ارزیابی ریسک محیط زیستی سدها با استفاده از شبکه بیزین و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: سد جره)

آزاده احمدی[۱*]، علی مریدی [۲] و حسین مرادی [۳]

[۱] استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان
[۲] استادیار، دانشکده مهندسی آب، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)
[۳] استادیار، دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۵/۱ - تاریخ تصویب:۱۳۹۱/۷/۲۳)

چکیده

یکی از اهداف اولیه توسعه پایدار، دستیابی به رشد اقتصادی در قالب برنامه‌های هماهنگ با اصول محیط زیست و ممانعت از تخریب و تهی‌سازی منابع تجدیدشونده و غیرقابل تجدید است. در حل مشکلات عرصه محیط زیست، نیاز به دیدگاه‌های سیستماتیک و ارزیابی اثرات و ریسک محیط زیستی طرح‌های توسعه وجود دارد. در این تحقیق، ریسک محیط زیستی سدها با استفاده از شبکه‌های بیزین مورد ارزیابی قرار گرفته است. شبکه‌های بیزین بر اساس تئوری احتمالات عمل کرده و ابزاری قدرتمند برای مقابله با شرایط نبود قطعیت می‌باشند. شبکه‌های بیزین مدل‌های گرافیکی هستند که نماینده ساختار وابستگی بین چندین متغیر اثرگذار بر هم می‌باشند. به منظور ارزیابی ریسک محیط زیستی سد، ابتدا ساختار علی و معلولی متغیرهای موثر بر ریسک محیط زیستی در دو دسته "شاخص مخاطرات" و "شاخص آثار" و ارتباط بین متغیرهای مختلف شبکه مدل سازی شد. سپس متغیرهای ورودی بر اساس معیارهای موجود، برای سد جره امتیازدهی و سپس احتمال سطوح مختلف ریسک تعیین شدند. نتایج نشان می‌دهد با احتمال ۶۹ درصد ریسک محیط زیستی سد جره در سطح ریسک متوسط، کم و خیلی کم می‌باشد. نتایج مدلسازی با شبکه‌های بیزین با نتایج روش تحلیل سلسله مراتبی مقایسه شد. همچنین، با استفاده از فرآیند تحلیل حساسیت تعریف شده در شبکه‌های بیزین، متغیرهایی که بیشترین تاثیر را بر روی ریسک ناشی از اجرای پروژه دارند شامل گونه‌های گیاهی حفاظت شده، آموزش، تغییر در پوشش گیاهی، ارتفاع آزاد، گونه‌های جانوری حفاظت شده و سرعت تخلیه سیل از مخزن تعیین شدند.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی ریسک، ریسک محیط زیستی، شبکه بیزین، سد جره، شهرستان رامهرمز، تحلیل سلسله مراتبی

* نویسنده مسئول تلفن: ۰۳۱۱۳۹۱۳۸۴۵ فاکس: ۰۳۱۱۳۹۱۲۷۰۰
E-mail: aahmadi@cc.iut.ac.ir

مقدمه

اثرات متقابل محیط زیست و سازه‌های عمرانی خصوصا در حوزه منابع آب و خاک، جایگاه ویژه و قابل توجهی در تصمیم‌گیری پیدا کرده است. آگاهی و دانش کافی از این اثرات می‌تواند با تغییر مناسب در طراحی، ساخت و نحوه بهره‌برداری موجب شود تا کمترین خسارت احتمالی به محیط زیست وارد آیدو حداکثر استفاده از منابع تجدید شونده ممکن گردد. تحلیل ریسک، ابزاری است که متخصصین فنی و تصمیم‌گیرندگان را قادر می‌سازد که مکانیسم‌های نامطلوب محتمل و عناصر ریسک موجود در مسائل گوناگون مرتبط با محیط زیست را بهتر درک نمایند. ارزیابی ریسک محیط زیستی عبارت است از فرآیند تحلیل کمی و کیفی پتانسیل‌های خطر و پیش‌بینی بالفعل شدن ریسک بالقوه پروژه با در نظر گرفتن حساسیت یا آسیب‌پذیری محیط بیرونی آن (Rezaian and Jozi, 2011).

احداث سد به منظور تامین نیازهای آبی پایین دست و کنترل سیلاب از جمله پروژه‌هایی است که از نظر کارفرمایان توجیه فنی و اقتصادی بالایی دارد. از سوی دیگر با توجه به ریسک‌پذیری بالا می‌تواند آثار چشمگیری بر محیط‌زیست داشته باشد. به همین دلیل پروژه‌های سدسازی نیازمند مطالعات مستمر ارزیابی ریسک می‌باشند. به طور کلی، تاثیرات سدها بر محیط زیست به سه بخش عمده اثرات بر کیفیت آب، اثرات بر بوم شناسی منطقه و اثرات برهیدرولیک پایین دست تقسیم می شوند (Maingi and Marsh (2002:

افزایش زمان ماند آب، احتمال به وجود آمدن لایه بندی حرارتی و پدیده تغذیه گرایی در مخزن و زهکشی اراضی کشاورزی پایین دست از دلایل تغییر کیفیت آب در اثر وجود سد می‌باشند. نابودی گیاهان رودخانه‌ای به دلیل تغییرات ایجاد شده در الگوی جریان، خسارت به ماهی‌ها و حیات وحش منطقه، کاهش غلظت مواد غذایی در پایین دست سد و اثرات آن بر جوامع گیاهی و جانوری آن ناحیه، افزایش رشد گیاهان آبزی در مخزن سد و اثر آن بر آبزیان مخزن سد، رشد بی رویه جمعیت حشرات و تغییرات عمده فیزیکی، شیمیایی و زیستی در پایین‌دست سدها بر اثر وقوع سیلاب‌ها و آزادسازی آب از سرریزها و تخلیه کننده‌ها از جمله دلایل تغییرات بوم شناسی منطقه می‌باشند. کاهش نسبی رسوبات رودخانه‌ای و فرسایش شدید رودخانه در پایین دست، ایجاد امواج و تاثیر باد در ایجاد آن‌ها و احتمال روگذری از سد و اثر خروج آب گل آلود حاوی مواد رسوبی بر مناطق پایین دست سد و محیط زیست منطقه از جمله دلایل تغییرات مشخصه‌های هیدرولیکی رودخانه می‌باشند.

