



Civil and Project Journal
<http://www.cpjournals.com/>

Research Article

Quantitative assessment of supply chain risk on project activities in project-driven supply chains under uncertainty

Farid Farpour^{1*}, Hamed Reza Sobhi²

1*- Master's student, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Department of Project and Construction Management, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran

Received: 07 August 2026; Revised: 08 September 2026; Accepted: 10 September 2026; Published: 21 January 2027

Abstract

Project-driven organizations have given rise to project-driven supply chains due to their focus on their core and greater dependence on their contractors and suppliers. For this reason, the study and evaluation of project-driven supply chains has become an interesting topic in recent years. In this regard, in this study, two methods are presented for the two parts of the supply chain and project management in the project-driven supply chain. First, a combined method including CoCoSo methods and the best-worst method is presented to evaluate the resilience of suppliers in the supply chain environment. Then, this index is used to quantify the risk of suppliers on project activities. This is done using fuzzy alpha-cut. The proposed method for evaluating suppliers and the developed critical path method is developed in a fuzzy environment to deal with uncertainty. After applying alpha-cut to the time of project activities and quantifying the supply chain risk on them, the fuzzy critical path method is presented to determine the critical path and the criticality of activities. But in the fuzzy critical path, to determine the floats of activities, negative numbers are generated, which is unacceptable, in this regard, a new fuzzy subtraction method for the critical path is presented to prevent the generation of negative numbers. The proposed method is applied to a case study to demonstrate its effectiveness. Then, sensitivity analysis is performed on the weight of resilience criteria, which indicates the stability of the proposed results. Also, validation shows the validity of the results of the proposed method.

Keywords: Risk quantification, project-driven supply chain, fuzzy CoCoSo method, Fuzzy best-worst method, Fuzzy critical path method.

Cite this article as Farpour, F., & Sobhi, H. R. (2027). Quantitative assessment of supply chain risk on project activities in project-driven supply chains under uncertainty. (e252753). Civil and Project journal, 8(11), e252753 <https://doi.org/10.22034/cpj.2026.601387.1472>

ISSN: 2676-511X

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

*Corresponding author E-mail address: frdfrpr@yahoo.com



نشریه عمران و پروژه
<http://www.cpjournals.com/>

ارزیابی کمی ریسک زنجیره تامین بر روی فعالیت های پروژه در زنجیره تامین پروژه محور تحت شرایط عدم قطعیت

فرید فرپور^{۱*}، حامد رضا صبحی^۲

*۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه مدیریت پروژه و ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۶ مرداد ۱۴۰۵؛ تاریخ بازنگری: ۱۷ شهریور ۱۴۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۹ شهریور ۱۴۰۵؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۰۱ بهمن ۱۴۰۵

چکیده

سازمان های پروژه محور به دلیل تمرکز بر هسته اصلی خود و وابستگی بیشتر به پیمانکاران و تامین کنندگان خود، موجب به وجود آمدن زنجیره تامین پروژه محور شده اند. به همین منظور بررسی و ارزیابی زنجیره تامین پروژه محور در سال های اخیر به موضوع جذابی تبدیل شده است. در همین راستا، در این پژوهش، دو روش برای دو قسمت زنجیره تامین و مدیریت پروژه در زنجیره تامین پروژه محور ارائه می شود. در ابتدا یک روش ترکیبی شامل روش های CoCoSo و روش بهترین بدترین برای ارزیابی تاب آوری تامین کنندگان در محیط زنجیره تامین ارائه می شود. سپس از این شاخص برای کمی سازی ریسک تامین کنندگان بر روی فعالیت های پروژه استفاده می شود. این مهم با استفاده از آلفا کات فازی صورت می گیرد. روش پیشنهادی برای ارزیابی تامین کنندگان و همچنین روش مسیر بحرانی توسعه یافته، در محیط فازی برای مواجهه با عدم قطعیت توسعه داده می شوند. پس از اعمال آلفا کات بر روی زمان فعالیت های پروژه و کمی سازی ریسک زنجیره تامین بر روی آنها، روش مسیر بحرانی فازی برای تعیین مسیر بحرانی و میزان بحرانی فعالیت ها ارائه می شود. اما در مسیر بحرانی فازی، برای تعیین شناوری فعالیت ها، اعداد منفی تولید می شود که قابل قبول نیست، در همین راستا یک روش تفریق جدید فازی برای مسیر بحرانی ارائه می شود تا از تولید اعداد منفی جلوگیری کند. روش پیشنهادی بر روی یک مطالعه موردی برای نشان دادن کارایی آن اعمال می گردد. سپس تحلیل حساسیت بروی وزن معیارهای تاب آوری انجام می شود که نشان از پایداری نتایج پیشنهادی دارد. همچنین مقایسه سازگاری نیز نشان از سازگاری نتایج روش پیشنهادی دارد.

کلمات کلیدی: کمی سازی ریسک، زنجیره تامین پروژه محور، روش CoCoSo فازی، روش بهترین-بدترین فازی، روش مسیر بحرانی فازی.

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: frdfrpr@yahoo.com

۱- مقدمه

پروژه‌های عمرانی و زیرساختی به دلیل ماهیت پیچیده، وابستگی متقابل فعالیت‌ها و نیاز به تأمین مستمر مواد، تجهیزات و خدمات، در معرض انواع مختلفی از ریسک‌های زنجیره تأمین قرار دارند. افزایش برون‌سپاری فعالیت‌ها و وابستگی پروژه‌ها به تأمین‌کنندگان موجب شده است که عملکرد تأمین‌کنندگان نقش مهمی در موفقیت پروژه‌ها داشته باشد. در زنجیره‌های تأمین پروژه‌محور، فعالیت‌های زنجیره تأمین در خارج از سایت پروژه، شامل تولید، حمل‌ونقل و موجودی، به فعالیت‌های داخل سایت مانند زمان‌بندی، برنامه‌ریزی و تخصیص منابع وابسته هستند و هرگونه اختلال در این ارتباط می‌تواند موجب ایجاد تأخیر در پروژه شود (شیشودیا و همکاران، ۲۰۱۹؛ شیشودیا و همکاران، ۲۰۲۴). شیشودیا و همکاران (۲۰۱۹) با تمرکز بر همین مسئله، عوامل مؤثر بر تاب‌آوری تأمین‌کنندگان را شناسایی و با استفاده از یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره میزان تاب‌آوری تأمین‌کنندگان را در یک پروژه ساخت بیمارستان ارزیابی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان می‌تواند امکان تحلیل فعالیت‌محور و شناسایی هشدارهای زود هنگام برای مدیریت پروژه را فراهم کند.

در ادامه این مسیر، شیشودیا و همکاران (۲۰۲۲) مسئله ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان را در زنجیره‌های تأمین پروژه‌محور توسعه دادند و بر ارتباط میان قابلیت تاب‌آوری تأمین‌کننده و عملکرد پروژه تمرکز کردند. همچنین، ونگ و همکاران (۲۰۱۷) یک چارچوب انتخاب تأمین‌کننده تاب‌آور در زنجیره تأمین ساخت‌وساز را با ترکیب تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل روابط خاکستری ارائه کردند. امیرمحمملو و خوش سپهر (۲۰۲۵) با ارائه یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر منطق فازی مردد، به ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان سبز و تاب‌آور پرداختند. این پژوهش با تلفیق هم‌زمان ملاحظات زیست‌محیطی و تاب‌آوری، چارچوبی برای اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان در شرایط عدم قطعیت و تردید ارائه کرد. این مطالعات نشان می‌دهند که ارزیابی تأمین‌کنندگان صرفاً بر اساس معیارهای سنتی مانند هزینه و کیفیت کافی نیست و قابلیت‌هایی نظیر انعطاف‌پذیری، قابلیت اطمینان و توانایی مقابله با اختلالات نیز باید در فرآیند انتخاب مورد توجه قرار گیرند.

از آنجا که ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان شامل مجموعه‌ای از معیارهای کمی و کیفی است، این مسئله ماهیتی چندمعیاره دارد (تجلی و همکاران، ۲۰۲۵؛ کمپالسییری و همکاران، ۲۰۲۶). در این زمینه، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌طور گسترده برای انتخاب و ارزیابی تأمین‌کنندگان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای مثال، گان و همکاران (۲۰۱۹) از ترکیب روش بهترین-بدترین فازی و تاپسیس توسعه یافته برای انتخاب تأمین‌کنندگان تاب‌آور استفاده کردند و پرامانیک و همکاران (۲۰۲۰) نیز یک رویکرد مبتنی بر روش‌های نرم‌محاسباتی را برای انتخاب تأمین‌کنندگان تاب‌آور تحت عدم قطعیت ارائه کردند. همچنین، فلاح پور و همکاران (۲۰۲۱) یک چارچوب تصمیم‌گیری فازی ترکیبی برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده پایدار و تاب‌آور توسعه دادند. این مطالعات نشان می‌دهند که ترکیب روش‌های وزن‌دهی و رتبه‌بندی می‌تواند برای مدیریت هم‌زمان معیارهای متعارض و شرایط عدم قطعیت در مسئله انتخاب تأمین‌کننده مناسب باشد.

