ارزیابی ریسک محیط زیستی سد پاوه‌رود زنجان در مرحله ساختمانی با استفاده از تلفیق روش‌های TOPSIS و RAM-D

سحر رضایان؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، دانشکده علوم‌پایه،
سیدعلی جوزی*؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، دانشکده فنی و مهندسی، گروه محیط زیست،
صدف عطایی؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

تاریخ: دریافت ۹۳/۹/۳ پذیرش ۹٤/٥/۳۱

چکیده

هدف از انجام این تحقیق، شناخت، بررسی و ارزیابی ریسک سد پاوه‌رود در مرحلهٔ ساختمانی است. پس از جمع‌آوری و بررسی اطلاعات مربوط به شرایط محیط‌زیست منطقهٔ بررسی شده و شرایط فنی ساخت سد، لیستی از عوامل احتمالی ریسک به‌صورت پرسش‌نامه تهیه و برای بررسی صحت آن‌ها، در اختیار گروهی متخصص شامل نخبگان و اساتید در رشته‌های مرتبط با محیط زیست و عمران سد قرارگرفت. تعداد پرسش‌نامه‌ها بر اساس فرمول کوکران تعیین شد. بدین‌صورت که ابتدا، به‌منظور تحلیل پرسش‌نامه‌های به‌دست آمده و ریسک‌های موجود در منطقه در قالب طیف لیکرت، از گروه کارشناسی در تحقیق خواسته شد تا امتیازدهی کنند. پس از تجزیه و تحلیل امتیازات داده شده با استفاده از یافته‌های روش PHA[1]، از روش TOPSIS[2] به‌منظور اولویت‌بندی ریسک‌های شناسایی شدهٔ سد پاوه‌رود استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از این روش نشان داد که از بین ۳٦ عامل ریسک، فرسایش در اولویت اول قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی ریسک محیط زیستی، سد، روش **TOPSIS**، روش **RAM-D**، ارزیابی مقدماتی ریسک

* **نویسنده مسئول** sajozi@yahoo.com

1. Preliminary Hazard Analysis
2. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

پس از اولویت‌بندی بین عوامل ریسک، ارزیابی ریسک با استفاده از روش RAM-D[1] صورت گرفت که تأثیر بر منطقه حفاظت شده سرخ‌آباد با امتیاز ۹، فرسایش با امتیاز ٦ و کار در ارتفاع با امتیاز ۳ مهم‌ترین ریسک‌های سد پاوه‌رود شناخته شدند. به‌منظور کاهش اثرات ریسک‌های سد در فاز ساختمانی برنامه مدیریت محیط‌زیستی ضروری است و بدین‌منظور برای رویارویی با ریسک‌های شناسایی شده، در انتها گزینه‌های کاهش ریسک پیشنهاد شد.

مقدمه

احداث سدهای بزرگ آثار محیطی، بیولوژیکی، بهداشتی، اجتماعی و اقتصادی مهمی را در محیط اطراف خود به‌وجود می‌آورند. با توجه به رشد و توسعهٔ سدسازی در جهان به‌ویژه در ایران لزوم بررسی آثار محیط زیستی سد اهمیت خاصی دارد [۱]. ارزیابی ریسک سد، فرایندی است که به‌وسیلهٔ آن تصمیم‌هایی اتخاذ می‌شود در بارهٔ 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 اقدام‌های کنترلی کاهش یابند [۲].

در ارزیابی ریسک محیط‌زیستی افزون بر بررسی و تحلیل جنبه‌های مختلف ریسک، ضمن شناخت کامل از محیط‌زیست منطقهٔ تحت اثر، میزان حساسیت محیط زیست متأثر و همچنین ارزش‌های خاص محیط‌زیستی منطقه نیز در تجزیه و تحلیل و ارزیابی ریسک منطقه در نظر گرفته می‌شود [۳].

خسروانی در پایان‌نامهٔ خود به شناسایی مخاطره‌های محیط زیستی سد مذکور در فاز ساختمانی و تعیین شدت مخاطره‌های ناشی از عملیات عمرانی می‌پردازد. از روش RAM-D برای شناسایی و طبقه‌بندی ریسک‌های محیط زیستی حوزه‌های بالادست و پایین‌دست سد بررسی شده استفاده کرده است [٤]. درویشی و همکاران برای اولویت‌بندی عوامل ریسک، از روش دلفی استفاده کردند. برای ارزیابی ریسک محیط زیستی نیز ابتدا از روش آنالیز مقدماتی خطر (PHA) ریسک‌های مهم را تعیین کرده‌اند و در مجموع ۹ ریسک برای بررسی شناخته شد که نتایج به‌دست آمده از ارزیابی آن‌ها، اولویت‌بندی بین آن‌ها به‌کمک روش‌های تاپسیس(TOPSIS) و مجموع ساده وزین (SAW) صورت گرفت [۵].

1. Risk Assessment Methodology - Dams

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

جوزی و همکاران پس از شناسایی فعالیت‌های سد در فاز بهره‌برداری به‌منظور شناسایی عوامل ریسک از روش آنالیز مقدماتی خطر موسوم به PHA استفاده کردند و ریسک‌های به‌دست آمده در قالب ۵ دستهٔ ریسک‌های فیزیکی- شیمیایی، بیولوژیکی، اقتصادی- اجتماعی و فرهنگی، ریسک‌های ایمنی- بهداشتی و طبیعی طبقه‌بندی شد. در این مرحله پس از شناسایی ریسک‌ها، عوامل مولد ریسک به‌کمک روش EFMEA ارزیابی شده و در انتها اولویت‌بندی بین ریسک‌ها صورت گرفت [٦].

