

ارزیابی ریسک محیط‌زیستی سد گتوند علیا در مرحله بهره‌برداری با استفاده از روش تلفیقی آنالیز مقدماتی خطر و تکنیک EFMEA

سیدعلی جوزی*^۱، سیده حمیده سیف‌السادات^۲

۱. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

۲. کارشناس ارشد رشته علوم محیط‌زیست، ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان
h.seyfosadat83@gmail.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۸/۲۸

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۴/۶

چکیده

سد گتوند علیا یکی از طرح‌های بزرگ عمرانی کشور است که در استان خوزستان و روی رودخانه کارون بین مسجد سلیمان و سد تنظیمی گتوند در ۳۸۲/۸ کیلومتر از مصب رودخانه کارون و در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان شوشتر احداث شده است. این تحقیق به منظور شناسایی و ارزیابی ریسک سد گتوند علیا در فاز بهره‌برداری به انجام رسید. در این مطالعه پس از شناسایی فعالیت‌های سد در فاز بهره‌برداری به منظور شناسایی عوامل ریسک از روش آنالیز مقدماتی خطر موسوم به PHA استفاده شد و ریسک‌های به‌دست‌آمده در قالب ۵ دسته ریسک‌های فیزیکی - شیمیایی، بیولوژیکی، اقتصادی - اجتماعی و فرهنگی، ریسک‌های ایمنی - بهداشتی و طبیعی طبقه‌بندی شدند. در این مرحله پس از شناسایی ریسک‌ها عوامل مولد ریسک به کمک روش EFMEA ارزیابی شدند. در این تحقیق برای اولویت‌بندی عوامل ریسک از نرم‌افزار SPSS استفاده شد و ریسک‌ها بر اساس شدت اثر، احتمال وقوع و گستره آلودگی اولویت‌بندی شدند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهند که در تکنیک EFMEA شورشیدن آب به علت گنبد نمکی و در اثر فعالیت آبیگری مخزن، فرسایش و رسوب در پایین‌دست سد به علت تأمین منابع قرضه و ایجاد پساب و فاضلاب انسانی به علت فعالیت توریسم دارای سطح ریسک بالا و به ترتیب با عدد اولویت ریسک (RPN) ۳۲۰، ۲۸۸ و ۲۵۶، به‌منزله رتبه‌های اول تا سوم معرفی شدند و کمترین عدد اولویت ریسک مربوط ایجاد محیط مناسب برای رشد و تکثیر حشرات (امکان تکثیر پشه آنوفل) به علت آبیگری مخزن سد و فرسودگی خاک به علت توسعه کشاورزی و تردد ماشین‌آلات سنگین با عدد اولویت ریسک ۹۰ معرفی شد.

کلیدواژه

ارزیابی ریسک محیط‌زیستی، سد گتوند علیا خوزستان، سد مخزنی، روش EFMEA، روش PHA، فاز بهره‌برداری.

۱. سرآغاز

که به شناسایی خطرهای پیامدهای بالقوه آن‌ها روی افراد، مواد، تجهیزات و محیط می‌پردازد. در حقیقت از این طریق داده‌های بسیار باارزشی برای تصمیم‌گیری در زمینه کاهش ریسک خطرهای، به‌سازی محیط اطراف تأسیسات خطرناک، برنامه‌ریزی برای شرایط اضطراری، سطح ریسک قابل قبول، خط‌مشی‌های بازرسی و نگهداری در تأسیسات صنعتی و موارد دیگر فراهم می‌شود (Nivolianitou, 2002).

احداث سدهای بزرگ آثار محیطی، بیولوژیکی، بهداشتی، اجتماعی و اقتصادی مهمی را در محیط اطراف خود به وجود می‌آورند (نجمایی، ۱۳۸۲).
با توجه به رشد و توسعه سدسازی در جهان به ویژه در ایران لزوم بررسی آثار محیط‌زیستی سد از اهمیت خاصی برخوردار است (نیکبخت، ۱۳۸۳).
ارزیابی ریسک روش منطقی برای بررسی خطرهای

شناسایی مناطق بحرانی در سیستم، شناسایی نسبی خطرهای و توجه به معیارهای طراحی ایمن است. در واقع این روش شناسایی خطرهای اولیه است که در آن از تجارب کامل ایمنی استفاده شده است. این روش از جمله روش‌های کیفی تجزیه و تحلیل ریسک است که با استفاده از اصول تجزیه و تحلیل، رویدادهایی را که پتانسیل تبدیل شدن به تصادف یا حادثه دارند شناسایی می‌کند (محمدفام، ۱۳۸۸). EFMEA روشی است که به یکپارچه کردن اقدامات محیطی زیستی در پیشرفت یا بهبود تولید و مدیریت سامانه‌ها می‌پردازد. تجزیه و تحلیل آثار محیطی زیستی روش کیفی است که در فرایند توسعه محصولات استفاده می‌شود.

هدف EFMEA شناسایی به موقع مهم‌ترین جنبه‌های محیطی زیستی مؤثر روی وضعیت توسعه فرآورده‌ها بر اساس توان شناسایی و ارزیابی عناصر و فرایند آن محصول یا خدمات است (جوزی، ۱۳۸۷).

۲. منطقه مورد مطالعه

سد گتوند علیا در ۳۷ کیلومتری شمال شهرستان شوشتر و در ۱۲ کیلومتری شهر گتوند واقع شده است. سد گتوند علیا به لحاظ جغرافیایی در میان طول‌های جغرافیایی ۴۹ و ۴۸ تا ۵۷ و ۴۸ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۱۲ و ۳۲ تا ۱۷ شمالی است. کل حوزه آبریزه سد گتوند بالغ بر ۳۲۴۲۵ کیلومتر مربع است. سد گتوند علیا آخرین سدی است که روی رودخانه کارون ساخته می‌شود.

این سد با هدف تولید سالیانه ۴۲۵۰ میلیون کیلووات ساعت انرژی برق آبی، کنترل سیلاب‌های فصلی کارون، تنظیم آب کشاورزی و ایجاد جاذبه‌های گردشگری احداث شده است. جدول ۱ مشخصات فنی سد گتوند علیا و شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد (گزارش ارزیابی آثار محیطی زیستی سد گتوند علیا، ۱۳۸۴).

ارزیابی ریسک محیطی زیستی گامی فراتر از ارزیابی ریسک است و در آن علاوه بر بررسی و تحلیل جنبه‌های مختلف ریسک، ضمن شناخت کامل محیطی زیست منطقه تحت اثر، میزان حساسیت محیطی زیست، همچنین ارزش‌های خاص محیطی زیستی منطقه در نظر گرفته می‌شود (Heller, 2006).

ارزیابی ریسک سد فرایندی است که به وسیله آن تصمیماتی اتخاذ می‌شود درباره اینکه آیا سطح ریسک‌هایی که از طریق سد ایجاد می‌شود قابل تحمل است یا آیا ریسک‌های شناسایی شده نیاز دارند که از طریق انجام برخی از اقدامات کنترلی کاهش یابند (Matalucci, 2001). Colomer و همکارانش در سال ۲۰۰۸ برای ارزیابی ریسک محیطی زیستی روشی را توصیه کرده‌اند. در روش آن‌ها ابتدا نمودار رتبه‌بندی رسم شد که ویژگی‌های سد را با ریسک محیطی زیستی مربوط کند و در ادامه به هر یک از پارامترها وزنی تخصیص داده شد (Colomer و همکاران، 2008).

