

# اولویت‌بندی ارزیابی ریسک محیط‌زیستی احداث اسکله منطقه آزاد انزلی با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و TOPSIS

شمیم مقدمی، کارشناس ارشد آلودگی محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، ایران.  
نیلوفر عابدین زاده\*، دانشجوی دکترای محیط زیست، عضو هیات علمی پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، ایران.  
مریم حقیقی خمایی، کارشناس ارشد منابع طبیعی - جنگلداری، عضو هیات علمی پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، ایران.

E-mail\*: N.abedinzadeh@gmail.com

دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۱۱ - پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۲۷

## چکیده

ارزیابی ریسک زیست محیطی گامی فراتر از ارزیابی بوده و در آن علاوه بر بررسی و تحلیل جنبه‌های مختلف ریسک، ضمن شناخت کامل از محیط زیست منطقه تحت اثر، میزان حساسیت محیط زیست متأثر و همچنین ارزش‌های خاص زیست محیطی منطقه نیز در تجزیه و تحلیل و ارزیابی ریسک منطقه در نظر گرفته می‌شود. جهت انجام این مطالعه ابتدا با استفاده از بازدید میدانی فعالیت‌هایی که منجر به بروز ریسک در عملیات ساخت اسکله منطقه آزاد بندر انزلی شده، شناسایی و به‌منظور استخراج ریسک‌های حایز اهمیت از پرسش‌نامه دلفی استفاده گردید. در نهایت از بین ریسک‌های شناسایی شده، ۱۰ ریسک محیط زیستی جهت اولویت بندی انتخاب گردید. پس از شناسایی ریسک‌ها، شاخص‌های احتمال وقوع، شدت ریسک و حساسیت محیط پذیرنده به‌عنوان معیارهای اولویت‌بندی ریسک انتخاب گردید. جهت تعیین احتمال وقوع ریسک از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی و نرم‌افزار ECPRO 2000 جهت تعیین نمرات شدت ریسک از راهنماهای روش تحلیل مقدماتی خطرات و جهت تعیین مقادیر مربوط به حساسیت از منابع استفاده گردید. پس از تعیین شاخص‌ها از مدل تاپسیس جهت اولویت‌بندی ریسک‌ها استفاده گردید. نتایج اولویت‌بندی ریسک‌های مورد مطالعه نشان داد بیشترین میزان ریسک مربوط به افزایش کدورت، تغییر شکل بستر و آلودگی آب به ترتیب با وزن‌های ۰/۹۳۸، ۰/۶۶۲ و ۰/۸۹۸ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اولویت بندی، ارزیابی ریسک محیط زیستی، اسکله، تحلیل سلسله مراتبی، TOPSIS.

## ۱- مقدمه

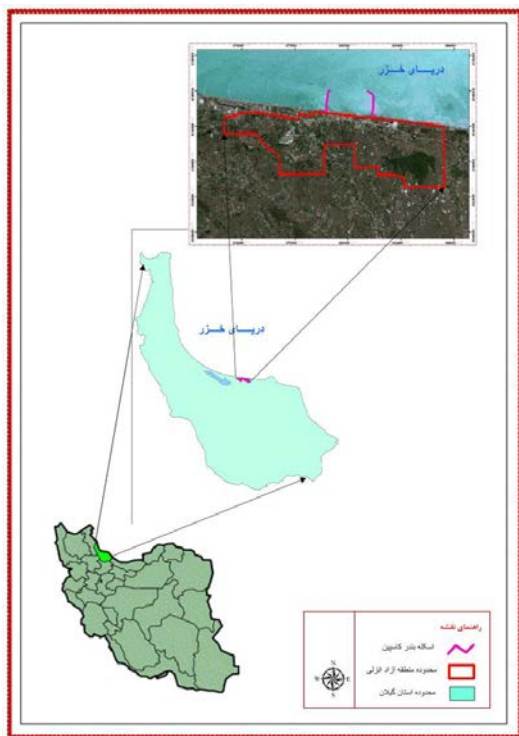
بر بررسی و تحلیل جنبه‌های مختلف ریسک، ضمن شناخت کامل از محیط زیست منطقه تحت اثر، میزان حساسیت محیط زیست متأثر و همچنین ارزش‌های خاص محیط زیستی منطقه نیز در تجزیه و تحلیل و ارزیابی ریسک منطقه در نظر گرفته می‌شود (Haller, 2006). روش‌های متنوعی برای ارزیابی ریسک محیط زیستی وجود دارد از جمله این روش‌ها می‌توان به HAZAN, FMEA و William Fine اشاره کرد که هر

تاکنون بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در ایران و سایر کشورهای جهان، به جنبه‌های ایمنی پروژه‌ها توجه داشته و کمتر به جنبه‌های محیط زیستی آنها پرداخته شده است. ارزیابی ریسک، فرآیندی است که نتایج آنالیز ریسک را با رتبه‌بندی و یا مقایسه آنها با مقادیر هدف (اهداف عملکردی با الزامات قانونی) برای تصمیم‌گیری به‌کار می‌برد (اللهیاری، ۱۳۸۴). ارزیابی ریسک محیط زیستی گامی فراتر از ارزیابی بوده و در آن علاوه

تصفیه‌خانه آب اهواز از روش تطبیقی تصمیم‌گیری چند شاخصه (TOPSIS) با روش HAZOP بهره جستند (ابراهیمیان دهاقانی و خادمی مال امیری، ۱۳۸۹). رحیمی بلوچی و ملک محمدی در ارزیابی ریسک محیط زیستی تالاب بین‌المللی شادگان از روش‌های ویلیام فاین و تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند (بلوچی و محمدی، ۱۳۹۰). لاری و همکاران در ارزیابی ریسک محیط زیستی لایروبی بندر امام خمینی از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی به منظور تعیین احتمال و EFMEA بهره جستند (لاری و همکاران، ۱۳۹۰). مکنوندی و همکاران به منظور شناسایی، رتبه‌بندی و ارزیابی محیط زیستی تهدیدکننده تالاب شیرین سو در استان همدان از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS و جهت بررسی حالات شکست و بررسی اثر از EFMEA استفاده نمودند. نتایج حاصل از رتبه‌بندی ریسک‌های تهدیدکننده تالاب شیرین سو با استفاده از TOPSIS حاکی از آن است که فعالیت سنگ بالادست و رهاسازی پساب آن در منطقه و آلودگی آب تالاب ناشی از فاضلاب روستایی در رتبه‌های اولویت دوم قرار دارند (مکنوندی و همکاران، ۱۳۹۱). جعفرزاده و همکاران در ارزیابی ریسک محیط زیستی لایروبی اسکله‌های بندر امام خمینی (ره) از تکنیک چند معیاره Entropy و Saw به منظور تعیین وزن شاخص‌ها (احتمال وقوع، شدت و احتمال کشف) و اولویت‌بندی ریسک بهره گرفتند. نتایج این پژوهش نشان‌داد که اهمیت و اندازه ریسک تخریب زیستگاه‌ها افزایش غلظت هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین در بافت آبزیان و ایجاد تنش برای آنها در رتبه اول و دوم می‌باشند (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۱). Cahyani در مورد راهبردهای مختلف مدیریت ریسک با تحلیل سلسله مراتبی، مطالعه‌ای انجام و از طریق انتخاب معیارهای سطوح ریسک، هزینه و اثر بخشی راهبرد مدیریت ریسک، سیاست‌ها و منابع دو نیروگاه حرارتی و آبی را ارزیابی و سپس تجزیه و تحلیل ریسک در دو نیروگاه را به انجام رسانید (Cahyani, 2003).

