پژوهش‌های کاربردی در مهندسی زیرساخت‌ها

سال یکم، شماره یکم، پیاپی یکم، بهار و تابستان ۱۴۰۵ (۷۳-۸۸)

«مقاله پژوهشی»

شناسایی و اولویت‌بندی ریسک در پروژه‌های سدسازی به روش پرامتی (مطالعه موردی: سد چم‌شیر)

آرمین منیرعباسی[۱*]، هادی فضلی شیرین کند[۲]، محمدحسن صالحی‌نیا[۳]

۱.. دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۲.استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد عمران – مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه پیام نور، ایران.

نویسنده مسئول:
آرمین منیرعباسی
رایانامه: monirabbasi@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۳۱

استناد به این مقاله:
منیرعباسی، آرمین؛فضلی شیرین‌کند، هادیو صالحی‌نیا، محمدحسن. (۱۴۰۵). شناسایی و اولویت‌بندی ریسک در پروژه‌های سدسازی به روش پرامتی (مطالعه موردی: سد چم‌شیر). *پژوهش‌های کاربردی در مهندسی زیرساخت‌ها*، ۱(۱)، ۷۳-۸۸.

چکیده

با توجه به حجم عظیم سرمایه‌گذاری‌ها در پروژه‌های سدسازی به‌منظور بهره‌برداری بهینه از جریان آب رودخانه‌ها، ضرورت پرداختن به شناخت و ارزیابی ریسک‌ها در مراحل مطالعه، ساخت و بهره‌برداری سدها، احساس می‌شود. پروژه‌های سدسازی در اکثر نقاط جهان در محیطی با عدم قطعیت بالا انجام شده و همواره با ریسک‌های متعددی که می‌تواند باعث ایجاد تأخیرات زمانی، افزایش هزینه‌ها و کاهش کیفیت پروژه‌ها گردد، همراه می‌باشند. در تحقیق حاضر، شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های پروژه سد و نیروگاه چم‌شیر با استفاده از روش پرامتی انجام شده است. بدین‌منظور از نظرات و مشاوره خبرگان صنعت سدسازی و متخصصین شاغل در پروژه استفاده گردیده است. در این پژوهش سعی شده است براساس شاخص‌های هزینه، زمان و کیفیت، ریسک‌های با اهمیت در پروژه‌های سدسازی و به‌طور خاص در پروژه سد و نیروگاه چم‌شیر با استفاده از روش پرامتی –۲ شناسایی و اولویت‌بندی گردد. به‌منظور شناسایی ریسک‌های پراهمیت پروژه، فهرستی از ۴۱ ریسک مهم در پروژه مذکور انتخاب گردید و سپس ۳۵ پرسشنامه که توسط افراد متخصص و مجرب شاغل در پروژه تکمیل‌شده، جمع‌آوری و مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که ریسک‌های تجربه ناکافی پیمانکاران در پروژه‌های مشابه، وقفه‌های کاری طولانی‌مدت در عملیات اجرایی و عدم تأمین نیروی انسانی ماهر یا بهره‌وری پایین نیروی انسانی پیمانکار، به‌ترتیب با مقادیر جریان خالص فرارتبه‌ای ۰/۶۷۳، ۰/۵۹۰ و ۰/۵۶۹ از مهمترین ریسک‌ها در پروژه سد چم‌شیر بودهاند. همچنین نتایج تحلیل حساسیت انجام‌شده نشان داد که با افزایش یا کاهش ۱۰ درصدی در مقادیر پارامترهای توابع برتری، تغییری در فهرست پنج ریسک برتر در پروژه ایجاد نمی‌گردد.

واژه‌های کلیدی

مدیریت ریسک، رتبه‌بندی ریسک‌ها، روش پرامتی، سدسازی، سد چم‌شیر.

حق انتشار این مستند، متعلق به نویسندگان آن است. ۱۴۰۴ ©. ناشر این مقاله، دانشگاه پیام نور است.
مقاله تحت گواهی زیر منتشرشده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.
Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر موضوع آب و مدیریت آن به‌عنوان مسئله‌ای مهم در برنامه‌های توسعه‌ای و زیرساختی کشورها مطرح می‌باشد. محدودیت آب مناسب در کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین، شرایطی را ایجاد نموده است که برای حفظ و بهره‌برداری بهینه از این منابع با ارزش، پروژه‌های سدسازی متعددی طراحی و اجرا شوند. سدها بخش مهمی از زیرساخت‌های موجود درکشور بوده که برای اهدافی چون کنترل سیلاب، ذخیره آب، تولید انرژی و فعالیت‌های صنعتی کاربردهای ویژه‌ای دارند. پروژه‌های سدسازی، به‌دلیل مواجهه با عواملی چون فرایندهای پیچیده، زمان طولانی اجرا، کمبود یا تأخیر در تأمین منابع مالی، محیط نامناسب و... بیش از سایر پروژه‌های عمرانی می‌توانند تحت‌تأثیر انواع ریسک‌ها باشند. از مشکلاتی که اغلب مدیران پروژه‌های سدسازی با آن روبه‌رو می‌باشند، شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌ها جهت تخصیص مناسب منابع و زمان لازم برای مدیریت آن‌هاست. لذا توسعه روش‌هایی جهت شناسایی، تحلیل و اولویت‌بندی ریسک‌های مهم موجود در اجرای پروژه‌های سدسازی و سپس تعیین راهکارهای مدیریت این ریسک‌ها دارای اهمیت خاصی می‌باشد.

طبق تعریف مؤسسه مدیریت پروژه[1]،ریسک عبارت است از «رویداد یا شرایطی غیرقطعی که درصورت وقوع، اثر مثبت یامنفی روی حداقل یکی از اهداف پروژه خواهد گذاشت». مدیریت ریسک در پروژه‌ها به‌عنوان یک فرایند مدیریتی بسیار مهم به‌منظور دستیابی به اهداف پروژه از نظر هزینه، زمان، کیفیت و محدوده، بحرانی‌ترین قسمت در پروژه‌ها می‌باشد. هدف اصلی مدیریت ریسک پروژه، تعیین، ارزیابی و کنترل ریسک، برای موفقیت پروژه است.تحلیل ریسک در استاندارد مجموعه دانش مدیریت پروژه[2]شامل تحلیل کیفی و کمی ریسک می‌باشد.به‌منظور رتبه بندی ریسک‌ها و تعیین ریسک‌هایی که اثرات آن‌ها بر روی اهداف پروژه چشمگیر است، از تحلیل کیفی ریسک استفادهمی‌شود. در این مطالعه سعی شده است تا با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره پرامتی[3] که به‌عنوان ابزاری توانمند در ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک به شمار می‌رود، ریسک‌های شناسایی شده در عملیات احداث سد و نیروگاه چم‌شیر ارزیابی و اولویت‌بندی گردد.

۲. پیشینه تحقیق

با مطالعه پژوهش‌های انجام شده درخصوص شناسایی، ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک در پروژه‌های عمرانی، به نظر می‌رسد در حوزه فعالیت‌های سدسازی، احتمالاً به‌دلیل پیچیدگی بیشتر این پروژه‌ها، پژوهش‌های کمتری نسبت به سایر حوزه‌ها انجام شده است. تحقیقات انجام شده برای رتبه‌بندی ریسک‌ها نشان می‌دهد که برای تحلیل و ارزیابی ریسک‌ها، از روش‌های مختلفی شامل الکتره[4]، پرامتی، تاپسیس[5]، ویکور[6]، ای.اچ.پی[7]و اف.ام.ای.ای[8]می‌توان استفاده کرد.

برخی از محققین، ازجمله نیکو[۱]و کفاش[۲]با توجه به مقایسه نتایج روش‌های مختلف، روش پرامتی-۲ را به‌عنوان روشی مناسب برای رتبه‌بندی تمام گزینه‌ها برگزیدند. همچنین این روش به دلایلی چون راحتی و قابل‌فهم‌بودن، توانایی مقابله با عدم قطعیت، ارزش‌دادن به تصمیم‌گیران، قدرت نمایش دیداری داده‌ها، اعتبار و انعطاف‌پذیری بیشتر به‌عنوان روش برتر نسبت به روش الکتره توسط عموشاهی و همکاران[۳]انتخاب گردید. در مطالعه دیگری توسط احدی [۴]، نتایج حاصل از روش ویکور و پرامتی تقریباً مشابه بوده و نتیجه گرفته شدکه با کاربرد هریک از روش‌های مذکور می‌توان ریسک‌های مهم پروژه‌ها را با دقت مناسب اولویت‌بندی کرد.

هاجکویکز[9]و همکاران[۵]به ارزیابی پنج روش مختلف تصمیم‌گیری چندمعیاره ازجمله روش پرامتی-۲ در مدیریت منابع آبی در کشورهای استرالیا، ایران، برزیل، تایلند و لبنان پرداختند. طبق نتایج پژوهش مذکور، همبستگی قوی بین رتبه‌های به‌دست‌آمده برای تکنیک‌های مختلف تصمیم‌گیری وجود داشته و عمده تفاوت‌ها به‌دلیل تفاوت داده‌ها در ماتریس ارزیابی بوده است.

در پژوهش انجام شده توسط ژینگ-مینگ[10] و همکاران[۶]مشخص گردید که روش پرامتی نسبت به روش‌های دیگر دارای کارایی بالاتر و نتایج بهتری است. همچنین این روش به نحو مؤثری سبب کاهش اثرات جبرانی می‌گردد. البته این ویژگی در نوع دیگری از روش‌های چندمعیاره که الکتره نام دارد نیز دیده می‌شود. با این تفاوت که روش پرامتی نسبت به روش الکتره

1. Pmi (project management institute)
2. Pmbok (project management body of knowledge)
3. Promethee
4. Electre
5. Topsis
6. Vikor
7. Ahp
8. Fmea
9. Hajkowicz
10. Xing-ming

دارای قابلیتفهم بیشتر و فرمول‌های ریاضی ساده‌تری است. به علاوه این روش دارای محاسبات دقیق‌تر و نیز جزئیات بیشتر و استفاده آسان‌تر بوده و نسبت به سایر روش‌ها ترجیح داده شده است.

