Journal of Industrial Management Studies
Vol. 20, No.67, Winter 2023; P 85-119
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2022.25775.1887

ATU PRESS

Original Research
Accepted: 13/07/2022
Received: 29/09/2021
eISSN: 2476-602X
ISSN: 2251/8029

Determining Critical Paths of Projects by an Integration of Developed MULTIMOORA and SWARA Methods under Consideration of Time, cost, Quality, Risk and Safety Criteria in Interval Type-2 Fuzzy Environment

Yahya Dorfeshan — MSc, Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

Seyed Meysam Mousavi * — Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

Behnam Vahdani — Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Abstract

Critical path method is one of the most widely used approaches in planning and project control. Time is considered a determinative criterion for the critical path. But it seems necessary to regard other criteria in addition to time. Besides time criterion, effective criteria such as quality, cost, risk and safety are considered in this paper. Then, the developed problem is solved as a multi-attribute decision making problem by a new extension of MULTIMOORA method. Moreover, type-2 fuzzy sets are utilized for considering uncertainties. Type-2 fuzzy sets are more flexible and capable than type-1 fuzzy sets in reflecting uncertainties. Eventually, SWARA method is developed for determining the weights of efficient criteria such as time, cost, quality, risk and safety under type-2 fuzzy environment. Finally, an applied example has been solved to illustrate the calculations and the ability of the proposed approach. Based on the example, it is clear that the longest path in terms of time criterion is not a critical path, and other influential criteria are involved in determining the critical path.

Keywords: Extension of MULTIMOORA method, interval type-2 fuzzy sets, fuzzy critical path, SWARA method.

* Corresponding Author: sm.mousavi@shahed.ac.ir

How to Cite: Dorfeshan, Y., Mousavi, SM., Vahdani, B. (2023). Determining Critical Paths of Projects by an Integration of Developed MULTIMOORA and SWARA Methods under Consideration of Time, cost, Quality, Risk and Safety Criteria in Interval Type-2 Fuzzy Environment, *Journal of Industrial Management Studies*, 20(67), 85-119.

مقاله پژوهشی

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۷/۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۲۲

ISSN: 2251/8029

eISSN: 2476-602X

فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی

سال بیستم، شماره ٦٧، زمستان ١٤٠١، ص ٨٥ تا ١١٩

jims.atu.ac.ir

DOI: 10.22054/jims.2022.25775.1887

تعیین مسیرهای بحرانی پروژه با یک رویکرد جدید مبتنی بر ترکیب روش‌های MULTIMOORA و SWARA توسعه‌یافته و با تمرکز بر معیارهای زمان، هزینه، کیفیت، ریسک و ایمنی در محیط فازی نوع-۲ بازه‌ای

یحیی درفشان کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

سید میثم موسوی * دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

بهنام وحدانی دانشیار، گروه مهندسی صنایع، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

چکیده

روش مسیر بحرانی یکی از پرکاربردترین روش‌ها در برنامه‌ریزی و کنترل پروژه است. در این روش زمان به‌عنوان معیار تعیین‌کننده مسیر بحرانی در نظر گرفته می‌شود؛ اما در نظر گرفتن معیارهای دیگری علاوه بر زمان، ضروری به نظر می‌رسد. به همین منظور در این مقاله، علاوه بر معیار زمان، معیارهای تأثیرگذاری همانند هزینه، ریسک، کیفیت و ایمنی در نظر گرفته می‌شود. این مسئله به‌صورت یک مسئله تصمیم‌گیری چند شاخصه فازی مدل می‌شود و با ارائه یک توسعه جدید از روش مولتی مورا (MULTIMOORA) حل می‌شود. روش مولتی مورا در محیط فازی بازه‌ای نوع-۲ توسعه داده می‌شود. از مجموعه‌های فازی نوع-۲ نیز برای در نظر گرفتن عدم قطعیت استفاده می‌گردد. مجموعه‌های فازی نوع-۲ انعطاف‌پذیری و توانایی بیشتری در انعکاس عدم‌قطعیت‌ها نسبت به مجموعه‌های فازی نوع-۱ دارند. درنهایت، روش SWARA در محیط فازی نوع-۲ بازه‌ای جهت وزن‌دهی به معیارهای تأثیرگذار زمان، هزینه، کیفیت، ریسک و ایمنی توسعه داده می‌شود. در انتها یک مثال کاربردی برای نشان دادن محاسبات و همچنین توانایی رویکرد پیشنهادی حل می‌شود. بر اساس مثال ارائه‌شده، به‌وضوح دیده می‌شود که طولانی‌ترین مسیر ازنظر معیار زمانی، مسیر بحرانی نیست و معیارهای تأثیرگذار دیگر نیز در تعیین مسیر بحرانی دخیل هستند.

کلیدواژه‌ها: توسعه روش مولتی مورا، مجموعه‌های فازی نوع-۲ بازه‌ای، مسیر بحرانی فازی، روش SWARA.

* نویسنده مسئول: sm.mousavi@shahed.ac.ir

مقدمه

امروزه، در محیط کسب‌وکار رقابتی، مدیریت پروژه، برنامه‌ریزی، زمان‌بندی و کنترل پروژه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. یکی از روش‌های بسیار پرکاربرد و رایج در زمینه برنامه‌ریزی و کنترل پروژه بدون شک روش مسیر بحرانی (CPM) می‌باشد. این روش به مدیران پروژه کمک می‌کند زمان اتمام پروژه و همچنین فعالیت‌های بحرانی پروژه را بشناسند و با متمرکز کردن منابع در فعالیت‌های بحرانی از زمان اتمام پروژه بکاهند (مهلاوات و گوپتا، ۲۰۱۶). روش مسیر بحرانی در اوایل دهه ۶۰ به‌منظور شناسایی زمان اتمام پروژه‌ها به وجود آمد (کیلی، ۱۹۶۱).

در روش CPM، زمان فعالیت‌ها از پیش تعیین می‌شوند، اما در دنیای واقعی بسیاری از پروژه‌ها و فعالیت‌ها برای اولین بار اجرا می‌شوند و عدم قطعیت‌های فراوانی دارند؛ پس به‌دست آوردن یک تخمین دقیق در مورد زمان و منابع مصرفی فعالیت‌ها کار سختی است. در چنین وضعیتی می‌توان از مفاهیم تئوری مجموعه‌های فازی استفاده کرد (نگویتا و همکاران، ۲۰۰۷).

اما همیشه در نظر گرفتن تک معیار (فقط معیار زمان)، مثمرثمر نخواهد بود و پارامترهای تأثیرگذار دیگری همچون ریسک تأثیرگذار خواهد بود. به‌طور مثال مسیری که دارای ریسک زیادی است اما مسیر بحرانی نیست؛ ازلحاظ زمانی، ممکن است در آینده به‌خاطر ریسک زیاد تبدیل به مسیر بحرانی شود. به همین منظور در این تحقیق معیارهای تأثیرگذار دیگری علاوه بر زمان بررسی می‌شود و در تعیین مسیر بحرانی در نظر گرفته خواهد شد.

پیشینه پژوهش

در گذشته محققان زیادی بر روی تحلیل شبکه پروژه مطالعه کرده‌اند و از تئوری مجموعه‌های فازی برای در نظر گرفتن عدم‌قطعیت بهره برده‌اند. چن و هوانگ (۲۰۰۷) یک روش برای اندازه‌گیری بحرانیت در شبکه پروژه با زمان فعالیت فازی ارائه کرده‌اند. پور و همکاران (۲۰۱۲) یک رویکرد برای پیدا کردن مسیر بحرانی با در نظر گرفتن زمان

فعالیت‌ها به‌عنوان اعداد فازی مثلثی پیشنهاد داده است. کئور و کمار (۲۰۱۴) یک روش برای پیدا کردن جواب بهینه مسئله مسیر بحرانی تمام فازی با استفاده از اعداد فازی L-R بیان کرده‌اند. همچنین مدهوری و همکاران (۲۰۱۲) یک روش حل مسئله مسیر بحرانی با استفاده از اعداد فازی L-L به‌عنوان زمان فعالیت‌ها ارائه کرده‌اند. چاناس و زیلینسکی (۲۰۰۱) تحلیل مسیر بحرانی در شبکه با زمان فعالیت‌ها که به‌صورت اعداد فازی L-R بیان شده است؛ ارائه کرده‌اند. چن (۲۰۰۷) مسیر بحرانی در شبکه پروژه را با استفاده از اعداد فازی L-L و L-R به‌عنوان زمان فعالیت‌ها به‌دست آورده است. سامایان و سنگوتاویان (۲۰۱۷) مسیر بحرانی را در محیط فازی با استفاده از یک روش رتبه‌بندی جدید به دست آوردند و زمان فعالیت‌ها را به‌صورت فازی در نظر گرفتند. لئو و هو (۲۰۲۱) یک روش پارامتریک فازی برای تعیین مسیر بحرانی با دید پویا ارائه کردند و در تحقیقشان زمان فعالیت‌ها را فازی در نظر گرفتند.

اما در همه تحقیقات و پژوهش‌های بالا فقط معیار زمان در نظر گرفته شده است، اما معیارهای دیگری علاوه‌بر زمان می‌تواند در تعیین مسیر بحرانی تأثیرگذار باشد. لیانگ و همکاران (۲۰۰۴) معیارهای زمان و هزینه را در تحلیل و به‌دست آوردن مسیر بحرانی استفاده کرده‌اند. زاموری و همکاران (۲۰۰۹) علاوه‌بر زمان، معیارهای هزینه، منابع مشترک، ریسک‌های خارجی و ریسک طراحی مجدد را در تعیین مسیر بحرانی در نظر گرفته‌اند و با درنظر گرفتن این معیارها به‌صورت مستقل این مسئله را تبدیل به مسئله تصمیم‌گیری چند شاخصه کرده‌اند و از روش تاپسیس مسئله را حل کرده و بحرانیت مسیرهای مختلف را تعیین نموده‌اند. امیری و گلعذاری (۲۰۱۱)، معیارهای زمان، هزینه، کیفیت و ریسک را در تعیین مسیر بحرانی در نظر گرفته و مسئله را به‌عنوان یک مسئله چند معیاره فازی با در نظر گرفتن معیارهای زمان و هزینه به‌صورت عددی و معیارهای کیفیت و ریسک به‌صورت متغیرهای زبانی با استفاده از اعداد فازی مثلثی حل کرده‌اند.

کریستوبال (۲۰۱۲) معیارهای زمان، هزینه، کیفیت و ایمنی را در نظر گرفته و با توجه به اینکه در بعضی صنایع مثل هوافضا و هواپیمایی ایمنی از اهمیت بالایی برخوردار است،

ایمنی را به‌عنوان یک معیار تأثیرگذار در نظر گرفته است؛ در این تحقیق از روش PROMETHE استفاده شده است. مهلاوات و گوپتا (۲۰۱۶) یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی با در نظر گرفتن معیارهای زمان، هزینه، کیفیت و ریسک و به‌صورت تصمیم‌گیری گروهی با استفاده از اعداد فازی مثلثی ارائه نموده‌اند. در سال‌های اخیر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در مدیریت پروژه با موفقیت اعمال شده‌اند (فضلی و همکاران، ۲۰۲۰a؛ فضلی و همکاران، ۲۰۲۰b؛ گل پیرا و همکاران، ۲۰۲۱).

یکی از روش‌های معروف ادبیات موضوع روش مالتی مورا است. روش تصمیم‌گیری چند شاخصه مولتی مورا (براورس و زاودسکاس، ۲۰۱۰) یک روش جدید است که بر اساس روش مورا (براورس و زاودسکاس، ۲۰۰۶) ارائه شده است. روش مورا دارای دو قسمت سیستم نسبت و نقطه مرجع می‌باشد. براورس و زاوادسکاس (۲۰۱۰) روش مولتی مورا را به‌عنوان توسعه‌ای از روش مورا با اضافه کردن قسمت سوم با نام فرم کامل ضربی پیشنهاد داده‌اند. بالزنتیس و همکاران (۲۰۱۲) روش مولتی مورای فازی را برای انتخاب افراد در محیط تصمیم‌گیری گروهی توسعه داده‌اند. همچنین بالزنتیس و زنگ (۲۰۱۳) روش مورا را با استفاده از اعداد فازی با ارزش بازه‌ای برای تصمیم‌گیری چند شاخصه مربوط به ارزیابی عدم قطعیت بسط و توسعه داده‌اند.