ماتالوچی به شرح و توضیح روش RAM-D می‌پردازد و ذکر می‌کند که این روش در آزمایشگاه ملی سندیا برای تجزیه و تحلیل فرآیندهای زیر ایجاد شده است: مأموریت‌ها سد، اتفاق‌های ناخواسته‌ای که موجب جلوگیری از موفقیت سدها می‌شوند، ناسازگاری‌های بالقوه و ویژگی‌های آن‌ها، نتیجه گزینه‌های کاهش خطرهای و جای‌گزین‌های کاهش ریسک [۲].

باولز و همکاران (۱۹۹۸) به مدیریت ریسک جامع اشاره دارند. در این رابطه به روش‌هایی بر پایه ریسک در مورد ایمنی سد و عواملی که باعث استفاده از این روش‌ها به‌وسیلهٔ مالکان می‌شود اشاره می‌کنند، سپس در مورد پروسه تصمیم‌گیری ایمنی سد و مراحل مختلف آن و عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری و چگونگی انتخاب آن‌ها بحث می‌کنند [۷].

به‌طورکلی ارزیابی ریسک متولیان پروژه را قادر می‌سازد که تصمیماتی اثر بخش در راستای مدیریت ریسک‌ها و آلاینده‌ها در همهٔ مراحل پروژه اتخاذ کنند. هدف از بررسی‌های ارزیابی ریسک محیطزیستی سدها، شناسایی، طبقه‌بندی و ارزیابی ریسک‌های محیطزیستی ناشی از آن‌ها است. بدین‌منظور، ارزیابی ریسک محیطزیستی سد پاوه‌رود در استان زنجان با استفاده از تلفیق روش‌های TOPSIS و Ram-D به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شد.

معرفی محل بررسی شده

سد تنظیمی پاوه‌رود در شمال‌غرب ایران و در حد فاصل استان‌های زنجان (طارم علیا) و گیلان و قزوین (طارم سفلی) در مختصات جغرافیایی ″۳۰′٤۷°۳٦ تا ′٥°۳۷ عرض شمالی و ′٤۱°٤۸ تا ′۷°٤۹ طول شرقی واقع شده است. رودخانهٔ بزرگ و عمدهٔ منطقه قزل اوزن است

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

که از ارتفاعات زاگرس سرچشمه گرفته و در منطقه از سمت شمال‌غرب به جنوب‌شرق در جریان است. در طول محدوده بررسی شده جمعاً ۱۰ رودخانه جانبی در سمت چپ و ۸ رودخانه از جناح راست به آن می‌پیوندند، این رودخانه‌های جانبی خصوصاً در هنگام کاهش بارندگی در ارتفاعات به‌صورت فصلی هستندند. هدف از اجرای سد تنظیمی پاوه رود کنترل سیلاب مصنوعی خروجی از نیروگاه‌های بالادست مانند مشمپا، استور و ... و تأمین آب مورد نیاز و افزوده کشاورزی به اراضی پایین‌دست از طریق احداث شبکه آبیاری و زهکشی پاوه‌رود است. این سد آب خروجی از سدهای دیگر را، متناسب با نیاز شبکه آبیاری و به‌صورت روزانه و تخلیه و تدریجی به اراضی کشاورزی پاوه‌رود هدایت می‌کند [۸]. در جدول ۱ مشخصه‌های محدودهٔ بررسی شده سد آمده است.

جدول۱. مشخصات محدودهٔ بررسی شده [۸]

مشخصات	
مساحت حوزه در محدودهٔ طرح	۲۷۵۰ کیلومتر مربع
متوسط بارندگی سالانه	۱۸۳/۷ میلیمتر
آبگیرها	۲۸ عدد (۱٦آب‌گیر در ساحل راست و ۱۲ آب‌گیر در ساحل چپ)
اراضی تحت آبیاری شبکه	۸۲۸۵ هکتار تحت آبیاری سطحی، ۲۸۰۰ هکتار تحت آبیاری بارانی و ۷۷۰۰ هکتار، تحت آبیاری قطره‌ای
وسعت اراضی تحت پوشش شبکه	۸۳۸۵ هکتار اراضی ساحل چپ ۱۰٤۰۰ هکتار اراضی ساحل راست

در جدول ۲ مشخصات فنی سد و در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی سد رودبار لرستان آمده است.

جدول۲. مشخصات فنی سد پاوه‌رود [۸]

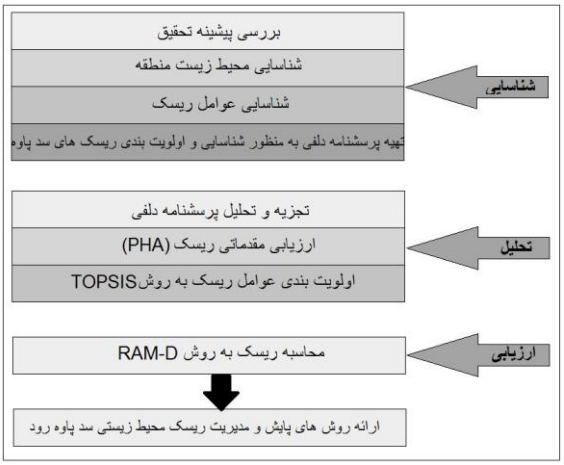
مشخصات سد	
ارتفاع تاج	۱۹ متر
حجم مخزن	۱۵/۳ میلیون متر مکعب
مساحت دریاچه	۲۰۸ هکتار

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

شکل۱. موقیت مکانی سد پاوه‌رود زنجان

مواد و روش‌ها

هدف از اجرای این تحقیق، ارزیابی ریسک محیطزیستی سدپاوه‌رود، شناسایی، طبقه‌بندی و ارزیابی ریسک‌های محیطزیستی ناشی از آن با استفاده از تلفیق روش‌های Ram-D و TOPSIS است. در شکل ۲ مراحل انجام تحقیق به تفکیک نشان داده شده است.