در میان روش‌های وزن‌دهی به معیارها، روش بهترین-بدترین به دلیل نیاز به مقایسه‌های زوجی کمتر نسبت به بسیاری از روش‌های سنتی و ساختار نسبتاً ساده آن، در مسائل انتخاب تأمین‌کننده مورد توجه قرار گرفته است (رضایی، ۲۰۱۵؛ رضایی، ۲۰۱۶؛ آرورا و همکاران، ۲۰۲۶). هایلپانگ و همکاران (۲۰۲۳) یک مدل بهترین-بدترین فازی را برای انتخاب تأمین‌کنندگان سبز و تاب‌آور توسعه دادند. مسلم (۲۰۲۵) با استفاده از روش بهترین-بدترین توسعه یافته با اعداد Z ، معیارهای مؤثر بر انتخاب شیوه سفر را تحت شرایط عدم قطعیت ارزیابی و وزن‌دهی کرد. نتایج نشان داد که رویکرد پیشنهادی می‌تواند قابلیت اطمینان قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان را در فرآیند وزن‌دهی معیارهای حمل‌ونقل لحاظ کند. این مطالعات نشان می‌دهند که روش بهترین-بدترین فازی می‌تواند ضمن کاهش تعداد مقایسه‌های مورد نیاز، عدم قطعیت موجود در قضاوت‌های خبرگان را نیز در فرآیند وزن‌دهی معیارها لحاظ کند.

در مرحله رتبه‌بندی گزینه‌ها، روش CoCoSo یکی از روش‌های جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره است که با هدف دستیابی به یک راه‌حل سازشی از ترکیب چند استراتژی تجمیع استفاده می‌کند (یزدانی، ۲۰۱۹). روش CoCoSo را برای حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره معرفی کردند و نشان دادند که این روش می‌تواند گزینه‌ها را بر اساس چند سازوکار تجمیعی ارزیابی و

رتبه‌بندی کند. در ادامه، راسونایوو (۲۰۲۴) با توسعه الگوریتم CoCoSo، روش CoCoFISo را ارائه کردند که نشان‌دهنده قابلیت توسعه و انطباق ساختار CoCoSo با شرایط و مسائل مختلف تصمیم‌گیری بود. تقی زاده و همکاران (۲۰۲۵) با استفاده از روش CoCoSo و معیارهای مبتنی بر هوش مصنوعی، راهبردهای نوآوری در اقتصاد دیجیتال را ارزیابی و اولویت‌بندی کردند. نتایج پژوهش نشان داد که CoCoSo می‌تواند برای تحلیل و رتبه‌بندی راهبردهای نوآوری در محیط پیچیده و چندمعیاره اقتصاد دیجیتال به کار گرفته شود. با وجود توسعه روش‌های مختلف برای ارزیابی تأمین‌کنندگان، یکی از مسائل مهم در زنجیره تأمین پروژه‌محور، نحوه انتقال ریسک تأمین‌کنندگان به زمان‌بندی پروژه است. در این زمینه، درفشان و همکاران (۲۰۲۳) تلاش کردند تصمیم‌های مربوط به زنجیره تأمین و مدیریت پروژه را در یک چارچوب یکپارچه قرار دهند. در این مطالعه، ابتدا تاب‌آوری تأمین‌کنندگان با یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی ارزیابی و سپس شاخص بحرانی فعالیت‌های پروژه تعیین شد تا فعالیت‌هایی که هم از نظر بحرانی بودن و هم از نظر تاب‌آوری در وضعیت نامطلوب قرار دارند، شناسایی و سپس ارزیابی شوند.

از سوی دیگر، روش مسیر بحرانی یکی از روش‌های متداول برای تعیین مدت پروژه و شناسایی فعالیت‌های بحرانی است. چاناس و زیلینسکی (۲۰۰۱) مفهوم تحلیل مسیر بحرانی را برای شبکه‌هایی با زمان فعالیت فازی توسعه دادند، در حالی که زاموری و همکاران (۲۰۰۹) یک رویکرد فازی چندمعیاره برای تعیین مسیر بحرانی ارائه کردند. همچنین، علیزاده و سعیدی (۲۰۲۰) مسئله زمان‌بندی فازی پروژه را با در نظر گرفتن ریسک و محدودیت منابع بررسی کردند. این مطالعات نشان می‌دهند که استفاده از منطق فازی در کنار روش مسیر بحرانی می‌تواند برای مدل‌سازی عدم قطعیت موجود در زمان فعالیت‌های پروژه مناسب باشد.

این پژوهش در مقایسه به پژوهش درفشان و همکاران (۲۰۲۳)، از یک روش کمی سازی ریسک استفاده شده است. به عبارت دیگر در پژوهش درفشان و همکاران (۲۰۲۳)، شاخص تاب‌آوری تأمین‌کنندگان استخراج شده و پس از آن تاب‌آوری فعالیت‌ها تعیین گردیده است. سپس نیز میزان بحرانی فعالیت‌ها بر اساس روش مسیر بحرانی و میزان شناوری فعالیت‌ها مشخص شده و بر اساس آن پیشنهاداتی به مدیریت پروژه جهت نیل به اهداف پروژه ارائه گردیده است. اما در این پژوهش از شاخص تاب‌آوری استفاده شده و ریسک ناشی از زنجیره تأمین بر روی زمان فعالیت‌ها کمی سازی شده است. در واقع، از شاخص تاب‌آوری برای اعمال آلفا کات بر روی زمان فازی فعالیت‌ها استفاده شده است. همچنین نوآوری دیگر این پژوهش استفاده از روش CoCoSo برای ارزیابی شاخص تاب‌آوری تأمین‌کنندگان می‌باشد. این روش با بهره‌گیری از چند استراتژی تجمیع، انعطاف‌پذیری بیشتری در ارزیابی و رتبه‌بندی گزینه‌ها نسبت به روش CODAS فراهم می‌کند. همچنین با ترکیب نتایج رویکردهای مختلف، امکان دستیابی به رتبه‌بندی متوازن‌تر و کاهش وابستگی نتایج به یک معیار فاصله مشخص را فراهم می‌سازد.

با وجود مطالعات پیشین، بیشتر پژوهش‌ها یا بر ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان تمرکز داشته‌اند یا مسئله زمان‌بندی پروژه را به صورت مستقل بررسی کرده‌اند. تعداد محدودی از مطالعات، ارتباط میان تاب‌آوری تأمین‌کنندگان، ریسک ناشی از آن‌ها و زمان‌بندی فعالیت‌های پروژه را در یک چارچوب یکپارچه بررسی کرده‌اند. از این رو، پژوهش حاضر با هدف پرکردن این شکاف، یک چارچوب تصمیم‌گیری یکپارچه برای ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان و کمی‌سازی اثر آن بر زمان‌بندی پروژه ارائه می‌کند. در چارچوب پیشنهادی، ابتدا معیارهای تاب‌آوری تأمین‌کنندگان با استفاده از روش بهترین-بدترین فازی وزن‌دهی شده و سپس تأمین‌کنندگان با استفاده از روش CoCoSo فازی ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند. در ادامه، شاخص تاب‌آوری تأمین‌کنندگان به زمان فعالیت‌های پروژه منتقل شده و با استفاده از رویکرد فازی، اثر ریسک تأمین‌کنندگان بر مدت فعالیت‌ها تعیین می‌شود. در نهایت، با استفاده از روش مسیر بحرانی، مسیر بحرانی و فعالیت‌های دارای بیشترین بحرانیات (کمترین شناوری) شناسایی می‌شوند تا مدیران پروژه بتوانند اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی مناسب را پیش از وقوع اختلال اتخاذ کنند. نوآوری‌های این پژوهش به طور خلاصه به شرح ذیل می‌باشد:

۱) ارائه یک روش کمی سازی ریسک زنجیره تأمین بر روی فعالیت‌های پروژه با استفاده از آلفا کات فازی در زنجیره تأمین پروژه محور

۲) توسعه روش ترکیبی CoCoSo و بهترین-بدترین توسعه یافته در محیط فازی برای ارزیابی تاب‌آوری تأمین‌کنندگان

- ۳) توسعه یک اپراتور تفریق جدید بر اساس پژوهش درفشان و همکاران (۲۰۲۳) در محیط فازی کلاسیک
- ۴) مواجهه با عدم قطعیت موجود در محیط زنجیره تامین و مدیریت پروژه با استفاده از مجموعه‌های فازی
- ساختار این پژوهش در ادامه به این صورت است: بخش دوم روش پیشنهادی این پژوهش را ارائه می‌دهد. بخش سوم مطالعه موردی را ارائه می‌دهد. در بخش چهارم تحلیل حساسیت و مقایسه سازگاری روش پیشنهادی ارائه می‌گردد و در بخش آخر نتیجه‌گیری بیان می‌شود.

۲- روش پیشنهادی برای ارزیابی زنجیره تامین پروژه محور

این قسمت از دو بخش تشکیل شده است. در ابتدا روش پیشنهادی برای ارزیابی تاب‌آوری تامین‌کنندگان بیان می‌شود و سپس روش پیشنهادی برای ارزیابی زنجیره تامین پروژه محور ارائه می‌گردد.

