University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Environmental risk assessment and management in offshore drilling rigs in the Persian Gulf using the EFMEA method

Mohammad Radsa[1] | Mohsen Nowrouzi[2]✉ | Amir Rostami[3]

1. Department of Science and Biotechnology, Faculty of Nano and Bio Science and Technology, Persian Gulf University, Bushehr, Iran. E-mail: m.radsa1365@pgu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Science and Biotechnology, Faculty of Nano and Bio Science and Technology, Persian Gulf University, Bushehr, Iran. E-mail: mohsennorouzi@pgu.ac.ir
3. Department of Chemical Engineering, Faculty of Petroleum, Gas, and Petrochemical Engineering, Persian Gulf University, Bushehr, Iran. E-mail: arostami@pgu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 7 October 2023

Received in revised form 12 December 2023

Accepted 14 December 2023

Published online 4 May 2024

Keywords:

EFMEA method,

South Pars,

Sustainable development,

Persian Gulf,,

Offshore drilling rig.

ABSTRACT

Considering the numerous environmental risks of oil and gas industries, the environmental risk assessment of these activities is considered one of the most important aspects of identifying and providing management solutions to reduce these risks. The current research aims to identify environmental risk aspects and provide practical and preventive solutions to reduce or eliminate environmental effects in offshore drilling rigs located in South Pars region using the method of Environmental Failure Mode and Effects Analysis (EFMEA). In order to evaluate the aspects of environmental risk, the risk priority number was determined based on objective observations, interviews with management, supervisors and employees in drilling rigs, and the degree of risk was calculated using the frequency distribution method. The results of this research showed that the aspects of environmental risk at low, medium, high and very high-risk levels were equal to 3, 3, 13 and 80%, respectively, and after applying control measures, the percentage of risk was equal to 9, 19, 28 and 44 were evaluated. The increase in the percentage of medium to high level environmental risks was due to the significant reduction of very high risks and their placement in these classes. Based on the obtained results, well eruption, leakage, and spreading of chemical substances respectively had the highest risk number in the current study, and by applying control measures, the amount of environmental risk resulting from them was significantly reduced. Based on this, it can be said that the EFMEA method had a high potential to reduce environmental risks.

Cite this article: Radsa, M., Nowrouzi, M., & Rostami, A. (2024). Environmental risk assessment and management in offshore drilling rigs in the Persian Gulf using the EFMEA method. *Journal of Natural Environment*, 77 (1), 29-41. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.366336.2606

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.366336.2606

محیط زیست طبیعی
شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳
Homepage: https://jne.ut.ac.ir/
انتشارات دانشگاه تهران

ارزیابی و مدیریت ریسک محیطزیستی در دکل‌های حفاری دریایی در حوزهٔ خلیج فارس با روش EFMEA

محمد رادسا[۱] | محسن نوروزی[۲]✉ | امیر رستمی[۳]

۱. گروه علوم و فناوری زیستی، دانشکدهٔ علوم و فناوری نانو و زیستی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران. رایانامه: m.radsa1365@pgu.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و فناوری زیستی، دانشکدهٔ علوم و فناوری نانو و زیستی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران. رایانامه: mohsennorouzi@pgu.ac.ir
۳. گروه مهندسی شیمی، دانشکدهٔ نفت، گاز و پتروشیمی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران. رایانامه: arostami@pgu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۲/۱۵

کلیدواژه‌ها:
پارس جنوبی،
توسعهٔ پایدار،
خلیج فارس ،
دکل حفاری دریایی،
روش EFMEA.

چکیده

با توجه به خطرات متعدد محیطزیستی صنایع نفت و گاز، ارزیابی ریسک محیطزیستی این فعالیت‌ها از مهم‌ترین جنبه‌های شناسایی و ارائهٔ راهکارهای مدیریتی کاهش این ریسک‌ها محسوب می‌گردد. تحقیق حاضر با هدف شناسایی جنبه‌های ریسک محیطزیستی و ارائهٔ راهکارهای عملی و پیشگیرانه در جهت تقلیل یا حذف اثرات محیطزیستی در دکل‌های حفاری دریایی واقع در منطقهٔ پارس‌جنوبی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن بر محیطزیست (EFMEA) آن انجام شد. بدین‌منظور برای ارزیابی جنبه‌های ریسک محیط-زیستی، عدد اولویت ریسک براساس مشاهدات عینی، مصاحبه با مدیریت، سرپرستان و کارکنان در دکل‌های حفاری تعیین گردید و درجهٔ مخاطره‌پذیری نیز با استفاده از روش توزیع فراوانی محاسبه شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که جنبه‌های ریسک محیطزیستی در سطح ریسک پایین، متوسط، بالا و خیلی بالا به‌ترتیب برابر با ۳، ۳، ۱۳و ۸۰ درصد بودند که پس از اعمال اقدامات کنترلی درصد ریسک به‌ترتیب برابر با ۹، ۱۹، ۲۸ و ۴۴ ارزیابی شدند. افزایش درصد ریسک‌های محیطزیستی سطح متوسط تا بالا به‌علت کاهش معنی‌دار ریسک‌های خیلی بالا و قرارگرفتن آن‌ها در این طبقات بودند. بر مبنای نتایج به‌دست آمده فوران‌چاه و نشت و پخش مواد شیمیایی به‌ترتیب بالاترین عدد ریسک را در مطالعهٔ حاضر به‌خود اختصاص داد که با اعمال اقدامات کنترلی میزان ریسک محیطزیستی حاصل از آن‌ها به‌طور چشمگیری کاهش یافت. بر این مبنا می‌توان بیان کرد که روش EFMEA از پتانسیل بالایی جهت کاهش مخاطرات محیطزیستی برخوردار بود.

استناد: رادسا، محمد؛ نوروزی، محسن؛ و رستمی، امیر (۱۴۰۳). ارزیابی و مدیریت ریسک محیطزیستی در دکل‌های حفاری دریایی در حوزهٔ خلیج فارس با روش EFMEA. *محیط زیست طبیعی*، ۷۷ (۱)، ۴۱-۲۹.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2023.366336.2606