شکل۲. فرایند ارزیابی ریسک محیطزیستی سد پاوه‌رود

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

حجم نمونه این تحقیق با بهره‌گیری از رابطهٔ کوکران شمار ۲۸ نفر تعیین شد (سرمد و همکاران ۲۰۱۳).

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

پس از بررسی پیشینه تحقیق، شناسایی، جمع‌آوری و بررسی اطلاعات مربوط به شرایط محیط زیست منطقهٔ بررسی شده و شرایط فنی ساخت سد، لیستی از عوامل احتمالی ریسک به‌صورت پرسش‌نامه تهیه و برای تأیید درستی آن‌ها، در اختیار گروهی دلفی شامل نخبگان و اساتید در رشته‌های مرتبط با محیط‌زیست و عمران سد قرارگرفت. بدین‌صورت که ابتدا، به‌منظور تحلیل پرسش‌نامه‌های به‌دست آمده و ریسک‌های موجود در منطقه در قالب طیف لیکرت (بسیار کم ۱، کم ۳، متوسط ۵، مهم ۷، بسیار مهم ۹)، شناسایی و از گروه کارشناسی در تحقیق خواسته شد تا امتیازدهی کنند. از روش ارزیابی مقدماتی ریسک (PHA) نیز به‌منظور دست‌یابی به نگرشی کلی در رابطه با ارزیابی مقدماتی ریسک استفاده شد. با در نظر گرفتن ویژگی‌های سد و محیط‌زیست تحت تأثیر آن و اولویت‌بندی عوامل ریسک‌های ناشی از پروژه از روش TOPSIS، استفاده و در ادامه با استفاده از روش RAM-D محاسبه و ارزیابی ریسک صورت گرفت.

ارزیابی مقدماتی ریسک (PHA)، به‌منظور دست‌یابی به نگرشی کلی

PHA آنالیز ایمنی سیستماتیک است که برای شناسایی مناطق ایمنی بحرانی برای ارزیابی خطرات مهم و شناسایی الزامات طراحی ایمنی سیستم استفاده می‌شود [۱۰]. عمده‌ترین هدف از انجام این تجزیه و تحلیل‌ها، دست‌یابی به اطلاعات و داده‌های معنی‌دار ارزیابی ریسک، برای کمک به اولویت‌بندی خطرات، تخصیص منابع و ارزیابی مقبولیت ریسک‌های در ارتباط با این خطرات است، ابزاری متعارف برای ارزیابی ریسک، کد ارزیابی ریسک است. RAC عدد مربوط به‌شدت و احتمال رخداد است که در ماتریس ارزیابی ریسک، شدت بر یک محور و احتمال آن روی محور دیگر قرار می‌گیرد [۱۱].

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

جدول ۳. شدت خطر در PHA [۱۱]

طبقه	رتبه	شرح
فاجعه بار	۱	مرگ و میر یا تأثیر شدید بر اکوسیستم‌های منطقه
بحرانی	۲	آسیب به اکوسیستم‌های منطقه و جوامع انسانی
مرزی	۳	تأثیر غیرمستقیم بر اکوسیستم‌ها و جوامع انسانی منطقه
جزئی	٤	اثر ناچیز بر اکوسیستم‌ها و جوامع انسانی منطقه

جدول ٤. احتمال خطر در PHA [۱۱]

طبقه	رتبه	شرح
مکرر	A	به‌طور مکرر اتفاق می‌افتد
محتمل	B	در طول عمر یک سیستم (فرایند) چندین بار رخ می‌دهد
گاه به گاه	C	گاه گاهی در طول عمر سیستم (فرایند) رخ می‌دهد
خیلی کم	D	احتمال وقوع آن در طول عمر سیستم (فرایند) خیلی کم است

جدول ۵. ماتریس ارزیابی ریسک در PHA

شدت اثر / احتمال وقوع	فاجعه بار (۱)	بحرانی (۲)	مرزی (۳)	جزئی (٤)
مکرر (A)	1A	2A	3A	4A
محتمل (B)	1B	2B	3B	4B
گاه به گاه(C)	1C	2C	3C	4C
خیلی کم(D)	1D	2D	3D	4D
غیر محتمل(E)	1E	2E	3E	4E

شاخص ریسک	غیر قابل قبول	نامطلوب	قابل قبول با تجدید نظر مدیریت	قابل قبول بی تجدید نظر

روش TOPSIS به‌منظور اولویت‌بندی عوامل ریسک

در این روش m گزینه به‌وسیلهٔ n شاخص، ارزیابی می‌شود. اساس این تکنیک بر این مفهوم استوار است که گزینه انتخابی باید دارای کم‌ترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و در عین حال دارای بیش‌ترین فاصله از راه حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد. این روش مستلزم طی شش گام است [۱۲]:

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

گام ۱. تشکیل جدول تصـمیم: روش TOPSIS مـاتریس تصـمیمی را ارزیـابی مـی‌کنـد کـه شامل m گزینه و n شاخص است.

گام ۲. نرمالیزه نمودن ماتریس تصمیم از طریق نرم اقلیدسی

$$nij = aij \Big/ \left(\sum_{i=1}^{m} aij^{2} \right)^{\frac{1}{2}} \qquad (۲)$$

ماتریس به‌دست آمده، ND نامیده می شود.

گام ۳. ایجاد ماتریس بی مقیاس وزین

$$V = N_D * W_{n*n} \qquad (۳)$$

که در آن V ماتریس بی‌مقیاس وزین وW یک ماتریس قطری از وزن‌های به‌دست آمـده بـرای شاخص‌ها است.