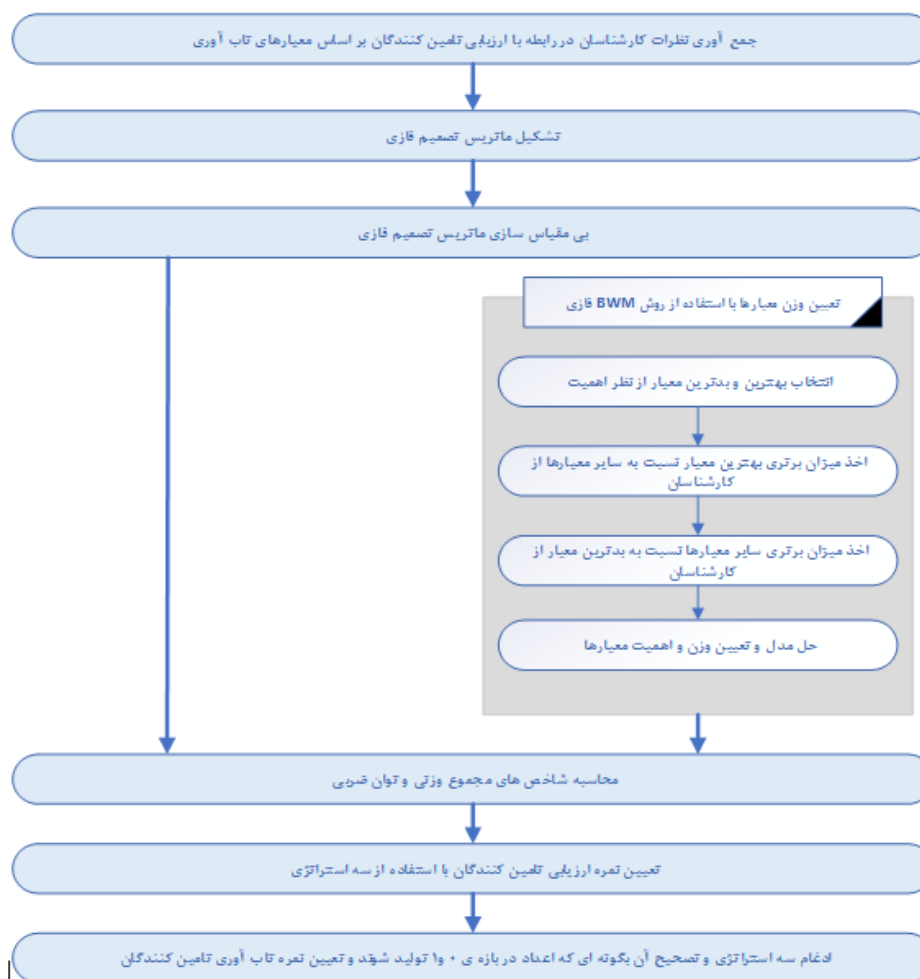
۲-۱) روش پیشنهادی برای ارزیابی تاب‌آوری تامین‌کنندگان

در این بخش، برای ارزیابی تامین‌کنندگان و تعیین شاخص تاب‌آوری هر کدام از فعالیت‌های پروژه یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی توسعه یافته ارائه می‌شود. به عبارت دیگر، تامین‌کنندگان پروژه به عنوان گزینه‌ها و شاخص‌های تاب‌آوری به عنوان معیارها در نظر گرفته می‌شوند و سپس مساله به صورت یک مساله تصمیم‌گیری چندمعیاره مدلسازی می‌شود. اکنون برای حل این مساله از روش ترکیبی بهترین-بدترین و CoCoSo توسعه یافته استفاده می‌شود. روش بهترین-بدترین به دلیل مقایسات زوجی کمتر و همچنین نرخ سازگاری بالاتر نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی در این پژوهش استفاده می‌شود (اسر ، ۲۰۲۴؛ تراپودی و همکاران، ۲۰۲۴). روش CoCoSo اولین بار توسط یزدانی و همکاران (۲۰۱۹) ارائه شد. این روش به دلایل سادگی و کارایی بالا، پوشش همزمان مجموع و ضرب وزنی، قابلیت انعطاف بالا، ثبات نسبی بیشتر در برابر تغییرات وزن‌ها و دقت در رتبه‌بندی در سال‌های اخیر بسیار مورد استفاده قرار گرفته است (راسونایوو و همکاران، ۲۰۲۴؛ جعفری و خانقاه، ۲۰۲۴). همچنین به منظور مواجهه با عدم قطعیت از مجموعه‌های فازی استفاده می‌شود و روش ترکیبی ارائه شده در محیط فازی توسعه داده می‌شود. شکل ۱ فلوچارت روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. در ادامه گام‌های روش پیشنهادی ارائه می‌شوند.

گام ۱: در این گام نظرات کارشناسان در مورد عملکرد هر کدام تامین‌کنندگان پروژه نسبت به معیارهای تاب‌آوری اخذ می‌شود. معیارهای کیفی با استفاده از متغیرهای زبانی و معیارهای کمی به صورت فازی ارائه می‌گردد. جدول ۱ متغیرهای زبانی و معادل فازی مثلثی آن را نشان می‌دهد.

جدول ۱: متغیرهای زبانی برای ارزیابی و معادل فازی آن

متغیرهای زبانی	معادل فازی
خیلی کم	(۰,۰,۱)
کم	(۰,۱,۳)
به طور متوسط کم	(۱,۳,۵)
متوسط	(۳,۵,۷)
به طور متوسط زیاد	(۵,۷,۹)
زیاد	(۷,۹,۱۰)
خیلی زیاد	(۹,۱۰,۱۰)



شکل ۱: فلوچارت روش پیشنهادی

گام ۲: اکنون در این گام، ماتریس تصمیم با توجه به اطلاعات اخذ شده از کارشناسان تشکیل می‌شود. ماتریس تصمیم به شرح زیر است:

$$\beta_{fg} = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \cdots & \beta_{1G} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \beta_{F1} & \cdots & \beta_{FG} \end{bmatrix} \quad (1)$$

که $f=1,2,\dots,F$ نشان دهنده تامین کنندگان و $g=1,2,\dots,G$ نشان دهنده معیارهای تاب‌آوری هستند.

گام ۳: در این مرحله، ماتریس تصمیم به دلیل اینکه معیارهای متفاوت دارای مقیاس‌های متفاوت هستند، بی مقیاس‌سازی می‌شود:

$$\lambda_{fg} = \begin{bmatrix} \tilde{\lambda}_{11} & \cdots & \tilde{\lambda}_{1G} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\lambda}_{F1} & \cdots & \tilde{\lambda}_{FG} \end{bmatrix} \quad (2)$$

معیارهای مثبت براساس رابطه (۳-۹) بی‌مقیاس سازی می‌شوند:

$$\tilde{\lambda}_{FG} = \left(\frac{\rho_{FG1}}{\beta_B^*}, \frac{\rho_{FG2}}{\beta_B^*}, \frac{\rho_{FG3}}{\beta_B^*} \right), \beta_B^* = \max \beta_{FG4} \quad (3)$$

همچنین معیارهای منفی نیز بر اساس رابطه (۴) بی‌مقیاس سازی می‌گردند:

$$\tilde{\lambda}_{FG} = \left(\frac{\beta_B^-}{\rho_{FG1}}, \frac{\beta_B^-}{\rho_{FG2}}, \frac{\beta_B^-}{\rho_{FG3}} \right), \beta_B^- = \min \beta_{FG1} \quad (4)$$

گام ۴: در این مرحله، به‌منظور تعیین وزن معیارهای کلیدی و مؤثر بر تاب‌آوری، از روش (BWM) بهره گرفته می‌شود. این روش نخستین‌بار توسط رضایی (۲۰۱۵) به‌عنوان یک مدل غیرخطی معرفی شد. در ادامه، رضایی (۲۰۱۶) آن را بهبود بخشید و نسخه‌ای خطی از این مدل را ارائه کرد. روش مذکور در محیط فازی به‌صورت زیر توسعه می‌یابد:

گام ۴-۱: در گام نخست، از میان معیارهای انتخاب‌شده، مهم‌ترین (بهترین) و کم‌اهمیت‌ترین (بدترین) معیار از نظر اهمیت شناسایی می‌شوند.

گام ۴-۲: میزان برتری بهترین معیار نسبت به سایر معیارها، بر اساس متغیرهای زبانی مندرج در جدول ۲ و با نظر خبرگان تعیین می‌شود. به‌عبارت دیگر، خبرگان دیدگاه‌های خود را به‌صورت متغیرهای زبانی ارائه می‌کنند و سپس این دیدگاه‌ها با استفاده از معادل‌های فازی ارائه‌شده در جدول ۲، به مقادیر کمی تبدیل می‌شوند. این میزان اهمیت در رابطه (۵) نمایش داده شده است.

$$\tilde{\varphi}_{best} = (\tilde{\varphi}_{best,1}, \tilde{\varphi}_{best,2}, \dots, \tilde{\varphi}_{best,G}) \quad (5)$$

جدول ۲: متغیرهای زبانی برای تعیین وزن معیارها

معادل فازی متغیرهای زبانی	متغیرهای زبانی
(1,1,1)	اهمیت یکسان
(1/2,1,3/2)	کمی ارجح
(1,3/2,2)	خیلی ارجح
(3/2,2,5/2)	خیلی زیاد ارجح
(2,5/2,3)	کاملاً ارجح