توسعه‌هایی از روش مورا و مولتی مورا به‌مرورزمان پیشنهاد شده‌اند؛ براورس و همکاران (۲۰۱۱) برای اولین بار توسعه فازی روش مورا را ارائه کردند که در آن از اعداد فازی مثلثی استفاده شده بود. کارانده و چاکرابورتی (۲۰۱۲) یک توسعه فازی از قسمت سیستم نسبت از روش مورا با استفاده از اعداد فازی مثلثی ارائه نموده‌اند. استانونجکیج و همکاران (۲۰۱۲) نیز یک توسعه از قسمت سیستم نسبت از روش مورا با استفاده از اعداد فازی با ارزش بازه‌ای ارائه کرده‌اند. هم‌چنین استانوجکیج (۲۰۱۶) یک توسعه از قسمت سیستم نسبت از روش مورا با تصمیم‌گیری گروهی بر اساس اعداد فازی با ارزش بازه‌ای مثلثی ارائه کرده است. رانی و میشرا (۲۰۲۱) یک روش تصمیم‌گیری بر پایه مالتی مورا برای انتخاب ایستگاه شارژ ماشین‌های الکتریکی پیشنهاد دادند. لئو و همکاران (۲۰۲۱)

برای ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان ازنظر پایداری، از روش مالتی مورا استفاده کردند. عدم قطعیت به‌عنوان عضو طبیعی تصمیم‌گیری همیشه مطرح بوده است. برای مقابله با عدم قطعیت می‌توان از اعداد فازی استفاده کرد.

بر اساس مطالعات انجام‌شده روش‌های مختلفی از نظریه مجموعه‌های فازی استفاده کرده‌اند (وحدانی و همکاران،b ۲۰۱۴؛ گیتی نورد و همکاران،a ۲۰۱۶؛ محققی و همکاران، ۲۰۱۶)؛ اما اعداد فازی نوع-۱ مشکلاتی نیز دارند (موسوی و همکاران، ۲۰۱۶؛ وحدانی و همکاران، ۲۰۱۵). یکی از این مشکلات زمانی است به‌وجود می‌آید که تصمیم‌گیرنده باید عددی دقیق در بازه‌ی [۰ و ۱]برای تعیین درجه عضویت استفاده کند (وحدانی و همکاران،a۲۰۱۴؛ محققی و همکاران، ۲۰۱۵). درواقع اعداد فازی نوع-۱ توانایی پشتیبانی کامل از عدم قطعیت موجود در متغیرهای زبانی ارائه‌شده توسط خبرگان به‌صورت عددی ندارند (بزدک، ۲۰۱۳؛ سلیکیولماز و تورکسن، ۲۰۰۹؛ حسینی و همکاران، ۲۰۲۱). بعضی از محققان بیان کردند که مجموعه‌های فازی معمولی قادر به نشان دادن برخی عدم قطعیت‌های دنیای واقعی از طریق توابع عضویتشان نیستند (آراس و کانیاک، ۲۰۱۴؛ کائو و همکاران، ۲۰۱۱؛ موسوی و وحدانی، ۲۰۱۳؛ گیتی نورد و همکاران،b ۲۰۱۶؛ دویسی و همکاران، ۲۰۲۰). زاده (۱۹۷۴) مجموعه‌های فازی نوع-۲ را در برابر این انتقادها پیشنهاد داد. مجموعه‌های فازی نوع-۲ عدم قطعیت را بهتر از مجموعه‌های فازی نوع-۱ نشان می‌دهند. مجموعه‌های فازی نوع-۲ درجه آزادی بیشتری برای نشان دادن عدم قطعیت و فازی سازی در دنیای واقعی مهیا می‌کنند و انعطاف‌پذیری بیشتری را فراهم می‌کنند (چن و لی، ۲۰۱۰؛ چیائو، ۲۰۲۱؛ درفشان و همکاران، ۲۰۱۸). در این پژوهش از اعداد فازی نوع-۲ برای در نظر گرفتن عدم قطعیت استفاده می‌شود و روش مالتی مورای توسعه‌یافته در محیط فازی نوع-۲ بسط داده می‌شود. در روش‌های تصمیم‌گیری همچنین نیاز است که وزن معیارها تعیین شود.

یکی از روش‌های جدید وزن‌دهی به معیارها روش SWARA می‌باشد. این روش اولین بار توسط کرسولاین (۲۰۱۱) ارائه شد. از مزایای این روش نسبت به روش AHP،

تعداد بسیار کمتر مقایسات زوجی است. همچنین این روش نیاز به مقیاس‌های از پیش تعیین‌شده ندارد و کارشناسان و خبرگان آزادی بیشتری نسبت به روش AHP در بیان نظرات و اولویت‌های خود دارند (استانوجکیج، ۲۰۱۵). در سال‌های اخیر این روش در حال گسترش بوده و در موارد متعددی مورداستفاده قرار گرفته است (کاراباسویچ و همکاران، ۲۰۱۵؛ زولفانی و همکاران، ۲۰۱۵). کائو و همکاران (۲۰۱۹) از روش توسعه‌یافته سوارا برای انتخاب پیمانکاران مناسب استفاده کردند. اولوتاس و همکاران (۲۰۲۰) از روش ترکیبی سوارا در محیط فازی برای انتخاب مکان مناسب مرکز تجهیزات لجستیکی بهره کردند. در این پژوهش، به‌منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های پروژه‌های دنیای واقعی این روش در محیط فازی نوع-۲ بازه‌ای توسعه داده می‌شود.

درمجموع، با توجه به اهمیت یافتن معیارهای دیگری علاوه بر زمان و با توجه به دانش‌های مدیریت پروژه، در گذر زمان نیاز به در نظر گرفتن معیارهای دیگر برای تعیین مسیر بحرانی دیده شد (مهلاوات و گوپتا، ۲۰۱۶). به همین منظور در این تحقیق، مجموعه‌ای کامل از معیارها از ادبیات موضوع استخراج شد. این معیارها شامل زمان، هزینه، کیفیت، ریسک و ایمنی هستند. در نظر گرفتن این معیارها به بهبود برنامه‌ریزی و نزدیک‌تر شدن برنامه‌ریزی به دنیای واقعی منجر خواهد شد. به‌طور مثال شبکه پروژه‌ای را در نظر بگیرید که مسیر بحرانی دارای بیشترین زمان است اما مسیر دیگر وجود دارد که نزدیک به بحرانی است و ریسک بالایی دارد، این مسیر به‌احتمال‌زیاد در طول پروژه تبدیل به مسیر بحرانی خواهد و این موضوع اهمیت در نظر گرفتن معیارهای دیگر علاوه بر زمان را آشکار می‌سازد. همچنین با توجه به اینکه معیارهای گفته‌شده و همچنین زمان فعالیت‌ها قطعی نیستند و با توجه به ماهیت یکتایی هر پروژه، عدم قطعیت‌های زیادی در تعیین مسیر بحرانی پروژه وجود خواهد داشت. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه نظرات خبرگان در فرآیند تصمیم‌گیری مدنظر قرار می‌گیرد، نظرات آن‌ها و به‌خصوص متغیرهای زبانی مورداستفاده آن‌ها دارای عدم قطعیت است؛ چراکه متغیرهای زبانی از یک کارشناس به کارشناس دیگر دارای معانی متفاوت است و پدیده‌ای که در ذات خود عدم قطعیت دارد

با پدیده اعداد قطعی یا فازی کلاسیک که دارای درجه عضویت قطعی هستند؛ قابل مدل‌سازی نیست. به همین منظور در این تحقیق از مجموعه‌های فازی نوع-۲ استفاده شده است. از طرفی با توجه به اینکه مجموعه‌های فازی نوع-۲ دارای دقت بسیار زیادی هستند اما محاسبات زیادی دارند؛ به همین منظور برای انتخاب مسیر بحرانی در این تحقیق، از روش‌های تصمیم‌گیری ساده همانند مولتی مورا و سوارا به ترتیب برای رتبه‌بندی مسیرها و وزن‌دهی به معیارها استفاده شده است. قسمت نقطه مرجع از روش مولتی مورا که فقط میزان فاصله از ایده‌آل مثبت را در نظر می‌گرفت، مفهوم فاصله از ایده‌آل منفی نیز به آن اضافه می‌شود. درنهایت، از روش توسعه‌یافته SWARA برای وزن‌دهی به معیارهای تأثیرگذار زمان، هزینه، کیفیت، ریسک و ایمنی با توجه به نظرات خبرگان و کارشناسان استفاده می‌شود. روش پیشنهادی در این مقاله برای تعیین مسیر بحرانی در پروژه‌های مختلف کاربرد خواهد داشت و سعی در نزدیک‌تر کردن فاز برنامه‌ریزی به اجرا در پروژه‌ها دارد تا به این صورت، احتمال موفقیت پروژه را افزایش دهد.

برای بیان بهتر نوآوری‌ها به‌صورت تعریف می‌شوند:

- توسعه روش تصمیم‌گیری مولتی مورا در محیط عدم قطعیت فازی نوع-۲
- توسعه محاسباتی قسمت نقطه مرجع از روش مولتی مورای سنتی
- در نظر گرفتن مجموعه معیارهای تأثیرگذار کیفیت، ایمنی، زمان، هزینه و ریسک
- توسعه روش وزن‌دهی SWARA در محیط فازی نوع-۲ بازه‌ای

در قسمت بعد مجموعه‌های فازی نوع-۲ معرفی می‌شوند و پس‌ازآن در قسمت ۳ روش مولتی مورای قطعی بیان می‌شود. در قسمت ۴ توسعه روش مولتی مورا در محیط فازی نوع-۲ بازه‌ای بیان می‌شود و درنهایت در قسمت ۵ یک مثال کاربردی برای بیان بهتر مسئله و حل آن ارائه می‌شود.

مجموعه‌های فازی نوع-۲

مجموعه‌های فازی نوع-۲ به‌وسیله زاده به‌عنوان توسعه‌ی مجموعه‌های فازی کلاسیک (نوع-۱) ارائه‌شده است (زاده، ۱۹۷۴). زمانی که تعریف یک تابع عضویت دقیق برای مجموعه فازی سخت باشد مجموعه‌های فازی نوع-۲ انعطاف‌پذیری بیشتری برای تعریف تابع عضویت فراهم می‌کنند (کارنیک و مندل، ۲۰۰۱). درواقع متغیرهای زبانی از یک کارشناس به کارشناس دیگر دارای معانی متفاوتی است و چیزی که به‌خودی‌خود دارای عدم قطعیت است؛ قابل مدل‌سازی با اعداد فازی کلاسیک که دارای درجه عضویت قطعی هستند؛ نخواهد بود. به همین منظور در این مقاله از مجموعه‌های فازی نوع-۲ استفاده می‌شود. مجموعه فازی نوع ۲، $\tilde{\tilde{A}}$ در مجموعه جهانی X با تابع عضویت نوع ۲، $\mu_{\tilde{\tilde{A}}}$ به‌صورت زیر نشان داده می‌شود (مندل و همکاران، ۲۰۰۶):

$$\tilde{\tilde{A}} = \left\{ ((x,u), \mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x,u)) \middle| \begin{array}{l} \forall x \in X, \forall u \in j_X \subseteq [0,1], \\ 0 \le \mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x,u) \le 1 \end{array} \right\} \quad (1)$$

همچنین نمایش دیگر مجموعه فازی نوع ۲ $\tilde{\tilde{A}}$ به‌صورت زیر است (مندل و همکاران، ۲۰۰۷):

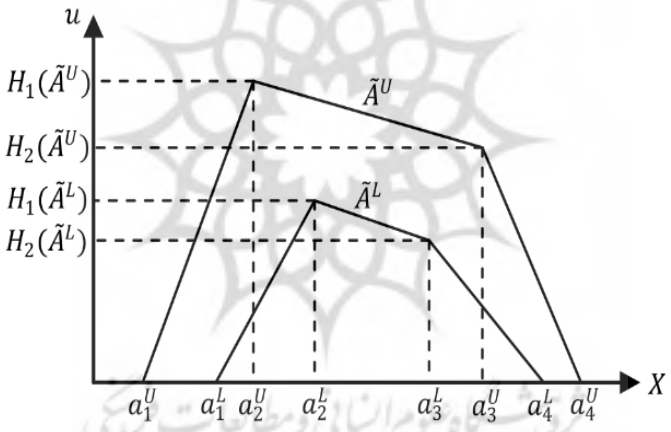
$$\tilde{\tilde{A}} = \int_{x \in X} \int_{u \in j_X} \mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x,u) / (x,u) \quad (2)$$

که $J_X \subseteq [0,1]$ و $\iint$ اجتماع ناحیه‌های قابل‌قبول را نشان می‌دهد. اگر همه $\mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x,u) = 1$، سپس $\tilde{\tilde{A}}$ مجموعه فازی نوع-۲ بازه‌ای نامیده می‌شود. مجموعه فازی نوع-۲ بازه‌ای $\tilde{\tilde{A}}$ به‌عنوان یک نوع خاص از مجموعه فازی نوع-۲ در نظر گرفته می‌شود که به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود.

$$\tilde{\tilde{A}} = \int_{x \in X} \int_{u \in j_X} 1 / (x,u) \quad (3)$$

که $J_X \subseteq [۰,۱]$ می‌باشد. به دلیل محاسبات پیچیده مجموعه‌های فازی نوع-۲، از نوع ساده‌شده آن تحت عنوان مجموعه‌های فازی نوع-۲ بازه‌ای در فرآیندهای تصمیم‌گیری استفاده می‌شود.

