



Journal of Environmental
Management and Law

فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست

<https://sanad.iau.ir/en/Journal/jeml>

Comprehensive Risk and Environmental-Social Impact Assessment of Fuel Storage Tank Incidents in Infrastructure Projects Using Phast (A Case Study of the Esfahan Emergency Water Transfer Project)

Zahra Johari¹, Maryam Nasri Nasrabadi^{2*}, Parvaneh Peykanpurfard³

¹ Department of environmental Science, Institute of Agriculture, Water, Food, and Nutraceuticals, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran, Department of Environmental Sciences, Waste and Wastewater Research Center, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran

² Department of environmental Science, Institute of Agriculture, Water, Food, and Nutraceuticals, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran

³ Department of HSE Management, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

*Corresponding Author: Maryamnasr4556@gmail.com

Original Paper	Abstract
Received: 2024.09.19 Accepted: 2025.03.14	Fuel storage tanks in infrastructure projects, particularly in water transmission lines, pose significant risks regarding leaks, explosions, and fires. This study conducted a quantitative risk assessment of diesel tanks and their environmental-social impacts within the Isfahan Emergency Water Transfer Project. For this purpose, two failure scenarios—complete tank rupture and a 150-mm diameter puncture—were modeled using PHAST 8.4 software. The model outputs, including concentration, blast wave overpressure, and thermal radiation, were analyzed and mapped onto regional maps using ArcGIS 10.8 within a Geographic Information System (GIS) environment. This allowed for a simultaneous examination of environmental and social impacts. Results indicated that in the complete rupture scenario, dispersion occurred up to 400 meters with a maximum concentration of 65,000 PPM and a blast overpressure of 0.02-0.13 bar. In contrast, the puncture scenario was limited to 90 meters with a concentration of 100,000 PPM. Environmental consequences included the risk of pollution to the Marbar River and agricultural lands, while social consequences involved indirect impacts on livelihoods and infrastructure. The findings underscore the necessity of implementing containment measures, continuous monitoring, and community engagement to enhance safety and sustainability.
Keywords: Diesel Tank Incidents, Phast Software, Risk Management Strategies, Isfahan Water Project.	

<https://doi.org/10.30486/JEML.2025.140405071213440>



Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the

ارزیابی جامع ریسک و پیامدهای محیط زیستی – اجتماعی حوادث مخازن ذخیره سوخت در پروژه‌های زیربنایی با استفاده از نرم‌افزار Phast (مطالعه موردی پروژه انتقال اضطراری آب اصفهان)

زهرا جوهری^۱، مریم نصری نصرآبادی^{۲*}، پروانه پیکانپور فرد^۳

۱- گروه محیط زیست؛ دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها؛ واحد اصفهان (خوراسگان)؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ اصفهان؛ ایران؛ مرکز

تحقیقات پسماند و پساب؛ واحد اصفهان (خوراسگان)؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ اصفهان؛ ایران

۲- گروه محیط زیست؛ دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها؛ واحد اصفهان (خوراسگان)؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ اصفهان؛ ایران

۳ گروه مدیریت HSE، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Maryamnasr4556@gmail.com

نوع مقاله:	چکیده
علمی-پژوهشی	مخازن ذخیره سوخت در پروژه‌های زیربنایی، به‌ویژه خطوط انتقال آب، خطرات قابل‌توجهی از منظر نشت، انفجار و آتش‌سوزی دارند. این پژوهش به ارزیابی کمی ریسک و پیامدهای محیط زیستی- اجتماعی مخازن دیزل در پروژه انتقال اضطراری آب اصفهان پرداخته است. برای این منظور، دو سناریوی شکست کامل مخزن و سوراخ‌شدگی دیواره به قطر ۱۵۰ میلی‌متر با استفاده از نرم‌افزار PHAST 8.4 مدلسازی شدند. خروجی‌های مدل شامل غلظت، فشار موج انفجار و تشعشع حرارتی با بهره‌گیری از نرم‌افزار ArcGIS 10.8 در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تحلیل و بر نقشه‌های منطقه‌ای همپوشانی گردید تا اثرات محیطی و اجتماعی به‌طور همزمان بررسی شوند. نتایج نشان داد در سناریوی شکست کامل، پراکندگی تا ۴۰۰ متر با حداکثر غلظت ۶۵,۰۰۰ PPM و فشار انفجار ۰/۲ - ۰/۱۳ بار رخ می‌دهد، در حالی‌که سناریوی سوراخ‌شدگی محدود به ۹۰ متر با غلظت ۱۰۰,۰۰۰ PPM بود. پیامدهای محیط‌زیستی شامل خطر آلودگی رودخانه ماربر و اراضی کشاورزی و پیامدهای اجتماعی شامل تأثیر غیرمستقیم بر معیشت و زیرساخت‌ها شناسایی شد. یافته‌ها بر لزوم مهار نشت، پایش مستمر و مشارکت جامعه برای ارتقای ایمنی و پایداری تأکید دارند.
تاریخچه مقاله:	
ارسال: ۱۴۰۳/۰۶/۲۹	
پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۴	
کلمات کلیدی:	
حوادث مخازن دیزل، نرم‌افزار Phast، راهبردهای مدیریت ریسک، پروژه انتقال آب اصفهان.	