هروا[1] و همکاران[۷] در مطالعاتشان به این نتیجه رسیدند که در ارزیابی محیط زیستی هرچه روش چندمعیاره موردنظر ساده و روان‌تر باشد، دارای کارایی بیشتری خواهد بود. چرا که در یک روش ساده می‌توان انتخاب معیارها و نیز تعیین اوزان را با روش دلخواه و مناسب به انجام رساند. در مطالعه آن‌ها از روش پرامتی نسبت به سایر روش‌ها برای تصمیم‌گیری‌های محیط‌زیستی استفاده بیشتری صورت پذیرفته و پس از آن رایج‌ترین روش، روش الکتره بوده است.

وولویچ[2] [۸] در آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره برای رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها از روش پرامتی استفاده نموده است. براساس نتایج پژوهش او می‌توان نتیجه گرفت که روش رتبه‌بندی پرامتی-۲ رتبه‌بندی کاملی از زیرحوضه‌های درمعرض خطر فرسایش را ارائه می‌دهد و بنابراین می‌تواندبه تصمیم‌گیرنده کمک کند. همچنین در پژوهش سانچز[3] و همکاران[۹] بیان گردید که روش پرامتی این انعطاف‌پذیری را دارد که داده‌ها را هم به‌صورت کیفی و هم کمی مورد بررسی قرار داده و سناریوهای مختلفی را برای بهترین تصمیم به مدیران ارائه دهد.

به‌منظور ارزیابی ریسک در پروژه‌های عمرانی، تهیه فهرست اولیه ریسک‌ها از الزامات اولیه بوده و در واقع، شناسایی ریسک دشوارترین و مهم‌ترین بخش فرایند مدیریت ریسکمی‌باشد. هرچه فهرست ریسک‌های شناسایی شده کامل‌تر باشد، ارزیابی نهایی آن‌ها نیز دقیق‌تر خواهد بود. در برخی مطالعات ارزیابی ریسک در پروژه‌ای عمرانی یا سدسازی، ریسک‌ها در شاخه‌های اصلی طبقه بندی شده‌اند. از این جمله است پژوهشی که توسط رضایی و کماسی [۱۰]انجام شده و در آن ریسک‌های پروژه‌های سدسازی را در ۴ دسته ریسک‌های فنی-تکنیکی، ریسک‌های ایمنی-بهداشتی، ریسک‌های قوانین و مقررات و ریسک‌های سیاسی تقسیم شده است. همچنین نایبی [۱۱] در پژوهشی با هدف معرفی مدل مناسب جهت ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌ها در پروژه‌های سدسازی کشور، اولویت ریسک‌ها را به‌ترتیب شامل ابعاد فنی-تکنولوژیکی، مالی، انسانی-مدیریتی، محیطی و سیاسی-قانونی معرفی کرده است.

این درحالی است که در پژوهش‌های تفصیلی‌تر، از فهرست‌های کامل‌تر و با جزئیات بیشتری برای شناسایی ریسک‌های پروژه‌ها استفاده شده است. به‌عنوان مثال، موسوی شیاده[۱۲]و رسایی گالشخیل[۱۳]، هر دو از فهرست ۴۶ تایی یکسانی از ریسک‌ها در پروژه‌های سدهای مخزنی ارس۲ و شفارود استفاده نمودند و فلاح و همکاران[۱۴] نیز ۷۲ ریسک را برای پروژه سد البرز بابل شناسایی و ارزیابی نموده‌اند.

۳. روش تحقیق

تحقیق را می‌توان تلاشی منظم و سازمان‌یافته برای بررسی مسأله‌ای خاص که به یک راه‌حل نیاز دارد توصیف کرد و شامل گام‌هایی است که طراحی و پیگیری می‌شوند تا پاسخ‌هایی برای مسأله مورد علاقه ما به‌دست آید. انتخاب روش تحقیق به ماهیت موضوع، هدف‌های پژوهش، فرضیه‌های تدوین‌شده، ملاحظات انسانی، اخلاقی و مواردی از این دست که ناظر بر موضوع تحقیق و وسعت و امکانات اجرایی آن است، بستگی دارد[۱۱].

به‌طورکلی تحقیقات علمی را براساس هدف تحقیق می‌توان به سه دسته بنیادی، کاربردی، تحقیق وتوسعه تقسیم کرد. در یک تقسیم‌بندی جامع‌تر که مورد پذیرش اکثر محققین حرفه‌ای و خبرگان است، روش‌های تحقیق براساس روش جمع‌آوری داده‌ها شامل سه دسته عمده تحقیق پیمایشی، آزمایشی و توصیفی (غیرآزمایشی) می‌باشد. تحقیق حاضر از حیث هدف جزء تحقیقات کاربردی و از نظر روش گردآوری داده‌ها از نوع توصیفی-پیمایشی بوده است.

۳-۱ جامعه و نمونه آماری

یک جامعه آماری عبارت‌است از مجموعه‌ای از افراد یا واحدها که دارای حداقل یک صفت مشترک باشند. صفت مشترک، صفتی است که بین همه عناصر یک جامعه آماری مشترک بوده و نیز متمایزکننده آن جامعه آماری از سایر جوامع باشد [۱۱].

نمونه، عبارت‌است از مجموعه‌ای از افراد که از یک جامعه انتخاب می‌شوند به‌طوری که این افراد معرّف صفات و ویژگی‌های آن جامعه باشند [۱۵].

برای به‌دست‌آوردن حداقل حجم نمونه لازم برای یک جامعه آماری می‌توان از فرمول کوکران[4] طبق رابطه (۱) استفاده کرد. این

1. Herva
2. Vulević
3. Sanches
4. Cochranformula

روش توسط ویلیام کوکران در سال ۱۹۳۱ ارائه شده است و یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای محاسبه حجم نمونه است.

$$n = \frac{\frac{Z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N}\left(\frac{Z^2 pq}{d^2} - 1\right)} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

n: حجم نمونه

N: حجم جامعه آماری

P: نسبت افراد دارای صفت مورد مطالعه

q: نسبت افراد فاقد صفت مورد مطالعه

d: سطح اطمینان یا دقت احتمالی مطلوب (درصد خطا)

z: مقدار متغیر نرمال با سطح اطمینان (d−۱)

در تحقیق حاضر، جامعه آماری مورد مطالعه شامل مدیران و کارشناسان مجرب شرکت‌های شاغل در پروژه سد چم‌شیر و در حدود ۷۰ نفر بودند. به‌طور معمول مقدار پارامترهای p و q برابر ۰٫۵ و سطح اطمینان d برابر ۰٫۰۵ در نظر گرفته می‌شود. لذا مقدار z برای سطح اطمینان ۰٫۰۵ برابر ۱٫۹۶ محاسبه می‌گردد. با جایگذاری مقادیر فوق در فرمول کوکران، حداقل حجم نمونه موردنیاز برابر ۵۹ نفر به‌دست می‌آید. در پژوهش حاضر، پس از ارسال پرسشنامه‌ها برای کارشناسان موردنظر، در پایان ۳۵ پرسشنامه تکمیل شده، جمع آوری گردید. لذا با درنظرگرفتن حجم نمونه برابر ۳۵ و با محاسبه معکوس فرمول کوکران، سطح اطمینان نظرسنجی انجام شده در حدود ۹۰ درصد (d=۰/۱۰) محاسبه شده است.

۳-۲ جمع‌آوری اطلاعات

جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل آن‌ها باید به نوعی باشد که جامعه‌ی آماری مورد بررسی را به‌طور کامل پوشش دهد و حجم اطلاعات دریافتی به حدی باشد که سطح اطمینان آن بالابوده و بتوان به آن استناد کرد[۱۴] برای جمع‌آوری داده‌های یک تحقیق روش‌های مختلفی شامل استفاده از اطلاعات و مدارک موجود، مصاحبه، پرسشنامه و ... وجود دارد.

در مطالعه حاضر، در ابتدا با استفاده از مقالات داخلی و خارجی موجود در رابطه با ریسک پروژه‌های سدسازی، در فضای مجازی و نیز تعدادی پایان‌نامه مرتبط و سایت‌های مربوط به ساخت‌وساز و ریسک، مطالب کافی در این زمینه جمع‌آوری شد. سپس با بررسی‌های صورت گرفته و اتخاذ رأی متخصصین امر و تجربیات پروژه‌های سدسازی، به موارد خاص ریسک سدسازی پی برده شد.

با توجه به بررسی‌های انجام شده درخصوص مهم‌ترین ریسک‌های موجود در طراحی و ساخت پروژه سد و نیروگاه چم شیر، پرسشنامه جمع‌آوری نظرات خبرگان پروژه در مورد اثرات ۴۱ ریسک مهم بر روی شاخص‌های هزینه، زمان و کیفیت پروژه تهیه گردید.

۳-۲-۱ روایی پرسشنامه

ابزاری که برای جمع‌آوری داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید از روایی یا اعتبار[1] برخوردار باشد. روایی بدین‌معناست که روش یا ابزار به‌کاررفته تا چه حد می‌تواند خصوصیت موردنظر را درست اندازه‌گیری کند. در واقع باید هم اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق پرسشنامه مازاد بر نیاز تحقیق نباشد و هم اطلاعات موردنیاز در رابطه با سنجش موضوع تحقیق در پرسشنامه حذف نشده باشد.

