استراتژی‌های تاب‌آوری در صنعت خودروسازی انجام گرفته است. در این راستا، یک مدل تصمیم‌گیری دو مرحله‌ای طراحی شده است که در آن، خروجی مرحله اول به‌عنوان ورودی مرحله دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در گام ۱، امتیاز تامین‌کنندگان بالقوه بر اساس شاخص‌های مرتبط با مساله تحقیق محاسبه می‌شود. برای این منظور، ابتدا معیارهای مرتبط با زنجیره‌تامین پایدار و تاب‌آور، با بهره‌گیری از مطالعات پیشین و نظرات خبرگان شناسایی می‌شوند. سپس، وزن و اهمیت این معیارها با استفاده از روش بهترین-بدترین تصادفی تعیین می‌گردد. در ادامه، با استفاده از روش ویکور تصادفی، امتیاز تامین‌کنندگان بالقوه بر مبنای معیارهای یادشده محاسبه می‌شود.

در گام ۲، به‌منظور طراحی شبکه زنجیره‌تامین پیشنهادی، یک مدل ریاضی چندهدفه با در نظر گرفتن عدم قطعیت به‌صورت ترکیبی از فازی و تصادفی ارائه می‌شود. برای مقابله با عدم قطعیت، از روش بهینه‌سازی استوار فازی-تصادفی استفاده شده و جهت حل مدل نیز از روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای اصلاح‌شده با تابع مطلوبیت بهره گرفته می‌شود.

به‌صورت کلی، اهداف اصلی این پژوهش به شرح زیر هستند:

۱. شناسایی و اولویت‌بندی معیارهای پایداری و تاب‌آوری با استفاده از روش بهترین-بدترین تصادفی در شرایط عدم قطعیت
۲. رتبه‌بندی تامین‌کنندگان بالقوه بر اساس شاخص‌های شناسایی شده با بهره‌گیری از روش ویکور تصادفی
۳. طراحی یک مدل ریاضی چندهدفه در محیط فازی-تصادفی به‌منظور بهینه‌سازی هم‌زمان پنج هدف کلیدی شامل هزینه، انتشار، پیچیدگی، سطح خدمات و امتیاز تامین‌کننده
۴. مقایسه عملکرد مدل پیشنهادی با مدل‌های مرجع قطعی جهت ارزیابی پایداری، اثربخشی عددی و کاربردپذیری مدل ارائه‌شده

در مجموع، این پژوهش در پی پاسخ‌گویی به پرسش‌های زیر است:

۱. معیارهای زنجیره‌تامین پایدار و تاب‌آور کدام‌اند؟
۲. مهم‌ترین (با اهمیت‌ترین) معیارهای پایداری و تاب‌آوری در زنجیره‌تامین صنعت خودرو کدام‌اند؟

۳. جایگاه تامین‌کنندگان بر مبنای شاخص‌های مساله تحقیق چگونه است؟
۴. مدل‌سازی چندهدفه زنجیره‌تامین پایدار در صنعت خودرو با ابعاد تاب‌آوری چگونه است؟

## ۲- پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی در حوزه‌های مختلف مرتبط با زنجیره‌تامین انجام شده است. همان‌طور که در مقدمه این مطالعه اشاره شد، هدف اصلی پژوهش حاضر، مدل‌سازی چندهدفه زنجیره‌تامین پایدار در صنعت خودروسازی با در نظر گرفتن ابعاد تاب‌آوری و شرایط عدم قطعیت است.

در همین راستا، ابتدا مروری جامع بر پژوهش‌های برجسته‌ای ارائه می‌شود که در آن‌ها از استراتژی‌های پایداری یا تاب‌آوری در زنجیره‌تامین بهره گرفته شده است. سپس مطالعاتی که به بررسی زنجیره‌تامین تحت شرایط عدم قطعیت پرداخته‌اند، مورد تحلیل قرار می‌گیرند. در پایان، شکاف‌های تحقیقاتی موجود شناسایی شده و نقش و نوآوری پژوهش حاضر در پر کردن این شکاف‌ها به‌طور دقیق تبیین خواهد شد.

### ۲-۱- پایداری و تاب‌آوری در زنجیره تامین

در دنیای رقابتی کنونی، مفاهیم پایداری و تاب‌آوری به‌عنوان ارکان اساسی مدیریت زنجیره‌تامین و کسب‌وکار شناخته می‌شوند. زنجیره‌تامین پایدار بر دستیابی هم‌زمان به اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی تمرکز دارد، درحالی‌که تاب‌آوری مجموعه‌ای از راهبردها را شامل می‌شود که سازمان‌ها را در مواجهه با عدم قطعیت‌ها و اختلالات محیطی توانمند می‌سازد و امکان بازگشت سریع به شرایط مطلوب را فراهم می‌کند [21]. در سال‌های اخیر، تحقیقات متعددی با هدف ادغام این دو مفهوم در بخش‌های مختلف زنجیره‌تامین انجام شده است. در ادامه، مروری بر برجسته‌ترین پژوهش‌های مرتبط در این حوزه ارائه می‌گردد. در حوزه زنجیره‌تامین پایدار، علوی و همکاران [22] به بررسی مساله انتخاب تامین‌کننده با در نظر گرفتن ابعاد پایداری و اقتصاد چرخشی در زنجیره‌تامین پرداختند. در گام نخست، پژوهشگران معیارهای مرتبط با پایداری را از طریق بررسی ادبیات موجود و جمع‌آوری نظرات خبرگان در یکی از شرکت‌های هلدینگ پتروشیمی شناسایی کردند. سپس، سیستمی پشتیبان تصمیم طراحی شد که با استفاده از روش بهترین-بدترین فازی، به تعیین وزن معیارها می‌پرداخت. در ادامه، پس از تعیین وزن هر یک از معیارها، تامین‌کنندگان بر اساس اولویت‌بندی حاصل از روش استنتاج فازی ارزیابی و رتبه‌بندی شدند.

در پژوهشی دیگر وو و همکاران [23] پژوهشگران رویکرد جدیدی برای انتخاب تامین‌کنندگان برتر در صنایع شیمیایی با توجه به سه بعد پایداری ارائه کردند. در این تحقیق، از روش‌های مختلف برای محاسبه وزن معیارها استفاده شد. به‌این‌ترتیب که وزن معیارهای اجتماعی با استفاده از روش تحلیل حالت شکست و اثرات، وزن معیارهای اقتصادی با روش تحلیل رابطه فازی خاکستری و وزن معیارهای زیست‌محیطی با بهره‌گیری از روش وزن آتروپی تعیین گردید. سپس، برای تحلیل روابط میان معیارها، از روش دیمتل استفاده شد و در نهایت، برای رتبه‌بندی تامین‌کنندگان، از روش تاپسیس بهره‌برداری شد.

همایونی و همکاران [24] یک مدل ریاضی چندهدفه برای طراحی شبکه لجستیکی چند دوره‌ای پایدار در شرایط عدم قطعیت تصادفی ارائه کردند. به‌منظور مقابله با عدم قطعیت، از رویکرد برنامه‌ریزی استوار استفاده شد. برای حل مدل ریاضی پیشنهادی، پژوهشگران از یک روش ترکیبی بهره بردند که بر پایه برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای و یک روش ابتکاری طراحی شده بود.

بورکی و همکاران [25] به بررسی چگونگی ادغام تصمیمات طراحی محصول و مدیریت زنجیره‌تامین برای تسهیل گذار به سمت مدل‌های پایداری پرداخته‌اند. محققین با استفاده از تحلیل تماتیک بر داده‌های به‌دست‌آمده از ۱۵ مصاحبه نیمه‌ساختار یافته در نیوزیلند، چهار گزاره کلیدی را شناسایی کرده‌اند: «تفکر پایان عمر محصول در طراحی»، «زنجیره‌تامین چرخشی»، «نوآوری مدل کسب‌وکار» و «ارزش‌های سازمانی پایدار». نتایج نشان می‌دهد که ادغام تصمیمات طراحی محصول با مدیریت زنجیره‌تامین می‌تواند به شرکت‌ها کمک کند تا به‌سوی مدل‌های پایداری و چرخشی حرکت کنند. این ادغام چالش‌های زیست‌محیطی و اقتصادی مرتبط با مدل‌های سنتی خطی را کاهش می‌دهد و چارچوبی عملیاتی برای طراحان، مدیران و پژوهشگران فراهم می‌کند تا اهداف اقتصاد چرخشی را در سطح زنجیره‌تامین محقق سازند.

حیدری و همکاران، به بررسی راهکاری برای ایجاد زنجیره‌تأمین پایدار پرداخته‌اند که به موضوعات مهمی نظیر کاهش منابع طبیعی، افزایش زباله‌های صنعتی و گرمایش زمین پاسخ دهد. آن‌ها مدلی دومرحله‌ای را معرفی کرده‌اند که در مرحله اول به تعیین قیمت بهینه محصولات برای تولیدکننده و خرده‌فروش پرداخته و در مرحله دوم از اوراق قرضه سبز برای تأمین مالی زنجیره‌تأمین پایدار استفاده می‌کند. هدف این مدل کاهش هزینه‌های تولیدکننده و رفع نیاز به بودجه اولیه است. برای حل این مساله از الگوریتم‌های تجزیه بندرز و متاهیورستیک استفاده شده و مثال‌های عددی برای نشان دادن قابلیت کاربردی مدل ارائه شده است. همچنین، مدل پیشنهادی با ارائه تخفیف‌ها، مشتریان را به خرید مجدد و بازیافت محصولات ترغیب می‌کند.

دلیکتاس و همکاران [26]، به تحلیل مسأله لجستیک پسماند در زنجیره‌تأمین پایدار پرداختند. در این راستا، محققان یک مدل دومرحله‌ای تصادفی پیشنهاد کردند و سپس نسخه‌ای بهبودیافته از روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای را برای حل مدل ارائه دادند. آن‌ها همچنین کارایی این روش را در حل مسایل پیچیده لجستیک پسماند به‌طور عملی نشان دادند.

در این راستا ژن و همکاران [27] مدلی با هدف طراحی شبکه زنجیره‌تأمین پایدار برای چند محصول در شرایط عدم قطعیت تصادفی ارائه کردند. در این مدل، تصمیمات استراتژیک مختلفی از جمله مکان‌یابی تسهیلات و برنامه‌ریزی ظرفیت آن‌ها در نظر گرفته شده است. مدل پیشنهادی با استفاده از روش لاگرانژ حل شد.

جیانگ و همکاران [28]، به‌طور سیستماتیک ادبیات موجود در زمینه پذیرش تکنولوژی دیجیتال برای مدیریت زنجیره‌تأمین پایدار اجتماعی را مورد بررسی قرار دادند و چارچوب نظری برای شفاف‌سازی مفاهیم کلیدی این حوزه ارائه کردند. در این مطالعه، برای تحلیل ۴۹ مقاله منتشر شده از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۴، از رویکرد تحلیل محتوای سیستماتیک استفاده شد. نتایج این تحقیق شامل شناسایی عوامل پیش‌نیاز، موانع، شیوه‌ها، تسهیل‌کنندگان و نتایج پذیرش تکنولوژی دیجیتال در زنجیره‌تأمین پایدار می‌باشد. مدل مفهومی پیشنهادی که بر اساس چارچوب تکنولوژی سازمان محیط و تئوری انتشار نوآوری طراحی شده است، روابط میان عوامل شناسایی شده را توضیح داده و دیدگاه‌هایی در مورد چگونگی حمایت از توسعه یک زنجیره‌تأمین پایدار اجتماعی ارائه می‌دهد.

در پژوهشی دیگر، اسدی و همکاران [29] در مطالعه خود به طراحی شبکه زنجیره‌تأمین سبز و پاسخگو با تحت عدم قطعیت تصادفی پرداختند. در این راستا، محققین یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه ارائه کرده و با استفاده از روش بهینه‌سازی استوار با عدم قطعیت مساله مقابله کردند. همچنین به‌منظور حل مدل ارائه شده از روش برنامه‌ریزی آرمانی استفاده کردند.

ماستوس و همکاران [30]، مدلی را برای اندازه‌گیری و تحلیل روابط میان عوامل کلیدی، شیوه‌ها و عملکرد مدیریت زنجیره‌تأمین پایدار در صنعت مواد غذایی ارائه دادند. در این پژوهش، محققان با انجام یک نظرسنجی از ۴۲۳ شرکت در صنعت مواد غذایی یونان، به این اهداف پرداخته‌اند. داده‌ها با استفاده از تحلیل عاملی اکتشافی، سپس تحلیل عاملی تأییدی و مدل‌سازی معادلات ساختاری برای بررسی روابط میان ساختارهای مدل تجزیه و تحلیل شدند. نتایج نشان می‌دهد که «عوامل کلیدی پایداری در سطح شرکت» و «عوامل کلیدی پایداری در زنجیره تأمین» به‌طور معناداری «همکاری در زنجیره تأمین» و «گرایش استراتژیک زنجیره تأمین» را تقویت می‌کنند. علاوه بر این، «گرایش استراتژیک زنجیره تأمین» بر «عملکرد اجتماعی» و «عملکرد زیست‌محیطی» تأثیر مثبت دارد، در حالی که «همکاری در زنجیره تأمین» بر «عملکرد اقتصادی» و «عملکرد زیست‌محیطی» تأثیر مثبت می‌گذارد؛ همچنین، «عملکرد اجتماعی» تأثیر مثبت و معناداری بر «عملکرد اقتصادی» دارد.

در حوزه زنجیره‌تأمین تاب‌آور، حبیب و همکاران [31]، مدلی برای طراحی شبکه زنجیره‌تأمین تاب‌آور در محیط‌های با عدم قطعیت شناختی ارائه دادند. در این مدل، محققان به‌طور هم‌زمان مقادیر بهینه تولید و توزیع را تعیین کرده و تصمیمات استراتژیک زنجیره‌تأمین (مانند مکان‌یابی تسهیلات و تعیین ظرفیت آن‌ها با توجه به سناریوهای مختلف اختلالات) را مورد بررسی قرار دادند. برای مقابله با عدم قطعیت، از روش بهینه‌سازی استوار فازی استفاده شد و برای حل این مساله، پژوهشگران از روش تعاملی بهره بردند.