حد بالا و پایین یک مجموعه فازی نوع-۲، دو مجموعه فازی نوع-۱ هستند (آراس و کاینـاک، ۲۰۱۴). در این مقاله از اعداد فازی ذوزنقه‌ای نوع-۲ بازه‌ای که در ادبیات موضوع به‌وفور اعمال شده است، در یک مسئله تصمیم‌گیری گروهی چند شاخصه فازی استفاده می‌شود. شکل ۱ یک مجموعه فازی نوع-۲ بازه‌ای ذوزنقه‌ای را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، حد بالا و پایین یک عدد فازی نوع-۲ بازه‌ای به‌صورت اعداد فازی کلاسیک هستند.



شکل ۱. یک عدد فازی نوع-۲ بازه‌ای ذوزنقه‌ای

فرض کنید که $\tilde{\tilde{A}}_i$ یک عدد فازی نوع-۲ بازه‌ای را نشان می‌دهد:

$$\tilde{\tilde{A}}_i = (\tilde{A}_i^U, \tilde{A}_i^L) = ((a_{i۱}^U, a_{i۲}^U, a_{i۳}^U, a_{i۴}^U; H_۱(\tilde{A}_i^U), H_۲(\tilde{A}_i^U)), (a_{i۱}^L, a_{i۲}^L, a_{i۳}^L, a_{i۴}^L; H_۱(\tilde{A}_i^L), H_۲(\tilde{A}_i^L))) \quad (٤)$$

که $\tilde{A}_i^L$ و $\tilde{A}_i^U$ مجموعه‌های فازی نوع-۱ هستند. $H_j(\tilde{A}_i^U)$ اندازه عضویت $a_{i(j+۱)}^u$ در تابع عضویت بازه‌ای ذوزنقه‌ای حد بالا $\tilde{A}_i^U$ را نشان می‌دهد که $۱ \le j \le ۲$ می‌باشد و

$H_j(\tilde{A}_i^L)$ اندازه عضویت $a_{i(j+1)}^L$ در تابع عضویت بازه‌ای ذوزنقه‌ای حد پایین $\tilde{A}_i^L$ که $1 \le j \le 2$ را نشان می‌دهد؛ همچنین روابط زیر نیز برقرار است:

$$H_1(\tilde{A}_i^L) \in [0,1], H_2(\tilde{A}_i^L) \in [0,1], \\ H_1(\tilde{A}_i^U) \in [0,1], H_2(\tilde{A}_i^U) \in [0,1], 1 \le i \le n \quad (5)$$

اگر مجموعه‌های فازی نوع-۲ $\tilde{\tilde{A}}_1$ و $\tilde{\tilde{A}}_2$ به‌صورت زیر تعریف شوند (مندل و همکاران، ۲۰۰۶):

$$\tilde{\tilde{A}}_1 = (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = ((a_{11}^U, a_{12}^U, a_{13}^U, a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), \\ H_2(\tilde{A}_1^U)), (a_{11}^L, a_{12}^L, a_{13}^L, a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L))) \quad (6)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_2 = (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = ((a_{21}^U, a_{22}^U, a_{23}^U, a_{24}^U; H_1(\tilde{A}_2^U), \\ H_2(\tilde{A}_2^U)), (a_{21}^L, a_{22}^L, a_{23}^L, a_{24}^L; H_1(\tilde{A}_2^L), H_2(\tilde{A}_2^L))) \quad (7)$$

آنگاه چهار عمل اصلی بر روی این اعداد به‌صورت زیر است (چن ولی، ۲۰۱۰):

عمل جمع:

$$\tilde{\tilde{A}}_1 \oplus \tilde{\tilde{A}}_2 = (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) + (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = ((a_{11}^U + a_{21}^U, a_{12}^U + a_{22}^U, a_{13}^U + a_{23}^U, \\ a_{14}^U + a_{24}^U; \min(H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U)), \min(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U))), \\ a_{11}^L + a_{21}^L, a_{12}^L + a_{22}^L, a_{13}^L + a_{23}^L, a_{14}^L + a_{24}^L; \min(H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L)), \\ \min(H_2(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_2^L))). \quad (8)$$

عمل تفریق:

$$\tilde{\tilde{A}}_1 \Theta \tilde{\tilde{A}}_2 = (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) - (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = ((a_{11}^U - a_{24}^U, a_{12}^U \\ - a_{23}^U, a_{13}^U - a_{22}^U, a_{14}^U + a_{21}^U; \min(H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U)), \\ \min(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U))), a_{11}^L - a_{24}^L, a_{12}^L - a_{23}^L, a_{13}^L - \\ a_{22}^L, a_{14}^L - a_{21}^L; \min(H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L)), \min(H_2(\tilde{A}_1^L) \\ , H_2(\tilde{A}_2^L))). \quad (9)$$

عمل ضرب:

$$\tilde{\tilde{A}}_1 \otimes \tilde{\tilde{A}}_2 = (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) \times (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = ((a_{11}^U \times a_{21}^U, a_{12}^U \times a_{22}^U, a_{13}^U \times a_{23}^U, a_{14}^U \times a_{24}^U; \min(H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U)), \min(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U))), a_{11}^L \times a_{21}^L, a_{12}^L \times a_{22}^L, a_{13}^L \times a_{23}^L, a_{14}^L \times a_{24}^L; \min(H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L)), \min(H_2(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_2^L)))). \quad (۱۰)$$

عمل تقسیم:

$$\frac{\tilde{\tilde{A}}_1}{\tilde{\tilde{A}}_2} \cong ((\frac{a_{11}^U}{a_{24}^U}, \frac{a_{12}^U}{a_{23}^U}, \frac{a_{13}^U}{a_{22}^U}, \frac{a_{14}^U}{a_{21}^U}; \min(H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U)), \min(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U))), (\frac{a_{11}^L}{a_{24}^L}, \frac{a_{12}^L}{a_{23}^L}, \frac{a_{13}^L}{a_{22}^L}, \frac{a_{14}^L}{a_{21}^L}; \min(H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L)), \min(H_2(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_2^L)))). \quad (۱۱)$$

همچنین اگر K یک مقدار قطعی و ثابت باشد آنگاه عملیات ضرب و تقسیم آن در عدد فازی نوع ۲ به‌صورت زیر است:

$$K\tilde{\tilde{A}}_1 = (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = ((k \times a_{11}^U, k \times a_{12}^U, k \times a_{13}^U, k \times a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), (k \times a_{11}^L, k \times a_{12}^L, k \times a_{13}^L, k \times a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L))) \quad (۱۲)$$

$$\frac{\tilde{\tilde{A}}_1}{k} = (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = ((\frac{1}{k} \times a_{11}^U, \frac{1}{k} \times a_{12}^U, \frac{1}{k} \times a_{13}^U, \frac{1}{k} \times a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), (\frac{1}{k} \times a_{11}^L, \frac{1}{k} \times a_{12}^L, \frac{1}{k} \times a_{13}^L, \frac{1}{k} \times a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L))) \quad (۱۳)$$

فاصله دو عدد فازی نوع-۲ بازه‌ای نیز از رابطه زیر به‌دست می‌آید (ژنگ و ژنگ، ۲۰۱۳):

$$d(\tilde{\tilde{A}}_1,\tilde{\tilde{A}}_2)=\sqrt{\sum_{i=1}^{4}(a_{i1}^{U}-a_{2i}^{U})^2+\sum_{i=1}^{4}(a_{i1}^{L}-a_{2i}^{L})^2+\sum_{i=1}^{2}(H_i(\tilde{A}_1^{U})-H_i(\tilde{A}_2^{U})^2+\sum_{i=1}^{2}(H_i(\tilde{A}_1^{L})-H_i(\tilde{A}_2^{L})^2} \quad (14)$$

مسئله

در این پژوهش مسئله موردبررسی، تعیین مسیر بحرانی با در نظر گرفتن معیارهای تأثیرگذار دیگر علاوه بر معیار زمان است. به همین منظور و برای در نظر گرفتن معیارهای زمان، هزینه، کیفیت، ریسک و ایمنی در تعیین مسیر بحرانی، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود. همچنین برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های دنیای واقعی و همچنین نظرات خبرگان از مجموعه‌های فازی نوع-۲ استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که از روش مولتی مورا برای رتبه‌بندی مسیرهای بحرانی و از روش SWARA برای تعیین وزن معیارهای تأثیرگذار در تعیین مسیر بحرانی استفاده می‌شود که هر دو روش در محیط فازی نوع-۲ بسط و توسعه داده شده‌اند.

۱. روش سنتی مولتی مورا

روش مولتی مورا با استفاده از ماتریس تصمیم‌گیری X که هر درایه آن مقدار i امین آلترناتیو بر روی j امین معیار را بیان می‌کند، تعریف می‌شود. این روش شامل سه قسمت می‌باشد، قسمت اول سیستم نسبت (*system ratio*) و قسمت دوم رویکرد نقطه مرجع (*reference point*) و قسمت سوم فرم کامل ضربی (*Full multiplicative form*) می‌باشد (لئو و همکاران، ۲۰۱۴). دو قسمت اول آن تحت عنوان روش مورا (*MOORA*) ارائه شده است (براورس و زاوادسکاس، ۲۰۰۶).

۲. رویکرد سیستم نسبت (System Ratio)

پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری اعداد با استفاده از فرمول زیر بی مقیاس می‌شوند:

$$x_{ij}^{*} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} X_{ij}^{2}} \qquad (۱۵)$$

که x_{ij}^{*} مقدار نرمال شده i امین آلترناتیو بر روی j امین معیار را نشان می‌دهد. سپس معیارهای مثبت یعنی معیارهایی که ماکزیمم می‌شوند باهم جمع می‌شوند و معیارهای منفی یعنی معیارهایی که مینیمم می‌شوند نیز باهم جمع شده، از جمع معیارهای مثبت به‌صورت زیر کم می‌شوند (لئو و همکاران، ۲۰۱۴):

$$y_{i}^{*} = \sum_{j=1}^{g} X_{ij}^{*} - \sum_{i=g+1}^{n} X_{ij}^{*} \qquad (۱۶)$$

سپس با توجه به اعداد به‌دست‌آمده بالاترین رتبه به بزرگ‌ترین عدد تخصیص می‌یابد.

۳. رویکرد نقطه مرجع (*Reference Point*)

در این قسمت، از ماتریس نرمال شده‌ی قسمت سیستم نسبت استفاده می‌شود؛ سپس در مورد معیارهای مثبت (ماکزیمم سازی) $r_j = \max_i x_{ij}^{*}$ تعریف و برای معیارهای منفی نیز $r_j = \min_i x_{ij}^{*}$ تعریف می‌شود. سپس هر درایه از ماتریس تصمیم‌گیری دوباره محاسبه می‌شود و رتبه‌بندی نهایی با توجه به میزان انحراف از نقاط مرجع تعیین‌شده و فاصله مینیم-ماکزیمم چبیشف به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد (لئو و همکاران، ۲۰۱۴):

$$\min_i \left\{ \max_j \left| r_j - x_{ij}^{*} \right| \right\} \qquad (۱۷)$$

٤. رویکرد فرم کامل ضربی (*Full Multiplicative Form*)

براورس و زاوادسکاس [۱۴]روش مورا را با استفاده از این قسمت به‌روز کردند که در آن معیارهای مثبت (ماکزیمم سازی) در هم ضرب می‌شوند و بر ضرب معیارهای منفی (مینیمم سازی) به‌صورت زیر تقسیم می‌شوند (لئو و همکاران، ۲۰۱۴):

$$U_i = \frac{A_i}{B_i} \qquad (۱۸)$$

که $A_i = \prod_{j=۱}^{g} x_{ij}$ نشان‌دهنده ضرب معیارهای مثبت و $g = ۱,۲,۳,...,n$ تعداد معیارهای مثبت است و $B_i = \prod_{j=g+۱}^{n} x_{ij}$ ضرب معیارهای منفی و n-g تعداد معیارهای منفی می‌باشد.