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

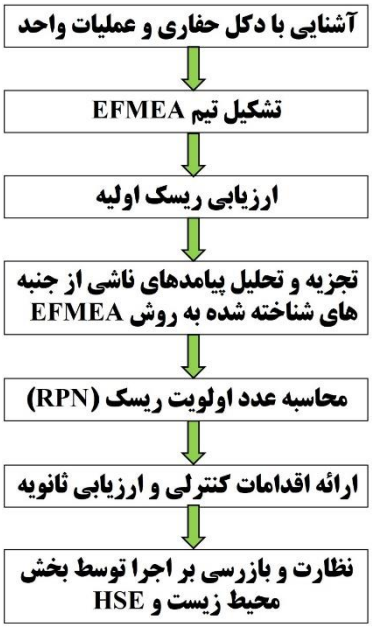
ارزیابی ریسک محیط‌زیستی، یک ابزار مهم در مدیریت محیط‌زیست به‌منظور کاهش مخاطرات پروژه‌ها و دستیابی به توسعهٔ پایدار به‌شمار می‌رود که امروزه در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های اکثر کشورهای جهان مورد توجه قرار می‌گیرد (Ruokonen and Temmes, 2019). ارزیابی‌ریسک محیط‌زیستی، فرآیند تحلیل کمی و کیفی پتانسیل‌های خطر و ضریب به فعل درآمدن ریسک-های احتمالی موجود در پروژه و همچنین حساسیت یا آسیب‌پذیری محیط پیرامونی است (Golbarg *et al*., 2018). امروزه استفاده از روش‌های ارزیابی ریسک در صنایع مختلف رو به گسترش است که این روش‌ها نسبت به یکدیگر دارای مزایا و معایب مختلفی می‌باشند و هریک از صنایع بسته به نیاز خود از تکنیک‌های مذکور استفاده می‌نمایند (Saeidi *et al*., 2019). در ارزیابی ریسک محیط‌زیستی افزون بر بررسی و تحلیل جنبه‌های مختلف ریسک، ضمن شناخت کامل از محیط‌زیست منطقهٔ تحت اثر، میزان حساسیت محیط‌زیست متأثر و همچنین ارزش‌های خاص محیط‌زیستی منطقه نیز در تجزیه و تحلیل و ارزیابی ریسک منطقه در نظر گرفته می‌شود (Rezaian *et al*., 2014). طی سالیان اخیر روش‌های مختلفی برای ارزیابی ریسک توسعه یافته‌اند. در این بین، روش تجزیه و تحلیل حالات و اثرات شکست محیط‌زیستی (EFMEA[1]) از پرکاربردترین روش‌های ارزیابی ریسک است (Omidvar and Nirumand, 2017). استفاده از روش EFMEA در ارزیابی ریسک پروژه‌های گوناگون در مقایسه با سایر روش‌های ارزیابی ریسک، روش کامل‌تری است که با شناسایی نواقص و رفع بسیاری از خطاهای پنهان و آشکار موجود در فرآیند یک پروژه و همچنین کاهش هزینه‌های سایر روش‌های ارزیابی، می‌تواند یک روش مفید به‌شمار آید (Vazdani *et al*., 2017).

از سویی بر مبنای شواهد موجود، آلودگی‌های نفتی، از خطرناک‌ترین و پرهزینه‌ترین انواع آلودگی‌های دریایی است (Ferreira *et al*., 2023). افزایش هیدروکربن‌های نفتی در محیط‌زیست نه تنها بر زندگی آبزیان اثر منفی دارد، بلکه سلامت انسان را نیز از طریق تداخل در زنجیرهٔ غذایی با منشاء دریایی متأثر می‌سازد (Norouzi *et al*., 2012). از طرفی آلودگی خط ساحلی، سبب صدمات بلند مدت در محیط آبزیان شده و فعالیت‌های ماهیگیری و دیگر فعالیت‌های تجاری و اقتصادی مرتبط با دریا را با مشکلات عدیده‌ای روبه‌رو می‌سازد (Nowrouzi *et al*., 2014). بنابراین بکارگیری روش‌های نوین در ارزیابی ریسک می‌تواند تا حدود قابل ملاحظه‌ای از شدت بروز ریسک‌ها و به‌تبع آن، خسارات و زیان‌های وارده بر محیط‌زیست کاسته و نیل به توسعهٔ پایدار را میسر سازد (Kheirkhah and Amiri, 2020). بدیهی است عملیات حفاری اثرات و پیامدهای محیط‌زیستی متعددی را به‌همراه دارد. این امر به‌ویژه در حوزهٔ خلیج فارس که دکل‌های حفاری باعث به وجود آمدن آلاینده‌های محیط‌زیستی در دریا شده است به‌وضوح مشهود می‌باشد. واضح است که اگر ملاحظات محیط‌زیستی در طراحی و برنامه‌ریزی‌های اولیه به‌صورت جامع و همه‌جانبه مدنظر قرار گیرند، برنامه‌های توسعهٔ طرح‌های بزرگ و پرهزینه مرتبط با صنعت نفت و گاز، حداقل پیامد محیط‌زیستی را در منطقهٔ تحت نفوذ خود ایجاد می‌کند (Madani *et al*., 2017). در این پژوهش، هدف عمده، شناسایی و ارزیابی خطرات محیط‌زیستی دکل حفاری در حوزهٔ خلیج فارس و تلاش در جهت کاهش این ریسک‌ها به حد قابل قبول بود. بدین‌منظور در ابتدا از دکل حفاری دریایی برای آشنایی با فرآیندهای کاری و عملیات حفاری و فعالیت‌های مختلف بازدید شد. سپس جنبه‌های محیط‌زیستی ناشی از این فعالیت‌ها شناسایی گردید. ریسک‌های شناسایی شده با استفاده از روش EFMEA مورد ارزیابی و عدد اولویت ریسک آن‌ها محاسبه شد. سپس جهت کاهش سطح ریسک به سطوح مطلوب اقدامات اصلاحی صورت پذیرفت. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند به‌عنوان الگویی در زمینهٔ اقدامات مشابه مورد استفادهٔ محققان قرار گیرد.

روش‌شناسی پژوهش

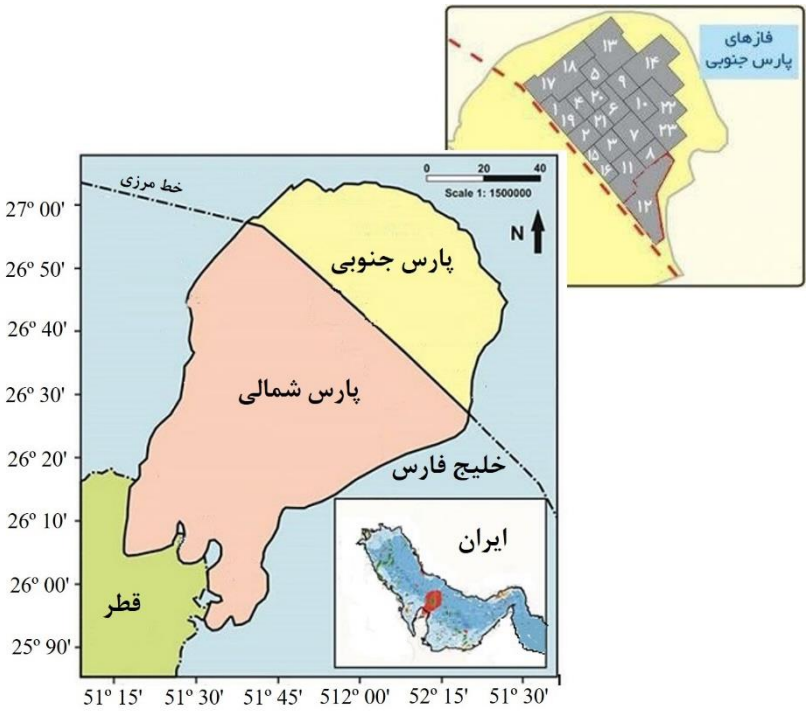
روش‌ها و گام‌های مورد استفاده در این تحقیق در شکل ۱ ترسیم شده است.