یک دارای مزایا و معایبی بر مبنای محیط مورد مطالعه است (صفاران و جوزی، ۱۳۹۰). با بررسی سابقه استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مشخص گردیده که این روش‌ها به تنهایی و توأم با روش‌های دیگر کاربرد فراوانی برای انجام مطالعات ارزیابی ریسک در محدوده بندر و سایر بخش‌ها دارند (Neil & Pritchard, 2004). افزاره و ناصریان به منظور تشخیص اینکه کدامیک از پروژه‌های توسعه راه آهن از دیدگاه ملی دارای اولویت بیشتری برای احداث برخوردار است، از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS با کاربرد شیوه وزن دهی معیارها استفاده کردند (افزازه و ناصریان، ۱۳۸۴). جان قربان از روش‌های TOPSIS و تحلیل سلسله مراتبی به منظور شناسایی و تجزیه و تحلیل مخاطرات ریسک محیط زیستی در منطقه حفاظت شده مند استفاده کرد (جان قربان، ۱۳۸۷). جوزی و شفیعی به منظور تجزیه و تحلیل ریسک‌های محیط زیستی منطقه حفاظت شده حله بوشهر از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند (جوزی و شفیعی، ۱۳۸۸). جوزی و رودسری از روش تصمیم‌گیری چند معیاره جهت ارزیابی ریسک محیط زیستی سد سفارود در مرحله بهره‌برداری استفاده نمودند. نتایج نشان‌داد گزینه‌های زلزله، روانگرایی و زمین لرزه القایی به ترتیب مهمترین ریسک‌های تاثیرگذار ناشی از بهره‌برداری از این سد می‌باشد (جوزی، رودسری، ۱۳۸۸). جوزی و همکاران جهت تجزیه و تحلیل ریسک‌های فیزیکی سد بالارود در مرحله ساختمانی از روش‌های TOPSIS و تحلیل سلسله مراتبی استفاده نمودند، سپس برای رفع تعارض بین نتایج دو روش TOPSIS و AHP از روش‌های ادغام (روش میانگین رتبه‌ها، روش بردار و روش کپ لند) استفاده شد و عوامل خاکبرداری و خاکریزی، انفجار، حفاری به ترتیب به‌عنوان مهمترین ریسک‌های محیط زیستی سد بالارود در فاز ساختمانی معرفی شدند (جوزی و همکاران، ۱۳۸۹). ابراهیمیان دهاقانی و خادمی مال امیری ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک واحد مصارف صنعتی

کشتی‌سازی و صنایع دریایی جهت تعمیر زیرآبی کشتی‌های در دست بهره‌برداری و ساخت کشتی‌های جدید به مساحت ۲۴ هکتار و ترمینال اختصاصی بار و مسافر با ظرفیت پهلوگیری ۲ کشتی بزرگ و چندین کشتی کوچک، لنج و قایق مسافری را دارا می‌باشد. ظرفیت نهایی این بندر در مرحله سوم نهایی به ۲۵ میلیون تن خواهد رسید (پژوهشکده محیط زیست، ۱۳۹۱). در شکل شماره ۱ موقعیت جغرافیایی اسکله منطقه آزاد انزلی نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی اسکله منطقه آزاد بندر انزلی

## ۲-۲- شناسایی و انتخاب ریسک

جهت تعیین ریسک‌های دارای اهمیت ناشی از فعالیت‌های ساختمانی از پرسشنامه دلفی استفاده گردید. دلفی یکی از روش‌های موفق و با سابقه در اتخاذ تصمیم به صورت گروهی می‌باشد (حقیقی فرد، ۱۳۹۱) و بر پایه نظرات شهودی متخصصان قرار دارد که در آن یک گروه از متخصصان پس از ابراز نظرات خود درباره یک مساله مشخص به یک اجماع دست می‌یابند. اگرچه این قضاوت

Zayed et al. (2008) در ارزیابی ریسک پروژه‌های بزرگ‌تر در چین از روش تحلیل سلسله مراتبی برای وزن دهی و رتبه بندی معیارها استفاده کرده‌اند (Zayed et al. 2008). Jafarzadeh et al. (2012) در ارزیابی ریسک مکان‌های دفن زباله از تحلیل سلسله مراتبی به منظور تعیین احتمال ریسک و EFMEA استفاده کرده‌اند (Jafarzadeh et al., 2012).

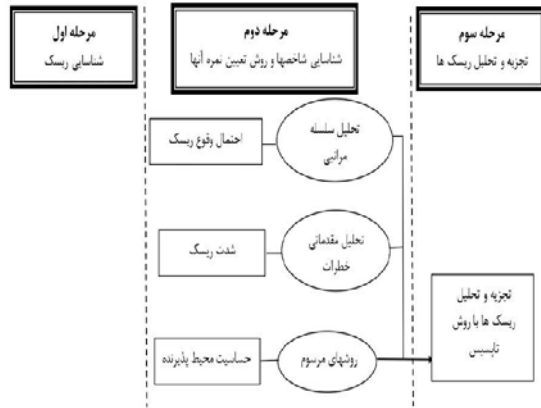
پژوهش حاضر با هدف بررسی ریسک‌های احداث اسکله منطقه آزاد انزلی با استفاده از معیارهای برآورد احتمال، شدت و حساسیت اثر محیط زیستی ناشی از انجام فعالیت‌های پروژه بر محیط زیست انجام گرفته است و ضمن اولویت‌بندی و تعیین رده ریسک‌های موجود و اقدامات اصلاحی جهت تعدیل این ریسک‌ها ارایه گردیده است.