در پژوهشی دیگر، لئونگ و همکاران [32]، مساله انتخاب تامین کنندگان تاب آور را در صنعت مواد غذایی مورد مطالعه قرار دادند. در این راستا، محققین ابتدا معیارهای مرتبط با مساله تحقیق را با مطالعه ادبیات پژوهش شناسایی کرده و با استفاده از روش بهترین-بدترین، وزن معیارها و زیرمعیارها را محاسبه کردند. در گام بعد، تامین کنندگان بالقوه شناسایی شده و با استفاده از روش تاپسیس فازی اولویت بندی شدند.

گلدبک و همکاران [33] به مطالعه مساله زنجیره تامین تاب آور با در نظر گرفتن عدم قطعیت تصادفی پرداختند. در این راستا، محققین یک مدل برنامه ریزی ریاضی چندهدفه ارائه کردند و به منظور مقابله با عدم قطعیت از روش برنامه ریزی تصادفی چند مرحله ای استفاده کردند.

اوزوما و همکاران [34]، به بررسی نقش و اهمیت استراتژی های تاب آوری در زنجیره های تامین جهانی با در نظر گرفتن تاثیرات اقلیمی پرداخته اند. در این راستا محققین به طور سیستماتیک استراتژی هایی را برای شناسایی و ارزیابی ریسک ها، تطبیق با شیوه های زنجیره تامین، ترویج همکاری میان ذینفعان و بهره برداری از حمایت های سیاستی و مقرراتی مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق، چالش های مالی، فناوری و مقرراتی که مانع از پیاده سازی تاب آوری می شوند را برجسته کرده و بر تاثیر تشدیدکننده نابرابری های جهانی تاکید می کند. علاوه بر این، توصیه هایی برای کسب و کارها، سیاست گذاران و نهادهای بین المللی ارائه می دهد تا به اجرای موثر استراتژی های تاب آوری کمک کنند.

در پژوهشی دیگر، سینتی و همکاران [35]، به بررسی روش های افزایش تاب آوری شبکه های تامین در زمان بحران ها توسط شرکت ها پرداخته اند. در این پژوهش، محققان از طراحی مطالعه موردی چندگانه بهره برده و تعاملات درون شبکه های تامین شرکت ها را به طور جامع بررسی کرده اند تا بینش های جدیدی در مورد رویکردهای شبکه تامین و نحوه تقویت تاب آوری آن در برابر عدم قطعیت های جهانی به دست آورند. نتایج این مطالعه نشان می دهند که شرکت ها چگونه تاب آوری شبکه تامین خود را در بحران های جهانی افزایش می دهند. این مطالعه با ارائه دیدگاه های نوین در زمینه شبکه های تامین، اهمیت رویکرد شبکه تامین در زمان بحران های جهانی را برجسته کرده و به غنای درک شیوه های استراتژیک شرکت ها برای مقابله با عدم قطعیت های جهانی و حفظ تداوم زنجیره تامین کمک می کند.

همچنین، محققین پژوهش هایی را با در نظر گرفتن هم زمان مفاهیم پایداری و تاب آوری در زنجیره تامین انجام داده اند. در این راستا گوویندان و همکاران [36]، به طراحی شبکه زنجیره تامین معکوس در صنعت خودرو پرداختند. در این پژوهش محققین یک مدل ریاضی چندهدفه با در نظر گرفتن استراتژی های پایداری و تاب آوری تحت عدم قطعیت ارائه کردند و از روش برنامه ریزی استوار سناریو محور به منظور مقابله با عدم قطعیت مساله و از نسخه بهبود یافته ای از الگوریتم کراس انترویی به منظور حل مدل استفاده کردند.

در پژوهشی دیگر، نیری و همکاران [37]، به مساله ارزیابی تامین کنندگان زنجیره تامین در صنعت پزشکی پرداختند. در این راستا، محققین یک رویکرد جدید داده محور ارائه کردند که استراتژی های تاب آوری، پایداری و پاسخگویی را در مسایل زنجیره تامین لحاظ می کند. در رویکرد ارائه شده توسط محققین، پس از شناسایی معیارها و زیر معیارهای مرتبط با مساله تحقیق، نسخه بهبود یافته ای از روش بهترین بدترین تحت عنوان روش بهترین بدترین تصادفی به منظور محاسبه وزن معیارها و زیر معیارها ارائه گردید.

در پژوهشی دیگر، بیات زاده و همکاران [38]، با بهره گیری از مفاهیم انقلاب صنعتی پنجم که به صورت هم زمان مفاهیم پایداری، تاب آوری و انسان محوری را در زنجیره های تامین در نظر دارد، به شناسایی و ارزیابی معیارهای انتخاب تامین کنندگان پایدار و تاب آور در صنعت فولاد پرداختند. آن ها با استفاده از روش دلفی فازی و بهترین-بدترین فازی، اهمیت معیارهایی چون انسان محوری، همکاری انسان و ربات و فناوری های نوین را برجسته ساختند.

اسدی و همکاران [39] یک مدل تصمیم گیری داده محور به منظور ارزیابی تامین کنندگان با در نظر گرفتن ابعاد انقلاب صنعتی پنجم و زنجیره تامین بادوام ارائه کردند. شایان ذکر است که مفاهیم انقلاب صنعتی پنجم و زنجیره تامین بادوام از مفاهیم نوظهور می باشند که هر دو این مفاهیم استراتژی های پایداری و تاب آوری را در مسایل زنجیره تامین لحاظ می کنند.

گویندان و قلی زاده [36] مدلی برای طراحی شبکه زنجیره‌تامین معکوس با در نظر گرفتن ابعاد پایداری و تاب‌آوری در صنعت خودرو تحت عدم قطعیت تصادفی ارائه کردند؛ همچنین برای مقابله با عدم قطعیت‌ها، محققین از رویکرد برنامه‌ریزی استوار مبتنی بر سناریو بهره برده و جهت حل مدل پیشنهادی از نسخه بهبودیافته الگوریتم کراس آنترابی استفاده کردند.

شبیبر و همکاران [40] با ارائه یک مدل ریاضی به طراحی شبکه زنجیره‌تامین حلقه بسته با در نظر گرفتن استراتژی‌های پایداری و تاب‌آوری در محیط عدم قطعیت تصادفی پرداختند. محققین برای ارزیابی عملکرد مدل ارائه‌شده یک از اطلاعات یک شرکت در حوزه صنعت خودروسازی استفاده کرده و با استفاده از روش بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو با عدم قطعیت مقابله و مدل پیشنهادی را با استفاده از روش لاگرانژ حل کردند.

در پژوهشی دیگر، فروزش و همکاران [41]، به تحلیل شبکه زنجیره‌تامین محصولات فسادپذیر پرداختند. در این راستا، محققین یک مدل ریاضی چندهدفه با در نظر گرفتن عدم قطعیت شناختی در مسایل زنجیره‌تامین ارائه کردند. محققین از رویکرد بهینه‌سازی استوار فازی برای مقابله با عدم قطعیت و از روش محدودیت اسیلون برای حل مدل ارائه‌شده استفاده کردند.

در پژوهشی دیگر، ولی سیار و همکاران [42]، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه به منظور طراحی شبکه زنجیره‌تامین پایدار، تاب‌آور و پاسخگو تحت عدم قطعیت ارائه کردند. در این راستا محققین برای مقابله با عدم قطعیت از روش بهینه‌سازی استوار و از روش لاگرانژ به منظور حل مدل ریاضی استفاده کردند.

در حوزه صنعت داروسازی، کایانی و همکاران [43]، یک مدل تصمیم‌گیری ترکیبی (تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی و مدل برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه) به منظور بهینه‌سازی زنجیره‌تامین دارو ارائه کردند. محققین در مدل ارائه‌شده معیارهای پایداری و تاب‌آوری شبکه زنجیره‌تامین را لحاظ کردند. این چارچوب با استفاده از داده‌های واقعی جمع‌آوری شده از صنعت داروسازی پیاده‌سازی شده است. نتایج نشان می‌دهند که از میان معیارهای پایداری، قیمت محصول، سابقه کسب‌وکار، توانایی نوآوری و افشای اطلاعات به‌عنوان مهم‌ترین زیرمعیارها برای تصمیم‌گیرندگان در صنعت داروسازی شناخته شده‌اند.

در پژوهشی دیگر آگراول و همکاران [44]، یک رویکرد جدید تصمیم‌گیری به نام ارزیابی فازی مبتنی بر فاصله از راه‌حل میانگین ( $F-EDAS$ ) به منظور ارزیابی تامین کنندگان در زنجیره‌تامین ارائه کردند. در این راستا محققین ابتدا معیارهای مرتبط با مساله تحقیق (معیار اجتماعی، زیست‌محیطی، اقتصادی و تاب‌وری) را شناسایی کرده و با استفاده از رویکرد ارائه‌شده وزن معیارها را محاسبه کردند. در گام بعد تامین کنندگان بالقوه را بر مبنای معیارهای مساله تحقیق مورد ارزیابی قرار دادند.

چاوونی بن عبدالله و همکارانش [45]، با در نظر گرفتن استراتژی‌های پایداری، تاب‌آوری و دیجیتالی‌سازی در زنجیره تامین، معیارهای اصلی مرتبط با این استراتژی‌ها را در انتخاب تامین‌کنندگان شناسایی کردند. این شناسایی با استفاده از پرسش‌نامه‌ای که به متخصصان در صنایع مختلف ارائه شده بود، انجام گرفت. در گام بعدی، برای تحلیل و اولویت‌بندی این معیارها، از مدل سلسله‌مراتبی تحلیلی استفاده شد. نتایج این پژوهش می‌تواند برای تصمیم‌گیران و محققان بسیار مفید باشد، زیرا ضمن شفاف‌سازی فرآیند تصمیم‌گیری مبتنی بر معیارهای چندگانه، به بهبود عملکرد زنجیره‌تامین کمک شایانی می‌کند. برای درک بهتر، جدول ۱ به طبقه‌بندی پژوهش‌های مورد بررسی پرداخته است.

جدول ۱- خلاصه‌ای از تحقیقات انجام شده.  
Table 1- Summary of the conducted research.

محقق	مدل ریاضی	پایداری	تاب‌آوری	عدم قطعیت		
				تصادفی	شناختی	عمیق
روش حل	مطالعه موردی	روش مقابله با عدم قطعیت				
علوی و همکاران [22]	-	✓				بهترین - بدترین
وو و همکاران [23]	-	✓				فازی/سیستم استنتاج فازی آنتروپی/دیمتل/تاپسیس
همایونی و همکاران [24]	دوهدفه	✓		✓		برنامه‌ریزی استوار
بورکی و همکاران [25]	-	✓				تحلیل تم
دلیکناس و همکاران [26]	چند هدفه	✓		✓		برنامه‌ریزی آرمانی
زن و همکاران [27]	دوهدفه	✓		✓		چندگزینه‌ای لاگرانژ
جیانگ و همکاران [28]	-	✓				تحلیل محتوای سیستماتیک
حبیب و همکاران [31]	چند هدفه		✓	✓		برنامه‌ریزی استوار فازی
لئونگ و همکاران [32]	-		✓			مواد غذایی
گلدبک و همکاران [33]	تک هدفه		✓	✓		برنامه‌ریزی تصادفی
گوویندان و همکاران [36]	چندهدفه	✓	✓	✓		الگوریتم کراس انتروپی
نیری و همکاران [37]	-	✓	✓			بهترین - بدترین تصادفی
شبیبر و همکاران [40]	چندهدفه	✓	✓	✓		بهینه‌سازی استوار میتنی بر سناریو
فروزش و همکاران [41]	چندهدفه	✓	✓	✓		صنعت پزشکی
ولی سیار و همکاران [42]	چندهدفه	✓	✓	✓		بهینه‌سازی استوار فازی
کایانی و همکاران [43]	چندهدفه	✓	✓			صنعت دارو
آگراول و همکاران [44]	-	✓	✓			F-EDAS
چاوونی بن عبدالله و همکارانش [45]	-	✓	✓			سلسله‌مراتبی تحلیلی
تحقیق حاضر	چند هدفه	✓	✓	✓	✓	روش بهترین - بدترین تصادفی/ویکور تصادفی/برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای اصلاح شده با تابع مطلوبیت

## ۲-۲- شکاف‌های پژوهش و سهم پژوهش حاضر

با بررسی جامع و دقیق ادبیات پژوهش در حوزه زنجیره‌تامین پایدار و تاب‌آور نشان‌دهنده آن است که علی‌رغم مطالعات گسترده‌ای که در این زمینه انجام شده، همچنان شکاف‌های قابل توجهی به‌ویژه در صنعت خودروسازی وجود دارد که نیازمند تحقیقات بیش‌تر و عمیق‌تر هستند.

یکی از مهم‌ترین این شکاف‌ها، کمبود مدل‌های جامع و چندهدفه‌ای است که قادر به یکپارچه‌سازی هم‌زمان سه بعد پایداری (اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی) در کنار تقویت تاب‌آوری زنجیره‌تامین در شرایط عدم قطعیت بالا باشند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مطالعات پیشین اغلب به بررسی جداگانه این ابعاد پرداخته و یا تنها بر بخش خاصی از مفهوم تاب‌آوری، مانند سرعت بازیابی پس از اختلال، تمرکز کرده‌اند. این در حالی

است که زنجیره‌تأمین در دنیای واقعی، مساله‌ای پیچیده و چندسطحی است که تصمیمات استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی در بازه‌های زمانی متفاوت را به صورت هم‌زمان در برمی‌گیرد؛ همچنین، مرور ادبیات نشان‌دهنده آن است که اگرچه برخی پژوهش‌ها به ادغام تصمیمات بلندمدت و میان‌مدت توجه داشته‌اند، ولی مطالعات جامع و دقیقی که تصمیمات متنوعی مانند انتخاب فناوری‌ها، انتخاب تأمین‌کنندگان، تعیین شیوه‌های حمل‌ونقل، مکان‌یابی و ظرفیت‌گذاری تسهیلات را به صورت هم‌زمان تحلیل کرده باشند، بسیار محدود بوده و نیاز به پژوهش‌های عمیق‌تر در این حوزه احساس می‌شود.