[1]Environmental Failure Mode and Effects Analysis



شکل ۱- مراحل انجام روش EFMEA در دکل حفاری دریایی پارس جنوبی

منطقهٔ مورد مطالعه: منطقهٔ مورد مطالعه در بخش دریایی پارس جنوبی قرار دارد. این منطقه متشکل از ۲۴ فاز می‌باشد که اطلاعات مربوط به آلاینده‌های محیطزیستی و خطرات و آسیب‌هایی که در اثر فعالیت‌های دکل‌های حفاری در این فازها وجود داشت، در سال ۱۴۰۱ گردآوری شد (شکل ۲). در روش EFMEA تقاضاهای محیطزیست و الزامات قانونی با روشی معین یا سیستماتیک بررسی شده، به‌طوری که قانون از یک سو بیشترین توجهات را به جنبه‌های محیطزیستی و فعالیت‌های مهم برای بهبود محیطزیست مدنظر قرار داده و از سوی دیگر اجرای آگاهانه فعالیت‌های محیطزیستی را تسهیل می‌کند (Danielsson and Gunnarsson, 2001).



شکل ۲- نقشهٔ میدان گازی پارس‌جنوبی

تشریح روش EFMEA: به‌منظور پیاده‌سازی روش EFMEA، فهرستی به‌منظور ارزیابی ضریب تخریب محیط‌زیستی طراحی شد. بعد از بازدید از قسمت‌های مختلف دکل‌حفاری براساس مشاهدات عینی، مصاحبه با مدیریت، سرپرستان و کارکنان، فعالیت‌های صورت گرفته در هر واحد آنالیز شد. سپس خطرات در هر فعالیت را شناسایی و ریسک‌های شناسایی شده در کاربرگ‌ها ثبت شد. در این کاربرگ‌ها متغیرهایی همچون شناسایی فرآیند، حالت خرابی بالقوه (جنبه‌های محیط‌زیستی)، آثار بالقوهٔ خرابی (پیامدها)، علل بالقوهٔ خرابی، ارزیابی اولیهٔ جنبه‌های محیط‌زیستی (شدت، وقوع، گسترهٔ آلودگی، عدد اولویت ریسک و سطح ریسک)، اقدام کنترلی و ارزیابی ثانویهٔ جنبه‌های محیط‌زیستی (شدت، وقوع، گسترهٔ آلودگی، عدد اولویت ریسک و سطح ریسک) مورد بررسی قرار گرفت (Danielsson and Gunnarsson, 2001).

امتیازدهی عدد اولویت ریسک محیط‌زیستی: نحوهٔ امتیازدهی بدین‌صورت بود که پارامتر شدت توسط اعدادی بین ۱ تا ۵ نمره‌دهی شد، به‌طوری که در شدیدترین حالات امتیاز ۵ و در کمترین حالات امتیاز ۱ به پارامتر مورد نظر تعلق گرفت (جدول ۱). همچنین در مورد میزان احتمال وقوع نیز اعدادی بین ۱ تا ۵ به پارامتر مورد نظر نسبت داده شد. در بیشترین و کمترین حالات احتمال وقوع نیز به‌ترتیب اعداد ۵ تا ۱ نمره‌دهی شد (جدول ۲). در مورد پارامترهای گسترهٔ آلودگی نیز بازهٔ ۱ تا ۵ مد نظر قرار گرفت. بدین‌ترتیب که بیشترین امتیاز عدد ۵ و کمترین امتیاز عدد ۱ را به‌خود اختصاص داده‌اند (جدول ۳) (Danielsson and Gunnarsson, 2001). در تفسیر شدت ریسک (جدول ۱) می‌توان بیان داشت که شدت ریسک نشان‌دهندهٔ میزان و بزرگی ریسک است. بر این مبنا، کاهش شدت خطر تنها از طریق اعمال تغییرات در فرآیند و نحوهٔ انجام فعالیت‌ها امکان‌پذیر است (Al-Darwish *et al*., 2005; Ekundayo *et al*., 2012). نحوهٔ امتیازدهی شدت ریسک در روش EFMEA در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۲ بیانگر میزان احتمال وقوع خطر می‌باشد. این جدول نشان‌دهندهٔ آن است که ریسک مدنظر با چه تکراری ممکن است رخ دهد. نحوهٔ امتیازدهی احتمال وقوع خطر نیز از ۱ تا ۵ و به‌صورت درج شده در جدول ۲ می‌باشد (Rezaeiyan *et al*., 2017). باید مدنظر داشت که احتمال وقوع ریسک، یک مفهوم آماری بوده و براساس تجربه و دانش فنی تیم ارزیابی ریسک می‌تواند طرح‌ریزی و مورد استفاده قرار گیرد (Amir-Heidari *et al*., 2015; Rezaian *et al*., 2014).

گسترهٔ آلودگی به مفهوم پخش و پراکنش آلاینده‌های محیط‌زیستی در دریا ناشی از فعالیت‌های دکل حفاری دریایی اشاره دارد. در این دسته نیز امتیازدهی در بازهٔ ۱ تا ۵ و به‌صورت ذکر شده در جدول ۳ می‌باشد. لازم به ذکر است که گسترهٔ آلودگی از محل فعالیت دکل حفاری آغاز گردیده و کل حوزهٔ خلیج‌فارس را شامل می‌شود (Rezaian *et al*., 2014).

در نهایت، هر چه ریسک وارده بر محیط‌های پذیرنده شدت بیشتری داشته باشد و زیان شدیدتری به منابع وارد نماید، امتیاز بالاتری را دریافت خواهد نمود (Jozi *et al*., 2012; Rezaian *et al*., 2014).

نحوهٔ محاسبهٔ‌رده: به‌منظور محاسبهٔ طول رده در گام نخست می‌بایست تعداد رده از فرمول ۱ محاسبه گردد (Rezaian *et al*., 2014):

فرمول ۱ تعداد رده= ۳+۱/۳Logn

سپس طول رده، از تفاضل کوچکترین مقدار و بزرگترین مقدار عدد اولویت ریسک (Risk Priority Number= RPN) تقسیم بر تعداد رده، مطابق با فرمول ۲ محاسبه می‌گردد:

فرمول ۲ طول رده =(بزرگ‌ترین RPN – کوچکترین RPN)/ تعداد رده

نتایج به‌دست آمده از محاسبهٔ RPN اولیه در جدول ۴ ذکر شده است:

همان‌طور که از جدول ۴ استنتاج می‌گردد، کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین عدد اولویت ریسک به‌ترتیب برابر با عدد ۲ و ۳۶ بودند. همچنین طول رده نیز برابر با ۴/۲۵ محاسبه شد. در نهایت بر مبنای طول ردهٔ محاسبه شده، دسته‌بندی حدود ریسک مطابق با جدول ۵ محاسبه گردید. اقدامات مدیریتی در زمینهٔ کاهش ریسک محیط‌زیستی منطبق با جدول ۵ صورت خواهد گرفت.

