Original Article

Developing a Bayesian Network Model for Environmental Risks of the Caspian Sea Breakwater in Bandar Anzali

Hamid Sarkheil,[1*] Ahmad Khobraftar Shalkohi,[2] Ziauddin Almasi[2]

[1] Department of Mineral Processing and Mining Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

[2] Department of Human Enviornment, College of Environment, Department of Environment (DOE), Tehran, Iran

Received: 2024.04.23 Accepted: 2024.05.27

Introduction: Managing the environmental risks associated with marine installations, such as the breakwaters of the Caspian Sea, plays a critical role in mitigating potential hazards and ensuring sustainable development. The Caspian Sea, being a unique and environmentally sensitive region, faces significant ecological risks due to construction and operational activities related to breakwaters. This study aims to model and analyze the environmental risks specifically related to the breakwater located in the Caspian Port. By comprehensively identifying the various activities and processes during both the construction and operation phases, this research seeks to uncover potential hazards and damaging factors. The ultimate objective is to provide a framework for preventing or minimizing these risks, thus contributing to the long-term environmental sustainability of the region.

Material and Methods: In this research, the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) method was employed to evaluate the environmental risks. FMEA is a widely used risk assessment tool that helps in determining the severity, likelihood of occurrence, and the detectability of risks. Expert opinions were collected to assess these factors for each identified risk. Following this evaluation, the risk priority number (RPN) was calculated, which helped identify the critical risks requiring immediate attention. The highest RPN for non-human-related risks was 384, while for human-related risks, it was 126. These priority levels were further analyzed using Bayesian networks through the Netica software, a tool known for its efficiency in modeling risk interdependencies. By integrating the frequency of risk occurrence and their interrelated effects, the study aimed

* Corresponding Author Email Address: sarkheil@ut.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1389

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

to deliver a comprehensive analysis of the critical environmental risks associated with the Caspian Sea breakwater.

Results and Discussion: The analysis of human-related risks revealed that skin damage posed the highest risk, with a quantitative value of 0.167. Direct auditory impairments were less significant, with a value of 0.004, while indirect human risks included soil pollution (0.125) and noise pollution (0.004). These findings indicate that while direct physical harm to individuals may not be highly prevalent, indirect risks, especially related to environmental degradation, hold substantial importance. On the other hand, in the category of non-human-related risks, the most critical hazard was identified as the depletion of natural resources due to mining activities, with a high quantitative value of 0.764. Water pollution (0.224) and the use of hazardous substances (0.024) were also identified as key risks impacting the environment. The Bayesian network analysis effectively highlighted the interconnections between these risks, revealing how the occurrence of one risk could amplify others, demonstrating a web of interdependent risk factors.

Conclusion: The results underscore the significance of understanding the interdependence of risks when addressing environmental challenges in marine construction projects. The use of Bayesian networks in this study clearly demonstrated the mutual influence between different risk factors, emphasizing the need for an integrated risk management approach. By identifying critical risks and understanding their interdependencies, decision-makers can implement targeted and localized solutions to mitigate these risks.

Keywords: Breakwater, Caspian Port, Bayesian Networks, Netica

How to cite this article: Sarkheil, H., Khobraftar Shalkohi, A. and Almasi, Z., 2024. Developing a Bayesian Network Model for Environmental Risks of the Caspian Sea Breakwater in Bandar Anzali. Environ. Sci. 22(4): ……??……

نسخه پیش انتشار

مقاله پژوهشی

توسعه مدل شبکه بیزین برای ریسک‌های محیطی موج‌شکن کاسپین بندرانزلی

حمید سرخیل[1*]، سید احمد خوبرفتار شالکوهی[2]، ضیاءالدین الماسی[2]

[1] گروه آموزشی فراوری و محیط زیست معدنی، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[2] گروه آموزشی محیط زیست انسانی، دانشکده محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۲/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۷

سابقه و هدف: مدیریت ریسک‌های زیست‌محیطی ناشی از تأسیسات دریایی نظیر موج‌شکن‌های دریای خزر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این تأسیسات در مناطقی حساس مانند دریای خزر، که یک اکوسیستم منحصر به فرد و بسیار آسیب‌پذیر دارد، می‌تواند منجر به تخریب محیط زیست و به خطر افتادن منابع طبیعی و سلامت انسانی شود. بنابراین، شناسایی و ارزیابی دقیق این ریسک‌ها و ارائه راهکارهای پیشگیرانه و کاهشی از اهمیت بالایی برخوردار است. پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی و تحلیل ریسک‌های زیست‌محیطی موج‌شکن کاسپین در بندر کاسپین انجام شده است. هدف این پژوهش، یافتن راه‌هایی برای پیشگیری و کاهش خطرات زیست‌محیطی ناشی از این سازه‌های دریایی و دستیابی به راهکارهای محلی برای کنترل ریسک‌های مرتبط است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از روش تحلیل حالات شکست و اثرات آن (FMEA) برای ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی استفاده شده است. این تکنیک به محققان امکان می‌دهد تا شدت خطر، احتمال وقوع و احتمال کشف هر ریسک را با دقت بیشتری بررسی و رتبه‌بندی کنند. برای تکمیل داده‌های این تحلیل، از نظرات متخصصان و کارشناسان حوزه‌های مرتبط استفاده شده است. پس از جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها، نمره ریسک هر یک از عوامل شناسایی شده محاسبه شد و ریسک‌های بحرانی تعیین گردیدند. بالاترین ضریب اولویت در ریسک‌های غیر وابسته به انسان ۳۸۴ و در ریسک‌های وابسته به انسان ۱۲۶ بود. این اولویت‌ها به همراه فراوانی وقوع

* Corresponding Author Email Address: sarkheil@ut.ac.ir

DOI: 10.48308/envs.2024.1389

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نسخه پیش انتشار

آن‌ها در نرم‌افزار Netica و شبکه‌های بیزین برای مدل‌سازی دقیق‌تر ریسک‌های بحرانی وارد شدند. استفاده از شبکه‌های بیزین به تحلیل روابط متقابل بین ریسک‌ها و شناسایی وابستگی‌های پیچیده آن‌ها کمک کرد.

نتایج و بحث: نتایج حاصل از تحلیل‌ها نشان می‌دهد که در بین ریسک‌های وابسته به انسان، آسیب‌های پوستی با ارزش کمی ۰.۱۶۷ بالاترین خطر را تشکیل می‌دهند. علاوه بر این، آسیب‌های شنوایی به‌طور مستقیم با ارزش کمی ۰.۰۰۴ و آلودگی خاک با ارزش کمی ۰.۱۲۵ و آلودگی صوتی با ارزش کمی ۰.۰۰۴ به عنوان ریسک‌های غیرمستقیم بر سلامت انسان تأثیر می‌گذارند. این نتایج نشان می‌دهد که آلودگی خاک و آلودگی صوتی به عنوان ریسک‌های غیرمستقیم اثرات بیشتری بر سلامت انسان دارند. در بخش ریسک‌های غیر وابسته به انسان، استفاده از مواد ناریه با ارزش کمی ۰.۰۲۴، آلودگی آب با ارزش کمی ۰.۲۲۴ و تخریب منابع طبیعی ناشی از استخراج و تأمین مصالح از معادن قرضه با ارزش کمی ۰.۷۶۴ از بحرانی‌ترین ریسک‌ها شناسایی شدند. تحلیل‌های بیزین نشان داد که وابستگی متقابل بین ریسک‌ها به‌طور واضحی قابل مشاهده است؛ به‌طوری که برخی از ریسک‌ها منجر به افزایش یا کاهش احتمال وقوع سایر ریسک‌ها می‌شوند.

نتیجه‌گیری: تحلیل‌های بیزین به‌طور مؤثری نشان داد که چگونه وابستگی بین ریسک‌ها و تأثیرات متقابل آن‌ها می‌تواند منجر به پیچیدگی بیشتر در مدیریت ریسک‌های زیست‌محیطی شود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های پیشرفته مانند شبکه‌های بیزین در تحلیل ریسک‌های زیست‌محیطی برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و مدیریت جامع‌تر ضروری است. به گونه ای که این مدل‌ها نه تنها به شناسایی و تحلیل ریسک‌های بحرانی کمک می‌کنند، بلکه امکان پیش‌بینی و کنترل بهتر ریسک‌ها را نیز فراهم می‌آورند.

واژه‌های کلیدی: موج‌شکن، بندر کاسپین، شبکه‌های بیزین، نتیکا

استناد به این مقاله: سرخیل، ح.، س.ا. خوبرفتار شالکوهی و ض. الماسی. ۱۴۰۳. توسعه مدل شبکه بیزین برای ریسک‌های محیطی موج‌شکن کاسپین بندرانزلی. فصلنامه علوم محیطی. ۲۲(۴): ....؟؟.....