٤-۱. روش جدید توسعه‌یافته مولتی مورا در محیط فازی نوع-۲ بازه‌ای

فرض کنید که مجموعه X آلترناتیو $X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$ و مجموعه F شاخصه معیار $F = \{f_1, f_2, ..., f_m\}$ و همچنین K تصمیم‌گیرنده وجود دارد $D_۱, D_۲, ..., D_K$ که شاخصه‌ها به دو قسمت شاخصه‌های مثبت و منفی تقسیم می‌شوند و این شاخصه‌ها باید مستقل از یکدیگر باشند. آنگاه ماتریس تصمیم‌گیری به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Y_P = (\tilde{\tilde{f}}_{ij}^{\,p})_{m\times n} = \begin{pmatrix} \tilde{\tilde{f}}_{۱۱}^{\,p} & \cdots & \tilde{\tilde{f}}_{۱n}^{\,p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\tilde{f}}_{m۱}^{\,p} & \cdots & \tilde{\tilde{f}}_{mn}^{\,p} \end{pmatrix} \qquad (۱۹)$$

$$\bar{Y} = (\tilde{\tilde{f}}_{ij})_{m\times n}$$

که $\tilde{\tilde{f}}_{ij} = (\frac{\tilde{\tilde{f}}_{ij}^{۱} \oplus \tilde{\tilde{f}}_{ij}^{۲} \oplus ... \oplus \tilde{\tilde{f}}_{ij}^{k}}{k})$ یک مجموعه فازی نوع-۲ بازه‌ای است و $۱ \le i \le m, ۱ \le j \le n, ۱ \le p \le k$ و k تعداد تصمیم‌گیرندگان می‌باشد. توجه داشته باشید که در این روش همه مسیرهای احتمالی پروژه به‌عنوان آلترناتیوها در نظر گرفته می‌شوند و با توجه به معیارهای تأثیرگذار در تعیین مسیر بحرانی همچون: زمان، هزینه، کیفیت، ریسک و ایمنی، ماتریس تصمیم‌گیری تشکیل می‌شود. روش مولتی مورا همان‌طور که گفته دارای سه قسمت می‌باشد.

٤-۲. روش *SWARA* برای وزن‌دهی به معیارهای تأثیرگذار در تعیین مسیر بحرانی

روش *SWARA* اولین بار توسط کرسولاین (۲۰۱۰) ارائه شد. در این روش، نقش اساسی را کارشناسان خبرگان برعهده دارند. درواقع هرکدام از کارشناسان اهمیت هر معیار را تعیین می‌کنند. هر کارشناس بر اساس تجربه و دانش خود معیارها را از مهم‌ترین تا کم‌اهمیت‌ترین معیار مرتب می‌کند. این روش برای هماهنگی و جمع‌آوری داده از خبرگان و کارشناسان بسیار مفید است. روش *SWARA* در مقایسه با *AHP* از تعداد بسیار کمتری مقایسات زوجی استفاده می‌کند و درنتیجه زمان حل را کاهش می‌دهد (علیمردانی و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین این روش در مقایسه با روش *AHP* به مقیاس‌های از پیش تعریف‌شده ۹، ۷ یا ۵ تایی ندارد و کارشناسان آزادی بیشتری در بیان نظرات خود دارند (استانوجکیج و همکاران، ۲۰۱۵). با این اوصاف، در این مقاله از روش *SWARA* برای وزن‌دهی به معیارهای تأثیرگذار در تعیین مسیر بحرانی همچون: زمان، هزینه، کیفیت، ریسک و ایمنی استفاده می‌شود.

بر اساس تحقیقات کرسولاین و تورسکیس (۲۰۱۰) و استانوجکیج و همکاران (۲۰۱۰)، فرآیند تعیین وزن‌های نسبی معیارها با استفاده از روش *SWARA* به‌صورت زیر در محیط فازی نوع-۲ بازه‌ای توسعه داده می‌شود:

گام ۱: معیارهای بر اساس اهمیت پیش‌بینی‌شده هرکدام به‌صورت نزولی قرار داده می‌شوند (بر اساس نظرات خبرگان).

گام ۲: در این گام از معیار دوم شروع می‌شود و اهمیت نسبی معیار *j*ام نسبت به معیار قبلی *j-1*ام بیان می‌شود. این رابطه بر اساس کرسولاین (۲۰۱۰) اهمیت نسبی مقدار میانگین ($\tilde{\tilde{S}}_j^p$) نامیده می‌شود. قابل‌ذکر است که تعداد خبرگان $P=1,2,...,k$ می‌باشد.

گام ۳: در این گام مقدار $\tilde{\tilde{k}}_j$ به‌صورت زیر بر اساس نظرات هر فرد خبره تعیین می‌شود:

$$\tilde{\tilde{k}}_j^P = \begin{cases} ۱ & j = ۱ \\ \tilde{\tilde{S}}_j^P + ۱ = ((s_{j۱}^{UP} + ۱, s_{j۲}^{UP} + ۱, s_{j۳}^{UP} + ۱, s_{j۴}^{UP} + ۱; \\ H_۱(\tilde{S}_j^{UP}), H_۲(\tilde{S}_j^{UP})), ((s_{j۱}^{LP} + ۱, s_{j۲}^{LP} + ۱, s_{j۳}^{LP} + ۱ \\ , s_{j۴}^{LP} + ۱; H_۱(\tilde{S}_j^{LP}), H_۲(\tilde{S}_j^{LP}))) & j \succ ۱ \end{cases} \quad (۲۰)$$

گام ٤: در این قسمت وزن مجدد $\tilde{\tilde{q}}_j$ بر اساس نظرات هر فرد خیره به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\tilde{\tilde{q}}_j^P = \begin{cases} ۱ & j = ۱ \\ \dfrac{\tilde{\tilde{q}}_{j-۱}^P}{\tilde{\tilde{k}}_j^P} = ((\dfrac{\tilde{\tilde{q}}_{(j-۱)۱}^{UP}}{\tilde{\tilde{k}}_{j۴}^{UP}}, \dfrac{\tilde{\tilde{q}}_{(j-۱)۲}^{UP}}{\tilde{\tilde{k}}_{j۳}^{UP}}, \dfrac{\tilde{\tilde{q}}_{(j-۱)۳}^{UP}}{\tilde{\tilde{k}}_{j۲}^{UP}}, \dfrac{\tilde{\tilde{q}}_{(j-۱)۴}^{UP}}{\tilde{\tilde{k}}_{j۱}^{UP}}; \\ \min(H_۱(\tilde{q}_j^{UP}), H_۱(\tilde{k}_j^{UP})), \min(H_۲(\tilde{q}_j^{UP}) \\ , H_۲(\tilde{k}_j^{UP}))), (\dfrac{\tilde{\tilde{q}}_{(j-۱)۱}^{LP}}{\tilde{\tilde{k}}_{j۴}^{LP}}, \dfrac{\tilde{\tilde{q}}_{(j-۱)۲}^{LP}}{\tilde{\tilde{k}}_{j۳}^{LP}}, \dfrac{\tilde{\tilde{q}}_{(j-۱)۳}^{LP}}{\tilde{\tilde{k}}_{j۲}^{LP}}, \dfrac{\tilde{\tilde{q}}_{(j-۱)۴}^{LP}}{\tilde{\tilde{k}}_{j۱}^{LP}}; \\ \min(H_۱(\tilde{q}_j^{LP}), H_۱(\tilde{k}_j^{LP})), \min(H_۲(\tilde{q}_j^{LP}), \\ H_۲(\tilde{k}_j^{LP}))) & j \succ ۱ \end{cases} \quad (۲۱)$$

گام ۵: وزن نسبی هرکدام از معیارها به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\tilde{W}_j^P = \frac{\tilde{\tilde{q}}_j^P}{\sum_{j=۱}^{n} \tilde{\tilde{q}}_j^P} = ((\frac{q_{j۱}^{UP}}{\sum_{j=۱}^{n} q_{j۴}^{UP}}, \frac{q_{j۲}^{UP}}{\sum_{j=۱}^{n} q_{j۳}^{UP}}, \frac{q_{j۳}^{UP}}{\sum_{j=۱}^{n} q_{j۲}^{UP}}, \frac{q_{j۴}^{UP}}{\sum_{j=۱}^{n} q_{j۱}^{UP}}; \\ H_۱(\tilde{W}_j^{UP}), H_۲(\tilde{W}_j^{UP})), (\frac{q_{j۱}^{LP}}{\sum_{j=۱}^{n} q_{j۴}^{LP}}, \frac{q_{j۲}^{LP}}{\sum_{j=۱}^{n} q_{j۳}^{LP}}, \frac{q_{j۳}^{LP}}{\sum_{j=۱}^{n} q_{j۲}^{LP}}, \frac{q_{j۴}^{LP}}{\sum_{j=۱}^{n} q_{j۱}^{LP}}; \\ H_۱(\tilde{W}_j^{LP}), H_۲(\tilde{W}_j^{LP}))) \quad (۲۲)$$

گام ٦: در این گام نظرات کارشناسان به‌صورت زیر ادغام می‌شود:

$$\begin{aligned}\bar{W}_j &= \frac{\tilde{\tilde{W}}_j^{1}+\tilde{\tilde{W}}_j^{2}+\ldots+\tilde{\tilde{W}}_j^{k}}{k} = ((\bar{w}_{j1}^{U},\bar{w}_{j2}^{U},\bar{w}_{j3}^{U},\bar{w}_{j4}^{U};\\ &\min(H_1(\tilde{W}_j^{U1}),\ldots,H_1(\tilde{W}_j^{Uk})),\min(H_2(\tilde{W}_j^{U1})\\ &,\ldots,H_2(\tilde{W}_j^{Uk})),(\bar{w}_{j1}^{L},\bar{w}_{j2}^{L},\bar{w}_{j3}^{L},\bar{w}_{j4}^{L};\\ &\min(H_1(\tilde{W}_j^{U1}),\ldots,H_1(\tilde{W}_j^{Uk})),\\ &\min(H_2(\tilde{W}_j^{U1}),\ldots,H_2(\tilde{W}_j^{Uk}))))\end{aligned} \quad (۲۳)$$

٤-۳. رویکرد سیستم نسبت (*system ratio*) در محیط فازی نوع-۲ بازه‌ای

در ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری ادغام‌شده باید بی مقیاس شود برای این کار از فرمول زیر استفاده می‌شود (بالیزنتیس و زنگ، ۲۰۱۳):

$$\tilde{\tilde{f}}_{ij} = \begin{bmatrix} (\frac{a_{ij1}^{U}}{d_j},\frac{a_{ij2}^{U}}{d_j},\frac{a_{ij3}^{U}}{d_j},\frac{a_{ij4}^{U}}{d_j};H_1(\tilde{A}_i^{U}),H_2(\tilde{A}_i^{U})), \\ (\frac{a_{ij1}^{L}}{d_j},\frac{a_{ij2}^{L}}{d_j},\frac{a_{ij3}^{L}}{d_j},\frac{a_{ij4}^{L}}{d_j};H_1(\tilde{A}_i^{L}),H_2(\tilde{A}_i^{L})) \end{bmatrix} \quad (۲٤)$$

$$j = ۱,۲,\ldots,n, i = ۱,۲,\ldots,m$$

که

$$d_j = \sqrt{\sum_{i=1}^{m}\sum_{p=1}^{4}(a_{ijp}^{L})^{2}+\sum_{i=1}^{m}\sum_{p=1}^{4}(a_{ijp}^{U})^{2}},$$

$$p = \{۱,۲,۳,۴\} for \forall j = ۱,۲,\ldots,n$$

سپس ماتریس بی مقیاس شده موزون با استفاده از اوزان به‌دست‌آمده در روش *SWARA* و ماتریس نرمال شده به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\bar{Y}_W = (\tilde{\tilde{v}}_{ij})_{m\times n} = (\tilde{\tilde{f}}_{ij} \otimes \bar{W}_j) = \begin{pmatrix} \tilde{\tilde{v}}_{11} & \cdots & \tilde{\tilde{v}}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{\tilde{v}}_{m1} & \cdots & \tilde{\tilde{v}}_{mn} \end{pmatrix} \quad (۲۵)$$