در کنفرانس سالیانه USCOLD در سال ۱۹۹۸ در نیویورک پژوهشی از سوی Bowels و همکارانش ارائه شده است. در این مطالعه به تشریح فعالیت ارزیابی مهندسی، ارزیابی ریسک و چگونگی اولویت‌بندی معیارهای ریسک و خروجی این مراحل پرداخته شده است (Bowels و همکاران، 1998).

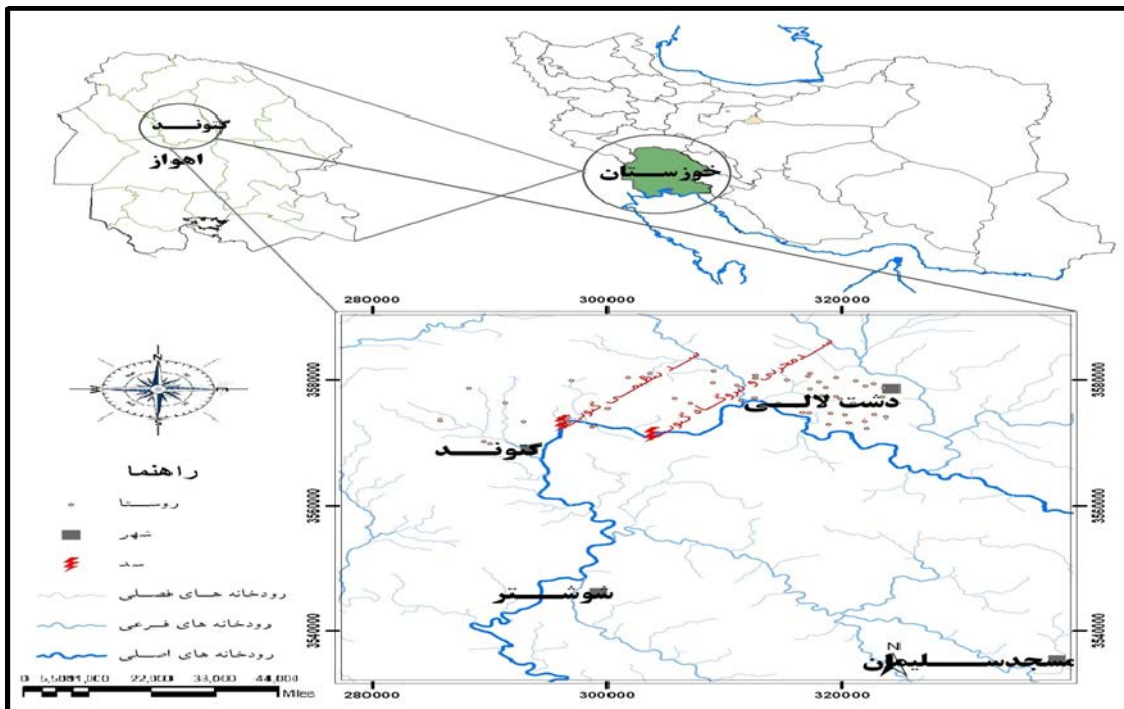
Hasan Tosun در دپارتمان مهندسی عمران دانشگاه Osmangazi ترکیه، در سال ۲۰۰۸ مطالعه‌ای را انجام داده است که می‌تواند یکی از منابع جامع در زمینه طبقه‌بندی و اولویت‌بندی شاخص‌های ریسک زیست محیطی سدها باشد. در این مطالعات تمامی ریسک‌های سد و ساختارهای وابسته به آن در سطح حوضه آبریز به صورت سیستماتیک و از طریق بررسی فاکتورها یا عوامل مختلف خطر تجزیه و تحلیل شده‌اند (Tosun, 2008).

هدف از اجرای تکنیک آنالیز مقدماتی خطر PHA

جدول ۱. مشخصات فنی سد گتوند علیا

نوع سد	سنگریزه‌ای با هسته رسی
ارتفاع از پی	۱۷۸ متر
طول تاج	۷۶۰ متر
عرض تاج	۱۵ متر
حجم کل مخزن	۴/۵ میلیارد متر مکعب در حداکثر تراز بهره‌برداری
سطح دریاچه	۹۶/۵ کیلومتر مربع در تراز ۲۳۴ متر بالاتر از سطح دریا
طول دریاچه	۹۰ کیلومتر در تراز ۲۳۴ متر بالاتر از سطح دریا
حجم رسوب ۱۰۰ ساله	۵۳۵ میلیون متر مکعب

مأخذ: گزارش ارزیابی آثار محیط‌زیستی سد گتوند علیا (۱۳۸۴)



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی

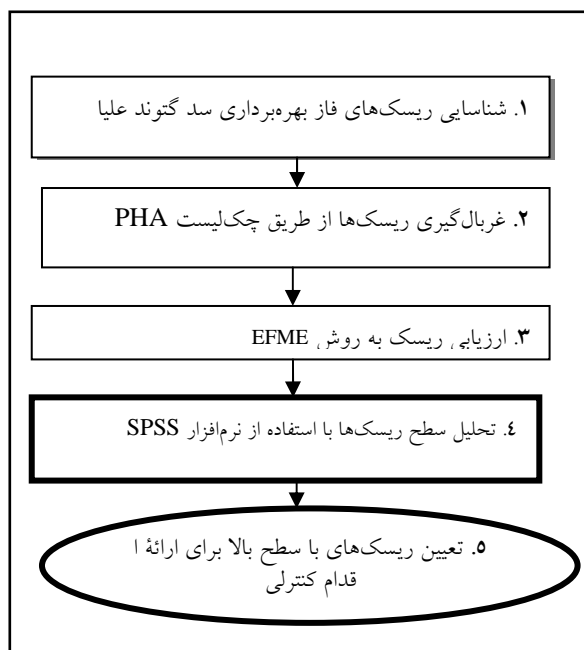
خواهد شد. به علت حضور سازند گچساران که مخلوطی از نمک، رس، ماسه‌سنگ و ... است و به منظور پیشگیری از تغییر کیفیت آب مخزن سد پس از آبرگیری، فعالیت‌هایی در دست اجراست. این مکان در فاصله ۴۵۰۰ متری بالادست بدنه سد واقع شده و طول تقریبی آن ۲۰۰۰ متر است. برای دسترسی به ساحل رودخانه چندین کیلومتر جاده دسترسی احداث شده که در برخی نقاط آسفالت نیز

۳. مواد و روش‌ها

۱.۳ روش اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی

معادن نمک در اطراف منطقه (معادن نمک عنبل) مشکل محیط‌زیستی بسیار مهم در فاز بهره‌برداری محسوب می‌شود. این معدن در فاصله ۷ کیلومتری از محور سد واقع شده است و در زمان آبرگیری در حاشیه مخزن سد واقع

فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده مقایسه شدند تا مشخص شود که فعالیت‌های ذکر شده بر کدام یک از فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی تأثیرگذار و در تغییر کیفیت آب مؤثر بوده است. نمودار ۱ روند اجرای ارزیابی ریسک سد گتوند علیا را در این تحقیق نشان می‌دهد.