شکاف پژوهشی دوم مربوط به رویکرد مطالعات قبلی نسبت به مفهوم عدم قطعیت است. اغلب پژوهش‌ها یکی از انواع عدم قطعیت فازی یا تصادفی را به صورت مستقل مدنظر قرار داده‌اند. به‌عنوان نمونه، مطالعات حبیب و همکاران [31] صرفاً به عدم قطعیت فازی و مطالعات گلدبک و همکاران [33] تنها به عدم قطعیت تصادفی توجه داشته‌اند. با این حال، شرایط واقعی صنعت خودروسازی معمولاً با عدم قطعیت‌های ترکیبی (فازی-تصادفی) همراه است که در پژوهش حاضر برای نخستین بار از چنین رویکرد ترکیبی و نوآورانه‌ای استفاده شده است. این رویکرد قابلیت مدل‌سازی دقیق‌تر و انعطاف‌پذیرتر را فراهم می‌سازد.

سومین شکاف پژوهشی شناسایی شده مربوط به رویکردهای موجود در ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان است. مطالعات قبلی غالباً تأمین‌کنندگان را به صورت تک‌بعدی و فقط از جنبه اقتصادی ارزیابی کرده‌اند (مانند مطالعه لئونگ و همکاران [32]). در این پژوهش برای نخستین بار از یک رویکرد ارزیابی چندمعیاره جامع استفاده شده که شامل دو روش نوآورانه تصمیم‌گیری، یعنی بهترین-بدترین فازی-تصادفی و ویکور تصادفی است. این رویکرد باعث می‌شود تا تأمین‌کنندگان به صورت کامل و یکپارچه از منظر اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و تاب‌آوری ارزیابی شوند.

در پاسخ به این شکاف‌ها، پژوهش حاضر یک چارچوب تصمیم‌گیری دومارحله‌ای نوآورانه ارائه می‌دهد که از ترکیب سه روش پیشرفته تشکیل شده است. در مرحله اول، وزن‌دهی معیارهای ارزیابی تأمین‌کنندگان با استفاده از روش بهترین-بدترین فازی-تصادفی صورت گرفته است که قابلیت مدل‌سازی عدم قطعیت‌های محیطی را با سه سناریوی خوش‌بینانه، محتمل و بدبینانه دارد. سپس در همان مرحله از روش ویکور تصادفی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان استفاده شده است. در مرحله دوم، یک مدل ریاضی چندهدفه فازی-تصادفی توسعه داده شده که پنج هدف کلیدی شامل کمینه‌سازی هزینه، کاهش انتشار آلاینده‌ها، حداکثرسازی بینایی زنجیره‌تأمین، کاهش پیچیدگی گره‌ها و افزایش امتیاز تأمین‌کنندگان را در شرایط واقعی و پیچیده صنعت خودرو به صورت هم‌زمان بهینه‌سازی می‌کند.

برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، نتایج آن با یک مدل مرجع قطعی مقایسه شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد مدل پیشنهادی باعث کاهش حدود ۱۸٪ در هزینه‌های زنجیره‌تأمین، بهبود ۳۰٪ سطح بینایی زنجیره و افزایش ۱۹٪ امتیاز تأمین‌کنندگان شده است. علاوه بر این، شاخص عملکرد زیست‌محیطی و اجتماعی نیز به طور متوسط پانزده درصد بهبود یافته است. نتایج حاصل در تمامی سناریوهای تعریف شده از ثبات و پایداری عددی مناسبی برخوردار بوده و انحراف در نتایج اهداف اصلی کم‌تر از ۱۰٪ بوده است؛ همچنین، این پژوهش برای نخستین بار شاخص‌هایی هم‌چون پیچیدگی گره‌ها، ظرفیت مازاد، سیستم‌های اشتراک‌گذاری اطلاعات و بینایی زنجیره را در کنار اهداف متداول اقتصادی و زیست‌محیطی در یک چارچوب تصمیم‌گیری یکپارچه گنجانده است. این خصوصیات، مدل پیشنهادی را به ابزاری قدرتمند و کاربردی برای تصمیم‌گیری مدیران در زنجیره‌های تأمین پیچیده و پر مخاطره تبدیل کرده است.

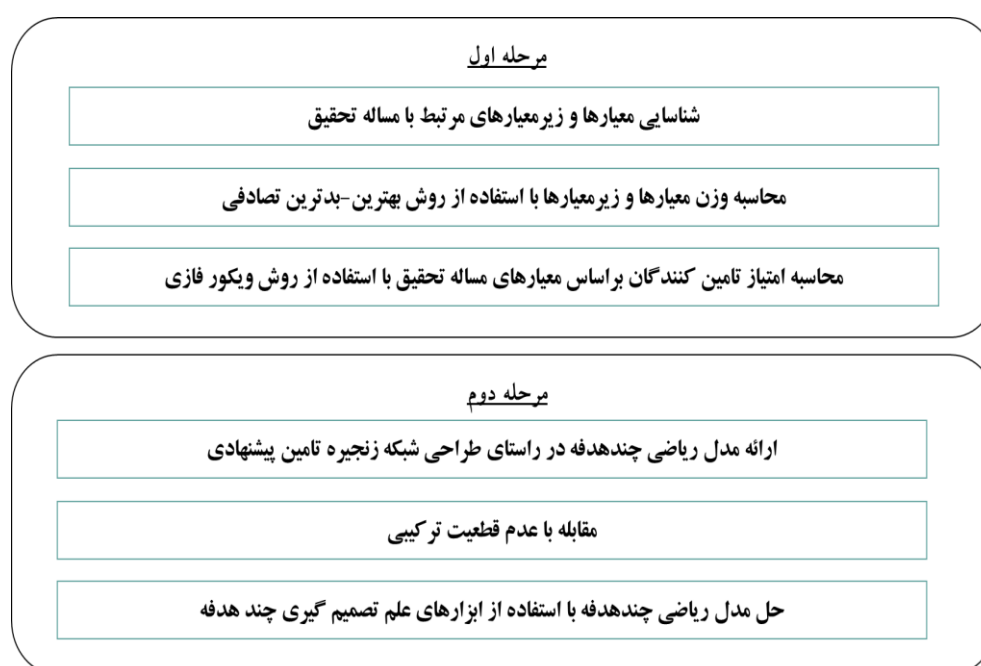
به صورت کلی، تمایز پژوهش حاضر با مطالعات پیشین را می‌توان به این صورت خلاصه کرد:

۱. استفاده از عدم قطعیت ترکیبی (فازی-تصادفی) به جای رویکردهای تک‌بعدی (فازی یا تصادفی)
۲. طراحی فرآیند ارزیابی دومارحله‌ای برای تأمین‌کنندگان با بهره‌گیری از روش‌های بهترین-بدترین فازی-تصادفی و ویکور تصادفی به جای رویکردهای تک‌مرحله‌ای
۳. لحاظ هم‌زمان ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و تاب‌آوری در مدل پیشنهادی
۴. ساختار تصمیم‌گیری چندسطحی شامل تصمیمات استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی به صورت یکپارچه
۵. رویکرد حل مساله نوآورانه با استفاده از بهینه‌سازی استوار فازی-تصادفی و برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای اصلاح شده با تابع مطلوبیت به جای مدل‌های ساده‌تر و سنتی‌تر است.

## ۳- روش تحقیق

همان طور که در ابتدای پژوهش بیان شد، این تحقیق به دنبال مدل سازی چند هدفه زنجیره تامین پایدار با در نظر گرفتن استراتژی های تاب آوری در صنعت خودرو می باشد. در این راستا، یک مدل تصمیم گیری دو مرحله ای ارائه خواهد شد که در مرحله اول، به منظور محاسبه امتیاز تامین کنندگان، ابتدا معیارهای مرتبط با مساله تحقیق با مطالعه ادبیات پژوهش و نظرات خبرگان شناسایی شده و با استفاده تکنیک بهترین-بدترین تصادفی وزن دهی می گردند.

سپس، امتیاز تامین کنندگان بالقوه بر مبنای معیارهای مساله تحقیق و با استفاده از روش ویکور تصادفی محاسبه می گردد. در گام دوم نیز یک مدل چندهدفه به منظور طراحی شبکه زنجیره تامین پایدار با در نظر گرفتن استراتژی های تاب آوری تحت عدم قطعیت فازی-تصادفی ارائه می گردد. در ادامه به منظور مقابله با عدم قطعیت از روش بهینه سازی استوار فازی تصادفی و به منظور حل مدل ارائه شده از روش برنامه ریزی آرمانی چندگزینه ای اصلاح شده با تابع مطلوبیت استفاده می شود. شکل ۱ شمای کلی مراحل انجام پژوهش حاضر را نشان می دهد.



شکل ۱- چارچوب تحقیق.

Figure 1- The research framework.

## ۳-۱- روش بهترین بدترین تصادفی

یکی از روش های پرکاربرد در حوزه تصمیم گیری چندمعیاره برای محاسبه وزن معیارها، روش بهترین-بدترین است که بر مبنای مقایسات زوجی طراحی شده است. این روش، برخلاف سایر تکنیک های مشابه نظیر تحلیل سلسله مراتبی، به جای انجام مقایسات زوجی میان تمامی شاخص ها، ابتدا بهترین و بدترین شاخص را تعیین کرده و سپس سایر شاخص ها تنها با این دو مقایسه می شوند [46]. این رویکرد منجر به کاهش چشمگیر تعداد مقایسات زوجی می شود. روش سنتی بهترین-بدترین با رویکردی قطعی به مقایسات زوجی پرداخته و تمامی آن ها را به صورت دقیق در نظر می گیرد. این ویژگی می تواند در محیط هایی که با نوسانات و عدم قطعیت قابل توجه همراه هستند، موجب کاهش اثربخشی این روش شود.

برای رفع این محدودیت، پژوهشگران نسخه های متنوعی از این روش را برای مواجهه با شرایط عدم قطعیت توسعه داده اند، از جمله نسخه های فازی، خاکستری و راف [37]، [47]، [48]. علاوه بر این، روش بهترین-بدترین با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف بهبود یافته است که شامل روش هایی نظیر بهترین-بدترین تصادفی و بهترین-بدترین فازی تصادفی می شود [49]. در این پژوهش، وزن دهی معیارها بر اساس روش بهترین-بدترین تصادفی صورت گرفته است که نسخه ای سناریومحور از روش بهترین-بدترین به شمار می رود [50]. در این مدل، پس از شناسایی معیارهای بهترین و بدترین، بردارهای مقایسات زوجی با توجه به سناریوهای متنوع (نظیر سناریوهای بدبینانه، خوش بینانه و محتمل) و بدون در نظر گرفتن طیف

عددی و بر مبنای مقیاس موردنظر (به عنوان مثال اعداد یک تا نه) تدوین می‌شوند در گام بعد، در ادامه، با بهره‌گیری از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی مبتنی بر سناریو که جزییات آن در فایل پیوست ارائه خواهد شد.

### ۳-۲- روش ویکور تصادفی

روش ویکور یک تکنیک بهینه‌سازی چندمعیاره و مبتنی بر اجماع است. این روش در ابتدا توسط آپریکوویچ در سال ۱۹۹۸ معرفی شد تا مسایل تصمیم‌گیری چندمعیاره را حل کرده و بهترین راه‌حل ممکن را ارائه دهد. در این روش، گزینه‌ها بر اساس مجموعه‌ای از شاخص‌های مختلف رتبه‌بندی و انتخاب می‌شوند. هدف اصلی روش ویکور، نزدیک کردن اکثر گزینه‌ها به پاسخ ایده‌آل در هر شاخص است تا گزینه‌ها بر اساس این هدف رتبه‌بندی شوند [51].

روش‌های مختلفی برای ویکور ارائه شده است، مانند ویکور فازی، ویکور خاکستری و نمونه‌های مختلف دیگر. در این پژوهش، برای روش ویکور تصادفی ارائه می‌شود که در آن سناریوهای مختلفی طراحی می‌شوند که هر یک وزن مشخصی دارند و بر اساس این سناریوها، وزن نهایی گزینه‌ها تعیین می‌شود. به عبارت دیگر، انتخاب گزینه بهینه بر اساس شرایط و سناریوهای مختلف پیش رو انجام شده و از این طریق به پاسخ بهینه در دنیای واقعی نزدیک‌تر خواهیم شد. مراحل روش ویکور تصادفی در فایل پیوست ارائه شده است.

### ۳-۳- مدل ریاضی چند هدفه

در این قسمت یک مدل چندهدفه به منظور طراحی شبکه زنجیره تامین پایدار با در نظر گرفتن استراتژی‌های تاب‌آوری تحت عدم قطعیت فازی-تصادفی ارائه می‌گردد. در این راستا، زنجیره‌تامین پیشنهادی شامل چهار سطح است که عبارت‌اند از تامین‌کنندگان یعنی تامین‌کنندگان پشتیبان<sup>۱</sup> و تامین‌کنندگان اولیه<sup>۲</sup>، سایت‌های تولید<sup>۳</sup>، مراکز توزیع<sup>۴</sup> و نقاط تقاضا<sup>۵</sup>. در این زنجیره تامین، مواد اولیه<sup>۶</sup> از *PSs* یا *BSs* تهیه شده و در فرآیند تولید مورد استفاده قرار می‌گیرند. در صورتی که *PS* نتواند مواد اولیه را تامین کند، *BSs* برای تامین مواد مورد نیاز انتخاب می‌شوند. سپس، مواد اولیه برای تولید محصولات در *MSs* به کار می‌روند. محصولات تولید شده به *DCs* ارسال می‌شوند تا نیاز مناطق مشتریان را برآورده کنند.

برای طراحی شبکه زنجیره‌تامین موردنظر، مدلی ریاضی چند هدفه فازی مبتنی بر سناریو پیشنهاد شده است که در آن ابعاد پایداری و تاب‌آوری زنجیره‌تامین در نظر گرفته شده‌اند. در این راستا، مفهوم پایداری از طریق بررسی ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی مورد توجه قرار گرفته است. در این زمینه، انتشار گازهای گلخانه‌ای به عنوان یک مولفه مهم در ستون‌های زیست‌محیطی در نظر گرفته شده است [29]، [52]. علاوه بر این، هزینه‌های زنجیره‌تامین شامل هزینه‌های ثابت، خرید، تولید، عملیات، حمل‌ونقل و کمبود به عنوان ابعاد اقتصادی لحاظ شده‌اند [53].

