نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال دوازدهم. شماره چهل و شش. زمستان۱۴۰۰

ارزیابی ریسک محیط‌زیستی با استفاده از روش میانگین وزنی مرتب‌شده

لیلا مرادی[۱]، طاهر رجایی[۲]، مائده صادقپور حاجی[۳*]

تاریخ ارسال:۱۳۹۹/۰۳/۱۷

تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۰۷/۲۰

مقاله پژوهشی برگرفته از رساله کارشناسی ارشد

چکیده

هدف از انجام این تحقیق ارزیابی ریسک‌های محیط‌زیستی سد البرز برروی رودخانه بابلرود واقع در شهرستان بابل، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه بود. ابتدا به شناسایی محیط‌زیست محدوده مورد مطالعه پرداخته شد و سپس لیستی از ریسک‌های محیط‌زیستی شناسایی شده، در مرحله ساخت و بهره‌برداری تهیه و در قالب پرسشنامه در اختیار کارشناسان محیط‌زیست و آشنا با حوضه سد البرز قرار داده شد. ریسک‌های محیط‌زیستی براساس سه شاخص شدت وقوع، احتمال وقوع و اهمیت ریسک، طبق طیف امتیازدهی لیکرت توسط کارشناسان امتیازدهی گردید، سپس با استفاده از روش میانگین وزنی مرتب شده (OWA) رتبه‌بندی ریسک‌های محیط‌زیستی انجام شد. مهمترین ریسک‌های سد البرز در مرحله ساخت: وقتی تصمیم‌گیرنده ریسک‌گریز است به‌ترتیب: تخریب جنگل در محدوده سد با امتیاز ۰/۰۴۸، جابه‌جایی ساکنان مخزن سد با امتیاز ۰/۰۴۷ و وقتی تصمیم‌گیرنده ریسک‌پذیر است به‌ترتیب: تخریب جنگل در محدوده سد با امتیاز ۰/۰۵۱، جابه‌جایی ساکنان مخزن سد با امتیاز ۰/۰۵۰ به‌دست آمدند. همچنین مهمترین ریسک‌های سد البرز در مرحله بهره‌برداری: وقتی تصمیم‌گیرنده ریسک‌گریز است به‌ترتیب: لایه‌بندی حرارتی مخزن سد با امتیاز ۰/۰۵۳، کاهش خودپالایی رودخانه بابلرود با امتیاز ۰/۰۵۱، همچنین وقتی تصمیم‌گیرنده ریسک‌پذیر است به‌ترتیب: لایه‌بندی حرارتی مخزن سد با امتیاز ۰/۰۵۷، زمین لغزش با امتیاز ۰/۰۵۶ به‌دست آمدند.

واژگان کلیدی: ارزیابی ریسک محیط‌زیستی، تصمیم‌گیری چند شاخصه، روش میانگین وزنی مرتب شده، OWA، سد البرز.

[۱] - کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران، پست الکترونیکی: leilamoradi.ce@gmail.com, L.moradi@stu.qom.ac.ir

[۲] - استاد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران، پست الکترونیکی: taher_rajaee@yahoo.com, trajaee@qom.ac.ir.

[۳] - استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قائمشهر، ایران، پست الکترونیکی: sadeghpourhaji@gmail.com. (نویسنده مسئول)

مقدمه

امروزه به‌دلیل رشد جمعیت و افزایش تقاضای بشر ساخت و سازها و انجام پروژه‌های عمرانی روند روبه‌رشد داشته است و تاثیر این ساخت و سازها بر محیط‌زیست، مساله‌ای جدی و حائز اهمیت می‌باشد. پروژه‌های بزرگ مانند سدسازی دارای ریسک‌های بالقوه هم در عملیات ساخت و هم در مرحله بهره‌برداری بر محیط اطراف خود می‌باشند. برای‌همین واجب است قبل از رویارویی با ریسک‌های حاصل از این پروژه‌ها فکر اقداماتی برای آماده بودن در مقابل این ریسک‌ها بود. ارزیابی ریسک محیط‌زیستی[1] (ERA)، سدها ابزاری برای این‌کار می‌باشد. ارزیابی ریسک محیط‌زیستی گامی فراتر از ارزیابی ریسک بوده و در آن علاوه‌بر بررسی و تحلیل جنبه‌های مختلف ریسک ضمن شناخت کامل از محیط‌زیست منطقه تحت اثر میزان حساسیت محیط‌زیست متاثر و همچنین ارزش‌های خاص محیط‌زیستی منطقه نیز درتجزیه و تحلیل و ارزیابی ریسک منطقه در نظر گرفته می‌شود (Heller, 2006).

استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه در ارزیابی ریسک زیست‌محیطی سد، باعث انجام فرآیند تصمیم‌گیری صحیح و انتخاب گزینه برتر از میان مجموعه‌ای از گزینه‌ها شده و با رتبه‌بندی گزینه‌ها، و تعیین چگونگی عملکرد هر یک از ریسک‌ها، برای تصمیم‌گیر، فرصتی جهت مدیریت صحیح ریسک و انتخاب روش مناسب کنترل ریسک فراهم می‌آورد.

مروری بر ادبیات و سابقه بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه نشان می‌دهد، پروژه‌های زیادی در قالب ارزیابی ریسک با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه انجام شده است.

(Dongjian et al., 2005) در هفتاد و سومین کنفرانس سالانه[2] (ICOLD) در مقاله‌ای به مباحثی در مورد ارزیابی ایمنی سدها و سازه‌های آبی اشاره کردند و روش AHP را یک روش موثر در این ارزیابی معرفی کردند. در ابتدا به عوامل موثر در ایمنی پروژه‌ها و سپس به تشکیل سلسله مراتبی و تعیین وزن معیارها پرداختند.

(رضایی‌فر و همکاران، ۱۳۸۴) در پژوهشی که تحت‌عنوان رتبه‌بندی ریسک پروژه با استفاده از فرآیند تصمیم‌گیری چند شاخصه انجام شد، روش‌های مناسب تصمیم‌گیری چند شاخصه برای حل مسئله رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه را معرفی کردند. در این مطالعه با کاربرد این رویکرد در رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه واقعی صنعت انرژی در کشور به استفاده از روش TOPSIS پرداختند.

(Mendoza & Izquierdo, 2008) در مقاله‌ای باعنوان «طراحی مدلی برای ارزیابی سدهای ذخیره شیرآبه» به ارائه روشی برای ارزیابی ریسک محیط‌زیستی سدهای شیرآبه پرداختند و متذکر شدند که شکست این گونه سدها با توجه به مواد زیان‌آور انباشته شده در آن‌ها فاجعه محیط‌زیستی برای پایین‌دست سد دارند. این مدل دارای سه گام بود: ۱- منحنی‌های رتبه‌بندی ویژگی‌های سد که در ریسک محیط‌زیستی نقش داشتند، ۲- وزن‌دهی به هر مشخصه، ۳- تعیین عناصر محیط‌زیستی که تحت تاثیر شیرآبه قرار داشتند، سپس شاخص ریسک محیط‌زیستی محاسبه شد و براساس آن میزان ریسک محیط‌زیستی برآورد شد.

(کارآموز و همکاران، ۱۳۸۸) در مقاله‌ای باعنوان «ارزیابی آسیب‌پذیری سدها با رویکرد مدیریت راهبردی مطالعه موردی: سد کرج» ابتدا مخاطرات وارده به مخزن سد را شناسایی کردند، سپس براساس مدل DSR به عوامل داخلی و خارجی تقسیم‌بندی کردند. در ادامه، آسیب‌های ناشی از مخاطرات وارده به مخزن را تعیین کردند، سپس براساس تحلیل SWOT[3] شرایط موجود از نظر آسیب‌پذیری را بررسی کردند.

(جوزی و همکاران، ۱۳۸۹) به تجزیه و تحلیل ریسک‌های فیزیکی سد بالارود خوزستان در مرحله ساختمانی

1 Environmental Risk Assessment
2 International Commission on Large Dam

3 Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats

با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه پرداختند. ابتدا در قالب روش TOPSIS و AHP به کمک نرم‌افزار EXCEL اولویت‌بندی عوامل ریسک را انجام دادند و در ادامه استراتژی‌های اولویت‌بندی عوامل، برای رفع تعارض بین نتایج دو روش TOPSIS و AHP از روش‌های ادغام (روش میانگین رتبه‌ها، روش بردا و روش کپ‌لند) استفاده کردند.

(درویشی و همکاران، ۱۳۹۲) در مقاله‌ای تحت‌عنوان «ارزیابی ریسک زیست‌محیطی سد صیدون خوزستان در مرحله ساختمانی»، برای اولویت‌بندی عوامل ریسک از روش دلفی استفاده کردند. برای ارزیابی ریسک محیط‌زیستی نیز ابتدا با استفاده از روش آنالیز مقدماتی خطر (PHA) ریسک‌های مهم را تعیین کردند و سپس با استفاده از روش‌های TOPSIS و مجموع ساده وزین[1] (SAW) اولویت‌بندی صورت گرفت.

(Samaras et al., 2014) ریسک‌های عملیات سه پروژه سدسازی را شناسایی کردند و سپس با نظر خبرگان پنج ریسک را که مهم‌تر بودند را مشخص و سه پروژه سدسازی را با روش‌هایAHP و ELECTRE ارزیابی و رتبه‌بندی کردند و در نهایت به مقایسه نتایج دو روش پرداختند.