برای انجام ارزیابی ریسک روش‌های متعددی ارائه شده است که هر یک از آن‌ها بر اساس ماهیت مساله، میزان داده‌های مورد نیاز و امکان دسترسی به اطلاعات و سطح پیچیدگی روش تحلیل، طبقه‌بندی می‌گردند. این روش‌ها عبارتند از:

۱- روش تحلیل رابطه دوز- پاسخ که بر اساس ارتباط بین مقدار در معرض بودن فرد به ماده آلاینده و احتمال ایجاد اثرات نامطلوب در فرد انجام می‌گردد. این روش با تکیه بر بانک جامع اطلاعات ریسک سایت EPA (IRIS[1]) قابل انجام می باشد. مشکل اصلی این روش کمبود اطلاعات مربوط به تحلیل رابطه دوز- پاسخ با توجه به آلاینده‌های شاخص پروژه می‌باشد (Fowle *et al.*, 1999; Yu *et al.*, 2010)

۲- روش شاخص‌گذاری: این روش یکی از متداول‌ترین روش‌های تحلیل ریسک است که با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM[2]) و برمبنای امتیازدهی به معیارهای تعریف شده خطرات و اثرات ناشی از آن‌ها برای یک پروژه انجام می‌شود. اهمیت نسبی معیارهای ریسک نیز بر اساس وزن‌دهی به هر معیار با توجه به قضاوت کارشناسی و اطلاعات موجود در محاسبات لحاظ می‌گردد. از جمله مطالعات انجام شده با به کارگیری روش‌هایی چون تحلیل سلسله مراتبی و قوانین فازی می‌توان به تحقیقات Bonano *et al.* (2000)، Tal and Linkov (2004)، Sadig and Husain (2005)، Linkov *et al.* (2006, 2007)، Kaya and Kahraman (2011) اشاره کرد.

۳- روش‌های احتمالاتی که تحلیل ریسک عددی و کمی هستند و نیاز به داده‌های زیادی دارند. از جمله کارهای انجام شده در برآورد ریسک محیط زیستی می‌توان به کارهای Liu *et al.* (2003) و Fan *et al.* (2005) اشاره کرد. در سال‌های اخیر از ابزار شبکه‌های بیزین که بر اساس تئوری احتمالات بنا شده است در ارزیابی و تحلیل ریسک بوم شناسی نیز استفاده شده است (Bates *et al.*, 2003; Pollino *et al.*, 2006; Montgomery *et al.*, 2009).

در این تحقیق از ابزار مدل سازی شبکه بیزین برای ارزیابی ریسک محیط زیستی سدها استفاده شده است. در بخش بعد، ابتدا توضیحاتی در مورد مطالعه موردی این

1 Integrated Risk Information System
2 Multi Criteria Decision Making

تحقیق، سپس جزئیات شبکه‌های بیزین و روش تحلیل حساسیت آن ارائه شده است. در ادامه نتایج به کارگیری روش پیشنهادی در ارزیابی ریسک محیط زیستی سد جره ارائه و بحث شده است.

مواد و روش‌ها

۱- منطقه مورد مطالعه

سد جره بر روی رودخانه زرد در استان خوزستان- شهرستان رامهرمز به عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب شده است. مساحت حوزه آبریز سد جره حدود ۸۴۰ کیلومتر مربع است که در موقعیت '۴۲ °۴۹ طول شرقی و '۲۳ °۳۱ عرض شمالی قرار دارد و در شکل ۱ نشان داده شده است. هدف از احداث این سد، تامین آب مورد نیاز کشاورزی ۲۱۴۰۰ هکتار اراضی دشت رامهرمز، کنترل سیلاب و احداث نیروگاه آبی با ظرفیت سالانه تولید ۸۰ گیگاوات ساعت انرژی می‌باشد.

۲- مشخصات شبکه بیزین

شبکه‌های ساده بیزین اولین بار توسط Titterington (1981) معرفی شدند. شبکه‌های بیزین برای حالاتی مفیدند که وضعیت کنونی سیستم به وضعیت قبلی آن بستگی دارد و از این شبکه‌های احتمالاتی می‌توان برای تصمیم‌گیری و استدلال در شرایط عدم قطعیت استفاده کرد.

به طور کلی، شبکه‌های بیزین مدل‌های گرافیکی احتمال هستند که نشان دهنده مجموعه متغیرهای تصادفی و روابط احتمالی (احتمالات شرطی) بین آن‌ها می‌باشند. توزیع احتمالاتی توام یک مجموعه از متغیرها با فرض مستقل بودن آن‌ها، از حاصلضرب توزیع احتمالاتی شرطی آنها به دست می‌آید:

$$P(x_1, x_2, ..., x_n) = \prod_{i=1}^{n} P(x_i | \pi(x_i)) \qquad (۱)$$

در معادله بالا، x_i، iامین مقدار تصادفی، $P(x_1, x_2, ..., x_n)$ احتمال توام مقادیر $(x_1, x_2, ..., x_n)$ و $\pi(x_i)$ ارزش کمی (مقادیر کمی) مجموعه علل x_i می‌باشند. برای مثال اگر متغیر B وابسته به A و متغیر C وابسته به A و B باشد و احتمالات رخدادهای C، B و A به ترتیب با c، b و a نشان داده شوند، داریم:

$$P(a,b,c) = P(a) \times P(b|a) \times P(c|a,b) \qquad (۲)$$

مبنای محاسبات در شبکه‌های بیزین، قاعده یاست. قانون مورد استفاده به منظور به روز کردن گمان ما در مورد رخداد واقعه B، با فرض این که A، واکنش مربوط به رخداد B می‌باشد، به صورت بیان می‌شود:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \qquad (۳)$$

که $P(A|B)$ احتمال به وقوع پیوستن رویداد A به شرط وجود B است.

تحلیل حساسیت بر روی متغیر خروجی، از مشخصات سطوح مختلف هر متغیر استفاده می‌کند تا تعیین کند تا چه میزان مشاهدات واقعی در مورد یک متغیر می‌تواند بر روی قطعیت متغیر خروجی تاثیرگذار باشد. همچنین برای یافتن عواملی که بیشترین تاثیر را بر روی فاکتور خروجی (ریسک محیط زیستی) دارند، از تحلیل حساسیت استفاده می‌شود. تحلیل حساسیت می‌تواند به وسیله به دست آوردن شاخص متقابل اطلاعات انجام شود. آنتروپی به عنوان شاخصی از تئوری اطلاعات برای ارزیابی عدم قطعیت متغیر تصادفی x که دارای توزیع $P(x)$ می‌باشد، استفاده می‌شود و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$H(x) = -\sum P(x) Log P(x) \qquad (۴)$$

آنتروپی میزان متوسط اطلاعات مورد نیاز به اضافه اطلاعات فعلی را برای مشخص کردن یک گزینه خاص تعیین می‌کند. شاخص متقابل اطلاعات تاثیر یک متغیر x بر روی متغیر دیگری مثل y را اندازه‌گیری می‌کند که توسط رابطه زیر بیان می‌شود:

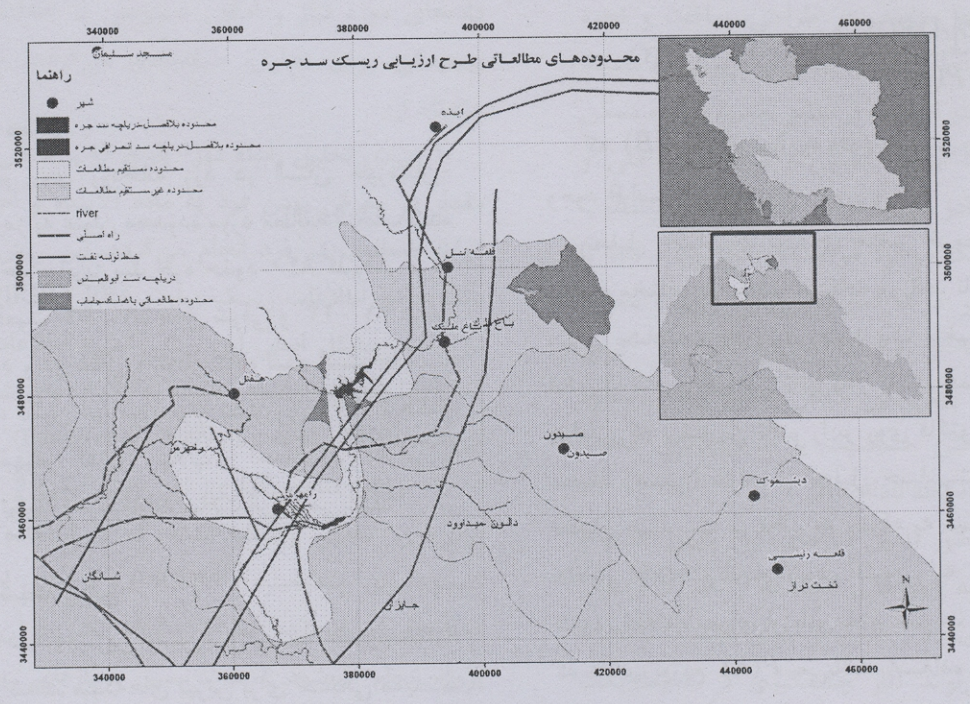
$$I(x,y) = H(x) - H(x|y) \qquad (۵)$$

که در آن $I(x,y)$ شاخص متقابل اطلاعات بین متغیرهااست. این اندازه‌گیری درجه مورد انتظار برای این که احتمال مشترک x و y با یکدیگر متفاوت باشند را نشان می‌دهد. اگر $I(x,y)$ برابر با صفر باشد، نشان دهنده استقلال دو متغیر x و y خواهد بود.

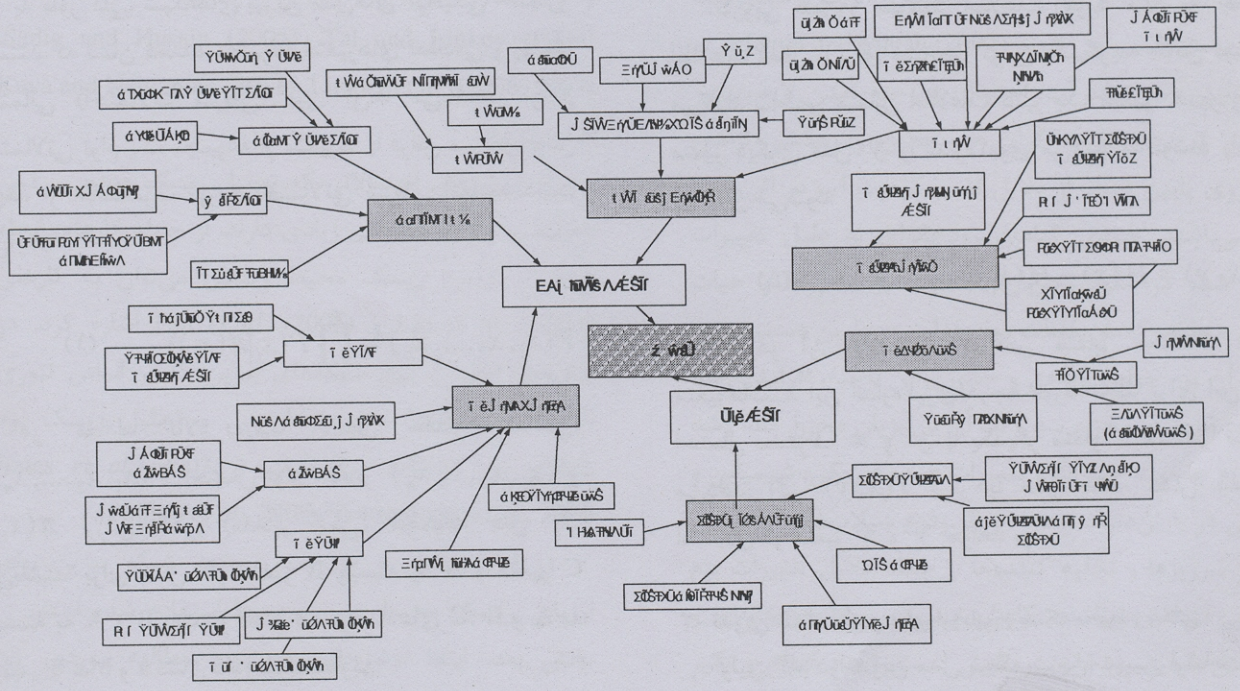
۳- تدوین شبکه بیزین برای ارزیابی ریسک محیط زیستی

اولین گام در تدوین مدل شبکه بیزین، تعیین ارتباط علی و معلولی بین اجزای مختلف سیستم و اندرکنش آن‌ها بر

یکدیگر است. در تخمین و کمی‌سازی ریسک محیط زیستی سد، متغیرها در دو محور اصلی "شاخص مخاطرات کل" و "شاخص آثار" شناسایی شدند. شاخص مخاطرات کل شامل کلیه عواملی است که در بالفعل شدن بحران موثر هستند. شاخص آثار نیز به کلیه عواملی که در شدت، یا ضعف وقوع ریسک محیط زیست موثرند، اطلاق می‌شود. روابط علی و معلولی بین مولفه‌های شاخص مخاطرات و شاخص آثار در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۱- محدوده‌های مطالعاتی طرح ارزیابی ریسک سد جره



شکل ۲- رابطه علی و معلولی بین شاخص مخاطرات، شاخص آثار و معیارهای ارزیابی ریسک

برای تشکیل شبکه بیزین از نرم‌افزار نتیکا[1] که توسط شرکت نورسیس[2] در سال ۲۰۰۲ تدوین شده است، استفاده شد. در این نرم‌افزار رابطه علی و معلولی بین اجزای مختلف در نرم افزار مدل سازی شده و در شکل ۳ نمایش داده شده است. برای تدوین ساختار شبکه، از قضاوت مهندسی برای تعیین ارتباط بین هر کدام از متغیرهای ورودی و خروجی آن استفاده شد.