همچنین، فرصت‌های شغلی ایجاد شده توسط *PSs*، *BSs*، *MSs* و *DCs* به عنوان بخشی از ابعاد اجتماعی مورد توجه قرار گرفته‌اند. از سویی دیگر، مفهوم تاب‌آوری از طریق در نظر گرفتن ظرفیت اضافی، تامین‌کنندگان پشتیبان [54]، سناریوهای اختلال در ظرفیت تسهیلات [55]، پیچیدگی‌ها و احداث سیستم اشتراک‌گذاری اطلاعات که باعث افزایش بینایی و کاهش ریسک و اختلالات در زنجیره‌تامین می‌شود [56]. همچنین در این تحقیق از روش‌های مختلف حمل‌ونقل (*TMs*) استفاده شده است که هر کدام هزینه‌ها و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خاص خود را دارند.

در این راستا، ابتدا شاخص‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مرتبط با مدل تعریف و تشریح می‌شوند. در ادامه، مساله تحقیق به صورت یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه تدوین و ارائه خواهد شد.

<sup>1</sup> Backing Suppliers (BSs)

<sup>2</sup> Primary Suppliers (PSs)

<sup>3</sup> Manufacturing sites (MSs)

<sup>4</sup> Distribution Centers (DCs)

<sup>5</sup> Demand Points (DPs)

<sup>6</sup> Raw Materials (RMs)

جدول ۲- اندیس‌ها، پارامترها و متغیرها  
Table 2- Sets, parameters and variables.

اندیس‌ها	
I	تامین‌کنندگان اولیه
b	تامین‌کنندگان پشتیبان
j	مراکز تولید
k	مراکز توزیع
c	مشتریان
r	مواد اولیه
q	وسایل نقلیه
f	اندیس سیستم‌های اشتراک‌گذاری اطلاعات
s	اندیس سناریوها
پارامترهای پایداری	
پارامترهای مربوط به معیار اقتصادی	
$\overline{FOS}_i$	هزینه ثابت انعقاد قرارداد با تامین‌کننده اصلی i
$\overline{FOB}_b$	هزینه ثابت انعقاد قرارداد با تامین‌کننده پشتیبان b
$\overline{FOM}_j$	هزینه‌های ثابت مربوط به ساخت یا تأسیس مرکز تولیدی j
$\overline{FOD}_k$	هزینه‌های ثابت مرتبط با ساخت مرکز توزیع k
$\overline{PCR}_{ri}$	هزینه خرید از تامین‌کننده اصلی i (به ازای هر واحد ماده اولیه r)
$\overline{BCR}_{rb}$	هزینه خرید از تامین‌کننده پشتیبان b (به ازای هر واحد ماده اولیه r)
$\overline{MC}_j$	هزینه‌های تولید محصولات در مرکز تولیدی مشخص j
$\overline{OC}_k$	هزینه‌های مرتبط با عملیات توزیع کالا از مرکز توزیع k
$\overline{TC}_q$	هزینه جابجایی با وسیله نقلیه q بین نقاط مختلف زنجیره تامین
$\overline{Sh}_c$	هزینه ناشی از عدم تامین کالا (کمبود) برای مشتری c
پارامترهای زیست‌محیطی	
$\overline{EM}_j$	میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در مرکز تولید j
$\overline{ET}_q$	میزان انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی توسط وسیله نقلیه q
پارامترهای اجتماعی	
$\overline{JOP}_i$	فرصت‌های شغل ایجادشده ناشی از همکاری با تامین‌کننده اصلی i
$\overline{JOB}_b$	فرصت‌های شغل ایجادشده ناشی از همکاری با تامین‌کننده پشتیبان b
$\overline{JOM}_j$	فرصت‌های شغل ایجادشده ناشی از احداث مرکز تولید j
$\overline{JOD}_k$	فرصت‌های شغل ایجادشده ناشی از احداث مرکز توزیع k
پارامترهای تاب‌آوری	
$\overline{MEC}_j$	هزینه مرتبط با ایجاد ظرفیت مازاد در مرکز تولید j
$\overline{DEC}_k$	هزینه مرتبط با ایجاد ظرفیت مازاد در مرکز توزیع k
$\partial_{es}$	درصد ظرفیت مختل شده برای تسهیل e در سناریو s
$TA_{eeq}$	پارامتر باینری (در صورتی که وسیله نقلیه q بین نقاط e و e قابل استفاده باشد، در غیر این صورت برابر با صفر است).
$\overline{FOI}_f$	هزینه راه‌اندازی سیستم اشتراک‌گذاری اطلاعات f
$IE_{fs}$	مجموع اطلاعات تبادل شده توسط سیستم اشتراک‌گذاری اطلاعات f در سناریو s
سایر پارامترها	
$\alpha$	سطح سرویس برای نقطه تقاضا c
$\overline{TT}_q$	متوسط زمان موردنیاز برای حمل و نقل q توسط وسیله نقلیه (H\Kg-Km)
$\overline{ST}_i$	متوسط زمان موردنیاز برای تحویل مواد اولیه از تامین‌کننده اصلی
$\overline{BT}_b$	متوسط زمان موردنیاز برای تحویل مواد اولیه از تامین‌کننده پشتیبان b
$Pcap_{ri}$	ظرفیت تامین‌کننده اصلی i در تامین ماده اولیه r

## جدول ۲- ادامه.

Table 2- Continued.

سایر پارامترها	
Bcap <sub>rb</sub>	ظرفیت تامین کننده پشتیبان b در تامین ماده اولیه r
Mcap <sub>j</sub>	ظرفیت مرکز تولید j
Dcap <sub>k</sub>	ظرفیت مرکز توزیع k
$\overline{Dem}_{cs}$	میزان تقاضا برای نقطه تقاضا c در سناریو s
Dis <sub>e'e'</sub>	فاصله بین دو تسهیل در زنجیره e و e'
av <sub>r</sub>	درصد مصرف از ماده اولیه r برای تولید محصول
wi	وزن سیستم اشتراک گذاری اطلاعات.
we	وزن معیار زیست محیطی.
ws	وزن معیار اجتماعی.
سایر پارامترها	
wn	وزن معیار پیچیدگی گره ها
Ps <sub>s</sub>	احتمال رخداد سناریو s
BigM	عدد مثبت بسیار بزرگ
متغیرهای تصمیم	
ZP <sub>i</sub>	متغیر باینری انتخاب تامین کننده اصلی i (در صورت انتخاب برابر مقدار ۱، در غیر این صورت برابر با مقدار ۰)
ZB <sub>b</sub>	متغیر باینری انتخاب تامین کننده پشتیبان b (در صورت انتخاب برابر مقدار ۱، در غیر این صورت برابر با مقدار ۰)
ZM <sub>j</sub>	متغیر باینری احداث مرکز تولید j (در صورت احداث برابر مقدار ۱، در غیر این صورت برابر با مقدار ۰)
ZD <sub>k</sub>	متغیر باینری احداث مرکز توزیع k (در صورت احداث برابر مقدار ۱، در غیر این صورت برابر با مقدار ۰)
ZI <sub>f</sub>	متغیر باینری راه اندازی سیستم اشتراک گذاری f (در صورت احداث برابر مقدار ۱، در غیر این صورت برابر با مقدار ۰)
TQ <sub>ee'q</sub>	متغیر باینری استفاده از وسیله نقلیه q بین تسهیلات در صورت احداث برابر مقدار ۱، در غیر این صورت برابر با مقدار ۰
RSM <sub>rijqs</sub>	میزان ارسال ماده اولیه r از تامین کننده اصلی i به مرکز تولید j با وسیله نقلیه q در سناریو s.
RBM <sub>rbjqs</sub>	میزان ارسال ماده اولیه r از تامین کننده پشتیبان b به مرکز تولید j با وسیله نقلیه q در سناریو s
QMD <sub>jkqs</sub>	میزان ارسال محصول از مرکز تولید j به مرکز توزیع k با وسیله نقلیه q در سناریو s
QDC <sub>kccqs</sub>	میزان ارسال محصول از مرکز توزیع k به مشتری c با وسیله نقلیه q در سناریو s
VIS <sub>fs</sub>	میزان بینایی ایجاد شده با راه اندازی سیستم اشتراک گذاری اطلاعات f در زنجیره تامین تحت سناریو s
QSC <sub>cs</sub>	مقدار کمبود کالا برای مشتری c در سناریو s
NC	پیچیدگی گره در زنجیره تامین
ECM <sub>js</sub>	ظرفیت مازاد ایجاد شده در مرکز تولید j
ECD <sub>ks</sub>	ظرفیت مازاد ایجاد شده در مرکز توزیع k

با توجه به موارد ذکر شده، مدل پیشنهادی دارای پنج هدف به شرح زیر می باشد:

$$\begin{aligned} \text{minimize } Z1 = & \sum_i \overline{FOS}_i ZP_i + \sum_b \overline{FOB}_b ZB_b + \sum_j \overline{FOM}_j ZM_j + \sum_k \overline{FOD}_k ZD_k + \sum_f \overline{FOI}_f Zf_f \\ & + \sum_s PS_s \left( \sum_{r,i,j,q} \overline{PCR}_{ri} RSM_{rijqs} + \sum_{r,b,j,q} \overline{BCR}_{rb} RBM_{rbjqs} + \sum_{j,k,q} \overline{MC}_j QMD_{jkqs} + \sum_{k,c,o,q} \overline{OC}_k QDC_{kcqs} \right. \\ & + \sum_c \overline{Sh}_c QSC_{cs} + \sum_j \overline{MEC}_j ECM_{js} + \sum_k \overline{DEC}_k ECD_{ks} \\ & + \sum_q \overline{TC}_q \left( \sum_{r,i,j} Dis_{ij} RSM_{rijqs} + \sum_{r,b,j} Dis_{bj} RBM_{rbjqs} + \sum_{j,k} Dis_{jk} QMD_{jkqs} \right. \\ & \left. \left. + \sum_{k,c} Dis_{kc} QDC_{kcqs} \right) \right) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{minimize } Z2 \\ = we \times & \left[ \sum_s \frac{PS_s \left( \sum_{j,k,q} \overline{EM}_j QMD_{jkqs} + \sum_q \overline{ET}_q \left( \begin{array}{l} \sum_{r,i,j} Dis_{ij} RSM_{rijqs} + \\ \sum_{r,b,j} Dis_{bj} RBM_{rbjqs} + \\ \sum_{j,k} Dis_{jk} QMD_{jkqs} + \\ \sum_{k,c} Dis_{kc} QDC_{kcqs} \end{array} \right) - MinEi \right)}{MaxEi - MinEi} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & +ws \times \left[ \frac{MaxSoc - (\sum_i \overline{JOP}_i ZP_i + \sum_b \overline{JOB}_b ZB_b + \sum_j \overline{JOM}_j ZM_j + \sum_k \overline{JOD}_k ZD_k)}{MaxSoc - MinSoc} \right] \\ & +ws \times \left[ \frac{MaxSoc - (\sum_i \overline{JOP}_i ZP_i + \sum_b \overline{JOB}_b ZB_b + \sum_j \overline{JOM}_j ZM_j + \sum_k \overline{JOD}_k ZD_k)}{MaxSoc - MinSoc} \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z4 = & \sum_i \overline{ST}_i ZP_i + \sum_b \overline{BT}_b ZB_b \\ & + \sum_{q,s} PS_s \overline{TT}_q \left( \sum_{r,i,j} Dis_{ij} RSM_{rijqs} + \sum_{r,b,j} Dis_{bj} RBM_{rbjqs} + \sum_{j,k} Dis_{jk} QMD_{jkqs} \right. \\ & \left. + \sum_{k,c} Dis_{kc} QDC_{kcqs} \right), \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{maximize } Z5 = \sum_i VS_i ZP_i + \sum_b VB_b ZB_b. \quad (5)$$

در مدل بالا معادله تابع هدف اول معادله (۱) با هدف حداقل سازی کل هزینه های زنجیره تامین تعریف شده است. این هزینه ها شامل هزینه های قرارداد با  $PS_s$  و  $BSS$ ، هزینه های تاسیس  $MS_s$ ،  $DC_s$ ، سیستم اشتراک گذاری اطلاعات، ظرفیت اضافی در  $MS_s$  و  $DS_s$ ، هزینه خرید تامین کنندگان، هزینه های تولید، عملیات، کمبود و حمل و نقل هستند.

تابع هدف دوم معادله (۲) تلاش می‌کند تا کل انتشار گازهای گلخانه‌ای را به حداقل برساند و هم‌زمان منافع اجتماعی را به حداکثر برساند. در این معادله،  $MaxEi$  راه‌حل ایده‌آل مثبت ( $PIS$ ) برای هدف زیست‌محیطی است که حداقل مقدار ممکن برای تاثیرات زیست‌محیطی را نشان می‌دهد. همچنین  $MinEi$  راه‌حل ایده‌آل منفی ( $NIS$ ) است که بیش‌ترین مقدار تاثیرات زیست‌محیطی را مشخص می‌کند. به همین ترتیب،  $MaxSoc$  و  $MinSoc$  نیز به ترتیب راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی برای هدف اجتماعی است که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار ممکن منافع اجتماعی را نشان می‌دهد.

تابع هدف سوم، معادله (۳) با هدف حداکثرسازی بینایی زنجیره‌تامین و حداقل‌سازی پیچیدگی گره‌ها تعریف شده است. در این معادله نیز  $MaxV$  و  $MinV$  به ترتیب راه‌حل ایده‌آل مثبت برای بخش بینایی شبکه زنجیره‌تامین و  $MinNC$  و  $MaxNC$  به ترتیب راه‌حل ایده‌آل مثبت برای بخش پیچیدگی گره شبکه زنجیره‌تامین می‌باشد. تابع هدف چهارم، معادله (۴) کل زمان زنجیره‌تامین را به حداقل می‌رساند.