(رضایان و همکاران، ۱۳۹۴) به‌منظور بررسی و ارزیابی ریسک سد پاوه‌رود زنجان در مرحله ساختمانی، ابتدا پس از جمع‌آوری و بررسی اطلاعات مربوط به شرایط محیط‌زیست منطقه بررسی شده، لیستی از عوامل احتمالی ریسک به‌صورت پرسش‌نامه تهیه کردند و برای بررسی صحت آن‌ها، در اختیار گروهی متخصص شامل نخبگان و اساتید در رشته‌های مرتبط با محیط‌زیست و عمران سد قرار دادند. به‌منظور تحلیل پرسش‌نامه‌های به‌دست آمده و ریسک‌های موجود در منطقه از طیف لیکرت برای امتیازدهی استفاده کردند. پس از تجزیه و تحلیل امتیازات داده شده از روش TOPSIS به‌منظور اولویت‌بندی ریسک‌های شناسایی شده استفاده کردند، سپس با استفاده از روش RAM-D به ارزیابی ریسک سد پاوه‌رود زنجان پرداختند.

(رحیمی و همکاران، ۱۳۹۵) در مقاله‌ای تحت‌عنوان «بررسی جنبه‌های زیست‌محیطی در ساخت سدها»، ابتدا برخی تعاریف و آثار زیست‌محیطی سدها را بیان و سپس به چالش‌های زیست‌محیطی سدها در ایران پرداختند. در پایان جهت کاهش اثرات مخرب ساخت سد بر محیط‌زیست روش‌های جایگزین جهت مهار آب و کنترل سیلاب شامل استفاده از سدهای خارج از بستر، سدهای زیرزمینی و استفاده از بندها و سدهای کم-ارتفاع نظیر سدهای لاستیکی را پیشنهاد کردند.

(ملماسی و همکاران، ۱۳۹۶) برای ارزیابی ریسک زیست‌محیطی سد آزاد واقع در کردستان ابتدا با استفاده از پرسشنامه دلفی و نظر کارشناسان خبره در این زمینه، عوامل ایجادکننده ریسک‌های ناشی از فعالیت‌های فاز ساختمانی و فاز بهره‌برداری سد آزاد را شناسایی کردند و برای هرکدام از این عوامل سه معیار اهمیت، شدت و احتمال وقوع تعریف کردند که با استفاده از روش آنتروپی وزن‌دهی صورت گرفت. جهت اولویت‌بندی ریسک‌ها از سه روش TOPSIS, HAW وELECTRE از سری روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده کردند.

(Ghorbanalipour et al., 2018) در مقاله‌ای تحت-عنوان «طراحی مدل مدیریت خطرات بهداشتی انسان برای پروژه‌های سدسازی»، ابتدا خطرات اصلی پروژه را از طریق پرسشنامه مشخص کردند، سپس استراتژی-های پاسخگویی برای بحرانی‌ترین خطرات را شناسایی کردند و در آخر به کمک مدل تصمیم‌گیری، بهترین استراتژی برای مهم‌ترین فاکتورهای ریسک انسانی در پروژه سد پلرود از طریق مقایسه زوجی را انتخاب کردند.

به‌منظور ارزیابی ریسک موجود در سد، پارامترهای ریسک در مراحل مختلف پروژه شناسایی و اولویت‌بندی شدند و همچنین ۱۶ زیرمجموعه در چهار دسته عوامل خطر: عوامل انسانی، فنی – محیطی، محیطی و روانی، و با استفاده از روش DEMATEL-ANP ارزیابی و رتبه‌بندی شدند.

(Panahi et al., 2019) در مقاله‌ای تحت‌عنوان

1 Simple Additive Weighting

«کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در مطالعه‌های ارزیابی ریسک محیط‌زیستی سد تنگ‌سرخ یاسوج در مرحله ساخت»، به‌منظور شناسایی، طبقه‌بندی و ارزیابی ریسک سد تنگ‌سرخ یاسوج در فاز ساختمانی از روش TOPSIS استفاده کردند. در این پژوهش براساس بازدید میدانی، گزارش وضع موجود و مصاحبه با خبرگان عوامل ریسک را شناسایی کردند و در نهایت ۲۶ ریسک در گروه‌های حوادث طبیعی، فنی و عملیاتی، ایمنی و بهداشتی، فیزیکی و شیمیایی، بیولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی مشخص کردند.

(Sumanta et al., 2019) در مقاله‌ای تحت‌عنوان «ارزیابی ریسک انسانی سد پانچت در هند با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS و WASPAS[1]»، به ارزیابی ریسک انسانی سد پانچت پرداختند. سد پانچت در امتداد رودخانه دامودار در مرز کشورهای ایالت بنگال غربی و جرخهند هند در سال ۱۹۵۹ برای رفع برخی از مشکلات مانند کنترل سیلاب، تامین آب شرب و صنعتی، تولید برق و غیره به بهره‌برداری رسیده است. اما اکنون به‌دلیل رسوبگذاری سریع و کاهش ظرفیت ذخیره آب، تهدیدی برای اطرافیان شده است. بنابراین ارزیابی ریسک انسانی سد از اهمیت بسیاری برخوردار است. در ابتدا ۹ گزینه ریسک انسانی سد با استفاده از پرسشنامه دلفی شناسایی شده و با استفاده از روش‌های TOPSIS و WASPAS رتبه‌بندی شده است. برای رفع اختلاف بین نتایج دو روش از روش ادغام میانگین رتبه استفاده شده است. در نهایت گزینه جابه‌جایی جمعیت به‌عنوان خطرناک‌ترین ریسک شناسایی شد.

(Darvishi et al., 2019) در مقاله‌ای تحت‌عنوان «ارزیابی ریسک محیط‌زیستی سدهای در حال ساخت با استفاده از روش‌های VIKOR و EFMEA (مطالعه موردی: سد بالارود، ایران) »، ابتدا با استفاده از روش EFMEA به محاسبه شماره اولویت ریسک (RPN) برای هر عامل ریسک محیط‌زیستی پرداختند. در مرحله بعدی ریسک‌های شناسایی شده براساس مقادیر RPN رتبه‌بندی شدند و مقایسه مقادیر RPN نشان داد که خطر آلودگی رودخانه بالارود با RPN125 در اولویت قرار دارد. علاوه‌براین خطرات محیطی شناسایی شده در مرحله پیگیری با استفاده از روش آنتروپی براساس شدت، احتمال و میزان آلودگی شناسایی شدند و روش VIKOR به‌عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای ارزیابی و اولویت‌بندی خطرات احتمالی محیط‌زیستی اجرا شد.

در بسیاری از موارد، به‌دلیل عدم پیش‌بینی دقیق اتفاقات آینده، عدم دسترسی به اطلاعات دقیق و قطعی و عدم ارزیابی دقیق برخی از معیارها به‌ویژه معیارهای کیفی، تصمیم‌گیری در فضای ریسک صورت می‌گیرد. در این محیط جواب نهایی متاثر از میزان ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی تصمیم‌گیر است. اشکال اساسی روش-هایی مثل: TOPSIS, AHP, ANP, VIKOR و غیره این است که این روش‌ها قادر به درنظر گرفتن ارجحیت-های ذهنی و ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی تصمیم‌گیر نیستند و همچنین به‌دلیل محاسبات پیچیده و طولانی که دارند برای تحقیقات با تعداد ریسک بالا توصیه نمی‌شوند. در این پژوهش روش OWA[2] به‌عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری که قابلیت درنظر گرفتن اولویت‌ها و ارزیابی‌های ذهنی تصمیم‌گیر را داراست، معرفی می‌گردد. این روش توانایی درنظر گرفتن ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی تصمیم‌گیر را در فرآیند تصمیم‌گیری دارا بوده و قادر است تصمیم‌نهایی را براساس ریسک‌پذیری یا ریسک‌گریزی تصمیم‌گیر اتخاذ نماید.

در تحقیق حاضر ریسک‌های محیط‌زیستی سد البرز در مرحله ساخت بطور مجزا در سه بخش محیط‌زیست فیزیکی، محیط‌زیست بیولوژیکی و محیط‌زیست اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی و در مرحله بهره‌برداری در دو بخش محیط‌زیست فیزیکی و بیولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند، سپس با استفاده از روش میانگین وزنی مرتب شده (OWA) رتبه‌بندی ریسک‌های

1 weighted aggregated sum product assessment

2 Ordered weighted averaging Method

محیط‌زیستی سد البرز انجام شده است.