جدول ۱- رتبه‌بندی شدت EFMEA (Danielsson and Gunnarsson, 2001)

شدت	شرح شدت	امتیاز
شدید/فاجعه‌آفرین	بسیار مضر یا مخرب بالقوه/اتلاف یا مصرف بسیار زیاد منابع	۵
جدی	مضر، اما مخرب بالقوه نمی‌باشد/اتلاف یا مصرف زیاد منابع	۴
متوسط	نسبتاً مضر/اتلاف یا مصرف متوسط منابع	۳
خفیف	پتانسیل کمی برای ضرر دارد/اتلاف یا مصرف کم منابع	۲
ضرر ناچیز	ضرر ناچیز و قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد/اتلاف یا مصرف ناچیز منابع	۱

جدول ۲- رتبه‌بندی احتمال‌وقوع EFMEA (Danielsson and Gunnarsson, 2001)

احتمال وقوع	امتیاز
رخداد بسیار زیاد و حتمی (امکان دارد هر روز اتفاق بیافتد)	۵
رخداد معمول (امکان دارد در طول هفته اتفاق بیافتد)	۴
رخداد محتمل و متوسط (امکان دارد در طول ماه اتفاق بیافتد)	۳
رخداد کم مقدار (امکان دارد در طول سال یکبار اتفاق بیافتد)	۲
رخداد غیر ممکن و بعید (امکان دارد در هر ۱۰ سال یکبار اتفاق بیافتد)	۱

جدول ۳- گسترهٔ آلودگی EFMEA (Danielsson and Gunnarsson, 2001)

گستردگی آلودگی	امتیاز
منطقه‌ای (حوزهٔ دریای خلیج فارس)	۵
در سطح پروژه (پارس جنوبی، دریا)	۴
در سطح کارگاه (دکل‌های حفاری دریایی)	۳
در سطح واحد (دکل حفاری دریایی)	۲
در سطح ایستگاه کاری (بخش مورد نظر دکل حفاری دریایی)	۱

جدول ٤- نتایج به‌دست آمده از محاسبهٔ RPN اولیه

۱۳۲	تعداد داده‌ها
تعداد رده	۸
کوچکترین عدد اولویت ریسک	۲
بزرگترین عدد اولویت ریسک	۳۶
طول رده	۴/۲۵

جدول ۵- دسته‌بندی حدود ریسک در EFMEA

ردیف	نوع ریسک	حدود ریسک
دستهٔ اول	ریسک‌های پایین (L)	۱≥RPN>۴/۲۵
دستهٔ دوم	ریسک‌های متوسط (M)	۴/۲۵≥RPN>۸/۵
دستهٔ سوم	ریسک‌های بالا (H1)	۸/۵≥RPN≥۱۲/۷۵
دستهٔ چهارم	ریسک‌های خیلی بالا (H2)	RPN>۱۲/۷۵

یافته‌های پژوهش

نتایج حاصل از پژوهش بر مبنای گام‌های مطالعاتی به‌صورت ذیل می‌باشند:

ارزیابی ریسک‌های ناشی از حفاری‌های نفت و گاز در منطقهٔ پارس‌جنوبی به روش EFMEA: با توجه به نوع فعالیت دکل‌های حفاری در دریا، سکوهای آن و همچنین اثرات هم‌افزایی شناورهای دریایی، جلوگیری از وقوع آلودگی نفتی غیرممکن بوده اما با شناسایی خطرات و ریسک‌های آلودگی و ارائهٔ راهکارهای پیشگیرانه و کنترلی می‌توان تأثیر مخرب محیط‌زیستی حاصل از آن را کاهش داد (Mardani *et al*., 2022). بخشی از آلودگی‌های نفتی در دریا که در این پژوهش به‌دست آمده شامل فوران چاه، آسیب به محیط‌زیست دریا، آلودگی هوا، اختلال در فعالیت‌های زیستی دریا، از دست رفتن ارگانیسم‌های موجود در دریا، افزایش محلی دما در محدودهٔ دریا و آلودگی بوم‌سازگان دریایی بود. از فرآیندهای گوناگون دکل‌های حفاری مرتبط با محیط‌زیست در دریا می‌توان به عملیات حفاری، بارگیری و تخلیه سوخت و مواد شیمیایی، عملیات لولهٔ مغزی سیار، عملیات لولهٔ آستری، عملیات سیمان‌کاری، پسماند گِل و مواد غذایی، عملیات اسیدکاری، ساختن گِل حفاری، عملیات کنترل چاه، تأمین انرژی دکل حفاری، عملیات لولهٔ بالا و پایین، رنگ‌کاری، شستشوی تجهیزات و انتقال ضایعات اشاره نمود (Jozi *et al*., 2012).

ارزیابی اولیهٔ ریسک جنبه‌های محیط‌زیستی به روش EFMEA: از مجموع ۱۳۲ عدد فعالیت‌های شناسایی شده در حیطهٔ محیط‌زیست دریایی دکل‌های حفاری، جهت تبیین نحوهٔ انجام پژوهش، ۵ مورد به‌صورت نمونه انتخاب و در جدول ۶ بیان شده است. همچنین به‌منظور سهولت تحلیل، تعداد ریسک‌های واقع‌شده در هر طبقه، در جدول ۷ خلاصه گردید. نتایج نهایی ارزیابی ریسک اولیهٔ محیط‌زیستی ناشی از فعالیت‌های دکل حفاری دریایی که نشان‌دهندهٔ اهمیت و مخاطرات محیط‌زیستی ایجاد شده از فعالیت‌های فوق است، کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین عدد اولویت ریسک (RPN)، پیش از اقدامات کنترلی را به‌ترتیب برابر با عدد ۴ و ۸۰ نشان داد. پس از طبقه‌بندی ریسک‌های موجود، جهت کاهش ریسک‌های موجود، اقدامات کنترلی اعمال گردید و در نهایت ارزیابی ریسک جنبه‌های محیط‌زیستی به روش EFMEA مجدداً صورت پذیرفت. نتایج حاصل از ارزیابی ثانویهٔ جنبه‌های ریسک محیط‌زیستی در ادامه بیان شده است.

ارزیابی ثانویه ریسک جنبه‌های محیط‌زیستی به روش EFMEA: از مجموع ۱۳۲ عدد فعالیت‌های شناسایی شده در ارزیابی ثانویه، که ۵ مورد آن در جدول ۸ نشان ارائه شده است، تعداد ریسک‌های و در هر طبقه به‌صورت جدول ۹ بود. همچنین، نتایج نهایی ارزیابی ریسک ثانویه محیط‌زیستی ناشی از فعالیت‌های دکل حفاری دریایی، کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین عدد اولویت ریسک (RPN)، پس از اقدامات کنترلی را به‌ترتیب برابر با عدد ۲ و ۳۶ نشان داد. این نتایج نشان داد که اقدامات کنترلی صورت‌پذیرفته، نقش به‌سزایی در کاهش ریسک‌ها و مخاطرات محیط‌زیست دریایی داشت.

در تحلیل جدول‌های ۸ و ۹ می‌توان بیان داشت که از مجموع ۱۰۶ ریسک واقع‌شده در طبقهٔ ریسک خیلی بالا پیش از اقدامات کنترلی، پس از این اقدامات تنها ۵۸ ریسک موقعیت اولیهٔ خود را حفظ نموده و در همان طبقه باقی‌ماندند و در سایر موارد با کاهش میزان شدت ریسک، در طبقات بعدی قرار گرفتند. این امر دلیل افزایش ریسک در طبقات بعدی بود که بیانگر تأثیر اقدامات کنترلی مطرح شده است.