نسخه پیش انتشار

مقدمه

همگام با توسعه فنی و اقتصادی مناطق ساحلی که برای دوام و توسعه حیات اجتماعی و اقتصادی کشور امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است، حفظ و ثبات محیط‌زیست این مناطق که دارای ارزش بالای ملی هستند نیز از اهمیت بسیار بالایی برخوردار هست. به جرات می‌توان گفت رونق تجارت جهانی درگرو توسعه حمل و نقل دریایی است؛ بنابراین می‌توان گفت تأسیسات ساحلی نقشی حیاتی و اساسی در معادلات سیاسی، اقتصادی و لجستیکی کشور دارند (Kolyvand, 2015). در سال‌های اخیر ساخت و توسعه بندرها و سازه‌های ساحلی همچون احداث موج‌شکن‌ها همواره در برنامه‌های توسعه کشور مورد توجه قرار داشته است. موج‌شکن‌ها سازه‌هایی هستند که جهت ایجاد آرامش در بندرگاه، برای تأمین ورود مطمئن کشتی‌ها به آبراهه‌ها و بنادر، کاهش انرژی ناشی از امواج و حفاظت از سواحل در مقابل امواج احداث می‌شوند. موج‌شکن‌ها از دیدگاه‌های مختلف ازجمله شکل هندسی، مصالح بکار برده شده و موقعیت قرارگیری به انواع مختلف دسته‌بندی می‌شوند. از میان انواع موج‌شکن‌ها به لحاظ شکل هندسی و مصالح به‌کاربرده شده، موج‌شکن‌های توده سنگی از متداول‌ترین انواع آن‌ها می‌باشند (Zolfaghari and Torang, 2016). احداث سازه‌های ساحلی مانند موج‌شکن‌ها و فعالیت‌های مختلف بندری در کنار آن‌ها به‌طور بالقوه بر منابع محیط‌زیست دریایی و انسانی تأثیر می‌گذار. برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد[1] (UNEP) مجموعاً تعداد ۱۳ منطقه دریایی که دارای شرایط خاص اکولوژیک است را انتخاب کرده که می‌بایست مقررات و ضوابط خاصی برای حفاظت از محیط‌زیست این مناطق به اجرا درآید. یکی از این ۱۳ منطقه، دریای خزر است که به‌عنوان منطقه حساس و آسیب‌پذیر در مقابل آلاینده‌های مختلف شناخته شده است(Iranian Ports and Marine Structures, 2021). برای رسیدن به این هدف یکی از گام‌های اساسی تحلیل و ارزیابی ریسک است. ترکیبی از احتمال یا تکرار رخداد یک خطر معین و بزرگی (پیامدهای) آن رخداد را ریسک می‌گویند(Joozi *et al*, 2014). ریسک با عدم قطعیت متفاوت است و رابطه نزدیکی مابین ریسک و عدم اطمینان وجود دارد لیکن این رابطه یک‌جانبه است.ریسک امری عینی و حالتی از واقعیت دنیای خارج از ذهن ما است درحالی‌که عدم اطمینان امری ذهنی است (De Groot and Thurik, 2018). با تحلیل و ارزیابی ریسک می‌توان نقاط ضعف سیستم را از بعد مخاطرات محیط‌زیستی شناسایی نموده و برای آن‌ها راهکارهای مناسب در فرآیند مدیریت ریسک برای کاهش اثرات نامطلوب ارائه داد. هدف از مدیریت ریسک پروژه، برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی، هدایت و کنترل فعالیت‌ها و یک پروژه است به‌گونه‌ای که اثرات مثبت فرصت‌ها بیشینه و اثرات منفی تهدیدها کمینه گردد. نشریه انستیتو مدیریت پروژه، مدیریت ریسک را فرآیند سیستماتیک شناسایی کردن، تجزیه‌وتحلیل کردن و

نسخه پیش انتشار

عکس‌العمل نشان دادن به ریسک پروژه تعریف می‌کند (Qazi *et al.*, 2016). مطالعه ماهیت نحوه توزیع مخاطرات و شناسایی ریسک‌های مرتبط با آن‌ها و اتخاذ استراتژی‌هایی به‌منظور کاهش این ریسک‌ها و کاهش تهدیدات حیات و دارایی‌های انسان و محیط‌زیست از اهم مسئولیت‌های یک مدیر و برنامه‌ریز محیط‌زیست است (Lein, 2008).

با پیش‌بینی، تقلیل اثرات سوء و مدیریت صحیح ریسک می‌توان از درجات خطر به منظور کاهش پتانسیل آسیب‌رسانی بر محیط‌زیست کاست (Eldin and Eldrandaly, 2004). ارزیابی و مدیریت ریسک محیط‌زیستی، ارزیابی کمی و کیفی ریسک‌های محیط‌زیستی و انسانی ناشی از تماس با عوامل خطرناک شیمیایی و فیزیکی است. ارزیابی ریسک یک سایت معین به معنی مشخص نمودن تهدیدات بالقوه و موجود سایت است که ممکن است در تماس با سلامتی انسان و محیط‌زیست باشد و از طریق انتقاد آلودگی‌ها در آب‌های زیرزمینی و یا سطحی، آلودگی هوا، آب شویی خاک، انباشت در زنجیره‌های غذایی و موارد دیگری که عناصر و فرآیندهای محیط در معرض تهدیدات قرار بگیرد، صورت می‌گردد (kibria and Water, 2012). به‌منظور دستیابی به یک‌راه حل جامع برای بررسی مسائل پیچیده‌ای چون ارزیابی ریسک محیط‌زیستی ادغام روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و شبکه‌های بیزین می‌تواند از کارایی بالایی برخوردار باشد. توسعه اخیر در کاربرد شبکه‌های بیزین در ارزیابی ریسک‌های اکولوژیکی، علیرغم پیچیدگی ذاتی موجود در اکوسیستم، سبب پیشرفت در مدیریت بهتر اکوسیستم شده است. شبکه‌های بیزین قادر به بررسی اثرات عوامل استرس‌زا در محیط‌های پیچیده می‌باشند (Anonymous, 2023). شبکه‌های بیزین در سال‌های اخیر در مهندسی آب و محیط‌زیست کاربردهای موفقی داشته‌اند. به‌عنوان اولین مطالعات در مهندسی آب و محیط‌زیست از شبکه‌های بیزین در مسائل بهینه‌سازی چند هدفِ استفاده‌شده است و توضیحاتی در مورد کاربرد آن در مدیریت منابع آب و محیط‌زیست ارائه‌شده است (Anonymous, 2021). بور ساک و همکاران در سال ۲۰۰۴، از شبکه بیزین برای توسعه مدل ایتروفیکاسیون رودخانه نیوز در کارولینای شمالی بهره جسته است (Borsuk *et al.*, 2004). همچنین شبکه بیزینی برای ارزیابی ریسک جامعه ماهیان بومی موجود در حوضه آبریز گلبم استرالیا توسط پولینو و همکاران توسعه‌یافته است. در این شبکه مطلوبیت زیستگاه ماهیان بومی در محیط استرس‌زا موردتوجه قرارگرفته است (Pollino and Hart, 2008). در سال ۲۰۰۴ واتهایو و همکارانش در مقاله‌ای با عنوان یک شبکه بیزی برای تصمیم‌گیری چند معیارِ به حل مسائل تصمیم‌گیری در ساختار شبکه‌های بیزین پرداختند. در مطالعه آن‌ها گره مطلوبیت معرف اهداف، گره تصمیم معرف گزینه‌ها و گره‌های احتمالی معرف معیارها، زیر معیارها و فاکتورهای داخلی و خارجی هستند. در این مطالعه آن‌ها به بررسی و ادغام روش‌های تصمیم‌گیری چند معیارِ و شبکه‌های بیزین پرداختند