معمولاً روایی محتوایی یک آزمون توسط افرادی متخصص در موضوع مورد مطالعه تعیین می‌شود. در تحقیق حاضر نیز با توجه به اینکه سؤالات پرسشنامه مبتنی بر مقالات و پژوهش‌های مشابه و نیز نظرات خبرگان و کارشناسان مجرب مرتبط با پروژه تدوین گردیده است، می‌توان بیان نمود که پرسشنامه تهیه شده از روایی مناسبی برخوردار بوده است.

۳-۲-۲ پایایی پرسشنامه

ابزاری که برای جمع‌آوری داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، پس از روایی باید پایایی یا قابلیت اعتماد[2]داشته باشند. این بدین معناست که اگر در چندزمان مختلف در یک جمعیت از آن استفاده شود، درنتیجه به‌دست‌آمده اختلاف چندانی مشاهده نگردد. قابلیت اعتماد یا پایایی یک از ویژگی‌های فنی ابزار اندازه‌گیری است.

برای اندازه‌گیری پایایی از شاخصی به نام ضریب پایایی استفاده می‌شود.دامنه ضریب پایایی از صفر تا یک است. به این معنا که اگر این ضریب، صفر باشد، عدم پایایی و اگر این ضریب یک باشد، پایایی کامل را نشان می‌دهد.روش پایایی آلفای کرونباخ[3] معمول‌ترین ضریب پایایی ثبات داخلی است که در بیشتر مطالعات از آن استفاده می‌شود و معرف میزان تناسب گروهی از آیتم‌هایی است که یک سازه را می‌سنجند[۱۵].

با افزایش میزان سازگاری درونی پرسشنامه، ضریب آلفای

1. Validity
2. Reliability
3. Cronbach'salpha

کرونباخ نیز افزایش می‌یابد به این معنی که اگر سوالات بیشترین ارتباط را با هدف مورد بررسی (متغیر مربوط به فرضیات تحقیق) داشته باشند، این ضریب به عدد یک نزدیک تر می‌شود. در جدول (۱) کران‌های آلفای کرونباخ و میزان سازگاری درونی پرسشنامه آورده شده است.

جدول ۱. کران‌های آلفای کرونباخ و میزان سازگاری درونی پرسشنامه

سازگاری درونی پرسشنامه	مقدار ضریب آلفای کرونباخ
عالی	۰/۹≤α
خوب	۰/۸≤α<۰/۹
قابل قبول	۰/۷≤α<۰/۸
متوسط	۰/۶≤α<۰/۷
ضعیف	۰/۵≤α<۰/۶
غیرقابل قبول	۰/۵>α

در این تحقیق از روش سازگاری درونی برای سنجش پایایی ابزار اندازه‌گیری استفاده شده است و بدین‌منظور آزمون آلفای کرونباخ توسط نرم‌افزار اس.پی.اس.اس[1] انجام شده است. نتایج محاسبه ضریب آلفای کرونباخ پرسشنامه‌ها برای هر یک از شاخص های سه‌گانه هزینه، زمان و کیفیت و نیز برای کل سؤالات پرسشنامه در جدول (۲) ارائه شده است. همان‌طور که در مشاهده می‌گردد، همه ضرایب آلفا بالاتر از ۰/۹بوده که نشان‌دهنده پایایی عالی پرسشنامه می‌باشد.

جدول ۲. ضریب آلفای کرونباخ پرسشنامه

دسته‌بندی سؤالات:	هزینه	زمان	کیفیت	احتمال وقوع	کل سؤالات
تعداد پرسشنامه‌ها:	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵
تعداد سؤالات:	۴۱	۴۱	۴۱	۴۱	۱۶۴
ضریب آلفای کرونباخ:	۰/۹۷۲	۰/۹۷۴	۰/۹۶۶	۰/۹۶۲	۰/۹۹۱

۳-۳ سد و نیروگاه چم‌شیر

پروژه سد و نیروگاه چم‌شیر در جنوب غربی ایران و در استان کهگیلویه و بویراحمد، در فاصله ۲۵ کیلومتری جنوب‌شرقی شهرستان گچساران (دوگنبدان) بر روی رودخانه زهره احداث شده است. رودخانه زهره با متوسط دبی ۵۴ مترمکعب در ثانیه (در محل سد) از رودخانه‌های مهم و پرآب جنوب ایران بوده که پس از مشروب نمودن اراضی خوزستان، به خلیج فارس سرازیر می‌گردد. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی سد نشان داده شده است.

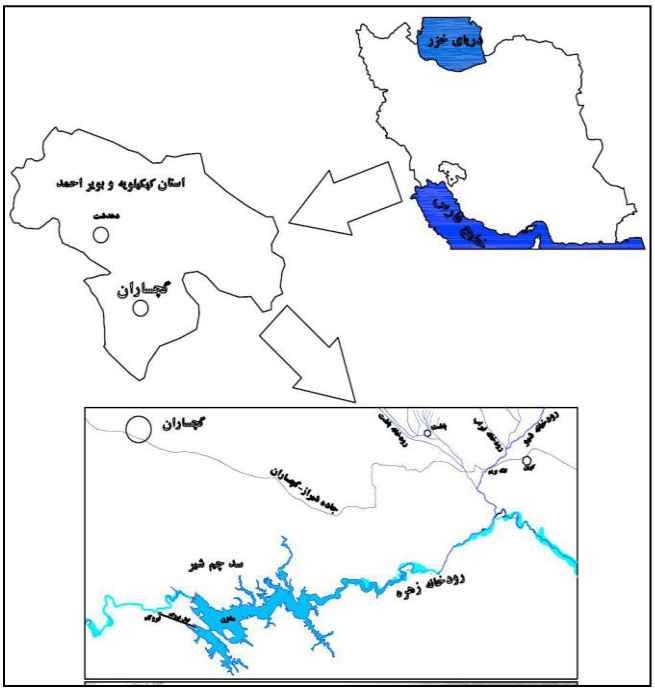
این سد ضمن کنترل طغیان‌های بزرگ رودخانه زهره، نیاز کشاورزی اراضی پایاب سد و حقابه‌بران را تامین نموده و نیز با حفظ حداقل دبی موردنیاز رودخانه در ماه‌های کم آبی، نقش موثری در بهبود کیفیت آن داشته است. بعلاوه، ذخیره‌سازی آب و ایجاد ارتفاع موثر در مخزن سد، امکان تولید انرژی برقابی را فراهم نموده است[۱۶].

ساختگاه سد چم‌شیر در حاشیه جنوبی رشته کوه‌های زاگرس و تقریباً در بخش‌های میانی و حاشیه جنوب‌غربی آن قرار گرفته است. بدنه سد چم‌شیر از نوع وزنی بتن غلتکی[2] با ارتفاع ۱۵۰ متر و طول تاج ۷۰۰ متر، با ایجاد مخزن بزرگ ۲۳۰۰ میلیون مترمکعبی، بزرگ‌ترین سد بتن غلتکی کشور است.

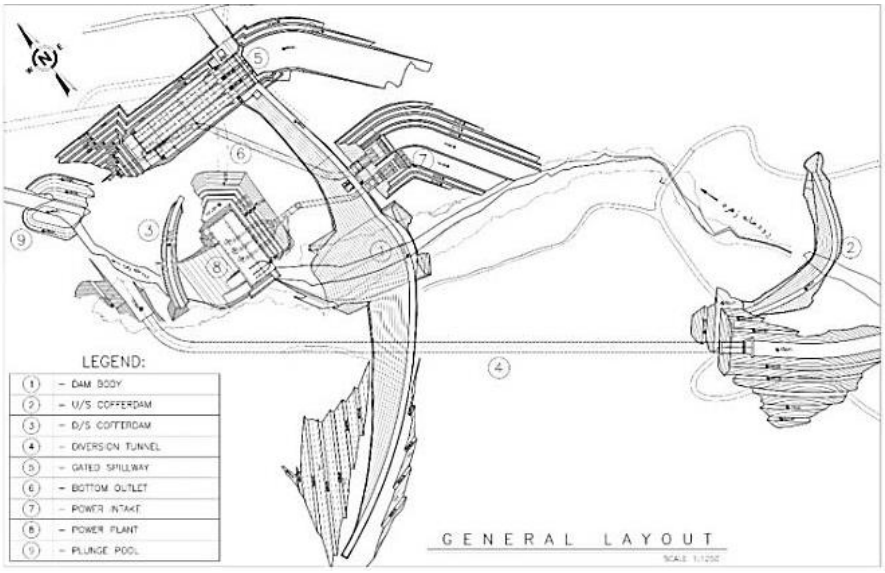
سیستم تخلیه سیلاب (سرریز) سد شامل ۳ دهانه سرریز دریچه‌دار با پرتاب‌کننده جامی‌شکل[3] واقع در جناح راست بدنه سد می‌باشد که ظرفیت روگذری ایمن دبی اوج سیلاب ورودی ۱۰ هزارساله به میزان ۷۷۹۰ مترمکعب بر ثانیه را دارد. همچنین سیستم تخلیه‌کننده تحتانی سد با ظرفیت عبور ۵۰۰ مترمکعب بر ثانیه و با هدف امکان تخلیه مخزن در موارد اضطراری، در جناح راست بدنه سد تعبیه شده است. نیروگاه برقابی سد چم‌شیر دارای ۳ واحد نیروگاهی اصلی و ۲ واحد نیروگاه زیست محیطی با مجموع توان تولید برق به میزان ۱۷۶ مگاوات، در پایین دست سد احداث شده است. شکل (۲) جانمایی سد چم‌شیر و سازه‌های جانبی آن را نشان می‌دهد[۱۶].