داده‌های برداشت شده برای ارزیابی ریسک محیط زیستی سد جره بر اساس قضاوت کارشناسی کارشناسان فنی و محیط زیست بود (Mahab Ghods, 2010). برای هر یک از مخاطرات و یا آثار بالقوه ناشی از اجرای پروژه سد جره، امتیازی بین عدد صفر تا ۱۰ داده شد (Bertoluzza *et al.*, 2002). امتیاز صفر به این معنی است که هیچ گونه خطری/عواقبی از جانب آن فاکتور بر به وجود آمدن ریسک متصور نیست و امتیاز ۱۰ به منزله وجود خطر/عواقب به میزان ۱۰۰ درصد از جانب آن فاکتور می‌باشد. به دلیل عدم قطعیت موجود در اعداد ذکر شده، برای تبدیل امتیازات داده شده به پارامترهای زبانی و فازی، از توابع فازی نشان داده شده در شکل ۴ استفاده شد (Bertoluzza *et al.*, 2002 ،Liu *et al.*, 2003).

نتایج

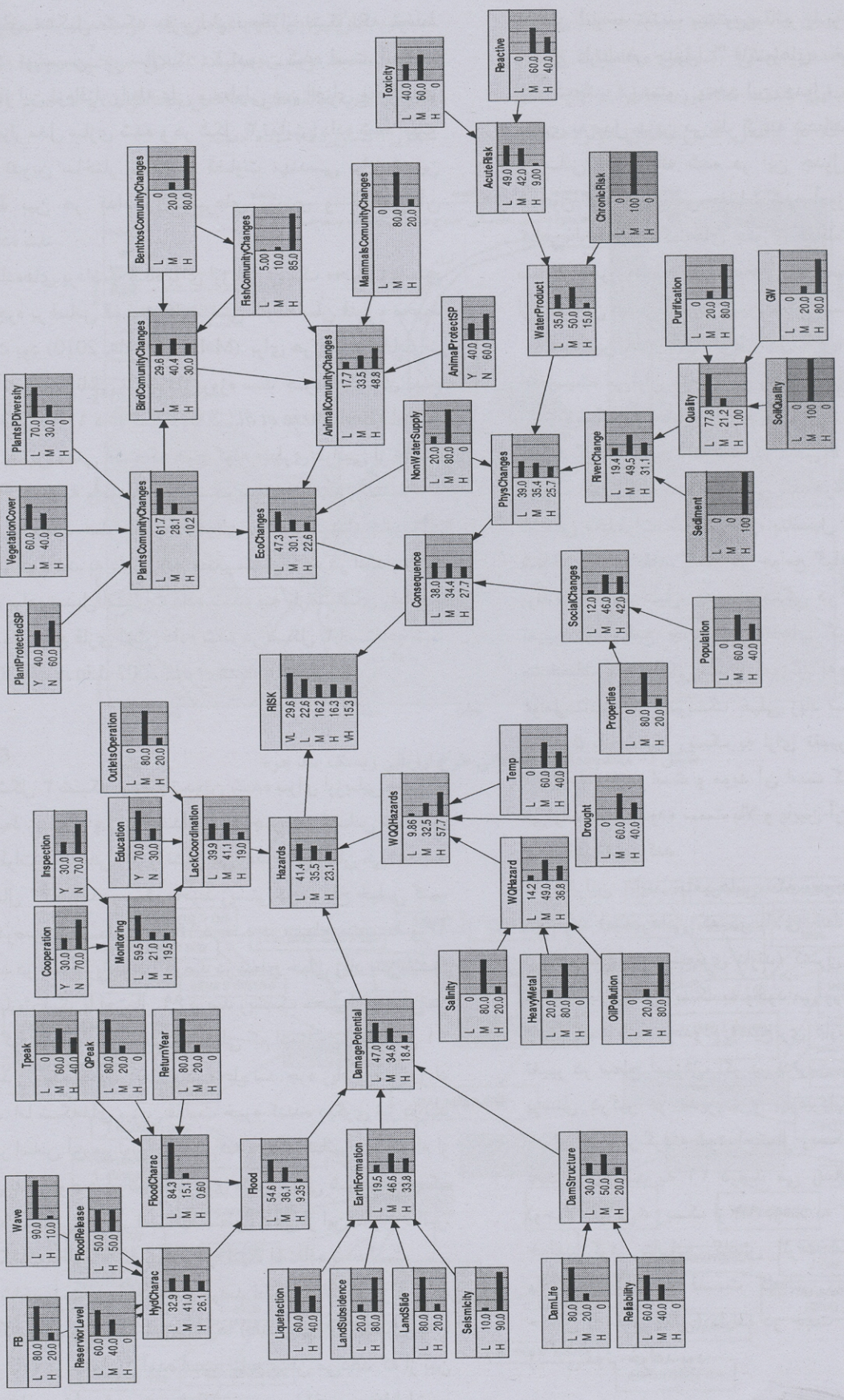
شکل ۳ شبکه بیزین تدوین شده برای ارزیابی ریسک محیط زیستی پروژه احداث سد جره بر اساس شاخص مخاطرات و شاخص آثار را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد به احتمال ۳۰ درصد، ریسک محیط زیستی در سطح خیلی کم، ۲۳ درصد در سطح کم، ۱۶ درصد در سطح متوسط و ۱۶ درصد در سطح زیاد و ۱۵ درصد در سطح خیلی زیاد می‌باشد. به عبارت دیگر با احتمال ۶۹ درصد ریسک محیط زیستی در نظر گرفته شده متوسط، کم و خیلی کم است و با احتمال ۳۱ درصد ریسک محیط زیستی در محل سد جره زیاد و خیلی زیاد است. اما شبکه‌های بیزین قابلیت خیره کننده دیگری نیز دارند که بر اساس آن می‌توان دریافت که میزان تاثیر هر کدام از متغیرهای موجود در شبکه بر روی متغیر نهایی شبکه (ریسک محیط زیستی) چقدر است. به منظورآگاهی از این میزان تاثیر، از امکانات تحلیل حساسیت برنامه نتیکا استفاده شده است.