نمودار ۱. روند اجرای ارزیابی ریسک سد گتوند علیا

شده است. پرکردن فروچاله اقدام دیگر در دست اجرا در این سایت است که به منظور ممانعت از ورود زهاب‌ها از سطوح بالادست به داخل مخزن سد انجام می‌گیرد. اکثر این فروچاله‌ها به بستر رودخانه منتهی می‌شوند و عملیات پرکردن آن‌ها با استفاده از مخلوط ۲ با ۱ رس و آب انجام می‌شود. در بازدید از منطقه که برای سنجش و بررسی فعالیت‌های اجرایی در کارگاه عنبل اجرا شد، در ۶ نقطه مختلف عملیات نمونه‌برداری به انجام رسید. نمونه‌برداری از مرکز رودخانه و با استفاده از قایق انجام شد. برای هر نمونه ۱ لیتر نمونه مرکب برداشت شد و از نظر میزان کل جامدات محلول (TDS)، هدایت الکتریکی، اسیدیته، کدورت، سختی، قلیایی بودن، نیترات، COD و pH نمونه‌ها آنالیز شدند. در جدول ۲ موقعیت و فاکتور نمونه‌برداری مشخص شده است.

پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها به یکی از آزمایشگاه‌های معتمد سازمان حفاظت محیط‌زیست در استان خوزستان منتقل شدند تا آزمایش‌های مربوطه انجام شود. سپس، نتایج آنالیز محل‌های مختلف نمونه‌برداری از نظر

جدول ۲. موقعیت نمونه‌برداری برای آنالیز فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی آب در رودخانه کارون (زمستان ۱۳۸۹)

ردیف	نقطه نمونه‌برداری	فاکتور نمونه‌برداری
۱	بالادست فعالیت‌ها در مقابل منطقه L1 سازند گچساران	هدایت الکتریکی، pH، کل جامدات محلول (TDS)، کدورت، اسیدیته، قلیایی بودن، سختی کل، سختی منیزیم، سختی کلسیم، نیترات و COD
۲	مقابل منطقه L4 سازند گچساران	هدایت الکتریکی، pH، کل جامدات محلول (TDS)، کدورت، اسیدیته، قلیایی بودن، سختی کل، سختی منیزیم، سختی کلسیم، نیترات و COD
۳	۱۰۰۰ متر پایین دست سازند گچساران	هدایت الکتریکی، pH، کل جامدات محلول (TDS)، کدورت، اسیدیته، قلیایی بودن، سختی کل، سختی منیزیم، سختی کلسیم، نیترات و COD
۴	منطقه فرازبند سد گتوند علیا	هدایت الکتریکی، pH، کل جامدات محلول (TDS)، کدورت، اسیدیته، قلیایی بودن، سختی کل، سختی منیزیم، سختی کلسیم، نیترات و COD
۵	بالادست بند تنظیمی گتوند علیا	هدایت الکتریکی، pH، کل جامدات محلول (TDS)، کدورت، اسیدیته، قلیایی بودن، سختی کل، سختی منیزیم، سختی کلسیم، نیترات و COD
۶	۲۰۰ متر پایین دست بند تنظیمی گتوند علیا	هدایت الکتریکی، pH، کل جامدات محلول (TDS)، کدورت، اسیدیته، قلیایی بودن، سختی کل، سختی منیزیم، سختی کلسیم، نیترات و COD

• بررسی وضعیت محیط‌زیست.

پس از تهیه فهرستی از لیست احتمالی، عوامل ریسک در فاز بهره‌برداری در پرسش‌نامه گنجانده شد و برای تأیید درستی آن در اختیار تعدادی از کارشناسان حوزه سد و محیط‌زیست قرار گرفت. سپس، با توجه به وضع منطقه گزینه‌های کلی ریسک در فاز بهره‌برداری سد، که ۲۱ مورد بودند، از طریق چک‌لیست PHA در قالب ۵ گروه فیزیکی و شیمیایی، بیولوژیکی، اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی، ایمنی و بهداشتی و حوادث طبیعی دسته‌بندی و در جدول ۳ مرتب شدند. این پارامترها بر اساس دستورالعمل کمیسیون بین‌المللی سدهای بزرگ در خصوص ارزیابی ریسک سدها در حکم معیارهای اولیه انتخاب و برای اولویت‌بندی از طریق روش آنالیز مقدماتی خطر آنالیز و به شکل زیر دسته‌بندی شدند.

نمره‌دهی در چک‌لیست PHA بر اساس دو معیار شدت ریسک و احتمال رخداد ریسک انجام می‌شود که پس از ضرب شدت در احتمال ماتریس ارزیابی ریسک تشکیل می‌شود. با توجه به اینکه عوامل ایجادکننده ریسک در این تحقیق بیشتر جنبه محیط‌زیستی خواهند داشت و محیط درگیر پروژه محیط طبیعی است، لذا برای تعیین سطح ریسک و در نهایت غربالگری آن از جدول ۴ استفاده می‌شود. مبنای نمره‌دهی در این تحقیق، نظر کارشناسان در پرسش‌نامه‌ها و ویژگی‌های زیست‌محیطی منطقه است.

هدف از انجام این تحقیق ارزیابی ریسک سد گتوند علیا در فاز بهره‌برداری است، که پس از بررسی و مرور بر ادبیات تحقیق و بازدید میدانی از کارگاه سد و مصاحبه با کارشناسان و تیم مطالعاتی برای شناسایی ریسک‌ها در دوره بهره‌برداری پرسشنامه‌ای طرح شد. در ابتدا با توجه به مطالعات انجام‌شده در زمینه ریسک سدها در دنیا و ایران و بر اساس مطالعات فنی و محیط‌زیستی پروژه سد گتوند علیا عوامل ریسک در دوره بهره‌برداری سد با استفاده از چک‌لیست روش PHA شناسایی و پس از آن در قالب روش EFMEA ارزیابی شدند. سپس، با توجه به اولویت‌بندی‌نکردن ریسک‌ها در روش EFMEA با استفاده از کار آماری عوامل ریسک اولویت‌بندی و برای آن‌ها سطح ریسک تعیین شد. در نهایت ریسک‌های با سطح بالا شناسایی شدند.

