Journal of Structural and Construction Engineering, 9(8), 2022, pp. 117-137

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Risk evaluation of dam construction projects using PROMETHEE method and GAIA analysis

Farzad Fadaie[1], Mehdi Azhdary Moghaddam[2], Mohammad Reza Shahraki[3]*

1- PhD student, Department of Civil engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
2- Assistant professor, Department of Civil engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
3- Assistant professor, Department of industrial engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

ABSTRACT

Due to the strategic nature of water supply, dam construction projects are very important and at the same time costly projects. Various project-related risks are important factors affecting the economic viability of construction projects. Dam construction projects have a high risk among construction projects due to the need to spend a lot of time and money, as well as the appropriate quality and sometimes complex spatial conditions of the construction site. This research identifies and determines the importance of risks and their ranking in dam construction projects, using PROMETHEE multi-criteria decision-making method and GAIA analysis. To evaluate project risk, firstly, it is necessary to identify the types of risks in projects. Risks have been extracted using data from earlier researches as well as interviews with experts in the field of dam construction. The final selection of risks has been done by screening through fuzzy Delphi method. Then the ranking of risks and their impact on the project is determined using the PROMETHEE method and GAIA analysis. The results represented that exchange rate change, sanctions, geotechnical conditions, overpass and dam failure are the most important risks in dam construction projects. The results also indicated that the use of the PROMETHEE method and GAIA analysis can accurately rank the risk of dam projects and other construction projects.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 15 August 2021
Revise Date: 16 January 2022
Accept Date: 07 February 2022

Keywords:
Dam Construction
Evaluation
Risk
PROMETHEE
GAIA Analysis

doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2022.299099.2526

*Corresponding author: Mohammad Reza Shahraki.
Email address: mr.shahrak@eng.usb.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

ارزیابی ریسک پروژه های سدسازی با استفاده از روش پرومته و آنالیز گایا

فرزاد فدایی[۱]، مهدی اژدری مقدم[۲]، محمدرضا شهرکی[۳*]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران ، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲- استاد گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

چکیده

پروژه‌های سدسازی، به علت استراتژیک بودن تأمین آب، پروژه‌های بسیار مهم و درعین‌حال پرهزینه می‌باشند. یکی از عواملی که می‌تواند پروژه‌های بزرگ را ازلحاظ اقتصادی، مقرون‌به‌صرفه کند، شناسایی و رتبه بندی ریسک های موثر بر آن پروژه می‌باشد. پروژه‌های سدسازی با صرف زمان و هزینه‌های زیاد و شرایط مکانی پیچیده، دارای ریسک بیشتری نسبت به سایر پروژه‌های عمرانی می‌باشند. از این‌رو در این تحقیق به شناسایی و تعیین اهمیت ریسک‌ها و رتبه‌بندی آن‌ها در پروژه‌های سدسازی، با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره پرومته و آنالیز گایا پرداخته شده است. برای ارزیابی ریسک پروژه‌های سدسازی لازم است ابتدا انواع ریسک‌ها در پروژه‌ها مشخص می‌شوند به این منظور ریسک‌ها با استفاده از داده‌های پژوهش‌های پیشین و همچنین مصاحبه با کارشناسان حوزه سدسازی استخراج‌شده است. انتخاب نهایی ریسک‌ها به‌وسیله غربال‌گری از طریق روش دلفی فازی انجام‌شده است. سپس با روش پرومته و آنالیز گایا، رتبه ریسک‌ها تعیین و تأثیر آن‌ها بر پروژه تعیین شده است نتایج حاصل نشان داد تحریم (Phi = 0.4951)، تصمیمات کلان اقتصادی (Phi = 0.4525)، شکست سد (Phi = 0.3834)، روگذری سد (Phi = 0.2988)، حجم دبی زیاد (Phi = 0.2297)، شرایط ژئوتکنیکی (Phi = 0.2297)، حداکثر حجم سیلاب محتمل (Phi = 0.1606)، ارتفاع سیلاب (Phi = 0.1606) و حداکثر باران محتمل (Phi = 0.1549) به ترتیب دارای اولویت بیشتری نسبت به سایر ریسک ها در زمینه سدسازی هستند. همچنین نتایج بیانگر این بود که با استفاده از روش پرومته و آنالیز گایا می‌توان با دقت قابل قبولی به رتبه‌بندی ریسک پروژه‌های سدسازی و سایر پروژه‌های عمرانی پرداخته شود.

کلمات کلیدی: سدسازی، روش‌های تصمیم‌گیری، دلفی فازی، پرومته، آنالیز گایا

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:	
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://doi.org/10.22065/jsce.2022.299099.2526	doi:
۱۴۰۰/۰۵/۲۴	۱۴۰۰/۱۰/۲۶	۱۴۰۰/۱۱/۱۸	۱۴۰۰/۱۱/۱۸	۱۴۰۱/۰۸/۳۱	10.22065/jsce.2022.299099.2526	

*نویسنده مسئول: محمدرضا شهرکی

پست الکترونیکی: mr.shahrak@eng.usb.ac.ir

۱- مقدمه

انجمن بیمه و ریسک آمریکا، ریسک را عدم اطمینان از پیامد حادثه‌ای که دو احتمال یا بیشتر دارد، تعریف نموده است [۱]. ریسک مربوط به حالتی است که یک فرایند آن‌طور که پیش‌بینی‌شده است، رفتار نکند [۲]. ریسک‌ها به دودسته ریسک‌های عمومی و ریسک‌های مربوط به هر پروژه تقسیم می‌شوند که در مدل‌سازی‌های مختلف ریسک، به شکل زیادی مورداستفاده قرار می‌گیرند [۳]. پارامترهایی که در ارزیابی ریسک بکار می‌روند، بسته به نوع پروژه و محیط قابل‌اجرای آن، متفاوت خواهد بود. برای تعیین پارامترهای ریسک، نیاز به دانش عمیق در مورد سازمان و پروژه، بستر حقوقی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی و نیز اطلاعات درست از اهداف خواهد بود [۴]. با توجه به کمبود منابع آبی در کشور ایران و لزوم استفاده بهینه از آب‌های سطحی جهت امور شرب، کشاورزی، و صنعت و نیز اهمیت تولید برق از طریق نیروگاه‌های برق-آبی، سرمایه‌گذاری‌های عمده‌ای در بخش سدسازی انجام‌گرفته است [۵]. پروژه‌های سدسازی، به علت استراتژیک بودن تأمین آب، پروژه‌هایی بسیار مهم و درعین‌حال پرهزینه می‌باشند. با توجه به محدودیت بودجه‌های عمرانی و تعهداتی که ناشی از اجرای پروژه‌های سدسازی می‌شود، ضروری است مطالعات ریسک این پروژه‌ها جهت شناسایی، اولویت‌بندی و ارزیابی ریسک‌ها صورت گیرد. درواقع اولویت‌بندی این پروژه‌ها و اجرای آن‌ها با توجه به نتایج مطالعات ریسک، باعث بهره‌برداری بهینه از منابع محدود مالی و اتمام پروژه‌ها در زمان تعیین‌شده، خواهد شد. عدم انتخاب صحیح پروژه‌های سدسازی برای اجرا، با توجه به پارامترهای ریسک آن‌ها، باعث اتلاف سرمایه و منابع و نیز عدم دستیابی به اهداف تبیین شده پروژه خواهد شد.

در قالب برنامه‌های تدوین‌شده برای بخش آب، طرح‌های آب‌رسانی به شهرها و روستاها، مهار سیلاب‌ها، جلوگیری از خروج آب‌های مرزی، تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعت و غیره به‌عنوان اهداف کلان اجرای سدها تعریف می‌شوند [۶]. برای دستیابی به این اهداف لازم است برنامه‌ریزی دقیق و مدونی انجام گیرد که این کار با تعریف انواع پروژه‌ها و زیر پروژه‌ها صورت می‌پذیرد [۷]. هدف این تحقیق، شناسایی و ارزیابی ریسک در پروژه‌های سدسازی، جهت صرفه‌جویی‌های اقتصادی، استفاده بهینه از منابع، بالا بردن بهره‌وری و اتمام پروژه در زمان تعیین‌شده می‌باشد. در این تحقیق برای ارزیابی ریسک پروژه‌های سدسازی، ابتدا ریسک‌ها مشخص شده است و سپس ریسک های تعیین‌شده که به‌عنوان شاخص در نظر گرفته شده‌اند را بر اساس روش پرومته که براساس جمع‌آوری نظرات افراد خبره می‌باشد، اولویت‌بندی شده است.

تحقیق حاضر در مقایسه با تحقیقات مشابه با استفاده از روش دلفی فازی به شناسایی تعداد بیشتری از ریسک ها و غربال گری آن ها پرداخته است که از این حیث، بیشترین تعداد ریسک (۷۳ ریسک) را در مقایسه با تحقیقات مشابه مورد بررسی قرار داده است. همچنین استفاده از اعداد فازی با توجه به نزدیکی آن ها به مفاهیم ذهنی انسان، به دقیق تر شدن نتایج تعیین ریسک ها می انجامد. در نظر گرفتن تعداد ۳۰ نفر اعضای پانل تصمیم گیری شامل اساتید دانشگاه، مدیران، پیمانکاران و کارشناسان با حداقل ۱۰ سال سابقه سدسازی و تحصیلات حداقل فوق‌لیسانس که اطلاع کاملی از پروژه‌های سدسازی داشته و در حال حاضر مشغول به کار هستند، احتمال بروز خطا را در شناسایی و رتبه بندی ریسک ها کاهش داد. همچنین روش پرومته یکی از روش‌های تصمیم گیری چندمعیاره است که نتایج آن از دقت زیادی برخوردار است زیرا برای ارزیابی و رتبه بندی ریسک ها براساس معیارها، نوع شاخص، و تابع برتری، آستانه بی‌تفاوتی و آستانه برتری را تعیین و برای افزایش کارائی از تکنیک «تحلیل هندسی برای کمک متقابل» یا گایا (GAIA) استفاده نموده که این تکنیک دو نوع اطلاعات برتری و اطلاعات مادونی را ارائه نموده که براساس آن میزان بهتر بودن و میزان بدتر بودن گزینه‌ها تعیین و گزینه‌ها یکبار براساس میزان بهتر بودن و یک بار براساس میزان بدتر بودن رتبه‌بندی شوند.

در ادامه این تحقیق در بخش دوم به تحقیقات انجام‌شده در این زمینه اشاره شده است. در بخش سوم به معرفی پارامترهای مورداستفاده در این تحقیق پرداخته و در بخش چهارم، درباره نتایج روش استفاده‌شده ارائه شده است. در بخش پایانی به بحث و نتیجه‌گیری درباره روش و نتایج تحقیق پرداخته شده است.