مقدمه

مخازن ذخیره سوخت در پروژه‌های زیرساختی، اجزای حیاتی محسوب می‌شوند که به دلیل حوادث احتمالی مانند نشت، آتش‌سوزی یا انفجار، خطرات قابل توجهی را به همراه دارند؛ این حوادث قادرند منجر به پیامدهای شدید محیط زیستی و اجتماعی شوند. این ریسک‌ها به‌ویژه در پروژه‌های بزرگ مقیاس که در مناطق حساس اکولوژیکی یا مناطق با تراکم جمعیت بالا واقع شده‌اند، چشمگیرتر هستند؛ در چنین مناطقی، آزادسازی مواد خطرناک مانند دیزل می‌تواند منجر به آلودگی منابع آبی، تخریب کیفیت خاک، و تهدید سلامت و ایمنی انسان‌ها شود. پروژه انتقال اضطراری آب اصفهان، با طولی معادل ۲۰۲ کیلومتر و عبور از شهرستان‌های سمیرم، شهرضا، دهقان، مبارکه و لنجان در ایران، برای پشتیبانی از زیرساخت‌های عملیاتی خود به مخازن سوخت دیزل متکی است. این پروژه که برای انتقال سالانه ۲۱۰ میلیون متر مکعب آب از رودخانه ماربر به مرکز ایران طراحی شده است، نمونه‌ای از چالش‌های توازن میان کارایی عملیاتی با ایمنی و حفظ محیط زیست است. با توجه به نزدیکی پروژه به ویژگی‌های حساس اکولوژیکی مانند رودخانه ماربر، اراضی کشاورزی و سکونتگاه‌های انسانی، یک ارزیابی جامع ریسک محیط زیستی (EIA¹) و ارزیابی اثرات اجتماعی (SIA²) برای تضمین ایمنی هم محیط زیست و هم جوامع محلی ضروری است. مدیریت ریسک‌های مرتبط با فرآیند در تأسیسات صنعتی، همواره کانون توجه تحقیقات در مهندسی شیمی و فرآیند بوده است. ارزیابی کمی ریسک (QRA³) یک روش‌شناسی پرکاربرد برای ارزیابی احتمال و پیامدهای رویدادهای خطرناک است که امکان تصمیم‌گیری آگاهانه برای کاهش ریسک را فراهم می‌آورد (CCPS, 2010). ارزیابی کمی ریسک شامل مدل‌سازی سناریوهایی مانند نشت، انفجار و آتش‌سوزی برای تخمین تأثیر آن‌ها بر جان انسان‌ها، زیرساخت‌ها و محیط زیست است. ابزارهای نرم‌افزاری مانند Phast که توسط DNV⁴ توسعه یافته‌اند، به دلیل قابلیت‌های مدل‌سازی قوی خود برای سناریوهای انتشار، آتش و انفجار، به استانداردهای صنعتی برای انجام ارزیابی کمی ریسک و تحلیل مخاطرات فرآیند (PHA) تبدیل شده‌اند (Witlox et al., 2018). مدل‌های ترمودینامیکی، الگوریتم‌های انتشار و شبیه‌سازی‌های انفجار (مانند TNO Multi-Energy, Baker-Strehlow-Tang) را یکپارچه می‌کند تا پیش‌بینی‌های دقیقی از مناطق خطر ارائه دهد و آن را برای ارزیابی سیستم‌های صنعتی پیچیده مناسب سازد. در سال‌های اخیر، نیاز به یکپارچه‌سازی ارزیابی کمی ریسک با ارزیابی‌های محیط زیستی و اجتماعی برای بررسی پیامدهای گسترده‌تر حوادث صنعتی به طور فزاینده‌ای به رسمیت شناخته شده است. اثرات محیط زیستی، مانند آلودگی آب و خاک ناشی از نشت هیدروکربن‌ها، می‌توانند پیامدهای اکولوژیکی بلندمدت داشته باشند، از جمله تشکیل باران اسیدی به دلیل انتشار دی‌اکسید گوگرد (SO₂) ناشی از احتراق دیزل (Hannun & Razzaq, 2022). اثرات اجتماعی، شامل خطرات برای سلامت انسان، اختلال در معیشت و زیان‌های اقتصادی، به همان اندازه حیاتی هستند، به‌ویژه در مناطقی با جمعیت‌های آسیب‌پذیر یا منابع محدود برای واکنش به حوادث (Khan et al., 2025). مطالعات نظیر مطالعات Johnson (۲۰۲۱) اهمیت یکپارچه‌سازی ملاحظات محیط زیستی و اجتماعی را در ارزیابی‌های ریسک برای توسعه راهبردهای کاهش خطر جامع برجسته کرده‌اند. با این حال، کاربرد چنین رویکردهای یکپارچه‌ای در کشورهای در حال توسعه که پروژه‌های زیرساختی به سرعت در حال گسترش هستند، همچنان محدود است. در مطالعات پیشین از نرم‌افزار Phast برای ارزیابی کمی ریسک در زمینه‌های صنعتی مختلفی استفاده کرده‌اند. به عنوان مثال، Witlox و همکاران (۲۰۱۸) از Phast برای مدل‌سازی انتشار گاز و خطرات انفجار در سکوهای نفتی فراساحلی استفاده کردند و دقت آن را در پیش‌بینی مناطق خطر نشان دادند. به همین ترتیب، Barjoe و همکاران (۲۰۲۲) Phast را برای ارزیابی پیامدهای انتشار مواد شیمیایی در پالایشگاه‌ها به کار بردند و بر توانایی آن در یکپارچه‌سازی داده‌های هواشناسی و خواص مواد تأکید کردند. با این حال، این مطالعات عمدتاً بر ریسک‌های فرآیند متمرکز بودند و

¹ Environmental Impact Assessment

² Social Impact Assessment

³ Quantitative Risk Assessments

⁴ استاندارد DNV (Det Norske Veritas) یک مرجع معتبر صدور گواهی‌نامه و طبقه بندی جامعه بین‌المللی در نروژ است.

توجه محدودی به اثرات محیط زیستی و اجتماعی داشتند. در مقابل، ارزیابی‌های اثرات محیط زیستی نشت هیدروکربن‌ها، به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال، Hannun & Razzaq (۲۰۲۲) اثرات بلندمدت نشت دیزل بر کیفیت آب را بررسی کردند و نقش ترکیبات گوگرد را در تشکیل باران اسیدی و تخریب اکوسیستم‌های آبی برجسته ساختند. ارزیابی‌های اثرات اجتماعی، مانند مطالعات Khan و همکاران (۲۰۲۵)، جابجایی جامعه و خطرات بهداشتی ناشی از حوادث صنعتی را بررسی کرده‌اند، اما این ارزیابی‌ها اغلب به طور مستقل از ارزیابی کمی ریسک انجام می‌شوند. یک شکاف قابل توجه در ادبیات، فقدان مطالعات یکپارچه است که ارزیابی کمی ریسک را با ارزیابی‌های اثرات محیط زیستی و اجتماعی در زمینه پروژه‌های زیرساختی در کشورهای در حال توسعه ترکیب کند. اکثر مطالعات موجود بر محیط‌های صنعتی با چارچوب‌های نظارتی تثبیت‌شده تمرکز دارند، در حالی که پروژه‌ها در مناطقی مانند ایران با چالش‌های منحصر به فردی روبرو هستند، از جمله دسترسی محدود به سیستم‌های پایش لحظه‌ای و رعایت متفاوت استانداردهای ایمنی بین‌المللی (Hameed, 2025). علاوه بر این، در حالی که Phast با سایر مدل‌های انتشار مانند ALOHA و DEGADIS مقایسه شده است (Pouyakian et al., 2023)، کاربرد آن در مناطق حساس اکولوژیکی با دینامیک‌های پیچیده اجتماعی-اقتصادی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعه با یکپارچه‌سازی ارزیابی کمی ریسک با ارزیابی‌های اثرات محیط زیستی و اجتماعی، با استفاده از پروژه اصفهان به عنوان یک مطالعه موردی، به این شکاف‌ها می‌پردازد تا کاربرد عملی Phast را در یک محیط زیرساختی واقعی نشان دهد. پروژه انتقال اضطراری آب اصفهان یک مطالعه موردی منحصر به فرد برای به کارگیری چارچوب ارزیابی ریسک یکپارچه ارائه می‌دهد. این پروژه شامل سه مخزن سوخت دیزل (۳۲-۴۰ متر مکعب) است که برای ایستگاه‌های پمپاژ آن حیاتی هستند و در منطقه‌ای با توپوگرافی متنوع، بادهای غالب و نزدیکی به گیرنده‌های اکولوژیکی و اجتماعی قرار دارند. دو سناریوی شکست - شکست کامل مخزن و سوراخ شدن دیواره ۱۵۰ میلی‌متری - با استفاده از نرم‌افزار Phast مدل‌سازی می‌شوند تا ریسک‌های فرآیند، شامل انتشار گاز، فشار اضافی انفجار و مناطق تابش آتش، کمی‌سازی شوند. این سناریوها با توجه به اشتعال‌پذیری و سمیت دیزل، که حاوی ترکیبات آروماتیک و مشتقات گوگردی است و می‌تواند منجر به تولید دی‌اکسید گوگرد (SO_2) و تشکیل باران اسیدی شود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Yang et al., 2021). نزدیکی پروژه به رودخانه ماربر و اراضی کشاورزی نگرانی‌هایی را در مورد آلودگی احتمالی ایجاد می‌کند، در حالی که فاصله آن از سکونتگاه‌ها (مانند فاصله ۱۱ کیلومتری از روستای هنجان) ارزیابی ریسک‌های اجتماعی را برای تضمین ایمنی جامعه ضروری می‌سازد. اهداف این مطالعه سه‌گانه است:

- کمی‌سازی ریسک‌های فرآیند (انتشار، انفجار و آتش‌سوزی) مرتبط با دو سناریوی شکست (شکست کامل مخزن و سوراخ شدن دیواره ۱۵۰ میلی‌متری) برای مخازن سوخت دیزل با استفاده از نرم‌افزار Phast.
- ارزیابی اثرات محیط زیستی و اجتماعی این سناریوها، با تمرکز بر آلودگی احتمالی رودخانه ماربر، اراضی کشاورزی و خطرات برای جوامع نزدیک.
- پیشنهاد راهبردهای کاهش ریسک که ایمنی عملیاتی را با پایداری محیط زیستی و اجتماعی متعادل سازد.

اهمیت این مطالعه در رویکرد یکپارچه آن نهفته است که ابزارهای پیشرفته ارزیابی کمی ریسک را با ملاحظات محیط زیستی و اجتماعی ترکیب می‌نماید تا یک چارچوب جامع برای مدیریت ریسک در پروژه‌های زیرساختی ارائه دهد. با مدل‌سازی سناریوهای شکست واقع‌بینانه و نقشه‌برداری اثرات آن‌ها بر تصاویر ماهواره‌ای، این مطالعه به شناسایی مناطق خطر بحرانی و پیامدهای آن‌ها برای مناطق حساس اکولوژیکی و جوامع محلی می‌پردازد. به کارگیری نرم‌افزار Phast، نتایج قوی و قابل تکرار را تضمین می‌نماید، در حالی که تمرکز بر بستر یک کشور در حال توسعه، یک خلاء حیاتی در ادبیات علمی را مرتفع می‌سازد. انتظار می‌رود یافته‌های این پژوهش، برنامه‌ریزی ایمنی، حفاظت از محیط زیست و راهبردهای مشارکت اجتماعی را برای پروژه‌های مشابه در سراسر جهان ارتقا بخشد.