اکنون معیارهای مثبت باهم و معیارهای منفی باهم جمع می‌شوند، سپس جمع معیارهای منفی از جمع معیارهای مثبت به‌صورت زیر کم می‌شود:

$$\begin{aligned} S\tilde{\tilde{R}} &= \sum_{j\in B}\tilde{\tilde{V}}_{ij} - \sum_{j\in C}\tilde{\tilde{V}}_{ij} = ((\sum_{j\in B} v^U_{ij1} - \sum_{j\in C} v^U_{ij4}, \sum_{j\in B} v^U_{ij2} - \sum_{j\in C} v^U_{ij3}, \\ &\sum_{j\in B} v^U_{ij3} - \sum_{j\in C} v^U_{ij2}, \sum_{j\in B} v^U_{ij4} - \sum_{j\in C} v^U_{ij1}; H_1(S\tilde{R}^U), H_2(S\tilde{R}^U)), \\ &((\sum_{j\in B} v^L_{ij1} - \sum_{j\in C} v^L_{ij4}, \sum_{j\in B} v^L_{ij2} - \sum_{j\in C} v^L_{ij3}, \sum_{j\in B} v^L_{ij3} - \sum_{j\in C} v^L_{ij2}, \\ &\sum_{j\in B} v^L_{ij4} - \sum_{j\in C} v^L_{ij1}; H_1(S\tilde{R}^L), H_2(S\tilde{R}^L))) \end{aligned} \quad (۲۶)$$

جواب نهایی به‌صورت اعداد فازی نوع-۲ بازه‌ای می‌باشد، برای اینکه بتوان آن‌ها را رتبه‌بندی کرد، از روش زیر استفاده می‌شود (لی و چن، ۲۰۰۸):

$$\begin{aligned} Rank(\tilde{\tilde{A}}_i) &= M_1(\tilde{A}_i^U) + M_1(\tilde{A}_i^L) + M_2(\tilde{A}_i^U) + \\ &M_2(\tilde{A}_i^L) + M_3(\tilde{A}_i^U) + M_3(\tilde{A}_i^L) - \frac{1}{4}(S_1(\tilde{A}_i^U) + \\ &S_1(\tilde{A}_i^L) + S_2(\tilde{A}_i^U) + S_2(\tilde{A}_i^L) + S_3(\tilde{A}_i^U) + S_3(\tilde{A}_i^L) \\ &+S_4(\tilde{A}_i^U) + S_4(\tilde{A}_i^L)) + H_1(\tilde{A}_i^U) + H_1(\tilde{A}_i^L) + H_2 \\ &(\tilde{A}_i^U) + H_2(\tilde{A}_i^L) \end{aligned} \quad (۲۷)$$

پس از انجام این کار هر عددی که بزرگ‌تر باشد رتبه بالاتری می‌گیرد.

٤-٤. رویکرد نقطه مرجع (*reference point*) در محیط فازی نوع-۲ بازه‌ای

در این روش از ماتریس بی مقیاس شده موزون استفاده می‌کنیم و نقاط مرجع مطلق به‌صورت زیر برای معیارهای مثبت و منفی تعریف می‌کنیم:

$$\tilde{\tilde{r}}_j = (۱,۱,۱,۱,;۱,۱)\forall j \in B$$
$$\tilde{\tilde{r}}_j = (۰,۰,۰,۰,;۰.۹,۰.۹)\forall j \in C \quad (۲۸)$$

که این نقاط به‌عنوان ایده‌آل مثبت تعریف می‌شود و ایده‌آل منفی نیز به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\tilde{\tilde{r}}_j = (۱,۱,۱,۱,;۱,۱)\forall j \in C$$
$$\tilde{\tilde{r}}_j = (۰,۰,۰,۰,;۰.۹,۰.۹)\forall j \in B \quad (۲۹)$$

سپس فاصله از ایده‌آل منفی را از ۱ کم می‌کنیم تا با فاصله از ایده‌آل مثبت همگن شود، آنگاه از طریق روابط زیر هر دو شاخص به‌دست‌آمده رتبه‌بندی می‌شوند:

$$S_۱ = \min_i \left\{ \max_j d^+ \left| \tilde{\tilde{r}}_j, \tilde{\tilde{v}}_{ij} \right| \right\} =$$
$$\min_i \left\{ \max_j \sqrt{\begin{array}{c}(r_{j۱}^U - v_{ij۱}^U)^۲ + (r_{j۲}^U - v_{ij۲}^U)^۲ + (r_{j۳}^U - v_{ij۳}^U)^۲ (r_{j۴}^U - v_{ij۴}^U)^۲ + \\ (r_{j۱}^L - v_{ij۱}^L)^۲ + (r_{j۲}^L - v_{ij۲}^L)^۲ + (r_{j۳}^L - v_{ij۳}^L)^۲ (r_{j۴}^L - v_{ij۴}^L)^۲ \\ + \sum_{i=۱}^{۲} (H_i(\tilde{r}_j^L) - H_i(\tilde{v}_{ij}^L))^۲ \end{array}} \right\}$$

$$S_۲ = \min_i \left\{ \max_j ۱ - d^- \left| \tilde{\tilde{r}}_j, \tilde{\tilde{v}}_{ij} \right| \right\} = \min_i \quad (۳۰)$$
$$\left\{ \max_j ۱ - \sqrt{\begin{array}{c}(r_{j۱}^U - v_{ij۱}^U)^۲ + (r_{j۲}^U - v_{ij۲}^U)^۲ + (r_{j۳}^U - v_{ij۳}^U)^۲ (r_{j۴}^U - v_{ij۴}^U)^۲ + \\ (r_{j۱}^L - v_{ij۱}^L)^۲ + (r_{j۲}^L - v_{ij۲}^L)^۲ + (r_{j۳}^L - v_{ij۳}^L)^۲ (r_{j۴}^L - v_{ij۴}^L)^۲ \\ + \sum_{i=۱}^{۲} (H_i(\tilde{r}_j^L) - H_i(\tilde{v}_{ij}^L))^۲ \end{array}} \right\}$$
$$j$$

٤-۵. رویکرد فرم کامل ضربی (*Full Multiplicative Form*) در محیط فازی نوع-۲ بازه‌ای

در این روش نیز معیارهای مثبت به‌صورت ضرب دو عدد فازی نوع-۲ بازه‌ای در هم ضرب می‌شوند؛ سپس معیارهای منفی نیز ضرب می‌شوند، اکنون ضرب معیارهای مثبت بر منفی به‌صورت زیر تقسیم می‌شود:

$$\tilde{\tilde{U}}_i = \frac{\tilde{\tilde{A}}_i}{\tilde{\tilde{B}}_i} = ((\frac{\prod_{j\in B}\tilde{\tilde{v}}^U_{ij1}}{\prod_{j\in C}\tilde{\tilde{v}}^U_{ij4}}, \frac{\prod_{j\in B}\tilde{\tilde{v}}^U_{ij2}}{\prod_{j\in C}\tilde{\tilde{v}}^U_{ij3}}, \frac{\prod_{j\in B}\tilde{\tilde{v}}^U_{ij3}}{\prod_{j\in C}\tilde{\tilde{v}}^U_{ij2}}, \frac{\prod_{j\in B}\tilde{\tilde{v}}^U_{ij4}}{\prod_{j\in C}\tilde{\tilde{v}}^U_{ij1}};$$
$$H_1(U_i^U), H_1(U_i^U)), ((\frac{\prod_{j\in B}\tilde{\tilde{v}}^U_{ij1}}{\prod_{j\in C}\tilde{\tilde{v}}_{ij4}}, \frac{\prod_{j\in B}\tilde{\tilde{v}}^U_{ij2}}{\prod_{j\in C}\tilde{\tilde{v}}_{ij3}}, \frac{\prod_{j\in B}\tilde{\tilde{v}}^U_{ij3}}{\prod_{j\in C}\tilde{\tilde{v}}_{ij2}}, \quad (۳۱)$$
$$\frac{\prod_{j\in B}\tilde{\tilde{v}}^U_{ij4}}{\prod_{j\in C}\tilde{\tilde{v}}_{ij1}}; H_1(U_i^U), H_1(U_i^U)))$$

که $\tilde{\tilde{A}}_i = \prod_{j\in B}\tilde{\tilde{v}}_{ij}$ و $\tilde{\tilde{B}}_i = \prod_{j\in C}\tilde{\tilde{v}}_{ij}$ می‌باشد، اکنون اعداد به‌دست آمده اعداد نوع-۲ فازی بازه‌ای است، سپس روش رتبه‌بندی استفاده‌شده در انتهای قسمت اول (سیستم نسبت) در اینجا نیز به‌کار برده می‌شود و به این صورت که اعداد بزرگ‌تر رتبه بالاتری می‌گیرند، رتبه‌بندی نهایی انجام می‌شود.

٤-٦. رتبه‌بندی نهایی

در این قسمت نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های سیستم نسبت و نقطه مرجع و فرم کامل ضربی با استفاده از میانگین هندسی به‌صورت زیر ادغام می‌شوند:

$$FR_i = \sqrt[4]{U_i * S_{i1} * S_{i2} * SR_i} \quad (۳۲)$$

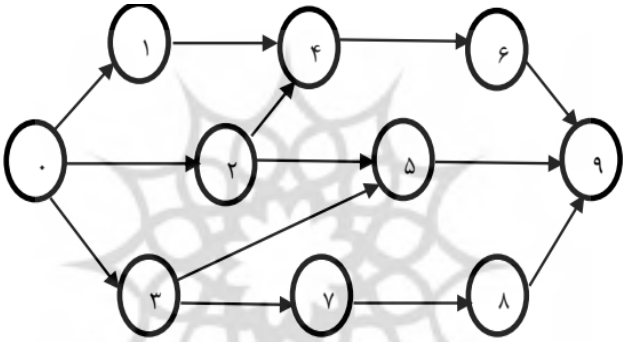
رتبه‌بندی نهایی به‌صورت نزولی انجام می‌شود.

۵. تجزیه‌وتحلیل و مقایسه

۵-۱. مثال کاربردی

پروژه‌ای برگرفته از ادبیات موضوع (مهلاوات و گوپتا، ۲۰۱۶) که دارای ۱۳ فعالیت و ۱۰ گره است را در نظر بگیرید (شکل ۲). از نظرات سه فرد خبره و کارشناس برای ارزیابی

معیارهای زمان، هزینه، کیفیت، ریسک و ایمنی در مورد هر فعالیت استفاده شده است. برای معیارهایی مثل هزینه و زمان اعداد به‌صورت کمی و برای معیارهای کیفیت، ریسک و ایمنی ارزیابی به‌صورت متغیرهای زبانی انجام شده است که برای تبدیل به اعداد کمی از معادل فازی نوع-۲ بازه‌ای متغیرهای زبانی استفاده شده است. معادل فازی نوع-۲ بازه‌ای متغیرهای زبانی در جدول ۱ قابل‌مشاهده می‌باشد. نظرات کارشناسی از سه فرد خبره در مورد هر فعالیت اخذ می‌گردد (جدول ۲) در این جدول معیارهای زمان، هزینه، ریسک، کیفیت و ایمنی به ترتیب با C1 تا C_5 نشان داده می‌شود.