۲- پیشینه تحقیق

با توجه به اینکه موفقیت شرکت‌های پروژه محور، به شکل قابل‌ملاحظه‌ای وابسته به ارزیابی و مدیریت ریسک‌ها می‌باشد، در دهه‌های اخیر مقوله ارزیابی ریسک در پروژه‌ها، با متدولوژی‌های مختلف، رشد چشمگیری داشته است [۸]. ارزیابی و مدیریت موفق ریسک‌ها، نیازمند شناسایی ریسک و ساخت مدل ریسک برای ارزیابی آن است [۹]. داود و همکاران به ارزیابی ریسک ناشی از خرابی سدی در مالزی با استفاده از روش AHP[۱] پرداختند آن‌ها سه معیار ریسک مورد بررسی قرار دادند که عبارتند از ساختاری، انسانی و طبیعی. با توجه به نتایج برای معیارهای ساختاری، اولویت نشت که وزن نهایی آن ۷۰،۱ درصد است دارای بیشترین اهمیت است [۴]. رجبی و همکاران برای تدوین یک مدل جامع برای ارزیابی فاکتورهای حیاتی در عملکرد اجرایی پروژه سد طالقان، ابتدا منابع معتبر موجود در این زمینه را موردبررسی قرار داده و فاکتورهای حیاتی را تعیین کردند. آن ها برای ارزیابی سه معیار اصلی هزینه، زمان و کیفیت را به‌عنوان معیارهای موفقیت پروژه در نظر گرفتند [۱۰].

شمسایی و رزم‌آرا ضمن بررسی ریسک‌های مختلف پروژه‌های سدسازی، مزایای تلفیق تکنیک‌های مدیریت ریسک و مهندسی ارزش را ارائه نموده‌اند. آن ها با تلفیق مدیریت ریسک و مهندسی ارزش، راهکارهایی برای جلوگیری از بروز ریسک‌ها ارائه نمودند [۱۱]. فدایی و همکاران در تحقیقی به تعیین اهمیت ریسک ها و رتبه بندی آنها در پروژه های عمرانی و سپس اولویت بندی پروژه های مختلف براساس ریسک ها، بخصوص در پروژه های سد سازی، با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. انتخاب و اجرای پروژه با کمترین ریسک، می تواند اثرات زیادی بر زمان و هزینه اجرای پروژه های عمرانی و سد سازی داشته باشد. ازجمله این اثرات، می توان به صرفه جویی های اقتصادی، استفاده بهینه از منابع و بالا بردن بهره وری اشاره نمود. برای ارزیابی ریسک پروژه ها لازم است ابتدا پارامترهای ریسک در پروژه ها مشخص و اولویت بندی شوند و سپس با مقایسه های دودویی، رتبه ریسک ها تعیین و تاثیر آنها بر پروژه های مورد نظر محاسبه شود. بنابراین فرایند تحلیل سلسله مراتبی می تواند یکی از راه حل های این ارزیابی باشد [۱۲]. چینی چیان در مقاله خود به ارائه مدل رتبه‌بندی فازی در فرایند مدیریت ریسک پروژه‌ها پرداخت. مدل ارائه‌شده، بر مبنای داده‌های کیفی، مجموعه‌های فازی گسسته، تئوری رتبه‌بندی در حالت گسسته و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است. درنهایت با استفاده از مدل پیشنهادی و استاندارد PMBOK[۲]، به اولویت‌بندی ریسک‌های شناسایی‌شده در پروژه سد دره سجین زنجان پرداخت [۱۳].

دری و حمزه‌ای با استفاده از تکنیک ANP[۳] به‌عنوان یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به انتخاب یک راهبرد از بین چند راهبرد پاسخ مربوط به یک ریسک پرداختند. در این پژوهش ابتدا اصلی‌ترین ریسک پروژه از طریق پرسشنامه تعیین‌شده است. سپس استراتژی‌های پاسخ برای مهم‌ترین ریسک بحرانی، مشخص و درنهایت با کمک تکنیک گروه اسمی، مدل تصمیم‌گیری تهیه و از طریق مقایسات زوجی، بهترین استراتژی برای مهم‌ترین ریسک در پروژه توسعه میدان نفتی آزادگان شمالی انتخاب‌شده است [۱۴]. زارع و احمدی ناصری پروژه‌های عملی را با استفاده از AHP فازی مورد ارزیابی قراردادند. در این تحقیق ضمن اشاره به نقایص مربوط به ارزیابی به روش سنتی، چگونگی استفاده از روش AHP فازی جهت ارزیابی پروژه‌های عملی بررسی‌شده و پروژه‌های عملی نسبت به هم و نسبت به معیارهای موجود، مقایسه نمودند [۱۵]. نجفی و کریمی پور با استفاده از یک الگوی مناسب پیش‌بینی، میزان ریسک پروژه‌های تولیدی را بررسی نمودند. در این مقاله از روش AHP فازی و انجام مقایسات زوجی، استفاده شده است [۱۶]. کاظم‌زاده و موسوی به ارائه مدل ریسک‌پذیری زمانی پروژه‌های عمرانی بر اساس ارزیابی ریسک‌پذیری فازی پرداختند. آن ها به تخمین ریسک زمانی پروژه در فاز اجرا پرداختند و مدل‌سازی ریسک‌های هر فعالیت را به‌صورت مجزا فراهم کردند [۱۷]. فریفته جهانتیغ امکان‌سنجی احداث سد زیرزمینی را با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مورد ارزیابی قرار داده و معیارهای مؤثر در مکان‌یابی سد را شناسایی و با استفاده از روش AHP و انجام مقایسات زوجی بین معیارها، بهترین مکان سد را پیشنهاد نمود. آن‌ها در نهایت در یافتند که برای شناسایی محدوده های مستعد احداث سد زیرزمینی ابتدا لازم است که با درنظر گرفتن تعدادی از معیارها نقاط نامناسب حذف گردد [۱۸]. بلویی و پرایس[۴]

[1] Analytic Hierarchy Process (AHP)
[2] Project Management Body of Knowledge
[3] Analytic Network Process
[4] Baloi & Price

عوامل ریسک را که بر عملکرد هزینه پروژه‌های عمرانی مؤثر می‌باشند، با روش تحلیل سلسله مراتبی، مدل‌سازی کرده اند، که نتیجه آن دسته‌بندی عمده برای ریسک‌های موجود در پروژه‌های عمرانی بوده است [۹]. لینکوف[5] و همکارانش ارزیابی ریسک را با استفاده از روش‌های تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره انجام داده و مدلی را برای ارزیابی‌های ریسک ارائه دادند [۱۹]. تارون و همکاران ریسک در پروژه‌های عمرانی را ارزیابی و مدل‌سازی کردند. آن ها به بررسی تاریخچه ارزیابی‌های ریسک و روش های مورداستفاده در آن‌ها پرداختند [۲۰]. شهرکی و مصری به ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک پروژه‌های عمرانی با رویکرد ترکیبی دیمتل و فرآیند تحلیل شبکه‌ای در پروژه آب‌رسانی دشت سیستان-هامون ۲ پرداختند. آن ها ابتدا به شناسایی ریسک‌های موجود در پروژه‌های عمرانی پرداختند. سپس مقایسه زوجی برای وزن دهی و تعیین اهمیت عوامل ریسک را انجام دادند. آن‌ها در نهایت دریافتند که ریسک اجتماعی نسبت به سایرین اهمیت ویژه ای در مراحل متفاوت کار دارد [۲۱]. قندی و روزبهانی مدیریت ریسک تأمین آب آشامیدنی در شرایط بحرانی با استفاده از تکنیک فازی PROMETHEE[6] V پرداختند. آن ها از این مدل در یک مطالعه موردی از شهر تهران در ایران استفاده کردند. با توجه به عدم اطمینان در نظرات متخصص و پارامترهای مورد نیاز برای مدیریت ریسک تأمین آب آشامیدنی ، این مدل با سه روش فازی و یک روش غیر فازی حل شد و نتایج مقایسه شد. یافته ها نشان داد که تقویت پدافند غیرعامل در سیستم های تامین، حمل و نقل و توزیع آب، مهم‌ترین نقش را داراست [۲۲]. لی و همکاران به تجزیه و تحلیل خطر برنامه با استفاده از پرومته در مدیریت ساخت و ساز ساختمان پرداختند. پروژه های ساختمانی عوامل مختلفی از عدم قطعیت را در بر می‌گیرند. برای موفقیت در پروژه‌ها ، نحوه مدیریت ریسک ها مهم است. آن ها در نهایت دریافتند که پرومته وقتی که عوامل خطر از بین می روند و در پایگاه داده ریسک قرار می گیرند ، روش تجزیه و تحلیل ریسک را ساده می کند [۲۳]. ایکوان و همکاران از رویکرد ترکیبی AHP-PROMETHEE[7] برای پیش بینی خطر هوشمند نشت در یک مخزن ذخیره سازی استفاده کردند. مدل جدید توصیف شده در این مقاله به تصمیم گیرندگان کمک می کند تا پیش بینی کنند که کدام مخزن ممکن است نشت پیدا کند و مشخص کند چه معیارهایی (منبع خطر) می تواند منجر به نشت شود [۲۴]. مرادپور و همکاران با استفاده از برنامه نویسی هیبریدی فازی PROMETHEE II به رتبه بندی ریسک در مطالعه موردی پروژه های احداث بزرگراه پرداختند. آن ها ابتدا با استفاده از روش ANP، معیارها وزن دهی کردند. سپس ، فرآیند رتبه بندی با استفاده از روش های PROMETHEE II و TOPSIS[8] فازی انجام شد. سرانجام، با محاسبه ضریب همبستگی اسپیرمن ، نتایج این دو روش مقایسه شد. سپس ، مهمترین خطرات از طریق برنامه نویسی هدف باینری فازی انتخاب شده و مجدداً از طریق روشهای PROMETHEE II و TOPSIS فازی رتبه بندی شدند و در مرحله آخر، این دو رتبه بندی مقایسه شدند [۲۵]. وسچرا و آلمیدا از رویکرد مبتنی بر PROMETHEE برای مشکلات انتخاب نمونه کارها استفاده کردند. نتایج این آزمایشات نشان داد که روشهای مبتنی بر مفهوم نمونه کارها بهینه c، تقریب مناسبی با رتبه بندی (اغلب غیرقابل محاسبه و غیرقابل کنترل) PROMETHEE از همه اوراق بهادار ارائه می دهند، در حالی که حتی برای مشکلات بزرگ فقط به تلاش محاسباتی کمی نیاز دارند. برای مشکلات کوچکتر، رتبه بندی PROMETHEE از کلیه نمونه کارهای مرزی می تواند انجام شود و تقریبی از رتبه بندی کل را فراهم آورد [۲۶]. محمدعدلی و امیدواری به ارزیابی شدت ریسک بحران در شبکه های گازرسانی با استفاده از روش ترکیبی AHP فازی و پرومته، در مطالعه موردی: شرکت ملی گاز قزوین پرداختند. با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق مشخص شد که برای ارزیابی بحران در شبکه های گاز لازم است که عوامل بحران زا را تعیین و بصورت تلفیقی آنها را مورد ارزیابی قرار داد تا بتوان میزان شدت ریسک بحران را در شبکه گاز تعیین نمود[۲۷]. رحمتی و همکاران به ارزیابی ریسک پروژه‌های سدسازی با استفاده از ماتریس احتمال – اثر پرداختند [۲۸]. ملماسی و همکاران به استفاده از روش ELECTRE به ارزیابی و رتبه بندی ریسک های زیست محیطی پروژه هاس سدسازی پرداختند [۲۹]. بید و سدیکو به ارزیابی ریسک های انسانی پانچت با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS پرداختند [۳۰]. شفیعی حق‌شناس و همکاران ریسک پروژه‌های سدسازی را با استفاده از تاپسیس فازی مورد بررسی قرار دادند [۳۱].