نسخه پیش انتشار

(Watthayu and Peng, 2004). جولی و جای لی از شبکه‌های بیزین برای تعیین ریسک‌های احتمالی در از بین بردن زباله‌های هسته‌ای استفاده کردند و بیان کردندکه شبکه‌های بیزین روش مناسبی برای ارزیابی ریسک در شرایط عدم قطعیت هست (Lee and Lee, 2006). گیبس و مارک به ارزیابی ریسک توسعه کشت آبی دریکی از بزرگ‌ترین تالاب‌های نیوزیلند واقع در میراندا با استفاده از شبکه بیزین پرداختند. هدف اصلی از انجام این مطالعه استفاده از اطلاعات موجود برای بررسی ریسک‌های ناشی از فعالیت‌های کشت آبی و حفاظت از زیستگاه بود (Gibbs, 2004). جان و همکارانش از شبکه‌های بیزین برای تعیین سازگاری‌ها و تمارض بین توسعه و حفاظت از لندسکیپ ها استفاده کردند (Mccloskey and Cronan, 2011). کیوو و همکارانش ارزیابی ریسک اکولوژیکی ناشی از آفت‌کش‌ها واردشده به تالاب تیهو در چین را انجام دادند. در این تحقیق ریسک‌های اکولوژیکی ناشی از ورود هشت نوع آفت‌کش مورد شناسایی و ارزیابی قرار گرفت که درنتیجه آن تعیین شد که علف هرز کش ها تأثیر زیادی بر روی پوشش گیاهی تالاب خصوصاً جلبک‌ها دارند (Qu *et al.*, 2011). آیر و همکارانش روش بیزین را برای ارزیابی ریسک اکولوژیکی بخش بالای آبخیز گرند راوند به کاربردند و استفاده از مدل شبکه بیزین را برای ارزیابی ریسک اکولوژیکی به‌منظور بررسی اثرات احتمالی ناشی از آتش‌سوزی، فعالیت‌های مدیریت جنگل و شیوع بیماری‌های حشرات بر روی زیستگاه‌ها و منابع ارائه دادند (Anonymous) .گرینرو همکارانش مدل‌های گرافیکی و شبکه بیزین را برای مدل‌سازی ریسک و در ارزیابی ریسک‌های میکروبیولوژیکی استفاده کردند. مدل‌های کمی ارزیابی ریسک میکروبیولوژیکی برای نشان دادن دانش سناریوهای پیچیده دنیا واقعی در انتشار خطرات میکربیولوژیکی در طول تغذیه و زنجیره‌های غذایی به‌کاربرده می‌شود (Greiner *et al.*, 2013). شانگ در مقاله‌ای به ارزیابی ریسک اکولوژیکی احداث سد برق‌آبی بر گونه‌های آبزی رودخانه لانچانگ در جنوب غربی چین بر اساس مدل اشیپو پرداخت. داده‌های مورداستفاده در این مدل بر اساس بررسی پستره پلانکتون ها، زئوپلانکتون ها و ماهی‌ها در هشت قسمت رودخانه قبل و بعد از احداث برق‌آبی بوده است. احداث سد به دلیل تغییرات شرایط هیدرولوژیکی، خطری قطعی برای آبزیان به‌خصوص ماهیان محسوب می‌شود. مدل به کار گرفته‌شده در این مطالعه برای بررسی تغییرات گونه‌های آبزی شاخص ازجمله گونه‌های در معرض خطر انقراض مناسب هست. بر اساس نتایج حاصل از مدل آن‌ها گونه‌های بومی رودخانه در معرض ریسک اکولوژیکی بالا بوده و نیاز به اقدامات حفاظتی دارند تا از کاهش و خطر انقراض آن‌ها جلوگیری به عمل آید (Li *et al.*, 2013). احسانی مقدم و همکارن در مقالاتی با استفاده از تجزیه و تحلیل مبتنی بر قابلیت اطمینان، رویکرد احتمالی را برای پیش‌بینی نیروی موج روی موج شکن کیسون بر اساس رگرسیون بیزی و داده‌های تجربی ارایه دادند

(Ehsani *et al.*, 2021 & 2022). Pham *et al.* (2024)، تجزیه و تحلیل شبکه بیزی برای دینامیک خطوط ساحلی، کیفیت آب ساحلی و خطرات مرتبط با آنها در منطقه ساحلی ونیز، ایتالیا را بررسی کردند. نتایج نشان می دهد که تغییرات در ارتفاع سطح دریا و ارتفاع موج ممکن است به طور قابل توجهی احتمال فرسایش را افزایش دهد. علاوه بر این، با تغییر جهت موج، متغیرهای کیفیت آب تغییرات قابل توجهی را در کلاس پرخطر نشان می‌دهند. نتیجه این مطالعه اجازه داد تا سناریوهای خطر ساحلی فعلی و آینده را شناسایی شوند. Jung *et al.* (2021) بررسی خطر ترکیبی افزایش سطح دریا و افزایش طوفان با استفاده از مدل شبکه بیزیرا در کاربرد دیوار دریایی (Saemangeum) بررسی کردند. در این مقاله حالت‌های شکست مختلف برای دیوار دریایی شناسایی شد و حالت شکست انتخاب شده سپس به گره‌ها در چارچوب شبکه بیزی ترجمه می‌شود. با محاسبه معادله حالت حدی که از مجموعه ای از متغیرهای تصادفی تشکیل شده است، احتمال شکست به صورت کمی برآورد شد. علاوه بر این، یک مدل شبکه‌بیزی را برای ارزیابی تأثیر ریسک ترکیبی مرتبط با فرسایش پوشش دیواره دریا از افزایش سطح دریا که توسط سناریوهای تغییرات آب و هوایی اطلاع‌رسانی شده است، بررسی شد(Banan *et al.*, 2023). در پژوهشی استفاده از شبکه بیزی برای ارزیابی خطر سیل ناشی از طوفان و اثربخشی اقدامات کاهش خطر مبتنی بر اکوسیستم در مناطق ساحلی بندر سوردر عمان را بررسی کردند (Banan *et al.*, 2023). Durap *et al.* (2023) در پژوهش خود یک مدل ریسک بیزی یکپارچه برای اسلایدهای جریان ساحلی با استفاده از حمل و نقل هیدرودینامیکی سه بعدی و شبیه سازی مونت کارلو ارایه داد. Garzon *et al.* (2023) در سال۲۰۲۳ توسعه یک سیستم هشدار اولیه مبتنی بر شبکه های بیزی برای سیل ناشی از امواج را بررسی کردند . Hardy and Wu (2020) با استفاده از تجزیه و تحلیل بیزی چند سطحی، تأثیر روش‌های مختلف بازسازی موج شکن بر از دست دادن تالاب در بیرونی‌ترین خطوط ساحلی سرزمین اصلی در لوئیزیانا و پیش‌بینی تلفات تالاب بررسی کردند. Sarkheil *et al.* (2023) به پیاده سازی الگوهای تحلیل ریسک با استفاده از مدل بیزین پرداخته اند. هدف اصلی تحقیق توسعه ساختاری برای تحلیل ریسک محیط‌زیستی تأسیسات سازه‌های ساحلی با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها است. در راستای این هدف اصلی موارد زیر مدنظر قرار می‌گیرند:

- تعیین نقاط ضعف اصلی در توسعه تأسیسات ساحلی موردمطالعه از بعد آثار محیط‌زیستی
- کاربرد و استفاده از شبکه‌های بیزین در ارزیابی ریسک تأسیسات ساحلی
- مدل‌سازی ریسک زیست‌محیطی در تأسیسات ساحلی

نسخه پیش انتشار

مواد و روش‌ها

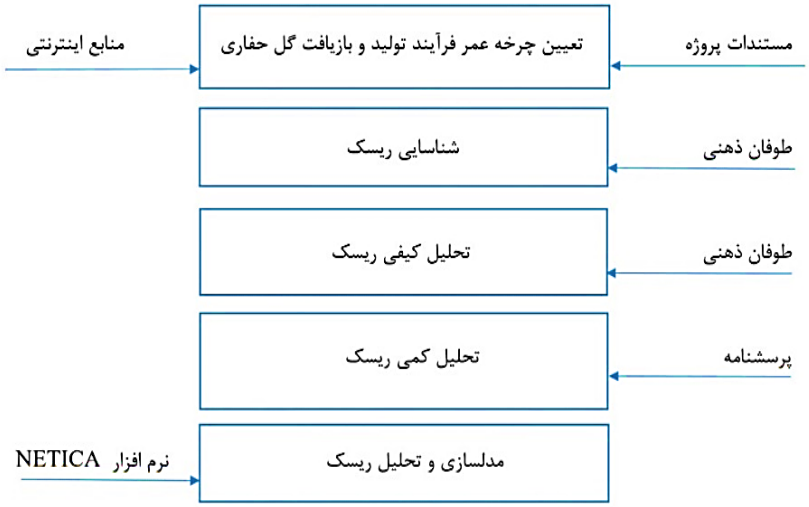
منطقه موردمطالعه

بندرانزلی فعال‌ترین بندر حاشیه جنوبی خزر حدود۲۸۵ کیلومترمربع مساحت و ۱۳۰ هزار نفر جمعیت دارد. این بندربدلیل نزدیکی به سایر بنادر خزر و دسترسی آسان به بنادر اروپائی از موقعیت ممتازی برخوردار است. بنحوی که قرار گرفتن درمسیرکریدور بین‌المللی شمال جنوب که از آن به‌عنوان کریدور حمل‌ونقل قرن بیست و یکم آسیا اروپا یاد می‌شود موجب شده که بندر هلسینکی در فنلاند و شمال اروپا از طریق روسیه به بنادر شمال و جنوب دریای خزر، بنادر خلیج‌فارس و سپس به بنادر هند و کشورهای جنوب و شرق آسیا متصل شود. این در حالی است که بندر انزلی علاوه بر ارتباط و مبادلات تجاری با بنادر شمال و جنوب اروپا از طریق رود «ولگا» و «ولگا - دن»؛ به دلیل هم‌جواری با بنادر آستراخان و لاگان در روسیه، کراسنودسک در ترکمنستان، آکتائو در قزاقستان و باکو در آذربایجان شرایط ویژه‌ای درداد و ستدهای تجاری مابین کشورهای حاشیه دریای خزر و آسیای میانه کشورهای دارد. به‌منظور ایفای نقش مؤثرتر مناطق آزاد در توسعه اقتصادی کشور و حرکت در مسیر سند چشم‌انداز ۲۰ ساله؛ سازمان منطقه آزاد انزلی با تدارک مقدمات لازم جهت ایجاد و راه‌اندازی بندر جدید کاسپین جهش خود را برای تبدیل‌شدن به منطقه آزاد بندری مدرن آغاز نموده است. علاوه بر آن با توجه به‌قرار گرفتن این منطقه در مسیر کریدور شمال –جنوب کشور، احداث بندر کاسپین موجبات حداکثر بهره‌برداری ممکن را از توان حمل‌ونقلی کشورهای حاشیه دریای خزرو قفقاز با توجه به نیاز روزافزون آن‌ها به فعال‌سازی مبادلات تجاری فراهم خواهد کرد. مجتمع بندری کاسپین منطقه آزاد انزلی با ۲۵ پست اسکله با طول پهلوگیری ۴۷۲۰ متر و به ظرفیت سالانه ۱۵ میلیون تن در حال احداث است که۴ موجشکن 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 برای آن در نظر گرفته شده و فاصله بین موجشکن‌ها ۲۶۲۵ متر و با میزان پیشروی ۱۶۰۰ متر دریا طراحی گردیده است. عمق حوضچه برای اسکله‌ها ازنظر سازه‌ای ۱۰ متر انتخاب گردیده است.