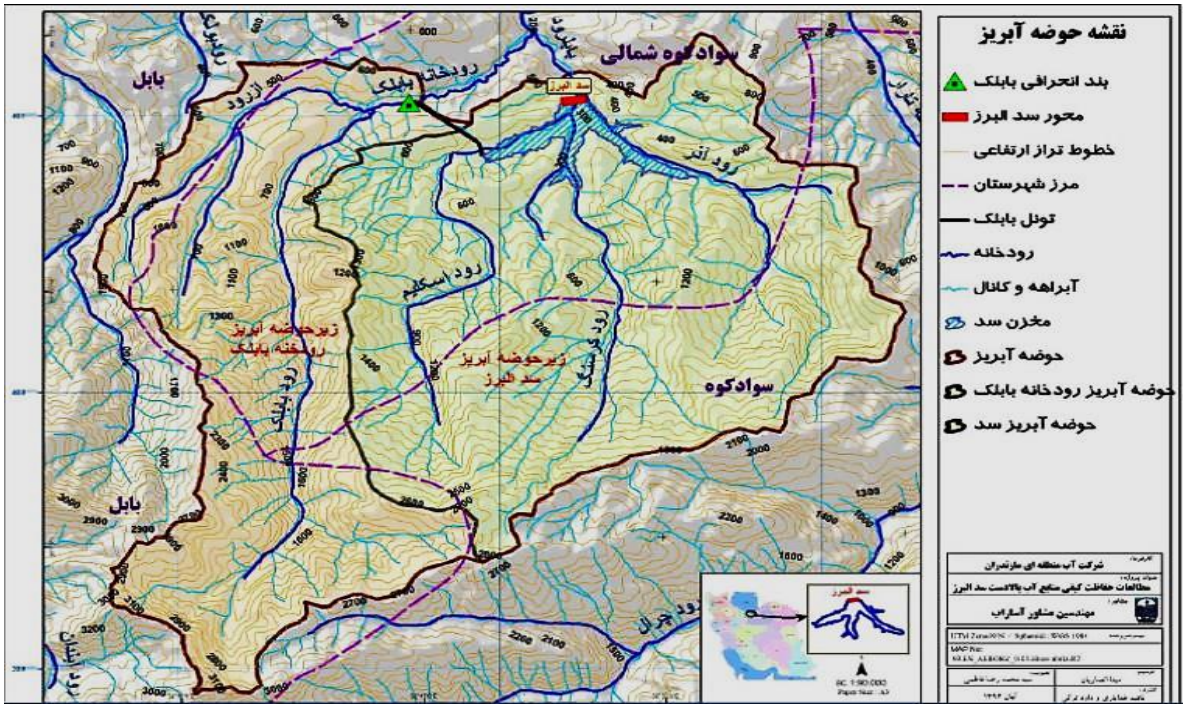
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

از نظر موقعیت جغرافیایی، سد مخزنی البرز برروی رودخانه بابل و پس از تلاقی شاخه‌های گزو و کرسنگ (چاخانی) در ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی بابل و ۵۰ کیلومتری جنوب غربی قائمشهر و در فاصله ۲۶۹ کیلومتری شمال شرقی تهران در ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی انتخاب و تعیین شده است. سد مخزنی البرز از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی بوده و سیستم انحراف آن، جهت احداث سد و سازه‌های جنبی شامل فرازبند، تونل‌های انحراف و نشیب‌بند است. سیلاب طراحی سیستم انحراف، سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله و حداکثر دبی لحظه‌ای ۳۷۰ مترمکعب در ثانیه محاسبه شده است. سازه‌های اصلی طرح، سد سنگریزه‌ای با هسته رسی قائم، با فرض برداشت کامل پی آبرفتی، به ارتفاع حدود ۷۸ متر می‌رسد. هدف اصلی سد، ذخیره آب و تامین نیازهای آبی حدود ۵۱۰۰۰ هکتار از اراضی تحت پوشش شبکه‌های مدرن و سنتی است و تولید برق از اهداف جانبی سد می‌باشد. حجم مخزن ۱۵۰ میلیون مترمکعب و رقوم نرمال آب ۳۰۱ متر از سطح دریا پیش‌بینی شده است. حجم رسوبات ۵۰ ساله ورودی به مخزن، حدود ۱۰ میلیون مترمکعب برآورد شده است (این مقدار، حجم رسوب ورودی از طریق رودخانه بابل است) که تراز متناظر با حجم مرده مخزن را به ۲۶۳/۵ متر بالاتر از سطح دریا می‌رساند. جدول ۱ مشخصات فنی و شکل ۱ موقعیت مکانی سد مخزنی البرز را نشان می‌دهد.

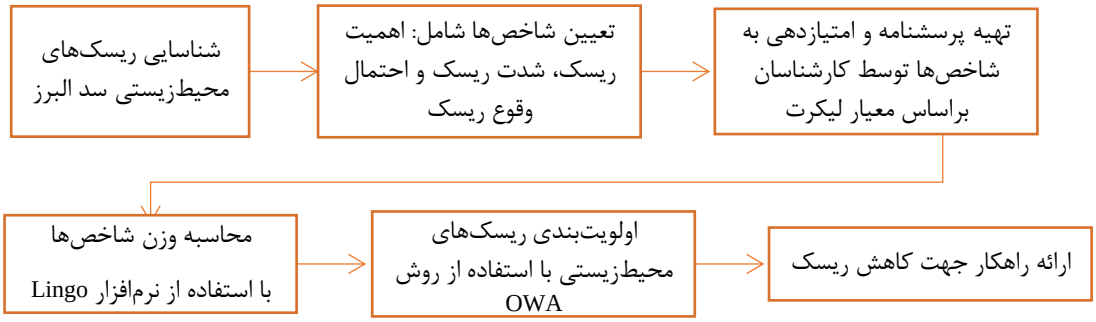
جدول (۱): مشخصات فنی سد البرز

نوع سد	سنگریزه‌ای با هسته رسی
ارتفاع سد از پی	۷۸ متر
رقوم نرمال آب	۳۰۱ متر بالاتر از سطح دریا
تراز تاج سد	۳۰۷ متر بالاتر از سطح دریا
طول تاج سد	۸۳۸ متر
عرض تاج	۱۲ متر
عرض پی	۴۵۰ متر
حجم کل مخزن	۱۵۰ میلیون متر مکعب
سطح کل مخزن در رقوم نرمال	۵/۱ کیلومتر مربع



شکل (۲): موقعیت مکانی سد مخزنی البرز

فرآیند ارزیابی ریسک‌های محیط‌زیستی سد البرز به‌ترتیب نشان‌داده شده در شکل ۳ و به‌شرح زیر انجام شد:



شکل (۳):. نمودار فرآیند ارزیابی ریسک‌های محیط‌زیستی سد البرز

شناسایی ریسک‌های محیط‌زیستی:

پس از بررسی پیشینه و مروری بر ادبیات تحقیق، استفاده از مطالعات ارزیابی اثرات محیط‌زیستی طرح البرز و همچنین بررسی ریسک‌های احتمالی در پروژه‌های مشابه سدسازی انجام شد. همچنین به منظور جمع‌آوری اطلاعات پایه، به شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران مراجعه شد. بدین ترتیب ریسک‌های محیط‌زیستی سد البرز در سه بخش محیط‌زیست فیزیکی، محیط‌زیست بیولوژیکی و محیط‌زیست اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در مرحله ساخت و در دو بخش محیط‌زیست فیزیکی و بیولوژیکی در مرحله بهره‌برداری شناسایی شد. ریسک‌های شناسایی شده در مرحله ساخت و بهره‌برداری به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول (۲):. ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز در فاز ساختمانی

ریسک‌های زیست‌محیطی (محیط‌زیست فیزیکی)	ریسک‌های زیست‌محیطی (محیط‌زیست بیولوژیکی)	ریسک‌های زیست‌محیطی (محیط‌زیست اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی)
A_1- افزایش غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های آب رودخانه‌ها	A_{12}- تخریب جنگل در محدوده سد	A_{21}- افزایش بار ترافیکی جاده‌ها
A_2- افزایش شوری آب رودخانه‌ها	A_{13}- کاهش میزان پلانکتون‌ها	A_{22}- ازبین رفتن اراضی کشاورزی
A_3- تشدید فرسایش سطحی خاک	A_{14}- تخریب لانه و آشیانه پرندگان و پستانداران	A_{23}- ایجاد چشم‌انداز نامطلوب
A_4- افزایش ذرات ریز و بار معلق رودخانه‌ها	A_{15}- ازبین رفتن جوامع کفزی رودخانه‌ها	A_{24}- بروز سوانح در کارگاه‌ها
A_5- کاهش خودپالایی رودخانه‌ها	A_{16}- مرگ و میر ماهیان	A_{25}- جابه‌جایی ساکنان مخزن سد
A_6- افزایش کدورت آب رودخانه‌ها	A_{17}- کاهش تولیدات اولیه گیاهان آبزی، کنارآبزی و جلبک‌های آبزی رودخانه‌ها	A_{26}- تاثیر بر گردشگری
A_7- افزایش رسوب رودخانه‌ها	A_{18}- مهاجرت جانوران (به‌ویژه پرندگان)	
A_8- افزایش غلظت گرد و غبار	A_{19}- کاهش ظرفیت برد زیستگاه‌ها (آبی، دشتی و کوهستانی)	
A_9- افزایش آلودگی آب (فاضلاب خانگی) رودخانه‌ها	A_{20}- کاهش جمعیت دوزیستان و خزندگان	
A_{10}- افزایش آلودگی صوتی		
A_{11}- افزایش غلظت آلاینده‌های هوا		