مقادیر RPN ریسک‌های مختلف بعد از اقدامات اصلاحی: جهت کاهش RPNها از روش کاهش گسترهٔ آلودگی، کاهش عدد احتمال وقوع و کاهش شدت خطا استفاده شد و ارزیابی ثانویه بین فعالیت‌ها و عملیات‌های مطرح گردیده، انجام پذیرفت. اعداد RPN به‌دست آمده قبل و بعد از اعمال اقدامات کنترلی در شکل ۳ ارائه شده است. همان‌طور که از شکل استنتاج می‌شود، در تمامی موارد اعمال اقدامات کنترلی توانسته است در کاهش سطح ریسک به‌طور چشمگیری مؤثر بوده و عدد اولویت ریسک را کاهش دهد. این امر بیانگر بهبود در وضعیت محیط‌زیستی در صورت رعایت اقدامات کنترلی در محیط‌زیست دکل‌های حفاری دریایی است (Jozi and Seifossadat, 2014; Nabizadeh *et al*., 2021). در تفسیر نتایج به‌دست آمده و کاهش عدد اولویت ریسک می‌توان بیان داشت که برای پیشگیری از وقوع آلودگی‌های محیط‌زیست دریایی، باید از راهکارهای کنترلی استفاده شود که از جملهٔ این راهکارها می‌توان آموزش به پرسنل، انجام بازدیدها و تست‌های دوره‌ای، اخذ مجوزهای انجام کار، اجرای کامل قوانین محیط‌زیستی، داشتن دستورالعمل‌ها و اجرای آن و نصب نشانه‌های محیط‌زیستی و دیگر اقدامات کنترلی اشاره نمود (Dadgar and Payandeh, 2019; Gharibi *et al*., 2020; Ebadzadeh *et al*., 2023).

جدول ٦- ارزیابی اولیه ریسک‌های جنبهٔ محیطزیستی به روش EFMEA (Danielsson and Gunnarsson, 2001)

ردیف	فرآیند	تجهیزات/ فعالیت	حالات خرابی بالقوه (جنبه‌های محیطزیست)	اثر خرابی بالقوه (پیامد)	ارزیابی اولیهٔ جنبه‌های محیطزیستی				
					شدت	احتمال وقوع	گستره آلودگی	RPN	سطح ریسک
۱	حفاری	کنترل فوران	بستن رمزها برای کنترل فوران چاه	از دست دادن کنترل چاه و فوران، ایجاد آلودگی محیطزیستی به‌وسیلهٔ سیال نفتی حاصل از فوران چاه	۵	۲	۵	۵۰	H2
۲	حفاری	تولید کنده حفاری	تخلیهٔ کندهٔ حفاری به دریا	ایجاد تیرگی در آب دریا، از دست رفتن شکل اصلی سطح آب دریا، از بین رفتن ارگانیسم‌های موجود در دریا	۴	۵	۳	۶۰	H2
۳	حفاری	تکمیل چاه و اسیدکاری	نشتی، تخلیهٔ مواد شیمیایی به دریا	اثرات سمی بر روی ارگانیسم‌های دریایی در یک محدودهٔ زمانی، آلودگی بوم‌سازگان دریایی، از بین رفتن ارگانیسم‌های موجود در دریا	۵	۳	۴	۶۰	H2
۴	موتورخانه	خنک‌سازی	تخلیهٔ آب گرم به دریا	افزایش محلی دما در محدودهٔ دریا اطراف دستگاه حفاری، تغییرات رفتاری در زندگی دریایی محدودهٔ دریا	۴	۳	۳	۳۶	H2
۵	سوخت	سوخت‌رسانی از شناورها به دستگاه حفاری	نشتی، تخلیهٔ گازوییل به دریا	تأثیر فیزیکی روغنی و اثرات سمی بر روی زندگی جانداران دریایی، جمع شدن و ایجاد روغن در زنجیرهٔ مواد غذایی، آلودگی بوم-سازگان دریایی، از بین رفتن ارگانیسم‌های موجود در دریا	۴	۴	۴	۶۴	H2

جدول ۷- نتایج ارزیابی اولیه جنبه‌های ریسک محیطزیستی به روش EFMEA (Danielsson and Gunnarsson, 2001)

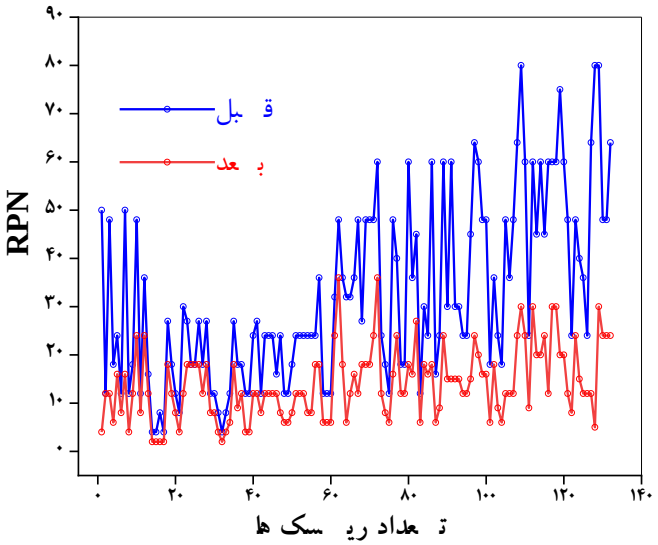
تعداد فعالیت‌های شناسایی شده	۱۳۲
تعداد ریسک‌های خیلی بالا	۱۰۶
تعداد ریسک‌های بالا	۱۸
تعداد ریسک‌های متوسط	۴
تعداد ریسک‌های پایین	۴

جدول ۸- ارزیابی ثانویه ریسک‌های جنبهٔ محیط‌زیستی به روش EFMEA

ردیف	اقدام کنترلی	ارزیابی ثانویه جنبه‌های زیست‌محیطی				
		شدت	احتمال وقوع	گستره آلودگی	RPN	سطح ریسک
۱	انجام تست شیر فوران‌گیر به‌صورت دوره‌ای و نیز به درخواست ناظر کارفرما در زمان ایجاد تغییر در اجزای مجموعه فوران‌گیر، آموزش نفرات عملیات در زمینه اقدامات لازم در شرایط اضطراری، آموزش نفرات کلیدی دستگاه در قالب دوره های معتبر کنترل فوران چاه در سه رده حفار، رئیس دستگاه و ناظر عملیات	۴	۱	۴	۴	L
۲	حصول اطمینان از رعایت الزامات و نیازمندی‌های قانونی مشخص شده در MARPOL1 Annex III: Control of Pollution by Noxious Liquid Substances به‌منظور جلوگیری و انتشار آلاینده‌های موجود در کنده‌های حفاری، اجرای طرح و برنامهٔ محیط-زیست تأیید شده توسط شرکت	۳	۴	۲	۲۴	H2
۳	حمل و جابجایی مواد، شیمیایی Labeling نیازمندی‌های قانونی: MARPOL Annex III: Control of Pollution by Noxious Liquid Substances MARPOL Annex III: harmful substances in packaged form International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG2 Code), Class-6 اجرای طرح و برنامهٔ محیط‌زیست تأیید شده و مستند مطالعات ارزیابی اثرات محیط‌زیستی پروژهٔ حفاری در حال اجرا در دریا توسط کارفرما	۵	۲	۳	۳۰	H2
۴	پیروی از مطالعات ارزیابی اثرات محیط‌زیستی پروژهٔ حفاری در دریا توسط کارفرما	۳	۲	۲	۱۲	H1
۵	انجام بازرسی‌های دوره‌ای از هوزهای انتقال گازوییل از کشتی‌ها به دستگاه حفاری، پیروی از مستند تأیید شدهٔ طرح و برنامهٔ آمادگی واکنش و پاسخ در شرایط اضطراری، پیروی از مستند تأیید شدهٔ Emergency Oil Spill Plan	۴	۳	۱	۱۲	H1