## ۲- روش‌ها

### ۲-۱- محدوده مطالعاتی

بندر کاسپین منطقه آزاد انزلی در زمینی به مساحت ۲۵۳ هکتار در و در مختصات جغرافیایی  $38^{\circ} 38' 49''$  طول شرقی و  $37^{\circ} 27' 49''$  عرض شمالی واقع شده است. این بندر با ۲۵ پست اسکله و ظرفیت نهایی ۱۵ میلیون تن در شمال خط ساحلی در دست احداث می‌باشد و شامل موج‌شکن شرقی- اصلی به طول ۲۷۰۰ متر، موج‌شکن شرقی- داخلی به طول ۵۰۰ متر، موج‌شکن غربی- اصلی ۱۹۴۰ متر و موج‌شکن غربی- داخلی ۷۴۰ متر که مجموعاً به طول ۵۸۸۰ متر است، فاصله بین موج شکن‌ها ۲۶۲۵ متر با ۱۶۰۰ متر پیش‌روی در دریا می‌باشد. عمق حوضچه‌ها از نظر سازه‌ای ۱۰ متر انتخاب گردیده است. در این بندر، ترمینال تجاری جهت صادرات و واردات کالاهای تجاری در قالب ترمینال‌های کانتینری، فله خشک، چند منظوره و کالاهای عمومی با ۱۸ پست اسکله، ترمینال نفتی با طول مجموع خط پهلوگیری سه پست اسکله، ۷۵۰ متر و دارای ۱۰ هکتار اراضی پسرانه، ترمینال رو- رو راه‌آهن با یک پست اسکله، مجموعه

مقایسه‌های زوجی با دانش کارشناسان تکمیل و وارد نرم افزار گردید. اوزان نسبی احتمال وقوع ریسک‌ها تعیین و در نهایت با دستور تلفیق نرم افزار، عوامل ریسک ادغام و اوزان نهایی یعنی نمره احتمال وقوع هر ریسک به دست آمد.



شکل ۲. مراحل انجام مطالعات ارزیابی ریسک محیط زیستی احداث اسکله منطقه آزاد انزلی

روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مساله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مساله دارد. علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده، که قضاوت و محاسبه‌ها را تسهیل می‌نماید. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد (قدسی پور، ۱۳۹۲). جدول ۲ مقیاس درجه اهمیت برای مقایسه زوجی در تحلیل سلسله مراتبی (محاسبه احتمال وقوع) را نشان می‌دهد.

جهت تعیین نمره‌های شدت ریسک از راهنماهای موجود در روش تحلیل مقدماتی خطرات طبق جدول ۳ استفاده گردید. همچنین برای استخراج نمرات حساسیت محیط پذیرنده ریسک طبق جدول ۴ از مطالعاتی که در گذشته صورت گرفته استفاده شد. هرچه محیط پذیرنده ریسک حساسیت بیشتری داشته باشد، ریسک نمره بالاتری را دریافت خواهد نمود.

ذهنی متخصصان ذهنی به نظر می‌رسد، بهتر از اظهارات فردی است (پاشایی زاده، ۱۳۸۶). هر پرسشنامه دلفی شامل چندین راند بوده و معمولاً از دو راند جهت جمع‌آوری نظرات کارشناسان استفاده می‌شود. از متخصصان درخواست شد تا نظر خود را راجع به ریسک‌های شناسایی شده در درجات اهمیت مختلف مطابق طبقه‌بندی لیکرت در پنج طبقه اهمیت (خیلی زیاد تا خیلی کم) بیان کنند (آندون پتروسیناس، ۱۳۹۲). این پرسشنامه بین ۱۰ نفر از متخصصان محیط زیست توزیع شد و در نهایت از بین ریسک‌های شناسایی شده، تعداد ۱۰ ریسک محیط زیستی جهت اولویت‌بندی انتخاب گردید.

ریسک‌های منتخب در این پژوهش با حرف A و با استفاده از اعداد ۱ تا ۱۰ کدگذاری شدند. جدول شماره ۱ ریسک‌های محیط زیستی نهایی عملیات احداث اسکله را نشان می‌دهد. پس از شناسایی ریسک‌ها، مرحله انتخاب شاخص‌ها و تعیین روش نمره‌دهی ریسک‌ها و در مرحله آخر رتبه‌بندی و تعیین درجه مخاطره‌پذیری ریسک‌ها می‌باشد. در شکل شماره ۲ مراحل انجام ارزیابی ریسک محیط زیستی ارائه شده است.

جدول ۱. ریسک‌های محیط زیستی نهایی عملیات احداث

ردیف	عامل ریسک	ردیف	عامل ریسک
A۱	افزایش کدورت	A۶	افزایش تراز صوتی
A۲	از بین رفتن زیستگاه آبزیان	A۷	آلودگی خاک
A۳	از بین رفتن زیستگاه موجودات کفزی	A۸	آلودگی هوا
A۴	اثر بر مهاجرت و تولید مثل	A۹	تغییر شکل بستر
A۵	آلودگی آب	A۱۰	اختلال در زنجیره‌های غذایی

در مرحله انتخاب شاخص‌ها از شاخص‌های موجود، احتمال وقوع ریسک، شدت ریسک و حساسیت محیط پذیرنده استفاده گردید. جهت تعیین احتمال وقوع ریسک‌ها از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی و نرم‌افزار ECPRO 2000 استفاده گردید. ماتریس‌های

جدول ۲. مقیاس درجه اهمیت برای مقایسه زوجی در تحلیل

سلسله مراتبی (محاسبه احتمال وقوع) (اصغرپور، ۱۳۸۷)

ارزش	درجه
کاملاً مرجح	۹
ترجیح خیلی قوی	۷
ترجیح قوی	۵
کمی مرجح	۳
ترجیح یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل	۲، ۴، ۶، ۸

جدول ۴. مقادیر مربوط به حساسیت محیط پذیرنده

(مکوندی، ۱۳۹۱)

امتیاز	تعریف حساسیت محیط پذیرنده
۱	اگر محیط پذیرنده حساسیت خیلی کمی نسبت به عامل ریسک داشته باشد.
۳	اگر محیط پذیرنده حساسیت کمی نسبت به عامل ریسک داشته باشد.
۵	اگر محیط پذیرنده حساسیت متوسطی نسبت به عامل ریسک داشته باشد.
۷	اگر محیط پذیرنده حساسیت زیادی نسبت به عامل ریسک داشته باشد.
۹	اگر محیط پذیرنده حساسیت خیلی زیادی نسبت به عامل ریسک داشته باشد.