جدول (۳): ریسک‌های زیست‌محیطی سد البرز در فاز بهره‌برداری

ریسک‌های زیست‌محیطی (محیط‌زیست فیزیکی)	ریسک‌های زیست‌محیطی (محیط‌زیست بیولوژیکی)
A_1- بالا آمدن سطح آب سفره‌های زیرزمینی	A_{13}- وقوع سیل
A_2- شور شدن خاک	A_{14}- زمین لغزش
A_3- تجمع نمک و افزایش میزان املاح در پشت سد	A_{15}- ایجاد اکوسیستم‌های ماندابی
A_4- تجمع رسوب و مواد مغذی در مخزن سد	A_{16}- اجتماع گیاهان آبزی، کنارآبزی و گونه‌های درختی نم‌پسند
A_5- لایه‌بندی حرارتی سد مخزنی البرز	A_{17}- استقرار انواع جلبک‌های رشته‌ای سبزآبی (کانال آبرسانی)
A_6- زلزله القایی سد مخزنی البرز	A_{18}- اتروفیکاسیون (سد مخزنی البرز)
A_7- افزایش بار آلودگی رودخانه‌ها	A_{19}- افزایش جمعیت گراز در مزارع
A_8- کاهش خودپالایی رودخانه بابلرود	A_{20}- ایجاد محیط مناسب جهت تکثیر و رشد حشرات
A_9- آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی	A_{21}- تهدید حیات آبزیان (در صورت عدم رهاسازی آب)
A_{10}- آلودگی صوتی	A_{22}- افزایش جمعیت پرندگان و پستانداران کوچک
A_{11}- فشرده شدن خاک	
A_{12}- زه‌دار شدن خاک	

تعیین شدت ریسک، احتمال وقوع و اهمیت ریسک‌های محیط‌زیستی مشخص شده:

در این مرحله ریسک‌های شناسایی شده براساس سه شاخص شدت ریسک، احتمال وقوع و اهمیت ریسک به صورت پرسشنامه در اختیار ۱۰ نفر از کارشناسان محیط‌زیست و آشنا با حوضه سد و دارای مدرک فوق‌لیسانس یا دکتری، جهت امتیازدهی قرار گرفت. لازم به‌ذکر است کارشناسانی که به امتیازدهی ریسک‌های شناسایی شده پرداختند از بین اساتید دانشگاه دارای مدرک دکتری محیط‌زیست، مهندسین مشاور شرکت آب منطقه‌ای مازندران و همچنین مهندسین مشاور شرکت مهاب قدس بودند. معیار

امتیازدهی به شاخص‌ها طیف امتیازدهی لیکرت درنظر گرفته شد. جدول ۴ طیف امتیازدهی لیکرت را نشان می‌دهد.

جدول(۴): طیف امتیازدهی به شاخص‌ها

میزان تاثیر	بسیار مهم	مهم	متوسط	کم	بسیار کم
امتیاز	۹	۷	۵	۳	۱

نحوه امتیازدهی به سه شاخص شدت ریسک، احتمال وقوع و اهمیت ریسک توسط کارشناسان:

الف- شدت ریسک که میزان و بزرگی ریسک را مدنظر دارد، براساس لیکرت از ۱ تا ۹ تعیین شده است. عدد ۱ نشانگر شدت بسیار کم و عدد ۹ نشانگر شدت بسیار زیاد است.

ب- احتمال وقوع ریسک که نشان‌دهنده امکان به وقوع پیوستن یک خطر در یک دوره زمانی معین است، براساس لیکرت از ۱ تا ۹ درجه‌بندی شده که عدد ۱ نشانگر کمترین احتمال وقوع و عدد ۹ نشانگر بیشترین احتمال وقوع است.

ج- اهمیت ریسک که نشان‌دهنده حساسیت محیط پذیرنده و قابل‌توجه بودن ریسک می‌باشد، براساس لیکرت از ۱ تا ۹ درجه‌بندی شده که عدد ۱ نشانگر کمترین اهمیت و عدد ۹ نشانگر بیشترین اهمیت است.

پس از شناسایی ریسک‌های محیط‌زیستی سد البرز و امتیازدهی به این ریسک‌ها براساس شاخص‌های شدت ریسک، احتمال وقوع و اهمیت ریسک توسط کارشناسان، در نهایت کلیه پرسشنامه‌ها در محیط نرم‌افزار Excel مورد تحلیل قرار گرفته و میانگین - هندسی هریک از این سه شاخص برای هریک از ریسک‌ها بدست آمده است. به‌منظور اولویت‌بندی ریسک‌های محیط‌زیستی از روش تصمیم‌گیری چند معیاره OWA استفاده شده است.

روش OWA:

در یک مسأله تصمیم‌گیری، افراد ریسک‌پذیر برروی خواص خوب یک گزینه و افراد ریسک‌گریز برروی خواص بد یک گزینه تاکید می‌کنند و آنرا ملاک انتخاب خود قرار می‌دهند. روش OWA قادر است میزان ریسک‌پذیری و ریسک‌گریزی افراد را مدنظر قرار دهد و آن را در رتبه‌بندی گزینه‌ها اعمال کند. این تکنیک اولین‌بار توسط Yager در سال ۱۹۸۸ معرفی شد. تاکنون مدل‌های زیادی برای تکنیک OWA ارائه شده است که دو مدل آن بسیار پرکاربرد می باشد یکی مدل اصلی یاگر و دیگری مدل Ohagan در سال ۱۹۸۸ می‌باشد.

عملگر n بعدی OWA در حقیقت یک نگاشت از فضای R^n به R است که برای تجمیع ورودی‌های یک سیستم اعمال می‌شود و دارای یک بردار وزن به‌صورت $W=[w_1,w_2,\ldots,w_n]$ می‌باشد، به‌طوری که هر عضو این بردار در بازه [0,1] قرار دارد و $\sum_{i=1}^{n} Wi = 1$ است، و همچنین‌داریم:

$$F_w(x_1,\ldots,x_2) = \sum_{i=1}^{n} W_i.b_i \quad , X\epsilon I^n \qquad (۱)$$

b_i، iامین مقدار بزرگ مجموعه مرتب شده صعودی به نزولی مجموعه $X=[x1,x2,\ldots,xn]$ است. برای بردار $W=[w1,w2,\ldots,wn]$ درجه خوش‌بینی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{orness}(W) = \alpha = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(n-i)w_i \qquad (۲)$$
$$0 < \alpha < 1$$

هرچه مقدار orness بیشتر باشد، ورودی‌های بزرگتر وزن بیشتری خواهند داشت بنابراین میزان ریسک‌پذیری تصمیم‌گیر بیشتر خواهد بود. همچنین مقدار orness بیشتر از ۰/۵ نشان‌دهنده تصمیم‌گیر ریسک‌پذیر، برابر با ۰/۵ نشان‌دهنده تصمیم‌گیر خنثی و کوچکتر از ۰/۵ نشان‌دهنده تصمیم‌گیر ریسک‌گریز

است. معروف‌ترین بردارهای وزن W عملگرهای ماکسیمم، مینیمم و میانگین هستند که به‌ترتیب با W^*، W_* و W_A نمایش داده و داریم:

اگر $orness(W^*)=1$ آنگاه $F_{W^*}(X)=max[3]$ بنابراین $W^*=(1,0,\ldots,0)$.

اگر $orness(W_*)=0$ آنگاه $Fw_*(X)=min\ [3]$ بنابراین $W_*=(0,0,\ldots,1)$.

اگر $orness(W_A)=\frac{1}{2}$ آنگاه $Fw_A(X)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} xi$ بنابراین $W_A=(\frac{1}{n}.\frac{1}{n}.\ldots.\frac{1}{n})$ (میانگین ورودی‌ها).

مدل‌های متعددی جهت تعیین وزن‌های بردار $W=[w_1,w_2,\ldots,w_n]$ توسط محققین برمبنای اندازه پراکندگی‌های مختلف بردار وزن W و یا مفروضات دیگر مسئله معرفی شده‌اند. در اینجا به مدل اوهاگان در سال ۱۹۸۸ که به آن مدل ماکزیمم آنتروپی می‌گویند پرداخته شده است.

این مدل، یک مدل غیرخطی است که هدف از حل آن محاسبه W_iها به‌ازای مقادیر مختلف آلفا می‌باشد، که این مقادیر برای تصمیم‌گیرنده ریسک‌گریز تا ریسک‌پذیر متغییر است.

$$\text{Max } H(W) = -\sum_{i=1}^{n} W_i \ln W_i \qquad (۳)$$

$$\text{s.t. } orness(W) = \sum_{i=1}^{n} \frac{n-i}{n-1} w_i = \alpha$$

$$0 < \alpha < 1$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1\,,\ w_i \in [0,1],\ i = (1,2,\ldots,n)$$

این مدل از یک تابع هدف و دو محدودیت تشکیل شده است. مزیت مدل در این است که براساس هر تصمیم‌گیرنده یک α قرار داده و براساس آن وزن شاخص‌ها را به‌دست آورده ($0<\alpha<0.5$ معرف تصمیم‌گیرنده ریسک‌گریز، $\alpha=0.5$ معرف تصمیم‌گیرنده خنثی و $0.5<\alpha<1$ معرف تصمیم‌گیرنده ریسک‌پذیر است) سپس براساس هر تصمیم‌گیرنده ارزش تجمیعی هر گزینه تعیین می‌شود.