تکنیک آنتروپی دارای ٤ مرحله برای محاسبه وزن شاخص‌ها است:

مرحلهٔ اول: محاسبه P_{ij}

مرحلهٔ دوم: محاسبه مقدار آنتروپی E_j

مرحلهٔ سوم:محاسبه عدم اطمینان d_j

مرحلهٔ چهارم: محاسبه اوزان w_j

گام ٤. محاسبهٔ گزینه ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی

$$A^{+} = \left\{ \left(Maxvij \,\middle|\, j^{+} \right), \left(\min vij \,\middle|\, j^{-} \right) \right\} \qquad \text{گزینه ایده‌آل مثبت} \qquad (٤)$$

$$A^{-} = \left\{ \left(Min_{i=1}^{m} vij \,\middle|\, j^{+} \right), \left(Maxvij \,\middle|\, j^{-} \right) \right\} \qquad \text{گزینه ایده‌آل منفی}$$

گام ۵. محاسبهٔ فاصله یا نزدیکی نسبت به ایده‌آل + یا ایده‌آل -

$$d_i^{+} = \left\{ \sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^{+})^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad , \quad (i = 1,2,\ldots,m) \qquad (۵)$$

$$d_i^{-} = \left\{ \sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^{-})^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad , \quad (i = 1,2,\ldots,m)$$

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

گام ٦. محاسبهٔ Cli که بیان‌گر نزدیکی به ایده‌آل مثبت و دوری از ایده‌آل منفی است.

$$cli^{-} = di^{+} / di^{-} + di^{+} \quad \text{یا} \quad cli^{+} = di^{-} / di^{-} + di^{+} \qquad (٦)$$

در نهایت رتبه‌بندی گزینه‌ها انجام می‌گیرد و بر اساس ترتیب نزولی Ci می‌توان گزینه‌های موجود را بر اساس بیش‌ترین اهمیت رتبه‌بندی کرد[۱۲].

روش RAM-D به‌منظور محاسبه ریسک

این روش فرآیند ارزیابی توسعه یافته است که برای تحلیل ایمنی ریسک موجود در سدها و هم‌چنین ارائه اطلاعات برای حمایت تصمیم‌های کاهش ریسک مؤثر که به‌وسیله مدیران اخذ شده است، به‌وجود آمده است. مرکز اصلی RAM-D فرآیندی است که به‌وسیله ارزیابی ریسک سیستماتیک تکمیل شده است [۱۲].

روشRAM-D از روش تحلیل درخت خطا بهره می‌گیرد و اطلاعات مورد نیاز را از متخصصان، منابع موجود و سایت‌های اینترنتی فراهم می‌کند و طرح و نقشه اولیه سدها به‌شدت بستگی به این موارد دارد. RAM-D فرآیند زنده و پویا است که با تغییر محیط تهدید نیاز به بازبینی و تغییر دارد [۱۳]. در شکل ۳ مراحل اجرای ارزیابی ریسک به‌روش RAM-D نشان داده شده است.

شکل ۳. فرآیند ارزیابی ریسک در سدها به‌روش RAM-D [۱۳]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

جدول ٦. ارزش عوامل احتمال و شدت در روش RAM-D [۲]

امتیاز	ارزش	گروه
4	VH (بسیار زیاد)	احتمال بسیار زیاد، فاجعه بار، منجر به مرگ، خسارت شدید محیط زیستی
3	H (زیاد)	احتمال زیاد، بحرانی منجر به جراحت، خسارت عمده محیط زیستی
2	M (متوسط)	احتمال متوسط، منجر به جراحت، بیماری جزئی، خسارت جزئی محیط زیست
1	L (کم)	احتمال کم، قابل اغماض، کمتر از جراحت جزئی، خسارت کم محیط زیستی

پیامدها شامل اثرات ناشی از ریسک‌های ناخواسته‌اند که باعث موفق نشدن پروژه در رسیدن به هدف می‌شوند.

جدول ۷. ارزش‌گذاری پیامدهای ریسک[۲]

امتیاز	ارزش	گروه
3	H(بالا)	بحرانی، منجر به جراحت، خسارت عمده محیط زیستی
2	M(متوسط)	منجر به جراحت، بیماری جزئی، خسارت جزئی محیط زیست
1	L(کم)	قابل اغماض، کمتر از جراحت جزئی، خسارت کم محیط زیستی

منظور از کارایی سیستم اثربخشی تسهیلات و امکانات پروژه و سیستم ایمنی در حفاظت در برابر ریسک‌های شناسایی شده است.

پس‌از پرکردن کاربرگ‌ها، بر اساس نظر کارشناسان، محقق و شرایط محیط زیستی و فنی پروژه، امتیازات در نظر گرفته شده برای هر عامل ریسک در معادله زیر گنجانده می‌شود [۱۳]:

(احتمال تهدید)×(پیامدها)×(۱-کارایی سامانه) = ریسک

نتایج

در این روش PHA براساس شرایط محیط زیستی موجود در منطقه و اطلاعات فنی پروژه احتمال وقوع ریسک و شدت خطر ارزش‌گذاری شدند که در جدول ۸ آمده است.