نسخه پیش انتشار

شکل ۱ – تصویر کلی موج‌شکن کاسپین

Fig. 1- General overview of the Caspian Sea Breakwater



شکل ۲– فلوچارت روش تحقیق

Fig. 2 - Flowchart of the Research Methodology

هدف از این پژوهش چگونگی استفاده از شبکه‌های باور بیزین و ارائه نمونه‌ای از شبکه‌های باور بیزین برای مدیریت ریسک موج‌شکن کاسپین در دو مرحله اجرا و بهره‌برداری می‌باشد. در ابتدا از طریق مراجعه به مجلات علمی، سایت‌های اینترنتی،

مراکز علمی دانشگاهی و افراد صاحب‌نظر در حوزه تأسیسات و سازه‌های دریایی مخصوصاً موج‌شکن اطلاعاتی درباره‌ی ریسک‌های احداث و بهره‌برداری موج‌شکن استخراج گردید. سپس پرسشنامه‌ای آماده و در اختیار تعدادی کارشناسان و متخصصان قرار گرفت. پس از تکمیل پرسشنامه، نمره و عدد اولویت ریسک‌ها به دست آمد. سپس با بررسی ریسک‌های بحرانی و احتمال وقوع هر ریسک در نرم‌افزار(NETICA)، مدل نهایی ریسک‌های احداث موج‌شکن حاصل شد. که چارچوب کلی و فرآیند این تحقیق در نمودار زیر آمده است.

تهیه‌ی پرسشنامه

در این قسمت به‌منظور شناسایی ریسک، فهرستی از ریسک‌هایی که ممکن است در طول اجرای و بهره‌برداری پروژه رخ دهد به کمک نظرات خبرگان و مدیران پروژه، منابع اینترنتی و مستندات جمع‌آوری می‌شود.

تحلیل کیفی و کمی ریسک

سپس جداول تحلیل کیفی و کمی ریسک توسط تعدادی کارشناس خبره در پنج سطح (اساتید وهئیت علمی،کارشناسان کارفرما،کارشناسان پیمانکاری،کارشناسان مشاور طرح،کارشناسان محیط‌زیست منطقه و محل اجرا) تکمیل می‌گردد و مقادیر احتمال وقوع ریسک، شدت خطر و احتمال کشف خطر برای تمامی ریسک‌ها محاسبه می‌شود.(جداول پرسشگری کیفی و کمی احتمال وقوع ریسک، شدت خطر و احتمال کشف خطر برای تمامی ریسک‌های وابسته به انسان و غیروابسته به انسان و همچنین ریسک‌های مربوط به اجرای موج‌شکن و بهره‌برداری موج‌شکن مطابق جداول ۱تا۶ در فایل پیوست آورده شده است.)

رتبه‌بندی و تعیین اولویت‌ها

سپس می بایست الویت ریسک‌ها تعیین شود.درطی عملیات اجرایی احتمال ریسک‌های انسانی (آسیب‌دیدگی پوست یا بیماری‌های گوارشی یا بیماری‌های شنوایی و از این قبیل) و احتمال ریسک‌های غیر وابسته به انسان (آلودگی‌های محیط‌زیست و دریایی و رسوب‌گذاری و غیره) وجود دارد که عدم رعایت و پیشگیری و اصول ایمنی و بهداشت و رعایت قوانین ومقرارت محیط‌زیستی عوارض سو برای انسان و طبیعت را به همراه خواهد داشت با توجه به اطلاعات موجود از فرآیند یا محصول، الگوی شکست بالقوه و آثار آن را بر اساس سه عامل شدت خطر، احتمال وقوع و احتمال کشف خطر از ۱ تا ۱۰ طبقه‌بندی می‌کنیم .در این جا حاصل‌ضرب دو مقدار احتمال وقوع و شدت خطر با عنوان نمره ریسک ۱ تعیین می‌شود .درنهایت با

نسخه پیش انتشار

ضرب کردن مقدار ضریب کشف در نمره ریسک، مقدار جدیدی تحت عنوان ضریب اولویت ریسک (RPN) به دست می‌آید. آن دسته از الگوهای شکست که دارای بالاترین نمره هستند، در اولویت بالاتری قرارمیگیرند .همچنین لازم به ذکر است چنانچه شدت خطر طبقه‌ای ۹ یا ۱۰ باشد صرف‌نظر از (RPN) لازم است به‌سرعت بررسی شود.

مدل‌سازی ریسک‌های بحرانی

قاعده بیز[۲]

برای ارزیابی و مدل‌سازی ریسک‌های بحرانی از ساختار شبکه‌های بیزین استفاده می‌شود. با استفاده از گره‌ها و لینک‌ها و با تعیین گره‌ها و حالات مربوط به آن و همچنین لینک بین گره‌ها، جدول احتمال شرطی هرکدام از گره‌ها ساخته می‌شود.ممکن است که احتمال، وقوع پیشامدی در شرایط معمولی مشخص باشد، اما اگر اطلاعات جدیدی نسبت به این مسئله به دست آید ممکن است درنتیجه احتمال وقوع پیشامد اولیه تجدیدنظر شود، قاعده بیز در صورت دسترسی به اطلاعات جدید ما را در تجدیدنظر احتمالات کمک می‌کند.

در بحث احتمال شرطی بیان می‌شود که (*Ma and Pouget, 2009*):

$$P(A|B) = \frac{P(A,B)}{P(B)} \qquad (۱)$$

که با جایگزین کردن دو رابطه بالا خواهیم داشت (Ma and Pouget, 2009):

$$P(A|B) = \frac{P(B|A).P(A)}{P(B)} \qquad (۲)$$

اما در بسیاری از موارد عواملی که نقش تعیین‌کننده در وقوع پیشامدی دارند بیش از دو عامل هستند. اگر A_1، ، ... ، A_n تعداد n پیشامد ناسازگار باشد، که می‌توانند پیشامد B را باعث شوند (وقوع پیشامد B به وقوع Netica پیشامد A_i بستگی دارد). آنگاه احتمال اینکه علت آن A_i باشد از فرمول بسط داده‌شده بیز به‌صورت زیر به دست می‌آید (Ma and Pouget, 2009):

$$P(\mathrm{Ai}|B) = \frac{P(B|\mathrm{Ai}).P(\mathrm{Ai})}{P(B)} \qquad (۳)$$

نسخه پیش انتشار

شبکه‌های بیزین یا شبکه‌های باور بیزین با عناوین دیگری مانند (شبکه‌های احتمالی علی و یا نمودارهای تأثیر احتمال) نیز شناخته می‌شوند. این شبکه‌ها در طیف گسترده‌ای از مسائل، از تجزیه و تحلیل داده‌ها متنی گرفته تا تشخیص طبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های مدل‌سازی بیزین ویژگی‌های متعددی داشته که آن‌ها را در تجزیه و تحلیل بسیاری از مستندات و مسائل مدیریتی سودمند ساخته است. این شبکه‌ها شرایط و چهارچوب‌های مناسبی را برای ترکیب داده‌های آزمایش بادانش کارشناسی فراهم می‌کند

در (BBN) داده‌ها باید در قالبی باشند که نرم‌افزار بتواند به‌راحتی احتمالات را برای تشکیل جداول احتمال شرطی استخراج کند. بهترین راه برای تعریف احتمالات بین گره‌های مولود و والدهای آن، تهیه جداول احتمال شرطی (*CPTs*) است. برای پر کردن این جدول ها، ۳ راه وجود دارد:

۱ . پر کردن جداول به‌صورت دستی که در مدل تهیه شدن برای موج‌شکن کاسپین نیز به همین صورت تکمیل و وارد مدل شدند.

۲ . روابط به‌صورت معادله تعریف شوند و ورودی مدل به‌صورت معادله باشد.

۳ . جمع‌آوری داده‌های موردی ۱ به‌عنوان ورودی مدل که بخشی از جامعه‌ای که موردبررسی است، درنظر گرفته می‌شود. بنابراین می‌توان با کمک اطلاعات فراوانی، احتمالات را استخراج نمود.