نتایج

نتایج تحلیل پرسشنامه‌ها

پس از شناسایی ریسک‌های محیط‌زیستی سد البرز و امتیازدهی به این ریسک‌ها براساس شاخص‌های شدت ریسک، احتمال وقوع و اهمیت ریسک توسط کارشناسان، در نهایت کلیه پرسشنامه‌ها در محیط نرم‌افزار Excel مورد تحلیل قرار گرفته و میانگین - هندسی هریک از این سه شاخص برای هریک از ریسک‌ها به‌دست آمده است. بدین ترتیب نتایج حاصل در مرحله ساخت در جدول ۵ که شامل ۲۶ ریسک می‌باشد و در مرحله بهره‌برداری در جدول ۶ که شامل ۲۲ ریسک می‌باشد آمده است. شایان ذکر است که کلیه ریسک‌های موجود به عنوان گزینه‌ها و با علامت A_1 تا A_{26} در مرحله ساخت و A_1 تا A_{22} در مرحله بهره‌برداری درنظر گرفته شده است.

جدول (۵): نتایج نهایی تحلیل پرسشنامه‌ها در مرحله ساخت

گزینه‌ها	شاخص‌ها			گزینه‌ها	شاخص‌ها		
	شدت	احتمال	اهمیت		شدت	احتمال	اهمیت
A_1	۴/۴۵	۶/۱۱	۵/۲	A_{14}	۵/۱	۵/۳	۵/۸
A_2	۳/۶۲	۴/۶	۴/۷۴	A_{15}	۵/۷۱	۵/۶۲	۶/۱۱
A_3	۴/۷۵	۵/۹۲	۴/۳	A_{16}	۴/۹۱	۵/۴۳	۶/۵
A_4	۵/۳	۶/۳۳	۵/۹۱	A_{17}	۳/۹۴	۴/۵۱	۴/۵
A_5	۴/۱۱	۴/۲۵	۴/۹۵	A_{18}	۵	۵/۴۳	۵/۵
A_6	۴/۵۱	۶/۱۲	۵/۴۳	A_{19}	۳/۸۱	۵/۱	۵/۴۳
A_7	۵/۴۳	۶/۳۳	۵/۲۵	A_{20}	۴/۰۱	۴/۵۱	۶/۰۱
A_8	۵/۱	۶/۲۲	۴/۶۳	A_{21}	۵/۸۱	۵/۴۳	۵/۹۶
A_9	۳/۱۳	۳/۹۱	۳/۶	A_{22}	۵/۷۶	۵/۵۲	۶/۸۲
A_{10}	۵/۴۳	۵/۷۱	۵/۱	A_{23}	۵/۴۳	۵/۱	۵/۲
A_{11}	۳/۸۱	۵/۲	۴/۷۴	A_{24}	۵/۶۲	۶/۰۱	۷
A_{12}	۶/۰۱	۷/۴۲	۷/۳	A_{25}	۶/۵	۶/۵	۷/۲۴
A_{13}	۳/۹۱	۴/۸۳	۴/۳	A_{26}	۵/۱	۵/۵۳	۶/۰۱

جدول (۶): نتایج نهایی تحلیل پرسشنامه‌ها در فاز بهره‌برداری

گزینه‌ها	شاخص‌ها			گزینه‌ها	شاخص‌ها		
	شدت	احتمال	اهمیت		شدت	احتمال	اهمیت
A_1	۵/۲	۵/۶۲	۶/۲۲	A_{12}	۵	۵/۳۵	۵/۳
A_2	۳/۵	۴/۲۲	۵/۷۲	A_{13}	۴/۹۴	۲/۵۳	۵/۸
A_3	۴/۱	۴/۶	۵/۱	A_{14}	۶/۵	۴/۲۱	۷
A_4	۵/۷	۵/۶۲	۵/۸۲	A_{15}	۴/۹۱	۴/۹۱	۵/۶۲
A_5	۶/۵	۵/۴۳	۶/۵	A_{16}	۴/۲۱	۴/۳۶	۴/۳۶
A_6	۶/۱۱	۴/۲۵	۶/۸۲	A_{17}	۳/۵۵	۴/۸۳	۴/۵
A_7	۵/۶	۴/۷	۶/۱	A_{18}	۵/۸۱	۴/۴۴	۶/۷۱
A_8	۵/۴۳	۵/۳۴	۶/۴۳	A_{19}	۳/۷۱	۳/۶۵	۴/۸۳
A_9	۴/۸۳	۴/۴۴	۶/۵۴	A_{20}	۴/۳۶	۴/۴۴	۵/۱
A_{10}	۳/۵	۴/۸۳	۵/۱۲	A_{21}	۶/۰۱	۴/۲۵	۷/۵۵
A_{11}	۴/۰۱	۴/۱	۳/۹۱	A_{22}	۳/۹	۴/۹۱	۵/۱

نتایج روش OWA:

ماتریس تصمیم اولیه براساس نظر کارشناسان تشکیل شد سپس ماتریس تصمیم نرمالایز شده به‌دست آمد. سپس با استفاده از مدل ماکزیمم آنتروپی وزن شاخص‌ها به‌دست آمد. برای بررسی میزان تاثیر ریسک-پذیری و ریسک‌گریزی تصمیم‌گیر برروی ارزش نهایی هر شاخص، مقادیر $\alpha>0.5$ (معرف تصمیم‌گیر ریسک-پذیر)، $\alpha=0.5$ (معرف تصمیم‌گیر خنثی) و $\alpha<0.5$ (معرف تصمیم‌گیر بدبین و ریسک‌گریز) در نظر گرفته شده است. مدل فوق با استفاده از نرم‌افزار Lingo حل شده است. به این صورت که ابتدا مدل مورد نظر در نرم‌افزار Lingo نوشته شد و براساس ریسک‌پذیری یا ریسک‌گریزی تصمیم‌گیر مقادیر مختلف α به مدل داده شد و براساس آن مقادیر مختلف W_i به‌دست آمد. وزن‌های به‌دست آمده براساس مدل ماکزیمم آنتروپی در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول (۷): وزن شاخص‌ها براساس مدل ماکزیمم آنتروپی با استفاده از نرم‌افزار Lingo

تصمیم‌گیرنده	α	شدت ریسک (W_1)	احتمال وقوع (W_2)	اهمیت ریسک (W_3)
ریسک‌پذیر	۰/۷	۰/۵۵۴	۰/۲۹۲	۰/۱۵۴
خنثی	۰/۵	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳
ریسک‌گریز	۰/۲	۰/۰۸۲	۰/۲۳۶	۰/۶۸۲

پس از محاسبه مقدار W_i ابتدا باید مقادیر ماتریس نرمالایز شده برای هر گزینه به‌صورت صعودی به نزولی مرتب شده سپس در مقادیر W_i ضرب شده تا ارزش تجمیعی هر گزینه به‌دست آید. به‌منظور رتبه‌بندی گزینه‌های موجود، براساس هر تصمیم‌گیر، ارزش تجمیعی گزینه‌ها به‌صورت صعودی به نزولی مرتب شده و گزینه‌های با ارزش بیشتر در اولویت قرار گرفتند. نتایج نهایی رتبه‌بندی در جدول ۸ و ۹ ارائه شده است.

جدول (۸): نتایج نهایی رتبه‌بندی براساس مدل ماکزیمم آنتروپی در مرحله ساخت

ردیف	ریسک‌گریز α=0.2	خنثی α=0.5	ریسک‌پذیر α=0.7	ردیف	ریسک‌گریز α=0.2	خنثی α=0.5	ریسک‌پذیر α=0.7
۱	A_{12}	A_{12}	A_{12}	۱۴	A_6	A_8	A_{14}
۲	A_{25}	A_{25}	A_{25}	۱۵	A_{23}	A_{18}	A_{23}
۳	A_{24}	A_{24}	A_{24}	۱۶	A_1	A_{23}	A_1
۴	A_4	A_{22}	A_{22}	۱۷	A_8	A_1	A_{18}
۵	A_{22}	A_{26}	A_{26}	۱۸	A_3	A_3	A_3
۶	A_{15}	A_4	A_{15}	۱۹	A_{20}	A_{20}	A_{20}
۷	A_{26}	A_{15}	A_{21}	۲۰	A_{19}	A_{19}	A_{19}
۸	A_{21}	A_{21}	A_4	۲۱	A_{11}	A_{11}	A_{11}
۹	A_{16}	A_7	A_7	۲۲	A_{17}	A_5	A_5
۱۰	A_7	A_{16}	A_{16}	۲۳	A_5	A_{13}	A_{13}
۱۱	A_{18}	A_{10}	A_{10}	۲۴	A_{13}	A_{17}	A_2
۱۲	A_{14}	A_{14}	A_8	۲۵	A_2	A_2	A_{17}
۱۳	A_{10}	A_6	A_6	۲۶	A_9	A_9	A_9

جدول (۹): نتایج نهایی رتبه‌بندی براساس مدل ماکزیمم آنتروپی در مرحله بهره‌برداری

ردیف	ریسک‌گریز α=0.2	خنثی α=0.5	ریسک‌پذیر α=0.7	ردیف	ریسک‌گریز α=0.2	خنثی α=0.5	ریسک‌پذیر α=0.7
۱	A_5	A_5	A_5	۱۲	A_{12}	A_{15}	A_{15}
۲	A_8	A_{21}	A_{14}	۱۳	A_{20}	A_{22}	A_{22}
۳	A_1	A_{14}	A_{21}	۱۴	A_3	A_{20}	A_{10}
۴	A_4	A_4	A_6	۱۵	A_{22}	A_3	A_3
۵	A_7	A_8	A_4	۱۶	A_{16}	A_{10}	A_{13}
۶	A_{18}	A_1	A_1	۱۷	A_2	A_2	A_{20}
۷	A_{21}	A_6	A_{18}	۱۸	A_{10}	A_{13}	A_2
۸	A_{14}	A_{18}	A_8	۱۹	A_{19}	A_{16}	A_{17}
۹	A_6	A_7	A_7	۲۰	A_{17}	A_{17}	A_{16}
۱۰	A_{15}	A_{12}	A_{12}	۲۱	A_{11}	A_{19}	A_{11}
۱۱	A_9	A_9	A_9	۲۲	A_{13}	A_{11}	A_{19}