جدول ۸. ارزیابی مقدماتی ریسک سد پاوه‌رود به‌روش PHA

	ریسک	ارزیابی			
		احتمال وقوع	شدت اثر	RPN	سطح ریسک
ریسک‌های فنی	خاکبرداری و خاکریزی	B	2	2B	
	انفجار	C	2	2C	

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

	ریسک	ارزیابی			
		احتمال وقوع	شدت اثر	RPN	سطح ریسک
	حفاری	B	3	3B	
	احداث تونل	B	2	2B	
	احداث جاده‌های دسترسی موقت	C	2	2C	
	احداث جاده‌های دائمی	B	2	2B	
	احداث کمپ‌های کارگاهی و مسکونی	C	4	4C	
	احداث پارکینگ‌های موقت	C	4	4C	
	فعالیت تجهیزات و ماشین آلات	B	3	3B	
	انبار کردن مواد نفتی	C	2	2C	
	دفع ضایعات، زایدات و پساب‌ها	B	2	2B	
	حمل و نقل	B	3	3B	
	بتن ریزی و کارهای بتنی	B	3	3B	
	سنگ چینی	C	4	4C	
	احدث فرازبند و نشیب بند	B	4	4B	
	منابع قرضه	C	4	4C	
	انتقال خطوط انرژی و آب به محل	C	3	3C	
	فعالیت انسانی در کارگاه	B	3	3B	
ریسک‌های ایمنی و بهداشت	مسمومیت ناشی از گازهای سمی در تونل‌ها	D	1	1D	
	کار در ارتفاع	C	2	2C	
	تصادفات ناشی از حمل و نقل	C	2	2C	
	گزیدگی توسط مار و عقرب و...	D	2	2D	
ریسک‌های فیزیکوشیمیایی	فرسایش	B	2	2B	
	رسوب گذاری	B	3	3B	
	کیفیت آب	B	3	3B	
	کاهش حجم آب پایین دست	B	3	3B	
	تغییر در بستر پایین دست رودخانه	A	3	3A	
	اختلال در تأمین شن برای سواحل	A	4	4A	
	کیفیت خاک	B	3	3B	
	کیفیت هوا	B	3	3B	

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

	ریسک	ارزیابی			
		احتمال وقوع	شدت اثر	RPN	سطح ریسک
	تسطیح اراضی	C	3	3C	
	تغییر در خرد اقلیم	C	4	4C	
ریسک‌های بیولوژیکی	اثر بر آبزیان	A	2	2A	
	ورود گونه‌های آبزی جدید به مخزن	D	3	3D	
	تأثیر بر گونه‌های گیاهی	B	2	2B	
	تأثیر بر حیات وحش	B	2	2B	
	تأثیر بر منطقه سرخ آباد	B	2	2B	
ریسک‌های طبیعی	لرزه خیزی	C	1	1C	
	وقوع سیل	C	1	1C	
	زمین لغزش	D	3	3D	
ریسک‌های اقتصادی- اجتماعی	مهاجرت	D	4	4D	
	تغییر کاربری زمین	B	3	3B	
	تأثیر بر منظر و گردشگری	B	3	3B	

ریسک بالا	ریسک متوسط	ریسک پایین

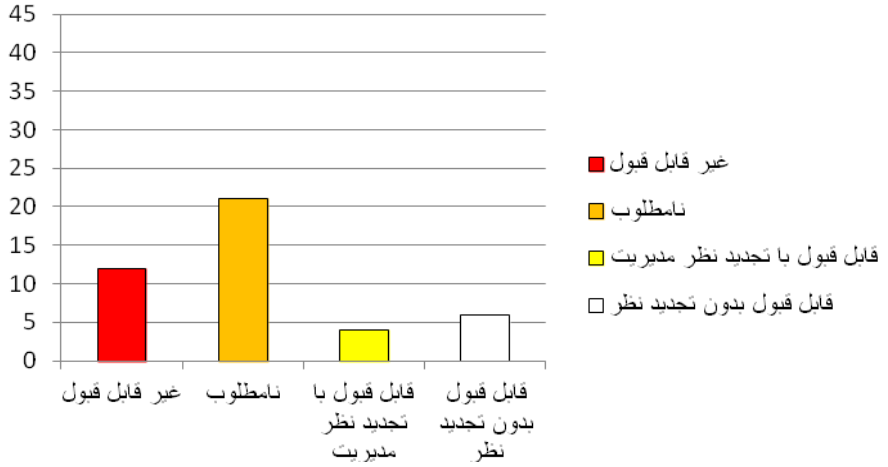
دلایل ریسک‌های دارای سطح بالا حاصل از روش PHA در جدول ۹ آمده و در نمودار ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۹. دلایل ریسک‌های دارای سطح بالا

ریسک‌های دارای سطح بالا	دلایل سطح ریسک
خاکبرداری و خاکریزی	-مؤثر بر ساختمان خاک -فرسایش -آلودگی آب‌های سطحی
احداث تونل	-فرسایش خاک و ایجاد آلودگی و تغییر در شکل زمین -اثرگذار بر زیستگاه‌ها
احداث جاده‌های دائمی	-اختلال زیستگاه‌ها -پراکنش گرد و غبار -ایجاد سر و صدا
دفع ضایعات، زایدات و پساب‌ها	-آلودگی آب و خاک و هوا
فرسایش	-از بین رفتن خاک‌های سطحی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

ریسک‌های دارای سطح بالا	دلایل سطح ریسک
	-آسیب به پوشش گیاهی -ایجاد رسوب
تغییر در بستر پایین دست رودخانه	-تغییر در پوشش گیاهی و جانوری
اثر بر آبزیان	-آسیب در مسیر حرکت خود -ممانعت عبور توسط سد
تأثیر بر گونه‌های گیاهی	-تغییر در کیفیت خاک و آب -آلودگی هوا -از بین رفتن بخشی از پوشش گیاهی منطقه
تأثیر بر حیات وحش	-ناامن شدن زیستگاه‌ها در محل پروژه -اثرات انفجارها، -قطع زیستگاه‌ها
تأثیر بر منطقه سرخ‌آباد	احداث شبکه آبیاری و زهکشی
لرزه‌خیزی	احتمال زمین لرزه با توجه به برخورداری منطقه از پویایی لرزه‌ای
وقوع سیل	با توجه به وجود سد استور با حجم مخزن حدود ۷۰۰ میلیون متر مکعب و سد مشمپا با حجم حدود یک میلیارد متر مکعب در بالادست رودخانه در صورت بروز سیل سد پاوه‌رود با حجم مخزن ۱۵/۳ میلیون متر مکعب ظرفیت پذیرش این حجم سیلاب را نخواهد داشت



نمودار ۱. نتایج روش PHA

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

پس از جمع آوری پرسش‌نامه‌ها، برای تجزیه و تحلیل امتیازات داده شده به عوامل ریسک و با استفاده از یافته‌های حاصل از روش PHA، از روش TOPSIS به‌منظور اولویت‌بندی ریسک‌های شناسایی شدهٔ سد پاوه‌رود استفاده شد. این اولویت‌بندی‌ها در جدول ۱۰ آمده است.