1. Spss (statistical package for the social sciences)

2. Rcc (roller compacted concrete)
3. Flip bucket



شکل ۱. بالا: موقعیت سد در کشور، پایین: موقعیت سد و مخزن آن بر روی رودخانه زهره[۱۶]



شکل ۲. جانمایی سد و سازه‌های جانبی طرح سد و نیروگاه چم‌شیر[۱۶]

۳-٤ شناسایی ریسک‌های پروژه سد چم‌شیر

هرنوع تکنیکی برای ارزیابی ریسک باید با ایجاد روش مناسبی برای شناسایی و طبقه‌بندی ریسک‌های خاص هر پروژه آغاز شود. جهت شناسایی ریسک‌های پروژه سد و نیروگاه چم‌شیر در ابتدا از پژوهش‌های قبلی در حوزه مدیریت ریسک پروژه‌های سدسازی استفاده شده است. سپس با استفاده از تجربیات متخصصین و خبرگان شاغل در پروژه، به‌منظور شناسایی مجموعه جامعی از ریسک‌های محتمل در صنعت سدسازی با تمرکز بر پروژه سد چم شیر، فهرستی شامل ۱۱۰ ریسک مؤثر در موضوعات مختلف پروژه، شناسایی و طبقه‌بندی گردید. پس از آن، با بررسی دقیق تر ریسک‌ها و ضمن مشاوره با برخی از مدیران و کارشناسان مجرب در پروژه، با تمرکز بر روی مشکلات عمده ایجادشده در فرایند طراحی و ساخت پروژه عظیم سد و نیروگاه چم‌شیر و حذف ریسک‌های با احتمال وقوع بسیار ضعیف و یا ادغام برخی

ریسک‌های نزدیک یا مشابه، درنهایت یک فهرست ۴۱ تایی از ریسک‌های مهم و تأثیرگذار تدوین گردید.

۳-۵ روش پرامتی[1]

خانواده روش‌های رتبه‌بندیپرامتی، ازجمله پرامتی-۱ برای رتبه‌بندی جزئی گزینه‌هاو پرامتی-۲ برای رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها، توسط برنز[2]توسعه یافتند و برای اولین‌بار در سال ۱۹۸۲ در کنفرانسی که توسط نادو[3]و لندری[4]در دانشگاه لاوال در کبک کانادا برگزار گردید، ارائه شد. روش‌های پرامتی با موفقیت در بسیاری از زمینه‌ها (مانند بانکداری، مکانیابی صنعتی، برنامه‌ریزی نیروی انسانی، منابع آب، سرمایه‌گذاری، پزشکی، شیمی، مراقبت‌های بهداشتی، گردشگری، مدیریت پویا و ...) به‌کارگرفته شده است و برخیپژوهشگران از آن در مسائل تصمیم‌گیری استفاده کرده‌اند. این روش‌ها برخی از الزامات یک روش چندمعیاره مناسب را دارند و موفقیت آن‌ها اساساً به‌دلیل ویژگی‌های ریاضی آن‌ها و سهولت خاص آن‌ها برای استفاده است[۱۷]. در این پژوهش، برای تحلیل و اولویت‌بندی ریسک‌ها از روش پرامتی-۲[5] استفاده شده است که در ادامه مراحل آن تشریح شده است.

۳-۵-۱ مراحل روش پرامتی-۲

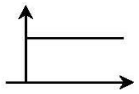
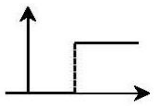
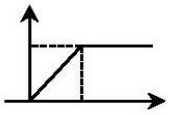
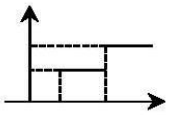
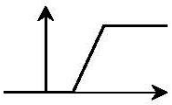
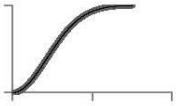
الف) ساخت ماتریس تصمیم‌گیری[6]

اولین گام در روش پرامتی، ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری است. این ماتریس از ارزیابی هریک از گزینه‌ها نسبت به تمامی معیارها در قالب یک ماتریس تعیین می‌شود.

ب) انتخاب تابع ارجحیت[7] (برتری)

ساختار تصمیم‌گیری پرامتی براساس مقایسه‌های زوجی می‌باشد. در این مورد اختلاف بین دو گزینه در یک معیار خاص در نظر گرفته می‌شود. برای تفاوت‌های کوچک تصمیم‌گیرنده ترجیح کمتری را به گزینه بهتر اختصاص می‌دهد و اگر اختلاف خیلی کم باشد می‌تواند قابل چشم‌پوشی باشد. اختلاف بزرگ‌تر نشان‌دهنده ترجیح بیشتر می باشد. این ترجیحات اعداد حقیقی در بازه صفر و یک می‌باشند. تصمیم‌گیرنده برای هر معیار یک تابع در نظر می‌گیرد[۱۸]. روش پرامتی-۲، شش نوع تابع برتری را به تصمیم‌گیرنده پیشنهاد می‌کند که در جدول (۳)نشان داده شده است.

جدول ۳. توابع برتری (ارجحیت) در روش پرامتی[۱۷]

نمودار	نام	رابطه
	معیارعادی	$P(d)=\begin{cases}0.....d\le 0\\1.....d>0\end{cases}$
	معیار بخشی (Uشکل)	$P(d)=\begin{cases}0.....d\le q\\1.....d>q\end{cases}$
	معیار Vشکل	$P(d)=\begin{cases}0.....d\le 0\\\frac{d}{p}.....0\le d\le p\\1.....d>p\end{cases}$
	معیار پله‌ای	$P(d)=\begin{cases}0.....d\le q\\\frac{1}{2}.....q\le d\le p\\1.....d>p\end{cases}$
	معیار Vشکل با ناحیه بی تفاوتی	$P(d)=\begin{cases}0.....d\le q\\\frac{d-q}{p-q}.....q\le d\le p\\1.....d>p\end{cases}$
	معیار گوسی	$P(d)=\begin{cases}0.....d\le 0\\1-e^{\frac{d2}{2s2}}...d>0\end{cases}$

پس از انتخاب تابع مطلوبیت یا تابع برتری (Fj) از جدول (۳)، مقدار Pj(a,b) برای تمامی زوج گزینه‌ها در قیاس با همه معیارها طبق روابط ۲ و ۳ محاسبه می‌گردد.

$$P_j(a,b) = F_j[d_j(a,b)] \qquad (۲)$$

$$d_j(a,b) = g_j(a) - g_j(b) \qquad (۳)$$

پ) تعیین وزن معیارها:

گام بعدی در روش پرامتی-۲ تعیین وزن هر معیار می‌باشد. وزن

1. Promethee
2. Brans
3. Nadeau
4. Landry
5. Promethee-ii
6. Decisionmatrix
7. Preferencefunction

معیارها توسط تصمیم‌گیرنده و یا با نظرسنجی از پرسش شوندگان تعیین شده و سپس نرمال می‌شوند به‌طوریکه مجموع وزن شاخص ها برابر یک می‌باشد.

ت) محاسبه درجه غلبگی[1]:

در این مرحله برای تمامی زوج گزینه‌ها درجه غلبگی مطابق رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$\pi(a,b)=\sum_{j=1}^{k}P_j(a,b)W_j \qquad (۴)$$

(a,b)بیانگر این است که درجه a در همه معیارها بر b اولویت دارد، مقدار آن بین صفر و یک می‌باشد. Wj نیز برابر وزن شاخص j ام است.

ث)محاسبه جریان‌های فرارتبه‌ای[2] مثبت و منفی:

جریان فرارتبه‌ای مثبت: برای محاسبه قدرت ترجیح کلی گزینه‌ها، جریان خروجی با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود. این جریان نشان می‌دهد که گزینه a چقدر بر سایر گزینه‌ها اولویت دارد. این جریان در حقیقت نشان‌دهنده قدرت گزینه a است. بزرگ‌ترین عدد این جریان به‌معنای بهترین گزینه است.

جریان فرارتبه‌ای منفی: ترجیح سایر گزینه‌ها بر گزینه a که جریان ورودی نامیده می‌شود با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌شود. این جریان نشان می‌دهد که سایر گزینه‌ها تا چه میزان بر گزینه a اولویت دارند. این جریان در حقیقت نشان‌دهنده ضعف گزینه a است. در این مرحله رتبه‌بندی گزینه‌ها به‌صورت جزیی انجام می‌گیرد.

$$\phi^{+}(a)=\frac{1}{n-1}\sum_{x\in A}\pi(a,x) \qquad (۵)$$

$$\phi^{-}(a)=\frac{1}{n-1}\sum_{x\in A}\pi(x,a) \qquad (۶)$$

ج) محاسبه جریان فرارتبه‌ای خالص:

جریان فرارتبه‌ای خالص، رتبه‌بندی را به‌صورت کامل انجام می‌دهد و زمانی به‌کار می‌رود که تصمیم‌گیرنده می‌خواهد گزینه‌ها را به‌صورت کامل رتبه‌بندی کند. این جزیان از رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

$$\phi(a)=\phi^{+}(a)-\phi^{-}(a) \qquad (۷)$$

این جریان حاصل توازن میان جریان‌های رتبه‌بندی مثبت و منفی است. جریان خالص بالاتر نشان‌دهنده گزینه برتر است[۱۷].

چ) رتبه‌بندیگزینه‌ها:

رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها طبق روابط زیر حاصل می‌شود.

$$(a)P(b)\leftrightarrow\square(a)>\square(b) \qquad (۸)$$

$$(a)I(b)\leftrightarrow\square(a)=\square(b) \qquad (۹)$$

همان‌طور که دیده می‌شود درصورتی‌که میزان جریان کل گزینه a از جریان کل گزینه b بیشتر باشد، گزینه a به گزینه b ترجیح داده می‌شود (Pمعرف قابل ترجیح[3])، و درصورتی‌که میزان جریان کل هر دو گزینه a و b برابر باشند، بین دو گزینه حالت بی تفاوتی وجود دارد (Iمعرف بی‌تفاوت[4]). لذا هنگامی‌که روش پرامتی-۲ به‌کار برده می‌شود، تمام گزینه‌ها قابل مقایسه می باشند. باید توجه داشت که تابع ترجیح برای مقادیر منفی d برابر صفر می‌باشد.