همان‌طور که از نتایج مشهود است روش OWA قادر است خصوصیات ذهنی تصمیم‌گیر را درنظر گیرد و براساس هر تصمیم‌گیرنده بدبین و یا خوش‌بین رتبه-بندی انجام دهد. همچنین با تغییر مقادیر α میزان ریسک‌پذیری و یا ریسک‌گریزی تصمیم‌گیرنده تغییر کرده و وزن‌های متفاوت به ما می‌دهد در نتیجه رتبه-بندی تصمیم‌گیرنده نیز تغییر خواهد کرد. براساس نتایج به‌دست آمده در جدول ۸ و مطابقت آن با جدول ۲ مهمترین ریسک‌های محیط‌زیستی سد البرز در مرحله ساخت مشخص شد. در جدول ۱۰ مهمترین ریسک‌های محیط‌زیستی سد البرز در مرحله ساخت ارائه شده است.

جدول (۱۰):مهمترین ریسک‌های محیط‌زیستی سد البرز در مرحله ساخت

رتبه	ریسک‌گریز	ارزش تجمیعی	ریسک‌پذیر	ارزش تجمیعی
۱	تخریب جنگل در محدوده سد	۰/۰۴۸	تخریب جنگل در محدوده سد	۰/۰۵۱
۲	جابه‌جایی ساکنان مخزن سد	۰/۰۴۷	جابه‌جایی ساکنان مخزن سد	۰/۰۵۰
۳	بروز سوانح در کارگاه‌ها	۰/۰۴۳	بروز سوانح در کارگاه‌ها	۰/۰۴۶
۴	افزایش ذرات ریز و بار معلق رودخانه‌ها	۰/۰۴۲	ازبین رفتن اراضی کشاورزی	۰/۰۴۵
۵	ازبین رفتن اراضی کشاورزی	۰/۰۴۱	تاثیر بر گردشگری	۰/۰۴۴

همچنین براساس نتایج به‌دست آمده در جدول ۹ و مطابقت آن با جدول ۳ مهمترین ریسک‌های محیط‌زیستی سد البرز در مرحله بهره‌برداری مشخص شد. در جدول ۱۱ مهمترین ریسک‌های محیط‌زیستی سد البرز در مرحله بهره‌برداری ارائه شده است.

جدول (۱۱): **مهمترین ریسک‌های محیط‌زیستی سد البرز در مرحله بهره‌برداری**

رتبه	ریسک‌گریز	ارزش تجمیعی	ریسک‌پذیر	ارزش تجمیعی
۱	لایه‌بندی حرارتی مخزن سد	۰/۰۵۳	لایه‌بندی حرارتی مخزن سد	۰/۰۵۷
۲	کاهش خودپالایی رودخانه بابلرود	۰/۰۵۱	زمین لغزش، تهدید حیات آبزیان (درصورت عدم رهاسازی آب)	۰/۰۵۶
۳	بالا آمدن سطح آب سفره‌های زیرزمینی، تجمع رسوب و مواد مغذی در مخزن سد	۰/۰۴۹	زلزله القایی سد مخزنی البرز	۰/۰۵۴
۴	افزایش بار آلودگی رودخانه‌ها	۰/۰۴۷	تجمع رسوب و مواد مغذی مخزن سد	۰/۰۵۳

در ادامه علت پیدایش مهم‌ترین ریسک‌های زیست-محیطی سد البرز در دو مرحله ساخت و بهره‌برداری ارائه شده است.

مرحله ساخت:

تخریب جنگل در محدوده سد: عملیاتی نظیر آماده‌سازی جایگاه سد و مخزن آن، گرد و غبار، انفجار، خاکبرداری، خاکریزی و عملیات ساختمانی باعث تخریب آنی و تدریجی پوشش جنگلی محدوده تاسیسات سد می‌شود.

جابه‌جایی ساکنان مخزن سد: عملیات ساخت سد مخزنی باعث به‌زیر آب رفتن همه یا بخشی از اراضی مسکونی و زراعی روستاها می‌گردد لذا بعضی از ساکنین این روستاها مجبور به ترک روستا و مهاجرت به شهرها یا روستاهای مجاور می‌شوند.

ازبین رفتن اراضی کشاورزی: عملیات ساخت سد مخزنی باعث به‌زیر آب رفتن همه یا بخشی از اراضی مسکونی و زراعی روستاها می‌گردد. چنین برمی‌آید که در منطقه نام برده کشاورزی اصلی‌ترین رکن در گردش اقتصاد خانوار است و تقریبا اغلب خانوارها، حتی آن-هایی که خود را صاحبان مشاغلی غیر از کشاورزی، معرفی کرده‌اند، باز به نوعی با فعالیت‌های کشاورزی در ارتباط هستند، در نتیجه با ساخت سد مالکین این اراضی دچار خسارت می‌شوند.

افزایش ذرات ریز و بار معلق رودخانه‌ها: عملیاتی نظیر آماده سازی جایگاه سد و مخزن آن، خاکبرداری، خاکریزی، گرد و غبار، برداشت از منابع قرضه، سنگ شکن چون در مجاورت رودخانه است طبیعتا درصد املاح رودخانه‌ها نیز بالا رفته و آب گل‌آلود می‌شود.

مرحله بهره‌برداری:

لایه‌بندی حرارتی مخزن سد: این پدیده مهم‌ترین عامل تغییرات فصلی کیفیت آب است و در نتیجه تغییرات درجه حرارت آب در سد ایجاد می‌شود. از جمله عواملی که باعث ایجاد پدیده لایه‌بندی می‌شود شامل: عمیق بودن مخزن، اختلاف دمای آب ورودی با آب مخزن، اختلاف غلظت املاح ورودی با املاح موجود در مخزن و میزان نفوذ نور می‌باشد.

زمین لغزش: زمین لغزش که در اثر واکنش بین سطوح آب دریاچه و مرطوب شدن محیط بین لایه‌های زمین‌شناسی در زیر مخزن، ایجاد می‌شود و سبب کاهش حجم دریاچه، ایجاد امواج بلند و لبریزی از سد، در هنگام سقوط توده‌های خاک و سنگ در محدوده دریاچه می‌گردد.

کاهش خودپالایی رودخانه بابلرود: کاهش خودپالایی رودخانه بابلرود که دراثر ایجاد مانع بر مسیر رودخانه دبی رودخانه کاهش یافته و این عامل روند خودپالایی رودخانه را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

در ادامه، تحقیق حاضر با چند نمونه مطالعاتی که از نظر موضوع و روند کار شباهت بیشتری با این پژوهش دارند و در فصل پیشینه تحقیقات ذکر شده‌اند مقایسه شده است. کارآموز در سال ۱۳۸۸ در مقاله‌ی «ارزیابی آسیب‌پذیری سدها با رویکرد مدیریت راهبردی مطالعه موردی: سد کرج» به مخاطراتی که به سد وارد می‌شود پرداخته است، اما در تحقیق حاضر به ریسک‌هایی که سدها در طول دوره ساخت و بهره‌برداری بر محیط-زیست اطراف خود وارد می‌کنند پرداخته شده است. جوزی و همکاران در سال ۱۳۹۱ در مقاله‌ای تحت

عنوان «ارزیابی ریسک محیط‌زیستی سد رودبار لرستان در مرحله ساختمانی به روش تلفیقی تصمیم‌گیری چند شاخصه و مدل RAM-D» به ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی در فاز ساختمانی پرداخته‌اند، ولی در تحقیق حاضر علاوه‌بر فاز ساختمانی فاز بهره‌برداری نیز ارزیابی شده است. ملماسی و همکاران در سال ۱۳۹۶ به‌منظور ارزیابی ریسک محیط‌زیستی سد آزاد کردستان از سه روش TOPSIS, HAW و Electre استفاده کردند و مهم‌ترین ریسک‌های ناشی از این طرح را آلودگی خاک، تخریب پوشش گیاهی، آلودگی آب رودخانه معرفی کردند که با نتایج تحقیق حاضر تا حدودی شباهت دارد.

لازم به ذکر است روش‌هایی مثل: TOPSIS, Electre, vikor و غیره روش‌هایی دقیق و در عین حال ساده می‌باشند که برای هر تعداد از گزینه و معیار، معیارهای مثبت و منفی و همچنین معیارهای کیفی و کمی می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. همچنین در این روش‌ها برای تعیین وزن معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها از مقادیر دقیق و معین استفاده می‌شود. اما در بسیاری از مواقع تفکرات انسان با عدم قطعیت همراه است و این عدم قطعیت در تصمیم‌گیری‌ها تاثیرگذار است و روش‌های نام‌برده قادر به درنظر گرفتن خصوصیات ذهنی تصمیم‌گیرنده نیستند. در این گونه موارد بهتر است از روش‌هایی استفاده کرد که قادر به درنظر گرفتن خصوصیات ذهنی تصمیم‌گیرنده هستند. همچنین روش‌هایی مثل: AHP و ANP برای پروژه‌های با تعداد گزینه و یا معیار بالا توصیه نمی‌شوند زیرا به‌دلیل محاسبات طولانی که دارند بسیار وقت‌گیر هستند.