مواد و روش‌ها

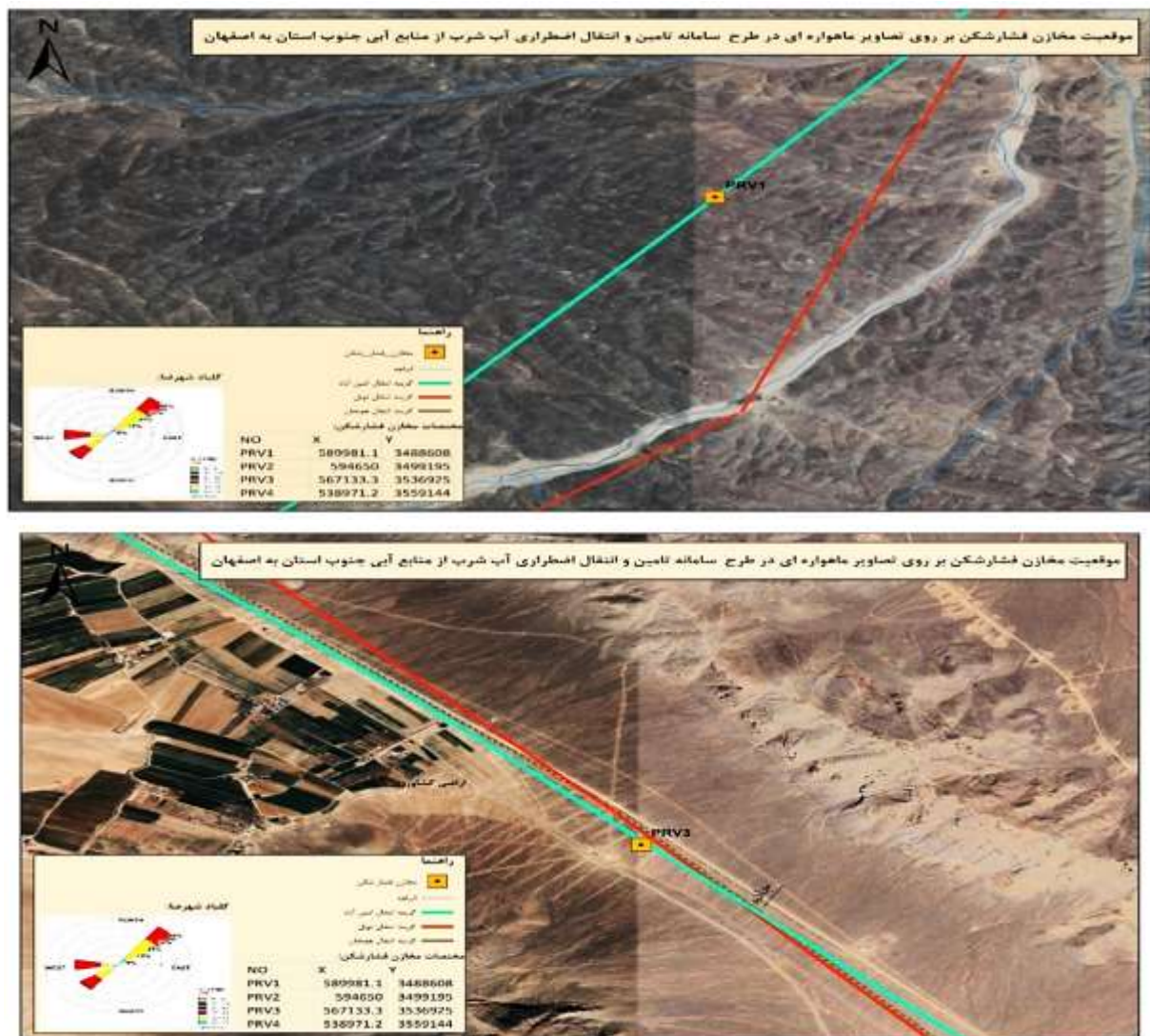
منطقه مورد مطالعه

پروژه انتقال اضطراری آب اصفهان در شهرستان‌های سمیرم، شهرضا، دهقان، مبارکه و لنجان، با خط لوله‌ای به طول ۲۰۲ کیلومتر، انتقال سالانه ۲۱۰ میلیون متر مکعب آب را از رودخانه ماربر به اصفهان را تسهیل می‌نماید. منطقه مورد مطالعه شامل مناطق حساس اکولوژیکی (مانند رودخانه ماربر) و سکونتگاه‌های روستایی است. این طرح از جنوب استان اصفهان و رودخانه ماربر در شهرستان پادناهی سمیرم شروع شده و در طول مسیر، از شهرستانهای سمیرم، دهقان و شهرضا، گذر کرده و به سد چم آسمان در شهرستان لنجان می‌پیوندد. نزدیکترین مراکز سکونتگاهی انسانی شهری به مبدا خط انتقال شهرهای کمه، حنا، سمیرم و مقصد خط انتقال شهرهای زاینده رود، باغ بهادران و چرمهین بوده‌اند. مراکز سکونتگاهی روستایی که در شعاع یک کیلومتری محل انتقال واقع‌اند، روستاهای شورجه و چم آسمان بوده و در نزدیکی محل مبدا خط واقع هستند. از جمله مهمترین کاربری‌های اطراف محل خط انتقال می‌توان به مواردی همچون سد حنا واقع در شهرستان سمیرم، فولاد مبارکه اصفهان واقع در شهرستان مبارکه، مجتمع صنایع دفاع اصفهان و شهرک صنعتی کچو واقع در شهرستان لنجان اشاره کرد. این زیرساخت حیاتی شامل یک خط لوله فولادی با قطر ۲۰۰۰ میلی‌متر، سه ایستگاه پمپاژ (با ظرفیت ترکیبی ۱۷.۷ مترمکعب بر ثانیه)، هفت مخزن ذخیره (هر یک به حجم ۳۰,۰۰۰ متر مکعب)، و یک تونل ۱ کیلومتری (با قطر ۳ متر) است. منطقه مورد مطالعه دارای ویژگی‌های توپوگرافیکی متنوع (ارتفاعات ۱۶۸۰ تا ۲۴۶۰ متر) بوده و تحت تأثیر بادهای غالب (جنوب غربی به شمال شرقی) قرار دارد. مخازن سوخت دیزل (۳۲ تا ۴۰ متر مکعب) در ایستگاه‌های پمپاژ، که در نزدیکی رودخانه ماربر و اراضی کشاورزی حساس اکولوژیکی واقع شده‌اند، خطرات قابل توجهی را به همراه دارند. مرز بلافصل پروژه شامل خط لوله و زیرساخت‌های مرتبط است، در حالی که مرز اکولوژیکی تا شعاع ۱۵ کیلومتری گسترش یافته و منابع آبی و مناطق دارای تنوع زیستی را پوشش می‌دهد. مرز اجتماعی-اقتصادی نیز شامل جوامع محلی، نظیر قاید علی (۲ کیلومتر از نقطه پایانی خط لوله) و هنزان (۱۱ کیلومتر از مخازن)، در کنار زیرساخت‌های کلیدی مانند سد حنا و مجتمع فولاد مبارکه است. این بستر، ضرورت ارزیابی‌های یکپارچه ریسک و پیامدهای محیط زیستی-اجتماعی را برای تضمین ایمنی و پایداری برجسته ایجاد کرده است. در محدوده بلافصل خط انتقال تعداد ۳ ایستگاه پمپاژ، ۵ مخزن فشارشکن و ۲ مخزن واقع است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه پمپاژ بر روی تصاویر ماهواره‌ای

Fig. 1- The location of the pumping station on satellite imagery



شکل ۲- موقعیت مخازن فشار شکن بر روی تصاویر ماهواره‌ای

Fig. 2- Location of surge tanks on satellite imagery

نرم‌افزار Phast و مدل‌سازی ریسک

نرم‌افزار Phast (نسخه ۸.۴، DNV) برای ارزیابی کمی ریسک و تجزیه و تحلیل خطرات فرآیند (PHA) به منظور مدل‌سازی دو سناریوی شکست برای سه مخزن سوخت دیزل (۴۰، ۳۲، ۴۰ متر مکعب) مورد استفاده قرار گرفت:

- شکست کامل مخزن: شبیه‌سازی انتشار کامل دیزل.
- نشت از دیواره (۱۵۰ میلی‌متر): شبیه‌سازی نشت کنترل شده.

Phast ابزاری جامع برای شبیه‌سازی پیامدهای انتشار مواد خطرناک، از جمله سناریوهای پراکندگی، آتش‌سوزی و انفجار است (Witlox et al., 2018). مدل‌های قدرتمند آن، مانند مدل پراکندگی یکپارچه (UDM)، مدل Multi-Energy TNO برای انفجارها و مدل Baker-

Strehlow-Tang برای فشار بیش از حد انفجار، پیش‌بینی‌های دقیقی از مناطق خطر را تضمین می‌کنند (DNV, 2020). پایگاه داده Phast شامل بیش از ۱۶۰۰ ماده شیمیایی، از جمله دیزل، خواص ترموفیزیکی لازم (مانند چگالی، فراریت، محتوای گوگرد) را برای شبیه‌سازی‌ها فراهم کرد.