۴. شناسایی عوامل ریسک

به منظور شناسایی ریسک‌ها در منطقه، مراحل زیر اجرا شده است:

- جست‌وجو در مقالات و تحقیق‌های انجام‌شده در سدهای دیگر؛
- مطالعه گزارش EI A سد گتوند علیا؛
- بازدیدهای میدانی، مصاحبه با کارشناسان واحد HSE؛
- بررسی آمارهای حوادث و سوانح در کارگاه سد؛

جدول ۳. طبقه‌بندی انواع ریسک‌های محیط‌زیستی فاز بهره‌برداری سد گتوند علیا

زمین‌لرزه القایی، فرسایش و رسوب در پایین‌دست سد، تجمع نمک و افزایش املاح در مخزن سد، یوتریفیکاسیون، نشت روغن، فشرده‌شدن خاک، لایه‌بندی حرارتی	فیزیکی و شیمیایی	انواع ریسک
پراکنش علف‌های هرز در پایین‌دست سد	گیاهان	
کاهش امنیت، تغییر در زنجیره‌های غذایی، تخریب پناهگاه، تهدید حیات آبزیان در پایین‌دست، ایجاد مانع در مسیر مهاجرت ماهیان	جانوران	
توسعه توریسم و تفریح، حمل و نقل	اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی	
تروریسم و خراب‌کاری، تراز بالای صدا، خطاهای انسانی پرسنل، خوردگی تأسیسات، شیوع بیماری‌ها، ایجاد محیط مناسب برای رشد و تکثیر حشرات (مخزن سد گتوند علیا)،	ایمنی و بهداشتی	
لرزه‌خیزی، سیل	طبیعی	

جدول ۴. معیارهای تصمیم‌گیری ریسک (PHA)

شاخص ریسک	معیار تصمیم‌گیری برای مدیریت ریسک
1A-1B-1C-2A-2B-3A	غیر قابل قبول، توقف و اصلاح سریع عملیات
3C-3B-2D-2C-1D	نامطلوب، تصمیم مدیریت ارشد برای پذیرش یا رد ریسک
4B-4A-3E-3D-2E-1E	قابل قبول با بازنگری مدیریت
4E-4D-4C	قابل قبول بدون بازنگری مدیریت

حلوانی و زارع، ۱۳۸۸

را تعیین کرد و برای اعداد بالاتر از آن اقدامات اصلاحی انجام داد. برای اعداد ریسک بالا، باید ضمن کار گروهی برای پایین‌آوردن این اعداد از طریق اقدامات اصلاحی تلاش کرد (جوزی، ۱۳۸۷).

۶. تعیین سطح ریسک EFMEA

به منظور تصمیم‌گیری در زمینه پذیرفتن یا نپذیرفتن ریسک باید سطح ریسک را تعیین کرد، برای تعیین سطح ریسک از شاخص RPN استفاده شد. برای تعیین حد اطمینان یا شاخص ریسک و حد بالا و پایین ریسک، در این پروژه از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد. بدین منظور ابتدا میانگین RPNها و انحراف معیار آنها محاسبه شد. در نتیجه این محاسبات (RPN= 176.8) به منزله حد اطمینان یا شاخص ریسک تعیین شدند. سپس، با استفاده از انحراف معیار، پخش‌شدگی مقادیر RPN حول مقدار میانگین μ محاسبه و عدد $237/8$ به منزله حد بالای ریسک و عدد 116 به منزله حد پایین ریسک در نظر گرفته شد. در جدول ۵ سطح ریسک پیشنهادشده در این تحقیق آورده شده است.

جدول ۵. تعیین سطح ریسک EFMEA

سطح ریسک	RPN
LOW RISK	RPN < 116
MEDIUM RISK	$237/8 < \text{RPN} < 116$
HIGH RISK	RPN > 237/8

۵. ارزیابی عوامل ریسک

در این تحقیق برای ارزیابی عوامل ریسک شناسایی شده از روش EFMEA استفاده شد که پس از نمره‌دهی ریسک‌ها و تعیین سطح آن‌ها ریسک‌های دارای سطح بالا و متوسط از کل ریسک‌ها غربال و بر اساس کاربرد EFMEA که در این تحقیق طبق فعالیت‌های فاز بهره‌برداری سد تنظیم شده است، با نظر کارشناسان نمره‌دهی و تکمیل شدند. در تکنیک FMEA باید درجات شدت، احتمال وقوع و گستره آلودگی را به دست آوریم که برای آن‌ها جدول‌های مرجعی موجود است. هر کدام از این ۳ درجه‌بندی بر اساس مقیاس ۱۰ نمره‌ای پیشنهاد شده است، که در آن ۱ نمایانگر پایین‌ترین درجه و ۱۰ نمایانگر بالاترین درجه است. درجه شدت به معنی برآوردی از میزان جدی بودن اثر و احتمال وقوع است که می‌توان با دانستن علت بالقوه خطا در خصوص احتمال وقوع و تناوب آن حدس بهتری داشت. منظور از گستره آلودگی نیز محدوده و پخش آلودگی است که در این تحقیق در ۵ سطح طبقه‌بندی شده است.

پس از به‌دست‌آوردن این ۳ عدد می‌توان عدد اولویت ریسک RPN را از طریق فرمول زیر محاسبه کرد:

عدد اولویت ریسک = شدت ریسک × وقوع ریسک × گستره آلودگی

عدد اولویت ریسک مجموع تمام اعداد اولویت ریسک‌هاست، که با مرتب‌کردن این اعداد از بزرگ‌ترین به کوچک‌ترین اولویت‌بندی می‌شود و باید شاخص ریسک

است. بیشترین میزان هدایت الکتریکی و TDS در ۲۰۰ متری پایین دست‌بند تنظیمی گتوند علیا گزارش شده است. به گونه‌ای که میزان این ۲ پارامتر در خروجی‌بند تنظیمی گتوند تا ۴۰ درصد افزایش داشته است. کاهش کیفیت آب در طول رودخانه محسوس نیست و در اثر اختلاط در رودخانه قابلیت خودپالایی آن تنظیم می‌شود، اما در داخل‌بند تنظیمی تجمع آلاینده‌ها غلظت افزایش می‌یابد. بیشترین میزان TDS گزارش شده در ۱۰۰۰ متر پایین‌دست فعالیت سازند گچساران است که برابر با ۵۴۴ mg/l است و این مقدار از حد مجاز استاندارد فراتر است. بنابراین، فعالیت معدن فنبل در افزایش کل جامدات منطقه مؤثر بوده است. نتایج آنالیزهای انجام شده در جدول ۶ درج شده است.

در انتها با توجه با محاسبات آماری انجام شده، وضعیت محیط‌زیست منطقه مورد مطالعه، همچنین تجربه اعضای تیم، RPN‌های زیر ۱۱۶ جنبه غیربارز و RPN‌های بین ۱۱۶ تا ۲۳۷/۶ با وضعیت نه چندان مناسب و نیازمند تجدیدنظر در اولویت بعدی قرار گرفتند. در این بین RPN‌های بالاتر از ۲۳۷/۶ جنبه بارز داشتند و باید در اولویت بهبود قرار گیرند تا به کارگیری اقدامات تعیین شده مقدار شاخص RPN برای سال‌های بعد به مقدار کمتری برسد.