جدول ۹- نتایج ارزیابی ثانویهٔ جنبه‌های ریسک محیط‌زیستی به روش EFMEA

تعداد فعالیت‌های شناسایی شده	۱۳۲
تعداد ریسک‌های خیلی بالا	۵۸
تعداد ریسک‌های بالا	۳۷
تعداد ریسک‌های متوسط	۲۵
تعداد ریسک‌های پایین	۱۲



شکل ۳- تغییر در اعداد RPN قبل و بعد از اجرای اقدامات کنترلی

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر برای نخستین بار، ارزیابی ریسک محیطزیستی به روش EFMEA را برای فعالیت‌های مرتبط با عملیات حفاری چاه‌های نفت و گاز در منطقهٔ پارس جنوبی مورد بررسی قرار داد. طبق رتبه‌بندی انجام گرفته، ۳ درصد از جنبه‌ها در سطح ریسک پایین، ۳ درصد از جنبه‌ها در سطح ریسک متوسط، ۱۴ درصد از جنبه‌ها در سطح ریسک بالا و ۸۰ درصد از جنبه‌ها در سطح ریسک خیلی بالا قرار گرفتند. پس از اجرای اقدامات اصلاحی، ارزیابی ریسک ثانویه انجام شد و اعداد اولویت ریسک مجدداً محاسبه گردید. بر این مبنا ۹ درصد از جنبه‌های محیطزیستی در سطح ریسک پایین، ۱۹ درصد در سطح ریسک متوسط، ۲۸ درصد در سطح ریسک بالا و ۴۴ درصد در سطح ریسک خیلی بالا قرار گرفتند. بر مبنای نتایج به‌دست آمده فوران‌چاه باعث ایجاد آلودگی‌هوا، آلودگی‌دریا، از بین رفتن آبزیان دریایی، اتلاف منابع و خسارات جانی و مالی می‌شود، از این‌رو بالاترین عدد ریسک را در مطالعهٔ حاضر به‌خود اختصاص داد. به‌طور کلی نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که فعالیت و عملیات دکل‌های حفاری دارای ریسک بسیار زیادی است که آلودگی‌های محیطزیستی فراوانی را در صورت عدم رعایت موازین ایمنی و محیطزیستی به بار خواهد آورد (Jozi and Seifossadat, 2014; Gharibi *et al*., 2020). بنابراین اعمال اقدامات کنترلی بیان شده در مطالعهٔ حاضر می‌تواند نقش به‌سزایی در کاهش این پیامدها ایفا نماید. اقدامات کنترلی و اصلاحی مطرح شده، متناسب با نوع فعالیت و فرآیند در حال انجام بود که از پتانسیل ریسک محیطزیستی بالایی برخوردارند. برخی از این اقدامات اصلاحی شامل حصول اطمینان از رعایت الزامات و نیازمندی‌های قانونی مشخص شده در کنوانسیون مارپل، آموزش نفرات عملیاتی در زمینهٔ اقدامات لازم در شرایط اضطراری، تعبیه شبکهٔ جمع‌آوری سیال خروجی از چاه، پیروی از مطالعات ارزیابی اثرات محیطزیستی پروژهٔ حفاری در حال اجرا در دریا توسط کارفرما، اطمینان از آموزش حفار و سرحفار در برنامه‌های کنترل چاه، اجرای طرح و برنامه‌های محیطزیستی تأیید شده توسط شرکت، پیروی از مستندات مورد تأیید طرح و برنامهٔ آمادگی واکنش و پاسخ در شرایط اضطراری در کنترل فوران چاه بود (Safy *et al*., 2015; Younesi *et al*., 2017; Ebadzadeh *et al*., 2023). همچنین انجام تست و بازرسی‌های دوره‌ای از تجهیزات، بازیافت ضایعات و ارزیابی ریسک قبل از انجام عملیات در دکل حفاری ضروری به‌نظر می‌رسد (Jozi *et al*., 2012).

در ارتباط با پخش و پراکنش نفت حاصل از فعالیت‌های دکل حفاری، می‌بایست محدودسازی لکهٔ نفتی، پاکسازی و برداشت آن با اسکیمرها و جعبه‌های SOPEP[۲] جهت برداشت لکه‌های نفتی با جدیت بیشتری مدنظر قرار گیرد (Ferreira *et al*., 2023). همچنین ریسک حاصل از فوران چاه که با آلودگی محیطزیستی و عدد RPN بالایی همراه بود می‌تواند با استفاده از شیر فوران‌گیر (BOP)[۳] و مکانیزه نمودن سیستم نمودارگیری از گِل حفاری کاهش یابد (Boufadel *et al*., 2023). به جهت اهمیت ارزیابی مخاطرات حاصل از عملیات نفت و گاز بر محیطزیست پهنه‌های آبی و در پی آن ارائهٔ راهکارهایی به‌منظور مدیریت بهتر این فعالیت‌ها، مطالعات گسترده‌ای در این زمینه صورت پذیرفته است. در مطالعه‌ای که به‌منظور پیش‌بینی آسیب‌پذیری آلودگی نفتی در خلیج فارس جهت تعیین مناطق پرخطر آسیب‌پذیر نفتی در محدودهٔ خلیج فارس صورت پذیرفت، معیارهای مؤثر ازجمله لوله‌های انتقال نفت، سکوهای نفتی، مسیر عبور و مرور کشتی ها، بنادر، فلزات سنگین، نوسانات تراز سطح آب، بارندگی، جریانات دریایی، آلودگی هوا و بادهای موسمی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که از مجموع فعالیت‌ها، لوله‌های انتقال نفت، سکوهای نفتی و مسیرهای عبور و مرور نفتکش‌ها بیشترین تأثیر را در آلوده‌سازی خلیج فارس دارا بودند. این امر بیانگر اهمیت ارزیابی فعالیت‌های مرتبط با عملیات نفتی و حفاری در محیط‌های دریایی است (Eftekhari *et al*., 2022). Mohammad Zadeh و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی آلودگی‌های محیطزیستی سکوهای گازی دریایی میدان پارس جنوبی پرداختند. آنان بیان داشتند که آلودگی آب و آسیب به تنوع زیستی از مهم‌ترین آثار مخرب سکوهای گازی دریایی است. در این بین آسیب به تنوع‌زیستی و گونه‌های زنده شدیدتر ارزیابی گردید. در مطالعهٔ حاضر نیز نقش عملیات حفاری بر تهدید بوم‌سازگان دریایی و آسیب به تنوع زیستی پهنهٔ آبی خلیج فارس بسیار مشهود بود. در ارتباط با تأثیر مستقیم فعالیت تأسیسات نفتی و گازی در بوم‌سازگان‌های دریایی،