گام ۴-۳: میزان برتری سایر معیارها نسبت به بدترین معیارها، بر اساس متغیرهای زبانی مندرج در جدول ۲ و با نظر خبرگان تعیین می‌شود. به‌عبارت دیگر، خبرگان دیدگاه‌های خود را به‌صورت متغیرهای زبانی ارائه می‌کنند و سپس این دیدگاه‌ها با استفاده از معادل‌های فازی ارائه‌شده در جدول ۲، به مقادیر کمی تبدیل می‌شوند. این میزان اهمیت در رابطه (۶) نمایش داده شده است:

$$\tilde{\mu}_{worst} = (\tilde{\mu}_{1,worst}, \tilde{\mu}_{2,worst}, \dots, \tilde{\mu}_{G,worst}) \quad (6)$$

گام ۴-۴: اکنون پس از حل مدل خطی زیر، وزن معیارهای تاثیرگذار تاب‌آوری مشخص می‌گردد:

$\min \theta$

$$\left| \frac{(w_{best1}, w_{best2}, w_{best3}, w_{best4})}{(w_{G1}, w_{G2}, w_{G3}, w_{G4})} - (\varphi_{best,G1}, \varphi_{best,G2}, \varphi_{best,G3}, \varphi_{best,G4}) \right| \leq (P^*, P^*, P^*, P^*),$$

for all G

$$\left| \frac{(w_{G1}, w_{G2}, w_{G3}, w_{G4})}{(w_{worst1}, w_{worst2}, w_{worst3}, w_{worst4})} - (\mu_{worst,G1}, \mu_{worst,G2}, \mu_{worst,G3}, \mu_{worst,G4}) \right| \leq (P^*, P^*, P^*, P^*), \quad (7)$$

for all G

$$\sum_{g=1}^G deff(\tilde{w}_G) = 1$$

$$w_{G1} \leq w_{G2} \leq w_{G3} \leq w_{G4} \quad \text{for all } G$$

$$w_{G1} \geq 0, \quad \text{for all } G$$

اگر باشد، آنگاه شاخص ناسازگاری است مقدار نزدیک به صفر نزدیک نشان‌دهنده سازگاری بیشتر است. خروجی این مدل وزن معیارهای تاب‌آوری است.

گام ۵: در این گام مقادیر جمع وزنی (P_f) و توان وزنی (S_f) برای هر تامین‌کننده محاسبه می‌شود. در واقع با استفاده از وزن به دست آمده از روش BWM برای معیارهای تاب‌آوری، این شاخص‌ها به صورت زیر محاسبه می‌گردند:

$$P_F = \sum_{g=1}^G w_g * \lambda_{fg} \quad (8)$$

$$S_F = \sum_{g=1}^G (\lambda_{fg})^{w_g} \quad (9)$$

گام ۶: اکنون با استفاده از سه استراتژی زیر نمره ارزیابی هر کدام از تامین‌کنندگان مشخص می‌شود:

$$\rho_{fa} = \frac{P_F + S_F}{\sum_{f=1}^F (P_F + S_F)} \quad (10)$$

$$\rho_{fb} = \frac{S_F}{\min_f S_F} + \frac{P_F}{\min_f P_F} \quad (11)$$

$$\rho_{fc} = \frac{\delta * P_F + (1-\delta) * S_F}{\delta * \max_f P_F + (1-\delta) * \max_f S_F}, \quad 0 \leq \delta \leq 1 \quad (12)$$

گام ۷: اکنون سه استراتژی گام ۶ با یکدیگر ادغام می‌شوند تا نمره تاب‌آوری نهایی تامین‌کنندگان مشخص شود:

$$\rho_f = (\rho_{fa} * \rho_{fb} * \rho_{fc})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3}(\rho_{fa} + \rho_{fb} + \rho_{fc}) \quad (13)$$

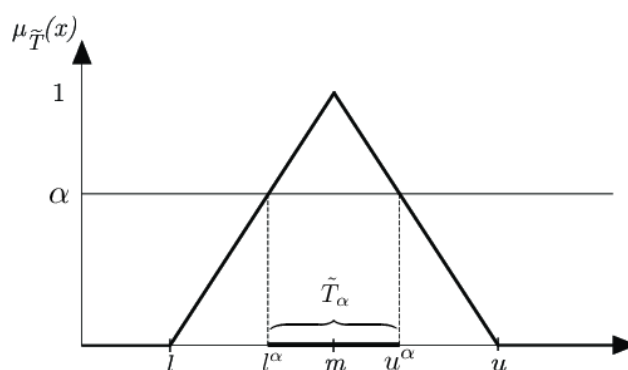
لازم به ذکر است که شاخص نهایی این روش به منظور تولید اعداد در بازه صفر تا یک، به صورت زیر تصحیح می‌شود:

$$\rho_f = (\rho_{fa} * \frac{\rho_{fb}}{\sum_{f=1}^F \rho_{fb}} * \rho_{fc})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3}(\rho_{fa} + \frac{\rho_{fb}}{\sum_{f=1}^F \rho_{fb}} + \rho_{fc}) \quad (14)$$

اکنون نمره تاب‌آوری بالاتر، نشان دهنده رتبه بالاتر تامین‌کننده است و با استفاده از این شاخص می‌توان تامین‌کنندگان را رتبه‌بندی نمود.

۲-۲) روش پیشنهادی برای ارزیابی زنجیره تامین پروژه محور

در این مرحله یک شبکه پروژه فازی موجود است که می‌بایست زمانبندی شود. لازم به ذکر است که اعداد فازی زمان فعالیت‌ها از نظرات خبرگان جمع‌آوری شده است. اکنون از اعداد تاب‌آوری تامین‌کنندگان استفاده می‌شود و اعداد تاب‌آوری فعالیت‌ها تعیین می‌شود. سپس برش‌های آلفا بر روی زمان‌های فازی فعالیت‌های پروژه بر اساس شاخص تاب‌آوری هر فعالیت زده می‌شود. یک برش بر روی اعداد فازی در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲: برش آلفا بر روی اعداد فازی

همانطور که مشاهده می‌شود با انجام برش آلفا بر روی یک عدد فازی مثلثی (l, m, u) ، یک بازه برای نشان دادن عدد جدید (l^α, u^α) ارائه می‌شود. اکنون یک شبکه فعالیت‌های پروژه با اعداد بازه‌ای موجود است که می‌بایست میزان بحرانیت هر کدام از فعالیت‌ها مشخص شود. به منظور تعیین بحرانیت فعالیت‌ها نیاز به محاسبات پیشرو و پسرو در شبکه وجود دارد. اما در شبکه پروژه با اعداد فازی و بازه‌ای در محاسبات پسرو اعداد منفی تولید می‌شود. به همین منظور یک روش تفريق جديد که الهام گرفته از درفشان و همکاران (۲۰۲۳) است، به منظور جلوگیری از ایجاد اعداد منفی در شبکه پروژه بازه‌ای ارائه می‌گردد. اپراتور تفريق جديد، علاوه بر اینکه در محیط فازی اعداد منفی تولید نمی‌کند از ایجاد اعداد بزرگتر از حد واقعی نیز جلوگیری می‌کند. به عبارت دیگر، بقیه اپراتورهای ایجاد شده تاکنون برای ارزیابی مسیر بحرانی فازی اعداد بزرگتر از حد واقعی تولید می‌کنند (درفشان و همکاران، ۲۰۲۳). این پژوهش با اقتباس از پژوهش درفشان و همکاران (۲۰۲۳) که این اپراتور را در محیط فازی نوع-۲ بازه‌ای توسعه داده بودند، این اپراتور را در محیط فازی کلاسیک برای اولین بار در ادبیات موضوع توسعه داده است. این روش تفريق جديد به شرح زیر است:

یک اپراتور تفریق جدید در محیط بازه‌ای برای محاسبات مسیر بحرانی در پروژه به صورت زیر بیان می‌شود:

اگر دو عدد بازه‌ای B_1 و B_2 داشته باشیم، آنگاه اپراتور تفریق جدید $\ominus$ به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\tilde{B}_1 \ominus \tilde{B}_2 = (b_{11} - b_{21}, b_{12} - b_{22}) \quad (15)$$

ولی این اپراتور دو مشکل به صورت زیر برای آن وجود دارد:

۱- برخی مواقع در محاسبات برگشتی اگر دو عدد به صورت زیر وجود داشته باشند:

$$\tilde{B}_1 = (5, 7)$$

$$\tilde{B}_2 = (2, 6)$$

آنگاه عدد نهایی دیگر فرم بازه‌ای نخواهد داشت:

$$\tilde{B}_1 \ominus \tilde{B}_2 = (5 - 2, 7 - 6) = (3, 1)$$

به منظور حل این مساله، اپراتور تفریق جدیدی به شرح زیر بسط داده می‌شود:

$$\tilde{B}_1 \ominus \tilde{B}_2 = (b_{(1)}, b_{(2)}) \quad (16)$$

که $b_{(1)} \leq b_{(2)}$ و $b_{(1)}$ به صورت زیر بیان می‌شود:

$$b_{(1)} = \min \{b_{11} - b_{21}, b_{12} - b_{22}\} \quad (17)$$

۲- زمانی که دو عدد به شرح زیر باشند:

$$\tilde{B}_1 = (2, 6)$$

$$\tilde{B}_2 = (3, 4)$$

آنگاه برخی از درایه‌های آن منفی خواهد شد:

$$\tilde{B}_1 \ominus \tilde{B}_2 = (2 - 3, 6 - 4) = (-1, +2)$$

این موضوع برای مسیر بحرانی که اعداد نشان دهنده زمان هستند کاملاً بی معنی است. برای حل این مساله، در ابتدا اعداد همچون مشکل ۱، بر مبنای فرمول‌های ۱۶ و ۱۷ مرتب‌سازی می‌گردند، آنگاه به شرح زیر عمل می‌گردد:

$$b_{(1)} = \max \{0, b_{11} - b_{21}\}$$

$$b_{(2)} = \max \left\{ 0, \left[\max \{0, b_{12} - b_{22}\} + \min \{0, b_{11} - b_{21}\} \right] \right\} \quad (18)$$

مثال بالا به صورت زیر حل می‌گردد:

$$b_{(1)} = \max \{0, 2 - 3\} = 0$$

$$b_{(2)} = \max \{0, [\max \{0, 6 - 4\} + \min \{0, 2 - 3\}]\} = 1$$

به طور کلی، اپراتور تفریق توسعه داده شده برای جلوگیری از تولید اعداد منفی و انجام محاسبات مسیر بحرانی به شرح زیر تعریف می‌گردد:

گام ۱: در این مرحله، عملیات تفریق به صورت زیر انجام می‌شود:

$$\tilde{B}_1 \ominus \tilde{B}_2 = (b_{11} - b_{21}, b_{12} - b_{22}) \quad (19)$$

پس از این مرحله چک می‌شود که آیا دو مشکل مطرح شده به وجود آمده است یا نه. اگر عملیات به درستی صورت گرفته باشد پس مشکلی وجود ندارد در غیر اینصورت باید به گام ۲ مراجعه کرد.

