

ارزیابی ریسک محیط‌زیستی پروژه‌های سدسازی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه تلفیقی (مطالعه موردی: سد آزاد در استان کردستان - ایران)

سعید ملامسی * ۱

زهرا الله داد ۲

چکیده

پروژه‌های سدسازی طی مراحل احداث و بهره‌برداری اثرات جدی را بر پارامترهای محیط‌زیستی منطقه وارد می‌نمایند. هدف این مقاله به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه تلفیقی جهت ارزیابی ریسک محیط‌زیستی در مراحل احداث و بهره‌برداری از پروژه سد آزاد بر روی رودخانه کوماسی است. در این تحقیق 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 شناسایی شدند. برای هرکدام از این عوامل سه معیار اهمیت، شدت و احتمال وقوع تعریف گردید که با استفاده از روش آنترویی وزن دهی شده‌اند. جهت اولویت‌بندی ریسک‌ها از سه روش TOPSIS, HAW و ELECTRE از سری روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که مهم‌ترین ریسک‌های ناشی از این طرح آلودگی خاک، تخریب پوشش گیاهی، آلودگی آب رودخانه کوماسی، کاهش شدید مواد آلی و بار مغذی در جریان رودخانه کوماسی در پایین‌دست سد می‌باشد. درنهایت راهکارهای مدیریتی جهت کاهش ریسک ارائه گردیده است.

کلمات کلیدی:

سد آزاد، ارزیابی ریسک محیط‌زیستی، روش TOPSIS, HAW, ELECTRE

*۱. استادیار گروه محیط‌زیست، نویسنده مسئول، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال s_malmasi@iau-tnb.ac.ir

۲. دکتری مدیریت محیط‌زیست، گروه مدیریت محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

مقدمه:

در پروژه‌های سدسازی پرداخته شده است رضایان^{۱۰} و جوزی (۱۳۹۰).

پورمحمدی^{۱۱} و همکاران در سال ۱۳۹۲ ریسک‌های محیط‌زیستی راه جایگزین سد گتوند علیا در فاز بهره‌برداری با استفاده از روش تاپسیس را ارزیابی نمودند و برای شناسایی ریسک‌های موجود در منطقه از روش دلفی استفاده نمودند. شهرکی^{۱۲} و فرامررپور در سال ۱۳۹۲ تحقیقی در ارتباط با ارزیابی ریسک پروژه‌های سدسازی با استفاده از روش دلفی و تاپسیس انجام دادند. نتایج تحقیق اشاره شده نشان داد که با اولویت‌بندی معیارها، محاسبه وزن نسبی هر معیار و ارزیابی پارامترهای ریسک، به راحتی می‌توان کم‌ریسک‌ترین پروژه را انتخاب و اجرایی نمود.

قاسم پور^{۱۳} و فتایی در سال ۱۳۹۳ مقاله‌ای با عنوان ارزیابی ریسک محیط‌زیستی سد عمارت در مراحل ساخت و بهره‌برداری با استفاده از FMEA^{۱۴} ارائه نمودند. در این مقاله ارزیابی و شناسایی انواع ریسک‌های محیط‌زیستی و همچنین تخمین پیامدها و احتمال وقوع آن‌ها بر محیط‌زیست سد عمارت با استفاده از روش FMEA انجام پذیرفت. رحیمی شهید^{۱۵} و رحیمی در سال ۱۳۹۵ در مقاله خود به بررسی اثرات محیط‌زیستی احداث سدها و چالش‌های محیط‌زیستی موجود پرداخته و در نهایت راهکارهای مناسب جهت کاهش اثرات را ارائه داده است.

محمودیان^{۱۶} و همکاران در سال ۱۳۹۵ روش‌های ارزیابی ریسک در ایمنی سدها را مورد بررسی قرار دادند و روش ارزیابی بر اساس دستورالعمل کمیته ملی سدهای بزرگ استرالیا تشریح شده است.

در این مقاله ارزیابی ریسک شکست سد به منظور بررسی ایمنی سد گلستان در بالادست صورت گرفته است که احتمال شکست سد گلستان با استفاده از درخت رویداد محاسبه شده و تعداد تلفات جانی به علت سیل ناشی از شکست از طریق روش رایج در اداره اصلاح اراضی آمریکا تخمین زده شد. در نهایت از

تقاضای جهانی برای آب جهت رفع نیازهای کشاورزی، شرب و ... سبب ساخت‌وساز و طرح‌ریزی‌هایی برای احداث سدها شده است پترام^۱ و همکاران (۲۰۱۷)، شیلا^۲ و همکاران (۲۰۱۷). اگر مطالعه صحیح درباره عناصر محیط‌زیست منطقه به درستی صورت نپذیرد، منجر به آسیب شدید و اغلب جبران‌ناپذیری به محیط‌زیست منطقه و صرف هزینه‌های زیاد می‌شود هس^۳ و همکاران (۲۰۱۶)، کاستلو^۴ و همکاران (۲۰۱۳)، شیلا^۲ و همکاران (۲۰۱۷) و نتایج ارزیابی‌های صورت گرفته با مشکل روبه‌رو می‌گردد. ساخت سدها همیشه ریسک‌هایی را بر محیط‌زیست تحمیل می‌نماید جوزی^۵ و مالیر (۱۳۹۱) از مسائل مهم محیط‌زیستی در کشورهای درحال توسعه آلودگی آب‌های شیرین و از بین رفتن حیات آبریان ناشی از فعالیت‌های فاز ساختمانی در احداث پروژه‌های سدسازی است گوهر^۶ و همکاران (۲۰۱۴)، کلمنت^۷ و همکاران (۲۰۱۶). در سال‌های اخیر، تکنیک‌های تجزیه و تحلیل ریسک ثابت کرده‌اند که می‌توانند ابزارهای کاربردی جهت مدیریت ریسک محیط‌زیستی سدها باشند. در روند بررسی و احداث سدها عوامل مدل‌سازی ریاضی، دستورالعمل‌های محیط‌زیستی مربوط به مجامع بین‌المللی، دستورالعمل‌های ایمنی و طراحی و ارائه مدل‌های مدیریت تصمیم‌گیری چندمعیاره دخیل می‌باشند. پیشرفت‌های اخیر در روش‌های محاسباتی توسعه بالاتری از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل ریسک، ارزیابی و مدیریت ریسک را مورد تأکید مدیران تصمیم‌گیرنده در فرآیند سدسازی قرار داده است ایگناسیو^۸ و همکاران (۲۰۱۶)، آندریو^۹ و همکاران (۲۰۱۶). تاکنون بیشتر مطالعات انجام‌شده در کشور ما و سایر کشورهای جهان، درباره ساخت سد، پیرامون جنبه‌های ایمنی آن‌ها بوده و کمتر به مسائل ارزیابی ریسک‌های محیط‌زیستی