جدول ۳. مقادیر مربوط به شدت وقوع جنبه‌های ریسک در روش

تحلیل مقدماتی خطر (میرجلیلی، ۱۳۸۸)

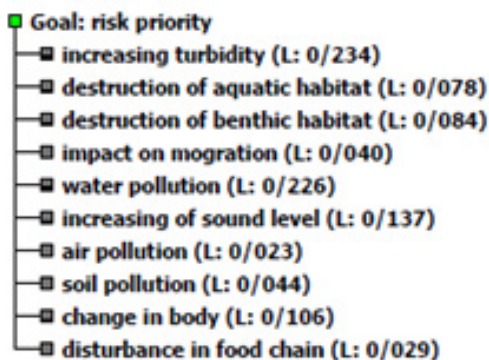
طبقه	رتبه	شرح شدت
فاجعه بار	۱	تخریب غیرقابل جبران منابع و عدم انجام اقدامات موثر در زمینه کاهش و کنترل آن، انتشار وسیع آلودگی در داخل و خارج از محدوده مورد مطالعه (مرگ و میر یا از بین رفتن سیستم)
بحرانی	۲	تخریب منابع به شکل غیرقابل جبران همراه با اقدامات کنترلی، انتشار آلاینده‌ها در داخل محدوده از مصرف منابع طبیعی، جراحات شغلی یا آسیب‌های شدید وارده بر سیستم
مرزی	۳	مصرف منابع طبیعی بهمراه کمی صرفه جویی و تولید آلاینده‌ها در بخشی یا قسمتی از داخل محدوده - جراحات و بیماری‌های شغلی و آسیب کم وارد بر محیط
جزیی	۴	مصرف منابع طبیعی و تولید آلاینده به میزان نه چندان قابل توجه - محدوده تحت تاثیر اطراف سازمان - جراحات و بیماری‌ها و آسیب‌های خیلی کم بر سیستم

در روش TOPSIS،  $m$  گزینه به وسیله  $n$  شاخص ارزیابی می‌شود. این تکنیک بر این مفهوم بنا شده که گزینه انتخابی باید کمترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن،  $A_1^+$ ) و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن،  $A_1^-$ ) داشته باشد. فرض بر این است که رضایتمندی هر شاخص به‌طور یکنواخت افزایشی و یا کاهش‌ی است (مومنی، ۱۳۹۱).

اولین مرحله در TOPSIS تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری است. در ردیف‌های این ماتریس گزینه‌ها (ریسک‌ها) و در ستون‌ها شاخص‌هایی که گزینه‌ها بر اساس آنها رتبه‌بندی می‌شوند، قرار دارند.

سه شاخص احتمال وقوع ریسک  $C1$ ، شدت ریسک  $C2$  و حساسیت محیط پذیرنده ریسک  $C3$  برای رتبه‌بندی ریسک‌ها در TOPSIS انتخاب شدند. در نهایت ماتریس تصمیم‌گیری با ۱۰ ردیف (ریسک‌ها با حرف A) و ۳ ستون (شاخص‌ها با حرف C) تشکیل گردید. از آنجا که لازم است ارزش کلیه شاخص‌ها به صورت کمی وارد ماتریس تصمیم مدل پیشنهادی شود، در این تحقیق بر اساس روش‌های معرفی شده، مقیاس عددی برای هر شاخص تعریف و بر اساس مقایسه دودویی شاخص‌های شناسایی شده در نرم افزار ECPRO وزن هر شاخص

پس از شناسایی ریسک‌ها، از روش TOPSIS که از جمله روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM) و دارای کم‌ترین نقص در رتبه‌بندی گزینه‌ها است، جهت رتبه‌بندی ریسک‌ها استفاده گردید. مزیت رتبه‌بندی ریسک‌ها با استفاده از روش در ارزیابی ریسک محیط زیستی کاربرد همزمان معیارهای متفاوت است. با استفاده از این روش می‌توان بی‌نهایت ریسک را بر اساس بی‌نهایت شاخص رتبه‌بندی کرد (مکوندی، ۱۳۹۱).



شکل ۳. نتایج شناسایی ریسک‌های ناشی از عملیات احداث اسکله منطقه آزاد بندر انزلی و احتمال وقوع آن‌ها

Priorities with respect to:  
Goal: index weighting

probability	.086
intensity	.297
sensitivity	.617

Inconsistency = 0.00  
with 1 missing judgment.

شکل ۴. وزن‌های نهایی شاخص‌ها به منظور رتبه‌بندی ریسک‌ها

این ماتریس گزینه‌ها (ریسک‌ها) و در ستون‌ها شاخص‌هایی که گزینه‌ها بر اساس آنها رتبه‌بندی می‌شوند، قرار می‌گیرند. سپس ماتریس تصمیم‌گیری با ۱۰ ردیف (ریسک‌ها) با حرف A و ۳ ستون (شاخص‌ها) با حرف C تشکیل گردید. لازم است ارزش کلیه شاخص‌ها به صورت کمی وارد ماتریس مدل پیشنهادی شود. در پژوهش حاضر بر اساس روش‌های موجود، مقیاس عددی برای هر شاخص تعریف شده است. در نهایت با تعیین نسبی (C<sub>j</sub>) هر یک از گزینه‌ها، رتبه‌بندی ریسک‌های تهدیدکننده ناشی از احداث اسکله انجام شد که در جدول ۵ ارائه شده است.

نتایج حاصل از رتبه‌بندی ریسک‌های تهدیدکننده ناشی از احداث اسکله حاکی از آن است که افزایش کدورت و تغییر شکل بستر به ترتیب در رتبه‌های اول و دوم قرار دارند. آلودگی خاک و اختلال در زنجیره‌های غذایی از نظر اهمیت، در آخرین رتبه قرار دارند.

پس از تعیین اولویت ریسک‌های مخاطره‌آمیز ناشی از احداث اسکله با روش TOPSIS، جهت تعیین درجه

تعیین و وارد TOPSIS گردید پس از تعیین عدد اولویت ریسک جهت تعیین مخاطره پذیری، ریسک‌ها به صورت صعودی به نزولی مرتب می‌گردند و مولفه‌های تعداد رده و طول رده براساس رابطه (۱) و (۲) تعیین می‌گردند. در نهایت پس از اولویت‌بندی ریسک‌ها، اقدام‌های مدیریتی جهت تعدیل آنها ارائه گردید.

$$\text{رابطه (۱)} \quad n = \text{تعداد ریسک}$$

$$\text{تعداد رده} = 1 + 3.3 \text{Log}n$$

$$\text{رابطه (۲)}$$

کوچکترین مقدار ریسک - بزرگترین مقدار ریسک

$$\text{طول رده} = \frac{\text{کوچکترین مقدار ریسک} - \text{بزرگترین مقدار ریسک}}{\text{تعداد رده}}$$

### ۳- نتایج

پس از جمع‌آوری پرسش‌نامه‌ها، ۱۰ پیامد ناشی از عملیات احداث اسکله کاسپین مشخص شد. ریسک‌های تهدیدکننده منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. به منظور تعیین نمره احتمال ریسک‌های محیط زیستی تهدیدکننده، ساختار سلسله مراتبی ریسک‌ها رسم گردید.