گام ۲: اکنون به صورت زیر عمل می‌گردد:

$$\tilde{B}_1 \ominus \tilde{B}_2 = (b_{(1)}^U, b_{(2)}^U) \quad (20)$$

که $b_{(1)} \leq b_{(2)}$ و $b_{(1)}$ به شرح زیر بیان می‌شود:

$$b_{(1)} = \min \{b_{11} - b_{21}, b_{12} - b_{22}\} \quad (21)$$

اکنون دوباره چک می‌شود و اگر عدد منفی تولید نشده باشد جواب نهایی است. اما اگر عدد منفی تولید شده باشد می‌بایست به گام ۳ مراجعه کرد.

گام ۳: در این مرحله برای جلوگیری از تولید اعداد منفی، فرمول ۲۲ به شرح زیر ارائه می‌گردد:

$$\begin{aligned} b_{(1)} &= \max \{0, b_{11} - b_{21}\} \\ b_{(2)} &= \max \left\{ 0, \left[\max \{0, b_{12} - b_{22}\} + \min \{0, b_{11} - b_{21}\} \right] \right\} \end{aligned} \quad (22)$$

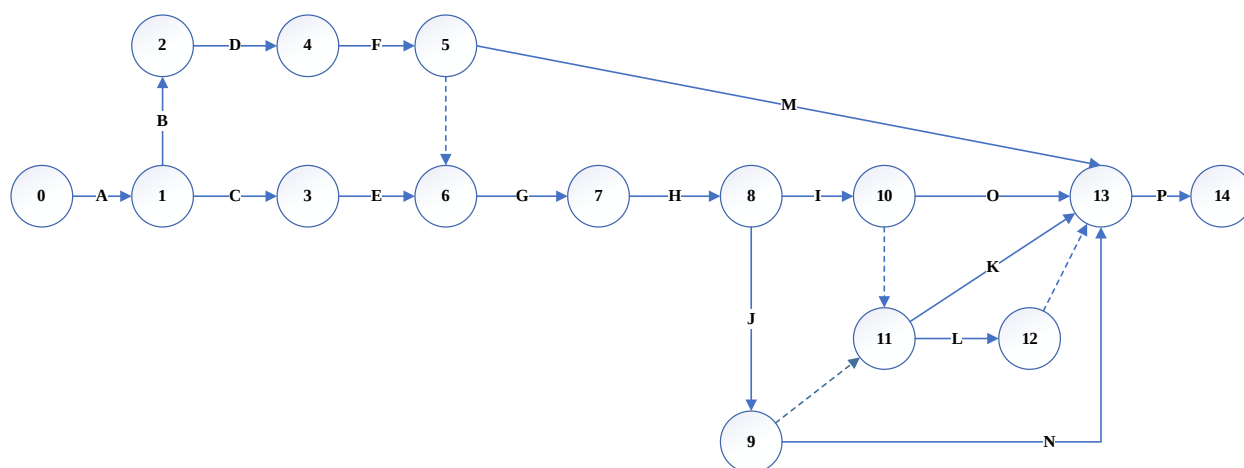
اکنون محاسبات پیشرو پسرو شبکه پروژه انجام می‌شود و میزان بحرانیت فعالیت‌ها و همچنین شناوری هر فعالیت شخص می‌شود. سپس با توجه به شاخص بحرانیت و همچنین شاخص تاب‌آوری، پیشنهاداتی به مدیریت پروژه جهت جلوگیری از تاخیر و رسیدن به اهداف پروژه ارائه می‌شود.

۳- مطالعه موردی

پروژه حاضر مربوط به ساخت یک سوله صنعتی است که با هدف ایجاد فضایی مناسب برای فعالیت‌های تولیدی و انبارداری برنامه‌ریزی شده است. برای اجرای این پروژه، ۱۶ فعالیت اصلی از مرحله تجهیز کارگاه و نقشه‌برداری تا ساخت اسکلت فلزی، اجرای فونداسیون، نصب سقف و دیوارها، اجرای تأسیسات برقی و مکانیکی، کف‌سازی، رنگ‌آمیزی و در نهایت تست و تحویل پروژه در نظر گرفته شده است. روابط پیش‌نیازی میان فعالیت‌ها به گونه‌ای تعریف شده‌اند که امکان اجرای هم‌زمان برخی عملیات فراهم شود و زمان اجرای پروژه بهینه گردد. همچنین برای نمایش صحیح وابستگی‌ها در شبکه AOA از ۴ فعالیت موهومی استفاده شده است. همچنین هزینه کل پروژه حدود ۲۶ میلیارد تومان در نظر گرفته شده که شامل هزینه‌های تجهیز کارگاه، خرید مصالح، ساخت و نصب اسکلت فلزی، عملیات عمرانی، اجرای تأسیسات، نازک‌کاری و تحویل نهایی است. جدول ۳ وابستگی بین آنها را نشان می‌دهد. شکل ۳ شبکه پروژه را نشان می‌دهد.

جدول ۳: وابستگی بین فعالیت ها

کد	فعالیت	پیش نیاز
A	تجهیز کارگاه	-
B	نقشه برداری و پیاده سازی	A
C	خرید مصالح اصلی	A
D	گودبرداری	B
E	ساخت اسکلت فلزی در کارخانه	C
F	اجرای فونداسیون	D
G	نصب ستون های فلزی	E , F
H	نصب تیرها و خرپاها	G
I	اجرای سقف	H
J	اجرای دیوارهای جانبی	G
K	اجرای تأسیسات برق	I , J
L	اجرای تأسیسات مکانیکی	I , J
M	کف سازی	F
N	نصب درب های صنعتی	J
O	رنگ آمیزی و تکمیل سازه	I
P	تست و تحویل پروژه	K , L , M , N , O



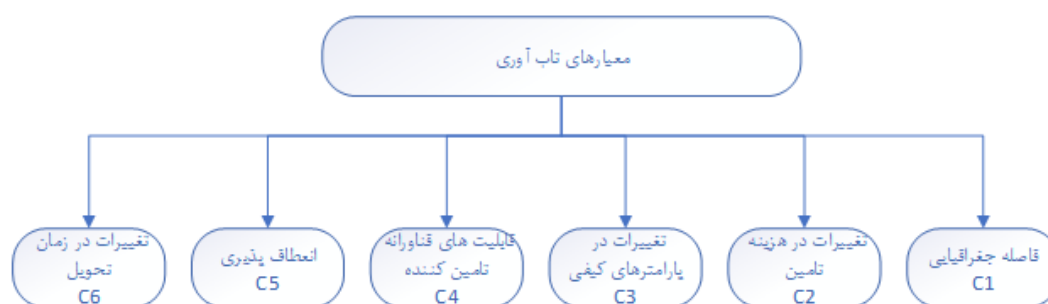
شکل ۳: شبکه پروژه

همچنین تامین کنندگان هر کدام از فعالیت های پروژه نیز مشخص می باشد. تامین کنندگان هر کدام از فعالیت ها در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴: تامین کنندگان هر کدام از فعالیت ها

کد	فعالیت	تامین کنندگان
A	تجهیز کارگاه	T1
B	نقشه برداری و پیاده سازی	T2
C	خرید مصالح اصلی	T3, T4
D	گودبرداری	T1, T4
E	ساخت اسکلت فلزی در کارخانه	T5, T6
F	اجرای فونداسیون	T4, T6
G	نصب ستون های فلزی	T5
H	نصب تیرها و خرپاها	T5
I	اجرای سقف	T5, T6
J	اجرای دیوارهای جانبی	T4, T7
K	اجرای تأسیسات برق	T8
L	اجرای تأسیسات مکانیکی	T7, T8
M	کف سازی	T4, T6
N	نصب درب های صنعتی	T5, T7
O	رنگ آمیزی و تکمیل سازه	T5, T7, T8
P	تست و تحویل پروژه	T2, T8

همچنین معیارهای تاب آوری با توجه به مرور ادبیات و نظرات خبرگان در شکل ۴ نشان داده می شود. شایان ذکر است مشخصات خبرگان در جدول ۵ ارائه شده است. کلیه نظرات ارائه شده در این پژوهش، در جلسات گروهی با این خبرگان و جمع بندی نهایی آنها بر سر اطلاعات ارائه شده، جمع آوری شده است.