[5] Linkov
[6] Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations
[7] Analytic Hierarchy Process (AHP) - Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations
[8] Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

در این تحقیق به شناسایی و ارزیابی ریسک پروژه‌های سدسازی با استفاده از روش پرومته و آنالیز گایا اقدام شده است تا از این طریق بتوان، ریسک پروژه‌های سدسازی را بر اساس شرایط مختلفی که با آن مواجه می‌باشند، شناسایی و اولویت‌بندی نمود.

۳- روش تحقیق

۳- ۱- روش دلفی فازی[9]

برای ارزیابی پروژه های سدسازی در مرحله اول ضروری است تا پارامترهای موردنیاز برای ارزیابی ریسک، در این پروژه‌ها تعریف گردد. پارامترهای ریسک پروژه‌های سدسازی که به‌عنوان معیاری برای ارزیابی پروژه ها مورداستفاده قرار می‌گیرند، بسیار زیاد هستند؛ لذا باید بر اساس نوع ارزیابی، معیارهای تاثیرگذار که در ایجاد ریسک ها نقش بیشتری دارند، تعیین شوند. معیارهای تعریف‌شده در این تحقیق جهت تعیین و ارزیابی ریسک پروژه‌های سدسازی، با استناد به «فهرست خدمات مرحله شناسایی سدسازی»، شرکت مدیریت منابع آب ایران، می‌باشد [۵]. در این تحقیق برای انتخاب مهم ترین ریسک ها از بین ریسک های انتخاب شده، از روش دلفی فازی استفاده‌شده است. بکار گیری روش دلفی فازی عمدتاً باهدف شناسایی و تعیین عوامل قابل‌اطمینان و تهیه اطلاعات مناسب به‌منظور تصمیم‌گیری است. روش دلفی فازی فرایندی ساختاریافته برای جمع‌آوری و طبقه‌بندی دانش موجود در نزد کارشناسان و خبرگان است که از طریق توزیع پرسشنامه در بین این افراد و بازخور کنترل‌شده پاسخ‌ها و نظرات دریافتی صورت می‌گیرد. اساس و پایه تکنیک دلفی فازی بر این است که نظر متخصصان هر حوزه علمی در مورد پیش‌بینی آینده، درست‌ترین نظر است؛ بنابراین برخلاف روش‌های تحقیق پیمایشی، اعتبار روش دلفی نه به تعداد شرکت‌کنندگان در تحقیق، که به اعتبار علمی متخصصان شرکت‌کننده در پژوهش بستگی دارد [۳۲].

برای تعیین میزان اهمیت شاخص‌ها و غربال مهم‌ترین شاخص‌های شناسایی‌شده می‌توان از تکنیک دلفی با رویکرد فازی استفاده کرد. یکی از عمده‌ترین مزیت‌های تکنیک دلفی فازی نسبت به تکنیک دلفی سنتی جهت غربال شاخص‌ها آن است که می‌توان از یک راند برای تلخیص و غربال آیتم‌ها استفاده کرد. الگوریتم اجرای تکنیک دلفی فازی شامل گام‌های زیر است:

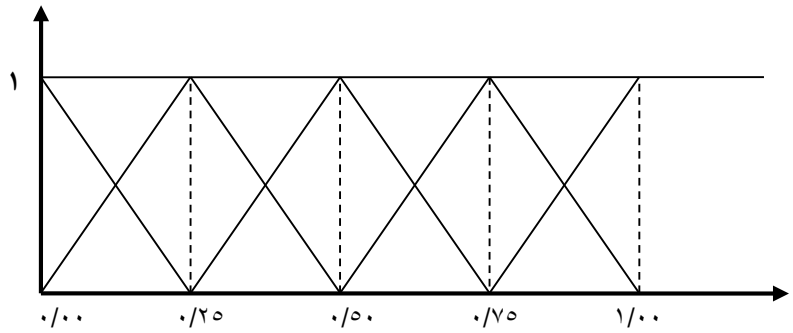
- ◊ شناسایی طیف مناسب برای فازی‌سازی عبارات کلامی
- ◊ تجمیع فازی مقادیر فازی شده
- ◊ فازی زدایی مقادیر
- ◊ انتخاب شدت آستانه و غربال معیارها

در الگوریتم اجرای تکنیک دلفی فازی برای غربالگری نخست باید طیف فازی مناسبی برای فازی‌سازی عبارات کلامی پاسخ‌دهندگان توسعه داد. برای این منظور می‌توان از روش‌های توسعه طیف فازی استفاده کرد یا از طیف‌های فازی متداول برای این منظور استفاده کرد. برای نمونه طیف فازی مثلثی برای مقیاس پنج درجه لیکرت در بیان اهمیت شاخص‌ها به‌صورت زیر است:

جدول۱- اعداد فازی مثلثی معادل طیف لیکرت ۵ درجه [۳۳]

خیلی بااهمیت	بااهمیت	متوسط	بی‌اهمیت	خیلی بی‌اهمیت
(۰/۷۵ ,۱ ,۱)	(۰/۵ ,۰/۷۵ ,۱)	(۰/۲۵ ,۰/۵ ,۰/۷۵)	(۰ ,۰/۲۵ ,۰/۵)	(۰ ,۰ ,۰/۲۵)

[9] Fuzzy Delphi Method



شکل ۱- اعداد فازی مثلثی معادل طیف لیکرت ۵ درجه [۲۹]

پس از انتخاب یا توسعه طیف فازی مناسب، دیدگاه خبرگان گردآوری‌شده و به‌صورت فازی ثبت می‌شود. در گام دوم باید به تجمیع دیدگاه خبرگان پرداخت. راه‌های متعددی برای تجمیع فازی دیدگاه خبرگان پیشنهادشده است. در واقع این روش‌های تجمیع، روش‌هایی تجربی هستند که توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده‌اند. برای نمونه یک روش مرسوم برای تجمیع مجموعه‌ای از اعداد فازی مثلثی را کمینه (l) و میانگین (m) و بیشینه (u) در نظر گرفته‌اند.

$$F_{AGR} = \left(min\{\mathrm{l}\}, \left\{ \frac{\sum m}{n} \right\}, max\{u\} \right) \quad (۱)$$

برای دیفازی نمودن اعداد فازی از روش فازی زدایی مرکز سطح با استفاده از رابطه (۲) استفاده شده است

$$DF_{ij} = \frac{[(u_{ij} - l_{ij}) + (m_{ij} - l_{ij})]}{3} + l_{ij} \quad (۲)$$

که در آن DF عدد دیفازی شده، u حد بالا عدد فازی، m مقدار میانی عدد فازی مثلثی و l حد پایین را نشان می دهد.

پس از جمع آوری ریسک پروژه های سدسازی با استفاده از پژوهش های قبلی انجام شده و غربالگری این ریسک ها با استفاده از روش دلفی فازی، تعداد ۲۵ ریسک با ضریب هماهنگی کندال بیشتر از ۰/۷ استخراج شد که در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲- ریسک های استخراج شده بر اساس روش دلفی فازی

ردیف	ریسک های اصلی	ریسک های فرعی	ریسک های جزیی	ریسک
۱	ریسک های فنی و تکنیکی	ریسک های زیست محیطی	آلودگی آب رودخانه	R1
۲			کاهش کیفیت خاک	R2
۳			کاهش شدید مواد آلی و بار مغذی پایین دست	R3
۴		حداکثر باران محتمل (PMP[10])		R4
۵		حداکثر حجم سیلاب محتمل (PMF[11])		R5
۶		کمبود اطلاعات	شرایط زمین	R6
۷			محل کار	R7
۸		ارتفاع سد		R8
۹		طول تاج سد		R9
۱۰		ارتفاع سطح آب سیلاب		R10
۱۱		مورفولوژی سد		R11
۱۲		بارگزاری سد در مرحله طراحی		R12
۱۳		حجم دبی زیاد وارد شده به سد		R13
۱۴		شکست سد		R14
۱۵		روگذری سد		R15
۱۶		حجم مخزن سد		R16
۱۷		بار مقاوم سیستم		R17
۱۸		بار وارده به سیستم		R18
۱۹		شرایط ژئوتکنیکی		R19
۲۰		شرایط زیر زمینی		R20
۲۱		اتصال و انفصال بیش‌ازحد به دلیل خاک‌ریزی در سدهای خاکی		R21
۲۲		فرسایش بیش‌ازحد خاک در سد های خاکی		R22
۲۳		فرسایش پراکنده از طریق ترک‌های عرضی در سدها خاکی		R23
۲۴	ریسک های سیاسی	تحریم		R24
۲۵		تصمیمات کلان اقتصادی از قبیل تغییر نرخ ارز		R25

پس از تعیین ریسک های موثر در پروژه های سدسازی با روش دلفی فازی، برای مشخص نمودن اولویت ریسک ها در پروژه های سدسازی از روش پرومته استفاده‌شده است.

[10] Probable Maximum Precipitation (PMP)
[11] Probable Maximum Flood (PMF)

۳- ۱- روش پرومته[12]

روش پرومته شکل اصلاح‌شده، ساده و قابل‌درک روش الکتره[13] می‌باشد [۳۴]. موفقیت روش پرومته به دلیل ویژگی‌های ریاضیاتی به‌کار رفته در آن می‌باشد. برای تصمیم‌گیری بر اساس روش پرومته، چهار گام اصلی می‌بایست طی شود که این چهار گام عبارت‌اند از:

۱) تشکیل جدول تصمیم‌گیری برای محاسبه انحراف گزینه‌ها نسبت به معیارهای مختلف
۲) محاسبه وزن معیارها
۳) محاسبه مدل ترجیح
۴) محاسبه جریان ترجیح

گام ۱) تشکیل جدول تصمیم‌گیری

روش پرومته با جدول تصمیم‌گیری، مسئله را آنالیز می‌کند. این جدول شامل گزینه‌ها و معیارها می‌باشد. شکل ریاضی جدول تصمیم‌گیری به‌صورت روابط (۳) و (۴) می‌باشد.