نتایج و بحث

رتبه‌بندی و تعیین اولویت‌ها

عملیات اجرایی احداث موج‌شکن کاسپین و مرحله بهره‌برداری آن احتمال ریسک‌های انسانی (آسیب‌دیدگی پوست یا بیماری‌های گوارشی یا بیماری‌های شنوایی و از این قبیل) و احتمال ریسک‌های غیر وابسته به انسان (آلودگی‌های محیط‌زیست و دریایی و رسوب‌گذاری و غیره) با توجه به الگوی شکست بالقوه و آثار آن بر اساس سه عامل شدت خطر، احتمال وقوع و احتمال کشف خطر از ۱ تا ۱۰ طبقه‌بندی شد و با ضرب کردن مقدار ضریب کشف در نمره ریسک اولویت ریسک (RPN) به

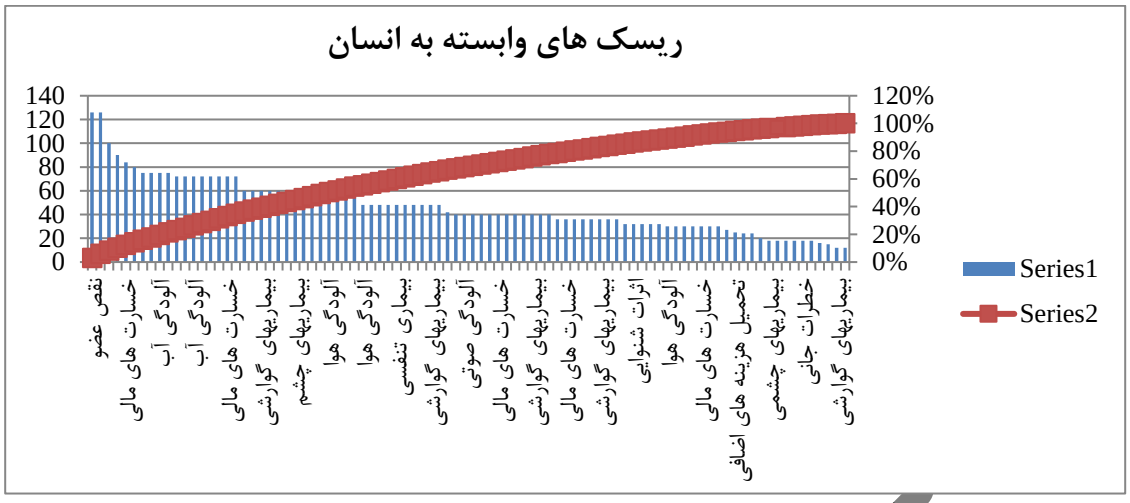
نسخه پیش انتشار

دست آمد و الگوهای شکست که دارای بالاترین نمره هستند، در اولویت بالاتری قرارگرفتند و خطرات طبقه‌ای ۹ یا ۱۰ صرف‌نظر از (RPN) به‌سرعت بررسی شد.

قانون پارتو

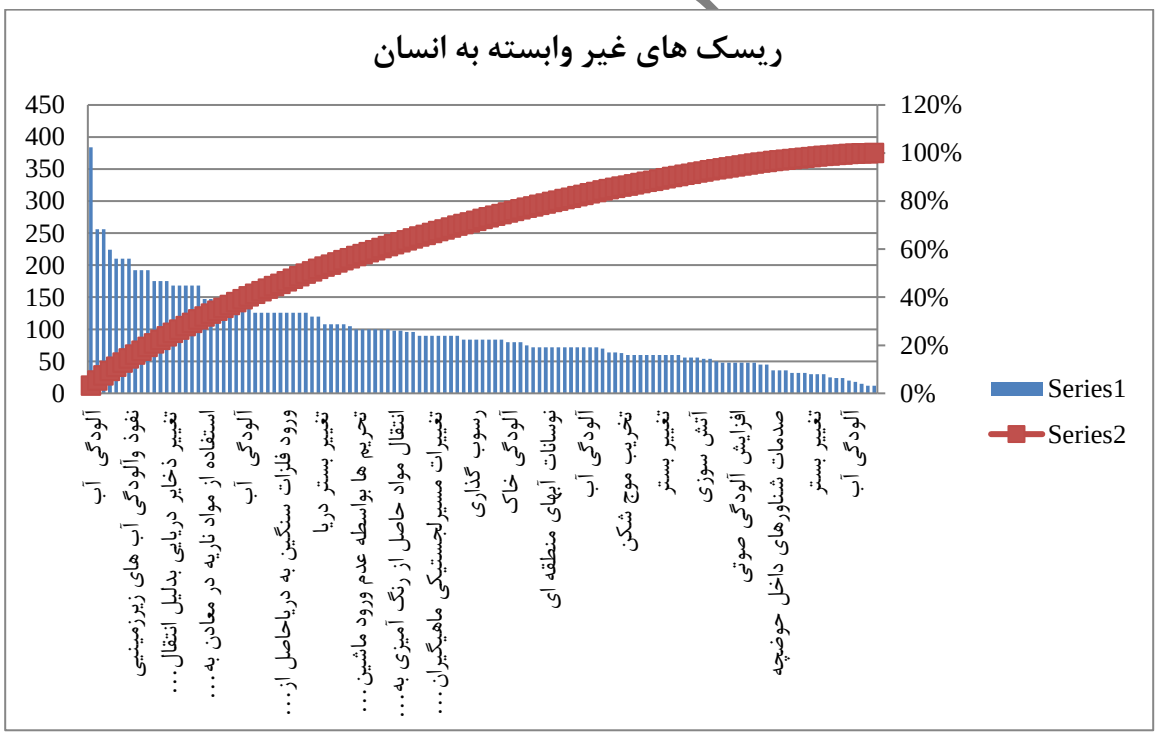
برای یافتن ریسکهای بحرانی جداول تکمیل شده از قانون پارتو یعنی؛ نسبت۲۰ به ۸۰ استفاده شد (Box and Meyer, 1986). درنتیجه ریسک هایی که دارای ٪ ۲۰ بالای عدد (RPN) بودند، به عنوان اولویت ریسک شناخته شدند. این قانون نشان می‌دهد، چگونه منفعت بیشتر با سرمایه گذاری کمتر حاصل می‌شود. شکل نمودار ۳ و شکل نمودار ۴ درجه بحرانی بودن ریسک‌ها را نشان می‌دهد. مقدار ۲۰ درصد بالای نمودارهای زیر شامل ریسک‌های ضروری هستند که نیازمند توجه و اقدامات سریع می‌باشند. در این تحقیق بالاترین عدد (RPN) مربوط به ریسک‌های وابسته به انسان عدد ۱۲۶و ریسک‌های غیر وابسته به انسان عدد ۳۸۴ در مراحل اجرایی بهره‌برداری موج‌شکن کاسپین می‌باشد. جهت به‌کارگیری قانون بیست هشتاد پارتو و محاسبه۲۰ درصد بالای این اعداد به کمک نرم‌افزار اکسل محاسبه شده است. در نمودارهای زیرستون سمت چپ فراوانی وقوع، ستون سمت راست واحد اندازه‌گیری (درصد) و خط که نشانگر درصد فراوانی تجمعی هست.

نسخه پیش انتشار



شکل ۳ـ نمودار درجه بحرانی بودن ریسک‌های وابسته به انسان بر اساس قانون پارتو

Fig. 3- Criticality Degree of Human-Dependent Risks Based on the Partho Law



شکل ۴ ـ نمودار درجه بحرانی بودن ریسک‌های غیر وابسته به انسان بر اساس قانون پارتو

Fig. 4- Criticality Degree of Non-Human-Dependent Risks Based on the Partho Law

تعیین ریسک‌های بحرانی

نتایج ده فعالیت از ریسک‌های بحرانی وابسته به انسان و غیروابسته به انسان حاصل از نمودارهای فوق در جداول ۱ و۲ به ترتیب اولویت در این موج شکن آورده شده است و تمامی نتایج ریسک‌های بحرانی حاصل در جداول ۷ و ۸ پیوست آورده شده است.

جدول ۱- ریسک‌های بحرانی وابسته به انسان به ترتیب اولویت

Table 1. Critical human-dependent risks in order of priority

PN	DV	O	S	ریسک‌های وابسته به انسان Human_related risk	فعالیت Activity	ردیف Row
126	3	6	7	نقص عضو Miam	منابع قرضه Borrowed Resources	1
126	3	6	7	اثرات شنوایی Auditory effects	منابع قرضه Borrowed Resources	2
100	4	5	5	آلودگی هوا air pollution	منابع قرضه Borrowed Resources	3
90	3	6	5	اثرات پوستی Skin effects	منابع قرضه Borrowed Resources	4
84	2	4	7	خسارت‌های مالی Financial damages	ملاحظات هیدرولیکی در ساخت Hydraulic considerations in construction	5
80	5	4	4	آلودگی محیطزیست Environmental pollution	ملاحظات صیادی Fishing considerations	6
75	3	5	5	خطر مرگ death danger	منابع قرضه Borrowed Resources	7
75	3	5	5	خسارات جانی تصادفات Casualties of accidents	حمل‌ونقل مصالح و تجهیزات موردنیاز موج‌شکن Transportation of necessary breakwater materials and equipment	8
75	3	5	5	آلودگی آب water pollution	لایروبی در مرحله اجرا Dredging in progress	9
75	3	5	5	بیماری‌های ژنتیکی Genetic diseases	کشتی و شناورها Ships and vessels	10