به دلیل اینکه از نظر ریاضی احتمال وقوع هر پیامدی باید مقادیر کمی بین ۰ تا ۱ را به خود اختصاص دهد، با استفاده از این روش پس از وزن دهی و نرمالیزه کردن، احتمال وقوع ریسک‌ها بین ۰ و ۱ به دست آمد. در شکل ۳ نتایج شناسایی ریسک‌های ناشی از عملیات احداث اسکله منطقه آزاد بندر انزلی و احتمال وقوع آنها در سال ۹۳ نشان داده شده است.

جهت تجزیه و تحلیل ریسک‌ها با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS وزن شاخص‌ها را به صورت دستی وارد می‌شود. بدین منظور از روش تحلیل سلسله مراتبی برای به دست آوردن وزن‌های شاخص‌ها استفاده شد که نتایج آن در شکل ۴ ارائه شده است.

پس از به دست آوردن وزن شاخص‌ها اولین مرحله در TOPSIS تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری است. در ردیف‌های

جدول ۵. تعیین سطوح درجه مخاطره‌پذیری ریسک‌های مخاطره‌آمیز ناشی از احداث اسکله منطقه آزاد بندر انزلی

رتبه	$C_j$	ریسک‌ها	ردیف	رتبه	$C_j$	ریسک‌ها	ردیف
۷	۰/۶۰۵	افزایش تراز صوتی	A۶	۱	۰/۹۳۸	افزایش کدورت	A۱
۱۰	۰/۳۲۴	آلودگی خاک	A۷	۶	۰/۶۳۷	از بین رفتن زیستگاه آبزیان	A۲
۴	۰/۶۵۶	آلودگی هوا	A۸	۵	۰/۶۳۹	از بین رفتن زیستگاه موجودات کفزی	A۳
۲	۰/۸۹۸	تغییر شکل بستر	A۹	۸	۰/۳۸۴	اثر بر مهاجرت و تولید مثل	A۴
۹	۰/۳۳۷	اختلال در زنجیره های غذایی	A۱۰	۳	۰/۶۶۲	آلودگی آب	A۵

جدول ۶. رده‌بندی درجه مخاطره‌پذیری ریسک‌های احداث اسکله منطقه آزاد بندر انزلی

رتبه	$C_j$	ریسک‌ها	حدود رده	ردیف
۲	۰/۹۳۸	A۱ افزایش کدورت	-۰/۷۸۴۵	قابل توجه
	۰/۸۹۸	A۹ تغییر شکل بستر	۰/۹۳۸	
۴	۰/۶۳۹	A۳ از بین رفتن زیستگاه موجودات کفزی	-۰/۶۳۱ ۰/۷۸۴۵	متوسط
	۰/۶۳۷	A۲ از بین رفتن زیستگاه آبزیان		
	۰/۶۶۲	A۵ آلودگی آب		
	۰/۶۵۶	A۸ آلودگی هوا		
۱	۰/۶۰۵	A۶ افزایش تراز صوتی	-۰/۴۷۷۵ ۰/۶۳۱	قابل تحمل
۳	۰/۳۸۴	A۴ اثر بر مهاجرت و تولید مثل	-۰/۳۲۴ ۰/۴۷۷۵	جزئی
	۰/۳۳۷	A۱۰ اختلال در زنجیره‌های غذایی		
	۰/۳۲۴	A۷ آلودگی خاک		

متوسط بوده و دو مورد جزء ریسک‌های قابل توجه می‌باشد. بر اساس این جدول می‌توان اولویت‌های مدیریتی جهت کنترل ریسک‌ها را برنامه‌ریزی نمود.

#### ۴- بحث

روش‌های کاربردی مرسوم و معمول ارزیابی ریسک محیط‌زیستی در ایران به واسطه در نظر گرفتن چند معیار مشخص برای اثر، به نوعی چندمعیاره محسوب می‌شوند، ولی نکته مهم نحوه تلفیق معیارها براساس روش‌شناسی مشخص و در نهایت لحاظ کردن مجموعه معیارها است (خدابخشی، ۱۳۸۹).

مخاطره‌پذیری ریسک‌ها مولفه‌های تعداد رده و طول رده بر اساس رابطه‌های (۱) و (۲) تعیین می‌شود.

در این مطالعه بر اساس تعداد ریسک‌ها ( $n=10$ )، تعداد رده ۴ و طول رده بر اساس کمترین عدد ریسک (۰/۳۲۴) و بیشترین عدد ریسک (۰/۹۳۸)، ۰/۱۵۳۵ تعیین گردید.

سپس بر اساس میزان ( $C_j$ ) هر ریسک، ریسک‌ها در این رده‌ها قرار گرفتند. در جدول ۶ مخاطره‌پذیری ریسک‌ها بر اساس فراوانی ریسک در هر یک از چهار رده دسته‌بندی شده‌است.

نتایج حاصل از محاسبه‌های ریسک‌ها در رده‌های مختلف نشان داد که هشت ریسک، جزء ریسک‌های جزئی تا

نوسانات به سادگی در آب‌های مجاور پخش شده و باعث جابه‌جایی موقت منابع شیلاتی مانند کپورماهیان، سوف ماهیان، کفال ماهیان و ماهی کیلکا خواهد شد.

ایجاد مزاحمت برای ترافیک دریایی، آشفته‌گی بستر و ایجاد رسوبات معلق، و همچنین تغییر در کیفیت آب مواردی از اثرات کوتاه مدت لایروبی محسوب می‌شوند. از اثرات دراز مدت لایروبی می‌توان به تغییر باتیمتری بستر دریا، فرسایش ساحل، نفوذ شوری و تغییر ذخایر شیلاتی منطقه اشاره کرد.

عملیات لایروبی، می‌تواند به صورت دوره‌ای منجر به افزایش کدورت و مواد معلق آب در محدوده لایروبی شود. تخلیه مواد لایروبی شده با توجه به شدت و جهت باد می‌تواند محدوده‌ای به شعاع ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر را تحت تأثیر قرار دهد. در عین حال آزاد کردن مواد آلاینده رسوب به‌ویژه فلزات سنگین در آب، موجب کاهش کیفیت آب‌های ساحلی و نیز محل تخلیه می‌گردد (سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۸۵).