11. Pourmohammadi

12. Shahraki

13. Ghasem pour

14. FMEA Failure Modes & Effects Analysis

15. Rahimi shahid

16. Mahmoudian

1. Petheram

2. Sheila

3. Hess

4. Castello

5. Jozi

6. Goher

7. Clement

8. Ignacio

9. Andreev

10. Rezayan

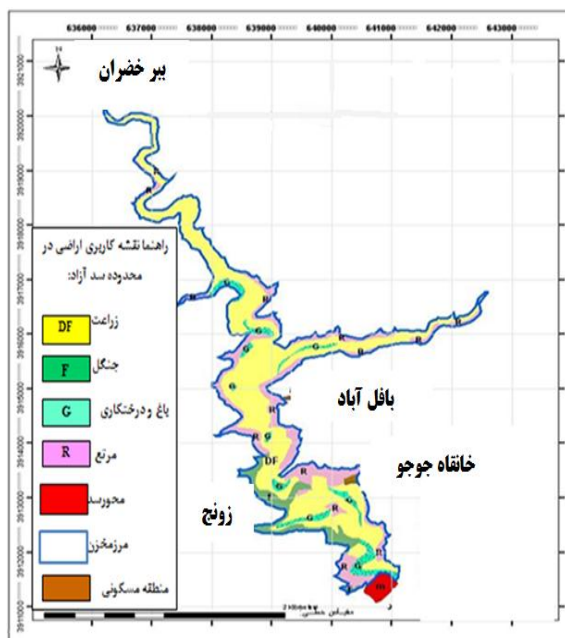
استانداردهای موجود مقایسه و در سطح قابل قبولی قرار دهد راهکارهای مدیریتی این است که یک خط‌مشی برای همه سازمان‌هایی که قصد دارند بر رودخانه‌ها سد بسازند، ارائه شود. هدف از این مقاله به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه تلفیقی (HAW^۸، ELECTRE^۹ و TOPSIS^{۱۰}) جهت بررسی ارزیابی ریسک محیط‌زیستی در مراحل احداث و بهره‌برداری از پروژه سد آزاد کوماسی است و با توجه به نتایج بدست آمده از اولویت‌بندی به ارائه راهکارهای مدیریتی جهت کاهش ریسک‌ها پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها:

معرفی منطقه مورد مطالعه:

سد آزاد از نوع سنگ‌ریزه‌ای با هسته رسی است که با ارتفاع ۱۲۰/۵ متر و طول تاج ۶۱۰ متر بر روی رودخانه کوماسی در فاصله ۳۷ کیلومتری در غرب شهر سنندج و در فاصله ۳۹ کیلومتری در جنوب شرقی شهر میوان در استان کردستان ایران، واقع شده است. ساختگاه این سد با مختصات جغرافیایی ۵۷°، ۳۲'، ۴۶' طول شرقی و ۵۹°، ۱۹'، ۳۵' عرض شمالی در ارتفاع ۱۳۶۲/۵ متری از سطح دریا قرار گرفته است (شکل (۱)).

شکل (۱): کاربری اراضی در محدوده موقعیت سد آزاد کردستان



طریق ریسک‌های بدست آمده شکست سد گلستان، راهکارهای کاهش ارائه شده است.

زنگی^۱ و عباس نژاد در سال ۱۳۹۵ در مقاله خود جهت ارزیابی اثرات محیط‌زیستی سد صفا رود بر شهرستان جیرفت از روش چک‌لیست^۲ استفاده نموده و در مجموع اثرات منفی احداث سد بر مناطق پایین‌دست در محیط‌های فیزیک - شیمیایی، بیولوژیکی (طبیعی)، اقتصادی-اجتماعی بیشتر از اثرات مثبت بوده است و در نهایت با راهکارهای مناسب از جمله تنظیم جریان رودخانه و کشت محصولات دیمی می‌توان اثرات احداث سد را کاهش داد.

کریبک بوهادان^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۴ مقاله‌ای با عنوان ارزیابی ریسک محیط‌زیستی پراکنش ذرات معلق ناشی از سدهای باطله و تأثیر آن بر آلودگی خاک با استفاده از مدل‌سازی پرداخت. ارزیابی ریسک با توجه به مدل‌سازی‌ها و میزان پراکنش این ذرات در جهت باد غالب منطقه و تأثیر آن بر خاک و هوا نشان می‌دهد که در فصل تابستان بر قسمت شرقی و شمال شرقی منطقه نامبیا بیشترین اثرات را وارد می‌سازد. از جمله راهکارهای مدیریتی، کاهش استفاده از عناصری است که خاصیت تجمع دارند.

تینگسانچالی و تانمانه^۴ در سال ۲۰۱۲ مقاله‌ای با عنوان ارزیابی ایمنی هیدرولوژی سد ماع اسرای^۵ در تایلند ارائه نمودند. ارزیابی ایمنی سد از نظر هیدرولوژیکی با بررسی حداکثر بارش، میزان جابه‌جایی آب و سیل‌خیزی در این حوضه با استفاده از روش‌های آماری و مدل HEC-HMS^۶ طراحی شده است. نتایج حاصل از مطالعات مسیریابی سیل و مدل‌سازی نشان می‌دهد که سیل، دشت پایین‌دست سد را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نهایت برای مدیریت ایمنی سد اقدامات کنترل سیل پیشنهاد شده است.

اسکالسکی^۷ و همکاران در سال ۲۰۱۲ مقاله‌ای با عنوان مقایسه آب سد راک جزیره واشنگتن با استانداردها برای بقای آبزیان موجود در آن ارائه نمودند. در این مقاله حداقل استاندارد بقا برای ماهی کپور بررسی شده است.

نتایج نشان داده است که همکاری و طرح‌ریزی‌های مدیران متخصص آب و زیست‌شناسان ماهیان توانسته استاندارد را با

8. Hierarchical Additive Weighting HAW

9. ELECTRE Elimination et and Choice Translating to reality

10. TOPSIS Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

1. Zangi

2. Check List

3. Kribek Bohadan

4. Tingsanchali, T & Tanmanee.S

5. Maeasrai

6. HEC-HMS Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System

7. John R. Skalski

شناسایی ریسک، ارزیابی و مدیریت ریسک مطابق شکل زیر صورت گرفته است.