۷. نتایج

۱.۷. نتایج اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی

نتایج بررسی گویای آن است که عملیات پوشش دیواره سازند گچساران سبب افزایش شایان توجه کل جامدات محلول و هدایت الکتریکی در پایین‌دست فعالیت‌ها شده

جدول ۶. بررسی کیفیت فیزیکی و شیمیایی رودخانه کارون و روند تغییرات آن در اثر فعالیت‌های اجرایی در سازند گچساران

نقاط نمونه‌برداری در رودخانه کارون (کلیه نمونه‌ها از مرکز رودخانه برداشت شده است)						واحد	فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی
۲۰۰ متر پایین‌دست بند تنظیمی گتوند علیا	بالادست بند تنظیمی گتوند علیا	منطقه فرازبند سد گتوند علیا	۱۰۰۰ متر پایین‌دست سازند گچساران	مقابل منطقه L4 سازند گچساران	بالادست فعالیت‌ها در مقابل منطقه L1 سازند گچساران		
۲۲۷۰	۲۲۳۰	۸۱۳	۱۶۶۷	۱۳۵۶	۱۴۸۳	μs/cm	هدایت الکتریکی
۸/۱	۸	۸/۱	۸/۱	۸/۱	۸/۳	-	Ph
۱۳۶۰	۱۳۴۰	۴۸۵	۹۹۸	۸۱۰	۸۸۲	mg/l	کل جامدات محلول (TDS)
۹/۳۴	۱۰/۹	۱۴/۱	۱۳/۵	۷/۸۹	۸/۷۶	NTU	کدورت
۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	mg/l CaCO ₃	اسیدیته
۱۴۴	۱۴۴	۱۴۴	۱۴۴	۱۴۴	۱۴۴	mg/l CaCO ₃	قلیایی بودن
۳۰۸	۳۱۴	۲۳۴	۲۸۸	۲۶۰	۲۵۶	mg/l CaCO ₃	سختی کل
۱۸۴	۲۳۲	۱۶۰	۲۰۰	۱۴۴	۱۶۰	mg/l CaCO ₃	سختی کلسیم
۱۲۴	۸۲	۷۴	۸۸	۱۱۶	۹۶	mg/l CaCO ₃	سختی منیزیم
۱/۴۷	۱/۳۳	۱/۲۸	۱/۲۱	۱/۱۷	۱/۱۸	mg/l N	نیترات
۱/۶	۶/۴	۱۲/۸	۱/۸	۱	۲	mg/l O ₂	COD

جدول ۷ فرم شناسایی و ارزیابی جنبه‌های محیط‌زیستی سد گتوند علیا به روش PHA ارائه شده است.

همان‌طور که ذکر شد، پس از شناسایی ریسک‌های فاز بهره‌برداری سد گتوند علیا، آن‌ها در قالب چک‌لیست آنالیز مقدماتی خطر PHA در ۵ گروه طبقه‌بندی شدند. در

جدول ۷. فرم شناسایی و ارزیابی جنبه‌های محیط‌زیستی گتوند علیا (ریسک‌های فیزیکی و شیمیایی) با استفاده از روش PHA

اقدامات کنترلی پیشنهادی	ارزیابی			ریسک	ردیف	
	سطح ریسک	RPN (عدد ریسک)	شدت اثر			احتمال وقوع
- نصب ابزارهای هشداردهنده	MEDIUM RISK	۱D	۱	D	زمین‌لرزه القایی	۱
- به حداقل رساندن برداشت مصالح و قرضه - ایجاد پوشش‌های گیاهی مناسب	HIGH RISK	۲A	۲	A	فرسایش و رسوب در پایین دست سد به علت تخریب پوشش گیاهی	۲
- ایجاد دیوار آب‌بند و محصور کردن گنبد نمکی - جلوگیری از نفوذ نمک به داخل آب	HIGH RISK	۱A	۱	A	شورشدن آب ناشی از گنبد نمکی	۳
- کنترل مانداب در مخزن - طراحی تخلیه‌کننده‌های تحتانی برای رهاسازی آب‌های آلوده و مواد آلی - ممانعت از ورود فاضلاب شهری، روستایی و صنعتی - جلوگیری از ورود کودهای شیمیایی و سموم	MEDIUM RISK	۲C	۲	C	یوتریفیکاسیون	۴
- پیشگیری از تخلیه مستقیم فاضلاب‌های انسانی - جلوگیری از نشت و ریزش مواد روغنی و سوختی دستگاه‌ها به منابع آب‌های زیرزمینی - نصب سیستم‌های تصفیه فاضلاب	MEDIUM RISK	۳B	۳	B	نشت احتمالی روغن از تجهیزات و ماشین‌آلات	۵
کاشت و جایگزینی گیاهان مناسب در اطراف محدوده طرح	MEDIUM RISK	۳C	۳	C	فشرده شدن خاک و ایجاد لایه مقاوم و غیر قابل نفوذ در طبقات زیرین خاک در اثر حمل و نقل	۶
- رهاسازی آب به منظور اختلاط آب دریاچه سد - ساخت دریچه‌های خروجی آب در ارتفاعات مختلف دیواره سد و خروج آب از ارتفاعات مختلف	HIGH RISK	۱B	۱	B	لایه‌بندی حرارتی	۷

حالات خرابی بالقوه (جنبه‌های محیط‌زیستی): حالتی است که فرایند تشریح‌شده در ستون قبل، به طور بالقوه نیازمندی‌های مشخص‌شده (استانداردها، قوانین، مقررات و غیره) را برآورده نمی‌کند؛ این حالت در حقیقت، تشریحی است از مطابقت‌نداشتن در آن عملیات خاص. در این مرحله باید فرض شود احتمال خرابی وجود دارد و نه اینکه حتماً اتفاق خواهد افتاد (نیاورانی، ۱۳۸۳).

آثار بالقوه خرابی (پیامدها): آثار بالقوه خرابی به منزله آثار حالت خرابی روی مشتریان، کارکنان و سایر طرف‌های ذی‌نفع تعریف می‌شوند. اگر حالت خرابی روی محیط‌زیست تأثیر گذارد یا سبب بروز تطابق‌نداشتن با قوانین و مقررات شود، باید آن را به طور روشن تعیین کرد. وقتی آثار بالقوه خرابی ارزیابی می‌شود، هر یک از طرف‌های ذی‌نفع باید در نظر گرفته شوند (نیاورانی، ۱۳۸۳).

نوع فعالیت: به فعالیت‌هایی گفته می‌شوند که در زمان بهره‌برداری از سد به انجام می‌رسند و در واقع به نوعی مراحل اجرای سد محسوب می‌شوند.

در جدول ۸ فعالیت‌های دوره بهره‌برداری سد گتوند علیا همراه جنبه‌های محیط‌زیستی (حالات خرابی بالقوه) مرتبط با آن‌ها آمده است. در شکل ۲ نمونه تکمیل‌شده کاربرد EFMEA برای فعالیت آبیگری مخزن ارائه شده است.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از محاسبه RPN‌ها در فعالیت آبیگری مخزن سد بیشترین RPN مربوط به شورشیدن آب به علت گنبد نمکی با $RPN=320$ است. با توجه به عمده فعالیت‌های سازند گچساران که در حدود ۷۰ کیلومتری مخزن سد قرار دارد، احتمال شورشیدن آب خیلی زیاد است و بر اساس گزارش‌ها هیچ حریمی در معدن رعایت نشده است. این شرایط سبب بالارفتن کدورت و شوری آب رودخانه می‌شود. این موضوع می‌تواند زیست‌مندان وابسته به محیط آبی را تحت تأثیر قرار دهد.