[2]Shipboard Marine Pollution Emergency Plans
[3]Blowout Preventer

Bateni و همکاران (۲۰۱۹) بیان نمودند که با فاصله از ساحل و تأسیسات نفتی و گازی، شاخص خطر محیط‌زیستی کاهش پیدا می‌کند. این امر بیانگر تأثیر مستقیم فعالیت‌های انسانی بر آلودگی محیط پیرامون این تأسیسات بود. Hosseini و همکاران (۲۰۱۲) مدیریت ریسک محیط‌زیستی فعالیت‌های فاز ساخت سکوهای میدان نفتی رشادت را مورد ارزیابی قراردادند. آنان در تحقیق خود تأثیر فعالیت‌های مختلف شناسایی شده بر روی جنبه‌های محیط‌زیستی (آلودگی هوا، آلودگی آب، آلودگی خاک، صوت، پسماند و انسان) را مورد بررسی قرار دادند. سپس با استفاده از سامانهٔ شاخص‌گذاری (حاصلضرب سه فاکتور اهمیت، اثر و تکرار رخداد فعالیت) میزان اعداد اولویت ریسک برای هر کدام از فعالیت‌ها را محاسبه نمودند. بر مبنای نتایج این تحقیق، راهکارهای اصلاحی نقش بسیار مؤثری در کاهش مخاطرات محیط‌زیست دریایی داشتند. با توجه به ماهیت مطالعه، اقدامات کنترلی پیشنهادی در این مطالعه، شباهت بسیار زیادی با مطالعهٔ کنونی داشت. Salehipour Bavarsad (۲۰۰۰) به شناسایی و ارزیابی ریسک فوران چاه نفت در عملیات اکتشاف با استفاده از روش FMEA در میدان نفتی آزادگان پرداختند. آنان بیان نمودند که آنالیز ریسک یکی از مهم‌ترین ابزارها ارزیابی خطرات، طراحی اقدامات کاهشی خطر و افزایش سطح ایمنی در این صنایع محسوب می‌گردد. همچنین در مطالعهٔ خود به این نتیجه رسیدند که در مجموع، ۲۱ علت یا نقص (رویداد پایه) در بروز رویداد اصلی یا همان سیلان دخالت دارند. آنان ۷ لایهٔ کنترلی را در پیشگیری از وقوع فوران شناسایی نمودند. بیشینه و کمینهٔ RPN محاسبه شده در این مطالعه به ترتیب برابر با ۵۴۰ و ۶۰ محاسبه گردید. بالاترین ریسک‌ها خطا در لایه‌های حفاظتی و کنترل کننده بود که به علت عدم ایمنی در اجرای فعالیت‌های عملیاتی بودند. این امر اهمیت اقدامات کنترلی پیامدهای محیط‌زیستی مورد اشاره در مطالعهٔ حاضر را مورد تأکید قرار می‌دهد. همچنین Sharifat (۲۰۲۱) با استفاده از روش EFMEA به تجزیه و تحلیل ریسک‌های محیط‌زیستی فعالیت-های فاز ساخت سکوهای میدان نفتی ابوذر پرداخت. نتایج نشان داد که ۶۹ درصد از ریسک‌های میدان نفتی در سطح بالا، ۲۳ درصد در سطح متوسط و تنها ۸ درصد از ریسک‌ها در سطح پایین قرار داشتند. بر این اساس اقدامات کنترلی از قبیل انجام بازرسی‌های دوره‌ای و نظارت پرسنلHSE، انجام تعمیرات دوره‌ای دستگاه‌ها و تجهیزات، رعایت دستورالعمل‌های مدیریت پسماند، محصورکردن محیط انجام کار، جمع‌آوری و خروج روزانهٔ پسماندها از منطقه پیشنهاد شد. نتایج حاصل از این مطالعه، دستاوردهای تحقیق حاضر را تأیید می‌نماید. Jozi و همکاران (۲۰۱۲) به کمک روش EFMEA به ارزیابی و مدیریت ریسک محیط‌زیستی واحد پلی‌اتیلن شرکت پلیمر آریاساسول پرداختند. پس از تعیین عدد اولویت ریسک، بیان داشتند که ۳۹ درصد از فعالیت‌های صورت گرفته در این شرکت از ریسک بالا برخوردار بودند. با توجه به اینکه حداقل و حداکثر عدد اولویت ریسک به‌دست آمده در این شرکت نسبت به شرکت پتروشیمی زاگرس کمتر بود، بیان داشتند که رعایت معیارهای محیط‌زیستی در شرکت آریاساسول از مطلوبیت بالاتری برخوردار است. در مقایسه با مطالعهٔ حاضر، پس از انجام اقدامات اصلاحی و محاسبهٔ RPN ثانویه، مقدار RPN برآوردشده کمتر از مقدار به‌دست آمده در شرکت آریاساسول بود، اما با توجه به ماهیت عملیات، درصد ریسک‌های خیلی بالا در مطالعهٔ کنونی نسبتاً بالاتر بود که این امر بر اجرای دقیق‌تر معیارها و ضوابط محیط‌زیستی در عملیات حفاری تأکید می‌ورزد.

در مجموع این پژوهش نشان داد که روش EFMEA از پتانسیل بالایی جهت کاهش ریسک‌های محیط‌زیستی در دکل‌های حفاری دریایی برخوردار است. از این‌رو، با توجه به اینکه روش EFMEA یک روش تلفیقی کمی و کیفی است بهره‌گیری از این روش می‌تواند در فرآیند توسعهٔ تولید و شناسایی ساختارها و جنبه‌های مهم دارای اولویت در بروز پیامدهای محیط‌زیستی و همچنین ارائهٔ راهکارهای کاستن از این آثار نقش به‌سزایی داشته باشد. برمبنای نتایج حاصل از این تحقیق، راهبردهای زیر جهت کاهش بحران‌های محیط‌زیستی در دکل‌های حفاری منطقهٔ پارس جنوبی جهت اصلاح پیشنهاد می‌گردد:

۱- نگاه سیستماتیک و جامع برای بهبود فعالیت‌های محیط‌زیستی.

۲- نگرش و باورهای ضعیف پرسنل و مدیران به مقولهٔ محیط‌زیست در صنعت حفاری.

۳- وجود بحران در صنعت حفاری به‌دلیل عدم سرمایه‌گذاری مناسب و آموزش به پرسنل و به‌روز کردن صنعت با فناوری روز دنیا.

۴- ایجاد فرهنگ محیط‌زیستی مثبت در تمامی سطوح کارکنان و به‌دنبال آن پیشگیری از حوادث احتمالی در صنعت حفاری.

سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری واحد HSE شرکت مپنا، در دکل حفاری دریایی مستقر در پارس جنوبی در انجام این تحقیق نهایت تقدیر به‌عمل می‌آید.

References

Al-Darwish, H., Abd El-Gawad, E., Mohammed, F., Lotfy, M., 2005. Assessment of contaminants in Dubai coastal region, United Arab Emirates. Environmental Geology 49(9), 240-250.

Amir-Heidari, P., Farahani, H., Ebrahemzadih, M., 2015. Risk assessment of oil and gas well drilling activities in Iran–a case study: Human factors. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics 21(3), 276-283.