٤. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

در این تحقیق، جهت اولویت‌بندی ریسک‌ها بر اساس معیارهای هزینه، زمان و کیفیت از تکنیک پرامتی-۲ استفاده شده است. بدین‌منظور، نتایج پرسشنامه‌ها که شامل نظرات ۳۵ خبره شاغل در پروژه سد و نیروگاه چم‌شیر در مورد میزان اهمیت شاخص‌های هزینه، زمان و کیفیت و نیز تأثیر ریسک‌های ۴۱ گانه بر روی شاخص‌های مذکور بوده است، جمع آوری گردید. در ادامه، کل پرسشنامه‌ها با استفاده از اوزان شاخص‌ها، به یک پرسشنامه واحد تبدیل شده و فرایند تحلیل ریسک‌ها براساس روش پرامتی-۲ انجام شده است.

٤-۱ ویژگی‌های جمعیت‌شناسی جامعه آماری

٤-۱-۱ توزیع فراوانی محدوده سنی

جدول زیر توزیع فراوانی پاسخ‌دهندگان بر مبنای محدوده سنّی آن ها را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود در حدود ۹۴ درصد آن‌ها بالای ۳۹ سال سن دارند که به نوعی نشان‌دهنده باتجربه‌بودن جامعه آماری منتخب می‌باشد.

1. Preferenceindex
2. Outrankingflows
3. Preferable
4. Indifference

جدول ٤. توزیع فراوانی محدوده سنی

ردیف	سن	تعداد	درصد
۱	کمتر از ۳۰ سال	۰	٪ ۰
۲	۳۰ تا ۳۹ سال	۲	٪ ۵/۷
۳	۴۰ تا ۴۹ سال	۲۳	٪ ۶۵/۷
۴	۵۰ سال و بالاتر	۱۰	٪ ۲۸/۵
	جمع	۳۵	٪ ۱۰۰

٤-۱-۲ توزیع فراوانی سطح تحصیلات

توزیع فراوانی پاسخ‌دهندگان براساس سطح تحصیلات در جدول زیر ارائه شده است. در حدود ۷۴ درصد پاسخ‌دهندگان دارای مدارک تحصیلی کارشناسی ارشد و بالاتر می‌باشند که به نوعی بیانگر سطح بالای تخصص در جامعه آماری منتخب می‌باشد.

جدول ۵. توزیع فراوانی میزان تحصیلات

ردیف	سطح تحصیلات	تعداد	درصد
۱	کمتر از کارشناسی	۱	٪ ۲/۸
۲	کارشناسی	۸	٪ ۲۲/۸
۳	کارشناسی ارشد	۲۴	٪ ۶۸/۵
۴	دکتری و بالاتر	۲	٪ ۵/۷
	جمع	۳۵	٪ ۱۰۰

٤-۱-۳ توزیع فراوانی تجربه کاری

در جدول زیر توزیع فراوانی پاسخ‌دهندگان برحسب سابقه کار آن‌ها ارائه شده است. طبق جدول، در حدود ۹۴ درصد شرکت کنندگان در این پژوهش دارای تجربه کاری بیش از ۱۵ سال می‌باشند که بیانگر با تجربه بودن جامعه آماری منتخب می‌باشد.

جدول ٦. توزیع فراوانی برحسب میزان تجربه کاری

ردیف	تجربه کاری	فراوانی پاسخ	درصد فراوانی
۱	کمتر از ۵ سال	۰	٪ ۰
۲	۵ تا ۱۴ سال	۲	٪ ۵/۷
۳	۱۵ تا ۲۴ سال	۲۲	٪ ۶۲/۸
۴	۲۵ سال و بالاتر	۱۱	٪ ۳۱/۴
	جمع	۳۵	٪ ۱۰۰

٤-۱-٤ توزیع فراوانی جایگاه شغلی

در جدول زیر توزیع فراوانی پاسخ‌دهندگان برمبنای جایگاه شغلی آن ها در سازمان‌های دخیل در پروژه سد و نیروگاه چم‌شیر ارائه شده است. مطابق اطلاعات مذکور، بیشترین تعداد پاسخ‌دهندگان از سازمان پیمانکار با ۳۴٪ و پس از آن مشاور پیمانکار با ۲۶٪ بوده‌اند.

جدول ۷. توزیع فراوانی جایگاه شغلی پاسخ‌دهندگان

ردیف	جایگاه شغلی	فراوانی پاسخ	درصد فراوانی
۱	کارفرما	۷	٪ ۲۰
۲	مشاور کارفرما	۷	٪ ۲۰
۳	پیمانکار	۱۲	٪ ۳۴/۲
۴	مشاور پیمانکار	۹	٪ ۲۵/۷
	جمع	۳۵	٪ ۱۰۰

٤-۱-۵ توزیع فراوانی جنسیت

در جدول زیر توزیع فراوانی پاسخ‌دهندگان برمبنای جنسیت آن‌ها ارائه شده است. بر این اساس، از بین ۳۵ نفر پاسخ‌دهنده، ۳ نفر (۸٫۵٪) زن و ۳۲ نفر (۹۱٫۵٪) مرد بوده‌اند.

جدول ۸. توزیع فراوانی براساس جنسیت پاسخ‌دهندگان

ردیف	جنسیت	فراوانی	درصد فراوانی
۱	مرد	۳۲	٪ ۹۱/۵
۲	زن	۳	٪ ۸/۵
	جمع	۳۵	٪ ۱۰۰

٤-۲ رتبه‌بندیریسک‌ها

٤-۲-۱ تعیین اوزان شاخص‌ها

به‌منظور تعیین اوزان اهمیت شاخص‌های هزینه، زمان و کیفیت در پروژه سد چم‌شیر، از نظرات ۳۵ نفر از خبرگان پروژه استفاده شده است. نظرات این خبرگان بر مبنای طیف ۵ درجه‌ای و به‌صورت اعداد فازی متناظر با درجات اهمیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد درنظرگرفته شده است.

جدول ۹. اعداد فازی مثلثی معادل طیف ۵ درجه‌ای

درجه اهمیت	حداقل	متوسط	حداکثر
خیلی کم	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۵
کم	۰/۰۰	۰/۲۵	۰/۵۰
متوسط	۰/۲۵	۰/۵۰	۰/۷۵
زیاد	۰/۵۰	۰/۷۵	۱/۰۰
خیلی زیاد	۰/۷۵	۱/۰۰	۱/۰۰

جهت تجمیع نظرات خبرگان در مورد اهمیت شاخص‌ها، از روش میانگین‌گیری حسابی اعداد فازی[1] استفاده شده است. سپس اعداد فازی متوسط به روش سیمپسون فازی‌زدایی یا دیفازی[2] و سپس نرمال شده‌اند. وزن‌های نرمال‌شده شاخص‌های سه‌گانه هزینه، زمان و کیفیت به شرح جدول زیر می‌باشند.

1. Fuzzy numbers
2. Defuzzy

جدول ۱۰. اوزان شاخص‌های هزینه، زمان و کیفیت

نام شاخص		هزینه	زمان	کیفیت
متوسط اوزان فازی (طبق نظرات خبرگان)	حداقل	۰/۴۹	۰/۴۶	۰/۶۲
	متوسط	۰/۷۴	۰/۷۱	۰/۸۷
	حداکثر	۰/۹۳	۰/۹۰	۰/۹۹
اوزان دیفازی شده		۰/۷۳	۰/۷۰	۰/۸۵
اوزان نرمال شده		۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۳۷

٤-۲-۲ تعیین نوع شاخص‌ها

شاخص‌هایی همچون کیفیت، بهره وری، سود، میزان تولید، ایمنی و ... دارای جهت مثبت و از نوع ماکزیمم است. بدین‌معنی که افزایش این شاخص‌ها باعث افزایش مقبولیت پروژه شده و مطلوب کارفرما است. در طرف مقابل، شاخص‌هایی مانند مطالبات، هزینه‌ها، زمان و ... دارای جهت منفی و از نوع مینیمم می‌باشند و کاهش آن‌ها باعث افزایش مطلوبیت پروژه می‌شود.

٤-۲-۳ تعیین توابع برتری و پارامترهای مربوطه

نوع تابع برتری برای هر شاخص با استفاده از تجربیات و پژوهش‌های مشابه و نیز مقادیر پارامترهای مربوطه انتخاب می گردد. در این تحقیق، برای شاخص هزینه از تابع شماره ۵ (Vشکل با ناحیه بی‌تفاوتی)، برای شاخص زمان از تابع برتری ۴ (هم سطح) و برای شاخص کیفیت نیز از تابع برتری شماره ۶ (گوسی) استفاده شده است.

برای تعیین مقادیر آستانه بی تفاوتی (q) از مقدار میانگین منهای انحراف معیار داده‌ها استفاده شده است و برای تعیین آستانه ارجحیت (p) نیز از مقدار میانگین به‌علاوه انحراف معیار داده‌ها استفاده شده است. همچنین پارامتر □ در فرمول تابع گوسی پرامتی نیز برابر انحراف معیار داده‌ها درنظرگرفته شده است. در جدول زیر، نوع توابع برتری و پارامترهای مربوطه برای هر شاخص ارائه شده است.