۸. بررسی نتایج نمره‌دهی و ارزیابی جنبه‌های زیست‌محیطی روش PHA

با توجه به اینکه PHA روشی نیمه‌کمی است (محمدفام، ۱۳۸۸)، بنابراین اولویت‌بندی ریسک‌ها در این روش نیز به صورت کیفی است. در اولویت‌بندی ریسک‌های فیزیکی و شیمیایی در فاز بهره‌برداری سد گتوند علیا بر اساس سطح ریسک فرسایش و رسوب در پایین‌دست سد به علت تخریب پوشش گیاهی، شورشیدن آب به علت گنبد نمکی و لایه‌بندی حرارتی سطح ریسک بالایی دارند. در اولویت‌بندی ریسک‌های بیولوژیکی در فاز بهره‌برداری سد گتوند علیا بر اساس سطح ریسک ایجاد مانع در مسیر مهاجرت ماهیان دارای سطح ریسک متوسط است. در اولویت‌بندی ریسک‌های اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی در فاز بهره‌برداری سد گتوند علیا بر اساس سطح ریسک، توسعه توریسم و تفرج و حمل و نقل سطح ریسک بالایی دارد. در اولویت‌بندی ریسک‌های ایمنی و بهداشتی در فاز بهره‌برداری سد گتوند علیا بر اساس سطح ریسک، خوردگی تأسیسات دارای سطح ریسک بالاست. در اولویت‌بندی ریسک‌های طبیعی در فاز بهره‌برداری سد گتوند علیا بر اساس سطح ریسک، لرزه‌خیزی و سیل سطح ریسک پایینی دارند. بنابراین، نمره‌دهی و ارزیابی ریسک‌ها در قالب روش PHA از سوی اعضای تیم، ریسک‌های به‌دست‌آمده دارای سه سطح ریسک بالا، متوسط و پایین خواهند بود، که در این مرحله برای ادامه کار ارزیابی ریسک‌های با سطح بالا و متوسط از کل ریسک‌ها غربال می‌شوند تا در مرحله بعد از طریق روش FMEA ارزیابی شوند.

پس از شناسایی ریسک‌های مورد مطالعه کاربرگ EFMEA، فعالیت‌های فاز بهره‌برداری سد تکمیل شد. سپس، ستون‌های فعالیت‌ها یا خدمات، آلودگی ناشی از فعالیت‌های در فاز بهره‌برداری سد و پیامد آن آلودگی نیز در کاربرگ وارد شد. پس از اصلاحات لازم، ستون‌های شدت آثار، احتمال وقوع و گستره آلودگی طبق جداول EFMEA تکمیل شدند و RPN محاسبه شد.

جدول ۸. فعالیت‌های دوره بهره‌برداری سد گتوند علیا

فعالیت	حالات خرابی بالقوه (جنبه‌های محیط‌زیستی)	علل خرابی بالقوه (علل پیامد)	آثار خرابی بالقوه (شرح پیامد)	ارزیابی اولیه					اقدامات کنترلی	ارزیابی ثانویه				
				شدت	احتمال وقوع	گستره آلودگی	RPN	سطح ریسک		شدت	احتمال وقوع	گستره آلودگی	RPN	سطح ریسک
انجمنی مخزن سد	ایجاد زمین‌لرزه (زلزله)	ایجاد دریاچه سد تحت اثر وزنی آب و نفوذی در زمین	آسیب به انسان، تجهیزات و از بین رفتن جانوران	۱۰	۳	۴	۱۲۰	M	۸	۳	۴	۹۶	L	نصب ابزارهای هشداردهنده
	شور شدن آب	گنبد نمکی	- از بین رفتن محصولات کشاورزی - شور شدن لایه‌های آب زیرزمینی - از بین رفتن تأسیسات	۱۰	۸	۴	۳۲۰	H	۵	۶	۴	۱۲۰	M	- ایجاد دیوار آبدن و محصور کردن گنبد نمکی - جلوگیری از نفوذ نمک به داخل آب
	لایه‌بندی حرارتی	اختلاف در دانسیته و درجه حرارت لایه‌های بالا و پایین آب	تبادل غذایی و گازهای محلول به ویژه اکسیژن در بین طبقات آب مخزن انجام نمی‌پذیرد.	۶	۷	۳	۱۲۶	M	۶	۳	۳	۵۴	L	- رهاسازی آب به منظور اختلاط آب دریاچه سد - ساخت دریچه‌های خروجی آب در ارتفاعات مختلف دیواره سد و خروج آب از ارتفاعات مختلف
	یوتریفیکاسیون	شسته شدن کودهای شیمیایی حاوی فسفر و ازت و رهاسازی فاضلاب‌های صنعتی، شهری و روستایی	از بین رفتن کیفیت آب	۶	۶	۴	۱۴۴	M	۶	۲	۴	۴۸	L	- کنترل مانداب در مخزن - طراحی تخلیه‌کننده‌های تحتانی برای رهاسازی آب‌های آلوده و مواد آلی - ممنوعیت ورود فاضلاب شهری، روستایی و صنعتی - جلوگیری از ورود کودهای شیمیایی و سموم

فعالیت	حالات خرابی بالقوه	فعالیت	حالات خرابی بالقوه
آبگیری مخزن سد	ایجاد زمین لرزه (زلزله)	برداشت منابع قرضه	فرسایش و رسوب در پایین دست سد
	شور شدن آب	توسعه توریسم و تفرج	تخریب پناهگاه جانوران
	لایه بندی حرارتی		ایجاد پساب و فاضلاب انسانی
	یوتریفیکاسیون		ایجاد پسماند و مواد زائد
	ایجاد محیط مناسب جهت رشد و تکثیر حشرات(امکان تکثیر پشه آنوفل)		گازهای خروجی از آگزوز خودروها
	ایجاد مانع در مسیر مهاجرت ماهیان		آلودگی صوتی ناشی از توربین‌ها و تاسیسات
استفاده از خودروها و ماشین آلات و عملیات حمل و نقل	نشست روغن از تجهیزات و ماشین آلات	ایجاد تأسیسات زیر بنایی	ایجاد پساب و فاضلاب
	پسماند مواد زائد و متعلقات ماشین آلات		ایجاد پسماند و مواد زائد صنعتی
	فشرده شدن خاک		نشست روغن از تاسیسات و تجهیزات در اثر خوردگی
	گازهای خروجی از آگزوز خودروها		تخریب پناهگاه جانوران

شکل ۲. نمونه تکمیل‌شده کاربرگ EFMEA مربوط به فعالیت آبگیری مخزن سد گتوند علیا

مربوط به ایجاد پساب و فاضلاب انسانی با $RPN=256$ و ایجاد پسماند و مواد زاید با $RPN=256$ و سطح ریسک بالا که به علت ورود انسان‌ها و تأسیس اماکن تفریحی و رفاهی و کمپ‌های کارکنان و نیروی انسانی احتمال ورود پساب و فاضلاب انسانی به رودخانه بسیار زیاد است و سبب آلودگی و تغییر کیفیت آب‌های سطحی می‌شود. ورود انسان و خودرو برای تفریح به محیط طبیعی، ایجاد پسماند و مواد زاید جامد را به همراه دارد که احتمالاً تا پایان دوره بهره‌برداری سد آلودگی بسیاری رخ می‌دهد. گازهای خروجی از آگزوز خودروها و تخریب پناهگاه جانوران با سطح ریسک متوسط در اولویت‌های بعدی قرار دارند. در فعالیت ایجاد تأسیسات زیربنایی بیشترین RPN مربوط به ایجاد پساب و فاضلاب صنعتی با $RPN=256$ و ایجاد پسماند صنعتی با $RPN=256$ و سطح ریسک بالاست، که سبب آلودگی آب و خاک می‌شوند. نشست روغن از تأسیسات و تجهیزات در اثر خوردگی و آلودگی صوتی ناشی از توربین‌ها و تأسیسات با سطح ریسک متوسط در اولویت‌های بعدی قرار دارند.