جدول ۱۰. اولویت‌بندی ریسک‌های سد پاوه‌رود بر اساس روش TOPSIS

	ریسک	رتبه
A23	فرسایش	1
A1	خاکبرداری و خاکریزی	2
A25	کیفیت آب	3
A24	رسوب گذاری	4
A37	تأثیر بر منطقه سرخ آباد	5
A3	حفاری	6
A11	دفع ضایعات، زایدات و پساب‌ها	7
A4	احداث تونل	8
A9	فعالیت تجهیزات و ماشین آلات	9
A20	کار در ارتفاع	10
A2	انفجار	11
A13	بتن ریزی و کارهای بتنی	12
A36	تأثیر بر حیات وحش	13
A10	انبار کردن مواد نفتی	14
A33	اثر بر آبزیان	15
A39	وقوع سیل	16
A38	لرزه خیزی	17
A19	مسمومیت ناشی از گازهای سمی در تونل‌ها	18
A35	تأثیر بر گونه‌های گیاهی	19
A6	احداث جاده‌های دائمی	20
A26	کاهش حجم آب پایین دست	21
A5	احداث جاده‌های دسترسی موقت	22
A31	تسطیح اراضی	23
A29	کیفیت خاک	24
A22	گزیدگی توسط مار و عقرب و...	25

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

	ریسک	رتبه
A18	فعالیت انسانی در کارگاه	26
A27	تغییر در بستر پایین دست رودخانه	27
A41	مهاجرت	28
A12	حمل و نقل	29
A30	کیفیت هوا	30
A21	تصادفات ناشی از حمل و نقل	30
A7	احداث کمپ‌های کارگاهی و مسکونی	31
A40	زمین لغزش	32
A8	احداث پارکینگ‌های موقت	33
A28	اختلال در تأمین شن برای سواحل	34
A16	منابع قرضه	35
A34	ورود گونه‌های آبزی جدید به مخزن	36
A43	تأثیر بر منظر و گردشگری	37
A42	تغییر کاربری زمین	38
A14	سنگ چینی	39
A15	احداث فرازبندو نشیب بند	39
A17	انتقال خطوط انرژی و آب به محل	40
A32	تغییر در خرد اقلیم	41

طبق نتایج به‌دست آمده در جدول ۱۰، با استفاده از روش TOPSIS، از بین ۳٦ عامل ریسک، فرسایش، با توجه به فرسایش‌پذیری بسیار زیاد حوضه بررسی شده و با شدت یافتن آن ضمن از بین رفتن خاک‌های سطحی و آسیب به پوشش گیاهی در اولویت اول، خاک‌برداری و خاک‌ریزی، به‌دنبال عملیات سدسازی در سطح وسیع برای ایجاد مخزن سد، ساخت جاده‌ها، تونل‌ها، کمپ‌ها، در اولویت دوم و تغییر در خرداقلیم به‌دلیل تأثیرپذیری کم و چشم‌پوشی از اثر آن در اولویت آخر قرار گرفت.

پس از اولویت‌بندی ریسک‌های سد پاوه‌رود به‌روش TOPSIS، به ارزیابی ریسک با استفاده از روش RAM-D پرداخته شد. برای محاسبه ریسک سد به‌روش RAM-D با پر کردن کاربرگ‌هایی می‌توان مقدار ریسک را تخمین زد. در این کاربرگ‌ها احتمال وقوع ریسک، پیامدهای ریسک و کارایی سیستم (سد) را در نظر گرفته شده است. امتیازات

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

پیشنهادی برای کمی‌سازی فاکتور کارایی سامانه در جدول ۱۱ آمده است و سپس نتایج ارزیابی ریسک محیط زیستی سد پاوه‌رود به‌روش RAM-D در جدول ۱۲ ذکر شده است.

جدول ۱۱. امتیاز پیشنهادی محقق برای کمی‌سازی فاکتور کارایی سامانه در روش RAM-D

امتیاز	کارایی سیستم
۱	کارایی بسیار بالا
۰/۷۵	کارایی بالا
۰/۵	کارایی متوسط
۰/۲۵	کارایی کم

جدول ۱۲. نتایج ارزیابی ریسک محیط زیستی سد پاوه رود به روش RAM-D

فاکتورهای RAM-D / ریسک	احتمال	پیامد	کارایی سیستم	۱ -کارایی سیستم	مقادیر ریسک
خاک‌برداری و خاک‌ریزی	۳	۱	۰/۷۵	۰/۲۵	۰/۷۵
کار در ارتفاع	۳	٤	۰/۷۵	۰/۲۵	۳
مسمومیت ناشی از گازهای سمی	۳	۳	۰/۷۵	۰/۲۵	۲/۲۵
زلزله	۳	۲	۰/۵	۰/۵	۳
فرسایش	٤	۳	۰/۵	۰/۵	٦
تأثیر بر منطقه سرخ‌آباد	٤	۳	۰/۲۵	۰/۷۵	۹