فرآیند مدل‌سازی از متدولوژی مطرح شده توسط CCPS (2010) برای ارزیابی کمی ریسک پیروی کرد که شامل تعریف سناریوها، ورود داده‌های مواد و محیطی، و تحلیل پیامدها است. سناریوها بر اساس حالت‌های شکست رایج در سیستم‌های ذخیره‌سازی سوخت، که در مطالعات قبلی شناسایی شده‌اند، انتخاب شدند (Cheraghi et al., 2021). سناریوی ۱ (شکست کامل مخزن) نشان‌دهنده یک انتشار فاجعه‌بار است که می‌تواند ناشی از نقص ساختاری یا ضربه خارجی باشد، در حالی که سناریوی ۲ (سوراخ شدن ۱۵۰ میلی‌متری) نشت موضعی ناشی از خوردگی یا آسیب مکانیکی را شبیه‌سازی می‌کند. این سناریوها با استانداردهای صنعتی برای ارزیابی ریسک در تاسیسات شیمیایی مطابقت دارند (API, 2016).

مشخصات مخازن

سه مخزن سوخت دیزل استوانه‌ای افقی مدل‌سازی شدند که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. این مخازن، که در ایستگاه‌های پمپاژ قرار دارند، دارای حجم ۳۲-۴۰ متر مکعب، ارتفاع ۱ متر و ضخامت دیواره‌ای کافی برای تحمل فشارهای عملیاتی هستند. اندازه سوراخ (۱۵۰ میلی‌متر) بر اساس ابعاد شکست‌های معمول گزارش شده در مطالعات انجام شده، انتخاب شد.

جدول ۱- مشخصات مخزن سوخت
Table 1 - Fuel Tank Specifications

مخزن	نوع	حجم (متر مکعب)	ارتفاع (متر)	سوراخ دیواره (میلی‌متر)
مخزن ۱	استوانه‌ای-افقی	۴۰	۱	۱۵۰
مخزن ۲	استوانه‌ای-افقی	۳۲	۱	۱۵۰
مخزن ۳	استوانه‌ای-افقی	۴۰	۱	۱۵۰

داده‌های اقلیمی و محیطی

داده‌های اقلیمی از چهار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک (سمیرم، شهرضا، مبارکه، زرین‌شهر) برای نمایش شرایط متالورژیکی متنوع پروژه به دست آمد. جدول ۲ پارامترهای ورودی را خلاصه می‌کند، از جمله میانگین دمای سالانه، رطوبت، جهت باد، سرعت باد و کلاس پایداری جوی (کلاس C پاسکوئیل-گیفورد، نشان‌دهنده پایداری خنثی). این پارامترها از سالنامه آماری اصفهان (۱۳۹۹) استخراج شده‌اند.

جدول ۲- شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه
Table 2 - Climatic Conditions of the Study Area

ایستگاه	میانگین دما (درجه سانتی‌گراد)	رطوبت (%)	جهت باد	سرعت باد (متر بر ثانیه)	طبقه پایداری
سمیرم	۱۳.۵	۳۲.۵	جنوب غربی	۱۳	C

شهرضا	۱۵.۷	۳۷	شمال شرقی	۱۱	C
لنجان	۱۷.۸	۳۴.۵	غربی	۱۱	C

سناریوهای مدل سازی

شبیه سازی های Phast پدیده های زیر را مدل سازی کردند:

- **پراکندگی:** انتشار فازهای گازی و مایع، از جمله جریان دوفازی، ترمودینامیک قطرات و تبخیر حوضچه، با استفاده از UDM شبیه سازی شد. این مدل اثرات بیداری و تأثیرات زمین را در نظر گرفت، همان طور که توسط Witlox و همکاران (۲۰۱۸) توضیح داده شده است.
 - **انفجار:** فشارهای بیش از حد انفجار با استفاده از مدل های TNO Multi-Energy و Baker-Strehlow-Tang محاسبه شد که به طور گسترده برای انفجارهای ابر بخار استفاده می شوند (CCPS, 2010).
 - **آتش سوزی:** سناریوهای آتش سوزی جت، آتش سوزی حوضچه و گوی آتش برای تخمین پروفیل های تابش حرارتی، مطابق با متدولوژی Cheraghi و همکاران (۲۰۲۱) مدل سازی شد.
 - **سمیت:** پروفیل های غلظت سمی و دوزهای مواجهه برای سناریوهای داخلی و خارجی، با زمان های میانگین گیری بر اساس محدودیت های استاندارد مواجهه (EPA, 2018) محاسبه شد.
- شبیه سازی ها خروجی هایی مانند کانتورهای غلظت (PPM)، فشارهای بیش از حد انفجار (bar) و مناطق تابش حرارتی (kW/m^2) را تولید کردند که با استفاده از GeoMedia GIS بر روی تصاویر ماهواره ای مشخص شدند تا اثرات مکانی ارزیابی شوند.

ارزیابی اثرات محیط زیستی و اجتماعی

ارزیابی اثرات محیط زیستی بر آلودگی احتمالی رودخانه ماربر و اراضی کشاورزی در شعاع ۱۵ کیلومتری مخازن سوخت متمرکز بود و خروجی های Phast را با تحلیل فضایی ادغام نمود. گیرنده های محیط زیستی کلیدی شامل آب های سطحی (رودخانه ماربر)، آب های زیرزمینی و خاک بودند، با تمرکز بر ترکیبات گوگرد دیزل و پتانسیل آن ها برای تشکیل SO_2 و باران اسیدی (Yang et al., 2021). ارزیابی اثرات محیط زیستی موارد زیر را در نظر گرفت:

- **آلودگی آب:** نشت های احتمالی دیزل برای تخمین گسترش آن ها به رودخانه ماربر، با استفاده از مدل های تبخیر حوضچه و پراکندگی Phast مدل سازی شد.
- **خاک و پوشش گیاهی:** تأثیر رسوب دیزل بر اراضی کشاورزی بر اساس کانتورهای غلظت و نرخ جذب خاک، همان طور که توسط Wais و همکاران (۲۰۲۵) توضیح داده شده، ارزیابی شد.
- **کیفیت هوا:** انتشار SO_2 از سناریوهای احتراق برای ارزیابی خطرات باران اسیدی و اثرات بر سلامت تنفسی کمی سازی شد. ارزیابی اثرات اجتماعی خطرات را برای جوامع محلی ارزیابی کرد، با تمرکز بر فواصل تا سکونتگاه ها (مانند قاید علی، هنژان) و زیرساخت ها (مانند سد حنا، مجتمع فولاد مبارکه). متدولوژی ارزیابی اثرات اجتماعی از Khan و همکاران (۲۰۲۵) اقتباس شد و شامل تراکم جمعیت، کاربری اراضی و عوامل آسیب پذیری بود. تصاویر ماهواره ای و نقشه برداری GIS برای همپوشانی مناطق خطر با مکان های سکونتگاه ها استفاده شد تا تخمین دقیق فواصل ایمن تضمین شود. ایمنی جامعه بر اساس مواجهه با غلظت های سمی، فشارهای بیش از حد انفجار و تابش حرارتی ارزیابی شد، با آستانه هایی که از دستورالعمل های EPA مشتق شده اند (EPA, 2018).