جدول ۱۱.نوع توابع برتری و پارامترهای مربوطه برای هر شاخص

شاخص	هزینه	زمان	کیفیت
نوع تابع برتری پرامتی	۵	۴	۶
آستانه بی‌تفاوتی (q)	۰/۰۲۲	۰/۰۲۴	–
آستانه برتری (p)	۰/۱۳۰	۰/۱۳۸	–
(□)	-	-	۰/۰۶۳

٤-۲-٤ تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

با توجه به اینکه پرسشنامه به‌صورت فازی طراحی گردیده است، در این مرحله، امتیازدهی پاسخ‌دهندگان به ریسک‌ها در خصوص هر شاخص در برگه تجمیع به‌صورت فازی ثبت می‌شود. سپس اعداد فازی مذکور در احتمال وقوع هر ریسک ضرب فازی می‌شود. عملیات ضرب فازی برای هر ۳ شاخص هزینه، زمان و کیفیت بر روی نظرات کلیه پاسخ‌دهندگان انجام می‌شود. سپس با استفاده از روش تجمیع عدد مثلثی فازی، تمامی نظرات خبرگان تجمیع می‌شود. در نهایت تمامی پرسشنامه‌ها به یک پرسشنامه فازی تبدیل می‌شود. برای تبدیل کردن اعداد فازی ماتریس تصمیم‌گیری به اعداد قطعی از روش میانگین‌گیری سیمپسون طبق رابطه (۱۰) استفاده شده است.

$$Avg = \frac{(\min + 4*avg + \max)}{6} \qquad (۱۰)$$

٤-۲-٥ محاسبه تفاوت امتیاز گزینه‌ها

پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری با اعداد قطعی، فاصله هر ریسک از سایر ریسک‌ها (dij) محاسبه می‌شود. ارجحیت ریسک Ai بر ریسک Aj براساس مقدار تفاوت بین امتیازات آن‌ها برای هرشاخص به‌دست می‌آید. باید توجه کرد که اگر تابع از نوع مثبت (ماکزیمم) باشد، مقادیر منفی اختلاف‌ها منظورنشده و برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. در واقع در این حالت متغیر Ai ارجحیتی بر متغیر Aj ندارد. همچنین در مورد توابع با جهت منفی (مینیمم)، ارجحیت Ai بر Aj زمانی معنی می‌دهد که امتیاز Ai کمتر از امتیاز Aj باشد. لذا در این حالت مقادیر مثبت اختلاف دو متغیر برابر صفر منظور می‌شود.

٤-۲-٦ اعمال توابع برتری و محاسبه درجه غلبگی

پس از محاسبات اختلاف امتیاز گزینه‌ها (مقایسه‌های زوجی)، مقادیر تابع برتری Pj(a,b) برای هر متغیر طبق روابط تابع برتری مربوطه از جدول (۳) محاسبه می‌گردد. سپس با توجه به وزن هر شاخص (Wj)، درجه غلبگی هر متغیر نسبت به سایر متغیرها یعنی □□(a,b) و درجه غلبگی سایر متغیرها نسبت به هر متغیر یعنی □□(b,a) نیز طبق رابطه (۴) محاسبه می‌گردد.

٤-۲-۷ محاسبه جریان‌های فرارتبه‌ای

پس از محاسبه درجه غلبگی هریک از متغیرها نسبت به سایر متغیرها، مجموع درجات غلبگی هر متغیر نسبت به سایر متغیرها و نیز مجموع درجات غلبگی سایر متغیرها نسبت به آن متغیر، جریان‌های فرارتبه‌ای[1] خروجی و ورودی (مثبت و منفی) از روابط

1. Outranking

(۵) و (۶) محاسبه می‌گردد. درنهایت برای تعیین مقایسه کامل ریسک‌ها لازم است جریان فرارتبه‌ای خالص طبق رابطه (۷) محاسبه گردد. لذا برای مقایسه دو ریسک a و b، با استفاده از رابطه فوق و محاسبه جریان فرارتبه‌ای خالص، طبق روابط (۸) و (۹) امکان بررسی میزان برتری هریک از آن‌ها بر دیگری میسر می‌گردد. پس از تعیین جریان فرارتبه‌ای خالص برای کلیه ریسک‌ها، درنهایت هر ریسکی که دارای مقدار بالاتری باشد، برتر می‌باشد. لذا امکان رتبه بندی کلیه ریسک‌های مورد مطالعه فراهم خواهد بود.

٤-۲-۸ ریسک‌های رتبه‌بندی شده

پس از محاسبه جریان فرارتبه‌ای خالص کلیه ریسک‌ها، با مرتب سازی آن‌ها به‌ترتیب نزولی رتبه هرریسک مشخص می‌گردد. در جدول زیر، نتیجه نهایی رتبه‌بندی مؤثرترین ریسک‌های مورد بررسی در پروژه سد چم‌شیر براساس روش پرامتی-۲ ارائه شده است.

جدول ۱۲. رتبه‌بندی ریسک‌های مورد بررسی در پروژه سد و نیروگاه چم‌شیر به روش پرامتی-۲

شماره ریسک	شرح ریسک	جریان خالص	رتبه ریسک
A18	تجربه ناکافی پیمانکار/پیمانکاران در پروژه‌های مشابه	۰/۶۷۳۴	۱
A22	وقفه‌های کاری طولانی‌مدت	۰/۵۹۰۰	۲
A19	عدم تأمین نیروی انسانی ماهر یا بهره‌وری پایین نیروی انسانی پیمانکار	۰/۵۶۹۱	۳
A30	ایجاد آسیب در سازه‌های اصلی (ایجاد ترک، نشست پی، نشت از مخزن سد و ...)	۰/۵۵۶۶	۴
A27	کاهش توان مالی پیمانکار یا ورشکستگی آن	۰/۴۹۲۴	۵
A15	انتخاب روش‌های اجرایی نامناسب	۰/۴۵۴۷	۶
A20	انتخاب پیمانکاران جزء (دست دوم) ضعیف	۰/۴۵۱۱	۷
A26	تورم شدید و افزایش قابل توجه قیمت‌ها و دستمزدها	۰/۴۳۷۵	۸
A16	عدم تأمین یا تأخیر در تأمین مصالح و مواد اولیه مناسب و استاندارد	۰/۴۲۹۹	۹
A11	ضعف در تیم مدیریتی پیمانکار	۰/۴۲۲۶	۱۰
A17	کمبود یا نامناسب‌بودن تجهیزات و ماشین‌آلات کارگاهی	۰/۳۹۴۲	۱۱
A12	ضعف در تیم مدیریتی کارفرما یا مشاور کارفرما	۰/۳۲۳۵	۱۲
A40	تأخیر یا محدودیت در تأمین مواد، ماشین‌آلات یا تجهیزات خارجی به‌دلیل تحریم	۰/۲۲۸۷	۱۳
A24	عجله در افتتاح یا آبگیری سد	۰/۲۰۵۵	۱۴
A41	تغییرات در روابط بین‌المللی و سیاسی (تحریم‌ها، تهدیدات و ...)	۰/۱۹۴۲	۱۵
A13	هماهنگی یا همکاری ضعیف بین پیمانکار و دستگاه نظارت مقیم	۰/۱۶۹۴	۱۶
A3	مشخصات فنی ناکافی یا نامناسب	۰/۱۵۲۹	۱۷
A31	ضعف در مدیریت HSE پیمانکار	۰/۱۱۵۵	۱۸
A21	تغییرات مهم در حین اجرا (در بودجه، زمانبندی، مشخصات فنی، روش اجرا و ...)	۰/۰۶۱۵	۱۹
A1	ناکافی‌بودن مطالعات و طراحی‌ها پیش از شروع عملیات اجرایی	۰/۰۲۹۴	۲۰
A34	برخورد با شرایط ناشناخته زمین شناسی یا هیدروژئولوژی (آب‌های زیرزمینی) در اجرا	۰/۰۱۹۰	۲۱
A4	برآورد ناکافی هزینه اجرای پروژه	۰/۰۱۷۸	۲۲
A14	برنامه‌ریزی نامناسب اجرای پروژه	-۰/۰۲۶۰	۲۳
A25	تأخیر در تأیید یا پرداخت صورت وضعیت‌های پیمانکاران	-۰/۰۳۵۵	۲۴
A5	پیش بینی نادرست مدت زمان اجرا	-۰/۰۸۹۱	۲۵
A33	وقوع حوادث طبیعی (سیل، طوفان، زلزله و ...)	-۰/۱۲۱۹	۲۶
A7	عدم هماهنگی طراحی‌ها با شرایط اجرایی	-۰/۱۲۲۳	۲۷

شماره ریسک	شرح ریسک	جریان خالص	رتبه ریسک
A23	پیچیدگی پروژه از نظر اجرایی	-۰/۱۲۳۹	۲۸
A8	انتخاب نامناسب روش انجام پروژه (طرح و ساخت، سه عاملی، EPCF و ...)	-۰/۲۰۸۶	۲۹
A29	وقوع حوادث ماشین‌آلات، تجهیزات و تأسیسات کارگاهی	-۰/۳۲۷۲	۳۰
A37	اعتصابات و اغتشاشات کارکنان پیمانکار	-۰/۳۳۲۳	۳۱
A32	شیوع بیماری‌های همه‌گیر (مانند کرونا)	-۰/۳۳۶۷	۳۲
A9	نواقص، ابهامات یا تناقضات در مدارک و اسناد قراردادی	-۰/۳۷۱۳	۳۳
A10	تأخیر در حل موضوعات و اختلافات قراردادی پیمانکار	-۰/۴۱۹۱	۳۴
A2	تغییرات در طراحی‌ها و محدوده کار در حین اجرا	-۰/۴۸۹۹	۳۵
A35	کاهش کیفیت آب مخزن پس از آبگیری سد	-۰/۵۱۴۰	۳۶
A6	تأخیر در تأیید مطالعات، طراحی‌ها، نقشه‌ها و نتایج آزمایشات مصالح و ...	-۰/۶۰۱۹	۳۷
A28	وقوع حوادث انسانی (سقوط، مصدوم‌شدن و ...)	-۰/۶۰۳۰	۳۸
A39	مشکلات همکاری و هماهنگی سازمان‌های دولتی و غیردولتی	-۰/۶۹۸۵	۳۹
A36	مشکلات با اهالی منطقه یا منتقدان پروژه	-۰/۷۶۷۲	۴۰
A38	تغییرات در قوانین و مقررات و آیین نامه‌های کشور	-۰/۸۰۰۷	۴۱