تابع هدف پنجم، معادله (۵) امتیاز تامین‌کنندگان را که در مرحله قبل با توجه به معیارهای پایداری و تاب‌آوری کسب‌شده بود، به حداکثر می‌رساند.

### ۳-۴- محدودیت‌های مدل ارائه‌شده

#### ۳-۴-۱- محدودیت‌های مرتبط با تعادل جریان

$$\left( \sum_{i,q} RSM_{rijqs} + \sum_{b,q} RBM_{rbjqs} \right) \times \left( (1 - \sigma_1) ZT_j + (1 - \sigma_2)(1 - ZT_j) \right) = \sum_{k,q} ur_r QMD_{jkqs}, \text{ for all } s, r, j, \quad (6)$$

$$\sum_{j,q} QMD_{jkqs} = \sum_{q,c} QDC_{kcqs}, \text{ for all } s, k, \quad (7)$$

$$\sum_{k,q} QDC_{kcqs} + QSC_{cs} \geq \widetilde{Dem}_{cs}, \text{ for all } c, s. \quad (8)$$

معادله (۶)، مقدار مواد اولیه ارسالی از تامین‌کنندگان اصلی و پشتیبان به مراکز تولیدی را محاسبه می‌کند. همچنین معادله (۷) و معادله (۸) نیز به ترتیب مقدار محصول ارسال‌شده از مراکز تولید به مراکز توزیع و از مراکز توزیع به سمت مشتریان را محاسبه می‌کنند.

$$\sum_{j,q} RSM_{rijqs} \leq (1 - \partial_{is}) Pcap_{ri} ZP_i, \text{ for all } r, i, s, \quad (9)$$

$$\sum_{j,q} RBM_{rbjqs} \leq Bcap_{rb} ZB_b, \text{ for all } r, b, s, \quad (10)$$

$$\sum_{k,q} QMD_{jkqs} \leq (1 - \partial_{js}) Mcap_j ZM_j, \text{ for all } j, s, \quad (11)$$

$$\sum_{c,q} QDC_{kcqs} \leq (1 - \partial_{ks}) Dcap_k ZD_k, \text{ for all } k, s, \quad (12)$$

#### ۳-۴-۲- محدودیت‌های مرتبط با ظرفیت

$$VIS_{fs} = (1 - \partial_{fs}) IE_{fs} ZI_f, \text{ for all } f, s, \quad (13)$$

$$\sum_f ZI_f = 1, \quad (14)$$

#### ۳-۴-۳- محدودیت مرتبط با سیستم اشتراک‌گذاری اطلاعات

محدودیت‌های (۱۳) میزان بینایی شبکه زنجیره‌تامین ناشی از استقرار سیستم اشتراک‌گذاری اطلاعات نشان می‌دهد. همچنین محدودیت (۱۴) نشان می‌دهد که سیستم اشتراک‌گذاری اطلاعات در زنجیره‌تامین باید مستقر شود.

۳-۴-۴- محدودیت مرتبط با میزان پیچیدگی گره

$$NC = \sum_i ZP_i + \sum_b ZB_b + \sum_j ZP_j + \sum_k ZD_k, \quad (15)$$

محدودیت (۱۵) پیچیدگی گره‌ها در زنجیره‌تامین را محاسبه می‌کند.

سایر محدودیت‌ها

$$\frac{\sum_{k,c,q,s} QDC_{kcqs}}{\sum_{c,s} Dem_{cs}} \geq \alpha. \quad (16)$$

$$TQ_{ijq} \leq ZP_i \cdot TA_{ijq}, \text{ for all } i, j, q. \quad (17)$$

$$TQ_{bjq} \leq ZB_b \cdot TA_{bjq}, \text{ for all } b, j, q. \quad (18)$$

$$TQ_{jkq} \leq ZM_j \cdot TA_{jkq}, \text{ for all } j, k, q. \quad (19)$$

$$TQ_{jkq} \leq ZD_k \cdot TA_{jkq}, \text{ for all } j, k, q. \quad (20)$$

$$TQ_{kcq} \leq ZD_k \cdot TA_{kcq}, \text{ for all } k, c, q. \quad (21)$$

$$TQ_{koq} \leq ZD_k \cdot TA_{koq}, \text{ for all } k, o, q. \quad (22)$$

$$RSM_{rijqs} \leq BigM \cdot TQ_{ijq}, \text{ for all } r, i, j, q, s. \quad (23)$$

$$RBM_{rbjqs} \leq BigM \cdot TQ_{bjq}, \text{ for all } r, b, j, q, s. \quad (24)$$

$$QMD_{jkqs} \leq BigM \cdot TQ_{jkq}, \text{ for all } j, k, q, s. \quad (25)$$

$$QDC_{kcqs} \leq BigM \cdot TQ_{kcq}, \text{ for all } k, c, q, s. \quad (26)$$

$$QDO_{koqs} \leq BigM \cdot TQ_{koq}, \text{ for all } k, o, q, s. \quad (27)$$

$$XS_i, XM_{jt}, ZSM_{ijm}, ZMD_{jkm} \in \quad (28)$$

$$\{0,1\}; QSM_{rijms}, QMC_{jktms}, B_{ks}, EXC_{js} \geq 0, \text{ for all } m, t, j, k, s, r.$$

محدودیت (۱۶)، حداقل سطح سرویس‌دهی به مشتریان را نشان می‌دهد. محدودیت (۱۷) تا محدودیت (۲۲)، ارتباط بین تصمیمات مکانی و حمل‌ونقل را با استفاده از متغیرهای دودویی نشان می‌دهند. محدودیت (۲۳) تا محدودیت (۲۷) نیز مشخص می‌کنند که مواد و محصولات فقط در صورتی می‌توانند توسط روش حمل‌ونقل  $q$  منتقل شوند که آن روش انتخاب شده باشد. همچنین محدودیت (۲۸)، محدوده متغیرها را نشان می‌دهد.

### ۳-۴- روش بهینه‌سازی استوار فازی-تصادفی

عدم قطعیت یکی از چالش‌های اساسی در محیط کسب‌وکار است. نادیده گرفتن عدم قطعیت در مرحله برنامه‌ریزی می‌تواند منجر به نتایج غیرواقعی شود که ممکن است زیان‌های قابل توجهی به همراه داشته باشد [24]، [29]. در این زمینه، شیوع بیماری کرونا به‌عنوان یک بحران جهانی، سطح بالایی از عدم قطعیت را در زنجیره‌های تامین و کسب‌وکارها ایجاد کرده است و موجب شده است تا توجه پژوهشگران به موضوع عدم قطعیت ترکیبی معطوف گردد. از این رو، پژوهش حاضر تلاش دارد تا مساله تحقیق را با در نظر گرفتن عدم قطعیت فازی-تصادفی موردبررسی قرار دهد و با شبیه‌سازی شرایط واقعی تر، به راه‌حلی کاربردی تر و قابل‌انکاتر دست یابد. هدف از این رویکرد، افزایش توان مدل در مواجهه با سطوح بالای عدم قطعیت و ارائه تصمیماتی موثرتر برای مدیریت زنجیره‌تامین در شرایط بحرانی است.

در این راستا، در این پژوهش از رویکرد برنامه‌ریزی استوار فازی-تصادفی به منظور مقابله با عدم قطعیت مساله استفاده شده است که یک روش محبوب در ادبیات تحقیق بوده و عملکرد مناسبی را نشان داده است [24]، [57]، [58]. توضیحات تکمیلی روش برنامه‌ریزی استوار فازی تصادفی و نسخه متناظر آن برای مدل پیشنهادی در پیوست ارائه شده است.

### ۳-۵- روش برنامه‌ریزی آرمانی چند گزینه‌ای اصلاح‌شده با تابع مطلوبیت

برنامه‌ریزی آرمانی یکی از توسعه‌های برنامه‌ریزی خطی است که برای مدیریت اهداف چندگانه و اغلب متضاد طراحی شده است. این روش در سناریوهای تصمیم‌گیری که نیاز به برآورده‌سازی هم‌زمان اهداف مختلف وجود دارد، بسیار کاربردی است. در ادبیات تحقیق، نسخه‌های توسعه‌یافته متعددی از این روش ارائه شده است [59-61]. یکی از نسخه‌های کارآمد در ادبیات تحقیق که عملکرد مناسبی از خود نشان داده است، روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای اصلاح‌شده است که مزایای متعددی از جمله در نظر گرفتن چندین نقطه آرمانی، وزن‌دهی به توابع هدف و کاهش پیچیدگی نسبت به نسخه‌های سنتی دارد.

چانگ [35] در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۱ بیان کرد که روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای اصلاح‌شده توانایی در نظر گرفتن اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان را ندارد؛ بنابراین، به منظور رفع این محدودیت، تابع مطلوبیت را به مدل قبلی افزود تا مطلوبیت مورد انتظار تصمیم‌گیرندگان به حداکثر برسد. مدل اصلاح‌شده در فایل پیوست ارائه شده است.

### ۴- مطالعه موردی

در این پژوهش، مساله زنجیره تامین شرکت سایپا کاشان، به عنوان یکی از شرکت‌های برجسته در صنعت خودروسازی کشور، مورد بررسی قرار گرفته است. ویژگی‌ها و مشخصات کارشناسانی که در فرآیند جمع‌آوری داده‌ها همکاری داشته‌اند، در جدول ۳ ارائه شده است. این کارشناسان با تکمیل پرسشنامه‌های مربوطه، در فرآیند گردآوری داده‌ها مشارکت داشته‌اند. پس از گردآوری داده‌ها، میانگین پاسخ‌های ارائه‌شده محاسبه شده و به عنوان ورودی در اجرای روش تحقیق به کار گرفته شده است. در این پژوهش، شاخص‌های اصلی در سه بعد کلیدی، شامل معیارهای عمومی، پایداری و تاب‌آوری، متناسب با ماهیت مساله تحقیق شناسایی و تحلیل شده‌اند. شرح تفصیلی این شاخص‌ها در جدول ۴ تا جدول ۶ ارائه گردیده است.

جدول ۳- اطلاعات کارشناسان.

Table 3- Expert information.

رده‌بندی شغلی	سابقه کاری	تحصیلات
مدیر تولید	7	دکتری مدیریت صنعتی
کارشناس تحقیق و توسعه	11	کارشناسی ارشد مهندسی صنایع
مدیریت لجستیک	5	کارشناسی ارشد مهندسی صنایع

جدول ۴- زیرمعیارهای عمومی.

Table 4- General sub-criteria.

شماره	معیار	تعریف
1	هزینه	هزینه شامل تمام مخارج مرتبط با فعالیت‌های زنجیره تامین است.
2	کارایی	کارایی به میزان استفاده بهینه از منابع در فرآیندهای زنجیره تامین اشاره دارد.
3	زمان تحویل	این معیار مدت زمانی را که برای تحویل کالاها یا خدمات از مبدأ (مانند تامین کننده) به مقصد (مانند مشتری) صرف می‌شود، اندازه گیری می‌کند.
4	انعطاف‌پذیری	انعطاف‌پذیری توانایی زنجیره تامین در سازگاری با تغییرات محیطی، تغییرات تقاضا، یا اختلالات است.

### ۴-۲- زیرمعیارهای پایداری

## جدول ۵- زیرمعیارهای پایداری.

Table 5- Sustainability sub-criteria.

شماره	معیار	تعریف
1	کاهش مصرف انرژی	به میزان کاهش مصرف انرژی در فرآیندهای زنجیره تامین اشاره دارد.
2	انتشار گازهای گلخانه‌ای	میزان گازهای گلخانه‌ای مانند (CO2) که در طول فعالیت‌های زنجیره تامین تولید می‌شود. این معیار بر کاهش اثرات تمرکز دارد.
3	ظرفیت مالی	توانایی سازمان یا زنجیره تامین برای تامین مالی پروژه‌ها، سرمایه گذاری در زیرساخت‌ها، یا مقابله با شرایط بحرانی. این معیار می‌تواند شامل دسترسی به منابع مالی، نقدینگی و پایداری اقتصادی باشد.
4	استفاده از منابع تجدید پذیر	میزان استفاده از مواد یا منابعی که قابلیت بازیافت یا بازتولید دارند، مانند انرژی خورشیدی، باد، یا مواد قابل بازیافت.
5	مدیریت پسماند	به فرآیند کاهش، بازیافت یا دفع بهینه ضایعات تولیدشده در زنجیره تامین اشاره دارد. مدیریت موثر پسماند به کاهش هزینه‌ها و اثرات زیست محیطی کمک می‌کند.
6	قرارداد کارگران	نحوه تنظیم قراردادهای و شرایط کاری کارکنان در زنجیره تامین، از جمله حقوق، مزایا و استانداردهای ایمنی. این معیار برای تضمین عدالت اجتماعی و پایداری اجتماعی در زنجیره تامین مهم است.

## ۴-۳- زیرمعیارهای تاب‌آوری

## جدول ۶- زیرمعیارهای تاب‌آوری.

Table 6- Resilience sub-criteria.

شماره	شاخص	تعریف
1	تنوع منابع	به میزان تنوع تامین کنندگان، منابع مواد اولیه و روش‌های حمل و نقل در زنجیره تامین اشاره دارد. تنوع منابع به کاهش ریسک‌های ناشی از وابستگی به یک منبع خاص کمک می‌کند.
2	قابلیت پاسخگویی	توانایی زنجیره تامین در پاسخ سریع و موثر به تغییرات تقاضا، شرایط بازار، یا اختلالات پیش‌بینی نشده. این معیار شامل سرعت تصمیم‌گیری و انعطاف‌پذیری در مواجهه با تغییرات است.
3	مسیریابی مجدد	توانایی زنجیره تامین در تغییر مسیر حمل و نقل کالاها در پاسخ به تغییرات یا اختلالات (مانند بلایای طبیعی یا موانع لجستیکی). این معیار تضمین می‌کند که کالاها به مقصد خود با حداقل تأخیر می‌رسند.
4	منبع یابی	فرآیند شناسایی، ارزیابی و انتخاب تامین کنندگان برای تامین مواد اولیه یا کالاها. این معیار به تضمین کیفیت، کاهش هزینه‌ها و افزایش قابلیت اطمینان در تامین مواد اولیه کمک می‌کند.
5	سطح موجودی ایمنی	مقدار موجودی اضافی که برای جلوگیری از کمبود در صورت تغییرات پیش‌بینی نشده در تقاضا یا تأخیر در تامین مواد نگهداری می‌شود.
6	همکاری و شفافیت	میزان ارتباط و اشتراک‌گذاری اطلاعات میان ذینفعان زنجیره تامین، همکاری و شفافیت باعث بهبود هماهنگی، کاهش خطاها و افزایش اعتماد بین شرکا می‌شود.