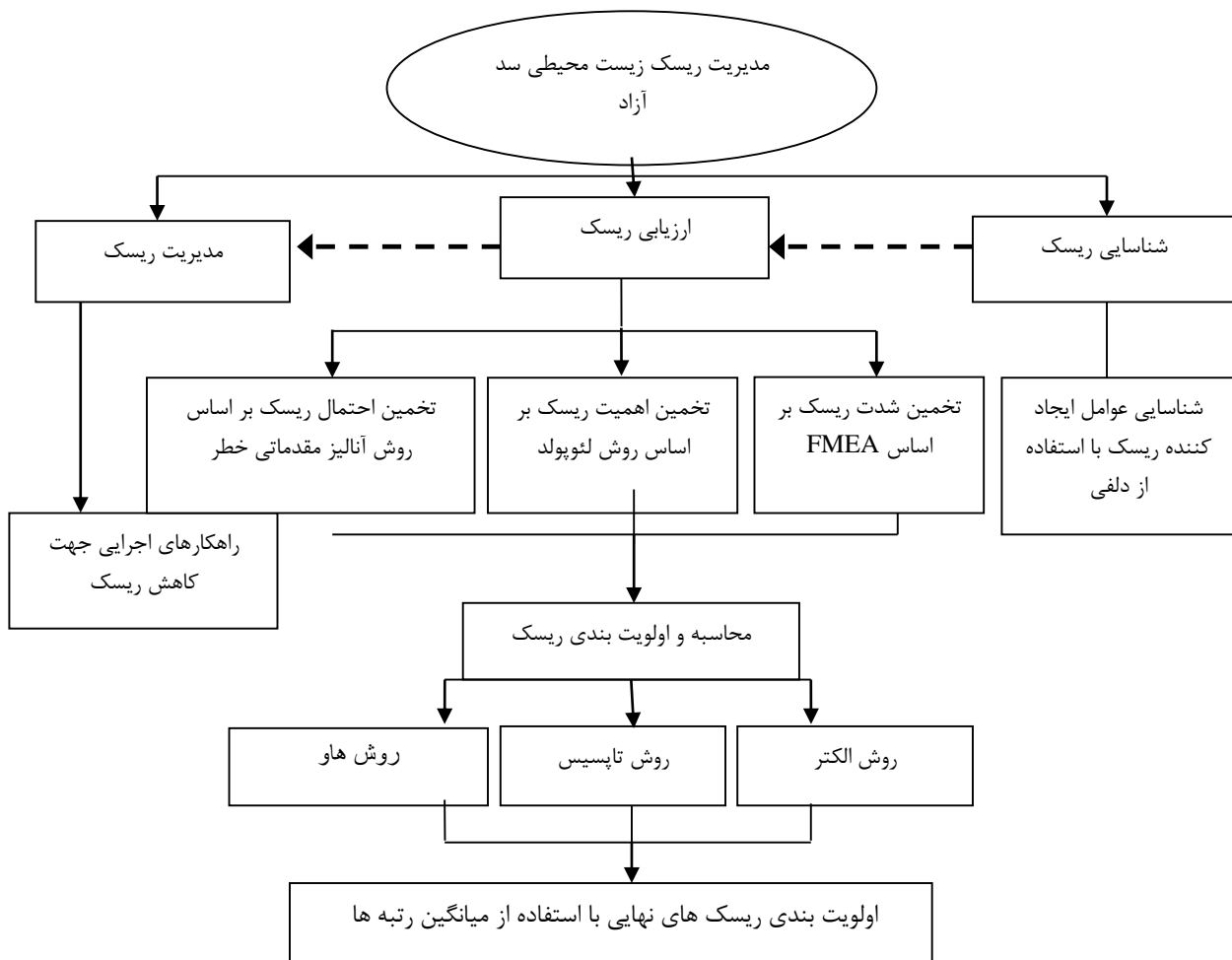
شناسایی ریسک

جهت شناسایی ریسک‌های محیط‌زیستی ناشی از فعالیت‌های فاز ساختمانی و بهره‌برداری از سد آزاد، عوامل ایجادکننده ریسک با استفاده از پرسشنامه به روش دلفی^۱ تعیین گردید. معیار امتیازدهی این پرسشنامه از ۱ تا ۵ بوده که عدد ۱ نشانه اهمیت بسیار کم و عدد ۵ نشانه اهمیت بسیار زیاد و بر اساس شاخص لیکرت^۲ تعیین شده است و گروه خبرگان به امتیازدهی ۲۲ گزینه که شامل عوامل ریسک محیط‌زیستی است، پرداخته‌اند. از بین ۲۲ گزینه، ۱۶ گزینه به‌عنوان عامل ریسک انتخاب گردید که طبق بررسی‌های بدست آمده منجر به ایجاد ۱۲ ریسک محیط‌زیستی خواهد شد.

ارزیابی ریسک

در این مرحله جهت ارزیابی ریسک‌های شناسایی شده سه معیار شدت، احتمال وقوع و اهمیت ریسک تعریف گردید. لازم به

ساخت این سد، تنظیم سالانه حدود ۳۲۸/۷ میلیون مترمکعب آب جهت انتقال به حوضه کرخه و نیز تأمین حقابه‌های کشاورزی و محیط‌زیستی پایین‌دست سد را در پی خواهد داشت. از دیدگاه محیط‌زیست فیزیکی، رودخانه کوماسی یک رود دائمی با ۶۹ کیلومتر طول تا محل احداث سد است. آبدهی متوسط سالانه این رودخانه حدود ۱۱/۹۱ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده و بارندگی سالانه حوزه بیش از ۶۰۰ میلی‌متر است. پوشش گیاهی غالب محدوده مطالعاتی شامل گونه‌گون، بلوط و بادام کوهی می‌باشد. حیات‌وحش آن شامل پستانداران بااهمیت همچون قوچ و میش ارمنی و سنجاب ایرانی، گونه‌هایی از خزندگان مانند جکوی ایرانی، گونه‌هایی از پرندگان همچون دارکوب، جیجاق و گونه‌هایی از کپورماهیان، مارماهیان و سگ‌ماهیان اجزای اصلی تشکیل‌دهنده محیط‌زیست بیولوژیک منطقه مطالعاتی می‌باشند. از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی نیز چهار روستا در محدوده مخزن و محور سد واقع شده‌اند. فعالیت‌های اقتصادی منطقه به‌طور عمده شامل باغداری، کشاورزی و دامداری است. مراحل ارزیابی و مدیریت ریسک در این مقاله، در سه بخش شامل



1..Delphi
2. Likret

رابطه (۲) نشان داده می‌شود که در آن k مقداری ثابت است
 رابطه (۳) و برای اینکه (E_i) بین صفر و یک باشد، اعمال
 می‌گردد. محاسبه مقدار عدم اطمینان d_j توسط رابطه (۴)
 محاسبه گردیده و در مرحله آخر برای محاسبه وزن‌های w_j از
 رابطه (۵) استفاده گردیده است.

روابط روش آنتروپی با استفاده از معرفی پارامترها:

۱- ابتدا محتوای اطلاعات در ماتریس، به صورت نرمالیزه شده
 محاسبه می‌شود. توزیع احتمال p_{ij} هر نمره در ماتریس
 بی مقیاس شده r_{ij} (درایه‌های ماتریس و حاصل ضرب گزینه i
 در گزینه j ، گزینه i از نظر شاخص j $r_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}}$ مجموع تعداد
 گزینه‌ها و شاخص‌های حاصل ضرب درایه ماتریس r_{ij} تعداد
 گزینه‌ها $m = \sum_{i=1}^m r_{ij}$.

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}}, \quad \forall i, j \quad (1)$$

۲- E_i از مجموعه P_{ij} ها به ازای هر مشخصه، محاسبه
 می‌شود. اندازه‌گیری عدم اطمینان E_i ، تعداد گزینه‌ها m ،
 مقدار ثابت k ، توزیع احتمال p_{ij} و Lnp_{ij}

$$E_i = -k \sum_{i=1}^m (p_{ij} \cdot Lnp_{ij}), \quad \forall j \quad (2)$$

۳- به طوریکه مقدار k به صورت مقابل محاسبه می‌شود مقادیر:
 ثابت $k = \frac{1}{Lnm}$

$Lnm =$ تعداد گزینه

$$k = \frac{1}{Lnm} \quad (3)$$

۴- عدم اطمینان یا درجه انحراف d_j از اطلاعات بدست آمده،
 به ازای شاخص j ام است. مقدار عدم اطمینان $d_j =$
 اندازه‌گیری عدم اطمینان E_i .

$$d = 1 - E_j, \quad \forall j \quad (4)$$

۵- در نهایت برای وزن دهی (W_i) از شاخص‌های موجود
 استفاده می‌گردد محاسبه وزن‌ها $w_j =$ مقدار عدم اطمینان
 d_j ، شاخص n .

ذکر است که اساس امتیازدهی به سه معیار مذکور به شرح زیر
 است:

الف- شدت ریسک که میزان و بزرگی ریسک را مدنظر دارد،
 بر اساس مقیاس روش تجزیه و تحلیل عوامل شکست از ۱ تا ۱۰
 تعیین شده است. عدد ۱ نشانگر شدت ناچیز و عدد ۱۰ نشانگر
 بیشترین شدت ریسک می‌باشد.

ب- احتمال وقوع ریسک که نشان‌دهنده امکان به وقوع
 پیوستن یک خطر در یک دوره زمانی معین است، بر اساس
 منابع مقیاس روش آنالیز مقدماتی خطر از ۱ تا ۵
 درجه‌بندی شده که عدد ۱ نشانگر کمترین احتمال وقوع و عدد
 ۵ نشانگر بیشترین احتمال وقوع ریسک است.

ج- اهمیت ریسک که نشان‌دهنده حساسیت محیط پذیرنده و
 قابل توجه بودن ریسک است و بر اساس روش لئوپولد^۱ از ۱ تا
 ۱۰ درجه‌بندی شده به طوری که عدد ۱ کمترین اهمیت و عدد
 ۱۰ نشان‌دهنده بیشترین اهمیت می‌باشد. به این ترتیب جهت
 ارزیابی ریسک‌های شناسایی شده و اینکه کدام ریسک نسبت به
 سایر ریسک‌ها مهم‌تر است از سه روش تصمیم‌گیری چند
 شاخصه شامل تاپسیس، هاو و الکترا استفاده گردیده است.