تحلیل و اعتبار سنجی داده ها

خروجی های Phast برای تولید پروفیل های غلظت، کانتورهای فشار بیش از حد انفجار و نقشه های تابش حرارتی تحلیل شدند. این نتایج در برابر معیارهای صنعتی مانند API اعتبار سنجی شدند و با مطالعات قبلی با استفاده از مدل های مشابه مانند Rashidi & Varshosaz

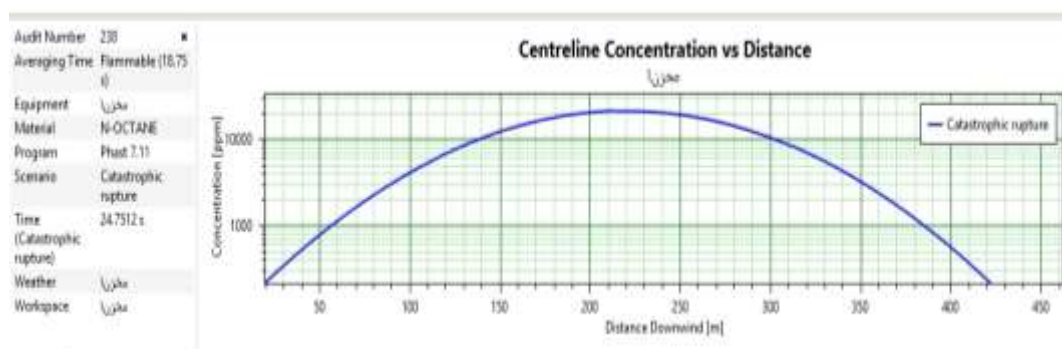
(۲۰۲۳) مقایسه شدند. تحلیل آماری برای ارزیابی حساسیت نتایج به پارامترهای ورودی (مانند سرعت باد، حجم مخزن)، با استفاده از شبیه‌سازی‌های مونت کارلو برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها در داده‌های متالورژیکی (Hameed, 2025) انجام شد. ارزیابی‌های اثرات محیط زیستی و اجتماعی با گزارش‌های محیط زیستی منطقه‌ای مطابقت داده شدند تا سازگاری با شرایط محلی تضمین شود.

نتایج

پس از ورود داده‌ها در برنامه، نرم‌افزار برخی از منحنی‌ها را نشان دادند که تجزیه و تحلیل این منحنی پیامدهای ناشی از این حادثه مشخص را توضیح داده است.

❖ مخزن شماره ۱: سناریو اول: انهدام کلی مخزن

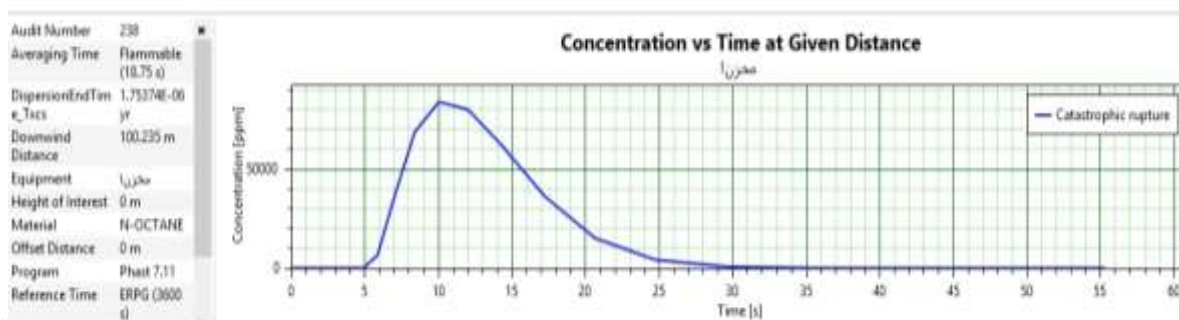
بر اساس نتایج شبیه‌سازی مدل (نمودار خروجی نرم‌افزار) برای مخزن شماره ۱، پس از انهدام کامل، پراکنش ماده به مدت ۲۴ ثانیه تا فاصله ۴۰۰ متری ادامه یافته و اوج غلظت (PPM ۱۰۰۰) در فاصله ۲۰۰ تا ۲۵۰ متری از منبع مشاهده می‌شود.



شکل ۳- رابطه غلظت و فاصله

Fig. 3 - Relationship between Concentration and Distance

طبق نمودار خروجی از نرم‌افزار در مخزن شماره ۱ مشخص شد در زمان‌های مختلف غلظت ماده چه تغییری کرده است. غلظت ماده در فاصله ۱۰۰ متری به ۵۰۰۰۰۰ ppm رسید و با گذشت زمان از غلظت ماده مورد نظر کاسته شد به طوری که در زمان ۳۰ ثانیه به صفر رسید.