شاخص متقابل اطلاعات و درصد اطلاعات انتقالی از هر یک از فاکتورها و واریانس آنتروپی آن‌ها (فقط برای ۲۶ متغیر اولیه با تاثیر بالا) در جدول ۱ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که از بین مولفه‌های مدل شده در شبکه بیزین، شاخص مخاطرات و شاخص آثار به ترتیب بیشترین تاثیر را بر روی ریسک محیط زیستی دارند. در جدول ۱، فاکتورهای مختلف موثر بر ریسک ارائه شده‌اند. در ستون پنجم این جدول، عواملی که به عنوان ورودی به مدل بیزین در نظر گرفته شده‌اند نشان داده شده اند. بر اساس نتایج ارائه شده در این جدول، متغیرهای ورودی همچون گونه‌های گیاهی حفاظت شده، آموزش، تغییر در پوشش گیاهی، ارتفاع آزاد، گونه‌های جانوری حفاظت شده، سرعت تخلیه سیل از مخزن، سطح آب در مخزن و جمعیت انسانی تحت تاثیر از مهم ترین عوامل موثر بر تعیین سطح ریسک می‌باشند.

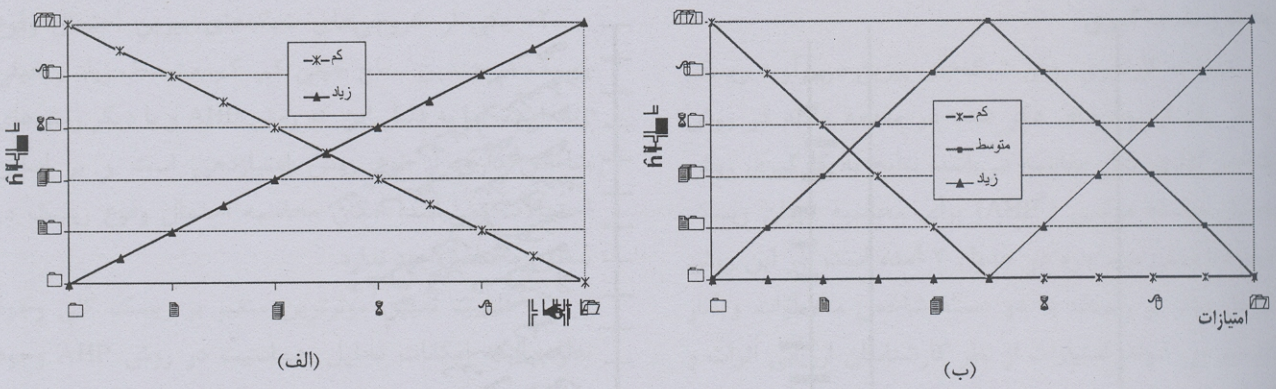
همچنین در این نوع مدل‌سازی، علاوه بر تحلیل حساسیت، می‌توان متغیرهایی را مشخص نمود که با تغییرات آن‌ها ریسک در سطح بالا (ریسک زیاد و خیلی زیاد) قرار خواهد گرفت. نتایج ارائه شده در شکل ۶ نشان می‌دهد که در ریسک خیلی زیاد محیط زیستی سد جره، متغیرهایی همچون شاخص مخاطرات، شاخص آثار، پتانسیل تخریب، تغییرات بوم شناختی در منطقه، تغییر در جوامع گیاهی، تغییر در جوامع پرندگان، خطر سیل، عدم هماهنگی در مدیریت مخزن سد، تغییر در جوامع جانوران، گونه‌های گیاهی حفاظت شده، مشخصات هیدرولیکی سد و آموزش به ترتیب از مهم ترین عوامل تاثیرگذار بر ریسک خیلی زیاد سد جره می‌باشند. در شکل ۵ بازه تغییر ریسک به ازای تغییر هر یک از متغیرها نشان داده شده است و موید آن است که که ریسک مربوطه می‌تواند در محدوده سمت بالا و پایین آن با توجه به تغییرات هر متغیر تغییر کند.

بنابراین باید متغیرهایی که موجب افزایش ریسک می‌شوند (متغیرهایی که در بالای خط برابر با ریسک ۱۵ درصد، محدوده وسیع‌تری دارند) کنترل و از فرصت‌هایی که متغیرها با کاهش ریسک به وجود می‌آورند (متغیرهایی که در پایین خط بازه، محدوده وسیع‌تری دارند) بهره جست. مثلاً تغییر در سطح آموزش، اگر در بدترین شرایط (بدون آموزش پرسنل درگیر در مدیریت و بهره‌برداری از سد در مواقع بحران) در نظر گرفته شود، احتمال ریسک خیلی زیاد سد را از عدد ۱۵ درصد به ۲۱ درصد می رساند. در بهترین حالت (وجود آموزش)، ریسک از ۱۵ درصد به ۱۳ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. بنابراین کاهش اثرات متغیرهایی که دارای محدوده زیادی بر قسمت کاهشی ریسک (فاصله ریسک حداقل با مقدار فعلی) دارند، در جهت کاهش ریسک محیط زیستی موثر خواهد بود.

1 Netica
2 Norsis



شکل ۳- شبکه بیزین ایجاد شده برای محاسبه ریسک تابعی از شاخص مخاطرات و شاخص آثار



(الف) (ب)

شکل ۴- تبدیل امتیازات به احتمالات الف- بازه‌های کم و زیاد ب- بازه‌های کم، متوسط و زیاد (Bertoluzza *et al.*, 2002)