همان‌طور که در جدول فوق مشاهده می‌شود، پنج ریسک برتر در پروژه سد و نیروگاه چم‌شیر عبارت‌اند از:

۱. تجربه ناکافی پیمانکار/ پیمانکاران در پروژه‌های مشابه،

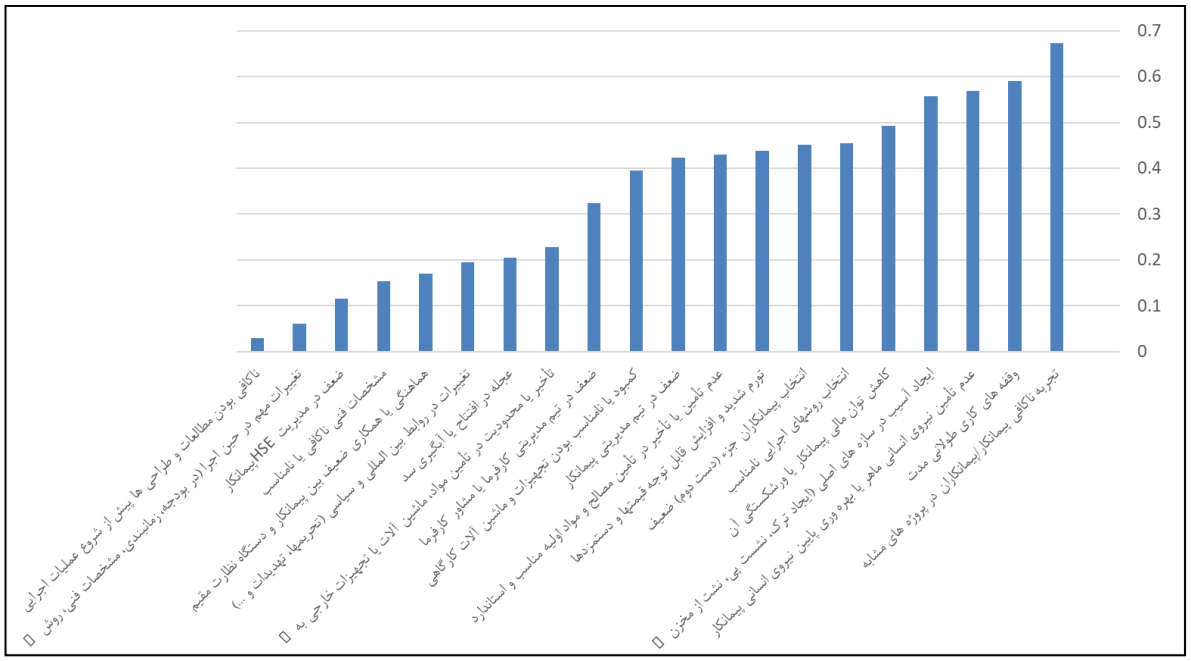
۲. وقفه‌های کاری طولانی‌مدت،

۳. عدم تأمین نیروی انسانی ماهر یا بهره‌وری پایین نیروی انسانی پیمانکار،

۴. ایجاد آسیب در سازه‌های اصلی (ایجاد ترک، نشست پی، نشت از مخزن سد و ...)،

۵. کاهش توان مالی پیمانکار یا ورشکستگی آن.

در شکل (۳) نمودار جریان فرارتبه‌ای خالص ۲۰ ریسک برتر در پروژه سد و نیروگاه چم‌شیر که با استفاده از روش پرامتی۲ به شناسایی و اولویت‌بندی شده اند، نمایش داده شده است.



شکل ۳. مقادیر جریان فرارتبه‌ای خالص ۲۰ ریسک برتر در پروژه سد و نیروگاه چم‌شیر

٤-۳ تحلیل حساسیت

با توجه به تجربی‌بودن انتخاب مقادیر آستانه بی تفاوتی و آستانه برتری در روش پرامتی، اثر اعمال تغییرات در این مقادیر بر روی خروجی رتبه‌بندی ریسک‌های مورد مطالعه، بررسی گردیده است. با انجام تحلیل حساسیت بر روی نتایج تحقیق با فرض تغییرات کاهشی یا افزایشی در پارامترهای توابع برتری در روش پرامتی، نشان داده شد که با ۱۰٪ افزایش یا کاهش پارامترهای مذکور، صرفاً برخی تغییرات جزئی در رتبه‌بندی ریسک‌ها مشاهده می‌شود که البته قابل توجه نمی‌باشند. بر این اساس، در فهرست ۵ ریسک برتر پروژه، رتبه هیچ‌کدام از ریسک‌ها تغییر نکرده است. لیکن با انجام تغییرات ۲۵ درصدی در پارامترهای مذکور، تغییرات در رتبه بندی ریسک‌ها بیشتر بوده است و ریسک‌هایی که دارای مقادیر جریان خالص نزدیک به‌هم بوده‌اند، جابه‌جا شده‌اند. اگرچه همچنان روند کلی رتبه‌بندی ریسک‌ها تغییر عمده‌ای نداشته است.

با توجه به بروز جابه‌جایی‌های ناچیز در رتبه‌بندی ریسک‌ها در کلیه سناریوهای تحلیل حساسیت، می‌توان نتیجه گرفت که تعیین پارامترهای مؤثر در توابع پرامتی از دقت مناسبی برخوردار بوده است.

٤-٤ تفسیر نتایج

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل ریسک در پروژه سد و نیروگاه چم‌شیر، ریسک‌های تجربه ناکافی پیمانکار در پروژه‌های مشابه، وقفه‌های کاری طولانی‌مدت، عدم تأمین نیروی انسانی ماهر پیمانکار یا بهره‌وری پایین آن، ایجاد آسیب در سازه‌های اصلی (ایجاد ترک، نشست پی، نشت از مخزن سد و ...) و کاهش توان مالی پیمانکار یا ورشکستگی آن، جزو ۵ ریسک با اهمیت‌تر می باشند.

با بررسی پژوهش‌های انجام شده در موضوعات مشابه، مشاهده می‌شود که ریسک «تجربه ناکافی پیمانکار» در برخی از آن‌ها ازجمله در مطالعات سرمدی [۱۹] و فیضی [۲۰] نیز جزو ۵ ریسک برتر شمرده شده‌اند. همچنین در مطالعات فلاح و همکارانش [۱۴]در میان ۷۲ ریسک مرتبط با سد البرز، ریسک عدم تجربه پیمانکار اصلی حائز رتبه ۷ گردیده است.

ریسک «وقفه‌های کاری طولانی‌مدت» در کمتر پژوهشی موردتوجه قرار گرفته است. در مطالعه موسوی شیاده [۱۲]بر روی پروژه سد مخزنی ارس۲، ریسک «وقفه‌های کاری» جزو فهرست ۴۶ ریسکی، مورد تحلیلی واقع شده و در بررسی اولیه در رتبه ۲۶ قرار گرفته است. همچنین در تحقیق رسایی گالشخیل[۱۳] بر روی پروژه سد شفارود نیز ریسک مذکور دارای رتبه ۱۹ (در بین ۴۶ ریسک) بوده است. دلیل برتربودن ریسک «وقفه‌های کاری طولانی مدت» در پروژه سد چم‌شیر را می‌توان در اثرات بسیار زیاد توقف حدوداً یک‌ساله پروژه به دلیل تمام شدن منابع مالی فاینانس خارجی آن دانست، که متأسفانه باعث تعطیلی کلیه فعالیتهای اجرایی تا زمان تأمین اعتبار مجدد آن گردید. وقفه‌های کاری طولانی‌مدت که باعث تعطیلی کامل فعالیت‌ها و تعدیل گسترده نیروها گردد، اثر بسزایی بر روی تطویل زمان پروژه و درنتیجه افزایش هزینه‌ها (مخصوصاً درصورت وجود تورم اقتصادی بالا) و درنهایت کاهش کیفیت پروژه خواهند داشت.

مشابه مطلب فوق‌الذکر در مورد ریسک «ایجاد آسیب در سازه‌های اصلی (ایجاد ترک، نشست پی، نشت از مخزن سد و ...)» نیز قابل بررسی است. در مطالعات فلاح و همکارانش [۱۴] (۱۳۹۲) درخصوص ریسک‌های سد البرز، ریسک‌های «تخریب سازه‌های اصلی»، «تراوش از سد»، «نشست سد» و «ایجاد ترک در سازه اصلی» در رتبه‌های ۲۴ تا ۳۰ اولویت‌بندی شده‌اند. اما در تحقیق حاضر کلیه آسیب‌های احتمالی در سازه‌های اصلی تحت یک عنوان تجمیع شده و دارای اثر مهم‌تری بر شاخص‌های زمان، هزینه و کیفیت پروژه داشته است.

ریسک «بهره‌وری نیروی انسانی» در مطالعه فلاح و همکارانش [۱۴]بر روی ریسک‌های سد البرز، رتبه ۳۲ را در میان ۷۲ ریسک بررسی شده به خود اختصاص داده است. این درحالی است که همین ریسک در مطالعات موسوی شیاده [۱۲]که بر روی پروژه سد مخزنی ارس۲ انجام گرفته است، در بین ۴۶ ریسک بررسی شده، رتبه ۱۶ را به‌دست آورده است. در پژوهش سرمدی [۱۹] درخصوص مدل ریسک در پروژه سد مخزنی ماملو، ریسک‌های «مهارت نیروی انسانی» و «بازدهی نیروی انسانی» به ترتیب در رتبه‌های ۲۷ و ۳۰ از میان ۴۱ ریسک بررسی شده قرار گرفتند. در پژوهش حاضر ریسک «عدم تأمین نیروی انسانی ماهر پیمانکار یا بهره‌وری پایین آن‌ها» دارای رتبه ۳ می‌باشد. این امر نشان می‌دهد که در پروژه سد چم‌شیر، نقش نیروی انسانی ماهر و با بهره‌وری بالا بر روی مجموعه شاخص‌های هزینه، زمان و کیفیت پروژه، از نظر پرسش شوندگان قابل‌توجه بوده است.