یکی از مهمترین پارامترهایی که در پروژه های لایروبی مورد توجه است اختلاط و آشفته‌گی بستر، معلق شدن رسوبات و ایجاد یک لکه مواد معلق در آب دریا می‌باشد. وضعیت قرارگیری و تغییر شکل لکه، سرعت حرکت آن و غلظت مواد معلق در آب باید تحت کنترل باشد. تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی رنگی که به وسیله هواپیما یا هلیکوپتر از محل تهیه می‌شوند اطلاعات کلی در مورد موقعیت لکه، جهت حرکت و تغییر ابعاد آن را به دست می‌دهد.

اندازه‌گیری‌های مستقیم به وسیله نمونه‌گیری از آب با دستگاه‌های سنجش آشفته‌گی یا وسایل پیشرفته‌تر صورت می‌گیرد. تجربیات به دست آمده نشان می‌دهد که غلظت مواد معلق در لکه لایروبی معمولاً از ۱۰ تا ۲۰ میلی گرم در لیتر بیشتر نیست. با توجه به ماسه‌ای بودن منطقه طرح ابعاد لکه لایروبی هنگام لایروبی ماسه معمولاً تا یک کیلومتری از محل لایروبی امتداد می‌یابد و با دور شدن از محل لایروبی غلظت مواد معلق سریعاً کاهش پیدا می‌کند

کاربرد تکنیک‌های چندمعیاره به منظور کمک به تصمیم‌گیری مناسب جهت کاهش و به حداقل رساندن پیامدهای منفی ناشی از فعالیت‌های خدماتی باید به عنوان یک اصل ذاتی در چارچوب ارزیابی ریسک مدنظر قرارگیرد (جعفرزاده حقیقی فرد و همکاران، ۱۳۹۲). همانطور که ذکر گردید هدف از انجام این مطالعه تجزیه و تحلیل ریسک‌های محیط زیستی احداث اسکله منطقه آزاد بندر انزلی است. برای دستیابی به این هدف، پس از مطالعه در زمینه روش‌های مختلف ارزیابی ریسک، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره از جمله تحلیل چندمعیاره و TOPSIS به دلیل آن‌که در مقایسه با سایر روش‌ها، عرصه بیشتری را به کاربر، برای وارد کردن عوامل محیط زیستی می‌دهد و اینکه امکان اولویت بندی ریسک‌ها را فراهم می‌نماید، به عنوان روش کار انتخاب شد.

یکی از مهمترین فعالیت‌های انجام شده در دوره ساخت اسکله، فعالیت لایروبی بستر دریا به منظور ایجاد کانال‌های دسترسی و حوضچه گردش کشتی‌ها می‌باشد. اختلاط و پراکنش رسوبات کف دریا باعث بروز اثرات مختلف محیط زیستی نظیر کاهش نفوذ نور خورشید و در پی آن مرگ و میر موجودات هوازی بستر دریا می‌گردد. بنادر در هنگام ساخت با تخلیه مقادیر متنابهی از خاک و سنگ و سایر فعالیت‌های ساختمانی باعث افزایش کدورت آب در مقیاس محدوده منطقه‌ای و زمانی فوق خواهند شد.

حفاری و لایروبی بستر دریا برای ساخت موج‌شکن، اسکله و یا سایر سازه‌های دریایی باعث دفن زیستگاه جانوران کف‌زی نرم تن و یا جابه‌جا شدن آن به همراه حیوانات و یا گیاهان منطقه مورد نظر می‌شود. همچنین افزایش کدورت آب به واسطه پراکنش رسوبات حیات ارگان‌های آبی در طی مراحل مختلف ساخت را به خطر خواهد انداخت. عملیات‌هایی نظیر شمع‌کوبی و سایر فعالیت‌های عمومی ساختمانی مستلزم انجام فعالیت‌هایی است که نوسان قابل توجهی تولید می‌کند. این صداها و