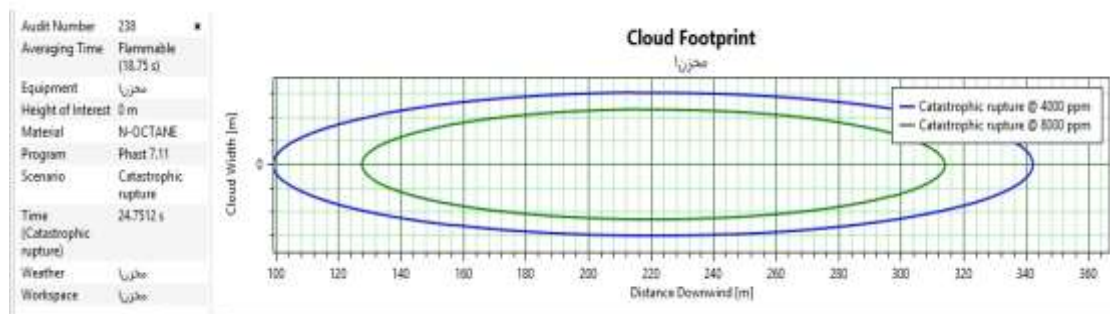


شکل ۴-

رابطه غلظت و زمان

Fig. 4- Concentration-Time Relationship

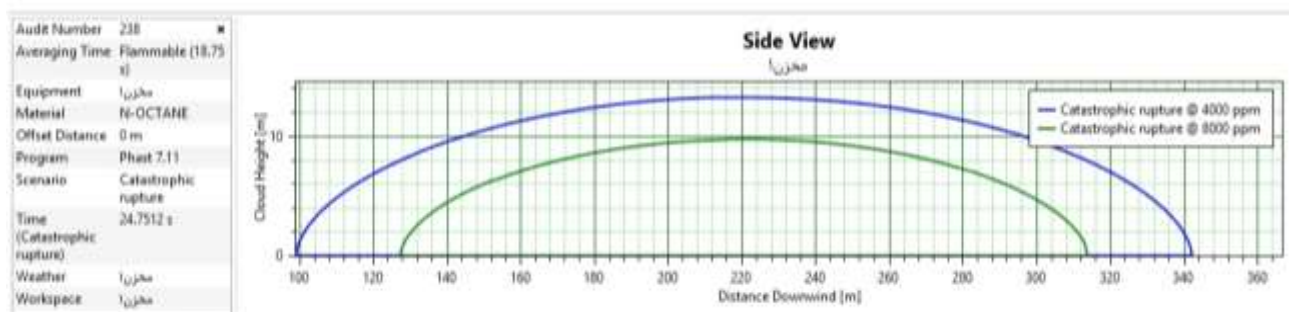
غلظت ماده روی سطح زمین (ارتفاع صفر) در نمودار آورده شده است. در این نمودار غلظت ماده در فاصله‌های مختلف مشخص کرده است که در ثانیه ۲۴ در این محدوده غلظت ماده به ۴۰۰۰ PPM و ۸۰۰۰ PPM خواهد رسید.



شکل ۵- حجم پراکنش

Fig. 5 - Dispersion Volume

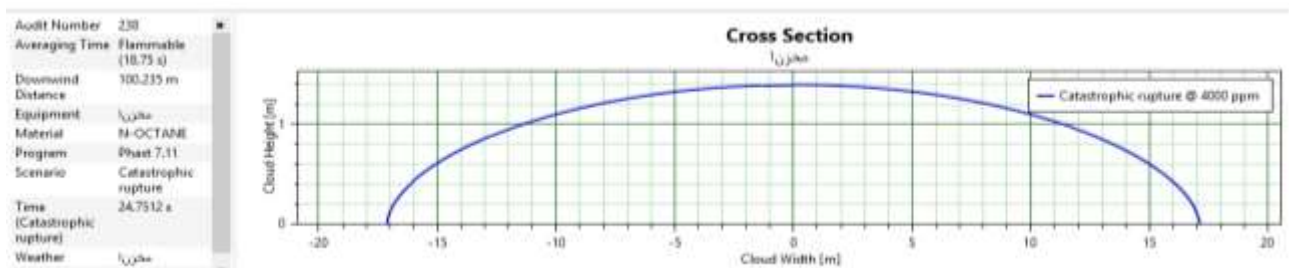
همان‌طور که در نمودار نمایش داده شده است، دایره غلظت ماده به وسیله نیروهای کناری در ثانیه ۲۴ به مقادیر ۴۰۰۰ و ۸۰۰۰ PPM خواهد رسید.



شکل ۶- انتشار ماده توسط نیروهای کناری

Fig. 6 - Substance Dispersion by Lateral Forces

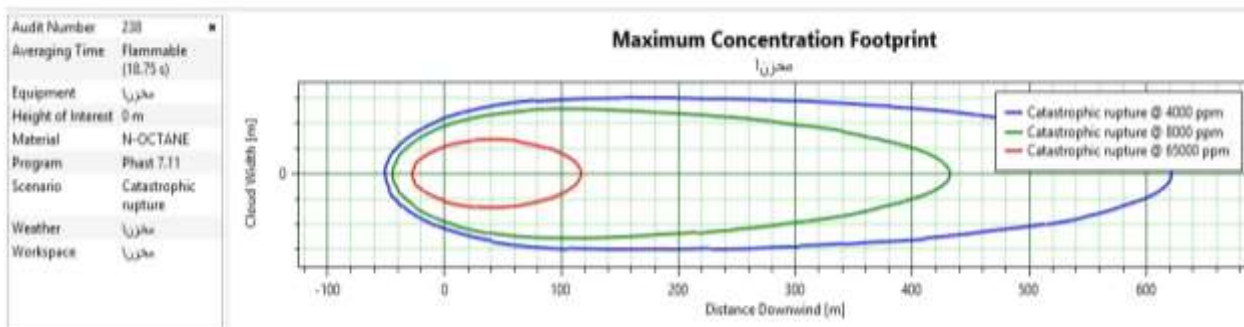
نمودار زیر انتشار ماده از نمای روبرو را نشان داده است. دایره غلظت ماده در ثانیه ۲۴ به ۴۰۰۰ PPM خواهد رسید.



شکل ۷- نمای روبرو در انتشار ماده

Fig. 7 - Front View of Substance Dispersion

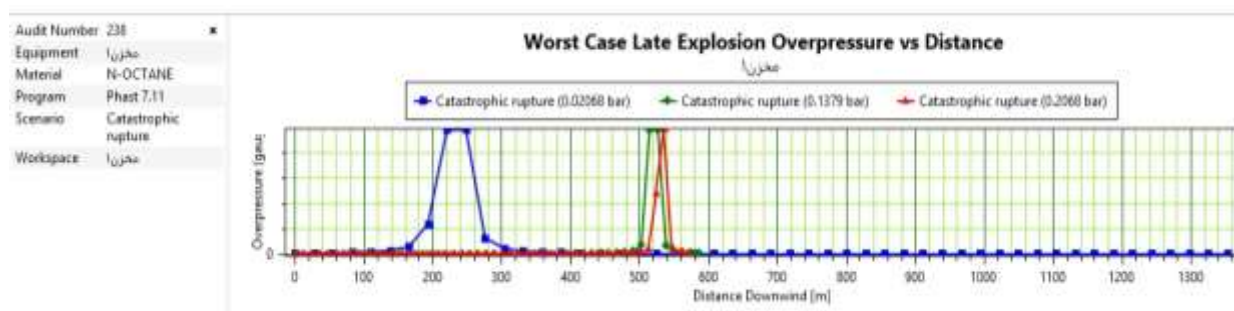
نمودار زیر ردپای بیشترین غلظت را نمایش داده است. در طول ۱۸ ثانیه و در (ارتفاع صفر سطح زمین) دایره غلظت ماده به ۸۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۶۵۰۰۰ PPM خواهد رسید.