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots , \quad a_n\} \tag{۳}$$

$$max\ \{f_1(a_1), f_2(a_2), \dots, f_j(a_i), \dots, f_k(a_n)\} \tag{۴}$$

رابطه (۳)، مجموعه متناهی A است که شامل مجموعه گزینه‌های ممکن و رابطه (۴)، معیارهای ارزیابی نامیده می‌شود. شخص تصمیم‌گیرنده به دنبال گزینه‌ای است که تمامی معیارها را بهینه کند. معمولاً داده‌های اولیه مسئله چند شاخصه را به‌صورت جدول(۳) نمایش می‌دهند [۳۵].

جدول ۳- جدول تصمیم‌گیری

	f_1	f_2	..	f_k
a_1	$f_1(a_1)$	$f_2(a_1)$	..	$f_k(a_1)$
a_2	$f_1(a_2)$	$f_2(a_2)$	..	$f_k(a_2)$
…	…	…	..	…
a_n	$f_1(a_n)$	$f_2(a_n)$	..	$f_k(a_n)$

گام ۲) محاسبه وزن معیارها

وزن هر معیار شاخص مناسبی برای بیان اولویت معیارها نسبت به یکدیگر و بیانگر اهمیت نسبی آن معیار است. هر چه وزن معیار بیشتر باشد، معیار از اهمیت بیشتری نسبت به سایر معیارها برخوردار است. وزن‌ها، اعدادی غیر منفی هستند که جمع آن‌ها برابر ۱ می‌شود. در این گام از روش آنتروپی شانون[14] به‌منظور وزن دهی معیارها، استفاده‌شده است.

روش آنتروپی شانون باهدف محاسبه وزن معیارها استفاده می‌شود. در این روش اطلاعات ورودی همان جدول ماتریس تصمیم‌گیری می‌باشد. برای محاسبه وزن‌ها، طبق مراحل ۱ تا ۴ عمل می‌شود.

[12] PROMETHEE
[13] ELECTRE
[14] Shannon entropy

مرحله ۱) در آغاز کار، ماتریس تصمیم نرمال می‌گردد. این کار از طریق رابطه (۵) انجام می‌شود که در آن $f_j(a_i)$ معیار ارزیابی‌شده گزینه a_i برحسب معیار j می‌باشد.

$$N_{ij} = \frac{f_j(a_i)}{\sum_{i=1}^{m} f_j(a_i)} \; ; \; \forall j \qquad (۵)$$

مرحله ۲) محاسبه ماتریس E (مقدار آنتروپی) به ازای هر شاخص. برای محاسبه ماتریس E، از رابطه (۶) استفاده می‌شود.

$$E_j = \sum N_{ij} \times log\,(N_{ij}) \; ; \; \forall j \qquad (۶)$$

مرحله ۳) ماتریس وزن W_j از طریق رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$W_j = 1 + \left(k \times E_j\right) \; ; \; \forall j \qquad (۷)$$

که در آن k مقداری ثابت است و از طریق رابطه (۸) به دست می‌آید.

$$k = \frac{1}{log(m)} \qquad (۸)$$

m، تعداد گزینه‌ها می‌باشد.

مرحله ۴) بعد از محاسبه وزن‌های هر معیار، ممکن است مجموع وزن‌ها برابر یک نشود؛ بنابراین در این گام نرمال‌سازی وزن‌های نهایی طبق رابطه (۹) انجام می‌شود.

$$\acute{W}_j = \frac{w_j}{\sum w_j} \; ; \; \forall j \qquad (۹)$$

با محاسبه $\acute{W}_j$ ها، وزن هرکدام از معیار ها مشخص شده و می توان گزینه ها را ارزیابی کرد [۳۶].

گام ۳) محاسبه مدل ترجیح

در این گام انحراف میان معیارهای ارزیابی شده مربوط به گزینه ها براساس مقایسات زوجی با کمک رابطه (۱۰) محاسبه می شود که در آن d_j اختلاف دو معیار ارزیابی شده j بر حسب دو گزینه a و b می‌باشد.

$$d_j(a,b) = f_j(a) - f_j(b) \qquad (۱۰)$$

سپس تابع ترجیح برحسب اختلاف موجود بین دو گزینه مفروض، با استفاده از رابطه (۹) تشکیل می‌شود.

$$P_j(a,b) = F_j\left[d_j(a,b)\right] \qquad \forall a,b \epsilon A \;\; و \;\; j = 1,2,\dots,k \qquad (۱۱)$$

درواقع برای استفاده از این اطلاعات، تصمیم‌گیرنده یک تابع ترجیح انتخاب می‌کند. برای تسهیل موضوع، شش نوع تابع ترجیح برای تصمیم‌گیری ارائه‌شده است که در جدول (۲) آورده شده است. نتایج نشان داده است که شش نوع تابع ارجحیت مذکور برای بیشتر مسائل واقعی، مطلوب می‌باشند. در هریک از این توابع، پارامترهای ترجیحیp ، q یا s می‌بایست تعیین شوند. q آستانه بی‌تفاوتی

(بزرگ‌ترین تفاوت قابل‌اغماض)، p آستانه ترجیح (کوچک‌ترین تفاوتی که نشان‌دهنده ترجیح قطعی یک گزینه بر گزینه دیگر) و s فقط در تابع نوع شش استفاده می‌شود و نقطه عطف تابع گوسی می‌باشد و معمولاً مقداری بین p و q دارد.

در بخش انتهایی این گام، شاخص‌های ارجحیت، به‌منظور تعیین ترجیح گزینه a و b، بر اساس تمام معیارها و با اعمال وزن شاخص‌های محاسبه‌شده از گام ۲ (w_j)، از رابطه (۱۲) به دست می‌آید.

$$\pi(a,b) = \sum_{j=1}^{k} w_j p_j(a,b) \qquad \forall a,b \in A \tag{۱۲}$$

$\pi(a,b)$ ترجیح گزینه a بر گزینه b بر اساس مجموع معیارها می‌باشد و به این معنی است که گزینه a در بعضی معیارها بر گزینه b برتری دارد. چنان چه $\pi(a,b) \simeq 0$ باشد، به معنی ارجحیت کم گزینه a نسبت به گزینه b است و چنان چه $\pi(a,b) = 1$ به معنی ارجحیت زیاد(کامل) گزینه a نسبت به گزینه b می‌باشد [۳۷].

گام ۴) محاسبه جریان ترجیح

جریان ترجیح به‌منظور منظم کردن مقایسات زوجی و رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. سه نوع مختلف جریان ترجیحات در روش پرومته وجود دارد.

- $\emptyset^-(a)$ جریان منفی
- $\emptyset^+(a)$ جریان مثبت
- $\emptyset(a)$ جریان خالص

برای محاسبه جریان مثبت، منفی و خالص از روابط (۱۳)، (۱۴) و (۱۵) استفاده می‌شود.

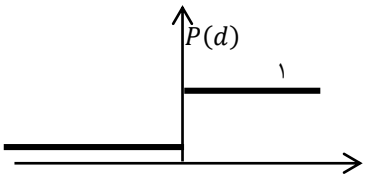
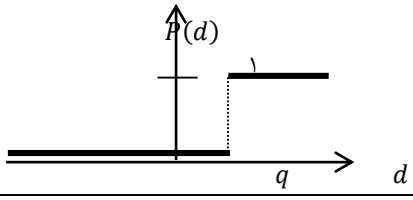
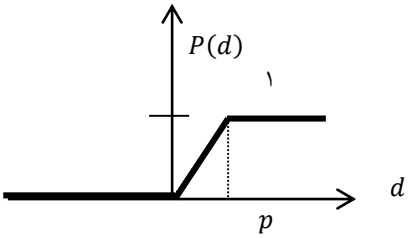
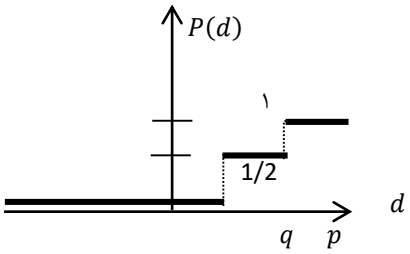
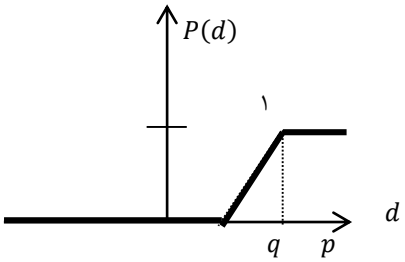
$$\emptyset^+(a) = \frac{1}{n-1}\sum_{x\in A}\pi(a,x) \qquad \text{(جریان مثبت)} \tag{۱۳}$$

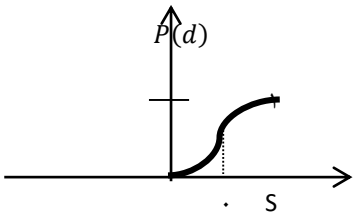
$$\emptyset^-(a) = \frac{1}{n-1}\sum_{x\in A}\pi(x,a) \qquad \text{(جریان منفی)} \tag{۱۴}$$

$$\emptyset(a) = \pi(b,a) - \pi(b,a) \quad \text{(جریان خالص)} \qquad \emptyset^+(a) - \emptyset^-(a) \tag{۱۵}$$

$\emptyset^+(a)$ جریان مثبت یا خروجی گزینه a (میزان اولویت گزینه a بر سایر گزینه‌ها)، $\emptyset^-(a)$ جریان منفی یا ورودی گزینه a (میزان مغلوب بودن گزینه a در برابر سایر گزینه‌ها) و $\emptyset(a)$ جریان خالص رتبه‌بندی می‌باشد. تصمیم‌گیرنده همیشه خواهان رتبه‌بندی کامل است. زیرا تصمیم‌گیری را آسان‌تر و قابل‌فهم‌تر می‌سازد. گزینه‌ای که بیشترین مقدار $\emptyset(a)$ را داشته باشد، رتبه بهتری را به خود اختصاص می‌دهد [۳۱]. جدول (۴) نشان دهنده انواع مختلف توابع ترجیحی شش‌گانه برنز و مارشال است که در زیر آمده است [۳۸].