پس از اولویت‌بندی ریسک‌های سد پاوه‌رود به‌روش TOPSIS، ارزیابی ریسک بین نتایج اولویت‌بندی ریسک‌ها، با استفاده از روش RAM-D صورت گرفت که نتایج نشان داد که تأثیر بر منطقه حفاظت شده سرخ‌آباد، با توجه به مجاورت با ساختگاه سد و قرار گرفتن بخشی از منطقه در محدوده احداث شبکه آبیاری و زهکشی، با امتیاز ۹، فرسایش به‌سبب فرسایش‌پذیری بسیار زیاد منطقه، با امتیاز ٦ و کار در ارتفاع به‌دلیل اهمیت ایمنی آن و زلزله، با توجه به این‌که گسترهٔ پیرامون ساختگاه سد از پویایی لرزه‌ای برخوردار است، با امتیاز ۳ مهم‌ترین ریسک‌های سد پاوه‌رود شناخته شدند. برنامه مدیریت ریسک محیط زیستی در راستای هدف‌مندی این تحقیق و یک اقدام اصلاحی برای کاهش، کنترل و انتقال ریسک‌های محیط زیستی در سد بررسی شده است. جدول ۱۳ برنامه مدیریت ریسک‌های محیط زیستی سد پاوه‌رود را نشان می‌دهد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

جدول ۱۳. برنامهٔ مدیریت ریسک‌های محیط زیستی سد پاوه‌رود

عامل ریسک	روش‌های کنترل و اقدامات پیشنهادی	مسئولیت	دورهٔ زمانی پایش
تأثیر بر منطقه سرخ آباد	-پایش و کنترل آلودگی‌ها درحین اجرای پروژه و حفاظت از مرزهای منطقه حفاظت شده -کاهش سروصدا در اواخر زمستان (فصل مهاجرت پرندگان) برای کاهش ناامنی برای پرندگان آبزی و کنارآبزی -هماهنگی و نظارت محیط زیستی در نصب نورافکن	پیمانکار و سازمان حفاظت محیط زیست	-مستمر و مداوم -بازدید دوره‌ای - بازدید دوره‌ای
فرسایش	-کاشت نهال در زمین‌های مشرف به رودخانه و دریاچه -استفاده از انواع آب بندها به فراخور شرایط شیب، ارتفاع و جنس دیواره دریاچه و آبراهه -اجرای اقدامات حفاظت خاک -تثبیت اراضی شیب دار اطراف مخزن و بخصوص در محدوده نوسانات آب مخزن و اراضی پیرامون آن -جلوگیری از شخم زدن اراضی کشاورزی در جهت شیب به منظور حفاظت خاک اراضی -بهبود و اصلاح خاک زراعی محدوده شبکه	سازمان منابع طبیعی (بخش آبخیزداری اداره کل منابع طبیعی)	-دوره‌ای -ابتدای پروژه -شش ماه یک بار -ابتدای پروژه -مستمر و مداوم -شش ماه یک بار
زلزله	-در نظر گرفتن مطالعات لرزه‌خیزی منطقه در انتخاب مصالح ساختمانی و رعایت استانداردها و آیین نامه‌ها	پیمانکار	بازدید دوره‌ای
کار در ارتفاع	-استفاده از کمربندهای ایمنی مخصوص کار -استفاده از شبکه‌های توری در صورت نیاز	پیمانکار	-مستمر و مداوم -مستمر و مداوم

بحث

پروژه‌های سدسازی ریسک بیش‌تری نسبت به پروژه‌های دیگر دارند زیرا این پروژه‌ها مستلزم مخارج زیاد و شرایط مکانی پیچیده هستند. بنابراین شناخت منابع ریسک و عدم اطمینان در پروژه سدسازی پاوه‌رود و شناخت، بررسی و ارزیابی ریسک آن، برای تعیین مهم‌ترین و اثر گذارترین آن‌ها در پروژه حائز اهمیت است. از روش PHA مانند تحقیق حاضر در ارزیابی ریسک محیط زیستی سد صیدون خوزستان در مرحلهٔ ساختمانی، از سوی درویشی و همکاران و ارزیابی ریسک محیط زیستی سد گتوند علیا در مرحلهٔ بهره‌برداری، از

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

سوی جوزی و همکاران، استفاده شد. درویشی و همکاران برای ارزیابی ریسک پس از استفاده از روش PHA، از (TOPSIS) ، (SAW) و جوزی و همکاران از روش EFMEA بهره گرفتند.

خسروانی از روش RAM-D به‌منظور شناسایی و طبقه‌بندی ریسک‌های محیط زیستی حوزه‌های بالادست و پایین‌دست سد رودبار لرستان، استفاده کرد اما در تحقیق حاضر ابتدا عوامل ریسک با روش PHA شناسایی، اولویت‌بندی بین ریسک‌های حاضر با روش TOPSIS و ارزیابی ریسک بین اولویت‌بندی حاصل از آن با روش RAM-D صورت گرفت. در واقع استفاده از این سه روش به‌طور همگام با یک‌دیگر به‌منظور شناسایی دقیق و مشخص شدن عوامل ریسک با اعداد کمی تحقق یافت. شایان ذکر است تاکنون از تلفیق این سه روش برای ارزیابی ریسک سد در مرحلهٔ ساختمانی استفاده نشده است و این مقاله نخستین تجربه محسوب می‌شود.

قبل از اجرای پروژه اقدامات پیش‌گیرانه و کنترلی محیط زیستی باید صورت گیرد. عوامل ریسک نامطلوب نیز در طول اجرای پروژه از طریق اقداماتی نظیر آموزش، پایش و کنترل کاهش یابند. برای رویارویی با ریسک‌های شناسایی شده حاصل از روش‌های به‌کار برده در تحقیق، گزینه‌های کاهش ریسک در واقع کاهش شدت اثرات ریسک پیشنهاد می‌شود. به‌منظور کاهش اثرات ریسک‌های سد در فاز ساختمانی برنامه مدیریت محیط زیستی ضروری است.

نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که PHA روشی نیمه کمی است، بنابراین اولویت‌بندی ریسک‌ها در این روش نیز به‌صورت کیفی است. در اولویت‌بندی ریسک‌های فنی در فاز ساختمانی سد پاوه‌رود، خاک‌برداری و خاک‌ریزی، احداث تونل، احداث جاده‌های دائمی، دفع ضایعات، زایدات و پساب‌ها به‌دلیل وسعت محل تأثیرگذار سطح ریسک زیادی دارند. در اولویت‌بندی ریسک‌های فیزیکوشیمیایی، فرسایش، تغییر در بستر پایین‌دست رودخانه، سطح ریسک زیاد دارند. در ریسک‌های بیولوژیکی، اثر بر آبزیان، تأثیر بر گونه‌های گیاهی، تأثیر بر حیات وحش،

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

تأثیر بر منطقه سرخ‌آباد، در فاز ساختمانی سد پاوه‌رود سطح زیادی دارند. لرزه‌خیزی و وقوع سیل در اولویت‌بندی ریسک‌های طبیعی سد در الویت اول قرار دارند و سطح ریسک آن‌ها زیاد است. در ریسک‌های اقتصادی-اجتماعی سد بررسی شده، تغییر کاربری زمین، تأثیر بر منظر و گردش‌گری، در سطح متوسط قرار دارند. پس از تجزیه و تحلیل امتیازات داده شده به عوامل ریسک و با استفاده از یافته‌های حاصل از روش PHA، برای ادامهٔ کار ارزیابی، ریسک‌های با سطح بالا و متوسط از کل ریسک‌ها از روش TOPSIS به‌منظور اولویت‌بندی ریسک‌های شناسایی حاصل از روش PHA شدهٔ سد پاوه‌رود استفاده شد.

روش TOPSIS از مطمئن‌ترین روش‌های علمی و مدیریتی تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری بوده و با استفاده ازآن می‌توان تصمیم‌گیری‌ها را علمی‌تر ساخته و فرآیند تصمیم‌گیری، در بستری از داده‌ها و خروجی‌های منطقی‌تر قرار گیرد.

روش Ram-D به‌صورت کمی ریسک وارده بر سدها را پیش‌بینی می‌کند و تحلیل جامعی در خصوص آسیب‌پذیری سدها ارائه می‌دهد [۱۳]. نتایج حاصل از این روش نشان داد که فرسایش، خاک‌برداری و خاک‌ریزی، کیفیت آب و رسوب‌گذاری، به‌ترتیب اولویت‌های اول تا چهارم ریسک‌ها را به خود اختصاص دادند.

منابع

۱. نیکبخت مریم، شامحمدی حیدری زمان، *ارزیابی اثرات زیست‌محیطی مرحله بهره‌برداری سد سردشت در استان خوزستان*، فصل‌نامهٔ علمی پژوهشی آب و فاضلاب، دورهٔ ۱۵، شمارهٔ ۵۲، (۱۳۸۳) ٦۷-۷۰.

2. Matalucci Rudolph V., "Risk Assessment Methodology for Dams (RAM-D)", Proceeding of Management, San Juan, Pueto Rico, USA (2002) 23-28.

3. Heller S., "Managing industrial risk-Having a tested and proven system to prevent and assess risk", Journal of Hazardous Materials, Volume 130, Issues 1-2, 17 (2006) 58-63.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]

٤. خسروانی هدا، *سیستم‌های استفاده از چند معیار تصمیم‌گیری (MADM) و مدل RAM-D در فاز ارزیابی از ساخت و ساز سد (مطالعه موردی: سد رودبار لرستان)*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد (۱۳۹۰).

۵. درویشی سحر، ملماسی سعید، نظری‌دوست علی، *ارزیابی ریسک زیست محیطی سد صیدون خوزستان در مرحله ساختمانی با استفاده از روش‌های تصمیم گیری چند شاخصه*، سومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران (۱۳۹۲).

٦. جوزی سیدعلی، سیف‌السادات سیده حمید، *ارزیابی ریسک محیط زیستی سد گتوند علیا در مرحلهٔ بهره‌برداری با استفاده از روش تلفیقی آنالیز مقدماتی خطر و تکنیک* EFMEA، مجلهٔ محیط شناسی، دورهٔ ٤۰، شمارهٔ ۱ (۱۳۹۳) ۱۰۷-۱۲۰.

7. Bowles D., "Portfolio Risk Assessment (PRA): A Tool For Dam Safety Risk Management", Proceedings of the USCOLD Annual lecture, Buffalo, New York (1998).

۸. مهندسین مشاور تماوان، *گزارش مطالعه محیط زیستی سد پاوه رود* (۱۳۸۰).

۹. سرمد زهره، بازرگان عباس، حجازی الهه، *روش‌های تحقیق در علوم رفتاری*، ویرایش اول, چاپ بیست و پنجم، نشر آگه (۱۳۹۲).

۱۰. محمدفام ایرج، تکنیک‌*های آنالیز ایمنی، آنالیز مقدماتی خطر*، همدان، نشر فن آوران (۱۳۸٤).

۱۱. حلوانی غلامحسین، زارع محسن، *مهندسی ایمنی سیستم‌ها و مدیریت ریسک*، نشر آثار سبحان (۱۳۹۰).

۱۲. مؤمنی منصور، *مباحث نوین تحقیق در عملیات*، دانشگاه تهران (۱۳۸۹).

۱۳. جوزی سید علی، *ارزیابی و مدیریت ریسک*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال (۱۳۸۷).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.2.2.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.2.3445]