جدول ۱- عوامل مختلف موثر در ریسک سد جره به ترتیب اثر در ریسک

فاکتور	شاخص متقابل اطلاعات	درصد	واریانس عدم قطعیت	فاکتور ورودی
ریسک	۲/۲۷۱۳۲	۱۰۰	۰/۶۱۹۸۸۶	
شاخص مخاطرات	۰/۵۳۷۲۸	۲۳/۷	۰/۰۲۹۵۸۴	
شاخص آثار	۰/۳۵۴۲۲	۱۵/۶	۰/۰۲۸۷۷۴	
پتانسیل تخریب	۰/۱۹۰۷	۸/۴۱	۰/۰۱۰۷۶۸	
تغییرات بوم شناختی	۰/۱۵۸۲۱	۶/۹۷	۰/۰۱۰۵۷۶	
تغییر در جوامع گیاهی	۰/۰۸۰۳۴	۳/۵۴	۰/۰۰۵۱۷	
تغییر در جوامع پرندگان	۰/۰۷۴۵۶	۳/۲۸	۰/۰۰۴۶۹۸	
خطر سیل	۰/۰۷۳۷۵	۳/۲۵	۰/۰۰۴۳۹۸	
عدم هماهنگی در مدیریت مخزن سد	۰/۰۴۲۶۷	۱/۸۸	۰/۰۰۲۷۵۷	
تغییر در جوامع جانوران	۰/۰۳۷۵۴	۱/۶۵	۰/۰۰۲۹۱	
گونه‌های گیاهی حفاظت شده	۰/۰۳۰۹۳	۱/۳۶	۰/۰۰۲۲۰۲	*
مشخصات هیدرولیکی مخزن	۰/۰۲۴۹۲	۱/۱	۰/۰۰۱۵۴۱	
آموزش	۰/۰۲۰۷۲	۰/۹۱۲	۰/۰۰۱۲۹۷	*
تغییرات اجتماعی	۰/۰۱۹۷۱	۰/۸۶۸	۰/۰۰۱۶۶۳	
سازندها و ساختار زمین شناسی	۰/۰۱۹۶۶	۰/۸۶۶	۰/۰۰۱۲۲۷	
تغییرات فیزیکی	۰/۰۰۹۸۸	۰/۴۳۵	۰/۰۰۰۷۶۵	
خطر کمیت و کیفیت آب	۰/۰۰۹۷۸	۰/۴۳	۰/۰۰۰۶۷۶	
تغییر در پوشش گیاهی	۰/۰۰۷۰۵	۰/۳۱	۰/۰۰۰۵۲۳	*
مشخصات سیلاب	۰/۰۰۵۹۹	۰/۲۶۴	۰/۰۰۰۳۷	
ارتفاع آزاد	۰/۰۰۵۵۵	۰/۲۴۴	۰/۰۰۰۳۴۷	*
سازه سد	۰/۰۰۵۴۲	۰/۲۳۹	۰/۰۰۰۳۴۲	
تنوع گونه‌های گیاهی	۰/۰۰۵۲۱	۰/۲۲۹	۰/۰۰۰۳۷۸	*
سرعت خروج سیل	۰/۰۰۴۲۵	۰/۱۸۷	۰/۰۰۰۲۶۶	*
خطر مصرف آب	۰/۰۰۳۳۶	۰/۱۴۸	۰/۰۰۰۲۶۸	
سطح آب در مخزن	۰/۰۰۲۸۷	۰/۱۲۶	۰/۰۰۰۱۸	*
جمعیت	۰/۰۰۲۵۷	۰/۱۱۳	۰/۰۰۰۲۰۱	*
پایش	۰/۰۰۲۵	۰/۱۱	۰/۰۰۰۱۶۶	

شکل ۵- تحلیل حساسیت متغیرهای مختلف در ریسک خیلی زیاد

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به کارگیری روش شبکه‌های بیزین در برآورد ریسک با هر یک از روش‌های ذکر شده در مقدمه مقاله در روش شاخص‌گذاری قابل مقایسه می‌باشد. نتایج به کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP[1]) برای محاسبه میزان ریسک محیط زیستی سد جره در جدول ۲ آمده است. در این روش عوامل موثر بر ریسک به دو دسته شاخص مخاطرات و آثار تقسیم می شوند. امتیازات از نظر کارشناسان ارزیابی اثرات و بر اساس قضاوت‌های مهندسی در ستون سوم آمده است. همچنین وزن‌های اول و دوم (ستون‌های ۴ و ۵) بر اساس مقایسه زوجی و تحلیل AHP به دست آمد. در ستون آخر جدول ۲ امتیاز هر خطر از حاصلضرب وزن ۱ در وزن ۲ در امتیاز مربوطه به دست آمده است.

در جدول ۳ امتیازات بر اساس آثار ناشی از هر خطر داده شده است. وزن هر اثر و زیر شاخص‌های آن مجدداً بر اساس مقایسه زوجی، به دست آمد. در ردیف آخر جدول، امتیاز آثار هر خطر از مجموع حاصلضرب وزن ۱ در وزن ۲ در امتیاز (برای تمامی آثار) به دست آمده است.

در جدول ۴ امتیازات خطر و اثر برای مولفه‌های مختلف مدل محاسبه شده است. ریسک از حاصلضرب امتیاز خطر در امتیاز آثار به دست آمده است. در ستون آخر جدول، ریسک مولفه‌های مختلف بر اساس مقدار ریسک رتبه‌بندی شده است. در روش تحلیل سلسله مراتبی از مهم ترین عوامل موثر بر ریسک کلی پروژه، عواملی همچون خطر آلودگی‌های نفتی، خطر سیلاب و عدم توجه به آموزش‌های همگانی می‌باشد. در روش تحلیل سلسله مراتبی، بر اساس قضاوت‌های کارشناسان وزن‌های متفاوتی برای هر خطر و هر اثر در نظر گرفته شده است که یکی از دلایل تفاوت موجود در نتایج با روش شبکه‌های بیزین می‌باشد.

نتایج به دست آمده از روش AHP در مقایسه با رویکرد شبکه‌های بیزین دارای نارسایی‌هایی به شرح زیر است:

۱- مقیاسی یا استانداری برای مقایسه اعداد به دست آمده برای ریسک، وجود ندارد و اعداد به دست آمده فاقد تعبیر فیزیکی هستند. این اعداد نسبی هستند و فقط بر اساس نسبی بودن آن‌ها امکان رتبه‌بندی ریسک‌ها وجود دارد. همچنین بر خلاف روش شبکه‌های بیزین عدد به دست آمده برای ریسک کلی پروژه دارای مفهوم خاصی (همچون احتمال وقوع) نیست.

۲- یکی از خروجی‌های شبکه‌های بیزین احتمال وقوع ریسک در چندین سطح خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد است. اما به دلیل این که روش AHP و یا دیگر روش‌های شاخص‌گذاری از نوع روش امتیازدهی است و بر اساس احتمالات نمی‌باشد، امکان محاسبه احتمال وقوع ریسک در سطوح مختلف وجود ندارد.

۳- قابلیت تعیین موثرترین متغیر بر ریسک کلی وجود ندارد. البته امکانات تحلیل حساسیت در روش AHP وجود دارد، که بر روی وزن‌های در نظر گرفته شده انجام می‌گیرد ولی امکان تحلیل حساسیت موثرترین فاکتورها بر ریسک کلی پروژه را ندارد.

۴- قابلیت تعیین دامنه تغییرات ریسک (کاهش یا افزایش) برای تغییرات هر متغیر وجود ندارد. در صورتی که در شبکه‌های بیزین حد بالا و پایین ریسک در سطوح مختلف، با تغییرات هر متغیر قابل کمی‌کردن است که از روی آن‌ها راهکارهای کنترل و کاهش ریسک قابل استخراج است.