نسخه پیش انتشار

جدول ۲- ریسک‌های بحرانی غیر وابسته به انسان به ترتیب اولویت

Table 2. Critical non-human-dependent risks in order of priority

RPN	DV	O	S	ریسک‌های غیر وابسته به انسان Non-human-dependent risks	فعالیت Acttivity	ردیف Row
384	6	8	8	آلودگی آب Water pollution	لایروبی در مرحله اجرا Dredging in progress	1
256	4	8	8	آلودگی خاک Soil pollution	طرح مدیریت مواد زائد Waste management plan	2
256	4	8	8	اکوسیستم Ecosystem	طرح مدیریت مواد زائد Waste management plan	3
224	4	7	8	آلودگی آب به‌واسطه وجود آب‌های جدید با ترکیبات متفاوت Water pollution due to the presence of new waters with different compositions	آب‌توازن (آب خن) balance water	4
210	5	7	6	آلودگی خاک Soil pollution	لایروبی در مرحله اجرا Dredging in progress	5
210	6	5	7	تغییر اکوسیستم Ecosystem change	لایروبی در مرحله اجرا Dredging in progress	6
210	5	6	7	نفوذ و آلودگی آب‌های زیرزمینی Infiltration and pollution of underground water	جمع‌آوری پساب‌ها Wastewater collection	7
192	4	6	8	رسوب‌گذاری Sedimentation	آماده‌سازی سایت و عملیات اجرایی موج‌شکن Site preparation and breakwater implementation	8
192	3	8	8	تغییر بستر دریا Seabed change	لایروبی در مرحله اجرا Dredging in progress	9
192	3	8	8	آلودگی آب Water pollution	طرح مدیریت مواد زائد Waste management plan	10

مدل‌سازی ریسک‌های بحرانی

نرم‌افزار نتیکا[۳]

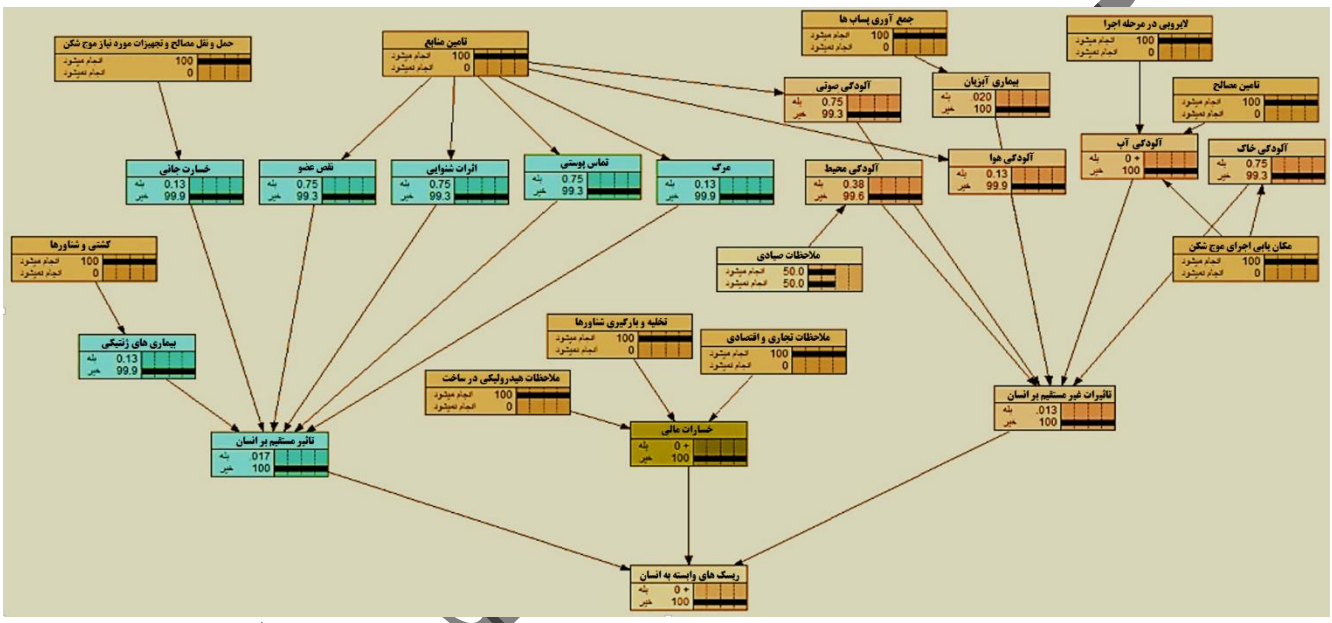
در این پژوهش برای انجام ارزیابی ریسک با استفاده از شبکه‌های بیزین از نرم‌افزار نتیکا استفاده‌شده است. درواقع ساخت و تکمیل و تحلیل شبکه‌های بیزین با استفاده از نرم‌افزار نتیکا ساده‌تر شده است. برای آموزش شبکه‌های بیزین از نرم‌افزارهای مختلفی ازجمله نرم‌افزار نتیکا می‌توان استفاده نمود. با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان شبکه‌های بیزین و نمودارهای شبکه

نسخه پیش انتشار

را رسم کرد و ساختار شبکه‌های بیزین را با استفاده از گره‌ها و لینک‌ها نشان داد. با تعیین گره‌ها و حالات مربوط به آن و همچنین لینک بین گره‌ها، نرم‌افزار به‌طور اتوماتیک جدول احتمال شرطی هرکدام از گره‌ها را می‌سازد.

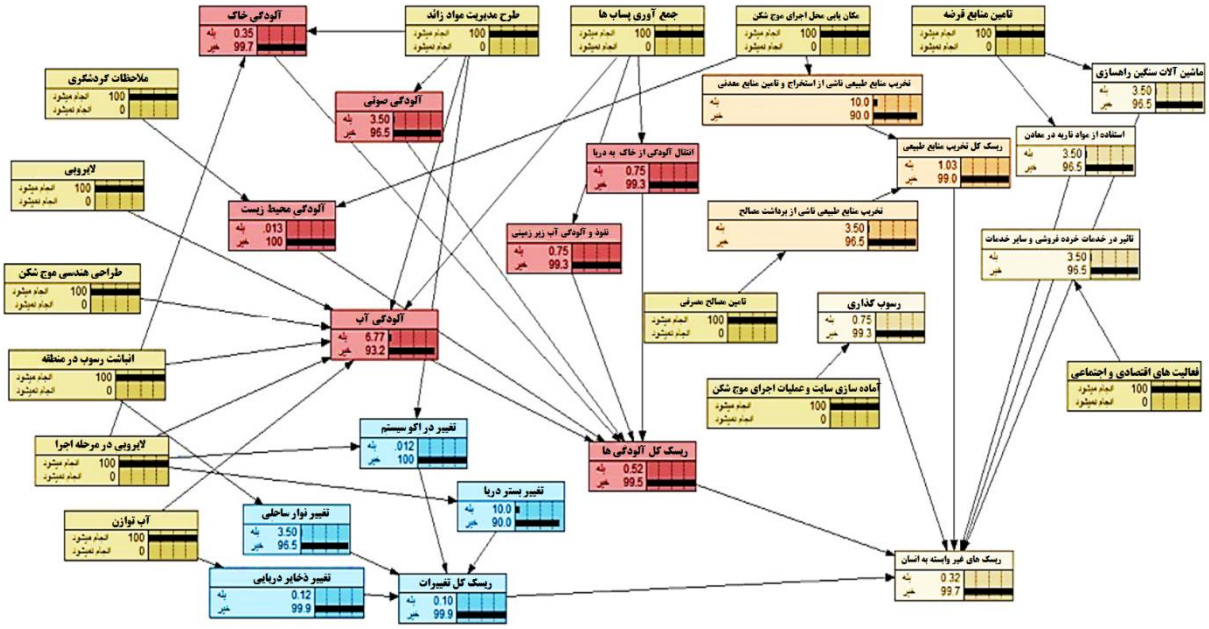
مدل‌های تولیدشده در نتیکا

پس از واردکردن اطلاعات به داخل نرم‌افزار و ترکیب داده‌ها، خروجی نرم‌افزار به‌صورت شبکه‌ای متصل‌به‌هم حاصل شد (شکل۴ و ۵) احتمال خطرهای وابسته به انسان و غیر وابسته به انسان را نشان می‌دهد .نحوه اثرگذاری هر فعالیت و ریسک‌های احتمالی وابسته به آن در این شکل‌ها به‌راحتی قابل درک می‌باشند.



شکل ۵- مدل احتمال خطرهای وابسته به انسان در موج‌شکن کاسپین

Fig. 5- Probability Model of Human-Dependent Risks in the Caspian Sea Breakwater



شکل ۶ – مدل احتمال خطرهای غیر وابسته به انسان در موج‌شکن کاسپین

Fig. 6- Probability Model of Non-Human-Dependent Risks in the Caspian Sea Breakwater

پیش انتشار

نتایج محاسبه ارزش کمی

بعد از تکمیل جداول احتمالات، نتایج در بخش (Sensitivity to finding) از نرم‌افزار نیکا مورد بررسی قرار گرفت و تأثیر کلیه پارامترها بر ریسک‌های وابسته به انسان و غیر وابسته به انسان در سایت موردمطالعه تعیین شد.