شکل ۴: معیارهای تاب آوری تامین کنندگان

جدول ۵: مشخصات خبرگان

تعداد خبرگان	تخصص	سابقه
۳	مدیریت پروژه	حداقل ۱۰ سال سابقه
۲	زنجیره تامین	

۳-۱) اعمال روش پیشنهادی برای ارزیابی تاب‌آوری تامین‌کنندگان

اکنون گام‌های روش پیشنهادی در فصل سوم به صورت زیر اجرا می‌شود:

گام ۱: نظرات خبرگان در مورد عملکرد هر کدام از تامین‌کنندگان نسبت به معیارهای تاب‌آوری تعریف شده در شکل ۴ با استفاده از جدول ۱ اخذ می‌شود. معیارهای کمی با استفاده از اعداد فازی بیان می‌شوند و معیارهای کیفی به صورت متغیرهای زبانی و در نهایت با استفاده از معادل فازی به اعداد فازی تبدیل می‌شوند. نظرات نهایی در جدول ۶ ارائه شده است.

گام ۲: در این گام با استفاده از رابطه ۱ ماتریس تصمیم تشکیل می‌شود.

گام ۳: در این قسمت با استفاده از روابط ۲ تا ۴ ماتریس تصمیم بی‌مقیاس سازی می‌شود. ماتریس بی‌مقیاس شده در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۶: نظرات خبرگان در مورد عملکرد هر کدام از تامین‌کنندگان نسبت به معیارهای تاب‌آوری

تامین‌کنندگان	C1	C2	C3	C4	C5	C6
T1	(305,320,330)	به‌طور متوسط کم	به‌طور متوسط کم	زیاد	زیاد	به‌طور متوسط کم
T2	(390,420,440)	متوسط	متوسط	خیلی زیاد	خیلی زیاد	به‌طور متوسط کم
T3	(620,640,660)	به‌طور متوسط کم	زیاد	به‌طور متوسط کم	به‌طور متوسط کم	زیاد
T4	(380,390,400)	زیاد	زیاد	به‌طور متوسط کم	به‌طور متوسط کم	به‌طور متوسط زیاد
T5	(390,410,430)	به‌طور متوسط زیاد	به‌طور متوسط کم	کم	کم	به‌طور متوسط کم
T6	(250,260,270)	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط
T7	(180,190,210)	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط
T8	(340,355,375)	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط

جدول ۷: ماتریس تصمیم‌بی مقیاس شده

تامین کنندگان	C1	C2	C3	C4	C5	C6
T1	(0.54,0.562,0.59)	(0.2,0.33,1)	(0.2,0.33,1)	(0.7,0.9,1)	(0.7,0.9,1)	(0.2,0.33,1)
T2	(0.409,0.428,0.46)	(0.143,0.2,0.33)	(0.143,0.2,0.3)	(0.5,0.7,0.9)	(0.9,1,1)	(0.2,0.33,1)
T3	(0.27,0.28,0.29)	(0.2,0.33,1)	(0.1,0.11,0.143)	(0,0.1,0.3)	(0.1,0.3,0.5)	(0.1,0.11,0.143)
T4	(0.45,0.46,0.474)	(0.1,0.11,0.143)	(0.1,0.11,0.143)	(0.1,0.3,0.5)	(0.1,0.3,0.5)	(0.11,0.143,0.2)
T5	(0.419,0.439,0.462)	(0.11,0.143,0.2)	(0.2,0.33,1)	(0.3,0.5,0.7)	(0,0.1,0.3)	(0.2,0.33,1)
T6	(0.667,0.692,0.72)	(0.143,0.2,0.33)	(0.1,0.11,0.143)	(0.3,0.5,0.7)	(0.7,0.9,1)	(0.143,0.2,0.33)
T7	(0.857,0.947,1)	(0.1,0.11,0.143)	(0.1,0.11,0.143)	(0,0.1,0.3)	(0.3,0.5,0.7)	(0.143,0.2,0.33)
T8	(0.48,0.507,0.529)	(0.143,0.2,0.33)	(0.143,0.2,0.33)	(0.5,0.7,0.9)	(0.3,0.5,0.7)	(0.143,0.2,0.33)

گام ۴: در این گام برای تعیین وزن معیارهای تاب آوری از روش بهترین-بدترین استفاده می شود. در این راستا گام های این روش نیز مطابق با بخش دوم به صورت زیر اجرا می شود:

گام ۴-۱: در این گام، از میان معیارهای انتخاب شده، مهم ترین (بهترین) و کم اهمیت ترین (بدترین) معیار از نظر اهمیت شناسایی می شوند. بهترین و بدترین معیار در جدول ۸ ارائه شده است.

گام ۴-۲: در این مرحله، میزان برتری بهترین معیار در طول سایر معیارها با استفاده از متغیرهای زبانی تعریف شده در جدول ۲ توسط خبرگان بیان می شود. این اطلاعات در جدول ۸ ارائه گردیده است.

گام ۴-۳: در این مرحله برعکس مرحله قبل، میزان برتری سایر معیارها در طول بدترین معیار با استفاده از متغیرهای زبانی تعریف شده در ۳-۲ توسط خبرگان بیان می شود. این اطلاعات در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۸: اطلاعات اولیه مورد نیاز روش بهترین-بدترین

C6	C5	C4	C3	C2	C1	
کم	اهمیت	اهمیت یکسان	کم	کم	خیلی	بهترین معیار: C5
ارجح	یکسان		ارجح	ارجح	ارجح	
بدترین معیار: C1						
		اهمیت یکسان	C1			
		کم ارجح	C2			
		کم ارجح	C3			
		خیلی ارجح	C4			
		خیلی ارجح	C5			
		کم ارجح	C6			

گام ۴-۴: اکنون با حل مدل رابطه (۷) وزن هر معیار به صورت فازی به دست می آید. نتایج در جدول ۹ ارائه شده است. همچنین شاخص نا سازگاری نیز در جدول ۹ بیان شده است.

جدول ۹: وزن نهایی معیارهای تاب آوری

وزن نهایی	معیارها
(0.0365,0.052,0.0883)	C1
(0.0885,0.1145,0.147)	C2
(0.0885,0.1145,0.147)	C3
(0.2353,0.302,0.349)	C4
(0.2353,0.302,0.349)	C5
(0.0885,0.1145,0.147)	C6
(0.0416,0.0588,0.0937)	شاخص ناسازگاری

گام ۵: در این گام مقادیر جمع وزنی (P_f) و توان وزنی (S_f) برای هر تامین کننده با استفاده از روابط ۸ و ۹ محاسبه می شود. نتایج در جدول ۱۰ بیان شده است.

گام ۶: اکنون با استفاده از سه استراتژی بیان شده در روابط ۱۰ تا ۱۲ نمره تاب آوری هر کدام از تامین کنندگان مشخص می شود. نتایج در جدول ۱۰ بیان گردیده است.

گام ۷: در نهایت سه استراتژی گام قبل با یکدیگر با استفاده از روابط ۱۳ و ۱۴ ادغام می شوند تا نمره تاب آوری نهایی تامین کنندگان مشخص شود. نتایج در جدول ۱۰ بیان شده است.

جدول ۱۰: نتایج نهایی ارزیابی تاب آوری تامین کنندگان

تامین کنندگان	جمع وزنی (P_f)	توان وزنی (S_f)	استراتژی اول	استراتژی دوم	استراتژی سوم	نمره نهایی تاب آوری
T1	0.74206	4.582266	0.146564	4.3349	1	0.742368039
T2	0.643874	4.438177	0.139895	3.886963	0.954496537	0.699174716
T3	0.240198	3.678963	0.107884	2	0.7360858	0.497943774
T4	0.261812	3.855278	0.113332	2.137909	0.773260339	0.524762887
T5	0.359424	3.918335	0.117755	2.56143	0.803436795	0.560086828
T6	0.526072	4.266762	0.131933	3.349934	0.900176715	0.647140233
T7	0.304533	3.782371	0.112501	2.295951	0.767590973	0.52861148
T8	0.477692	4.249862	0.130136	3.143922	0.887916036	0.631917657

۲-۳) اعمال روش پیشنهادی برای ارزیابی زنجیره تامین پروژه محور

اکنون زمان فازی فعالیت ها با استفاده از داده های پروژه های گذشته و مشورت با خبرگان جمع آوری می شود. زمان فازی هر کدام از فعالیت ها در جدول ۱۱ ارائه شده است.