در این مطالعه، علاوه بر این که روش شبکه‌های بیزین احتمال ریسک محیط زیستی را در بازه‌های مختلف نشان می‌دهد، عوامل موثر بر ریسک را نیز مشخص کرده است. از بین مخاطرات پیش‌بینی شده موثر بر ریسک محیط زیستی سد جره، پتانسیل تخریب بیشترین تاثیر را بر روی شاخص مخاطرات و در نهایت ریسک دارد. سیل به عنوان یکی از پارامترهای موثر در پتانسیل تخریب سد، از عوامل موثر بر ریسک است که بایستی در جهت کاهش احتمال وقوع آن تلاش کرد. از بین مخاطرات، در رده‌های بعدی عدم هماهنگی و کمیت و کیفیت آب به ترتیب عوامل موثر بر ریسک هستند. از بین آثار پیش‌بینی شده، تغییرات بوم شناختی در منطقه، تغییر در جوامع گیاهی، پرندگان و جانوران، همچنین گونه‌های گیاهی حفاظت شده و تغییرات اجتماعی به عنوان موثرترین عوامل در ریسک محیط زیستی شناخته شده‌اند.

به منظور کاهش خطر و خسارات ناشی از سیلاب لازم است با تعیین حریم، میزان آسیب پذیری سکونتگاه‌ها و تاسیسات مجاور بستر سیلابی رودخانه مشخص شود. با توجه به هزینه زیاد جابجایی سکونتگاه‌های در معرض خطر لازم است ایمن سازی محدوده روستاها با استفاده از سازه‌های حفاظتی، استقرار سیستم هشدار سیل، آموزش همگانی و جلوگیری از گسترش کاربری‌های با ارزش در پهنه‌های در معرض خطر انجام گیرد. همچنین به منظور ایجاد هماهنگی بین گروه‌های بهره‌بردار از سد در شرایط اضطراری، لازم است

[1] Analytic Hierarchy Process (AHP)

برنامه‌های آمادگی برای شرایط بحران و اضطراری، انجام مانور و آموزش پرسنل بهره‌بردار انجام گیرد. همچنین به منظور کاهش اثرات بوم شناختی بر منطقه پایین‌دست، تمهیداتی چون تامین حداقل جریان محیط زیستی، حفاظت از رویشگاه‌های ویژه در برابر رهاسازی زهاب، احداث نردبان ماهی رو برای سد انحرافی پیشنهاد می‌گردد.

تقدیر و تشکر

به این وسیله از سازمان آب و برق خوزستان و شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس به خاطر در اختیار گذاشتن اطلاعات و گزارش ارزیابی زیست محیطی سد جره (رامهرمز) تشکر و قدردانی می‌گردد.

جدول ۲- امتیازات مربوط به شاخص مخاطرات ریسک سد جره

شاخص	زیرشاخص		امتیاز	وزن ۱	وزن ۲	امتیاز وزن دار
شاخص مخاطرات کل	پتانسیل تخریب سد	سیلاب	۶	۰/۳	۰/۲	۰/۳۶
		جابجایی خاک و عوامل زمین ساخت: لغزش	۲		۰/۱۵	۰/۰۹
		جابجایی خاک و عوامل زمین ساخت: روانگرایی	۴		۰/۱۵	۰/۱۸
		جابجایی خاک و عوامل زمین ساخت: لرزه خیزی	۹		۰/۱۵	۰/۴۰۵
		جابجایی خاک و عوامل زمین ساخت: نشست زمین	۶		۰/۱۵	۰/۲۷
		سازه سد	۲		۰/۲	۰/۱۲
	عدم هماهنگی	برنامه آموزش همگانی	۳	۰/۳	۰/۳۳	۰/۲۹۷
		هماهنگی در مدیریت مخزن سد	۳		۰/۳۳	۰/۲۹۷
		عملکرد دریچه‌ها	۶		۰/۳۳	۰/۵۹۴
	کیفیت و کمیت آب	لایه بندی حرارتی مخزن	۷	۰/۴	۰/۱۵	۰/۴۲
		وضعیت تغذیه گرایی مخزن	۴		۰/۱۵	۰/۲۴
		خشکسالی	۷		۰/۲	۰/۳۲
		شوری آب	۶		۰/۱	۰/۲۴
		آلودگی فلزات سنگین	۴		۰/۱	۰/۲۴
		خطر آلودگی‌های نفتی	۸		۰/۳	۰/۹۶

جدول ۳- امتیازات مربوط به شاخص آثار ریسک سد جره

شاخص	زیرشاخص		خطر سیلاب	خطر لغزش	خطر روانگرایی	....	آلودگی فلزات سنگین	خطر آلودگی‌های نفتی	میانگین کل امتیازات	وزن ۱	وزن ۲
شاخص آثار	جمعیت تحت تاثیر	خرابی سکونتگاه‌ها و خسارات مالی	۵	۲	۳		۱	۲	۴	۰/۴	۰/۳
		جمعیت تحت تاثیر	۵	۵	۴		۶	۷	۷		۰/۷
	حساسیت بوم شناختی	رودخانه‌های با اهمیت	۴	۱	۱		۷	۶	۴	۰/۴	۰/۱
		مناطق حفاظت شده	۳	۱	۱		۶	۶	۳		۰/۱
		زیستگاه‌ها و رویشگاه‌های ویژه	۵	۱	۱		۷	۷	۵		۰/۱۵
		تامین نیاز آبی رودخانه در پائین دست	۱	۲	۲		۳	۱	۷		۰/۱
		تراکم گونه‌های گیاهی دارای ارزش ملی و بین‌المللی	۲	۱	۱		۵	۷	۶		۰/۱۵
		جمعیت‌های منحصر به فرد جانوری	۴	۱	۰		۳	۳	۵		۰/۲
		جوامع منحصر به فرد گیاهی	۵	۰	۱		۶	۷	۷		۰/۲
	تغییر در مشخصات رودخانه	مرفولوژی رودخانه	۹	۴	۴		۱	۲	۷	۰/۲	۰/۲
		بار مواد معلق	۹	۳	۲		۱	۰	۸		۰/۲
		آلودگی خاک	۳	۱	۱		۹	۸	۵		۰/۲
		کیفیت آب‌های زیرزمینی	۳	۱	۱		۹	۷	۹		۰/۲
		توان خود پالائی رودخانه	۸	۱	۲		۳	۸	۹		۰/۲
امتیاز آثار			۴/۳۹	۲/۰۵	۱/۹۶		۴/۳۸	۴/۸۷			