نتیجه‌گیری

طبق نتایج به‌دست آمده از مرحله شناسایی ریسک‌های محیط‌زیستی، سد البرز در مرحله ساخت با ۲۶ ریسک شناسایی شده بیشترین اثر منفی را برروی محیط داشته است. و عمده عوامل ایجاد ریسک در این مرحله مربوط به مراحل عملیات ساخت مخزن سد، خاکبرداری و خاکریزی، برداشت از منابع قرضه، انفجار و غیره می‌باشد.

باتوجه به رتبه‌بندی انجام شده مهم‌ترین ریسک‌های به‌دست آمده در مرحله ساخت مربوط به محیط‌زیست بیولوژیکی و بعد از آن محیط‌زیست اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی است. همچنین طبق نتایج در مرحله بهره‌برداری مهم‌ترین ریسک در محیط‌زیست فیزیکی و بعد از آن محیط‌زیست بیولوژیکی اتفاق افتاده است.

استفاده از روش OWA در تصمیم‌گیری‌ها به‌جای روش‌های قدیمی توصیه می‌شود زیرا علاوه‌بر اینکه می‌تواند هر تعداد گزینه و معیار را رتبه‌بندی کند قادر است خصوصیات ذهنی تصمیم‌گیر را درنظر گرفته و براساس هر تصمیم‌گیرنده ریسک‌پذیر و یا ریسک‌گریز به رتبه‌بندی گزینه‌ها بپردازد. همچنین مزیت استفاده از مدل‌ها در روش OWA این است که به‌ازای مقادیر مختلف α وزن به‌دست آورده و براساس آن ارزش تجمیعی هر گزینه را به‌دست می‌آوریم.

لازم به‌ذکر است نتایج به‌دست آمده از روش‌های تصمیم‌گیری تا حد زیادی بستگی به نظر تصمیم‌گیران دارد از این‌رو قضاوت اشتباه در زمان امتیازدهی به ریسک‌ها و همچنین استفاده از افراد غیر متخصص در نظردهی می‌تواند منجر به اولویت‌بندی اشتباه شود.

پیشنهادات

با توجه به اینکه در این پژوهش ریسک‌های سد البرز شناسایی و رتبه‌بندی شد می‌توان با استفاده از روش‌های تحلیل ریسک مقدار ریسک را به‌دست آورده تا بتوان برنامه پاسخ به ریسک برای ریسک‌های انتخاب شده جهت مدیریت بهتر پروژه ارائه نمود. همچنین، استفاده از روش‌های دیگر تصمیم‌گیری چند معیاره به‌منظور اولویت‌بندی ریسک‌های محیط‌زیستی در تحقیقات آتی توصیه می‌شود.

منابع

اصغرپور، ج. ۱۳۸۷. تصمیم‌گیری‌های چند معیاره. چاپ پنجم، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

جوزی، ع.، س. حسینی و م. شوشتری. ۱۳۸۹. ارزیابی ریسک محیط‌زیستی سد بالارود خوزستان در مرحله ساخت با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتب(AHP). نشریه پژوهش‌های علوم و فنون دریایی، دوره پنجم، شماره اول، ص ۸۸-۷۱.

درویشی، س.، س. ملماسی و ع. نظری‌دوست. ۱۳۹۲. ارزیابی ریسک زیست‌محیطی سد صیدون خوزستان در مرحله ساختمانی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه. سومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

رحیمی، م.، ن. رحیمی. ۱۳۹۵. بررسی جنبه‌های محیط‌زیستی در ساخت سدها. فصل‌نامه زمین‌شناسی محیط‌زیست، دوره ۱۰، شماره ۳۵، ص ۸۸-۷۹.

رضایان، س.، ع. جوزی و ص. عطایی. ۱۳۹۴. ارزیابی ریسک محیط‌زیستی سد پاوه‌رود زنجان در مرحله ساختمانی با استفاده از تلفیق روش‌های TOPSIS و RAM-D. نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد ۱۰، شماره دوم، ص ۳۴۶۴-۳۴۴۵.

رضایی‌فر، آ.، م. س. جبل‌عاملی و ع. چائی‌بخش لنگرودی. ۱۳۸۴. رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه. دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه، گروه پژوهشی آریانا، تهران، ایران.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مازندران و گلستان. ۱۳۸۱. مطالعات ارزیابی اثرات زیست‌محیطی طرح البرز. شماره دوم، جلد اول و دوم.

کارآموز، م.، م. دهقانی، ا. اسداللهی و آ. احمدی. ۱۳۸۸. ارزیابی آسیب‌پذیری سدها با رویکرد مدیریت استراتژیک: مطالعه موردی. دومین همایش ملی سدسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان، زنجان، ایران.

ملماسی، س.، ز. الهداد. ۱۳۹۶. ارزیابی ریسک محیط‌زیستی پروژه‌های سدسازی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه تلفیقی، مطالعه موردی: سد آزاد کردستان، ایران. نشریه سد و نیروگاه برق‌آبی ایران، دوره چهارم، شماره ۱۴، ص ۶۳-۵۱.

Darvishi, S., Jozi, S.A., Malmasi, S., Rezaian, S. 2019. Environmental risk assessment of dams at constructional phase using VIKOR and EFMEA methods (Case study: Balarood Dam, Iran). Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, pp:1-21.

Dongjian, z., Chongshi, G., Peng, L. 2005. Safty synthesis Assessment of river-way levee. in: 73rd Annual Meeting of ICOLD, Tehran, Iran, May.

Ghorbanalipour, R., Ahmadvand, A.M., Ahmadvand, M., Eghbali, H. 2018. Designing Human Health Risk Management Model for Dam Construction Projects. Civil Engineering Jornal, 4(9): 2173-2185.

Heller, S. 2006. Managing Industrial Risk-Having a Tested and Proven system to Prevent and Assess Risk. Journal of Hazardous Materials, 130(1-2): 58-63.

Mendoza, F.J.C., Izquierdo, A.G. 2008. Design of a Model to Assess the Environmental Risk of Leachate Dams. Waste Management, 28(11): 2122-2133.

O'Hagan, M. 1988. Aggregating Template Rule Antecedentsin real-time Expert Systems with Fuzzy Set Logic. Proceedings 22nd Annual IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA.

Panahi, K., Dashti, S. 2019. Application of Multi-criteria Decision-making Methods in Environmental Risk Assessment Studies of Yasuj Tangs-E-Sorkh Dam During Construction Phase. Journal of Irrigation Sciences and Engineering (JISE).

Sumanta, B., Giyasuddin, S. 2019. Human risk assessment of Panchet Dam in India using

TOPSIS and WASPAS Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods. Heliyon Jornal, 5(6): e01956.

Samaras, G.D., Gkanas, N.I., Vitsa, K.C. 2014. Assessing Risk in Dam Projects using AHP and ELECTRE. International Journal of Construction Management, 14(4): 255-266.

Yager, R.R. 1994. On Weighted Median Aggregation. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 2(1): 101-113.

Yager, R.R., Filev, D.P. 1999. Induced Ordered Weighted Averaging Operators. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 29(2): 141-150.

Environmental risk assessment using the weighted average method

Leila moradi[1], Taher Rajaee[2], Maedeh Sadeghpourhaji[3*]

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the environmental risks of Alborz Dam on Babolrood River in Babol city, using MCDM methods. First, the environment of the study area was identified, then a list of identified environmental risks was prepared in the construction and exploitation phase, and in the form of a questionnaire was provided to environmental experts familiar with the Alborz dam basin. Environmental risks were rated by experts according to the Likert scoring range based on the three indicators of occurrence intensity, probability of occurrence and risk significance, then environmental risks ranking was performed using OWA method. The most important risks of Alborz dam were obtained during the construction phase: when the decision maker is risk aversion, respectively: Destruction of forest within the dam with a score of 0.048, Displacement of reservoir residents with a score of 0.047, and, When the decision maker is risky, respectively: Destruction of forest within the dam with a score of 0.051, Displacement of reservoir residents with a score of 0.050. Also, The most important risks of Alborz Dam were obtained during the operation phase: When the decision maker is risk averse, respectively: Thermal stratification of dam reservoir with a score of 0.053, Reduction of self-purification of Babelrood River with a score of 0.051, and, When the decision maker is risky, respectively: Thermal stratification of dam reservoir with a score of 0.057, Landslide with a score of 0.056.

Keywords: Environmental risk assessment, multi-criteria decision-making, OWA, Alborz Dam.

[1] Master Graduate of Hydraulic Structures, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, University of Qom. Email: leilamoradi.ce@gmail.com, L.moradi@stu.qom.ac.ir
[2] Full Professor, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, University of Qom. Email: taher_rajaee@yahoo.com, trajaee@qom.ac.ir.
[3] Assistant Professor, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Ghaemshahr Branch. Email: sadeghpourhaji@gmail.com. (responsible author)

Extended Abstract

Research Paper

Environmental risk assessment using the weighted average method

Leila moradi[1] , Taher Rajaee[2] , Maedeh Sadeghpourhaji [3*]

[1] Master Graduate of Hydraulic Structures, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, University of Qom. Email: leilamoradi.ce@gmail.com, L.moradi@stu.qom.ac.ir
[2] Full Professor, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, University of Qom. Email: taher_rajaee@yahoo.com, trajaee@qom.ac.ir.
[3] Assistant Professor, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Ghaemshahr Branch. Email: sadeghpourhaji@gmail.com. (responsible author)

10.22125/IWE.2020.209797.1291.