جدول ۱۱: زمان فازی فعالیت های پروژه

کد	فعالیت	مدت (روز)
A	تجهیز کارگاه	(6,8,10)
B	نقشه برداری و پیاده سازی	(4,5,6)
C	خرید مصالح اصلی	(16,18, 20)
D	گودبرداری	(9,10,11)
E	ساخت اسکلت فلزی در کارخانه	(23,25,27)
F	اجرای فونداسیون	(18,20,22)
G	نصب ستون های فلزی	(10,11,12)
H	نصب تیرها و خرپاها	(10,11,12)
I	اجرای سقف	(13,15,17)
J	اجرای دیوارهای جانبی	(18,19,20)
K	اجرای تأسیسات برق	(10,12,14)
L	اجرای تأسیسات مکانیکی	(13,15,16)
M	کف سازی	(8,10,12)
N	نصب درب های صنعتی	(6,8,10)
O	رنگ آمیزی و تکمیل سازه	(7,10,13)
P	تست و تحویل پروژه	(5,6,7)

اکنون شاخص تاب آوری به دست آمده برای هر تامین کننده بر روی زمان فعالیت ها در شبکه پروژه کمی سازی می شود. به این صورت که در ابتدا برای هر فعالیت میزان تاب آوری آن با توجه به تاب آوری تامین کنندگان هر فعالیت مشخص می شود. سپس فعالیت هایی که تاب آوری بالاتری دارند یعنی ریسک کمتری به پروژه وارد می کنند. به همین دلیل به اندازه میزان تاب آوری هر فعالیت یک الفاکت بر روی زمان فعالیت ها زده می شود. در این حالت اگر یک فعالیت دارای تاب آوری ۱ باشد محتمل ترین مقدار برای زمان تعیین می شود و اگر دارای تاب آوری صفر باشد ابتدا و انتهای بازه برای فعالیت به عنوان زمان آن تعیین می شود. تاب آوری فعالیت ها در جدول ۱۲ بیان گردیده است.

جدول ۱۲: تاب آوری فعالیت ها

فعالیت	تاب آوری
A	0.7424
B	0.6992
C	0.5114
D	0.6336
E	0.6036
F	0.5859
G	0.5601
H	0.5600
I	0.6036
J	0.5267
K	0.6319
L	0.5803
M	0.5859
N	0.5443
O	0.5735
P	0.6656

همچنین زمان فعالیت ها پس از کمی کردن ریسک تامین کنندگان (آلفا کات) در جدول ۱۳ بیان شده است.

جدول ۱۳: زمان فعالیت ها پس از کمی کردن ریسک تامین کنندگان		
فعالیت	زمان	
	حد پایین	حد بالا
A	7.48	8.52
B	4.70	5.30
C	17.02	18.98
D	9.63	10.37
E	24.21	25.79
F	19.17	20.83
G	10.56	11.44
H	10.56	11.44
I	14.21	15.79
J	18.53	19.47
K	11.26	12.74
L	13.58	15.42
M	9.17	10.83
N	7.09	8.91
O	8.72	11.28
P	5.67	6.33

اکنون محاسبات پیشرو و پسرو انجام می شود و از آنجا که در محاسبات پسرو عدد منفی تولید می شود، برای جلوگیری از این امر، از روش تفریق جدید بیان شده در فصل سوم استفاده می شود. نتایج ارزیابی و زمانبندی پروژه با استفاده از روش مسیر بحرانی فازی در جدول ۱۴ ارائه شده است.

جدول ۱۴: ارزیابی پروژه با استفاده از روش مسیر بحرانی فازی

فعالیت	شناوری بازه ای	شناوری قطعی	بحرانی بودن
A	(0,0)	0	بحرانی
B	(7.53, 8.46)	7.995	----
C	(0,0)	0	بحرانی
D	(7.53, 8.46)	7.995	----
E	(0,0)	0	بحرانی
F	(7.53, 8.46)	7.995	----
G	(0,0)	0	بحرانی
H	(0,0)	0	بحرانی
I	(3.46, 4.54)	4	زیر بحرانی
J	(0,0)	0	بحرانی
K	(2.34, 2.68)	2.51	زیر بحرانی
L	(0,0)	0	بحرانی
M	(51.37, 55.63)	53.5	----
N	(6.39, 6.61)	6.5	----
O	(4,5)	4.5	زیر بحرانی
P	(0,0)	0	بحرانی

مسیر بحرانی همانگونه که مشاهده می شود، مسیر A-C-E-G-H-J-L-P می باشد. اکنون با توجه میزان بحرانی بودن هر فعالیت و شاخص تاب آوری هر فعالیت که در قسمت قبل مشخص شد، می توان پیشنهادات بسیار خوبی به مدیر پروژه به منظور جلوگیری از اختلال ارائه نمود. به همین منظور، میزان بحرانی بودن فعالیت ها در کنار شاخص تاب آوری آنها در جدول ۱۵ ارائه می گردد.

جدول ۱۵: شاخص تاب آوری و میزان بحرانیت فعالیت ها

فعالیت	شناوری قطعی	بحرانی بودن	شاخص تاب آوری
A	0	بحرانی	0.7424
B	7.995	----	0.6992
C	0	بحرانی	0.5114
D	7.995	----	0.6336
E	0	بحرانی	0.6036
F	7.995	----	0.5859
G	0	بحرانی	0.5601
H	0	بحرانی	0.5601
I	4	زیر بحرانی	0.6036
J	0	بحرانی	0.5267
K	2.51	زیر بحرانی	0.6319
L	0	بحرانی	0.5803
M	53.5	----	0.5859
N	6.5	----	0.5443
O	4.5	زیر بحرانی	0.5735
P	0	بحرانی	0.6656

همانگونه که در جدول بالا مشاهده می شود، فعالیت های بحرانی و زیر بحرانی که دارای تاب آوری پایین هستند برای مدیریت پروژه از اهمیت زیادی برخوردارند. فعالیت های بحرانی A، E و P به ترتیب با تاب آوری های ۰,۷۴۲۴، ۰,۶۰۳۶ و ۰,۶۶۵۶ در شرایط خوبی قرار دارند و فقط به صورت دوره ای توسط ارزیابی شوند تا ریسک ناشی از آنها افزایش پیدا نکند. برای فعالیت های بحرانی C، H، G، J و L که به ترتیب دارای تاب آوری های ۰,۵۱۱۴، ۰,۵۶۰۱، ۰,۵۶۰۱، ۰,۵۲۶۷ و ۰,۵۸۰۳ می باشند باید مورد بررسی بیشتر قرار گیرند. به همین منظور مشاهده می شود که فعالیت C دارای دو تامین کننده T3 و T4 می باشد، این دو تامین کننده دارای شاخص تاب آوری ۰,۴۹ و ۰,۵۲ هستند که T3 به دلیل فاصله بسیار زیاد از سایت پروژه و T4 به دلیل بالا بودن تغییرات در هزینه، پارامترهای کیفی و زمان تحویل نمرات تاب آوری پایینی دریافت کرده اند. به همین منظور، مدیریت پروژه می بایست سفارش به تامین کننده T4 را زودتر موعد ارسال کند یا در قرارداد آن برای مواجهه با تاخیر، جریمه در نظر بگیرد. همچنین ریسک تغییر در پارامترهای کیفی را می توان با گارانتی و خدمات پس از فروش به تامین کننده مربوطه منتقل کرد تا میزان تاب آوری این فعالیت افزایش یابد.

در خصوص فعالیت های G و H، تامین کننده هر دوی این فعالیت ها، تامین کننده T5 می باشد. شاخص تاب آوری این تامین کننده ۰,۵۶۰۱ می باشد. این تامین کننده دارای قابلیت فناورانه و انعطاف پذیری کم می باشد. در این شرایط می توان با استفاده از تامین کننده پشتیبان با انعطاف پذیری بالا و قابلیت فناورانه بالاتر، ریسک این تامین کننده را کاهش داد و یا می توان بخشی از فرآیند تامین را به یک تامین کننده دیگر واگذار نمود.

در خصوص فعالیت J، تامین کنندگان آن T4 و T7 هستند. تامین کننده T4 برای فعالیت C قبلاً مورد بررسی قرار گرفت. تامین کننده T7 که دارای شاخص تاب آوری ۰,۵۲۸ می باشد به دلیل تغییرات زیاد در هزینه و پارامترهای کیفی شاخص تاب آوری پایینی کسب نموده است. در این شرایط می توان ریسک تغییر در پارامترهای کیفی را با گارانتی و خدمات پس از فروش به تامین کننده مربوطه منتقل کرد تا میزان تاب آوری این فعالیت افزایش یابد.

در خصوص فعالیت L که دارای دو تامین کننده T7 و T8 می باشد، تامین کننده T8 با شاخص تاب آوری ۰,۶۳ دارای وضعیت خوبی می باشد اما باید به صورت دوره ای جهت اجتناب از ریسک های بالقوه مورد بررسی مجدد قرار گیرد. در خصوص تامین کننده T7 نیز در فعالیت J مورد بررسی قرار گرفت.

۴- تحلیل حساسیت و مقایسه سازگاری

در این بخش در ابتدا تحلیل حساسیت بر روی وزن معیارها انجام می شود و سپس مقایسه سازگاری روش پیشنهادی صورت خواهد گرفت.

۴-۱) تحلیل حساسیت

در این قسمت با توجه به اینکه معیار انعطاف پذیری بیشترین وزن را دارد، وزن این معیار با سایر معیارها دو به دو با هم جابجا می شود تا میزان حساسیت روش پیشنهادی به وزن معیارهای تاب آوری مشخص شود. در جدول ۱۶ نتایج نشان داده شده است.