جدول ۴- رتبه‌بندی خطرات بر اساس درجه ریسک آنها در سد جره

شاخص	زیرشاخص			امتیاز خطر	امتیاز آثار	ریسک	رتبه ریسک
شاخص مخاطرات کل	پتانسیل تخریب سد	سیلاب		۰/۳۶	۴/۳۹	۱/۵۸	۲
		جابجایی خاک و عوامل زمین ساخت	لغزش	۰/۰۹	۲/۰۵	۰/۱۸	۱۴
			روانگرایی	۰/۱۸	۱/۹۶	۰/۳۵	۱۳
			لرزه خیزی	۰/۴۰۵	۲/۳۲	۰/۹۴	۷
			نشست زمین	۰/۲۷	۳/۴۲	۰/۹۲	۸
		سازه سد		۰/۱۲	۲/۱	۰/۲۵	۱۵
	عدم هماهنگی	برنامه آموزش همگانی		۰/۲۹۷	۴/۴۵	۱/۳۲	۳
		هماهنگی در مدیریت مخزن سد		۰/۲۹۷	۳/۵۲	۱/۰۴	۶
		عملکرد دریچه‌ها		۰/۵۹۴	۱/۴۳	۰/۸۵	۱۱
	کیفیت و کمیت آب	لایه بندی حرارتی مخزن		۰/۴۲	۲/۷۹	۱/۱۷	۴
		وضعیت تغذیه گرایی مخزن		۰/۲۴	۳/۶۷	۰/۸۸	۱۰
		خشکسالی		۰/۳۲	۲/۸۸	۰/۹۲	۹
		شوری آب		۰/۲۴	۲/۴۴	۰/۵۹	۱۲
		آلودگی فلزات سنگین		۰/۲۴	۴/۳۸	۱/۰۵	۵
		خطر آلودگی‌های نفتی		۰/۹۶	۴/۸۷	۴/۶۷	۱
مجموع				۵/۳۳	۴۶/۶۷	۱۸/۰۶	

منابع

Bates, S. C., Cullen, A. and Raftery, A. E., 2003. Bayesian uncertainty assessment in multicompartment deterministic simulation models for environmental risk assessment, Environmetrics 14: 355–371.

Bertoluzza, C., Gil, M. A., and Ralescu, D. A., 2002. Statistical Modeling, Analysis and Management of Fuzzy Data, 309 p.,Verlag Heidelberg, NewYork.

Bonano, E.J., Apostolakis, G.E., Salter, P.F., Ghassemi, A. and Jennings, S., 2000. Application of risk assessment and decision analysis to the evaluation, ranking and selection of environmental remediation alternatives. J Hazard Mater; 71:35–57.

Fan M., Thongsri T., Axe L. and Tyson T.A. 2005. Using a probabilistic approach in an ecological risk assessment simulation tool: test case for depleted uranium (du). Chemosphere, 60 (1): 111-125.

Fowle J.R., Alexeeff, G.V. and Dodge, D. 1999. The use of benchmark dose methodology with acute inhalation lethality data. Reg Toxicol Pharmacol 29: 262–278.

Kaya, T., and Kahraman, C., 2011. An integrated fuzzy AHP–ELECTRE methodology for environmental impact assessment, Expert Systems with Applications 38: 8553–8562.

Linkov, I., Satterstrom, F. K., Steevens, J., Ferguson, E., and Pleus, R. C. 2007. Multicriteria decision analysis and environmental risk assessment for nanomaterials. Journal of Nanoparticle Research, 9, 543–554.

Linkov. a, Satterstrom, F.K., Kiker, G., Batchelor, C., Bridges, T., and Ferguson, F. 2006. From comparative risk assessment to multi-criteria decision analysis and adaptive management: Recent developments and applications, Environment International 32: 1072–1093.

Liu, L., Hao, R. X. and Cheng, S. Y. 2003. A Possibilistic Analysis Approach for Assessing Environmental Risks from Drinking Groundwater at Petroleum-Contaminated Sites, Journal of Environmental Informatics 2 (1) 31-37.

Mahab Ghods Consulting Engineering Company, 2010. Environmental Impacts Assessment (EIA) of Jareh Dam, Khuzestan Water & Power Authority (KWPA), 550 p.

Maingi, J.K., and Marsh, S.E., 2002. Quantifying hydrologic impacts following dam construction along the Tana River, Kenya, Journal of Arid Environments 50: 53-79.

Montgomery V.J., Coolen F.P.A. and Hart A.D.M. 2009. Bayesian probability boxes in risk assessment. Journal of Statistical Theory and Practice Journal of Statistical Theory and Practice, 3(1): 69-83

Pollino, C.A., Woodberry, O., Nicholson, A., Korb, K., and Hart, B.T., 2006. Parameterisation and evaluation of a Bayesian network for use in an ecological risk assessment, Environmental Modelling & Software 1-13.

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

Sadiq, R., and Husain, T., 2005. A fuzzy-based methodology for an aggregative environmental risk assessment: a case study of drilling waste Environmental Modelling & Software, 20(1): 33-46

Tal, A., and Linkov, I. 2004. The role of comparative risk assessment in addressing environmental security in the Middle East. Risk Analysis, 24:1243.

Titterington, D. 1981 Comparison of Discrimination Techniques Applied to a Complex Data-set of Head-Injured Patients (with discussion). Journal of the Royal Statistical Society; 144(2): 145–175.

Yu, F.C., Fang, G.H., and Ru, X.W. 2010. Eutrophication, health risk assessment and spatial analysis of water quality in Gucheng Lake, China, Environmental Earth Sciences, 59: 1741–1748.

Environmental Risk Assessment of Dams Using Bayesian Networks and Analytic Hierarchy Process (AHP): A Case Study

A. Ahmadi[*1], A. Moridi[2] and H. Moradi[3]

[1] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
[2] Assistant Professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Power and Water University of Technology, Tehran, Iran
[3] Assistant Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

(Received: 23-July-2011 – Accepted: 14-Oct.2012)

Abstract

Recently, one of the primary goals of sustainable development is to achieve economic growth in the form of programs coordinated with the principles of environment and to prevent degradation of renewable and non-renewable resources. A systematic approach and assessment of environmental impacts and risks of development projects are necessary for solving fundamental environmental problems. In this study, the environmental risk of dams has been assessed using Bayesian networks. Bayesian networks are based on probability theory and provide a powerful tool for presenting visual relations between a set of variables with the uncertainties. Bayesian networks are the special graphical models which represent the structure of dependent variables. In order to evaluate the environmental risk of dams, the interaction-based structure of variables is developed. Then, the Bayesian network input variables affecting the risk in two categories including "hazard index" and "consequence index" are determined and the relations between different variables are modeled. Then the input variables for Jarreh dam are scored based on existing criteria and then the probability values for different risk levels are simulated. The results show that the environmental risk is in very low, low, and medium levels of risk with 69 percent probability. The results of developed Bayesian network are compared with the AHP method. Also using the sensitivity analysis process defined in Bayesian networks, the most effective variables on the risk levels are determined as protected plants species, education, plants community change, free board, animal protected and reservoir release speed.

Keywords: Risk Assessment, Environmental Risk, Bayesian Network, Jarreh dam, Ramhormoz City, AHP

*Corresponding author: Tel: +983113913845 Fax: +983113912700 Email: aahmadi@cc.iut.ac.ir