Received:
09. November.2019
Accepted:
22. February.2020
Available online:
10 January.2022

Keywords: Environmental risk assessment, multi-criteria decision-making, OWA, Alborz Dam

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the environmental risks of Alborz Dam on Babolrood River in Babol city, using MCDM methods. First, the environment of the study area was identified, then a list of identified environmental risks was prepared in the construction and exploitation phase, and in the form of a questionnaire was provided to environmental experts familiar with the Alborz dam basin. Environmental risks were rated by experts according to the Likert scoring range based on the three indicators of occurrence intensity, probability of occurrence and risk significance, then environmental risks ranking was performed using OWA method. The most important risks of Alborz dam were obtained during the construction phase: when the decision maker is risk aversion, respectively: Destruction of forest within the dam with a score of 0.048, Displacement of reservoir residents with a score of 0.047, and, When the decision maker is risky, respectively: Destruction of forest within the dam with a score of 0.051, Displacement of reservoir residents with a score of 0.050. Also, The most important risks of Alborz Dam were obtained during the operation phase: When the decision maker is risk averse, respectively: Thermal stratification of dam reservoir with a score of 0.053, Reduction of self-purification of Babelrood River with a score of 0.051, and, When the decision maker is risky, respectively: Thermal stratification of dam reservoir with a score of 0.057, Landslide with a score of 0.056.

1. Introduction

Environmental risk assessment studies have been identified to eliminate or mitigate the adverse consequences of large projects, including the construction of necessary dams. Using multi-criteria decision-making methods in dam environmental risk assessment, it makes the right Decision-Making process and selects the best option from a set of options. A review of the research background has shown that many risk assessment projects have been carried out using Multi-Criteria Decision-Making techniques. (Donjin et al., 2005) in 73rd Annual Meeting of ICOLD In an article they mentioned the safety assessment of dams and AHP have introduced an effective method in this evaluation. (Darvishi et al., 2013) In an article entitled (Environmental risk assessment of Khuzestan Seydoun Dam in the construction phase), Delphi method was used to prioritize risk factors. To assess environmental risk, they first identified important risks using the PHA method and then prioritized them using the TOPSIS and SAW methods. (Malmasi et al., 2017) To Rank the Environmental Risks of Kurdistan Azad Dam in Construction and Operation Phase, were used Topsis, Haw and Electre methods. (Sumanta et al., 2019) In an article entitled (Human risk assessment of Panchet Dam in India using TOPSIS and WASPAS Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods), they assessed the human risk assessment of Panchet Dam. First, 9 human risk options of the dam were identified using the Delphi questionnaire, then it was ranked using the TOPSIS and WASPAS methods. To resolve the differences between the results of the two methods, the method of merging the mean rank has been used. Finally, the option of population relocation was identified as the most dangerous risk.

In the present study, the environmental risks of Alborz Dam in the construction phase were evaluated separately in three parts of physical environment, biological environment and economic, social and cultural environment and in the exploitation phase in two parts physical and biological environment, then, using the weighted average method (OWA), the environmental risks of Alborz Dam have been ranked.

2. Materials and Methods

Case study:

Alborz Reservoir Dam on the Babol River is 45 km southeast of Babol and 50 km southwest of Ghaemshahr. Alborz reservoir dam is a Rock-Fill type with clay core. Design Flood deviation system, floods with a 1000-year return period and a peak discharge of 370 m3 / s have been calculated. After studying the environmental impact assessment of Alborz Dam, the background of research and potential risks in similar dam construction projects, Alborz Dam environmental risks were identified. Then the identified risks based on three indices, risk severity, probability of occurrence and risk importance, were assessed by a questionnaire by 10 environmental experts familiar with the field of dam and with a master's or doctorate degree. After identifying the environmental risks of Alborz Dam and scoring them, were used OWA Multi-Criteria Decision-Making methods to rank the environmental risks.

OWA Method:

In a decision-making issue, risk-takers emphasize the good qualities of an option and risk-averse individuals emphasize the bad properties of an option and make it their criterion. The OWA method is able to consider the degree of risk-taking and risk aversion of individuals and apply it in the ranking of options. This method was first introduced by Yager in 1988.

The OWA one-dimensional operator is actually a mapping of the Rn to R space used to aggregate the inputs of a system, and has a weight vector in the form of W= [w1, w2, wn], so that each member of this vector is in the range of [0, 1] and$\sum_{i=1}^{n} W_i=1$.

We also have:

$$F_w(x_1,\ldots,x_2)=\sum_{i=1}^{n} W_i.b_i \quad ,X\epsilon I^n$$

Where bi is the ith largest element in the sorted collection X = [x1, x2, xn]. For the W=[w1,w2,…,wn] vector, the degree of optimism is defined as follows:

$$orness(W)=\alpha=1/(n-1)\sum_{i=1}^{n}(n-i)\,w_{(i)}$$

$$0<\alpha<1$$

If orness>0.5 then the decision maker is risky, if orness=0.5 then the decision maker is neutral, if orness<0.5 then the decision maker is risk averse. The most popular weight vectors are the maximum, minimum, and average operators, which are shown respectively: W* ،W* و WA.

If orness(W*)=1 then FW*(X)=max, thus W*=(1,0,…,0).

If orness(W*)=0 then Fw_*(X)=min, thus W*=(0,0,…,1).
If orness(WA)=1/2 then Fw_A(X)=1/n ∑_(i=1)^n▒xi, thus WA=(1/n.1/n.….1/n).
So far, several models have been introduced by researchers to determine the weights of W=[w1,w2,…,wn] vectors. In this study, the Ohagan model in 1988, which is called the maximum entropy model, is discussed. This model is a nonlinear model whose solution is to calculate Wi's for different alpha values. These values vary from Risk averse to risky decision maker.

$$\text{Max } H(W)=-\sum_{i=1}^{n} W_i \ln W_i$$

$$\text{s.t. orness}(W)=\sum_{i=1}^{n} \frac{(n-i)}{(n-1)} w_i=\alpha \quad 0<\alpha<1$$

$$\sum_{i=1}^{n} w_i=1 \ , w_i\in[0,1], i=(1,2,\ldots,n)$$

In this model, an alpha is placed based on each decision maker, and based on that, the weight of the indicators is obtained. If 0.5<α<1 then the decision maker is risky, if α=0.5 then the decision maker is neutral, if 0<α<0.5 then the decision maker is risk averse. The cumulative value of each option is then determined based on each decision maker.

3. Results

After identifying the environmental risks of Alborz Dam and scoring these risks based on risk intensity indicators, probability of occurrence and importance of risk by experts, 26 risks in the construction phase and 22 risks in the operation phase were identified. Then environmental risks ranking was performed using OWA method. The most important risks of Alborz dam were obtained during the construction phase: when the decision maker is risk aversion, respectively: Destruction of forest within the dam with a score of 0.048, Displacement of reservoir residents with a score of 0.047, and, When the decision maker is risky, respectively: Destruction of forest within the dam with a score of 0.051, Displacement of reservoir residents with a score of 0.050. Also, The most important risks of Alborz Dam were obtained during the operation phase: When the decision maker is risk averse, respectively: Thermal stratification of dam reservoir with a score of 0.053, Reduction of self-purification of Babelrood River with a score of 0.051, and, When the decision maker is risky, respectively: Thermal stratification of dam reservoir with a score of 0.057, Landslide with a score of 0.056.

1. 4. Discussion and Conclusion

The use of OWA method in decision making instead of the old methods is recommended because in addition to being able to rank any number of options and criteria, it is able to consider the mental characteristics of the decision maker and rank according to any risk-taking or risk-averse decision maker. Also, the advantage of using models in the OWA method is that we get weight for different values of α and based on that we get the cumulative value of each option.

.5. Six important references

1. Darvishi, S., Malmasi, S., Nazari Doost, A. 2013. Environmental risk assessment of Seydoun Dam in Khuzestan during construction using multi-criteria decision-making methods, in: Third Conference on Environmental Planning and Management, University of Tehran, Tehran, Iran.

2. Dongjian, z., Chongshi, G., Peng, L. 2005. Safty synthesis Assessment of river-way levee. in: 73rd Annual Meeting of ICOLD, Tehran, Iran, May.

3. Malmasi, S., Elahe Dad, Z. 2017. Environmental risk assessment of dam construction projects using integrated multi-criteria decision making Case study: Azad Dam in Kurdistan province of Iran. Journal of Iran Hydroelectric Dam and Power Plant, 4(14): 51-63.

4. O'Hagan, M. 1988. Aggregating Template Rule Antecedentsin real-time Expert Systems with Fuzzy Set Logic. Proceedings 22nd Annual IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA.

5. Sumanta, B., Giyasuddin, S. 2019. Human risk assessment of Panchet Dam in India using TOPSIS and WASPAS Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods. Heliyon Jornal, 5(6): e01956.

6. Yager, R.R. 1994. On Weighted Median Aggregation. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 2(1): 101-113.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.