همچنین جهت تعیین وزن‌های هر یک از معیارها از روش
 آنتروپی استفاده گردیده است (مومنی^۲، ۱۳۹۳). جهت
 دستیابی به رتبه‌بندی واحد ریسک‌های محیط‌زیستی از روش
 میانگین رتبه‌ها استفاده شده است و براساس آن ریسک‌های
 احتمالی تعیین می‌گردد. در ادامه جزئیات بیشتر از روش‌های
 بکار رفته ارائه شده است.

وزن دهی ریسک‌های محیط‌زیستی سد آزاد با استفاده

از روش آنتروپی^۳:

در این قسمت ابتدا توضیح مختصری در ارتباط با پارامترها
 داده شده است و در ادامه آن به روابط مربوط به این پارامترها
 اشاره گردیده است. آنتروپی در نظریه اطلاعات، معیار عدم
 اطمینان است که با توزیع احتمال مشخص پارامتر p_{ij} بیان
 می‌گردد که به ازای W_j این مقادیر را محاسبه می‌کند رابطه
 (۱). اندازه‌گیری این عدم اطمینان (E_i) ، توسط شانون^۴ در

1. Leopold
 2. Moemeni
 3. Entropy
 4. Shanon

طبق رابطه (۹) برای بدست آوردن میزان فاصله هر گزینه تا ایدئال‌های مثبت و منفی فاصله اقلیدسی، هر گزینه تا ایدئال مثبت d_j^+ و فاصله هر گزینه تا ایدئال منفی d_j^- است طبق رابطه‌های (۱۰) و (۱۱). برای تعیین نزدیکی هر گزینه به راه‌حل ایدئال با cl نشان داده می‌شود که از تقسیم مقدار فاصله اقلیدسی با راه‌حل ایدئال منفی بر جمع همان فاصله منفی هر گزینه بر فاصله مثبت همان گزینه است طبق رابطه (۱۲).

روابط روش تاپسیس با استفاده از معرفی پارامترها:

۶- تبدیل ماتریس تصمیم‌گیری به یک ماتریس بی‌مقیاس شده یا نرمالیزه شده با استفاده از فرمول زیر بدست می‌آید. هر نمره در ماتریس بی‌مقیاس شده r گزینه i از نظر شاخص $j = a_{ij}$ ، تعداد گزینه‌ها m ، مقدار بی‌مقیاس شده گزینه i ، از نظر شاخص j $n_{ij} = j$

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}}, \quad \forall i, j \quad (7)$$

۷- ماتریس بی‌مقیاس وزین با مفروض بودن بردار W به‌عنوان ورودی ایجاد می‌گردد. ماتریس بی‌مقیاس موزون (V) ، ماتریس بی‌مقیاس شده N_D ، ماتریس قطری وزن‌ها $n \times n = W$.

$$W = (w_1, w_2, w_j, \dots, w_n) \quad (8)$$

$$V = N_D \cdot W_{n \times n} \begin{vmatrix} V_{11} & \dots & V_{1j} & \dots & V_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ V_{m1} & \dots & V_{mj} & \dots & V_{mn} \end{vmatrix}$$

۸- مشخص نمودن راه‌حل ایدئال مثبت و راه‌حل ایدئال منفی به‌صورت زیر است. تعیین راه‌حل ایدئال مثبت برای گزینه معادل $A^+ =$ بهترین مقادیر هر شاخص ماتریس V ، $V_j^+ = \max V_{ij} | j \in J$ برای شاخص‌های مثبت بزرگ‌ترین مقادیر $V_{ij} | j \in J$ ، $\min V_{ij} | j \in J$ مقدار کوچک‌ترین منفی برای شاخص‌های منفی تعیین راه‌حل ایدئال منفی برای گزینه معادل A^- ، بدترین مقادیر هر شاخص ماتریس V ، $V_j^- = \min V_{ij} | j \in J$ ، برای شاخص‌های مثبت کوچک‌ترین مقادیر $V_{ij} | j \in J$ ، $\max V_{ij} | j \in J$ مقدار منفی بزرگ‌ترین مقدار $V_{ij} | j \in J$.

$$A^- = \{(\min V_{ij} | j \in J), (\max V_{ij} | j \in J) | i = 1, 2, \dots, m\} = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^-\} \quad (9)$$

$$A^+ = \{(\max V_{ij} | j \in J), (\min V_{ij} | j \in J) | i = 1, 2, \dots, m\} = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\}$$

$$w_i = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, \quad \forall j \quad (5)$$

رتبه‌بندی ریسک‌های محیط‌زیستی سد آزاد به روش مجموع وزین و رده‌بندی شده‌هاو:

روش مجموع وزین یک روش جبرانی از سری مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. بر اساس این روش، رتبه‌بندی گزینه‌ها در رابطه با طرح سد آزاد بدین قرار خواهد بود:

C برابر ماتریس حاصل از نرمالیزه نمودن ماتریس تصمیم‌گیری یا P_{ij} است. W_j برابر اوزان بدست آمده از روش آنتروپی می‌باشد. A معادل با ضرب دو ماتریس وزن‌های گزینه‌ها با درجه ارجحیت ریسک‌های موجود رتبه ریسک‌ها بدست می‌آید.

$$w = C \cdot W_j \quad (6)$$

رتبه‌بندی ریسک‌های محیط‌زیستی سد آزاد به روش تاپسیس:

اصل اساسی در این روش این است که گزینه انتخاب‌شده باید کمترین فاصله را از ایدئال مثبت و بیشترین فاصله را تا ایدئال منفی داشته باشد. در استفاده از روش تاپسیس m گزینه به‌وسیله n شاخص، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. اساس این روش علاوه بر در نظر گرفتن فاصله یک گزینه A_i از نقطه ایدئال، فاصله آن از نقطه ایدئال منفی هم در نظر گرفته می‌شود. بدان معنی که گزینه انتخابی باید دارای کمترین فاصله از راه‌حل ایدئال بوده و درعین حال دارای دورترین فاصله از راه‌حل ایدئال منفی باشد. جهت کمی کردن ماتریس تصمیم N از بی‌مقیاس سازی استفاده می‌گردد به طوری که هر عنصر ماتریس تصمیم‌گیری، بر مجذور مجموع مربعات عناصر هر ستون تقسیم می‌شود که n_{ij} مقدار بی‌مقیاس شده گزینه i ، از نظر شاخص j است رابطه (۷). برای ست آوردن ماتریس بی‌مقیاس موزون V ماتریس بی‌مقیاس شده N را در ماتریس قطری وزن‌ها $n \times n = W$ ضرب می‌شود (طبق رابطه (۸)).

بررسی بهترین مقادیر

برای شاخص‌های مثبت، بزرگ‌ترین مقادیر برای شاخص‌های منفی، کوچک‌ترین مقادیر

بررسی بدترین مقادیر

برای شاخص‌های مثبت، کوچک‌ترین مقادیر برای شاخص‌های منفی بزرگ‌ترین مقادیر

گام دوم: در این مرحله با استفاده از ماتریس اوزان شاخص‌ها، ماتریس بی‌مقیاس شده موزون به دست می‌آید. تا این مرحله از روش به‌کاربرده شده در این مدل، مانند روش تاپسیس است، اما از این مرحله به بعد تفاوت دو روش نمایان می‌گردد.