## ۵- نتایج عددی

## ۵-۱- نتایج روش بهترین-بدترین تصادفی

در این بخش، وزن معیارها و زیرمعیارهای مرتبط با مساله تحقیق محاسبه می‌گردد. بدین منظور، در گام نخست و با همکاری خبرگان شرکت مورد مطالعه، بردارهای مقایسات زوجی تشکیل شده است. در این راستا، خبرگان پرسشنامه‌های مربوطه را تکمیل نموده و میانگین پاسخ‌های حاصل به‌عنوان داده‌های ورودی برای اجرای روش موردنظر به‌کار گرفته شده است.

شایان ذکر است که در این پژوهش، مقایسات زوجی در قالب سه سناریوی مختلف صورت گرفته است که به شرح زیر تعریف می‌شوند:

۱. سناریوی اول: (S1) بیانگر شرایط خوش‌بینانه، نظیر رونق اقتصادی
۲. سناریوی دوم: (S2) نمایانگر شرایط محتمل، مانند وضعیت عادی در صنعت و جامعه
۳. سناریوی سوم: (S3) معرف شرایط بدبینانه، از جمله رکود اقتصادی یا بحران‌های زنجیره تامین

بر این اساس، با نظر خبرگان، احتمال وقوع هر یک از سناریوها نیز مشخص شده است؛ همچنین، مدل پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار تخصصی مربوطه بر روی یک رایانه با پردازنده چهار هسته‌ای و فرکانس ۲/۸۰ گیگاهرتز و رم ۱۶ گیگابایت اجرا شده است. پیاده‌سازی مدل در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار لینگو انجام پذیرفته است.

وزن‌های به‌دست‌آمده برای معیارها و زیرمعیارها در جدول ۷ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در میان تمامی شاخص‌ها، معیارهایی مانند هزینه، سطح موجودی ایمنی، کاهش مصرف انرژی، کیفیت، انتشار گازهای گلخانه‌ای، کارایی و قابلیت پاسخ‌گویی به‌عنوان شاخص‌های کلیدی و برتر شناسایی شده‌اند.

جدول ۷- وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها.  
Table 7- Final weight of criteria and sub-criteria.

معیار	وزن معیار	زیر معیار	وزن اولیه معیار	وزن نهایی
عمومی	0.329514	1 هزینه	0.269301	0.08873845
		2 کارایی	0.19265	0.063480872
		3 زمان تحویل	0.159933	0.052700163
		4 انعطاف پذیری	0.167622	0.055233796
		5 کیفیت	0.210494	0.06936072
پایداری	0.325832	6 کاهش مصرف انرژی	0.215287	0.069359382
		7 انتشار گازهای گلخانه‌ای	0.190456	0.064137811
		8 ظرفیت مالی	0.110445	0.039066951
		9 استفاده از منابع تجدید پذیر	0.160345	0.049588592
		10 مدیریت پسماند	0.150125	0.049516029
		11 قرارداد کارگران	0.183066	0.057082705
تاب‌آوری	0.325832	12 تنوع منابع	0.189456	0.050912186
		13 قابلیت پاسخگویی	0.203564	0.062531077
		14 مسیریابی مجدد	0.197385	0.0536132
		15 منبع یابی	0.214245	0.049137059
		16 سطح موجودی ایمنی	0.236745	0.070427684
		17 همکاری و شفافیت	0.19535	0.052919978

## ۵-۲- نتایج حاصل از روش ویکور فازی

در این قسمت امتیاز تامین کنندگان بر مبنای معیارهای مساله تحقیق و با استفاده از روش ویکور فازی محاسبه گردید. در این راستا، ابتدا ماتریس تصمیم تشکیل شده و با استفاده از نظرات خبرگان، امتیاز تامین کنندگان محاسبه می‌گردد. در این پژوهش ۷ تامین کننده (چهار تامین کننده اصلی و ۳ تامین کننده پشتیبان) شرکت مورد مطالعه به شرح جدول زیر امتیاز دهی و رتبه بندی شدند. براساس نتایج حاصل از روش ویکور تصادفی، از بین تامین کنندگان اصلی تامین کنندگان دوم و پنجم و از بین تامین کنندگان پشتیبان، تامین کننده دوم بیشترین امتیاز را به دست آورده است.

جدول ۸- امتیاز تامین کنندگان.

Table 8- The score of the suppliers.

تامین کننده	شاخص ویکور	امتیاز
تامین کننده اصلی اول	0.294563	0.705437
تامین کننده اصلی دوم	0.13456	0.86544
تامین کننده اصلی سوم	0.53671	0.46329
تامین کننده اصلی چهارم	0.74523	0.25477
تامین کننده اصلی پنجم	0.21784	0.78216
تامین کننده پشتیبان اول	0.43567	0.56433
تامین کننده پشتیبان دوم	0.36245	0.63755
تامین کننده پشتیبان سوم	0.53478	0.46522

## ۵-۳- نتایج به دست آمده از حل مدل ریاضی

در این پژوهش، شبکه زنجیره تامین شرکت سایپا کاشان، به عنوان یکی از شرکت‌های فعال در صنعت خودروسازی کشور، به عنوان مطالعه موردی مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های مورد نیاز برای تحلیل، از طریق مرور ادبیات، بررسی اطلاعات مرتبط با شرکت مذکور و اخذ نظرات خبرگان گردآوری شده‌اند.

به منظور حل مساله تحقیق، از روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای اصلاح شده با تابع مطلوبیت استفاده شده است. در این مطالعه، سه سناریو شامل وضعیت بدبینانه، محتمل‌ترین وضعیت و وضعیت خوش‌بینانه در نظر گرفته شده‌اند که احتمال وقوع آن‌ها به ترتیب برابر با ۲۵٪، ۵۰٪ و ۲۵٪ می‌باشد؛ همچنین، دو نوع سیستم اطلاعاتی برای به اشتراک‌گذاری اطلاعات در زنجیره تامین مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند: سیستم سنتی (مبتنی بر ساختار کلاینت-سرور) و سیستم مبتنی بر فناوری زنجیره بلوکی (بلاک چین). بر اساس نتایج، سیستم بلاک چین با وجود هزینه راه‌اندازی بالاتر، به دلیل شفافیت بیشتر، امنیت بالاتر و دسترسی گسترده‌تر، به عنوان گزینه بهینه انتخاب شده است.

اطلاعات مربوط به پارامترهای مدل در پیوست پژوهش ارائه شده است. جدول ۹ ابعاد مساله تحقیق را تشریح می‌کند و جدول ۱۰ نتایج به دست آمده از مدل را نمایش می‌دهد. بر اساس نتایج نهایی، تامین کنندگان اصلی اول، دوم و پنجم به همراه تامین کننده پشتیبان دوم به عنوان گزینه‌های برتر انتخاب شده‌اند. همچنین، مراکز تولیدی شماره ۱ و ۳ و مراکز توزیع شماره ۲ و ۴ به عنوان مکان‌های بهینه برای احداث انتخاب شده‌اند. علاوه بر این، سیستم اشتراک‌گذاری اطلاعات مبتنی بر بلاک چین به عنوان گزینه نهایی در این پژوهش شناسایی و پیشنهاد شده است.

جدول ۹- ابعاد مساله تحقیق.

Table 9- Dimensions of the research problem.

تسهیل	تعداد
تامین کنندگان اصلی	4
تامین کنندگان پشتیبان	3
مراکز بالقوه تولید	3
مراکز بالقوه توزیع	5
نقاط تقاضا	10
مشتریان آنلاین	8

جدول ۱۰- نتایج حل مدل ریاضی.

Table 10- Results of solving the mathematical model.

مقدار	متغیر تصمیم
467493.8	تابع هدف اول
0.23726	تابع هدف دوم کمینه
0.18448	تابع هدف سوم بینایی
489.56	تابع هدف چهارم امتیاز
2.2169	تابع هدف پنجم
1	تامین کنندگان اصلی اول، دوم و پنجم
1	تامین کننده پشتیبان دوم
1	مراکز تولیدی اول و سوم
1	مراکز توزیع دوم و چهارم
1	سیستم اشتراک گذاری اطلاعات نوع دوم

### ۶- بررسی کارایی مدل تصمیم‌گیری ارایه‌شده

در این بخش، کارایی و عملکرد مدل تصمیم‌گیری به کار گرفته‌شده با استفاده از معیارهای مشخص و مقایسه با سایر روش‌ها ارزیابی می‌شود. شایان‌ذکر است که نتایج ارایه‌شده مبتنی بر مطالعه موردی این تحقیق است و ممکن است در شرایط متفاوت قابل تعمیم نباشد.

#### ۱-۶- روش بهترین بدترین تصادفی

در این بخش، عملکرد روش بهترین-بدترین تصادفی مورد تحلیل قرار گرفته و جزئیات آن به تفصیل تشریح می‌شود. به منظور ارزیابی کارایی این روش، خروجی‌های حاصل با نتایج به‌دست‌آمده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به‌عنوان یکی از روش‌های معتبر و شناخته‌شده در ادبیات پژوهش برای محاسبه وزن شاخص‌ها مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. جدول ۱۱ نتایج این مقایسه را نمایش می‌دهد. بر اساس داده‌های ارایه‌شده در این جدول، می‌توان مشاهده کرد که خروجی‌های حاصل از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، با نتایج به‌دست‌آمده از روش بهترین-بدترین تصادفی، تطابق قابل توجهی دارند. این همخوانی نشان‌دهنده اعتبار و قابلیت اطمینان بالای روش به‌کاررفته در این پژوهش برای وزن‌دهی به شاخص‌ها می‌باشد.

جدول ۱۱- مقایسه وزن معیارها در روش‌های مختلف.

Table 11- Comparison of criteria weights in different methods.

زیرمعیار	تحلیل سلسله مرتبی فازی	بهترین بدترین تصادفی
1	0.084637	0.088738
2	0.06534	0.063481
3	0.05329	0.0527
4	0.05267	0.055234
5	0.06649	0.069361
6	0.071045	0.069359
7	0.063002	0.064138
8	0.079562	0.039067
9	0.515934	0.049589
10	0.047854	0.049516
11	0.0559148	0.057083
12	0.0482577	0.050912
13	0.0608374	0.062531
14	0.051846	0.053613
15	0.050993	0.049137
16	0.73395	0.070428
17	0.054289	0.05292

## ۲-۶- روش ویکور فازی

یکی از رویکردهای رایج برای اعتبارسنجی روش ویکور تصادفی، مقایسه نتایج حاصل از این روش با روش‌های متداول مطرح‌شده در ادبیات پژوهش است. در همین راستا، در این بخش، تامین‌کنندگان شرکت مورد مطالعه با استفاده از سایر روش‌ها، شامل ویکور سنتی، ویکور فازی و تاپسیس فازی، مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج این ارزیابی‌ها در جدول ۱۲ ارائه شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، خروجی‌های به‌دست‌آمده از روش‌های ویکور تصادفی، ویکور فازی و تاپسیس فازی، شباهت بسیار زیادی با یکدیگر دارند. با این حال، نتایج حاصل از روش ویکور سنتی دارای تفاوتی جزئی با سایر روش‌هاست که این اختلاف تاثیر معناداری بر نتیجه‌گیری کلی پژوهش ندارد.

جدول ۱۲- رتبه تامین‌کنندگان.

Table 12- Supplier ranking.

ویکور سنتی	ویکور فازی	تاپسیس فازی	ویکور تصادفی
2	3	3	3
1	1	1	1
4	4	4	4
5	5	5	5
3	2	2	2

## ۳-۶- بررسی کارایی روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای اصلاح‌شده با تابع مطلوبیت

در اینجا، رویکردهای کلاسیک برنامه‌ریزی چندهدفه مانند روش برنامه‌ریزی آرمانی وزنی و برنامه‌ریزی آرمانی وزنی چندگزینه‌ای اصلاح‌شده به‌منظور ارزیابی اثربخشی روش برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای اصلاح‌شده با تابع مطلوبیت مورد استفاده قرار گرفته است. روش‌های مذکور به‌طور گسترده در ادبیات علمی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [62]، [63]. جدول ۱۳ عملکرد این تکنیک‌ها را مقایسه می‌کند که در آن، روش استفاده شده در این پژوهش، بهترین عملکرد را در میان تمام روش‌ها نشان داده و کارایی آن را تایید می‌کند.

جدول ۱۳- مقدار انحرافات در نسخه‌های مختلف از برنامه‌ریزی آرمانی

Table 13- The values of deviation in the different defuzzification methods.

انحرافات	برنامه‌ریزی آرمانی وزنی	برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای اصلاح‌شده	برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای اصلاح‌شده با تابع مطلوبیت
$(d_1^+, d_1^-)$	(165.5,0)	(15.7,0)	(0,0)
$(d_2^+, d_2^-)$	(7.3,0)	(4.3,0)	(0,0)
$(d_3^+, d_3^-)$	(0.268,0)	(0,0)	(0,0)
$(d_4^+, d_4^-)$	(24.4,0)	(0,0)	(0,0)
$(d_5^+, d_5^-)$	(37.5,0.185)	(11.4,0)	(0,0)
$(e_1^+, e_1^-)$	-	(221.5,0)	(192.6,0)
$(e_2^+, e_2^-)$	-	(0.119,0)	(0.98,0)
$(e_3^+, e_3^-)$	-	(0.185,0)	(0.126,0)
$(e_4^+, e_4^-)$	-	(49.1,0)	(41.7,0)
$(e_5^+, e_5^-)$	-	(0,0.316)	(0,0.24)

## ۳-۷- مقایسه عملکرد مدل پیشنهادی با مدل مرجع قطعی در سناریوی محتمل

به‌منظور اعتبارسنجی و تحلیل اثربخشی چارچوب تصمیم‌گیری پیشنهادی، عملکرد مدل در مقایسه با یک مدل مرجع مورد ارزیابی عددی قرار گرفت. مدل مرجع از نوع چندهدفه قطعی بوده که شامل سه تابع هدف کلاسیک (حداقل‌سازی هزینه، کاهش انتشار و بیشینه‌سازی سطح خدمات) و فاقد عدم‌قطعیت ترکیبی یا شاخص‌های جدید هم‌چون بینایی زنجیره یا پیچیدگی گره‌ها است. همچنین، در مدل مرجع از روش‌های سنتی تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند روش بهترین-بدترین سنتی و روش ویکور سنتی برای ارزیابی تامین‌کنندگان استفاده شده است.