بالاترین عدد اولویت ریسک مربوط به شور شدن آب به علت آبگیری مخزن سد با $RPN=320$ و کمترین عدد اولویت ریسک مربوط به ایجاد محیط مناسب برای رشد و تکثیر حشرات (امکان تکثیر پشه آنوفل) به علت آبگیری

از مهم‌ترین ریسک‌ها در فاز بهره‌برداری که به علت آبگیری مخزن به وجود می‌آیند، پدیده‌های لایه‌بندی حرارتی و یوتریفیکاسیون‌اند که سطح ریسک متوسطی دارند. در فعالیت برداشت منابع قرضه بیشترین RPN مربوط به فرسایش و رسوب در پایین‌دست سد با $RPN=288$ و سطح ریسک بالاست. اثر این رسوب در مخزن سد سبب کاهش مواد مغذی در پایین‌دست می‌شود و فرسایش دیواره‌های رودخانه را بیشتر می‌کند. در این صورت رسوب زیادی تولید می‌شود که آثار محیط‌زیستی از جمله خفگی در بین ماهیان به علت پرشدن آبشش را به دنبال خواهد داشت که بسیار خطرناک است. در فعالیت استفاده از خودروها و ماشین‌آلات و عملیات حمل و نقل بیشترین RPN مربوط به گازهای خروجی از آگزوز خودروها با $RPN=216$ است. سطح ریسک متوسط در دوره بهره‌برداری سد با راه‌اندازی جاده‌های دسترسی عملیات حمل و نقل افزایش یافته است و در این صورت احتمال خروج گازهای آلاینده از خودروهای سبک و سنگین وجود دارد که سبب آلودگی هوا می‌شود. پسماند مواد زاید و متعلقات ماشین‌آلات و نشست روغن از تجهیزات و ماشین‌آلات با سطح ریسک متوسط در مراتب بعدی است.

در فعالیت توسعه توریسم و تفرج بیشترین RPN

احتمال و گستره آلودگی امتیازدهی شدند. در ادامه RPN های به دست آمده با استفاده از نرم افزار آماری SPSS تجزیه و تحلیل شدند. نتیجه این محاسبات (RPN=176.8) به منزله حد اطمینان یا شاخص ریسک تعیین و عدد ۲۳۷/۸ به منزله حد بالای ریسک و عدد ۱۱۶ به منزله حد پایین ریسک در نظر گرفته شد.

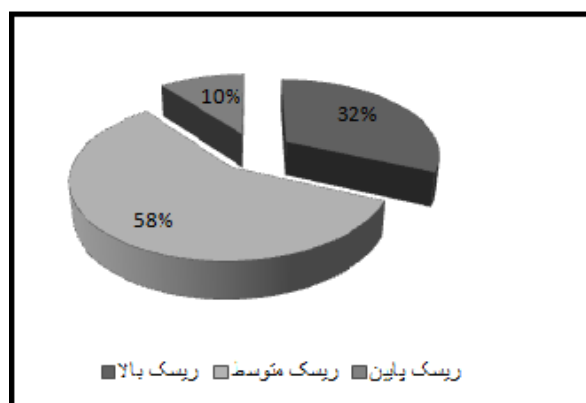
جدول ۹. مهم ترین ریسک های مرحله بهره برداری سد گتوند

علیا به روش EFMEA

ردیف	ریسک	عدد اولویت ریسک (RPN)	سطح ریسک
۱	شورشدن آب ناشی از گنبد نمکی	۳۲۰	H
۲	فرسایش و رسوب در پایین دست سد	۲۸۸	H
۳	ایجاد پساب و فاضلاب انسانی به علت تورسیم و تفرج	۲۵۶	H
۴	ایجاد پسماند و مواد زاید به علت تورسیم و تفرج	۲۵۶	H
۵	ایجاد پساب و فاضلاب در تأسیسات زیربنایی	۲۵۶	H
۶	ایجاد پسماند و مواد زاید صنعتی در تأسیسات زیربنایی	۲۵۶	H

مخزن سد و فشرده شدن خاک به علت توسعه کشاورزی و تردد ماشین آلات سنگین با $RPN=90$ است.

نمودار ۲ سطح ریسک های محیط زیستی EFMEA سد گتوند علیا در فاز بهره برداری را نشان می دهد.



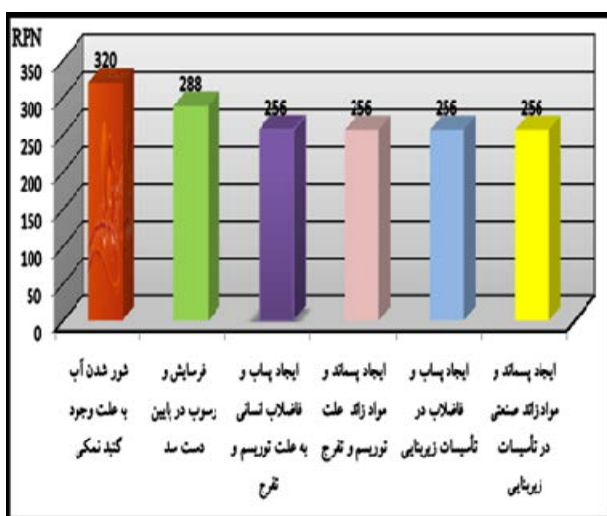
نمودار ۲. مقایسه سطح ریسک های EFMEA در فاز بهره برداری

همان طور که در نمودار بالا ملاحظه می شود، بیشترین ریسک های به وجود آمده در فاز بهره برداری سد گتوند علیا در سطح متوسط M قرار دارند که از کل ریسک ها حدود ۵۸ درصد را به خود اختصاص داده اند و کمترین سهم را ریسک های با سطح پایین L در حدود ۱۰ درصد، ریسک های با سطح بالا H حدود ۳۲ درصد را تشکیل می دهند.

مهم ترین ریسک های به دست آمده در روش EFMEA در جدول ۹ و نمودار ۳ نشان داده شده اند که نمایانگر این است که شورشدن آب ناشی از گنبد، مهم ترین ریسک محیط زیستی سد گتوند علیا در فاز بهره برداری با استفاده از روش EFMEA است.

برای شناسایی عوامل ریسک در فاز بهره برداری سد گتوند علیا لیستی از عوامل ریسک در دوره بهره برداری به صورت پرسش نامه تکمیل شد و در اختیار متخصصان و گروهی از نخبگان محیط زیست قرار گرفت. سپس، در قالب چک لیست PHA به ۵ گروه مرتب شد و پس از ارزیابی اولیه و مقدماتی عوامل ریسک غربال و از طریق روش EFMEA ارزیابی شدند.