ریسک «کاهش توان مالی پیمانکار» در تحقیقات سرمدی [۱۹]، فلاح [۱۴] و فیضی [۲۰] از با اهمیت ترین ریسک‌های پروژه‌های سدسازی معرفی شده‌اند. همچنین ریسک «ورشگستگی پیمانکار» در مطالعات موسوی شیاده [۱۲] و رسایی گالشخیل

[۱۳]، حائز رتبه ۱۲ از میان ۴۶ ریسک شده است. در تحقیق حاضر نیز با ادغام دو ریسک فوق که تا حدودی نزدیک به‌هم می‌باشند، اهمیت این ریسک برجسته‌تر شده است.

۵. جمع‌بندی

در این پژوهش براساس شاخص‌های هزینه، زمان و کیفیت، ریسک‌های با اهمیت در پروژه سد و نیروگاه چم‌شیر با استفاده از روش پرامتی-۲ شناسایی و اولویت‌بندی گردیده است.

بدین‌منظور پس از بررسی مطالعات پیشین و با استفاده از تجربیات متخصصین و مجربین این صنعت، فهرستی شامل ۴۱ ریسک مهم و قابل بررسی در پروژه مذکور انتخاب گردید. سپس بر این اساس پرسشنامه مربوطه تهیه گردید و در اختیار متخصصین شاغل در پروژه قرارداده شد. در پی آن، ۳۵ پرسشنامه توسط افراد مذکور تکمیل و جمع‌آوری گردید و پس از بررسی پایایی و روایی سؤالات، محاسبات مربوط به ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های ۴۱گانه برمبنای روش پرامتی-۲ انجام گرفته است.

نتایج این تحقیق نشان دهنده آن است که در پروژه سد و نیروگاه چم‌شیر، پنج ریسک با اولویت بیشتر به‌ترتیب عبارت‌اند از:

۱. تجربه ناکافی پیمانکار/ پیمانکاران در پروژه‌های مشابه،

۲. وقفه‌های کاری طولانی‌مدت،

۳. عدم تأمین نیروی انسانی ماهر یا بهره وری پایین نیروی انسانی پیمانکار،

۴. ایجاد آسیب در سازه‌های اصلی (ایجاد ترک، نشست پی، نشت از مخزن سد و ...)،

۵. کاهش توان مالی پیمانکار یا ورشکستگی آن.

همچنین تحلیل حساسیت نتایج حاصله نشان داد که با ۱۰٪ افزایش یا کاهش پارامترهای توابع برتری در روش پرامتی، صرفاً برخی تغییرات جزئی در رتبه‌بندی ریسک‌ها مشاهده گردید، لیکن فهرست ۵ ریسک برتر پروژه تغییر نکرد.

References

[1] Nikou MR, Bashi-Azdaghi SN, Karachian R, Shirangi A. Application and comparison of ELECTRE-III and PROMETHEE methods in locating of pollution leakage monitoring wells in underground water sources. The Fifth National Conference of Environmental Engineering; 2011; Tehran, Iran. (in Persian)

[2] KafashCherandabi N, Al-Sheikh AA, Karimi M. Optimum locating of air pollution monitoring stations using outranking methods. J Environ Sci. 2012;38(62):69-82. (in Persian)

[3] Amoushahi S, Nejadkoorki F, Poorebrahim S. An Investigation on PROMETHEE and ELECTRE outranking methods in environmental decision-making of oil and petrochemical industries. J Man Environ. 2015;13(2). (in Persian)

[4] Ahadi K. Identifying, analyzing and prioritizing the risks of construction projects using the Vicor method and comparing it with the results of the Promethee method (case study: building construction projects in Karaj city) [Master's thesis]. Payam Noor University in Karaj; 2017. (in Persian)

[5] Hajkowicz S, Higgins A. A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. Eur J Oper Res. 2008;184(1):255-265.

[6] Xing-Ming X, An-Hua P. Material Selection Using PROMETHEE Combined with Analytic Network Process Under Hybrid Environment. Mater Des. 2013;47:643-652.

[7] Herva M, Roca E. Review of Combined Approaches and Multi-criteria Analysis for Corporate Environmental Evaluation. J Clean Prod. 2013;39:355-371.

[8] Vulević T, Dragović N. Multi-criteria decision analysis for sub-watersheds ranking via the PROMETHEE method. Int Soil Water Conserv Res. 2017;5(1):50-55.

[9] Sanches AM, Rocha Loures EF, Lima EP. Use of PROMETHEE Method for Decision Making in bus Maintenance Proposal of Framework. 25th International Conference on Production Research Manufacturing Innovation: Cyber Physical Manufacturing; 2019; Chicago, USA. p. 1913-1920.

[10] Rezaei D, Komasi M. Risk assessment of dam construction projects in different stages of construction using multi-criteria decision-making methods. International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Infrastructure; 2015; Tabriz, Iran. (in Persian)

[11] Nayebi A. Presentation of risk management model in Iran's dam construction projects [Master's thesis]. Eyvankay University; 2017. (in Persian)

[12] Mousavi Shiadeh SM. Presenting a model for project risk assessment (case study of Aras-2 reservoir dam) [Master's thesis]. Tarbiat Modares University; 2010; Tehran. (in Persian)

[13] Rasaei Galeshakhil M. Identification and evaluation of project risks using fuzzy multi-attribute decision-making methods (case study: Shafarood dam project) [Master's thesis]. Koshyar Institute of Higher Education; 2016. (in Persian)

[14] Falah AA, Zeini M, Farrokhi K, Hasan-nejad M. Identification and analysis of dam risks using FMEA technique, case study of Alborz Dam in Babol. International Conference on New Approaches in Energy Conservation; 2012; Tehran, Iran. (in Persian)

[15] Amiri Z. Qualitative analysis of risk using the Promethee method [Master's thesis]. Payam Noor University, Karaj; 2015. (in Persian)

[16] Mahab Ghods Consulting Engineers Company. Chamshir dam and power plant project, Synthesis report of second stage studies; 2023. (in Persian)

[17] Brans JP, Mareschal B. Promethee Methods. In: Multiple Criteria Decision Analysis. Chapter 5; 2005. p. 163-195.

[18] Kaviani A. Application and comparison of Promethee-II and Electre-III outranking methods in identifying and prioritizing critical areas of Dinvar watershed in Kermanshah province [Master's thesis]. Urmia University; 2014. (in Persian)

[19] Sarmadi B. Presenting the risk model in construction projects using the basics of the PMBOK methodology (a case study in the Mamlu reservoir dam national project) [Master's thesis]. Islamic Azad University, Central Tehran Branch; 2011. (in Persian)

[20] Fayzi Langroudi S. Analysis and evaluation of risk sources in

Iran’s dam construction projects using TOPSIS technique (case study of North Alborz dams) [Master’s thesis]. Alborz University; 2017. (in Persian)

Applied Research in Infrastructure Engineering Open Access

Spring & Summer (2026) 73-88

ORIGINAL ARTICLE

Risk Identification and Prioritization in Dam Construction Projects Using the PROMETHEE Method (Case Study: Cham-Shir Dam)

Armin Monirabbasi[1*], Hadi Fazli Shirinkand[2], MohammadHasan Salehinia[3]

1. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.
3. M.Sc. Student in Civil Engineering (Construction Engineering and Management), Payame Noor University, Iran.

Correspondence:
Armin Monirabbasi
Email:monirabbasi@pnu.ac.ir

Received:07Jun 2025
Accepted:21May 2026

ABSTRACT

Given the massive investments in dam construction projects aimed at the optimal utilization of river flows, it is essential to identify and assess risks across the study, construction, and operational phases. Dam projects worldwide are typically executed in environments characterized by high uncertainty and are invariably subject to numerous risks that can lead to schedule delays, cost overruns, and compromised project quality. This study identifies and prioritizes the risks associated with the Cham-Shir dam and hydroelectric power plant project using the PROMETHEE method.To this end, the insights and expertise of dam construction industry professionals and specialists working on the project were utilized. This study aims to identify and prioritize significant risks—specifically those associated with the Cham-Shir Dam and Power Plant project—based on cost, time, and quality criteria, employing the PROMETHEE II method. To identify key project risks, a list of 41 significant risks was selected; subsequently, 35 questionnaires completed by experienced specialists working on the project were collected and analyzed.The results of this study indicated that the risks associated with contractors' insufficient experience in similar projects, prolonged work interruptions during execution, and the failure to provide skilled labor or low workforce productivity—with net outranking flow values of 0.673, 0.590, and 0.569, respectively—were among the most significant risks in the Cham-Shir Dam project. Furthermore, sensitivity analysis revealed that a 10% increase or decrease in the parameter values of the outranking functions did not alter the list of the project's top five risks.

KEYWORDS

Risk management, risk ranking, PROMETHEE method, dam construction, Cham-Shir Dam

How to cite:
Monirabbasi, A., Fazli Shirinkand, H. &Salehinia, M.H. (2026). Risk Identification and Prioritization in Dam Construction Projects Using the PROMETHEE Method (Case Study: Cham-Shir Dam). *Applied Research in Infrastructure Engineering*, 1(1), 73-88.

Copyright © 2026 The Authors. Published by Payame Noor University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.