در مقابل، مدل پیشنهادی از ترکیب نوآورانه سه ابزار علمی بهره گرفته است: روش بهترین-بدترین فازی-تصادفی برای تعیین وزن معیارها، روش ویکور تصادفی برای رتبه‌بندی تامین‌کنندگان در سناریوهای مختلف و مدل‌سازی ریاضی چندهدفه فازی-تصادفی برای طراحی شبکه زنجیره‌تامین تحت شرایط عدم قطعیت می‌باشد.

برای مقایسه عددی، تحلیل‌ها در سناریوی محتمل (S2) انجام گرفت که منعکس‌کننده وضعیت عادی در صنعت خودروسازی است. نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار لینگو نشان داد که مدل پیشنهادی در تمامی شاخص‌های کلیدی عملکرد، برتری قابل توجهی نسبت به مدل مرجع دارد. این مقایسه در جدول ۱۴ ارائه شده است:

جدول ۱۴- مقایسه عملکرد مدل پیشنهادی با مدل مرجع قطعی در سناریوی محتمل.

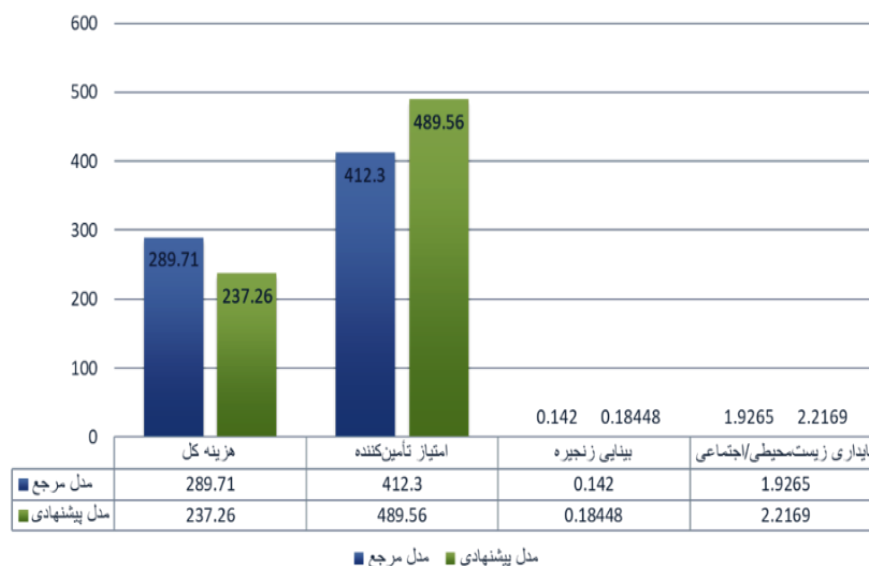
Table 14- Comparison of the proposed model vs. deterministic baseline (most likely scenario).

شاخص عملکرد	مدل مرجع قطعی	مدل پیشنهادی	درصد بهبود
هزینه کل زنجیره تامین	289.71	237.26	۱۸٪ کاهش
امتیاز نهایی تامین‌کنندگان	412.3	489.56	۱۸٪ افزایش
بینایی زنجیره تامین	0.142	0.18448	۲۹٪ افزایش
ترکیب عملکرد زیست‌محیطی و اجتماعی	1.9265	2.2169	۱۵٪ افزایش
انحراف نتایج بین سناریوها (پایداری مدل)	±15.3٪	±6.7٪	۵۶٪ پایداری بیشتر

به‌صورت کلی، نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی دارای مزایایی به شرح زیر می‌باشد:

- کاهش محسوس هزینه‌ها: ترکیب مدل‌های ارزیابی دقیق‌تر تامین‌کنندگان و استفاده از استراتژی‌های مقاوم‌سازی شبکه موجب کاهش ۱۸٪ در هزینه کل شده است. این کاهش می‌تواند از منظر سیاست‌گذاران صنعتی و مدیران ارشد بسیار حائز اهمیت باشد، به‌ویژه در شرایط ناپایدار بازار.
- ارتقای قابل توجه در دقت انتخاب تامین‌کنندگان: افزایش ۱۹٪ در امتیاز تامین‌کنندگان بیانگر آن است که مدل پیشنهادی توانسته درک عمیق‌تری از ترجیحات تصمیم‌گیرندگان تحت عدم قطعیت ارائه دهد و گزینه‌هایی با ارزش واقعی بالاتر را شناسایی کند.
- افزایش بینایی و کاهش ریسک زنجیره تامین: یکی از شاخص‌های نوآورانه مدل، میزان "بینایی زنجیره تامین" است که با لحاظ سیستم‌های اشتراک‌گذاری اطلاعات و قابلیت شناسایی اختلالات اندازه‌گیری شده است. مدل پیشنهادی با افزایش ۳۰٪ در این شاخص، پتانسیل کاهش ریسک‌های عملیاتی را فراهم می‌سازد.
- توسعه پایداری سه‌بعدی زنجیره: شاخص ترکیبی عملکرد زیست‌محیطی و اجتماعی که هم به کاهش آلاینده‌ها و هم ایجاد اشتغال توجه دارد، در مدل پیشنهادی حدود ۱۵٪ بهبود نشان داده است.
- پایداری تصمیم‌گیری در سناریوهای مختلف: نتایج مدل پیشنهادی در سه سناریو خوش‌بینانه، محتمل و بدبینانه، پایداری عددی بالاتری دارد ( $6.7\% \pm$ ) در برابر  $15.3\% \pm$  در مدل مرجع) که نشان‌دهنده قدرت استوار مدل در مقابله با تغییرات محیطی است.

در مجموع، این تحلیل عددی نشان می‌دهد که چارچوب تصمیم‌گیری پیشنهادی با ادغام دقیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل‌سازی پیشرفته عدم قطعیت، می‌تواند به‌طور موثری عملکرد، تاب‌آوری و پایداری زنجیره‌تامین را در صنایع پیچیده و پر ریسک مانند خودروسازی بهبود بخشد. شکل ۲ مقایسه عملکرد این دو مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۲- مقایسه عملکرد مدل پیشنهادی و مدل قطعی.

Figure 2- Performance comparison of the proposed and deterministic models.

## ۷- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارایه یک مدل چندهدفه برای مدیریت زنجیره‌تأمین پایدار و تاب‌آور در صنعت خودروسازی انجام شده است. مدل پیشنهادی، با در نظر گرفتن ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی پایداری در کنار مولفه‌های تاب‌آوری، راه‌کاری جامع برای مقابله با چالش‌های موجود در این صنعت ارایه می‌دهد.

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی قادر است هزینه‌های مرتبط با زنجیره‌تأمین، شامل تأمین مواد اولیه، تولید، حمل‌ونقل و تاسیسات را بهینه‌سازی کند. همچنین، هزینه‌های ناشی از کمبود یا اختلال در تأمین کالا با بهره‌گیری از تأمین‌کنندگان پشتیبان به میزان قابل‌توجهی کاهش یافته است. از منظر زیست‌محیطی، انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق به‌کارگیری سیستم‌های حمل‌ونقل بهینه، انتخاب تأمین‌کنندگان دوستدار محیط‌زیست و اتخاذ استراتژی‌های مدیریت پسماند کاهش یافته است.

از بعد اجتماعی، مدل با ایجاد فرصت‌های شغلی جدید، تضمین قراردادهای عادلانه برای نیروی کار و تقویت عدالت اجتماعی در زنجیره‌تأمین، تأثیرات مثبتی از خود برجای گذاشته است. افزون بر این، تنوع در منابع تأمین مواد اولیه و استفاده از تأمین‌کنندگان جایگزین، موجب کاهش وابستگی به منابع خاص و افزایش انعطاف‌پذیری زنجیره‌تأمین در مواجهه با اختلالات شده است. همچنین، ظرفیت‌سازی در مراکز تولید و توزیع، امکان واکنش سریع به تغییرات پیش‌بینی‌نشده را فراهم کرده است. به‌علاوه، بهره‌گیری از سیستم‌های شفافیت اطلاعات و بهبود ارتباطات میان اجزای مختلف زنجیره‌تأمین، فرایند تصمیم‌گیری در شرایط بحرانی را تسهیل کرده است.

## ۱-۷- پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده

اعتبارسنجی در سایر صنایع: بررسی و ارزیابی مدل در صنایعی نظیر داروسازی، مواد غذایی و فناوری برای سنجش قابلیت تعمیم‌پذیری آن

استفاده از فناوری‌های نوین: به‌کارگیری فناوری‌هایی مانند بلاک‌چین و اینترنت اشیا برای افزایش شفافیت، امنیت و تاب‌آوری زنجیره‌تأمین

یکپارچه‌سازی هوش مصنوعی: استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و بهینه‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی برای افزایش دقت و سرعت حل مدل

گسترش مقیاس مدل: توسعه مدل برای زنجیره‌های تأمین بین‌المللی با در نظر گرفتن عوامل فرهنگی، قانونی و سیاسی به‌منظور پوشش گسترده‌تر

این پیشنهادها می‌توانند مسیرهای جدیدی برای گسترش تحقیقات در زمینه زنجیره‌تامین پایدار و تاب‌آور فراهم آورند.

## مشارکت نویسندگان

طراحی تحقیق، توسعه مدل مفهومی و گردآوری داده‌ها توسط نویسنده اول انجام شده است. تحلیل نتایج، تدوین مدل ریاضی و نگارش اولیه مقاله با همکاری هر دو نویسنده صورت گرفته است. بازنگری نهایی، آماده‌سازی نسخه ارسال و پاسخ‌دهی به داوران توسط نویسنده دوم انجام شده است. هر دو نویسنده مسئولیت کامل صحت مطالب را می‌پذیرند.

## تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تعارض منافع مالی یا شخصی در رابطه با این مقاله وجود ندارد.

## دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده‌شده در این پژوهش از طریق همکاری با شرکت خودروسازی سایپا کاشان و بر مبنای پرسشنامه‌های خبرگان گردآوری شده‌اند. در صورت درخواست رسمی، داده‌های پردازش‌شده می‌توانند در اختیار خوانندگان قرار گیرند.

## منابع مالی

این پژوهش از حمایت مالی هیچ نهاد، موسسه یا طرح پژوهشی خاصی بهره‌مند نبوده است و به‌طور مستقل توسط نویسندگان انجام شده است.

## تقدیر و تشکر

نویسندگان از کارشناسان زنجیره‌تامین شرکت سایپا کاشان بابت همکاری در تکمیل پرسشنامه‌ها و ارائه داده‌های موردنیاز تشکر ویژه به عمل می‌آورند. همچنین، از سردبیر و داوران محترم نشریه بابت بازخوردهای سازنده و ارزشمندشان کمال امتنان را دارند.

## منابع

- [1] Baghalian, A., Rezapour, S., & Farahani, R. Z. (2013). Robust supply chain network design with service level against disruptions and demand uncertainties: A real-life case. *European journal of operational research*, 227(1), 199–215. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.12.017>
- [2] Edalatpanah, S. A., Komazec, N., & Pamucar, D. (2024). Big data and computing visions, 4(3), 201–218. [https://julist.sinaweb.net/article\\_207199\\_350289d4d91b8f78a445231a6074c47c.pdf](https://julist.sinaweb.net/article_207199_350289d4d91b8f78a445231a6074c47c.pdf)
- [3] Montazeri, F. Z., & Sorourkhah, A. (2024). Robust-fuzzy-probabilistic optimization for a resilient, sustainable supply chain with an inventory management approach by the seller. *Big data and computing visions*, 4(2), 146–163. <https://doi.org/10.22105/bdcv.2024.481945.1208>
- [4] Ikpe, A. E. (2024). thermodynamic analysis and energy balance for environmental sustainability of simple gas turbine inlet cooling system in afam power plant, *Computational algorithms and numerical dimensions*, 3(1), 79–93. <https://doi.org/10.22105/cand.2024.463423.1097>
- [5] Aliu, O. R. (2025). How realistic is low carbon development for developing countries that is development without significant exploitation of fossil fuels ?, *Systemic analytics*, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.31181/sa31202536>
- [6] Purvis, B., Mao, Y., & Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. *Sustainability science*, 14, 681-695. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>
- [7] Lotfi, R., Weber, G. W., & Tirkolaee, E. B. (2023). Recent advances in viable and sustainable supply chain management. *Environmental science and pollution research*, 30(39), 89943–89944. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28810-4>
- [8] Rabbani, M., Hosseini-Mokhallesun, S. A. A., Ordibazar, A. H., & Farrokhi-Asl, H. (2020). A hybrid robust possibilistic approach for a sustainable supply chain location-allocation network design. *International journal of systems science: operations & logistics*, 7(1), 60–75. <https://doi.org/10.1080/23302674.2018.1506061>
- [9] Nayeri, S., Zhain, V. M., Asadi, Z., Sazvar, Z., & Javadian, N. (2024). Raw material provider selection problem considering the digitalization, circular economy and resilience dimensions: a case study. *International journal of industrial engineering & production research*, 35(3), 1-20. <https://doi.org/10.22068/ijiepr.35.3.1997>
- [10] Babaei, Y. S., Sazvar, Z., Nayeri, S., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2024). A two-stage framework for a resilient medical tourism supply chain considering social aspects and supplier evaluation under uncertainty: A real-case study. *Annals of operations research*, 1-47. <https://doi.org/10.1007/s10479-024-06128-9>