شکل ۲. شبکه پروژه

جدول ۱. متغیرهای زبانی و معادل فازی نوع-۲ بازه‌ای

متغیرهای زبانی	اعداد فازی نوع-۲ بازه‌ای
Very Low(VL)	(۰,۰,۰,۰.۱;۱,۱), (۰,۰,۰,۰.۰۵;۰.۹,۰.۹)
Low(L)	(۰,۰.۱,۰.۱,۰.۳;۱,۱), (۰.۰۵,۰.۱,۰.۱,۰.۲;۰.۹,۰.۹)
Medium Low(ML)	(۰.۱,۰.۳,۰.۳,۰.۵;۱,۱), (۰.۲,۰.۳,۰.۳,۰.۴;۰.۹,۰.۹)
Medium(M)	(۰.۳,۰.۵,۰.۵,۰.۷;۱,۱), (۰.۴,۰.۵,۰.۵,۰.۶;۰.۹,۰.۹)
Medium High(MH)	(۰.۵,۰.۷,۰.۷,۰.۹;۱,۱), (۰.۶,۰.۷,۰.۷,۰.۸;۰.۹,۰.۹)
High(H)	(۰.۷,۰.۹,۰.۹,۱;۱,۱), (۰.۸,۰.۹,۰.۹,۰.۹۵;۰.۹,۰.۹)
Very High(VH)	(۰.۹,۱,۱,۱;۱,۱), (۰.۹۵,۱,۱,۱;۰.۹,۰.۹)

نظرات کارشناسان با استفاده از فرمول ۱۹ ادغام می‌شوند. اکنون تمام مسیرهای شبکه پروژه تعیین می‌شوند و به‌عنوان آلترناتیوها در نظر گرفته می‌شوند. اکنون با استفاده از

فرمول‌های ۲۰-۲۳ وزن هر معیار تعیین می‌شود. سپس با استفاده از فرمول ۲۴ بی‌مقیاس‌سازی انجام می‌شود و در وزن ادغام‌شده هر معیار ضرب می‌شوند، اکنون این اعداد ورودی رویکرد سیستم نسبت می‌باشند.

جدول ۲. متغیرهای زبانی در مورد معیارهای ریسک، کیفیت و ایمنی

ACT	ریسک			کیفیت			ایمنی		
	D_1	D_2	D_3	D_1	D_2	D_3	D_1	D_2	D_3
۰-۱	L	ML	L	ML	ML	L	M	ML	M
۰-۲	ML	ML	M	ML	M	M	ML	L	M
۰-۳	MH	M	H	MH	M	MH	L	L	M
۱-۴	M	M	ML	ML	M	ML	L	MH	MH
۲-۴	MH	M	MH	MH	H	MH	M	MH	M
۳-۵	M	ML	M	M	MH	M	VH	L	L
۷-۸	ML	ML	ML	ML	MH	MH	MH	M	MH
۲-۵	M	ML	M	M	ML	M	MH	M	ML
۴-۶	M	MH	MH	M	ML	MH	ML	M	ML
۳-۷	M	M	MH	M	MH	MH	ML	MH	MH
۵-۹	MH	MH	H	MH	H	H	M	ML	M
۶-۹	H	MH	H	H	MH	H	H	ML	M
۸-۹	MH	MH	MH	H	MH	MH	H	M	M

جدول ۲ (ادامه). اطلاعات فازی نوع-۲ بازه‌ای در مورد معیار زمان

ACT.	کارشناسان		
	D_1	D_2	D_3
۱-۰	((۳,۵,۸,۱۰;۱,۱), (۴,۶,۷,۹;۰.۹,۰.۹))	((۱,۳,۶,۸;۱,۱), (۲,۴,۵,۷;۰.۹,۰.۹))	((۳,۵,۸,۱۰;۱,۱), (۴,۶,۷,۹;۰.۹,۰.۹))
۲-۰	((۳,۵,۸,۱۰;۱,۱), (۴,۶,۷,۹;۰.۹,۰.۹))	((۳,۵,۸,۱۰;۱,۱), (۴,۶,۷,۹;۰.۹,۰.۹))	((۳,۵,۸,۱۰;۱,۱), (۴,۶,۷,۹;۰.۹,۰.۹))
۳-۰	((۷,۹,۱۲,۱۴;۱,۱), (۸,۱۰,۱۱,۱۳,۰.۹,۰.۹))	((۵,۸,۱۱,۱۳;۱,۱), (۶,۹,۱۰,۱۲;۰.۹,۰.۹))	((۶,۱۰,۱۴,۱۸;۱,۱), (۷,۱۱,۱۳,۱۷,۰.۹,۰.۹))

ACT.	کارشناسان		
	D_1	D_2	D_3
۱-۴	((۴,۷,۱۰,۱۳;۱,۱), (۵,۸,۹,۱۲;۰.۹,۰.۹))	((۳,۵,۸,۱۰;۱,۱), (۴,۶,۷,۹;۰.۹,۰.۹))	((۶,۸,۱۱,۱۳;۱,۱), (۷,۹,۱۰,۱۲;۰.۹,۰.۹))
۲-۴	((۹,۱۲,۱۵,۱۸;۱,۱), (۱۰,۱۳,۱۴,۱۷;۰.۹,۰.۹))	((۱۰,۱۴,۱۸,۲۲;۱,۱), (۱۱,۱۵,۱۷,۲۱;۰.۹,۰.۹))	((۱۰,۱۲,۱۵,۱۷;۱,۱), (۱۱,۱۳,۱۴,۱۶;۰.۹,۰.۹))
۳-۵	((۷,۹,۱۲,۱۴;۱,۱), (۸,۱۰,۱۱,۱۳,۰.۹,۰.۹))	((۸,۱۰,۱۳,۱۵;۱,۱), (۹,۱۱,۱۲,۱۴;۰.۹,۰.۹))	((۶,۹,۱۲,۱۵;۱,۱), (۷,۱۰,۱۱,۱۴;۰.۹,۰.۹))
۷-۸	((۱۴,۱۷,۲۰,۲۳;۱,۱), (۱۵,۱۸,۱۹,۲۲;۰.۹,۰.۹))	((۱۲,۱۶,۲۰,۲۴;۱,۱), (۱۳,۱۷,۱۹,۲۳;۰.۹,۰.۹))	((۱۳,۱۵,۱۸,۲۰;۱,۱), (۱۴,۱۶,۱۷,۱۹;۰.۹,۰.۹))
۲-۵	((۱۰,۱۳,۱۶,۱۹;۱,۱), (۱۱,۱۴,۱۵,۱۸;۰.۹,۰.۹))	((۱۱,۱۴,۱۷,۲۰;۱,۱), (۱۲,۱۵,۱۶,۱۹;۰.۹,۰.۹))	((۱۲,۱۴,۱۷,۲۰;۱,۱), (۱۳,۱۵,۱۶,۱۹,۰.۹,۰.۹))
۴-۶	((۹,۱۴,۱۹,۲۴;۱,۱), (۱۰,۱۵,۱۸,۲۳;۰.۹,۰.۹))	((۱۱,۱۴,۱۷,۲۰;۱,۱), (۱۲,۱۵,۱۶,۱۹;۰.۹,۰.۹))	((۱۰,۱۴,۱۸,۲۲;۱,۱), (۱۱,۱۵,۱۷,۲۱;۰.۹,۰.۹))
۳-۷	((۷,۹,۱۲,۱۴;۱,۱), (۸,۱۰,۱۱,۱۳;۰.۹,۰.۹))	((۵,۷,۱۰,۱۲;۱,۱), (۶,۸,۹,۱۱,۰.۹,۰.۹))	((۷,۹,۱۲,۱۴;۱,۱), (۸,۱۰,۱۱,۱۳;۰.۹,۰.۹))
۵-۹	((۶,۱۱,۱۶,۲۱;۱,۱), (۷,۱۲,۱۵,۲۰;۰.۹,۰.۹))	((۸,۱۰,۱۳,۱۶;۱,۱), (۹,۱۱,۱۲,۱۵;۰.۹,۰.۹))	((۷,۱۰,۱۳,۱۶;۱,۱), (۸,۱۱,۱۲,۱۵,۰.۹,۰.۹))
۶-۹	((۱۳,۱۷,۲۱,۲۵;۱,۱), (۱۴,۱۸,۲۰,۲۴;۰.۹,۰.۹))	((۱۵,۱۸,۲۱,۲۴;۱,۱), (۱۶,۱۹,۲۰,۲۳;۰.۹,۰.۹))	((۱۶,۱۸,۲۱,۲۳;۱,۱), (۱۷,۱۹,۲۰,۲۲;۰.۹,۰.۹))
۸-۹	((۱۴,۱۷,۲۰,۲۳;۱,۱), (۱۵,۱۸,۱۹,۲۲;۰.۹,۰.۹))	((۱۵,۱۷,۲۰,۲۲;۱,۱), (۱۶,۱۸,۱۹,۲۱;۰.۹,۰.۹))	((۱۶,۱۸,۲۱,۲۳;۱,۱), (۱۷,۱۹,۲۰,۲۲;۰.۹,۰.۹))
جدول ۱ ۰-	((۱۲,۱۷,۲۲,۲۷;۱,۱), (۱۳,۱۸,۲۰,۲۳;۰.۹,.۹))	((۱۴,۱۹,۲۴,۲۹;۱,۱), (۱۵,۲۰,۲۳,۲۸;۰.۹,.۹))	((۱۴,۱۹,۲۴,۲۹;۱,۱), (۱۵,۲۰,۲۳,۲۸;۰.۹,۰.۹))
۲-۰	((۴,۹,۱۴,۱۹;۱,۱), (۵,۱۰,۱۳,۱۸;۰.۹,۰.۹))	((۴.۵,۹.۵,۱۴.۵,۱۹.۵;۱,۱), (۵.۵,۱۰.۵,۱۳.۵۱۸.۵;۰.۹,۰.۹))	((۴,۹,۱۴,۱۹,۱), (۵,۱۰,۱۳,۱۸;۰.۹,۰.۹))
۳-۰	((۲.۵,۷.۵,۱۲.۵,۱۷.۵;۱,۱), (۳.۵,۸.۵,۱۰.۵,۱۶.۵,۰.۹,۰.۹))	((۲.۵,۷.۵,۱۲.۵,۱۷.۵;۱,۱), (۳.۵,۸.۵,۱۱.۵,۱۶.۵;۰.۹,۰.۹))	((۳,۷,۱۱,۱۵;۱,۱), (۴,۸,۱۰,۱۴,۰.۹,۰.۹))
۴-۱	((۲,۷,۱۵,۲۰;۱,۱), (۳,۷,۱۲,۱۸;۰.۹,۰.۹))	((۲,۷,۱۲,۱۷;۱,۱), (۳,۸,۱۱,۱۶;۰.۹,۰.۹))	((۳,۸,۱۳,۱۸;۱,۱), (۴,۹,۱۲,۱۷;۰.۹,۰.۹))

ACT.	کارشناسان		
	D_1	D_2	D_3
۲-۴	((۱۳,۲۰,۲۷,۳۴;۱,۱), (۱۴,۲۲,۲۶,۳۲;۰.۹,۰.۹))	((۱۴,۲۰,۲۶,۳۲;۱,۱), (۱۵,۲۱,۲۵,۳۱;۰.۹,۰.۹))	((۱۳,۱۹,۲۵,۳۱;۱,۱), (۱۴,۲۰,۲۴,۳۰;۰.۹,۰.۹))
۳-۵	((۶۰,۶۵,۷۰,۷۵;۱,۱), (۶۲,۶۶,۶۸,۷۳,۰.۹,۰.۹))	((۵۵,۶۰,۶۵,۷۰;۱,۱), (۵۶,۶۱,۶۴,۶۹;۰.۹,۰.۹))	((۵۰,۶۰,۷۰,۸۰;۱,۱), (۵۱,۶۱,۶۹,۷۹;۰.۹,۰.۹))
۷-۸	((۱۶,۲۰,۲۴,۲۸;۱,۱), (۱۷,۲۱,۲۳,۲۶;۰.۹,۰.۹))	((۱۴,۲۰,۲۶,۳۲;۱,۱), (۱۵,۲۱,۲۵,۳۱;۰.۹,۰.۹))	((۱۲,۲۰,۲۸,۳۶;۱,۱), (۱۳,۲۱,۲۷,۳۵;۰.۹,۰.۹))
۲-۵	((۱۷,۲۲,۲۷,۳۲;۱,۱), (۱۸,۲۳,۲۵,۳۰;۰.۹,۰.۹))	((۱۵,۲۰,۲۵,۳۰;۱,۱), (۱۶,۲۱,۲۴,۲۹;۰.۹,۰.۹))	((۱۴,۲۰,۲۶,۳۲;۱,۱), (۱۵,۲۱,۲۵,۳۱,۰.۹,۰.۹))
۴-۶	((۷.۵,۱۲.۵,۱۷.۵,۲۲.۵;۱,۱), (۸.۵,۱۳.۵,۱۵.۵,۲۰;۰.۹,۰.۹))	((۷.۵,۱۲.۵,۱۷.۵,۲۲.۵;۱,۱), (۸.۵,۱۳.۵,۱۶.۵,۲۱.۵;۰.۹,۰.۹))	((۷,۱۰,۱۳,۱۶;۱,۱), (۸,۱۱,۱۲,۱۵;۰.۹,۰.۹))
۳-۷	((۹,۱۵,۲۱,۲۷;۱,۱), (۱۰,۱۷,۲۰,۲۵;۰.۹,۰.۹))	((۱۰,۱۵,۲۰,۲۵;۱,۱), (۱۲,۱۶,۱۹,۲۴,۰.۹,۰.۹))	((۱۱,۱۴,۱۷,۲۰;۱,۱), (۱۲,۱۵,۱۶,۱۹;۰.۹,۰.۹))
۵-۹	((۱۴,۲۰,۲۶,۳۲;۱,۱), (۱۵,۲۱,۲۵,۳۱;۰.۹,۰.۹))	((۱۵.۵,۲۰.۵,۲۵.۵,۳۰.۵;۱,۱), (۱۶.۵,۲۱.۵,۲۴.۵,۲۹.۵;۰.۹,۰.۹))	((۱۵,۲۰,۲۵,۳۰;۱,۱), (۱۶,۲۱,۲۴,۲۹,۰.۹,۰.۹))
۶-۹	((۳۵,۴۰,۴۵,۵۰;۱,۱), (۳۶,۴۱,۴۴,۴۹;۰.۹,۰.۹))	((۳۵,۴۰,۴۵,۵۰;۱,۱), (۳۶,۴۲,۴۴,۴۹;۰.۹,۰.۹))	((۳۰,۴۰,۵۰,۶۰;۱,۱), (۳۱,۴۱,۴۹,۵۹;۰.۹,۰.۹))
۸-۹	((۲۴,۳۰,۳۶,۴۲;۱,۱), (۲۵,۳۲,۳۵,۴۰;۰.۹,۰.۹))	((۲۴,۳۰,۳۶,۴۲;۱,۱), (۲۶,۳۲,۳۵,۴۰;۰.۹,۰.۹))	((۲۴,۳۰,۳۶,۴۲;۱,۱), (۲۵,۳۱,۳۵,۴۱;۰.۹,۰.۹))