ماتریس بی‌مقیاس موزون (V)

ماتریس بی‌مقیاس شده N_D

ماتریس قطری وزن‌ها $n \times n = W$

$$V = N_D \cdot W_{n \times n} \begin{vmatrix} V_{11} & \dots & V_{1j} & \dots & V_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ V_{m1} & \dots & V_{mj} & \dots & V_{mn} \end{vmatrix}$$

گام سوم: در این مرحله تمام گزینه‌ها نسبت به تمام شاخص‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و مجموعه ماتریس‌های هماهنگ و ناهماهنگ تشکیل می‌شود. مجموعه هماهنگ از گزینه‌های k و L که با $S_{k,L}$ نشان داده می‌شود مشتمل بر کلیه شاخص‌هایی خواهد بود که در آن‌ها گزینه A_k بر گزینه A_L ، به ازای آن‌ها مطلوبیت بیشتری داشته باشد. برای یافتن این مطلوبیت باید به نوع شاخص‌های تصمیم‌گیری از نظر داشتن جنبه مثبت یا منفی توجه شود. این مطلوبیت، باید به نوع شاخص‌های تصمیم‌گیری، از نظر داشتن جنبه مثبت یا منفی توجه شود. اگر شاخص موردنظر، دارای جنبه مثبت باشد، بر اساس رابطه زیر بدست می‌آید:

$$S_{k,L} = \text{مجموعه هماهنگ از گزینه‌های } k \text{ و } L.$$

$$v_{kj} = \text{شاخص ستون گزینه } k$$

$$v_{lj} = \text{شاخص سطر گزینه } l \text{ و } j = \text{نشان‌دهنده ستون است.}$$

$$S_{k,L} = \{j | v_{kj} \geq v_{lj}, j = 1, \dots, n\} \quad (13)$$

اگر شاخص، دارای جنبه منفی باشد، بر اساس رابطه زیر بدست آمده است. مجموعه ناهماهنگ $D_{k,L}$ نیز شامل شاخص‌هایی است که در آن‌ها، گزینه A_k ، نسبت به گزینه A_L مطلوبیت کمتری داشته و توسط رابطه زیر برای شاخص‌های مثبت بدست آمده است.

$$S_{k,L} = \{j | v_{kj} \leq v_{lj}, j = 1, \dots, n\} \quad (14)$$

$$D_{k,L} = \{j | v_{kj} < v_{lj}, j = 1, \dots, n\} \quad (15)$$

و برای شاخص‌های منفی از رابطه زیر بدست آمده است.

$$D_{k,L} = \{j | v_{kj} > v_{lj}, j = 1, \dots, n\} \quad (16)$$

۹- محاسبه اندازه فاصله: فاصله گزینه i ام با ایدئال‌ها با استفاده از روش اقلیدسی به صورت زیر است.

فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایدئال مثبت S_i^+ ماتریس مقیاس موزون (V)

$$V_j^+ = V \text{ ماتریس، شاخص، مقادیر هر شاخص}$$

فاصله اقلیدسی هر گزینه از ایدئال منفی S_i^-

ماتریس بی‌مقیاس موزون (V)

بدترین مقادیر هر شاخص ماتریس V_j^- .

$$s_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (10)$$

$$s_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

۱۰- محاسبه نزدیکی نسبی A_i به راه‌حل ایدئال را به صورت زیر نمایش داده می‌شود.

$$Cl^+ = \frac{s_i^-}{s_i^- + s_i^+} \quad 0 < Cl < 1 \quad (12)$$

رتبه‌بندی ریسک‌های محیط‌زیستی سد آزاد به روش الکترون:

اساس این روش روابط غیر رتبه‌ای است، یعنی لزوماً به رتبه‌بندی گزینه‌ها منتهی نمی‌شود، بلکه ممکن است گزینه‌هایی را حذف کند. روش الکترون، یک روش قوی از میان روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که توانایی مدل‌سازی پیچیده و سیستم‌های سطح بالا و زیرسیستم‌ها را دارد و قابل اجرا برای بررسی معیارهای مجزا از هر دو ماهیت کمی و کیفی است و ترتیب دهی کاملی از گزینه‌ها را فراهم می‌کند این روش طی ۸ گام انجام می‌گیرد که به شرح زیر است:

گام اول: در این مرحله مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری بی‌مقیاس می‌گردد و ماتریس بی‌مقیاس N نامیده می‌شود؛ مانند روش تاپسیس است. هر نمره در ماتریس بی‌مقیاس شده a_{ij} از نظر شاخص j ، تعداد گزینه‌ها $= m$ ، مقدار بی‌مقیاس شده گزینه i ، از نظر شاخص $j = n_{ij}$.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}}}$$

$$N = [n_{ij}]$$

$$NI^- = \sum_{l=1}^m \sum_{k=1}^m NI_{kl} / m(m-1) \quad (21)$$

عناصر ماتریس نیز به این صورت بدست می‌آید:

$$G_{kl} = 1 \leftarrow NI_{kl} < NI^- \quad (22)$$

$$G_{kl} = 0 \leftarrow NI_{kl} \geq NI^-$$

گام هشتم: در این مرحله با ترکیب ماتریس هماهنگ مؤثر H و ماتریس ناهماهنگ مؤثر G ، ماتریس کلی مؤثر F بدست می‌آید. محاسبه این ماتریس به صورت زیر است:

$$F_{kl} = H_{kl} \times G_{kl} \quad (23)$$

برای حداقل یک l و 1 $F_{kl} = 1$

برای کلیه l ها و 0 $F_{kl} = 0$

این ماتریس‌ها نشان‌دهنده ترتیب برتری راهکارهای مختلف نسبت به یکدیگر است.

ارائه نتایج:

در این مقاله ابتدا ریسک‌های ناشی از فعالیت‌ها، شناسایی شده و با توجه به نظر کارشناسان هرکدام از سه معیار شدت، احتمال و اهمیت امتیازدهی گردیده است. امتیازهای ارائه شده برای نشان دادن هرچه بهتر اولویت‌بندی‌های ریسک با استفاده از روش آنترپی وزن دهی و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه تلفیقی اولویت‌بندی شده‌اند. در واقع ریسک‌های شناسایی شده در منطقه مطالعاتی سد آزاد براساس نتایج حاصل از پرسشنامه‌ها در جدول (۱) ارائه شده که شامل ۱۲ ریسک تعیین شده و کلیه ریسک‌های موجود به‌عنوان گزینه‌ها و با علامت A_1 تا A_{12} نشان داده شده است. با توجه به ریسک‌های مشخص شده، در مرحله بعدی، ارزیابی ریسک محیط‌زیستی طبق روش‌های تاپسیس، الکترو و هاو صورت گرفته که در همه ماتریس‌های به‌دست آمده، شاخص‌های احتمال وقوع، شدت و اهمیت ریسک‌ها به ترتیب با علامت X_1, X_2, X_3 مشخص شده‌اند. ماتریس‌های تصمیم‌گیری و نتایج اولویت‌بندی به شرح جداول (۱) تا (۵) است.

گام چهارم: در این گام از اطلاعات پیش، ماتریس هماهنگ بدست آمده است. این ماتریس، یک ماتریس مربع $m \times m$ بوده که قطر آن، فاقد عنصر است. عناصر دیگر این ماتریس نیز از جمع وزن‌های شاخص‌های متعلق به مجموعه هماهنگ حاصل می‌شود؛ یعنی: $I_{kl} =$ بیان‌کننده اهمیت نسبی A_k نسبت به A_l است.

$$I_{kl} = \sum w_j, \quad j \in A_{k,l} \quad (17)$$

مقدار این معیار عددی بین صفر و یک است و هرچه این مقدار بیشتر باشد، بیانگر آن است که A_k برتری بیشتری بر A_l دارد و بر عکس.