رتبه بندی	جایابی وزن C5 و C2	رتبه بندی	جایابی وزن C5 و C1	رتبه بندی	بدون تغییر	تامین کنندگان
1	0.745568	1	0.727597	1	0.742368	T1
2	0.67294	2	0.66135	2	0.699175	T2
6	0.531996	8	0.506059	8	0.497944	T3
7	0.52893	7	0.553297	7	0.524763	T4
5	0.577494	5	0.5961	5	0.560087	T5
4	0.623978	4	0.642045	3	0.64714	T6
8	0.516212	6	0.580204	6	0.528611	T7
3	0.635415	3	0.644275	4	0.631918	T8

رتبه بندی	جایابی وزن C5 و C6	رتبه بندی	جایابی وزن C5 و C4	رتبه بندی	جایابی وزن C5 و C3	تامین کنندگان
1	0.743906	1	0.742368	1	0.748139	T1
2	0.691171	2	0.699175	2	0.674567	T2
8	0.498124	8	0.497944	8	0.500572	T3
6	0.529406	7	0.524763	7	0.528699	T4
5	0.602369	5	0.560087	5	0.605616	T5
4	0.621683	3	0.64714	4	0.615203	T6
7	0.523526	6	0.528611	6	0.516109	T7
3	0.633152	4	0.631918	3	0.636534	T8

همانگونه که مشاهده می شود تغییرات کمی در رتبه تامین کنندگان مشاهده می شود و در تمامی سناریوها، رتبه دو تامین کننده برتر از نظر تاب آوری تغییری نمی کند. پس نتایج تا حد زیادی به وزن معیارها حساس نیست و نتایج قابل اتکا و پایدار است.

۴-۲) مقایسه سازگاری

به منظور مقایسه سازگاری روش پیشنهادی، نتایج روش پیشنهادی با روش های شناخته شده ادبیات موضوع مثل روش تاپسیس و کوپراس مقایسه می شود تا سازگاری روش پیشنهادی سنجیده شود. نتایج در جدول ۱۷ ارائه شده است.

جدول ۱۷: مقایسه سازگاری

رتبه بندی	روش کوپراس	رتبه بندی	روش تاپسیس	رتبه بندی	روش پیشنهادی	تامین کنندگان
1	22.81267	1	0.935453	1	0.742368	T1
2	21.24396	2	0.851249	2	0.699175	T2
8	7.939929	8	0.136588	8	0.497944	T3
7	9.491632	7	0.219893	7	0.524763	T4
5	10.17569	5	0.256744	5	0.560087	T5
3	17.95226	3	0.674072	3	0.64714	T6
6	9.959123	6	0.245017	6	0.528611	T7
4	15.69459	4	0.552859	4	0.631918	T8

همانگونه که مشاهده می شود نتایج روش های شناخته شده ادبیات موضوع، نتایج روش پیشنهادی را تایید می کند. این مهم سازگاری نتایج روش پیشنهادی را نشان می دهد.

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش به دلیل وابستگی زیاد میان سازمان های پروژه محور به تامین کنندگان خود، مساله زنجیره تامین پروژه محور مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور در ابتدا یک روش ترکیبی CoCoSo به همراه روش بهترین-بدترین توسعه یافته در

محیط فازی برای تعیین تاب‌آوری تامین‌کنندگان ارائه گردید. این روش با تعیین تاب‌آوری تامین‌کنندگان، به مدیر پروژه کمک می‌کند تا تاب‌آوری فعالیت‌ها تعیین شود و سپس با توجه به تاب‌آوری فعالیت‌ها، میزان ریسک هر فعالیت و به دنبال آن میزان آلفا کات هر فعالیت را تعیین کند. سپس میزان بحرانیت فعالیت‌ها و همچنین زمان اتمام آنها را با استفاده از روش مسیر بحرانی فازی تعیین کند. لازم به ذکر است برای جلوگیری از تولید اعداد منفی در روش مسیر بحرانی فازی، یک روش تفریق جدید در محیط فازی ارائه گردید. در نهایت روش پیشنهادی به مدیریت پروژه کمک می‌کند تا از تاخیر جلوگیری کند و همچنین پیشنهادات بسیار خوبی با توجه به شاخص‌های بحرانیت و تاب‌آوری هر فعالیت در اختیار مدیریت پروژه به منظور مدیریت اهداف، قرار می‌دهد. همچنین بخش تحلیل حساسیت نشان داد که روش پیشنهادی دارای نتایجی قابل اتکا و پایدار است. بخش مقایسه سازگاری نیز، نشان از سازگاری نتایج روش پیشنهادی داشت. برای مطالعات آتی، می‌توان تأثیر ریسک تامین‌کنندگان را به صورت همزمان بر هزینه، کیفیت و عملکرد کلی پروژه نیز بررسی کرد و مدل‌های چندهدفه برای مدیریت همزمان این شاخص‌ها توسعه داد. همچنین، در این پژوهش، ارزیابی تأمین‌کنندگان به صورت ایستا انجام شده است. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده، مدل‌های پویا طراحی شوند تا تغییرات عملکرد و تاب‌آوری تامین‌کنندگان در طول چرخه عمر پروژه نیز در تصمیم‌گیری لحاظ گردد.

سپاسگزاری

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

مراجع

- Alimohammadlou, M., & Khoshsepehr, Z. (2025). Green-resilient supplier selection: a hesitant fuzzy multi-criteria decision-making model: M. Alimohammadlou, Z. Khoshsepehr. *Environment, development and sustainability*, 27(9), 22107-22143.
- Alizadeh, S., & Saeidi, S. (2020). Fuzzy project scheduling with critical path including risk and resource constraints using linear programming. *International Journal of Advanced Intelligence Paradigms*, 16(1), 4-17.
- Arora, A., Swarnakar, V., Singh, M., & Gaur, R. (2026). Strategic prioritization of sustainable Lean-Green initiatives in the farming industry using an integrated BWM-Fuzzy TOPSIS framework. *The TQM Journal*, 1-27.
- Chanas, S., & Zieliński, P. (2001). Critical path analysis in the network with fuzzy activity times. *Fuzzy sets and systems*, 122(2), 195-204.
- Dorfeshan, Y., Jolai, F., & Mousavi, S. M. (2023). A multi-criteria decision-making model for analyzing a project-driven supply chain under interval type-2 fuzzy sets. *Applied Soft Computing*, 148, 110902.
- Ecer, F. (2024). A state-of-the-art review of the BWM method and future research agenda. *Technological and Economic Development of Economy*, 30(4), 1165-1204.
- Gan, J., Zhong, S., Liu, S., & Yang, D. (2019). Resilient Supplier Selection Based on Fuzzy BWM and GMo-RTOPSIS under Supply Chain Environment. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2019(1), 2456260.
- 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.

- Jafari, M., & Khanachah, S. N. (2024). Integrated knowledge management in the supply chain: assessment of knowledge adoption solutions through a comprehensive CoCoSo method under uncertainty. *Journal of Industrial Information Integration*, 39, 100581.
- Kampalasiri, C., Pitiruek, K., & Sureeyatanapas, P. (2026). An enhanced TOPSIS method for resilient supplier selection under data uncertainty. *International journal of management science and engineering management*, 21(1), 36-51.
- Moslem, S. (2025). Evaluating commuters' travel mode choice using the Z-number extension of Parsimonious Best Worst Method. *Applied Soft Computing*, 173, 112918.
- Pramanik, D., Mondal, S. C., & Haldar, A. (2020). Resilient supplier selection to mitigate uncertainty: Soft-computing approach. *Journal of Modelling in Management*, 15(4), 1339-1361.
- Rasoanaivo, R. G., Yazdani, M., Zaraté, P., & Fateh, A. (2024). Combined Compromise for Ideal Solution (CoCoFISo): a multi-criteria decision-making based on the CoCoSo method algorithm. *Expert Systems with Applications*, 251, 124079.
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57.
- Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126-130.
- Shishodia, A., Sharma, R., MR, P., & Mathiyazhagan, K. (2024). Analyzing drivers of sustainable project-driven supply chains: A fuzzy Delphi methodology–grey relational analysis approach. *Business Strategy and the Environment*, 33(3), 1626-1646.
- Shishodia, A., Verma, P., & Dixit, V. (2019). Supplier evaluation for resilient project driven supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 465-478.
- Shishodia, A., Verma, P., & Jain, K. (2022). Supplier resilience assessment in project-driven supply chains. *Production Planning & Control*, 33(9-10), 875-893.
- Taghizadeh, A., Karaminezhad, K., Fakhri, N., Moghaddami, B., & Charkhian, D. (2025). Assessing innovation strategies in the digital economy through artificial intelligence-based criteria using CoCoSo method. *Journal of Intelligent Decision Making and Granular Computing*, 1(1), 237-255.
- Tajally, A., Babakhani, B., Jeyzanibrahimzade, E., Parvin, M., & Irani, S. (2025). Sustainable supplier selection and order allocation problem considering the agility and resilience dimensions: a novel multi-stage data-driven decision-making approach. *International journal of systems science: Operations & logistics*, 12(1), 2458756.
- Trivedi, P., Shah, J., Čep, R., Abualigah, L., & Kalita, K. (2024). A hybrid best-worst method (BWM)–technique for order of preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) approach for prioritizing road safety improvements. *IEEe Access*.
- Wang, T. K., Zhang, Q., Chong, H. Y., & Wang, X. (2017). Integrated supplier selection framework in a resilient construction supply chain: An approach via analytic hierarchy process (AHP) and grey relational analysis (GRA). *Sustainability*, 9(2), 289.
- Yazdani, M., Zarate, P., Kazimieras Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2019). A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management decision*, 57(9), 2501-2519.
- Zammori, F. A., Braglia, M., & Frosolini, M. (2009). A fuzzy multi-criteria approach for critical path definition. *International Journal of Project Management*, 27(3), 278-291.