جدول ۷. برنامه اقدامات کاهش اثرات در فاز ساخت اسکله منطقه آزاد بندر انزلی

محیط اثرگذار	پی آمد	اقدامات اصلاحی
هوا	آلودگی و کاهش کیفیت هوا	<ul style="list-style-type: none"> <li>در حین عملیات خاکی از جمله تسطیح، خاکبرداری، دپوی خاک و محوطه سازی، با آب‌پاشی محل تا حد ممکن از پراکنش گرد و خاک جلوگیری شود.</li> <li>اجتناب از اجرای عملیات خاکی در روزهایی که باد شدید می‌وزد.</li> <li>رعایت سرعت مجاز وسایل نقلیه سنگین و سبک به‌منظور کاهش پراکنش ذرات گرد و غبار.</li> <li>خاموش کردن ماشین آلات مورد استفاده در مواقع غیرضروری و بهبود نوع سوخت</li> <li>تخلیه تدریجی مواد و مصالح ساختمانی به‌منظور کاهش پراکنش گرد و غبار</li> <li>تسریع در اجرای عملیات همراه با طراحی و انجام زمان بندی دقیق</li> </ul>
صدا	آلودگی صوتی	<ul style="list-style-type: none"> <li>استفاده از دیواره های صوت شکن در پیرامون محوطه اسکله</li> <li>ایجاد زمان بندی مناسب جهت اجرای فعالیت‌ها</li> <li>روغن کاری مرتب ماشین آلات و تجهیزات مورد استفاده</li> <li>رعایت استاندارد صدای مجاز تجهیزات در فاصله یک متری که حدوداً ۸۵ دسیبل می باشد.</li> </ul>
آب‌های ساحلی	آلودگی آب‌های ساحلی	<ul style="list-style-type: none"> <li>نظارت بر فعالیت لایروبی و اجتناب از برداشت بستر در مناطق غیرضروری که موجب کاهش حجم مواد لایروبی خواهد شد.</li> <li>استفاده از Silt curtain در هنگام لایروبی</li> <li>رعایت ضوابط فنی جهت جلوگیری از کدورت ناشی از جابه‌جایی کشتی یا پروانه کشتی</li> <li>رعایت مقررات مربوط به لایروبی و جلوگیری از اجرای لایروبی غیرضروری</li> <li>استفاده صحیح از دستگاه لایروب</li> <li>انجام عملیات لایروبی در زمانی که شدت جریان آب کم است</li> <li>عدم تخلیه گل و لای و رسوبات لایروبی در مکان‌هایی به غیر از محل‌های تعیین شده</li> <li>کاهش مدت زمان اجرای عملیات لایروبی و لای ریزی.</li> <li>برنامه زمان بندی فعالیت‌های ساختمانی تا حد ممکن در فصول کم باران در نظر گرفته شود</li> <li>دسترسی راحت تر کارگران به سیستم های بهداشتی در فاز ساختمانی مدنظر قرار گرفته</li> <li>استفاده از روش‌های مناسب شمع‌کوبی، لایروبی، برنامه‌ریزی مناسب در فرآیندهای خاکریزی و خاکبرداری</li> <li>محدود نمودن عملیات لایروبی در طول دوره‌های بحرانی جانداران مانند: مهاجرت، تولیدمثل، تخم ریزی و پرورش نوزادان نیز در زمان صید گونه‌های تجاری مهم</li> <li>نظارت بر تعداد دفعات تخلیه مواد لایروبی به‌منظور پیشگیری کردن از تخلیه غیر مجاز و عدم تخریب مناطق حساس زیستی</li> </ul>
آب‌های زیرزمینی	آلودگی و کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی	<ul style="list-style-type: none"> <li>پایش سطح ایستابی آب.</li> <li>اگر سطح آلودگی در حد بحرانی باشد امکانات تصفیه بهداشتی برای کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی ضروری است</li> <li>پوشاندن رسوبات آلوده با سرپوش و کاهش انتشار آلودگی رسوبات لایروبی شده به آب‌های زیر زمینی</li> </ul>
خاک	پسماند تولیدشده و آلودگی خاکی	<ul style="list-style-type: none"> <li>اجتناب از انجام خاکبرداری بیش از حد</li> <li>اجرای طرح عملیاتی به‌منظور تثبیت مکانیکی یا شیمیایی خاک جهت کاهش فرسایش خاک در سطح منطقه.</li> <li>دقت در عملیات خاکبرداری و خاکریزی در محل، به‌طوری که کمترین میزان خاک پراکنده و کمترین فرسایش حاصل شود.</li> <li>جهت کاهش پی آمدهای منفی عملیات برداشت نسبت به احیاء محل برداشت پس از پایان یافتن اقدام شود.</li> <li>ایجاد ایستگاه‌های موقت مناسب جهت جمع آوری مواد زائد جامد تولید شده در سایت.</li> <li>به تعداد مناسب مخزن جهت جمع‌آوری و نگهداری این مواد چون روغن‌های سوخته و مواد سوختی وسائط نقلیه سنگین و ماشین آلات ساختمانی در سطح خاک در کارگاه‌های مستقر در بندر، در نظر گرفته شود.</li> <li>جلوگیری از ریخت و پاش رنگ، براده آهن، گریس و قیر و سایر مواد در محوطه بندر.</li> <li>دفع جداگانه ضایعات صنعتی نظیر پلی اتیلن و ...</li> <li>تخلیه رسوبات آلوده در گودال‌های بستر دریا به درپوش ماسه‌ای</li> <li>دفن در گودال‌های طبیعی یا لندفیل‌ها</li> <li>تثبیت و جامدسازی</li> <li>کاشت گونه‌های گیاهی مناسب از جمله گونه‌های پوشش‌دهنده مانند چمن و گونه‌های ساحلی به‌منظور کاهش فرسایش در مناطقی که محوطه سازی نشده</li> </ul>

(پاک و علیایی، ۱۳۸۱).

احتمال وقوع می‌باشد. هم چنین در این مطالعه اولویت‌بندی ریسک‌ها با استفاده از روش TOPSIS صورت گرفت. این روش با بهره‌گیری از نتایج کارشناسان قابلیت رتبه‌دهی بی‌نهایت ریسک براساس بی‌نهایت شاخص را دارا می‌باشد و نتایجی نزدیک به واقعیت ارائه می‌دهد. نتایج اولویت‌بندی ریسک‌ها نشان می‌دهد بیشترین میزان ریسک مربوط به افزایش کدورت، تغییر در بستر و آلودگی آب به ترتیب با ۰/۹۳۸، ۰/۸۹۸ و ۰/۶۶۲ می‌باشد. که همه این ریسک‌ها عمدتاً در نتیجه فعالیت لایروبی که از مهمترین فعالیت‌های ساخت اسکله است، اتفاق می‌افتد.

## ۶- منابع

- اللهیاری، تیمور. (۱۳۸۴) "آنالیز خطر و ارزیابی ریسک در فرآیندهای شیمیایی"، انتشارات فن آوران ۶۴ص.
- ابراهیمیان دهاقانی، مهتاب و خادمی مال امیری، محمد امین. (۱۳۸۹) "ارزیابی و الویت بندی ریسک واحد مصارف صنعتی تصفیه خانه آب اهواز با استفاده از روش تطبیقی تصمیم‌گیری چند معیاره و TOPSIS با مدل HAZOP و ارائه راهکارهای کنترل و بهبود"، پنجمین همایش ملی بحران‌های زیست محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن‌ها، اهواز.
- افزاره، عباس و ناصریان، مرتضی، (۱۳۸۴) "اولویت بندی پروژه‌های توسعه راه آهن بر مبنای یک الگوریتم تصمیم‌گیری چند معیاره"، دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه.

- اصغری‌پور، محمد جواد. (۱۳۸۷) "تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره"، چاپ ششم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- آندون پطروسیناس، هستی، دانه کار، افشین، اشرفی، سهراب. (۱۳۹۲) "کاربرد روش دلفی در الویت‌بندی

مواد شیمیایی مورد استفاده در حین مرحله ساخت مانند مواد شیمیایی پاک‌کننده به صورت حاد یا مزمن بر ماهیان و سخت پوستان اثر گذاشته و با چسبیدن به تخم‌ها، کاهش نرخ بقا و ایجاد تاخیر در رشد و در پایان منجر به مرگ و میر می‌شوند.

با توجه به نزدیکی این منطقه با تالاب بین‌المللی انزلی به عنوان نوزادگاه و چراگاه ماهیان از یک سو و نزدیکی به دهانه رودخانه سفیدرود که به جرات از مهمترین رودخانه‌های حاشیه جنوبی دریای خزر می‌باشند و مهاجرت ماهیان خاویاری و استخوانی جهت تغذیه و تولید مثل به این منطقه صورت می‌گیرد، باید دقت شود تا مسایل ایمنی و بهداشتی به خوبی رعایت و از رهاسازی مواد شیمیایی سمی در طی دوره‌ها و پرودهایی که محیط توسط گونه‌های مهاجر استفاده می‌شود ممانعت نمود.

لایروبی موجب تغییر قابل توجه در وضعیت بوم‌شناختی بستر دریا شده و محل تغذیه طبیعی گونه‌های مختلف ماهیان را نابود می‌سازد. این امر می‌تواند موجب مهاجرت ماهیان و تغییر ذخایر شیلاتی منطقه شود.