گام پنجم: در این مرحله ماتریس ناهماهنگی محاسبه گردیده است. این ماتریس با NI نشان داده می‌شود. قطر اصلی این ماتریس، عنصری ندارد و سایر عناصر این ماتریس، از ماتریس بی‌مقیاس شده موزون بدست آمده است. این عناصر، با رابطه زیر محاسبه شده است: این معیار، نسبت عدم مطلوبیت مجموعه ناهماهنگ k و l را به کل ناهماهنگی در شاخص‌ها، اندازه‌گیری می‌کند.

$$NI_{kl} = \frac{\max |v_{kj} - v_{lj}|, j \in D_{k,l}}{\max |v_{kj} - v_{lj}|, j} \quad (18)$$

گام ششم: در این مرحله ماتریس هماهنگ مؤثر H محاسبه می‌شود. برای ایجاد این ماتریس ابتدا یک حد آستانه تعیین گردید و اگر هر عنصر ماتریس I بزرگ‌تر یا مساوی آن باشد، آن مؤلفه در ماتریس H مقدار یک به خود گرفته و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

برای تعیین حد آستانه (\bar{I}) از مقادیر میانگین ماتریس I استفاده می‌شود؛ یعنی:

$$I^- = \sum_{l=1}^m \sum_{k=1}^m NI_{kl} / m(m-1) \quad (19)$$

$$\text{If } : H_{kl} = 1 \leftarrow I_{kl} \geq I^- \quad (20)$$

$$H_{kl} = 0 \leftarrow I_{kl} < I^-$$

این ماتریس نشان‌دهنده ارجحیت یک گزینه بر دیگری است. گام هفتم: در این مرحله نیز ماتریس ناهماهنگ مؤثر را بدست آمده و این ماتریس که با G نشان داده می‌شود مانند ماتریس هماهنگ مؤثر بدست می‌آید. حد آستانه برای این ماتریس به صورت زیر محاسبه می‌شود.

جدول (۱): نتایج نهایی تعیین شاخص‌های ریسک‌های طرح ماتریس تصمیم‌گیری (N)

گزینه‌ها	شاخص‌ها			
	X3	X2	X1	
کاهش کیفیت زیستگاه آبی و از بین رفتن لارو گونه‌هایی از خانواده‌های کپورماهیان، اسبله ماهیان، گامبوزیا ماهیان، سگ ماهیان جویباری و مار ماهیان آب شیرین در رودخانه کوماسی	A1	۹/۲۸	۹/۱۸	۱/۸۴
کاهش امنیت زیستگاه جانوران به ویژه پستانداران با ارزشی نظیر قوچ و میش در زیستگاه‌های غرب و جنوب غرب محدوده مطالعاتی	A2	۶/۸۴	۳/۶۳	۳/۴۵
آلودگی خاک و تخریب پوشش گیاهی منطقه	A3	۴/۷۰	۷/۲۲	۲/۹۹
افزایش گیاهان آبی مزاج غوطه‌ور در آب (Submerged) بویژه نی <i>Phragmites australis</i> در پایین دست سد	A4	۷/۵۴	۷/۲۳	۲/۲۶
از بین رفتن روستاهای پایین دست سد در صورت شکست سد	A5	۷/۳۵	۵/۴۹	۳/۷۱
آلودگی آب رودخانه کوماسی	A6	۴/۴۷	۶/۶۱	۳/۸۲
قطع ارتباط زیستگاهی	A7	۷/۵۱	۳/۷۳	۳/۸۷
شکست سد	A8	۶/۵۹	۳/۵۹	۲/۸۵
از بین رفتن امنیت زیستگاه پرندگان شکاری نظیر شاهین، عقاب طلایی، دلیجه و حتی کبک در دامنه‌ها و ارتفاعات منطقه	A9	۳/۶۹	۳/۶۲	۳/۹۵
کاهش شدید مواد آلی و بار مغذی در جریان رودخانه کوماسی در پایین دست سد	A10	۶/۲۰	۷/۳۰	۳/۲۸
احتمال گریز و راهیابی خزندگان بویژه مارهای موجود از قبیل مار سرسیاه، مار پلنگی، مار قیطانی، افعی سوسن، گرز مار و مارهای سمی از محدوده مخزن و افزایش تراکم آنها در اطراف مناطق مسکونی	A11	۵/۰۷	۲/۹۵	۱/۵۶
تهدید شرایط زیستگاهی پرندگان آبی و کنار آبی نظیر دم‌جنبانک خاکستری <i>Motacilla cinerea</i> ، دم‌جنبانک زرد <i>Motacilla flava</i> ، حواصیل خاکستری <i>Ardea cinerea</i> ، اگرت کوچک <i>Egretta garzetta</i> و زیرآبروک <i>Cinclus cinclus</i>	A12	۹/۳۸	۹/۴۵	۱/۱۵

جدول (۲): وزن شاخص‌ها بر اساس پرسشنامه‌ها و روش انتروپی، رابطه ۴

W3 W2 W1

۰,۲۱۷ ۰,۴۳۷ ۰,۳۴۶

جدول (۵): رتبه‌بندی گزینه‌ها با ۳ روش مختلف

گزینه‌ها	روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه			میانگین رتبه‌ها
	هاو	تاپسیس	الکتر	
A ₁	۱	۱۱	۷	۶/۳۳۳
A ₂	۹	۳	۵	۵/۶۶۷
A ₃	۷	۸	۰	۷/۵۰۰
A ₄	۶	۷	۶	۶/۳۳۳
A ₅	۵	۶	۰	۵/۵۰۰
A ₆	۴	۱۰	۸	۷/۳۳۳
A ₇	۸	۵	۴	۵/۶۶۷
A ₈	۱۱	۲	۲	۵
A ₉	۱۰	۴	۱	۵
A ₁₀	۲	۱۲	۰	۷

در نهایت با استفاده از روش رتبه‌بندی گزینه‌ها نتیجه واحد از سه روش هاو، تاپسیس و الکتر رتبه‌بندی هر یک از ریسک‌های محیط‌زیستی عبارت است از:

$$A_3 > A_6 > A_{10} > A_1 = A_4 > A_{12} > A_2 = A_7 > A_5 > A_{11} > A_8 = A_9$$

رتبه‌بندی صورت گرفته بیانگر مهم‌ترین ریسک‌های محیط‌زیستی سد آزاد در دو دوره زمانی فاز ساختمانی و فاز بهره‌برداری از نظر معیارهای احتمال وقوع، شدت و اهمیت ریسک است که شامل آلودگی خاک و تخریب پوشش گیاهی منطقه با رتبه ۷/۵۰۰، آلودگی آب رودخانه کوماسی با رتبه ۷/۳۳۳، کاهش شدید مواد آلی و بار مغذی در جریان رودخانه کوماسی در پایین‌دست سد با رتبه ۷ است. پروژه سدسازی با فعالیت‌های گسترده‌ای که در فاز ساختمانی آن‌ها انجام می‌شود سبب گل آلودگی آب رودخانه شده که این امر منجر به آسیب به آبزیان موجود در رودخانه می‌شود. ادامه این روند منجر به از بین رفتن آبزیان و موجودات آبی موجود در رودخانه شده

رتبه‌بندی ریسک‌ها بر اساس روش هاو:

$$A_1 > A_{10} > A_{12} > A_6 > A_5 > A_4 > A_3 > A_7 > A_2 > A_9 > A_8 > A_{11}$$

جدول (۳): نتایج رتبه‌بندی ریسک‌ها بر اساس روش تاپسیس

CL ₁	۰/۳۳۴
CL ₂	۰/۵۹۷
CL ₃	۰/۳۹۸
CL ₄	۰/۴۲۲
CL ₅	۰/۴۴۴
CL ₆	۰/۳۹۰
CL ₇	۰/۵۴۷
CL ₈	۰/۶۶۷
CL ₉	۰/۵۸۲
CL ₁₀	۰/۳۳۲
CL ₁₁	۰/۸۹۵
CL ₁₂	۰/۳۹۳

محاسبه رتبه‌بندی ریسک‌ها بر اساس روش تاپسیس:

$$A_{11} > A_8 > A_2 > A_9 > A_7 > A_5 > A_4 > A_3 > A_{12} > A_6 > A_1 > A_{10}$$

جدول (۴): جمع‌بندی حاصل از روش الکتر

گزینه‌ها (ریسک‌ها)	امتیاز رتبه
A ₉	۹
A ₁₁	۴
A ₂	۳
A ₇	۲
A ₄	۱
A ₁	۱
A ₆	۰
A ₃	۰
A ₅	۰
A ₁₀	۰
A ₁₂	۰

نتیجه‌گیری:

بر اساس بررسی‌های صورت گرفته ریسک‌های محیط‌زیستی موجود در محل احداث پروژه سد آزاد کوماسی شامل آلودگی خاک و تخریب پوشش گیاهی منطقه، آلودگی آب رودخانه و کاهش شدید مواد آلی و بار مغذی در جریان رودخانه کوماسی در پایین‌دست سد است.