جدول ۴- توابع ترجیحی شش‌گانه برنز و مارشال [۳۸]

نوع	نام معیار	پارامتر	شکل	رابطه	توضیحات
پرومته I	معیار عادی	–		$P(d)=\begin{cases}0 & d\le 0\\ 1 & d>0\end{cases}$	چنانچه امتیازهای دو آلترناتیو مساوی باشد، تفاوتی بین آن‌ها به وجود نمی‌آید.
پرومته II	معیار بخشی (Uشکل)	q (حد آستانه بی‌تفاوتی)		$P(d)=\begin{cases}0 & d\le q\\ 1 & d>q\end{cases}$	زمانی که تفاوت امتیازهای دو آلترناتیو در محدوده $d\le q$ باشد، تفاوتی بین آن‌ها به وجود نمی‌آید.
پرومته III	معیار V شکل	p (حد آستانه برتری)		$P(d)=\begin{cases}0 & d\le 0\\ \frac{d}{p} & 0<d\le p\\ 1 & d>p\end{cases}$	با تغییر امتیازها در فاصله $0<d\le p$ مقدار اولویت به‌صورت خطی تغییر می‌کند. اگر تفاوت بیشتر از p باشد، آلترناتیو موردنظر اولویت دارد.
پرومته IV	معیار پله‌ای	q,p		$P(d)=\begin{cases}0 & d\le q\\ \frac{1}{2} & q<d\le p\\ 1 & d>p\end{cases}$	اگر تفاوت امتیاز دو آلترناتیو در محدوده $d\le q$ باشد، هیچ تفاوتی وجود ندارد. درصورتی‌که تفاوت بین دو مقدار در فاصله $q\le d\le p$ باشد، یک برتری نسبی وجود دارد. اگر میزان تفاوت در فاصله $d>p$ باشد، اولویت کامل وجود دارد.
پرومته V	معیار V شکل با ناحیه بی‌تفاوتی	q,p		$P(d)=\begin{cases}0 & d\le q\\ \frac{d-q}{p-q} & q<d\le p\\ 1 & d>p\end{cases}$	اگر تفاوت امتیاز دو آلترناتیو در فاصله $d\le q$ باشد، هیچ تفاوتی وجود ندارد. درصورتی‌که تفاوت بین دو مقدار در فاصله $q<d\le p$ میزان اولویت به‌صورت خطی تغییر می‌کند. اگر میزان تفاوت در فاصله $d>p$ باشد، اولویت کامل وجود دارد.

پرومته VI	معیار گوسی	S (ارزش بینابینی)		$P(d) = 1 - e^{(-\frac{d^2}{2s^2})}$	با تفاوت میان امتیاز آلترناتیوها، میزان اولویت بر طبق رابطه افزایش می‌یابد. (پارامتر s به‌منظور تعریف نقطه عطف تابع ارجحیت انتخاب می‌شود.)

۳- ۲- ۱- رتبه‌بندی نسبی بر اساس پرومته I

رتبه‌بندی بر اساس دو جریان $\emptyset^+(a)$ و $\emptyset^-(a)$ می‌باشد و بدان معناست که لزومی به مقایسه تمام گزینه‌ها نیست. در رتبه‌بندی نسبی پرومته I، سه حالت مقایسه‌ای وجود دارد که جزییات آن در روابط (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) مطرح‌شده است.

$$\begin{cases} \emptyset^+(a) > \emptyset^+(b) \; and \; \emptyset^-(a) < \emptyset^-(b) \quad or \\ \emptyset^+(a) > \emptyset^+(b) \; and \; \emptyset^-(a) = \emptyset^-(b) \quad or \\ \emptyset^+(a) = \emptyset^+(b) \; and \; \emptyset^-(a) < \emptyset^-(b) \end{cases} \Leftrightarrow \; aP^I b \qquad (۱۶)$$

$$\emptyset^+(a) = \emptyset^+(b) \; and \; \emptyset^-(a) = \emptyset^-(b) \qquad \Leftrightarrow \; aI^I b \qquad (۱۷)$$

$$\begin{cases} \emptyset^+(a) > \emptyset^+(b) \; and \; \emptyset^-(a) > \emptyset^-(b) \quad or \\ \emptyset^+(a) < \emptyset^+(b) \; and \; \emptyset^-(a) = \emptyset^-(b) \end{cases} \Leftrightarrow \; aR^I b \qquad (۱۸)$$

علائم P^I ، I^I و R^I به ترتیب نشان‌دهنده «ترجیح»، «بی‌تفاوتی» و «غیرقابل مقایسه بودن» گزینه‌ها بر اساس رتبه‌بندی پرومته I می‌باشد [۳۳].

۳- ۲- ۲- رتبه‌بندی کامل بر اساس پرومته II

در این نوع رتبه‌بندی تمام گزینه‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند و در آن گزینه‌ای که غیرقابل مقایسه باشد، وجود ندارد. این رتبه‌بندی بر اساس جریان خالص است که در روابط (۱۹) و (۲۰) آورده شده است.

$$\emptyset(a) > \emptyset(b) \qquad \Leftrightarrow \; aP^{II} b \qquad (۱۹)$$

$$\emptyset(a) = \emptyset(b) \qquad \Leftrightarrow \; aI^{II} b \qquad (۲۰)$$

علائم P^{II} و I^{II} به ترتیب عبارت‌اند از "ترجیح" و "یکسان بودن" گزینه‌ها بر اساس پرومته II می‌باشد [۳۹].

۳- ۲- ۳- آنالیز گایا

آنالیز گایا[15] به معنی تجزیه و تحلیل هندسی برای کمک تعاملی، یک روش تجسمی، باهدف توصیف مسئله به‌صورت گرافیکی، به‌عنوان کامل‌کننده روش پرومته در ارزیابی گزینه‌ها استفاده می‌شود. ماتریس گایا با استفاده از جریان خالص $\emptyset(x)$ تشکیل می‌شود؛

[15] **G**eometrical **A**nalysis for **I**nteractive **A**id

بنابراین می‌تواند اطلاعات بیشتری نسبت به جدول تصمیم‌گیری، ارائه دهد. داده‌های ماتریس، توسط الگوریتم آنالیز مؤلفه‌های اصلی PCA[16] در صفحه‌نمایش گایا به تصویر کشیده می‌شود. تکنیک PCA برای کاهش ابعاد به‌طوری‌که اطلاعات ازدست‌رفته حداقل است، استفاده می‌شود. این کاهش ابعاد از یک مسئله چند معیاره به یک فضای دوبعدی که نشان‌دهنده روابط بین گرینه ها و معیارها است، تبدیل می‌شود. برای کنترل کیفیت آن، اطلاعات حفظ شده، در سطح تراز گایا اندازه‌گیری می‌شود. معمولا مقادیر کیفیت بزرگ‌تر از ۷۰٪، با سطح تراز مطمئن، مطابقت دارد [۴۰].

۴- تجزیه و تحلیل نتایج

با توجه به واقع شدن کشور ایران در منطقه خاورمیانه و کمبود بارندگی در آن، نیاز اساسی در زمینه احداث سد در ایران احساس می گردد. پروژه های سدسازی به دلیل استراتژیک بودن نیاز تامین آب، پروژه هایی مهم و در عین حال پر هزینه ای برای کشور می باشند. لذا ارزیابی ریسک پروژه های سدسازی جهت کاهش میزان خسارات مالی و جانی از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

همانطور که در جدول (۲) مشاهده شد، ریسک های پروژه های سدسازی با استفاده از روش دلفی فازی غربال شد و در نهایت تعداد ۲۵ ریسک جهت رتبه بندی با استفاده از روش پرومته استخراج شد. در این پژوهش، ابتدا تیم کارشناسی به‌منظور تعیین رتبه ریسک های پروژه های سد سازی تشکیل گردید. انتخاب درست کارشناسان، بخش کلیدی کار می‌باشد و در کیفیت نتایج تأثیر مستقیمی دارد. تیم تصمیم‌گیری در این تحقیق، از کارشناسان سدسازی سازمان آب منطقه ای، پیمانکاران پروژه های سدسازی و اساتید صاحب نظر دانشگاهی تشکیل‌شده است. کارشناسان ریسک ها را بر اساس ۳ معیار زمان، هزینه و کیفیت انجام پروژه با استفاده از روش پرومته رتبه بندی کردند.

برای تعیین وزن معیارها و همچنین ارزیابی گزینه‌ها، تعداد ۳۰ پرسشنامه به افراد مرتبط ازجمله مهندسان، اساتید دانشگاه و تعدادی از کارشناسان سدسازی اداره آب منطقه ای داده‌شده است. مقیاس‌های کیفی به کارگرفته شده برای ارزیابی، اعداد ۱ تا ۹ بوده است که مقادیر آن طبق جدول (۵)، آورده شده است. بعد از جمع‌آوری داده‌ها توسط پرسشنامه، ابتدا با استفاده از روش آنتروپی شانون، وزن معیارها تعیین‌شده که نتایج آن در جدول (۶)، آورده شده است.

جدول ۵- مقیاس‌های کیفی ارزیابی

مقدار اهمیت	عبارت زبانی	نماد
۱	بسیار بد	VB
۳	بد	B
٥	متوسط	A
۷	خوب	G
۹	بسیار خوب	VG
۲، ٤، ٦، ۸	مقادیر بینابین	G-VG, A-G, B-A, VB-B

جدول ۶- وزن معیارها با استفاده از روش آنتروپی شانون

نام معیار	وزن معیار (بر حسب درصد)
هزینه انجام پروژه یا خسارت ناشی از ریسک	۳۸,۲۷
کیفیت انجام پروژه	۴۱
زمان انجام پروژه	۲۰,۷۳
جمع کل	**۱۰۰**