معیارهای مثبت باهم و معیارهای منفی نیز باهم به‌صورت جمع اعداد فازی نوع-۲ بازه‌ای جمع می‌شوند و پس‌ازآن با استفاده از فرمول ۲۶، جمع معیارهای منفی از جمع معیارهای مثبت کم می‌شود و اعداد به‌دست آمده با استفاده از فرمول ۲۷ به اعداد قطعی تبدیل می‌شوند و عدد بزرگ‌تر رتبه بالاتری می‌گیرد (جدول ۳). در رویکرد نقطه مرجع اعداد

بی مقیاس شده موزون به‌عنوان مبنا قرار می‌گیرند و نقاط مرجع مطلق طبق فرمول‌های ۲۸ و ۲۹ تعیین می‌شوند. پس‌ازآن با استفاده از فرمول ۱۴ فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی به‌دست می‌آید و با توجه به فرمول ۳۰ دو شاخص $S_{۲}, S_{۱}$ به دست می‌آید (جدول ۳).

جدول ۳. نتایج روش سیستم نسبت و فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی

نتایج روش فرم کامل ضربی	S_{2} : max 1-d-	S_{1} :maxd+	نتایج روش سیستم نسبت	آلترناتیوها
۲۳۰.۴۴	۱.۷۴	۲.۷۶	۳.۲۹۹	۰-۱-۴-۶-۹
۳۷۹.۸۹	۱.۷۶	۲.۷۸	۳.۴۲۳	۰-۲-۵-۹
۱۸۵.۵	۱.۷۲	۲.۷۶	۳.۲۴۳	۰-۲-۴-۶-۹
۱۷۶.۶۹	۱.۷۴	۲.۷۸	۳.۳۴۵	۰-۳-۵-۹
۲۵۵.۵۸	۱.۷۳	۲.۷۵	۳.۳۰۸	۰-۳-۷-۸-۹

در مرحله بعد فرم کامل ضربی به این صورت انجام می‌شود که معیارهای مثبت در هم و معیارهای منفی نیز در هم ضرب می‌شوند (به‌عنوان ضرب اعداد فازی نوع-۲ بازه‌ای). پس‌ازآن معیارهای مثبت بر معیارهای منفی تقسیم می‌شوند، بعد از انجام تقسیم اعداد به‌صورت اعداد فازی نوع-۲ بازه‌ای هستند؛ به همین دلیل از فرمولی که در انتهای رویکرد قسمت سیستم نسبت استفاده شد، در اینجا نیز استفاده می‌شود و اعداد به‌صورت قطعی به دست می‌آیند (جدول ۳)؛ در انتها از اعداد به‌دست‌آمده در هر قسمت که در قسمت سیستم نسبت یک شاخص و در قسمت نقطه مرجع دو شاخص و در قسمت فرم کامل ضربی نیز یک شاخص به‌دست‌آمده که جمعاً چهار شاخص می‌شود، با استفاده از فرمول ۳۲ میانگین هندسی گرفته و رتبه‌بندی نهایی صورت می‌پذیرد. در جدول ۴ می‌توانید این رتبه‌بندی را مشاهده کنید. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود مسیر ۹-۵-۲-۰ به‌عنوان مسیر بحرانی انتخاب شده است. این مسیر ازنظر زمانی آخرین جایگاه را دارد و کوتاه‌ترین مسیر پروژه است اما معیارهای هزینه، کیفیت، ریسک و ایمنی تأثیرگذاری خود را نشان داده‌اند و این مسیر را تبدیل به مسیر بحرانی کرده‌اند. بدین ترتیب مسیر ۹-۵-۲-۰ مسیر بحرانی و مسیرهای ۹-۸-۷-۳-۰ و ۹-۶-۴-۱-۰ در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

جدول ٤. رتبه‌بندی نهایی

رتبه‌بندی نهایی	میانگین هندسی	نتایج روش فرم کامل ضربی	شاخص ۲ روش نقطه مرجع	شاخص ۱ روش نقطه مرجع	نتایج روش سیستم نسبت	آلترناتیوها
۳	۷.۷۷	۲۳۰.۴۴	۱.۷۴	۲.۷۶	۳.۲۹۹	۰-۱-۴-۶-۹
۱	۸.۹۳	۳۷۹.۸۹	۱.۷۶	۲.۷۸	۳.۴۲۳	۰-۲-۵-۹
۵	۷.۳۱	۱۸۵.۵	۱.۷۲	۲.۷۶	۳.۲۴۳	۰-۲-۴-۶-۹
۴	۷.۳۲	۱۷۶.۶۹	۱.۷۴	۲.۷۸	۳.۳۴۵	۰-۳-۵-۹
۲	۷.۹۶	۲۵۵.۵۸	۱.۷۳	۲.۷۵	۳.۳۰۸	۰-۳-۷-۸-۹

۵-۲. تحلیل حساسیت

در این قسمت، تحلیل حساسیت برروی معیارها انجام می‌شود. در ابتدا روش پیشنهادی تنها با در نظر گرفتن معیار زمان حل می‌شود. نتایج این روش در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مسیر بحرانی تغییر کرده است و این نشان‌دهنده اهمیت معیارهای دیگر برای تعیین مسیر بحرانی است.

سپس روش پیشنهادی با در نظر گرفتن ترکیب‌های دوتایی معیارها حل می‌شود که با توجه به اهمیت بسیار زیاد زمان، این معیار به‌صورت ثابت در نظر گرفته می‌شود. در حقیقت مسئله با معیارهای زمان و هزینه، زمان و ریسک، زمان و کیفیت و زمان و ریسک حل می‌شود. نتایج حاصل در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که نشان داده شده است، با اضافه و کم کردن هرکدام از معیارها، مسیر بحرانی تغییر می‌کند و این نشان‌دهنده اهمیت همه معیارها در تعیین مسیر بحرانی پروژه است و برای تعیین مسیر بحرانی نیاز است که همه معیارها باهم در نظر گرفته شود. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود با در نظر گرفتن فقط معیار زمان، مسیر ۹-۵-۳-۰ مسیر بحرانی است اما اگر زمان و ایمنی در نظر گرفته شوند، آنگاه مسیر بحرانی مسیر ۹-۶-۴-۱-۰ خواهد شد. همچنین اگر معیار زمان به همراه کیفیت و یا ریسک در نظر گرفته شوند، آنگاه مسیر بحرانی دوباره مسیر ۹-۵-۳-۰ است ولی اگر زمان با هزینه در نظر گرفته شود، آنگاه مسیر بحرانی مسیر ۹-۵-۲-۰

است. این تغییرات در معیارها و نتایج آن‌که تعویض شدن مسیر بحرانی است به‌خوبی نشان می‌دهد که چقدر معیارهای دیگر در تعیین مسیر بحرانی مهم و تأثیرگذار هستند.

جدول ۵. نتیجه حل روش پیشنهادی در حالت‌های مختلف

حل با زمان و هزینه	حل یا زمان وریسک	حل با زمان و کیفیت	حل با زمان و ایمنی	حل به معیار زمان	آلترناتیوها
۷.۵۲	۷.۹۱	۳.۲۶	۳.۲۹	۳.۲۵	۰-۱-۴-۶-۹
۷.۸۵	۸.۰۶	۳.۳۵	۳.۳۳	۳.۱۶	۰-۲-۵-۹
۷.۳۸	۷.۴۵	۳.۲۹	۳.۲۱	۳.۲۲	۰-۲-۴-۶-۹
۷.۷۶	۸.۱۹	۳.۴۸	۳.۲۸	۳.۲۹۹	۰-۳-۵-۹
۷.۵۵	۷.۵۹	۳.۲۸	۳.۲۵	۳.۲۱	۰-۳-۷-۸-۹

نتیجه‌گیری

در این مقاله توسعه‌ای از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه مولتی مورا در قسمت نقطه مرجع بیان شد. همچنین از اعداد فازی نوع-۲ که انعطاف‌پذیری و توانایی بیشتری در نشان دادن عدم‌قطعیت‌ها نسبت به اعداد فازی نوع-۱ دارند، استفاده شد. روش تصمیم‌گیری جدید چند شاخصه مولتی مورا برای استفاده از این اعداد فازی توسعه داده شد. از نظرات سه فرد خبره به‌صورت عددی برای معیارهای زمان و هزینه و به‌صورت متغیرهای زبانی برای معیارهای کیفیت، ریسک و ایمنی مورداستفاده قرار گرفت. درنهایت، وزن معیارهای تأثیرگذار زمان، هزینه، ریسک، کیفیت و ایمنی با استفاده از روش توسعه‌یافته *SWARA* در محیط فازی نوع-۲ بازه‌ای تعیین شد.

درنهایت بحرانی‌ترین مسیر با در نظر گرفتن نه‌تنها معیار زمان بلکه با در نظر گرفتن معیارهای تأثیرگذار هزینه، کیفیت، ریسک و ایمنی تعیین شد. با توجه به تحقیقات انجام‌شده مجموعه معیارهای زمان، هزینه، کیفیت، ریسک و ایمنی در این مقاله استفاده شد که معیارهای دیگری نیز می‌تواند به این مجموعه اضافه شود. همچنین می‌توان از اعداد فازی نوع-۲ دیگری مثل اعداد فازی نوع-۲ مثلثی و یا اعداد فازی دیگری مثل اعداد فازی

شهودی استفاده کرد. از روش‌های وزن دهی دیگر مثل آنتروپی، بردار ویژه و *AHP* نیز می‌توان در ادامه این مقاله بهره گرفت.

تعارض منافع

نویسندگان تعارض منافع ندارند.

ORCID

Yahya Dorfeshan **https://orcid.org/0000-0002-4535-5687**

Seyed Meysam Mousavi **https://orcid.org/0000-0003-0253-6944**

Behnam Vahdani **https://orcid.org/0000-0001-9850-2698**

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

فضلی، مسعود، جعفرزاده افشاری، احمد و حاجی آقائی کشتلی، مصطفی. (۲۰۲۰a). شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه‌های ساختمانی سبز با استفاده از رویکرد ترکیبی SWARA-COPRAS: (مطالعه موردی: شهرستان آمل). مطالعات مدیریت صنعتی، ۱۸(۵۸)، ۱۳۹-۱۹۲.