- [11] Silva, A. C., Marques, C. M., & de Sousa, J. P. (2023). A simulation approach for the design of more sustainable and resilient supply chains in the pharmaceutical industry. *Sustainability*, 15(9), 7254. <https://doi.org/10.3390/su15097254>
- [12] Nayeri, S., Sazvar, Z., & Heydari, J. (2022). A global-responsive supply chain considering sustainability and resiliency: Application in the medical devices industry. *Socio-economic planning sciences*, 82, 101303. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101303>
- [13] Subramanian, B., Mishra, A., Ramkumar, B. V., Mandala, G., Kathamuthu, N. D., & Srithar, S. (2025). Big data and fuzzy logic for demand forecasting in supply chain management: a data-driven approach. *Journal of fuzzy extension and applications*, 6(2), 260–283. <https://doi.org/10.22105/jfea.2025.488816.1703>
- [14] Hoseini, S. A., Hashemkhani Zolfani, S., Skačkauskas, P., Fallahpour, A., & Saberi, S. (2021). A combined interval type-2 fuzzy MCDM framework for the resilient supplier selection problem. *Mathematics*, 10(1), 44. <https://www.mdpi.com/2227-7390/10/1/44>
- [15] Fallahpour, A., Olugu, E. U., Musa, S. N., Wong, K. Y., & Noori, S. (2017). A decision support model for sustainable supplier selection in sustainable supply chain management. *Computers & industrial engineering*, 105, 391–410. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.01.005>
- [16] Mohammed, A., Bai, C., Channouf, N., Ahmed, T. Al, & Mohamed, S. M. (2023). G-resilient multi-tier supplier selection and order allocation in food industry: a hybrid methodology. *International journal of systems science: operations and logistics*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/23302674.2023.2195055>
- [17] 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118317>
- [18] Amiri, M., Hashemi-Tabatabaei, M., Ghahremanloo, M., Keshavarz-Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., & Banaitis, A. (2020). A new fuzzy BWM approach for evaluating and selecting a sustainable supplier in supply chain management. *International journal of sustainable development and world ecology*. <https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1793424>
- [19] Ramezankhani, M. J., Torabi, S. A., & Vahidi, F. (2018). Supply chain performance measurement and evaluation: A mixed sustainability and resilience approach. *Computers & industrial engineering*, 126, 531–548. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.09.054>
- [20] Aldrighetti, R., Battini, D., Ivanov, D., & Zennaro, I. (2021). Costs of resilience and disruptions in supply chain network design models: a review and future research directions. *International Journal of Production Economics*, 235, 108103. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108103>
- [21] Elham Moghimi, Adel Az & ,Mahmoud Dehghan Nair. (2024). Modeling key performance indicators and resilience elements with a structural equation modeling approach. *Innovation management & operational strategies* , 5(4), 381–401. **(In Presion)**. <https://search.ebscohost.com>
- [22] Alavi, B., Tavana, M., & Mina, H. (2021). A dynamic decision support system for sustainable supplier selection in circular economy. *Sustainable production and consumption*, 27, 905–920. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.015>
- [23] Wu, C., Lin, Y., & Barnes, D. (2021). An integrated decision-making approach for sustainable supplier selection in the chemical industry. *Expert systems with applications*, 184, 115553. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115553>
- [24] Homayouni, Z., Pishvae, M. S., Jahani, H., & Ivanov, D. (2023). A robust-heuristic optimization approach to a green supply chain design with consideration of assorted vehicle types and carbon policies under uncertainty. *Annals of operations research*, 1–41. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-03985-6>
- [25] Burke, H., Zhang, A., & Wang, J. X. (2023). Integrating product design and supply chain management for a circular economy. *Production planning & control*, 34(11), 1097–1113. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1983063>
- [26] Deliktaş, D., Karagoz, S., Simić, V., & Aydin, N. (2023). A stochastic Fermatean fuzzy-based multi-choice conic goal programming approach for sustainable supply chain management in end-of-life buildings. *Journal of cleaner production*, 382, 135305. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135305>
- [27] Zhen, L., Huang, L., & Wang, W. (2019). Green and sustainable closed-loop supply chain network design under uncertainty. *Journal of cleaner production*, 227, 1195–1209. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.098>
- [28] Jiang, M., Jia, F., Chen, L., & Xing, X. (2024). Technology adoption in socially sustainable supply chain management: Towards an integrated conceptual framework. *Technological forecasting and social change*, 206, 123537. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123537>
- [29] Asadi, Z., Khatir, M. V., & Rahimi, M. (2022). Robust design of a green-responsive closed-loop supply chain network for the ventilator device. *Environmental science and pollution research*, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19105-1>
- [30] Mastos, T. D., Gotzamani, K., Ieromonachou, P., & Tsiotras, G. (2024). A structural equation model for sustainable supply chain management in the food industry. *Foods*, 13(23), 3713. <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/23/3713>
- [31] Habib, M. S., Omair, M., Ramzan, M. B., Chaudhary, T. N., Farooq, M., & Sarkar, B. (2022). A robust possibilistic flexible programming approach toward a resilient and cost-efficient biodiesel supply chain network. *Journal of cleaner production*, 366, 132752. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132752>
- [32] Leong, W. Y., Wong, K. Y., & Wong, W. P. (2022). A new integrated multi-criteria decision-making model for resilient supplier selection. *Applied system innovation*, 5(1), 8. <https://www.mdpi.com/2571-5577/5/1/8>
- [33] Goldbeck, N., Angeloudis, P., & Ochieng, W. (2020). Optimal supply chain resilience with consideration of failure propagation and repair logistics. *Transportation research part e: logistics and transportation review*, 133, 101830. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.101830>
- [34] Uzoma Okwudili Nnaji, Lucky Bamidele Benjamin, Nsisong Louis Eyo-Udo, & Emmanuel Augustine Etukudoh. (2024). Strategies for enhancing global supply chain resilience to climate change. *International journal of management & entrepreneurship research*, 6(5), 1677–1686. <https://doi.org/10.51594/ijmer.v6i5.1141>
- [35] Cinti, A., Marcone, M. R., Sabatini, A., & Temperini, V. (2025). Enhancing supply chain resilience through the supply network approach. *Journal of business & industrial marketing*, 40(4), 858–876. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/jbim-02-2023-0106/full/html>
- [36] Govindan, K., & Gholizadeh, H. (2021). Robust network design for sustainable-resilient reverse logistics network using big data: A case study of end-of-life vehicles. *Transportation research part e: logistics and transportation review*, 149, 102279. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102279>

- [37] Fallahpour, A., Nayeri, S., Shekhalishahi, M., Wong, K. Y., Tian, G., & Fathollahi-Fard, A. M. (2021). A hyper-hybrid fuzzy decision-making framework for the sustainable-resilient supplier selection problem: a case study of Malaysian Palm oil industry. *Environmental science and pollution research*, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12491-y>
- [38] Bayatzadeh, S., & Talaie, H. (2024). Identifying and Evaluating of Sustainable and Resilient Supplier Selection Criteria According to Industry 5.0 Concepts (Case Study: Steel Industry). *Tasmingiri va tahqiq dar amaliyyat*, 9(4), 1045–1063. <https://doi.org/10.22105/dmor.2025.498734.1904>
- [39] Zeinab Asadi, Hassanali Aghajani, Mohammad Valipour Khatir & Erfan Babai Ghadikalai. (2024). Presenting a fuzzy mixed decision-making approach to evaluate suppliers based on the dimensions of the fifth industrial revolution and sustainable supply chain: A case study of medical equipment. *Journal of decisions & operations research*, 9(2), 399-418. (In Presion). <https://search.ebscohost.com>
- [40] Shabbir, M. S., Mahmood, A., Setiawan, R., Nasirin, C., Rusdiyanto, R., Gazali, G., ... & Batool, F. (2021). Closed-loop supply chain network design with sustainability and resiliency criteria. *Environmental science and pollution research*, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12980-0>
- [41] Foroozesh, N., Karimi, B., Mousavi, S. M., & Mojtahedi, M. (2023). A hybrid decision-making method using robust programming and interval-valued fuzzy sets for sustainable-resilient supply chain network design considering circular economy and technology levels. *Journal of industrial information integration*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2023.100440>
- [42] Vali-Siar, M. M., & Roghanian, E. (2022). Sustainable, resilient and responsive mixed supply chain network design under hybrid uncertainty with considering COVID-19 pandemic disruption. *Sustainable production and consumption*, 30, 278-300. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.003>
- [43] Kayani, S. A., Warsi, S. S., & Liaqait, R. A. (2023). A smart decision support framework for sustainable and resilient supplier selection and order allocation in the pharmaceutical industry. *Sustainability (switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/su15075962>
- [44] Agarwal, R., & Nishad, A. K. (2024). A Fuzzy Mathematical Modeling for Evaluation and Selection of a Best Sustainable and Resilient Supplier by Using EDAS Technique. *Process integration and optimization for sustainability*, 8(1), 71–80. <https://doi.org/10.1007/s41660-023-00352-9>
- [45] Chaouni Benabdellah, G., Bennis, K., Chaouni Benabdellah, A., & Zekhnini, K. (2022). Resilient sustainable supplier selection criteria assessment for economics enhancement in industry 4.0 context. *IFIP advances in information and communication technology* (Vol. 639 IFIP, pp. 194–208). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-94335-6\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-94335-6_14)
- [46] Koç, S., Erden, C., Ateş, Ç., & Ceviz, E. (2024). Evaluation of potential logistics village alternatives using bayesian best-worst method. *Optimality*, 1(1), 100-120. <https://doi.org/10.22105/opt.v1i1.35>
- [47] Karimi, H., Sadeghi-Dastaki, M., & Javan, M. (2020). A fully fuzzy best–worst multi attribute decision making method with triangular fuzzy number: A case study of maintenance assessment in the hospitals. *Applied soft computing*, 86, 105882. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105882>
- [48] Sazvar, Z., Tavakoli, M., Ghanavati-Nejad, M., & Nayeri, S. (2022). Sustainable-resilient supplier evaluation for high-consumption drugs during COVID-19 pandemic using a data-driven decision-making approach. *Scientia iranica*. <https://doi.org/10.24200/sci.2022.59789.6424>
- [49] Nayeri, S., Sazvar, Z., & Heydari, J. (2023). Designing an IoT-enabled supply chain network considering the perspective of the Fifth Industrial Revolution: Application in the medical devices industry. *Engineering applications of artificial intelligence*, 122, 106113. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106113>
- [50] Nayeri, S., Sazvar, Z., & Heydari, J. (2023). Towards a responsive supply chain based on the industry 5.0 dimensions: A novel decision-making method. *Expert systems with applications*, 213, 119267. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119267>
- [51] Shakerian Hagigi, S., Nezhad Heydari, Z., Raeiszadeh, M., & Qayumi, M. (2023). Selection of the best contractor by AHP and VIKOR method, a case study of an executive project in the dairy industry. *Modern research in performance evaluation*, 2(2), 79-90. (In Presion). [https://www.journal-mrpe.ir/article\\_181692\\_ea3eab244553df51ff2f24a4150fb984.pdf](https://www.journal-mrpe.ir/article_181692_ea3eab244553df51ff2f24a4150fb984.pdf)
- [52] Nayeri, S., Torabi, S. A., Tavakoli, M., & Sazvar, Z. (2021). A multi-objective fuzzy robust stochastic model for designing a sustainable-resilient-responsive supply chain network. *Journal of cleaner production*, 311, 127691. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127691>
- [53] 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>
- [54] Solgi, O., Gheidar-Kheljani, J., Dehghani, E., & Taromi, A. (2021). Resilient supplier selection in complex products and their subsystem supply chains under uncertainty and risk disruption: A case study for satellite components. *Scientia iranica*. <https://doi.org/10.24200/SCI.2019.52556.2773>
- [55] Zahiri, B., Zhuang, J., & Mohammadi, M. (2017). Toward an integrated sustainable-resilient supply chain: A pharmaceutical case study. *Transportation research part e: logistics and transportation review*, 103, 109–142. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.04.009>
- [56] Taheri, F., & Moghaddam, B. F. (2022). A heuristic-based hybrid algorithm to configure a sustainable supply chain network for medical devices considering information-sharing systems. *Environmental science and pollution research*, 29(60), 91105-91126. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22147-0>
- [57] Gholizadeh, H., Fazlollahtabar, H., & Khalilzadeh, M. (2020). A robust fuzzy stochastic programming for sustainable procurement and logistics under hybrid uncertainty using big data. *Journal of cleaner production*, 258, 120640.
- [58] Nayeri, S., Paydar, M. M., Asadi-Gangraj, E., & Emami, S. (2020). Multi-objective fuzzy robust optimization approach to sustainable closed-loop supply chain network design. *Computers & industrial engineering*, 148, 106716. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106716>
- [59] Gütmen, S., Roy, S. K., & Weber, G. W. (2024). An overview of weighted goal programming: a multi-objective transportation problem with some fresh viewpoints. *Central european journal of operations research*, 32(3), 557-568. <https://doi.org/10.1007/s10100-023-00861-5>

- [60] Nayeri, S., Tavakoli, M., Tanhaeean, M., & Jolai, F. (2022). A robust fuzzy stochastic model for the responsive-resilient inventory-location problem: comparison of metaheuristic algorithms. *Annals of operations research*, 1-41. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-03977-6>
- [61] Tirkolaee, E. B., Mardani, A., Dashtian, Z., Soltani, M., & Weber, G.-W. (2020). A novel hybrid method using fuzzy decision making and multi-objective programming for sustainable-reliable supplier selection in two-echelon supply chain design. *Journal of cleaner production*, 250, 119517. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119517>
- [62] Rostami, O., Tavakoli, M., Tajally, A. R., & GhanavatiNejad, M. (2023). A goal programming-based fuzzy best-worst method for the viable supplier selection problem: a case study. *Soft computing*, 27(6), 2827–2852. <https://doi.org/10.1007/s00500-022-07572-0>
- [63] Mamashli, Z., Nayeri, S., Tavakkoli-Moghaddam, R., Sazvar, Z., & Javadian, N. (2021). Designing a sustainable-resilient disaster waste management system under hybrid uncertainty: A case study. *Engineering applications of artificial intelligence*, 106, 104459. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104459>