[16] **P**rinciple **C**omponents **A**nalysis

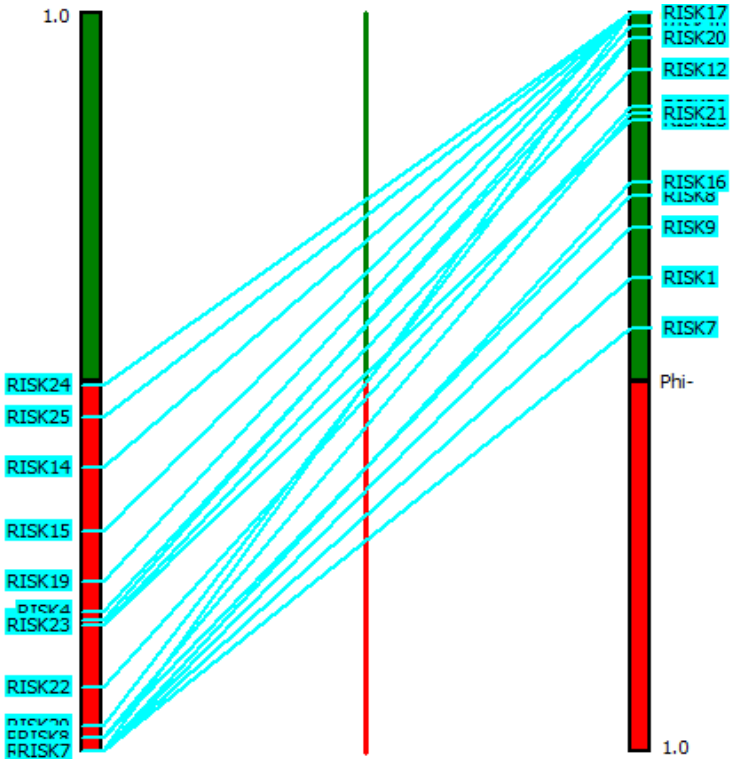
وزن‌های به‌دست‌آمده به همراه مقادیر جمع‌آوری شده، همگی در نرم‌افزار Visual PROMETHEE واردشده است. همچنین تابع ارجحیتی که برای این تحقیق مدنظر قرارگرفته است، ازآنجایی‌که در اکثر ارزیابی‌های به‌دست‌آمده در پرسشنامه، مقادیر نزدیک به هم بوده است و تفاوت اندکی در بین بعضی از ارزیابی‌ها وجود دارد، می‌توان این نوسانات و اختلاف‌ها را به‌صورت سلیقه‌ای یا کوتاه‌مدت در نظر گرفت که ممکن است با تکرار دوباره این ارزیابی‌ها، پاسخ‌ها تا حدی تغییر کند. بنابراین برای جلوگیری از این اتفاق، با در نظر گرفتن نظرات کارشناسان، یک آستانه بی‌تفاوتی و برتری را می‌توان برای آن لحاظ نموده که از میان توابع شش‌گانه، توابع ۴ و ۵ دارای مقدار آستانه بی‌تفاوتی و برتری، می‌باشند. در اینجا از تابع نوع ۵ که توانایی خوبی در مقایسه گزینه‌ها با یکدیگر دارد، استفاده‌شده است.

مقادیر p و q با تصمیم‌گیری تیم کارشناسی به ترتیب مقدار ۳ و ۱ در نظر گرفته شد که این اعداد بیانگر این می‌باشند که اگر در داده‌های به‌دست‌آمده از طریق پرسشنامه، اختلاف بین اعداد کمتر یا مساوی عدد ۱ بود، این اختلاف نادیده گرفته‌شده و دو گزینه باهم بی‌تفاوت خواهند بود. چنان چه تفاوت بین مقادیر ارزیابی بیشتر یا مساوی عدد ۳ باشد، بنابراین گزینه‌ای که مقدار بیشتری دارد، اولویت کاملی نسبت به گزینه دیگر دارد. درصورتی‌که تفاوت بین دو مقدار در فاصله (۱,۳) باشد، یک برتری نسبی بین آن‌ها وجود خواهد داشت. با دانستن این اطلاعات، مقادیر را در نرم‌افزار، جهت ارزیابی نهایی وارد کرده‌ایم.

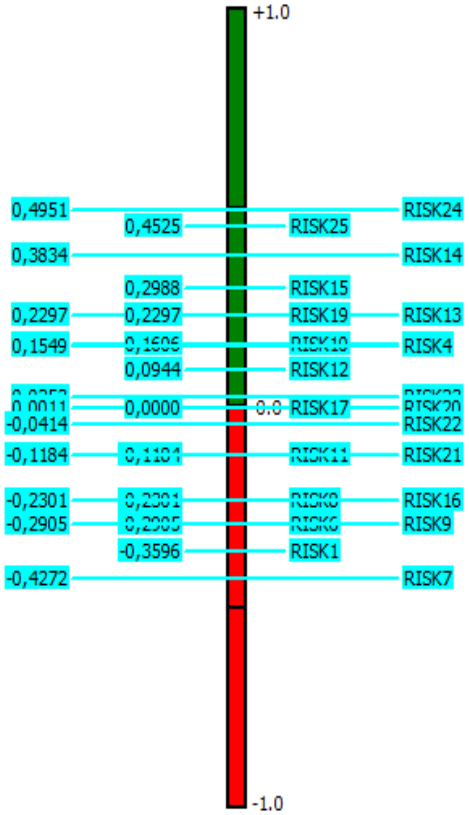
در جدول (۷)، مقادیر محاسبه‌شده جریان مثبت، منفی و جریان خالص بر اساس نتایج حاصل از نرم‌افزار آورده شده است.

جدول ۷- جریان‌های ترجیح

	ریسک ها	Phi	Phi+	Phi-
1	RISK24	0,4951	0,4951	0,0000
2	RISK25	0,4525	0,4525	0,0000
3	RISK14	0,3834	0,3834	0,0000
4	RISK15	0,2988	0,2988	0,0000
5	RISK13	0,2297	0,2297	0,0000
6	RISK19	0,2297	0,2297	0,0000
7	RISK5	0,1606	0,1779	0,0173
8	RISK10	0,1606	0,1779	0,0173
9	RISK4	0,1549	0,1881	0,0332
10	RISK12	0,0944	0,1708	0,0764
11	RISK23	0,0253	0,1708	0,1455
12	RISK18	0,0011	0,0344	0,0332
13	RISK20	0,0011	0,0344	0,0332
14	RISK17	0,0000	0,0000	0,0000
15	RISK22	-0,0414	0,0862	0,1276
16	RISK11	-0,1184	0,0173	0,1357
17	RISK21	-0,1184	0,0173	0,1357
18	RISK8	-0,2301	0,0173	0,2473
19	RISK16	-0,2301	0,0000	0,2301
20	RISK2	-0,2905	0,0000	0,2905
21	RISK3	-0,2905	0,0000	0,2905
22	RISK6	-0,2905	0,0000	0,2905
23	RISK9	-0,2905	0,0000	0,2905
24	RISK1	-0,3596	0,0000	0,3596
25	RISK7	-0,4272	0,0000	0,4272



شکل ۲- رتبه‌بندی ریسک ها بر اساس پرومته با نرم‌افزار Visual PROMETHEE

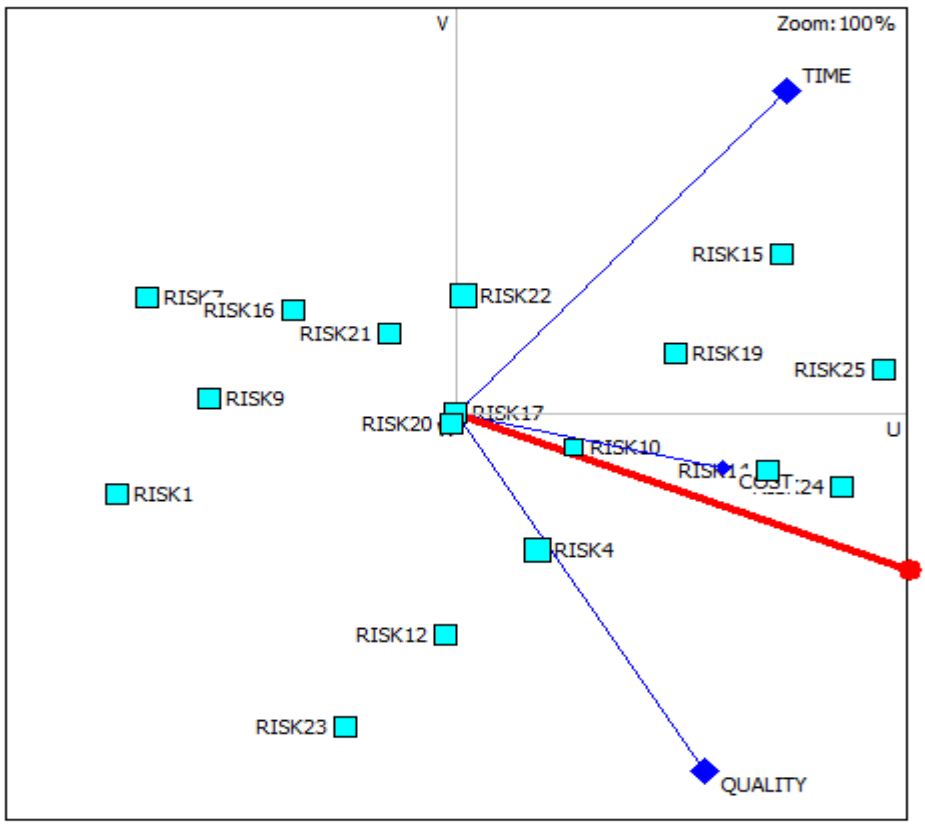


شکل ۳- رتبه‌بندی ریسک ها بر اساس پرومته II با نرم‌افزار Visual PROMETHEE

شکل (۲) و (۳) رتبه‌بندی ریسک ها را بر اساس پرومته I و پرومته II را نشان می‌دهد. در رتبه‌بندی بر اساس پرومته I، دو نوع جریان مثبت و منفی در نظر گرفته‌شده است. ستون سمت راست بیانگر جریان منفی -Phi (همان $\emptyset^{-}(a)$) است که میزان ضعف گزینه و ستون سمت چپ بیانگر جریان مثبت +Phi (همان $\emptyset^{+}(a)$) که بیانگر میزان قوت گزینه و ستون میانی بیانگر جریان خالص (که در اینجا ستون جریان خالص، نازک‌تر از دو ستون دیگر رسم شده است، زیرا که در این نوع رتبه‌بندی، هدف ما جریان خالص نیست)، را نشان می‌دهد.

می‌توان رتبه‌بندی را بر اساس هرکدام از سه جریان مثبت، منفی و خالص مشاهده نمود. جریان‌ها هرکدام بارنگ سبز و قرمز نشان داده‌شده‌اند. رنگ قرمز برای مقادیر جریان ۰ تا ۰,۵ و رنگ سبز برای مقادیر ۰,۵ تا یک در نظر گرفته‌شده است (هر سه جریان مقادیری بین ۰ تا یک را اختیار می‌کنند). برای هر گزینه، خطی +Phi را به -Phi متصل می‌کند. اگر خط یک گزینه به‌طور کامل، بالاتر از خط گزینه دیگر قرار گیرد، گزینه‌ای که خط بالاتر دارد، بر گزینه‌ای که خط پایین‌تر دارد ترجیح داده می‌شود. در اینجا ریسک ۲۴ (تحریم) و ریسک ۲۵ (تغییر نرخ ارز) از همه خطوط گزینه‌های دیگر بالاتر است، بنابراین نسبت به سایر گزینه‌ها اولویت دارد. اما زمانی که دو خط متقاطع باشند، دو گزینه بر اساس روش پرومته I، غیرقابل مقایسه تلقی می‌شوند.