با توجه به موقعیت قرارگیری سد آزاد در منطقه زاگرس تخریب گونه غالب منطقه را به دنبال خواهد داشت. در ایران بلوط مهم‌ترین و فراوان‌ترین گونه درختی موجود در غرب کشور، به‌ویژه در منطقه زاگرس است. اکوسیستم‌های جنگلی با در برگرفتن غنای بیولوژیکی بالا از منابع مهم و حیاتی هر کشوری بوده و نقش مهمی در توسعه پایدار کشورها دارند. ناحیه رویشی زاگرس در امتداد رشته‌کوه زاگرس از شمال شهرستان ارومیه در استان آذربایجان غربی تا حوالی شهرستان فیروزآباد در استان فارس واقع شده است. چنانچه از تخریب جنگل‌های زاگرس جلوگیری نشود در آینده‌ای نزدیک، مناطق جنگلی غرب کشور به کوهستان‌های سنگلاخی و فاقد پوشش تبدیل خواهد شد.

در چنین وضعیتی کاهش تراکم پوشش گیاهی، پایین آمدن سطح تنوع گونه‌های گیاهی و جانوری، وقوع سیلاب، افزایش دمای هوا، وقوع پدیده‌های ریزگردها و غبارها، کاهش یافتن ذخیره نزولات جوی که منجر به افت ذخیره آب‌های زیرزمینی شده است، به وقوع می‌پیوندد.

از دیگر ریسک‌های احداث این سد می‌توان به آلودگی آب رودخانه کوماسی اشاره نمود. فعالیت‌های فاز ساختمانی که منجر به آلودگی می‌گردند شامل ورود پساب بچینگ و سنگ‌شکن به رودخانه کوماسی، رهاسازی حجم قابل‌توجهی رسوبات به جریان آب است که طی آن احتمال خفگی لارو ماهی‌ها و بچه ماهیان و مدفون شدن تخم آن‌ها در زیر گل‌ولای وجود دارد.

ورود فاضلاب بهداشتی کارکنان طرح به رودخانه کوماسی با آلوده ساختن آب رودخانه نه‌تنها کیفیت فیزیکی- شیمیایی آب بلکه کیفیت بیولوژیکی آن را نیز به مخاطره می‌اندازد. در مرحله احداث طرح، تولید حدود ۶۳ مترمکعب فاضلاب روزانه مورد انتظار است.

است. ازجمله فعالیت‌های موجود در فاز ساختمانی پروژه سد آزاد می‌توان به خاک‌برداری و پاک‌تراشی پوشش گیاهی اشاره نمود. توجه به موقعیت قرارگیری سد در منطقه زاگرس در پی این فعالیت‌ها گونه غالب جنگلی این منطقه درختان بلوط تحت تأثیر قرار می‌گیرند. این امر از آن جهت حائز اهمیت است که این جنگل‌ها بسیار قدیمی بوده و قابلیت تکثیر سریع را نخواهند داشت؛ به همین دلیل هرگونه آسیب به این جنگل‌ها خسارات جبران‌ناپذیری را برای محیط‌زیست منطقه‌ای اجرایی طرح، ایجاد نخواهد نمود.

در این قسمت به بررسی تفاوت و شباهت نتایج بدست آمده از مقاله حاضر با پیشینه‌های تحقیق پرداخته می‌شود. شباهت مقاله قاسم پور و فتایی در سال ۱۳۹۳ با مقاله حاضر در این است که جهت شناسایی، ارزیابی ریسک و تخمین پیامدها از طریق روش تجزیه‌وتحلیل عوامل شکست و جداول شدت به انجام رسیده است. تفاوت مقاله کرینک بوهادان و همکاران در سال ۲۰۱۴ با مقاله حاضر در این است که ارزیابی ریسک و آلودگی خاک با استفاده از مدل‌سازی‌های پراکنش ذرات معلق ناشی از سدهای باطله بررسی شده است، اما آلودگی خاک در مقاله حاضر توسط روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه تلفیقی بدست آمده است. شباهت مقاله شهرکی و فرامرزپور در سال ۱۳۹۲ با مقاله حاضر در این است که ارزیابی ریسک پروژه سدسازی با استفاده از روش دلفی و تاپسیس به انجام رسیده است. تفاوت مقاله تینگسانچالی و تاتمانه در سال ۲۰۱۲ با مقاله حاضر در بررسی ارزیابی ایمنی و هیدرولوژی سد با استفاده از مدل‌سازی می‌باشد و هیچ‌گونه بررسی محیط‌زیستی در آن انجام نشده‌است و فقط سیل دشت پایین‌دست سد موردبررسی قرار گرفته است.

تفاوت مقاله محمودیان و همکاران در سال ۱۳۹۵ با مقاله حاضر در این است که بیشتر جنبه ایمنی، شکست سد و ریسک‌های آن در مناطق پایین‌دست مدنظر بوده است ولی در مقاله حاضر علاوه بر شکست سد و از بین رفتن روستاهای پایین‌دست ریسک‌های وارد بر محیط بیولوژیک (گونه‌های گیاهی و جانوری) موردبررسی قرار گرفته است.

جدول (۶): راهکارهای کنترل مهمترین ریسک‌های محیط‌زیستی سد آزاد

ریسک	اقدامات کاهش ریسک
آلودگی خاک و تخریب پوشش گیاهی منطقه بومی	- احیای پوشش گیاهی در رویشگاه‌های تپ‌های جنگلی منطقه با تکیه بر گونه‌های بومی - کنترل فرسایش
آلودگی آب رودخانه کوماسی	- به‌کارگیری سیستم جمع‌آوری روغن‌های سوخته در تعمیرگاه و ماشین‌آلات سنگین مورد استفاده در طرح - مجهز نمودن مخازن سوخت به سیستم زهکش.
کاهش شدید مواد آلی و بار مغذی در جریان رودخانه کوماسی در پایین‌دست سد	- انتخاب فصول با حداقل بارندگی جهت انجام فعالیت‌های ساختمانی سد آزاد. - انتخاب فصول با حداقل بارندگی، حمل و نقل سیمان به صورت بسته‌بندی شده و نه به صورت فله‌ای - ایجاد حوضچه رسوب‌گیر جهت جمع‌آوری پساب ناشی از فعالیت‌های کارگاه سنگ‌شکن و بچینگ. - استفاده از سیستم سپتیک ^۲ در دفع پساب کارکنان طرح جهت اجتناب از تخلیه آن به رودخانه کوماسی. - پایش دوره‌ای آب رودخانه جهت تعیین میزان تراکم گونه‌های ماهیان رودخانه کوماسی - ارائه برنامه‌های پایش ماهانه آب توسط کارشناسان سیستم مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست

با احتساب سرانه BOD_5 معادل ۴۵ گرم، در صورت تخلیه فاضلاب انسانی طرح به رودخانه بار BOD معادل ۱۸۹۰۰ گرم به رودخانه تحمیل خواهد شد. با تخلیه این میزان BOD در نظر گرفتن دبی رودخانه، افزایش غلظت BOD به حدود ۱/۳ میلی‌گرم بر لیتر خواهد رسید. بدیهی است سایر عوامل آلاینده از قبیل مواد معلق و آلودگی میکروبی نیز در رودخانه افزایش خواهد یافت.