آلودگی صوتی ناشی از کار و تردد وسایل نقلیه ماشینی هنگام عملیات خاکریزی، خاکبرداری و انتقال مواد و انجام فعالیت‌های ساختمانی اعم از خاکریزی، خاکبرداری و ساخت تأسیسات در هنگام عملیات احداث بنادر از انواع اثرات نامطلوبی است که هنگام احداث و توسعه بنادر به صورت موقتی مشکل‌آفرین خواهند شد. در جدول (۷) برنامه اقدامات کاهش اثرات احداث اسکله ارائه شده است.

## ۵- نتیجه‌گیری

بررسی احتمال وقوع ریسک‌های ایجاد شده (شکل شماره ۳) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی نشان داد به ترتیب افزایش کدورت آب با وزن نهایی ۰/۲۳۴ و آلودگی آب با وزن نهایی ۰/۲۲۶ دارای بیشترین احتمال وقوع و آلودگی هوا با وزن نهایی ۰/۰۲۳ دارای کمترین

چند معیاره Simple-Additive-Entropy و Weighting Method در ارزیابی ریسک محیطی لایروبی اسکله‌های بندر امام خمینی (ره)، دو ماهنامه علمی-پژوهشی جنتاشاپیر.

- جوزی، سید علی و شفیعی، محسن، (۱۳۸۸) "تجزیه و تحلیل ریسک‌های محیط زیستی منطقه حفاظت شده حله بوشهر با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)"، پژوهش‌های مجله علوم و فنون دریایی ۴ (۳): ۲۱-۳۶.

- جوزی، سید علی و اسماعیلی ثابت رودسری، ثوره، (۱۳۸۸) "ارزیابی ریسک زیست محیطی سد سفارود در مرحله بهره برداری به روش تصمیم‌گیری چند معیاره"، دومین کنفرانس بین‌المللی سلامت، ایمنی و محیط زیست.

- جوزی، سید علی، حسینی، سید محسن، خیاط زاده، علیرضا، طیب شوشتری، مهرنوش، (۱۳۸۹) "تجزیه و تحلیل ریسک‌های فیزیکی سد بالارود خوزستان در مرحله ساختمانی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه"، محیط‌شناسی، ۵۶: ۲۵-۳۸.

- قدسی پور، سید حسن، (۱۳۸۹) "فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)"، چاپ هشتم، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

- سازمان مدیریت و برنامه ریزی، (۱۳۸۵) "آیین نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران ۱۰-۳۰۰ ملاحظات محیط زیستی".

- رحیمی بلوچی، لیلا و ملک محمدی، بهرام، (۱۳۹۰) "ارزیابی ریسک محیط زیستی تالاب بین‌المللی شادگان به منظور ارائه راهکارهای مدیریتی"، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، رشته برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.

معیارهای انتخاب عرصه‌های مناسب توسعه جنگل‌های مانگرو (مطالعه موردی: جنگل‌های حرا) ف محیط زیست و توسعه، ۴(۷): ۳۷-۴۸.

- پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی (۱۳۹۱) "گزارش ارزیابی اثرات محیط زیستی طرح مجتمع بندری کاسپین منطقه آزاد انزلی".

- پاشایی زاده، حسین، (۱۳۸۶) "نگاهی اجمالی به روش دلفی"، پیک نور، ۶(۲): پ.

- پاک، علی و نوروز علیایی، محمد، (۱۳۸۱) "پروژه‌های لایروبی در ایران و چگونگی مدیریت محیط زیستی مواد لایروبی شده"، پنجمین همایش بین‌المللی سواحل بنادر و سازه‌های دریایی.

- خدابخشی، بهناز و جعفری، حمیدرضا، (۱۳۸۹) "بررسی کاربرد مدل دسته بندی چند معیاره Electer-TRI در تعیین اهمیت آثار زیستی (مطالعه موردی: ارزیابی آثار محیط زیستی طرح سد و شبکه آبیاری - زهکشی اردبیل"، پژوهش‌های محیط زیست، ۱(۲): ۳۱-۴۲.

- جوزی، سید علی و صفاریان، شبنم، (۱۳۹۰) "تجزیه و تحلیل ریسک‌های محیط زیستی نیروگاه گازی آبادان با استفاده از روش TOPSIS"، مجله محیط‌شناسی، ۳۷(۵۸): ۶۶-۵۳.

- جان قربان، شیوا، (۱۳۸۷) "ارزیابی و مدیریت ریسک محیط زیستی مناطق حساس اکولوژیک با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره- مطالعه موردی، منطقه حفاظت شده موند"، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد رشته مدیریت محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد علوم و تحقیقات اهواز.

- جعفر زاده حقیقی فرد، نعمت‌الله، بقال، محمد، قائد رحمت، زینب، (۱۳۹۲) "کاربرد تکنیک تصمیم‌گیری

آزاد اسلامی واحد اهواز ۳ (۹): ۳-۱۴.

- Heller, S., (2006) "Managing Industrial Risk -having a Tasted and Proven System to Prevent and Assess Risk, Journal of Hazardous Material". 130(17): 58-63.
- Neil, E., Pritchard, J.,( 2004) "0Proceedings of the Ascaad International Conference on Design in Architecture Dhahaea", month day, Saudi Arabia.
- Cahyani, S., (2003) "Risk Management Strategy of Power Generation of PT -Indonesia Power". ISAHP. 7:PP.7-9.
- Zayed, T., Amer, M., Jiayin, P., (2008) " Assessing risk and inherent in Chinese highway project using AHP". Project Management. 26: 408-419.
- Jaafarzadeh, N., Hesampour, N., Makvandi, M R., (2012) " Environmental risk assessment of Landfill drilling disposal using AHP and EFMEA (Case study: Mansouri oil field)", International Society for Environmental Epidemiology East Asia Chapter (ISEE - EAC). Kuala Lumpur, Malaysia.

- مکوندی، رقیه، آستانی، سجاد.، انوشه، زهرا، (۱۳۹۱) "ارزیابی ریسک محیط زیستی تالاب‌ها با استفاده از روش‌های TOPSIS و EFMEA (مطالعه موردی: تالاب شیرین سو در استان همدان)"، فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز.
- میرجلیلی، س.ع.، (۱۳۸۸) "اصول و مبانی ارزیابی و مدیریت ریسک در محیط زیست"، جلد اول، اندیشمندان یزد.
- مومنی، منصور، (۱۳۸۷) "مباحث نوین تحقیق در عملیات"، چاپ دوم، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.
- لاری بقال، سید محمد، جعفرزاده حقیقی فرد، نعمت الله، رفیعی، محمود، (۱۳۹۰) "کاربرد EFMEA در ارزیابی ریسک زیست محیطی: مورد کاوی لایروبی اسکله های بندر امام خمینی"، فصلنامه تالاب - دانشگاه