رتبه‌بندی کامل بر اساس پرومته II، بااینکه آسان‌تر می‌باشد، اما اطلاعات کمتری را در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد. زیرا این رتبه‌بندی بر اساس جریان خالص است و تفاوت میان +Phi و -Phi ، به‌صورت واضح قابل‌مشاهده نیست. در این روش هم هرچه خط افقی گزینه بالاتر باشد، گزینه رتبه بالاتری را کسب خواهد کرد. طبق شکل (۳) ، ریسک ۲۴ (تحریم) و ریسک ۲۵ (تغییر نرخ ارز)، نسبت به سایر ریسک ها از اولویت بالاتری برخوردار هستند.



شکل ۴- نمودار گایا

شکل (۴) نمایانگر نمایش صفحه گایا در نرم‌افزار Visual PROMETHEE می‌باشد که دارای کیفیتی برابر ۹۸٪ است. این آنالیز بر اساس دو بعد U و V نمایش داده‌شده است که U اولین بعد اصلی که دارای حداکثر مقدار احتمالی اطلاعات و V دومین بعد اصلی که حداکثر اطلاعات اضافی را که مرتبط با U است، به نمایش می‌گذارد. در این شکل، گزینه‌های موردنظر و معیارهای ارزیابی، قرارگرفته شده است و خط و نقطه قرمزرنگ، بیان‌گر وضعیت بهینه می‌باشد، هر چه گزینه‌ای به این نقطه نزدیک‌تر باشد، وضعیت بهتری را نسبت به سایر گزینه‌ها دارد. همان‌طور که شکل (۴) نشان می دهد، ریسک ۲۴ (تحریم) نزدیک‌ترین نقطه بوده و دارای اولویت بالاتری نسبت به سایر ریسک ها می‌باشد.

برای ارزیابی بهتر ریسک های پروژه های سدسازی، ریسک ها به سه دسته تقسیم می شوند. دسته اول شامل ریسک های با اولویت بالا، دسته دوم را شامل ریسک های با اولویت متوسط و دسته سوم شامل ریسک های با اولویت پایین در نظر گرفته شده اند. جدول (۸) منطبق با اولویت ها و رتبه های به دست آمده هر یک از ریسک ها، نشان دهنده رتبه بندی ریسک ها در سه دسته مذکور می باشد.

جدول ۸- دسته بندی ریسک های پروژه های سدسازی به ترتیب اولویت

دسته اول ریسک ها با اولویت بالا	دسته دوم ریسک ها با اولویت متوسط	دسته سوم ریسک ها با اولویت پایین
R24 (تحریم)	R12 (بارگزاری سد (طراحی))	R8 (ارتفاع سد)
R25 (تصمیمات کلان اقتصادی از قبیل تغییر نرخ ارز)	R23 (فرسایش پراکنده از طریق ترک‌های عرضی در سدها خاکی)	R16 (حجم مخزن سد)
R14 (شکست سد)	R18 (بار وارده به سیستم)	R2 (کاهش کیفیت خاک)
R15 (روگذری سد)	R20 (شرایط زیر زمینی)	R3 (کاهش شدید مواد آلی و بار مغذی پایین دست)
R13 (حجم دبی زیاد)	R17 (بار مقاوم سیستم)	R6 (کمبود اطلاعات شرایط زمین)
R19 (شرایط ژئوتکنیکی)	R22 (فرسایش بیش‌ازحد خاک در سد های خاکی)	R9 (طول تاج سد)
R5 (حداکثر حجم سیلاب محتمل)	R11 (مورفولوژی سد)	R1 (آلودگی آب رودخانه)
R10 (ارتفاع سطح آب سیلاب)	R21 (اتصال و انفصال بیش‌ازحد به دلیل خاک‌ریزی در سدهای خاکی)	R7 (کمبود اطلاعات محل کار)
R4 (حداکثر باران محتمل)		

۵- نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

با توجه به محدودیت بودجه‌های عمرانی و تعهداتی که ناشی از اجرای پروژه‌های سدسازی می‌شود، مطالعات ریسک این پروژه‌ها جهت شناسایی، اولویت‌بندی و ارزیابی ریسک‌ها ضروری است. اولویت‌بندی این پروژه‌ها و اجرای آن‌ها با توجه به مطالعات ریسک، باعث بهره‌برداری بهینه از منابع مالی محدود و دستیابی به بهره‌وری بالاتر خواهد شد. در این تحقیق ریسک های پروژه های سدسازی با استفاده از روش دلفی فازی شناسایی و غربال شد. در این تحقیق برای شناسایی ریسک ها ابتدا تحقیقات مشابه مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی به ۷۳ ریسک در زمینه پروژه‌های سدسازی که در تحقیقات قبلی مورد بررسی قرار گرفته بود، جمع آوری شد. برای انتخاب ریسک های مهم، از تکنیک دلفی فازی با استفاده از نظر خبرگان استفاده شد. روش دلفی با مشارکت افراد دارای دانش و تخصص باشند به عنوان پانل دلفی شروع گردید، زیرا اعتبار نتایج کار بستگی به شایستگی و دانش این افراد دارد. تعداد اعضای پانل تعداد ۳۰ نفر تصمیم گیرنده انتخاب شدند. از آن جا که نتایج تحقیق علاوه بر تعداد نمونه، با تکیه بر دانش و تجربه و مهارت های تصمیم‌گیرندگان است، اعضای پانل از بین اساتید دانشگاه، مدیران، پیمانکاران و کارشناسان با سابقه سدسازی با حداقل ۱۰ سال و تحصیلات حداقل فوق‌لیسانس انتخاب شدند بگونه ای که دارای اطلاع کاملی از پروژه‌های سدسازی داشته و در زمینه سدسازی قبلا کار کرده یا در حال حاضر مشغول به کار هستند،

انتخاب گردیدند. در دور اول فهرستی از ریسک های موجود در زمینه پروژه‌های سدسازی که از پژوهش های پیشین استخراج شده بود، در اختیار اعضای پنل قرار گرفت. همچنین از اعضای پنل درخواست شد چنانچه در فاز های مختلف پروژه، ریسک موثر دیگری را شناسایی نموده اند، به فهرست ریسک های موجود اضافه نمایند . با جمع بندی نتایج مرحله اول، تعداد ۳۷ ریسک موثر شناسایی شد. در دور دوم مجموعه ریسک های موثر انتخاب شده در دور اول برای تعیین میزان اهمیت مجددا در اختیار اعضای پنل قرار گرفت و تعداد ریسک ها به ۲۸ مورد کاهش یافت. در دور سوم مجموعه ریسک های موثر انتخاب شده در دور دوم مجددا برای تعیین میزان اهمیت در اختیار اعضای پنل قرار گرفت و تعداد ریسک ها به ۲۵ مورد کاهش یافت. نتایج در دور چهارم روش دلفی نشان داد که تغییری در ریسک ها نسبت به دور سوم بوجود نیامد و لذا مراحل بعدی با ۲۵ ریسک خروجی روش دلفی فازی ریسک با ضریب هماهنگی کندال بیشتر از ۰/۷به شرح جدول ۲ ادامه یافت.

برای رتبه بندی ریسک ها ابتدا باید میزان اهمیت معیارهای رتبه بندی ریسک های پروژه‌های سدسازی مشخص شود تا بتوان براساس آن رتبه بندی ریسک پروژه‌های سدسازی را ارائه نمود. به این جهت با استفاده از روش آنتروپی شانون معیارها، وزن‌دهی شدند. نتایج وزن دهی معیارها براساس روش آنتروپی شانون نشان داد که معیار هزینه انجام پروژه دارای بیشترین اهمیت و وزن با مقدار ۳۸/۲۷ ، پس از آن شاخص کیفیت انجام پروژه دارای اهمیت و وزن ۴۱ و در انتها زمان انجام پروژه دارای اهمیت و وزن ۲۱,۷۳ قرار دارد.

روش پرومته و آنالیز گایا یکی از روش‌های تصمیم گیری چندمعیاره می‌باشد که نتایج آن از دقت زیادی برخوردار است. ابتدا برای ارزیابی و رتبه بندی ریسک ها براساس معیارها، نوع شاخص، تابع برتری، آستانه بی‌تفاوتی و آستانه برتری مشخص می شود. برای افزایش کارائی روش پرومته از تکنیک «تحلیل هندسی برای کمک متقابل» یا گایا (GAIA) استفاده می‌شود. این تکنیک دو نوع اطلاعات برتری و اطلاعات مادونی که براساس آن میزان بهتر بودن و میزان بدتر بودن گزینه‌ها مشخص می‌شود، مورد استفاده قرار می دهد تا گزینه‌ها یکبار براساس میزان بهتر بودن و یک بار براساس میزان بدتر بودن رتبه‌بندی شوند. در این روش ابتدا ماتریس تصمیم گیری تشکیلو سپس آستانه برتری و بی تفاوتی تعیینمی گردد. تشخیص و استفاده از نوع تابع براساس نوع ارجحیت معیار و موزون کردن ماتریس تصمیم گیری مراحل بعدی است و در نهایت وزن نهایی ریسک ها تعیین می شوند. نتایج حاصل شده از بکارگیری روش پرومته و آنالیز گایا نشان داد که تحریم (Phi = 0.4951)، تصمیمات کلان اقتصادی (Phi = 0.4525)، شکست سد (Phi = 0.3834)، روگذری سد (Phi = 0.2988)، حجم دبی زیاد (Phi = 0.2297)، شرایط ژئوتکنیکی (Phi = 0.2297)، حداکثر حجم سیلاب محتمل (Phi = 0.1606)، ارتفاع سیلاب (Phi = 0.1606) و حداکثر باران محتمل (Phi = 0.1549) که در دو دسته ریسک های فنی (روگذری، شکست سد، حجم دبی زیاد، ارتفاع سطح سیلاب، حداکثر حجم سیلاب و باران محتمل) و سیاسی (تحریم و تغییر نرخ ارز) قرار می گیرند، دارای اولویت بیشتری نسبت به سایر ریسک ها در زمینه سدسازی هستند.