در ریسک محیط زیستی ۲۱ عامل با استفاده از روش EFMEA ارزیابی و با استفاده از جداول معیار شدت،



نمودار ۳. مهم ترین مخاطرات محیط زیستی سد گتوند علیا در مرحله بهره برداری

برای ذخیره خاک‌های حاوی نمک استحصال‌شده در بالادست مخزن سد تعیین شود.

در ارزیابی ثانویه پس از اجرای اقدامات کنترلی و اصلاحی بالاترین ریسک مربوط به فرسایش و رسوب در پایین‌دست سد در اثر برداشت منابع قرضه با $RPN=168$ با سطح ریسک متوسط M و کمترین ریسک مربوط به نشت روغن از تجهیزات و ماشین‌آلات در اثر استفاده از خودروها و ماشین‌آلات در عملیات حمل و نقل $RPN=36$ با سطح ریسک پایین L است.

در جدول ۱۰ اقدامات اصلاحی برای کنترل عوامل مولد ریسک در دوره بهره‌برداری سد گتوند علیا تنظیم شده است.

پیشنهاد

با توجه به اینکه مهم‌ترین ریسک مشخص‌شده در این تحقیق شورشدن آب ناشی از گنبد نمکی است، پیشنهاد می‌شود در مطالعه آتی بررسی آثار پوشش سازند گچساران در کیفیت آب رودخانه کارون انجام شود.

یادداشت‌ها

1. Preliminary Hazard Analysis
2. Failure Mode and Effect Analysis
3. Preliminary Hazard List (PHL)
4. Number Priority Risk=RPN

در ارزیابی اولیه بالاترین ریسک مربوط به شورشدن آب به علت آلودگی مخزن سد با $RPN=320$ و دارای جنبه بارز است و باید در اولویت بهبود قرار گیرد تا شاخص RPN آن برای سال‌های بعد به مقدار پایین‌تری برسد. کمترین عدد اولویت ریسک مربوط به ایجاد محیط مناسب برای رشد و تکثیر حشرات (امکان تکثیر پشه آنوفل) به علت آلودگی مخزن سد و فشرده‌شدن خاک به علت توسعه کشاورزی و تردد ماشین‌آلات سنگین با $RPN=90$ است که جنبه ریسک آن غیربارز است.

فعالیت سازند گچساران سبب تخلیه خاک‌های آغشته به نمک به رودخانه می‌شود که تأثیرات آن از نظر میزان شوری، کل جامدات محلول (TDS)، کل جامدات معلق (TSS) و هدایت الکتریکی مشخص است. این میزان از تأثیرات با توجه به اهمیت پوشش این سازند و جلوگیری از تغییر کیفیت رودخانه در زمان بهره‌برداری قابل توجه است. مجموع فعالیت‌های انجام‌شده در این بخش به منظور کاهش دسترسی آب به سازند و افزایش زمان انحلال است. لذا، ضرورت دارد در خصوص تأثیرات افزایش غلظت جامدات محلول در آب مورد استفاده کشاورزی، حیات آبریان، فیتو و زئوپلانکتون‌ها، آب شرب جوامع انسانی و ... مطالعات جامعی به عمل آید. در این مطالعه توجه به آورد آب رودخانه کارون و خشک‌سالی‌های منطقه‌ای ضرورت دارد. در این بخش همچنین، باید مکان مناسبی

جدول ۱۰. اقدامات اصلاحی برای کاهش مهم‌ترین ریسک‌های سد گتوند علیا در فاز بهره‌برداری

ریسک	اقدام اصلاحی
شورشدن آب به علت گنبد نمکی فرسایش و رسوب در پایین‌دست سد در اثر برداشت منابع قرضه	برآورد ارزیابی ریسک اکولوژیک در منطقه با توجه به آثار محیط‌زیستی سازند گچساران
	انجام آزمایش‌های به موقع و روزانه از کیفیت آب رودخانه کارون و تحلیل آن‌ها از سوی کارشناسان مرتبط
	نمونه‌برداری و پایش روزانه کیفیت آب رودخانه (اندازه‌گیری هدایت الکتریکی) مدل‌سازی فرسایش و شوری در محدوده مخزن سد و پیش‌بینی آثار بلندمدت آن‌ها
	تدوین برنامه برای تسطیح و اصلاح منابع قرضه حفاری‌شده واقع در محدوده امامزاده زید
	تدوین برنامه توسعه فضای سبز در سایت

منابع

- جوزی، ع. ۱۳۸۷. *ارزیابی و مدیریت ریسک*، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، چاپ اول.
- حلوانی، غ؛ زارع، م. ۱۳۸۸. *مهندسی ایمنی سیستم‌ها و مدیریت ریسک*، تهران: نشر فن‌آوران.
- شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران (آب نیرو). ۱۳۸۴. *گزارش نهایی سد و نیروگاه آبی گتوند علیا*، جلد اول: وضعیت موجود محیط زیست منطقه، پژوهشکده محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس، صفحه ۸.
- محمدفام، ا. ۱۳۸۸. *تکنیک آنالیز ایمنی: آنالیز مقدماتی خطر PHA*، چاپ اول، تهران: نشر فن‌آوران، صفحه ۴۶.
- نجمایی، م. ۱۳۸۲. «سد و محیط زیست»، نشریه شماره ۵۵ وزارت نیرو، انتشارات وزارت نیرو، کمیته ملی سدهای بزرگ، صفحه ۲۱.
- نیاورانی، م. ۱۳۸۳. «کاربرد روش FMEA در شناسایی و ارزیابی جنبه‌های زیست محیطی و معرفی EFMEA»، *مجله مهندسی محیط زیست*، شماره ۸۸.
- نیکبخت، م، شاه‌محمدی حیدری، ز. ۱۳۸۳. «ارزیابی آثار زیست محیطی مرحله بهره‌برداری سد سردشت در استان خوزستان»، *فصلنامه علوم محیطی*، بهار ۱۳۸۹.
- Bowels, D, R., Anderson, L, F. 2004. Portfolio Risk Assessment: A tool for Dam Safety Risk management. Proceedings of the USCOLD Annual Lecture, Buffalo, New York, USA.
- Colomer, F.J., Gallardo, I.A. 2008. Design of a model to assess the environmental risk of leached dams. *Journal of Waste Management*, 28:2122-2133.
- Colomer, F.J., Gallardo, I.A. 2009. Environmental risk index: A tool to assess the safety of dams for leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 162: 1-9.
- Tosun, H. 2008. Total Risk Analysis of Dam and Appurtenant structures in a basin and a case study. Civil Engineering Department, Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir, Turkey.
- Heller, S. 2006. Managing Industrial Risk-having a Tasted and Proven System to Prevent and Assess Risk, *Journal of Hazardous Material*, Pp:1-2.
- Matalucci, R. V. 2001. Risk Assessment Methodology for Security of Dams (RAM-DSM) Field Manual and Training Guide, Interagency Forum for the Infrastructure Protection (IFIP), Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico.
- Nivolianitou, Z. 2002. Risk Analysis and Risk Management: A European in Sign Law, Prohibition and Risk. *Pyers publish*. 1(2): 161- 174.