ریسک‌های وابسته به انسان

بعد از تکمیل جداول احتمالات تأثیر کلیه پارامترها تعیین شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی عوامل مؤثر بر ریسک‌های وابسته به انسان در موج‌شکن کاسپین نشان می‌دهد که ۳۰/۷ درصد مربوط به ریسک‌های باتاثیر مستقیم بر انسان هست مهم‌ترین آن‌ها بیماری‌های پوستی و شنوایی و نقص عضو و خسارات مالی می‌باشد و۱۶/۷درصد مربوط به ریسک‌های غیرمستقیم به انسان می‌باشد که در این بخش مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از آلودگی‌های محیط‌زیستی ازجمله آب و خاک و هوا و صوتی می‌باشد.

جدول ۳- ارزش کمی ریسک‌های وابسته به انسان

Table 3. Quantitative value of human-dependent risks

انواع ریسک ها **Risk types**	درصدریسک **Percentage risk**	ارزش کمی **Quantitative value**
ریسک‌های با تأثیر مستقیم بر انسان risks with direct impact on humans	30.7	0. 0004
ریسک‌های با تأثیر غیرمستقیم بر انسان Risks with an indirect effect on humans	16.2	

ارزش کمی ریسک با تأثیر مستقیم بر انسان-جدول ۴

Table 4. Quantitative value of risks with direct Impact on humans

انواع ریسک ها **Risk types**	درصدریسک **Percentage risk**	ارزش کمی **Quantitative value**
آسیب پوستی skin damage	9.93	0. 167
مشکلات شنوایی Hearing problems	9.93	0. 004
نقص عضو Maim	9.93	0. 004
خسارات جانی Fatalities and Injuries	0.131	0. 002
بیماری‌های ژنتیکی Genetic diseases	0.111	0

جدول ۵- ریسک با تأثیر غیرمستقیم بر انسان

Table 5. Risks with indirect impact on humans

انواع ریسک ها **Risk types**	درصدریسک **Percentage risk**	ارزش کمی **Quantitative value**
آلودگی خاک soil pollution	14.6	0. 125

نسخه پیش انتشار

آلودگی صوتی Noise pollution	14.6	0. 004
آلودگی محیطزیست Environmental pollution	2.79	0
آلودگی هوا Air pollution	0.156	0

ریسک‌های غیر وابسته به انسان

نتایج حاصل از مدل‌سازی عوامل مؤثر بر ریسک‌های غیر وابسته به انسان در موجشکن بندر کاسپین نشانگر این اهمیت از ریسک‌های است که تأثیر بر طبیعت و منابع طبیعی می‌گذارد در این بخش استفاده از مواد ناریه وبکارگیری ماشین‌آلات سنگین راه‌سازی در درجه اول و دوم هستند.

جدول ۶–ارزش کمی ریسک‌های غیر وابسته به انسان

Table 6. Quantitative value of non-human-dependent risks

انواع ریسک ها **Risk types**	درصدریسک **Percentage risk**	ارزش کمی **Quantitative value**
استفاده از مواد ناریه Use of hazardous materials	6.96	0. 024
ماشین‌آلات سنگین Heavy Machinery	6.96	0. 024
تخریب منابع طبیعی Destruction of natural resources	0.13	0. 003
رسوب‌گذاری Sedimentation	0.13	0. 010
ریسک کل تغییرات Total risk changes	0. 0605	0
ریسک کل آلودگی Total risk of contamination	0. 0275	0

همچنین آلودگی آب، خاک، هوا، صوت و آب‌های زیرزمینی و انتقال آلودگی از خاک به دریا و به آب‌های زیرزمینی هم پارامترآلودگی های زیست‌محیطی را تشکیل می‌دهند .آلودگی آب به عنوان پراهمیت‌ترین آلودگی تأثیرگذار معرفی شده است.

جدول ۷- ارزش کمی ریسک‌های مربوط به آلودگی

Table 7. Quantitative Vvalue of pollution-related risks

انواع ریسک ها Risk types	درصدریسک Percentage risk	ارزش کمی Quantitative value
آلودگی آب water pollution	26.1	0. 224
آلودگی صوتی Noise	3.11	0. 023
آلودگی خاک soil pollution	0. 0748	0
آلودگی محیطزیست Environmental pollution	0. 0178	0
آلودگی آب زیرزمینی Groundwater pollution	0. 0103	0
انتقال آلودگی از خاک به دریا Ground water pollution	0. 0103	0

جدول۸- ارزش کمی ریسک مربوط به تغییرات

Table 8. Quantitative value of risks associated with changes

انواع ریسک ها Risk types	درصدریسک Percentage risk	ارزش کمی Quantitative value
تغییر نوار ساحلی Changing the coastline	41.2	**0. 276**
تغییر بستر دریا seabed change	0.57	**0. 001**
تغییر اکوسیستم Ecosystem change	0. 0101	**0**

جدول ۹- ارزش کمی ریسک‌های مربوط به تخریب منابع طبیعی

Table 9. Quantitative value of risks associated with natural resources destruction

انواع ریسک ها Risk types	درصدریسک Percentage risk	ارزش کمی Quantitative value

نسخه پیش انتشار

تخریب منابع طبیعی ناشی از استخراج و تأمین مصالح از معادن قرضه از معادن و طبیعت Destruction of natural resources resulting from extraction and supply of materials from borrowed mines and nature	32.6	0. 764
تخریب منابع طبیعی حاصل از برداشت مصالح و منابع طبیعی Destruction of natural resources resulting from the extraction of materials and natural resources	0.717	0. 123

نتیجه‌گیری

با توجه به روند تحقیقات و جمع آوری اطلاعات کتابخانه‌ای و اینترنتی و مصاحبه میدانی و تهیه پرسشنامه با کمک از متخصصان و کارشناسان دریایی و استخراج داده‌ها در سه بخش شدت خطر، احتمال وقوع خطر و کشف خطر و سپس میانگین گرفتن نظرات کارشناسان در دو بخش ریسک‌های وابسته به انسان، ریسک‌های غیر وابسته به انسان، در دو بخش اجرا و بهره‌برداری موج‌شکن کاسپین و بدست آوردن شدت ریسک(RPN) برای هر قسمت در مرحله اول شاهد این موضوع بودیم که (RPN)غیر وابسته به انسان (۳۸۴) و شدت ریسک انسانی(۱۲۶) می‌باشد. یعنی نسبت (RPN)ریسک‌های غیر وابسته به انسان نسبت به ریسک‌های انسانی حدود سه برابر می‌باشد. بنابراین در این بخش توجه به ریسک‌های غیر وابسته به انسان در اولویت بیشتری قرار می‌گیرد. در مرحله مدل‌سازی با توجه به استفاده از قانون بیست هشتاد پارتو و شدت خطرهای مهم به‌دست‌آمده در قانون فوق و خروجی‌های نرم‌افزار نیتکا اولویت بندی و درجه‌بندی ریسک‌های انسانی و غیرانسانی، در بخش انسانی (۳۰/۷) درصد ریسک‌های انسانی، تأثیر مستقیم دارد و (۱۶/۷) تأثیر غیرمستقیم دارد. همچنین در بخش تأثیر غیرمستقیم نتایج مدل‌سازی ریسک‌های انسانی با روش شبکه‌های بیزین نشان می‌دهد، پارامتر آلودگی آسیب پوستی با ارزش کمی (۰/۱۶۷) بالاترین و بیماری‌های ژنتیکی با ارزش کمی(صفر) پایین‌ترین درجه کمی را دارند. در بخش تأثیر مستقیم بر انسان هم بالاترین ارزش کمی مربوط به آلودگی خاک، با ارزش کمی (۰/۱۲۵) و آلودگی هوا باارزش کمی (صفر) قرار گرفت. در بخش مهم‌تر ریسک‌های غیر وابسته به انسان نتایج مدل‌سازی ریسک‌های مربوطه با روش بیزین در چهار پارامتر کلی ریسک‌های غیر وابسته به انسان آلودگی‌ها و تغییرات و تخریب منابع طبیعی مورد بررسی قرارگرفته شد، که ریسک‌های استفاده از مواد ناریه با ارزش کمی (۰/۰۲۴) بالاترین رسوب‌گذاری با ارزش کمی (۰/۰۰۱) را دارا می‌باشد.