Bateni, F., Mehdinia, A., Seyed Hashtroudi, M., 2019. Ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Persian Gulf surface sediments, Bushehr. Iranian Journal of Health and Environment 11(4), 563-574.

Boufadel, M.C., Özgökmen, T., Socolofsky, S.A., Kourafalou, V.H., Liu, R., Lee, K., 2023. Oil transport following the Deepwater Horizon blowout. Annual Review of Marine Science 15(1), 67-93.

Dadgar, P., Payandeh, P.E., 2019. Environmental Risk Assessment of Sugar Industries Using the EFMEA Method and Providing Environmental Management Solutions. Specialty Journal of Engineering and Applied Science 4(2), 129-141.

Danielsson, M., Gunnarsson, S., 2001. Guideline for Implementation of Environment Failure Mode and Effect Analysis Method. Marmarit Publish. Sofia, Bulgaria 127(2) 138-145.

Ebadzadeh, F., Monavari, S., Jozi, S., Robati, M., Rahimi, R., 2023. Combining the Bow-tie model and EFMEA method for environmental risk assessment in the petrochemical industry. International Journal of Environmental Science and Technology 20(2), 1357-1368.

Eftekhari, M., Eslaminezhad, S. A., Ghezelsofloo, A.A., Rastgoo, M., 2022. Predicting the vulnerability of oil spill in the Persian Gulf using artificial intelligence methods in the GIS. Journal of GIS & RS Application in Planning 13(2), 40-52.

Ekundayo, F.O., Olukunle, O.F., Ekundayo, E.A., 2012. Biodegradation of Bonnylight crude oil by locally isolated fungi from oil contaminated soils in Akure, Ondo state. Malaysian Journal of Microbiology 8(1), 42-46.

Ferreira, N. M., Coutinho, R., & de Oliveira, L. S. (2023). Emerging studies on oil pollution biomonitoring: A systematic review. Marine Pollution Bulletin 192(2), 115081.

Gharibi, V., Ghaedi Jahromi, M., Mohammadnia, M.R., Hosseini Gharbi, S.M., 2020. Environmental Risk Assessment of Gas Wells Drilling Effluents: Integration of Environmental Failure Mode and Effects Analysis and Analytic Network Process Models. Journal of Health Sciences & Surveillance System 8(1), 49-56.

Golbarg, F., Nabi Bidhendi, G., Hoveidi, H., 2018. Environmental management of oil pipelines risks in the wetland areas by Delphi and MCDM techniques: Case of Shadegan international wetland, Iran. Pollution 4(2), 195-210.

Hosseini, H., Dana, T., Arjmandi, R., Shirianpour, I., 2012. Environmental Risk management For Construction phase of Oil Fields Platforms (Case study construction phase of Reshadat oil field). Human & Environment 10(22), 33-53.

Jozi, S. A., Goleinji, N., Mohammadfam, I., 2012. Environmental Risk Assessment and Management in Polyethylene Unit, Aryasasol Co. Through Efmea Method. Journal of Sciences and Techniques in Natural Resources 6(4), 147-160.

Jozi, S.A., Seifossadat, S.H., 2014. Environmental risk assessment of Gotvand-Olia dam at operational phase using the integrated method of environmental failure mode and effects analysis (EFMEA) and preliminary hazard analysis. Journal of Environmental Studies 40(1), 107-120.

Kheirkhah, J., Amiri, M., 2020. Environmental Risk Assessment of Sungun Copper Mine Tailing Dam Using EFMEA Method. Journal of Geography and Environmental Hazards 8(4), 173-189.

Madani, S., Malmasi, S., Nezakati Esmaeelzade, R., 2017. Environmental Impact Assessment of Steel Plants Using Modified RIAM Method (Case Study: Tiam Steel Plant in Guilan Province). Journal of Environmental Science and Technology 19(4), 409-421.

Mardani, M., Nowrouzi, M., Abyar, H., 2022. Evaluation and modeling of radiation and noise pollution in the north of the Persian Gulf (Case study: South Pars gas platforms). Advances in Environmental Technology 8(3), 229-238.

Mohammad Zadeh, R., Mirza Ebrahim Tehrani, M., Jozi, S.A., Moogouei, R., 2021. Investigation of Environmental Pollution of Offshore Gas Platforms in South Pars Field with Principal Component Analysis and Bayesian Network Model from 2019 to 2020: A Descriptive Study. Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences 20(8), 905-920.

Nabizadeh, M., Khalilzadeh, M., Ebrahimnejad, S., Ershadi, M.J., 2021. Developing a fuzzy goal programming model for health, safety and environment risks based on hybrid fuzzy FMEA-VIKOR method. Journal of Engineering, Design and Technology 19(2), 317–338.

Norouzi, M., Mansouri, B., Hamidian, A.H., Zarei, I., Mansouri, A. 2012. Metal Concentrations in Tissues of Two Fish Species from Qeshm Island, Iran. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 89(5), 1004-1008.

Nowrouzi, M., Pourkhabbaz, A., Rezaei, M., 2014. Sequential extraction analysis of metals in sediments from the Hara Biosphere Reserve of Southern Iran. Chemical Speciation & Bioavailability 26(4), 273-277.

Omidvar, M., Nirumand, F., 2017. Risk assessment using FMEA method and on the basis of MCDM, Fuzzy logic and Grey theory-a case study of overhead cranes. Journal of Health & Safety at Work 7(1), 7-13.

Rezaian, S., Mojahedi, M., Jozi, S.A. 1393. Environmental Risk Assessment of Polystyrene unit of Tabriz Petrochemical Company by using adaptive Environmental Failure Mode and Effect Analysis Technique (EFMEA) and Job Safety Analysis Technique (JSA). Journal of Environmental Science and Technology 2(3), 137-162.

Ruokonen, E., Temmes, A., 2019. The approaches of strategic environmental management used by mining companies in Finland. Journal of Cleaner Production 210(4), 466-476.

Saeidi, P., Saeidi, S.P., Sofian, S., Saeidi, S.P., Nilashi, M., Mardani, A., 2019. The impact of enterprise risk management on competitive advantage by moderating role of information technology. Computer Standards & Interfaces 63(3), 67-82.

Safy, M., Moharamnejad, N., Danehkar, A., Jozi, S., 2015. Developing an appropriate mathematical model for the environmental risk assessment of jack-up drilling rigs (case study: South Pars field, Iran). International Journal of Environmental Science and Technology 12(3), 3125-3132.

Salehipour Bavarsad, A. 1379. *Identifying and assessing the risk of oil well blowout in exploration operations using the FMEA method. Case study: Azadegan oil field.* [MSc. Thesis]. Science & Art University. (In Persian)

Sharifat, A. (1400). *Analyzing the environmental risks of oil field construction phase activities by EFMEA method* [MSc. Thesis]. Mehr Arvand University. (In Persian)

Vazdani, S., Sabzghabaei, G., Dashti, S., Cheraghi, M., Alizadeh, R., Hemmati, A., 2017. FMEA techniques used in environmental risk assessment. Environment & Ecosystem Science (EES) 1(2), 16-18.

Younesi, A., Rahmani, R., Jaafari, J., Mahdavi, Y., 2017. Environmental risk assessment and management in oil platform construction phase Activities: A case study. Engineering, Technology & Applied Science Research 7(3), 1658-1663.