به منظور اثبات کارایی مدل پیشنهادی نتایج این تحقیق با تحقیق فدایی و همکاران که در همین حوزه با روش های دیگر تصمیم‌گیری انجام شده است مقایسه شد. مقایسات نشان داد که رتبه بندی های انجام شده در این تحقیقات تا حد زیادی با یکدیگر تطابق داشته و قابل استناد می باشد [۱۲]. در تحقیقی دیگر رحمتی و همکاران به ارزیابی ریسک پروژه‌های سدسازی بر اساس استانداردهای PMBOK پرداختند، آن‌ها با استفاده از روش ماتریس احتمال – اثر تعداد ۱۰ ریسک را رتبه‌بندی کردند. در تحقیق یادشده ریسک‌های تحریم، جنگ، تعارض فرهنگی، تغییر نرخ ارز، تورم و عدم توانایی فنی و اجرایی پیمانکار به ترتیب دارای بیشترین اهمیت بوده اند [۲۸]. ملماسی و همکاران به استفاده از روش ELECTRE در ارزیابی ریسک زیست محیطی پرداختند. یافته‌های تحقیق آن‌ها نشان داد که مهم-ترین ریسک های زیست محیطی سدسازی به ترتیب شامل کاهش کیفیت خاک، آلودگی آب رودخانه و کاهش مواد آلی و معدنی پایین دست می‌باشند [۲۹]. همچنین می توان نتایج این تحقیق را با تحقیق شهرکی و مصری مقایسه کرد. در تحقیق شهرکی و مصری معیار اجرا با وزن نسبی ۰/۲۲۰۳۶ و بعدازآن معیار اصلی فنی با وزن نسبی ۰/۲۰۷۵۶ پر ریسک ترین بخش‌ها را نشان می‌دهند اما در این تحقیق، دسته اصلی ریسک های فنی و ریسک های سیاسی دارای اولویت بالاتری نسبت به سایر ریسک ها در حوزه سدسازی هستند[۲۱]. بید و سدیکو در تحقیقی به ارزیابی ریسک انسانی سد پانچت در هند با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS پرداختند. در تحقیق آن‌ها جابجایی جمعیت، از دست دادن زمین های کشاورزی، ارتفاع سیلاب، ریسک ایمنی سد در اثر شکست سد و خطرات

سلامتی انسان ناشی از شکست سد دارای بیشترین اولویت در بین سایر ریسک ها بود [۳۰]. حق‌شناس و همکاران ریسک پروژه‌های سدسازی با استفاده از تاپسیس فازی مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق آن‌ها اشتباهات طراحی، عدم تجربه کافی پیمانکار، تغییر نرخ ارز، تحریم و آلودگی‌های زیست محیطی به ترتیب دارای بیشترین اهمیت در بین سایر ریسک ها بوده اند [۳۱].

برای ادامه این تحقیق توسط سایر محققین پیشنهاد می گردد ریسک پروژه‌های سدسازی با روش های دیگر رتبه بندی از قبیل الکتره فازی، AHP فازی، جک نایف و سایر روش های تصمیم‌گیری انجام شود.

مراجع

[1] Loubergé, H. and Outreville, J.F., (1989). *Experimental Investigations on Risk-taking in the Domain of Losses*. Université de Genève Faculté des sciences économiques et sociales.

[2] Oskoonezhad, M.M, (2009). *Engineering Economic*. Tehran, Amirkabir University of Technology

[3] Li, Z., Wang, T., Ge, W., Wei, D. and Li, H., (2019*). Risk analysis of earth-rock dam breach based on dynamic Bayesian network*. *Water*, *11*(11), p.2305.

[4] Daud, N.M., Hassan, S.H., Akbar, N.A., Bakar, A.A.A., Mohamad, N.A.S., Abd Manan, E. and Hamzah, A.F., (2021). *Dam failure risk factor analysis using AHP method*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 646, No. 1, p. 012042). IOP Publishing.

[5] Abdolshah, M., Moghimi, M. and Khatibi, S.A.M., (2020*). Identifying and prioritizing risk management indicators in dam-building projects using combination of AHP-ARAS in fuzzy environment based on PMBOK (Case study: dam-building projects)*. *Environmental Management Hazards*, *7*(2), pp.129-150.

[6] Mahmoudian, M., Malekmohammadi, B., Banihashemi, M.A., (2017). *Dam safety risk assessment (case study: flood risk for golestan dam)*.Escuder-Bueno, I., Matheu, E., T. Castillo-Rodríguez, J. and T. Castillo-Rodríguez, J. eds., 2019. Risk analysis, dam safety, dam security and critical infrastructure management. CRC Press.

[7] Etminan Moghaddam, F. (2005). *Analytical study of identifying common risks in construction projects*. In: 02nd International Project Management Conference. City: Tehran.

[8] Baloi, D., Price, A.D. (2003*). Modelling global risk factors affecting construction cost performance*, International Journal of Project Management, 21 (3).

[9] Reich, B.H. and Wee, S.Y., (2006). *Searching for Knowledge in the PMBOK® Guide*. Project Management Journal, 37(2), pp.11-26.

[10] Rajabi, M., Noori, M., Ashrafi, M., Dibaie, M. (2007). *Hierarchical analysis of the factors affecting the success of the dam project*. In: 4th International Project Management Conference. City: Tehran.

[11] Shamsaie, M., RazmAra, A. (2009). *Risk reduction of dam projects using a combination of risk management thinking and value engineering*. In: The second national conference on dam construction. City: Zanjan.

[12] Fadaie, F., Azhdari Moghaddam, M., Shahraki, M.R., (2020*). Risk assessment of dam construction projects using Delphi method and multi-criteria decision making techniques (TOPSIS) and Shannon entropy models*. Journal of critical reviews, 7(1).

[13] ChiniChiyan, F. (2007). *Fuzzy ranking in risk management*. In: 4th International Project Management Conference. City: Tehran.

[14] Dorri, B. and Hamzehi, E., (2010). *Determining the best responding strategy to project risk using ANP technique (Case study: North Azadegan oil field development project)*. Industrial Management Journal.

[15] Zare, A., AhmadiAsef, M. (2008*). Evaluation of practical projects using fuzzy AHP*. In: 16th Iranian Conference on Electric Engineering. City: Tehran.

[16] Najafi, A., Karimpoor, M. (2009). *Optimization in production sectors using an appropriate model to predict the risk of implementation of production projects*. In: 2nd Conference in the Manufacturing Engineering. City: Najafabad.

[17] Baradaran kazemzade, R. and Sharif mousavi, S.M., (2011). *Developing a fuzzy risk assessment model to assess the schedule risks in construction projects (case: track renewal project in Iran railway administration)*.

[18] Farifteh Jahantigh, M. (2011). *Feasibility study of constructing an underground dam in Kahir-Chabahar region. Master Thesis in Geology*. Islamic Azad University of Zahedan.

[19] Linkov, I., Kiker, G., Batchelor, C., Bridges, T., Ferguson, E., Satterstrom F.K. (2006). *From comparative risk assessment to multi-criteria decision analysis and adaptive management: Recent developments and apply*, Environment International, 32 (8).

[20] Taroun, A., Yang, J.B., Lowe, D. (2011). *Construction Risk Modelling and Assessment: Insights from a Literature Review*, The Built & Human Environment Review, 4(1).

[21] Shahraki, M.R. and Mesri, J., (2020). *Risk Assessment and Prioritization of Construction Projects with a Mixed-Dimensional Approach and Network Analysis Process (Case Study: Sistan-Hamoun Plain 2 Water Supply Project).* Journal of Structural and Construction Engineering.

[22] Ghandi, M. and Roozbahani, A., (2020). *Risk management of drinking water supply in critical conditions using fuzzy PROMETHEE V technique*. Water Resources Management, 34(2), pp.595-615.

[23] Lee, J.Y., Yoon, Y.S., Jang, M.H. and Suh, S.W., (2010). *Analysis of the schedule risk using PROMETHEE in building construction management.* Korean Journal of Construction Engineering and Management, 11(2), pp.25-34.

[24] Ikwan, F.C., Sanders, D. and Haddad, M., (2020). *A Combined AHP-PROMETHEE Approach for Intelligent Risk Prediction of Leak in a Storage Tank*. International Journal of Reliability, Risk & Safety.

[25] Moradpour, S., Ebrahimnejad, S., Mehdizadeh, E. and Mohamadi, A., (2011). *Using hybrid fuzzy PROMETHEE II and fuzzy binary goal programming for risk ranking: A case study of highway construction projects*. Journal of Optimization in Industrial Engineering, (9), pp.47-55.

[26] Vetschera, R. and De Almeida, A.T., (2012). *A PROMETHEE-based approach to portfolio selection problems. Computers & Operations Research*, 39(5), pp.1010-1020.

[27] Adli J, Omidvari M., (2020). *Assessing the risk of crisis in gas distribution networks using the FAHP-PROMETHEE II method (Case study of Qazvin Province Gas Company)*. Ioh, 17 (1):1-14.

[28] Rahmati, M., Ashrafi, B., Hojatpanah, S. (2021). *Identification and risk management of dam construction projects based on PMBOK standard (Case study: Bijar city dam project)*. In: 7th.International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Development, Tehran, Iran.

[29] Malmasi, S., Arjmandi, R., Nezakati, R., Allahdad, Z. (2016). *Environmental risk assessment of dam projects by using ELECTRE technique.* Journal of Environmental Science and Technology, 18(4), 57-72.

[30] Bid, S., Siddique, G. (2019). *Human risk assessment of Panchet dam in India using TOPSIS and WASPAS multi-criteria decision-making (MCDM) methods*. Heliyon, 5(6), e01956.

[31] Haghshenas, S. S., Neshaei, M. A. L., Pourkazem, P., Haghshenas, S. S. (2016). *The risk assessment of dam construction projects using fuzzy TOPSIS (case study: Alavian Earth Dam).* Civil Engineering Journal, 2(4), 158-167.

[32] Momeni, M., Jafarnejad, A. and Sadeghi, S., (2011). *Optimizing distribution centers location in marketing process through mathematical approach*.

[33] Cameron, Adrian; Trivedi, Pravin K. (2005*). Microeconometrics: methods and applications. Cambridge New York*, Cambridge University Press. ISBN 9780521848053.

[34] Olson, D. L. (1996). Decision Aids for Selection Problems Springer.

[35] Ghasemi, P., & Komijan, A. R. (2015). *Decision making using PROMETHEE method with learning Visual PROMETHEE software (Persian)*. Tehran: Azad Islamic University.

[36] Zhao, X., Qi, Q., & L, R. (2010*). The establishment and application of fuzzy comprehensive model with weight based on entropy technology for air quality assessment*. Symposium on Security Detection and Information Processing 217-222.

[37] Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., & Aghdasi, M. (2010*). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications*. European Journal of Operational Research, 198-215.

[38] Pedrycz, W., Ekel, P., & Parreiras, R. (2011). *Fuzzy multi criteria decision-making, models, methods, and applications: A John Wiley and Sons*, Ltd.

[39] Ishizaka, A., & Nemery, P. (2011). *Selecting the best statistical distribution with PROMETHEE and GAIA.* Computers & Industrial Engineering, 958-969.

[40] Kabir, G., & Sumi, R. S. (2014*). Power substation location selection using fuzzy analytic hierarchy process and PROMETHEE: A case study from Bangladesh*. Energy, 1-14.