فضلی، مسعود، فلاح، علی و خاکباز، امیر. (۲۰۲۰b). مدیریت ریسک در پروژه‌های ساختمانی با در نظر گرفتن روابط متقابل ریسک پروژه: بیشینه نمودن مطلوبیت. مطالعات مدیریت صنعتی، ۱۸(۵۶)، ۳۳۷-۳۷۴.

گل پیرا، هیرش، بابایی تیرکلایی، عرفان، تقوی فرد، محمد تقی، ظاهری، فائق. (۲۰۲۱). زمان بندی چند پروژه‌ای بهینه با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان و کیفیت در زنجیره تأمین ساخت و ساز: الگوریتم ژنتیک ترکیبی. مطالعات مدیریت صنعتی، ۱۹(۶۱).

References

Alimardani, M., Hashemkhani Zolfani, S., Aghdaie, M. H., & Tamošaitienė, J. (2013). A novel hybrid SWARA and VIKOR methodology for supplier selection in an agile environment. *Technological and Economic Development of Economy*, *19*(3), 533-548.

Amiri, M., & Golozari, F. (2011). Application of fuzzy multi-attribute decision making in determining the critical path by using time, cost, risk, and quality criteria. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *54*(1-4), 393-401.

Aras, A. C., & Kaynak, O. (2014). Interval type-2 fuzzy neural system based control with recursive fuzzy C-means clustering. *Int. J. Fuzzy Syst*, *16*(3), 317-326.

Baležentis, A., Baležentis, T., & Brauers, W. K. (2012). Personnel selection based on computing with words and fuzzy MULTIMOORA. *Expert Systems with applications*, *39*(9), 7961-7967.

Baležentis, T., & Zeng, S. (2013). Group multi-criteria decision making based upon interval-valued fuzzy numbers: an extension of the MULTIMOORA method. *Expert Systems with Applications*, *40*(2), 543-550.

Bezdek, J. C. (2013). *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms*. Springer Science & Business Media.

Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*, *35*(2), 445.

Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2010). Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies. *Technological and Economic Development of Economy*, (1), 5-24.

Brauers, W. K., Baležentis, A., & Baležentis, T. (2011). MULTIMOORA for the EU Member States updated with fuzzy number theory. *Technological and Economic Development of Economy*, *17*(2), 259-290.

Cao, J., Ji, X., Li, P., & Liu, H. (2011). Design of adaptive interval type-2 fuzzy control system and its stability analysis. *International Journal of Fuzzy Systems*, *13*(4), 334-343.

Cao, Q., Esangbedo, M. O., Bai, S., & Esangbedo, C. O. (2019). Grey SWARA-FUCOM weighting method for contractor selection MCDM problem: A case study of floating solar panel energy system installation. *Energies*, *12*(13), 2481.

Celikyilmaz, A., & Turksen, I. B. (2009). Modeling uncertainty with fuzzy logic. *Studies in fuzziness and soft computing*, *240*.

Chanas, S., & Zieliński, P. (2001). Critical path analysis in the network with fuzzy activity times. *Fuzzy sets and systems*, *122*(2), 195-204.

Chen, C. T., & Huang, S. F. (2007). Applying fuzzy method for measuring criticality in project network. *Information sciences*, *177*(12), 2448-2458.

Chen, S. M., & Lee, L. W. (2010). Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the interval type-2 TOPSIS method. *Expert systems with applications*, *37*(4), 2790-2798.

Chen, S. P. (2007). Analysis of critical paths in a project network with fuzzy activity times. *European Journal of Operational Research*, *183*(1), 442-459.

Chiao, K. P. (2021). Multi-criteria decision making with interval type 2 fuzzy Bonferroni mean. *Expert systems with applications*, *176*, 114789.

Deveci, M., Cali, U., Kucuksari, S., & Erdogan, N. (2020). Interval type-2 fuzzy sets based multi-criteria decision-making model for offshore wind farm development in Ireland. *Energy*, *198*, 117317.

Dorfeshan, Y., Mousavi, S. M., Vahdani, B., & Siadat, A. (2018). Determining project characteristics and critical path by a new approach based on modified NWRT method and risk assessment under an interval type-2 fuzzy environment.

Fazli, M., Fallah, M., Khakbaz. (2020b). Risk management in construction projects by considering project risk interrelationships: Maximizing utility. *Industrial Management Studies, 18(*56), 337-374[In Persian]

Fazli, M., Jafarzadeh Afshari, A., Haji Aghaei, k. (2020). Identification and ranking of green construction project risks by using a hybrid COPRAS-SWARA (Case study: Amol city). *Industrial Management Studies, 18(*58), 139-192[In Persian]

Gitinavard, H., Mousavi, S. M., & Vahdani, B. (2016a). A new multi-criteria weighting and ranking model for group decision-making analysis based on interval-valued hesitant fuzzy sets to selection problems. *Neural Computing and Applications*, *27*(6), 1593-1605.

Gitinavard, H., Mousavi, S. M., Vahdani, B., & Siadat, A. (2016b). A new distance-based decision model in interval-valued hesitant fuzzy setting for industrial selection problems. *Scientia Iranica, 23*(4), 1928-1940.

Gol Pera, H., Babaei Tirkalaei, E., Taghavi Fard, Zaheri, Faegh. (2021). Optimal Multi-Project Scheduling Considering Reliability and Quality in the Construction Supply Chain: A Combined Genetic Algorithm. *Industrial Management Studies, 19(*61). [In Persian]

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.

Karabasevic, D., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Stanujkic, D. (2016). The framework for the selection of personnel based on the SWARA and ARAS methods under uncertainties. *Informatica*, *27*(1), 49-65.

Karande, P., & Chakraborty, S. (2012). A Fuzzy-MOORA approach for ERP system selection. *Decision Science Letters*, *1*(1), 11-21.

Karnik, N. N., & Mendel, J. M. (2001). Centroid of a type-2 fuzzy set. *Information Sciences*, *132*(1), 195-220.

Kaur, P., & Kumar, A. (2014). Linear programming approach for solving fuzzy critical path problems with fuzzy parameters. *Applied Soft Computing*, *21*, 309-319.

Kelley Jr, J. E. (1961). Critical-path planning and scheduling: Mathematical basis. *Operations research*, *9*(3), 296-320.

Keršulienė, V., & Turskis, Z. (2011). Integrated fuzzy multiple criteria decision making model for architect selection. *Technological and Economic Development of Economy*, *17*(4), 645-666.

Lee, L. W., & Chen, S. M. (2008, July). Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the extension of TOPSIS method and interval type-2 fuzzy sets. In *2008 International Conference on Machine Learning and Cybernetics* (Vol. 6, pp. 3260-3265). IEEE.

Liang, S. K., Yang, K. L., & Chu, P. (2004). Analysis of fuzzy multiobjective programming to CPM in project management. *Journal of Statistics and Management Systems*, *7*(3), 597-609.

Liu, D., & Hu, C. (2021). A dynamic critical path method for project scheduling based on a generalised fuzzy similarity. Journal of the *Operational Research Society*, *72*(2), 458-470.

Liu, H. C., Fan, X. J., Li, P., & Chen, Y. Z. (2014). Evaluating the risk of failure modes with extended MULTIMOORA method under fuzzy environment. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *34*, 168-177.

Liu, P., Gao, H., & Fujita, H. (2021). The new extension of the MULTIMOORA method for sustainable supplier selection with intuitionistic linguistic rough numbers. *Applied Soft Computing*, *99*, 106893.

Madhuri, K. U., Siresha, S., & Shankar, N. R. (2012). A new approach for solving fuzzy critical path problem using LL fuzzy numbers. *Applied Mathematical Sciences*, *6*(27), 1303-1324.

Mehlawat, M. K., & Gupta, P. (2016). A new fuzzy group multi-criteria decision making method with an application to the critical path selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *83*(5-8), 1281-1296.

Mendel, J. M., John, R. I., & Liu, F. (2006). Interval type-2 fuzzy logic systems made simple. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, *14*(6), 808-821.

Mohagheghi, V., Mousavi, S. M., & Vahdani, B. (2015). A new optimization model for project portfolio selection under interval-valued fuzzy environment. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *40*(11), 3351-3361.

Mohagheghi, V., Mousavi, S. M., & Vahdani, B. (2016). A new multi-objective optimization approach for sustainable project portfolio selection: a realworld application under interval-valued fuzzy environment. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, *13*(6), 41-68.

Mousavi, S. M., & Vahdani, B. (2016). Cross-docking location selection in distribution systems: a new intuitionistic fuzzy hierarchical decision model. *International Journal of computational intelligence Systems*, *9*(1), 91-109.

Mousavi, S. M., Vahdani, B., & Behzadi, S. S. (2016). Designing a model of intuitionistic fuzzy VIKOR in multi-attribute group decision-making problems. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, *13*(1), 45-65.

Negoita, C., Zadeh, L., & Zimmermann, H. (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy sets and systems*, *1*(3-28), 61-72.

Pour, N. S., Zeynali, S., & Kheradmand, M. (2012). Calculating the fuzzy project network critical path. *International Journal of Engineering & Technology*, *1*(2), 58-66.

Rani, P., & Mishra, A. R. (2021). Fermatean fuzzy Einstein aggregation operators-based MULTIMOORA method for electric vehicle charging station selection. *Expert Systems with Applications*, *182*, 115267.

Samayan, N., & Sengottaiyan, M. (2017). Fuzzy critical path method based on ranking methods using hexagonal fuzzy numbers for decision making. *Journal of intelligent & fuzzy systems*, *32*(1), 157-164.

San Cristobal, J. R. (2012). Critical path definition using multicriteria decision making: PROMETHEE method. *Journal of Management in Engineering*, *29*(2), 158-163.

Stanujkic, D. (2016). An extension of the ratio system approach of MOORA method for group decision-making based on interval-valued triangular fuzzy numbers. *Technological and Economic Development of Economy*, *22*(1), 122-141.

Stanujkic, D., Karabasevic, D., & Zavadskas, E. K. (2015). A framework for the selection of a packaging design based on the SWARA method. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, *26*(2), 181-187.

Stanujkic, D., Magdalinovic, N., Jovanovic, R., & Stojanovic, S. (2012). An objective multi-criteria approach to optimization using MOORA method and interval grey numbers. *Technological and Economic Development of Economy*, *18*(2), 331-363.

Ulutaş, A., Karakuş, C. B., & Topal, A. (2020). Location selection for logistics center with fuzzy SWARA and CoCoSo methods. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, *38*(4), 4693-4709.

Vahdani, B., Mousavi, S. M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Ghodratnama, A., & Mohammadi, M. (2014a). Robot selection by a multiple criteria complex proportional assessment method under an interval-valued fuzzy environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *73*(5), 687-697.

Vahdani, B., Salimi, M., & Mousavi, S. M. (2015). A compromise decision-making model based on VIKOR for multi-objective large-scale nonlinear programming problems with a block angular structure under uncertainty. *Scientia Iranica*, *22*(6), 22571-2584.

Vahdani, B., Salimi, M., and S.M. Mousavi. (2014b). A new compromise decision-making model based on TOPSIS and VIKOR for solving multi-objective large-scale programming problems with a block angular structure under uncertainty, *International Journal of Engineering Transactions B: Applications*, *27*(11), 1673-1680.

Zadeh, L. A. (1974, August). Fuzzy Logic and Its Application to Approximate Reasoning. In *IFIP Congress* (Vol. 591).

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.

Zhang, Z., & Zhang, S. (2013). A novel approach to multi attribute group decision making based on trapezoidal interval type-2 fuzzy soft sets. *Applied Mathematical Modelling*, *37*(7), 4948-4971.

Zolfani, S. H., Salimi, J., Maknoon, R., & Kildiene, S. (2015). Technology foresight about R&D projects selection; Application of SWARA method at the policy making level. *Engineering Economics*, *26*(5), 571-580.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

استناد به این مقاله: درفشان، یحیی.، موسوی سید، میثم.، وحدانی، بهنام. (۱۴۰۱). تعیین مسیرهای بحرانی پروژه با یک رویکرد جدید مبتنی بر ترکیب روش‌های MULTIMOORA و SWARA توسعه‌یافته و با تمرکز بر معیارهای زمان، هزینه، کیفیت، ریسک و ایمنی در محیط فازی نوع-۲ بازه‌ای، *فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی*، ۲۰(۶۷)، ۸۵-۱۱۹.

DOI: 10.22054/jims.2022.25775.1887

Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.