اگرچه حجم فاضلاب روزانه در برابر آبدهی روزانه رودخانه (حدود ۱۰۲۹۰۲۴ مترمکعب) در بیشتر ایام سال ناچیز است، اما از آنجاکه تولید بخش عمده فاضلاب، در مقاطع زمانی کوتاهی از روز (حدود ظهر و زمان اتمام ساعت کاری روزانه) مورد انتظار است، لذا رهاسازی یک‌باره آن به رودخانه می‌تواند موجب کاهش شدید کیفیت آب گردد.

به این ترتیب میزان آلودگی آب از حد تحمل برخی از گونه‌های ماهی به ویژه لاروها فراتر رفته و تعدادی از آن‌ها از بین می‌روند. از طرفی، فعالیت‌های انحراف آب و آبگیری مخزن سد با کاهش مواد آلی و بار مغذی در جریان رودخانه کوماسی در پایین‌دست سد سبب از بین رفتن تعادل اکولوژیک شده و آسیب‌هایی را بر اکوسیستم‌های آبی وارد خواهد ساخت.

با توجه به بررسی‌های مقالات با پژوهش حاضر این‌گونه برمی‌آید که تمامی مقالات به ابعاد مدل‌سازی و ایمنی در سدسازی توجه داشته‌اند و کمتر به مسائل محیط‌زیستی و بررسی ریسک‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه تلفیقی و به‌کارگیری آن‌ها به‌عنوان ابزارهایی در تصمیم‌گیری مدیریت ریسک محیط‌زیستی در پروژه‌های سدسازی پرداخته شده است.

و این جنبه جدید بودن پژوهش حاضر را نسبت به مقالات دیگر نشان می‌دهد.

از میان سه روش مورد بررسی بهترین روش جهت اولویت‌بندی ریسک‌های محیط‌زیستی سد روش تاپسیس است؛ زیرا روش الکترون ریسک‌ها را حذف می‌نماید و آن‌ها را اولویت‌بندی نمی‌کند که میزان ارجحیت هر کدام را نشان دهد. روش هاو روش جمع سلسله مراتبی وزن‌ها است که این روش هم اولویت‌بندی انجام نمی‌دهد. در نهایت راهکارهای کاهش ریسک بر اساس مهم‌ترین ریسک‌های اولویت‌بندی شده در جدول (۶) ارائه شده است.

مراجع

13- Hess, C. Costa Ribeiro, W. Wieprecht, S. 2016. Assessing environmental justice in large hydropower projects: the case of Seo Luiz do Tapajós in Brazil. *Desenvolv. e Meio Ambiente* 37.

14- Ignacio Escuder-Bueno a. Guido Mazzà b. Adrin Morales-Torres c. Jesica T. Castillo-Rodrguez. (2016). Computational Aspects of Dam Risk Analysis: Findings and Challenges, *Engineering* 2 p 319–324.

15- Jozi, S. A, Malmir, M. (2012). Environmental Risk Assessment of Dams by Using Multi-Criteria Decision-Making Methods- A Case Study of the Polrood Dam. Guilan Province, Iran, Human and Ecological Risk Assessment.

16- Kribek Bohadan, Majer Viadimir, Pasava Jan, Kamona Fredrick, Mapani Benjamin, Keder Josef, & Ettler Vojtech. (2014). Contamination Of soils with dust fallout from the tailings 225 dam at the Rosh Pinah area. Nambia: Regional assessment, dust dispersion modeling and environmental consequences. *Journal of Geochemical Exploration*.

17- Rezaian, S. Jozi, S.A. (2011), Environmental Risk Analysis by Using Multi-Criteria Decision- Making Method (Case Study: Karoon 3 Dam of Iran), 2011 2nd International Conference on Environmental Engineering and Applications IPCBEE vol.17. Singapore.

18- Tingsanchali, T & Tanmanee, S. (2012). Assessment of hydrological Safty of Mae Sruai Dam Thailand. *Procedia Engineering*. 32 Pages 1198-1204.

۱- پورمحمدی، س، جعفرزاده حقیقی فرد، ن؛ و حسونی‌زاده، ه. ۱۳۹۲. تجزیه و تحلیل ریسک‌های محیط‌زیستی راه جایگزین سد گتوند علیا با استفاده از روش TOPSIS. دومین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست. تهران.

۲- جوزی، س.ع و مالمیر، م. (۱۳۹۰). "ارزیابی ریسک محیط‌زیستی سد پل رود در مرحله ساختمانی با استفاده از AHP". فصلنامه زمین، دوره ۶، ۲۱: ۲۰۱-۱۸۷.

۳- رحیمی شهید، مجتبی و رحیمی، نیما. (۱۳۹۵). بررسی جنبه‌های محیط‌زیستی در ساخت سدها، فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیط‌زیست، سال دهم، شماره ۳۵.

۴- زنگی دارستانی، منصوره و عباس نژاد، احمد. (۱۳۹۵). ارزیابی اثرات محیط‌زیستی سد صفارود بر مناطق پایین‌دست فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیط‌زیست، سال دهم، شماره ۳۷.

۵- شهرکی، م. ر؛ و فرامرزیور، ب. ۱۳۹۲. توسعه یک مدل ارزیابی ریسک پروژه‌های سدسازی با استفاده از روش دلفی و TOPSIS. پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. تهران.

۶- قاسم پور نیاری، ع و فتایی، ا. (۱۳۹۳). ارزیابی ریسک محیط‌زیستی سد عمارت در مراحل ساخت و بهره‌برداری با استفاده از روش FMEA، اولین کنفرانس ملی آلودگی‌های محیط‌زیست با محوریت زمین پاک.

۷- مومنی، م. (۱۳۹۳). "مباحث نوین تحقیق در عملیات". انتشارات گنج شایگان. چاپ ششم، ویرایش سوم.

8- Andreev S. Zhelyazkov AZ. Probability of failure of an embankment dam due to slope instability and overtopping: first order second moment method for assessment of uncertainty. In: Russell Michael G, Marc B, Pedro M, Laurent.M, Anton S. editors Proceedings of the 13th ICOLD International Benchmark Workshop on Numerical Analysis of Dams; 2015 Sep 9–11; Lausanne. Switzerland; 2015.

9- C.Petheram. J.Gallant. A.Read.(2017). An automated and rapid method for identifying dam wall locations and estimating reservoir yield over large areas, *Environmental Modelling & Software*, Volume 92, Pages 189-201.

10- Castello. L. McGrath. D.G. Hess L.L. Coe. M.T. Lefebvr. P.A. Petry. P. et al. 2013. The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conserv. Lett.* 6 (4), 217–229. <http://dx.doi.org/10.1111/conl.12008>.

11- Clement O. Ogunkunle, Kamaldeen Mustapha, Stephen Oyedeji. Paul O. Fatoba. (2016). Assessment of metallic pollution status of surface water and aquatic macrophytes of earthen dams in Ilorin, north-central of Nigeria as indicators of environmental health, *Journal of King Saud University Science*, (2016) 28, 324–331.

12- Goher, M.E, Farhat, H.I. Abdó, M.H. Salem S.G. (2014). Metal pollution assessment in the surface sediment of Lake Nasser, Egypt. *J. Aquat. Res.* 40. 213–224.