نسخه پیش انتشار

از دیگر پارامترهای مورد بررسی قرارگرفته تغییرات نوار ساحلی بوده که در این بخش تغییرات نوار ساحلی (۰/۰۲۷) بالاترین ارزش کمی و تغییرات اکوسیستم (صفر) پایین‌ترین درجه رادارد. در بخش پایانی، ریسک‌های مربوط به تخریب منابع طبیعی موردبررسی قرار گرفت که بالاترین ارزش کمی مربوط به تخریب منابع طبیعی ناشی از استخراج و تأمین مصالح از معادن قرضه از معادن و طبیعت با ارزش کمی (۰/۷۶۴) و تخریب منابع طبیعی حاصل از برداشت مصالح و منابع طبیعی با ارزش کمی (۰/۰۱۲)پایین‌ترین ارزش کمی رادار است. به‌طورکلی احداث و بهره‌برداری از موج‌شکن کاسپین با تشدید آلودگی‌های محلی در منطقه از طریق افزایش غلظت آلودگی شیمیایی و میکروبی آب‌های ساحلی، ایجاد آلودگی‌های صوتی و هوا به دنبال خواهد داشت و همچنین ورود رواناب ناشی از بارش یا شستشوی محوطه بنادر و اسکله‌ها از دیگر منابع ورود انواع آلاینده‌های هیدروکربنی، شیمیایی و فیزیکی به آب‌های ساحلی محوطه بنادر می‌باشد، در نهایت با توجه به نتایج ارزیابی ریسک می‌توان اظهار نمود که در موج شکن کاسپین بند انزلی، میزان خطرات محیطزیستی در حد بحرانی نمی‌باشد؛ اما توجه به جنبه های محیط زیستی آن در بازه‌های درازمدت می تواند، حائظ اهمیت باشد. همچنین استفاده و بهره گیری از روش‌های تحلیلی بیزین که ارتباط بین ریسک‌ها را در نظر می‌گیرد، می‌تواند در شناسایی ریسک های وابسته و تحلیل جامع اثرات محیطی به گونه ای موثر عمل نماید.

سپاسگزاری

تمامی نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند از حمایت های معنوی دانشکده مهندسی معدن - دانشکدگان فنی دانشگاه تهران و همچنین دانشکده محیط زیست – سازمان حفاظت محیط زیست، تشکر و قدردانی نمایند.

پی‌نوشت‌ها

[1] United Nation Environment Program

[2] Bayes Rules

[3] Netica

منابع References

نسخه پیش انتشار

Banan, M., Shokatian-Beiragh. M., Golshani, A. and Abdi, A., 2023. “Use of a Bayesian Network for Storm-Induced Flood Risk Assessment and Effectiveness of Ecosystem-Based Risk Reduction Measures in Coastal Areas (Port of Sur, Sultanate of Oman)”. Ocean Engineering, 270, 113662. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.113662.

Borsuk, M., Stow, C. and Reckhow, K., 2004. “A Bayesian Network of Eutrophication Models for Synthesis, Prediction, and Uncertainty Analysis. Ecological Modelling”, 173 (2), 219–239. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.08.020.

Box, G.E.P., Meyer, R.D., 1986. “An Analysis for Unreplicated Fractional Factorials”. Technometrics. 28 (1): 11–18. doi:10.1080/00401706.1986.10488093

De Groot, K., and Thurik R., 2018. “Disentangling Risk and Uncertainty: When Risk-Taking Measures Are Not About Risk”. Frontiers. V. 9. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02194

Durap, A., Balas, C., Çokgör, Ş. and Balas, E., 2023. “An Integrated Bayesian Risk Model for Coastal Flow Slides Using 3-D Hydrodynamic Transport and Monte Carlo Simulation”. Journal of Marine Science and Engineering, 11 (5), 943. https://doi.org/10.3390/jmse11050943.

Ehsani Moghadam, R., Shafieefar, M. and Akbari, H., 2022. “A Probabilistic Approach to Predict Wave Force on a Caisson Breakwater Based on Bayesian Regression and Experimental Data”. Ocean Engineering, 249, 110945. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110945.

Ehsani Moghadam, R., Shafieefar, M. and Akbari, H., 2021. “Reliability-Based Analysis of a Caisson Breakwater with the Application of Bayesian Inference”. J. Marine. Sci. Appl., 20 (4), 735–750. https://doi.org/10.1007/s11804-021-00237-8.

Eldin, N., Eldrandaly, K. A., 2004. “Computer-Aided System For Site Selection of Major Capital Investment”, ASCAAD International Conference, e-Design in Architecture Dhahran, Saudi Arabia. December

Garzon, J., Ferreira, Ó, Zózimo, A., Fortes, C. J., Ferreira, A., Pinheiro, L. and Reis, M. T., 2023. “Development of a Bayesian Networks-Based Early Warning System for Wave-Induced Flooding”. International Journal of Disaster Risk Reduction 2023. 96, 103931. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr., 103931.

Gibbs, M., 2004. “Application of a Bayesian Network Model and a Complex Systems Model to Investigate Risks of a Proposed Aquaculture Development on the Carrying Capacity of Shorebirds at the Miranda Ramsar Wetland. Waikato Regional Council”. https://www.waikatoregion.govt.nz/services/publications/tr200704/

Greiner, M., Smid, J. and Havelaar, A., 2013. Graphical models and Bayesian domains in risk modelling: application in microbiological risk assessment - PubMed. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23482086

Hardy, T. and Wu, W., 2020. “Impact of different restoration methods on coastal wetland loss in Louisiana: Bayesian analysis”, Environmental Monitoring and Assessment. https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-020-08746-9.

Joozi, A., Haghighi Far, N., & Afzali Nezhad, N., 2014. "Identification and Evaluation of Risks Arising from High Voltage Power Transmission Lines in Residential Areas Using Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Method." Journal of Health and Environment. 7 (1) : 55-64.

نسخه پیش انتشار

Jung, M., Kim, J., Lee, B. and Kwon, H., 2021. “Exploring the Combined Risk of Sea Level Rise and Storm Surges Using a Bayesian Network Model: Application to Saemangeum Seawall”. Journal of Coastal Research, 114 (SI), 186–190. https://doi.org/10.2112/JCR-SI114-038.1.

Kolyvand, P., 2015. "Identifying deficiencies and solutions to enhance safety of non-convention floaters to Imam Khomeini port (RAH)." In Proceedings of the 11th International Conference on Coasts, Ports, and Marine Structures, https://sid.ir/paper/826065/fa

Kibria, G., Water, G., 2012. Environmental/Ecological Risk Assessment (ERA) Model for Assessing Risks in Irrigation Areas (River, Creeks, Channels, Drains) of Toxicants (Pesticides, Herbicides and Trace Metals) to Various Receptors, P. 42.

Lee, C. J. and Lee K. J., 2006. “Application of Bayesian Network to the Probabilistic Risk Assessment of Nuclear Waste Disposal. Reliability Engineering & System Safety’, 91, 515–532. https://doi.org/10.1016/j.ress.2005.03.011.

Lein, JK., 2008. “Integrated Environmental Planning”; John Wiley & Sons. P. 124

Li, X., Peng, M., Dong, S., Liu, S., Li, J. and Yang, Z., 2013. “Ecological risk assessment of hydropower dam construction on aquatic species in middle reaches of Lancang River, Southwest China based on ESHIPPO model”. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao 2013, 24 (2), 517–526.

Ma, W. J., Pouget, A., 2009. “Population Codes: Theoretic Aspects. Encyclopedia of Neuroscience”, Academic Press, Pages 749-755, https://doi.org/10.1016/B978-008045046-9.01401-7.

Mccloskey, J., Cronan, C., 2011. “Using Bayesian Belief Networks to Identify Potential Compatibilities and Conflicts between Development and Landscape Conservation. Landscape and Urban Planning”, 101, 190–203. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.011.

Pham, H., Dal Barco M., Pourmohammad Shahvar, M., Furlan, E., Critto, A. and Torresan, S., 2024. “Bayesian Network Analysis for Shoreline Dynamics, Coastal Water Quality, and Their Related Risks in the Venice Littoral Zone, Italy”. Journal of Marine Science and Engineering, 12 (1), 139. https://doi.org/10.3390/jmse12010139.

Pollino, C. A. and Hart, Barry T., 2008. "Developing Bayesian network models within a Risk Assessment framework". International Congress on Environmental Modelling and Software. 55. https://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2008/all/55

Qazi, A., Quigley, J., Dickson, A., Kirytopoulos, K., 2016. “Project Complexity and Risk Management (ProCRiM): Towards Modelling Project Complexity Driven Risk Paths in Construction Projects”. International journal of project management, 34 (7), 1183–1198.

Qu, C.S., Chen. J., Huang Li, F., 2011. “Ecological risk assessment of pesticide residues in Taihu Lake wetland”,https://www.researchgate.net/publication/223566138_Ecological_risk_assessment_of_pesticide_residues_in_Taihu_Lake_wetland_China.

Sarkheil, H., Azimi, Y. and Jafari Aghdash, J., 2019. “Fault Creator Cases Analysis Based on Bayesian Method in Current Permit to Work System to Optimize the Protection Layers and Risk Management, During

Commissioning and Start-up Phases of Gas Refinery Plant". International Journal of Occupational Hygene. 11(2), 70-84.

Sarkheil, H., Torabi, P., Hassani, H., 2023. "Environmental Risk Modeling of Hydrocarbon Exploration and Exploitation using Energy Trace Barrier Assessment Method, the case study of Tabnak Hydrocarbon Field", Journal of oil and gas exploration and production; (206):41-48. URL: http://ekteshaf.nioc.ir/article-34581-1-fa.html (In Persian).

Zolfaghari Far, Y. and Torang, F., 2016. "A review of the history and types of breakwaters." In Proceedings of the National Conference on Technology and Technology in Civil Engineering, Architecture, Electrical, and Mechanical Engineering, 3 to 5 December, (Tehran, Iran), pp. 436-439.

نسخه پیش انتشار