شکل ۸- ردپای بیشترین غلظت

Fig. 8- Footprint of Maximum Concentration

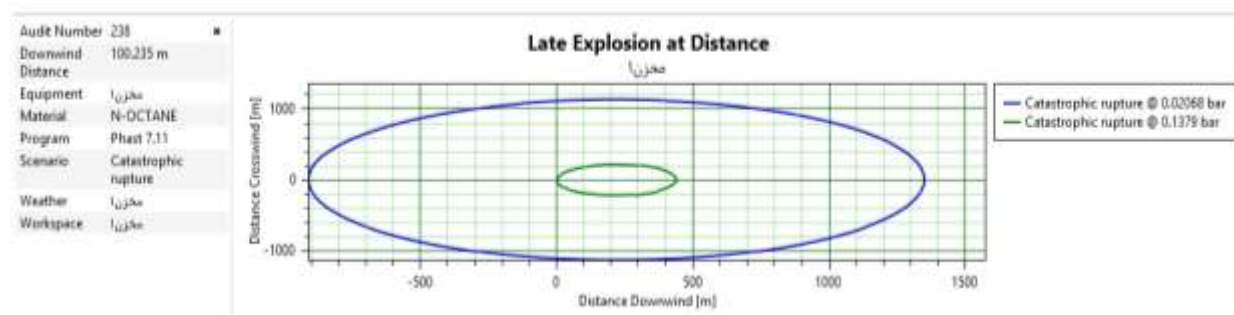
نمودار زیر موج انفجار در فاصله‌های مختلف را نمایش داده است. طبق این نمودار اگر انفجاری رخ بدهد در فاصله ۲۰۰ تا ۳۰۰ متری فشار موج انفجار 0.2 bar و در فاصله ۵۰۰ تا ۶۰۰ متری فشار موج انفجار 0.13 bar خواهد بود.



شکل ۹- بدترین حالت موج انفجار

Fig. 9 - Worst-Case Blast Wave Scenario

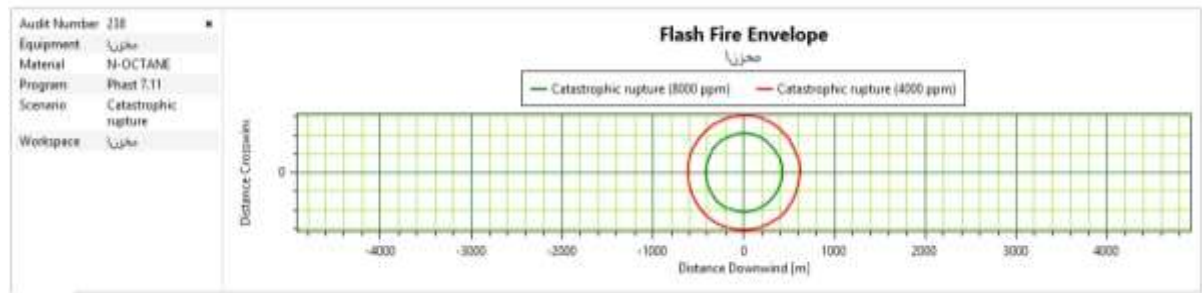
نمودار زیر بدترین حالت انفجار تاخیری را نمایش داده است. طبق نمودار مشخص شد که در فشارهای مختلف ماده تا چه شعاعی پیش خواهد رفت.



شکل ۱۰- انفجار تاخیری

Fig. 10- Delayed Explosion

نمودار زیر بیانگر آتش فورانی است. زمانی که انهدام کامل مخزن رخ دهد اگر در همان لحظه به منبع جرقه برسد تا چه شعاعی انتشار پیدا خواهد کرد. ماده مورد نظر اگر پس از انهدام به یک منبع جرقه برسد می‌تواند تا غلظت ۸۰۰۰ ppm برسد.

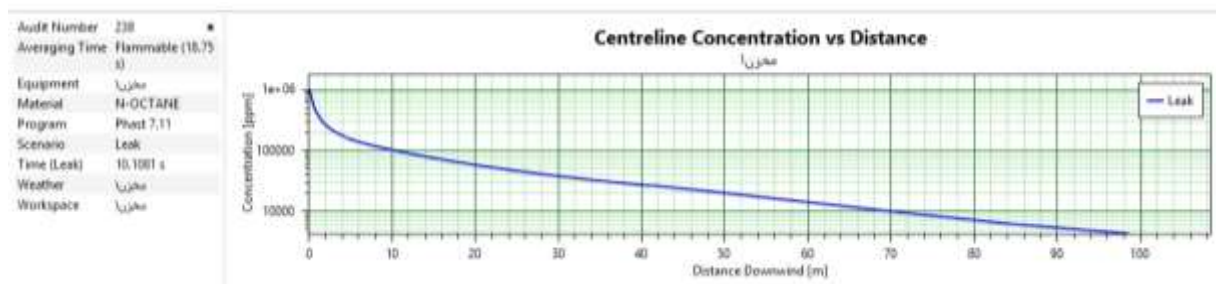


شکل ۱۱- آتش فورانی

Fig. 11 - Jet Fire

✓ سناریو دوم: سوراخ دیوار مخزن به قطر ۱۵۰ mm

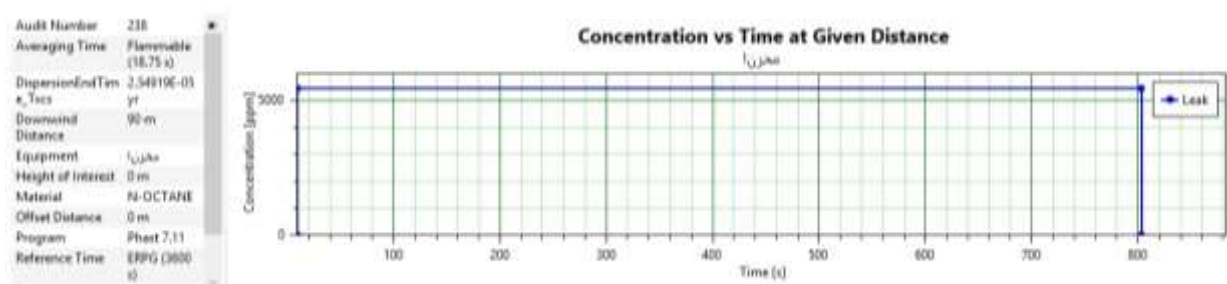
طبق نمودار خروجی از نرم افزار در مخزن شماره ۱ مشخص شد که پس از سوراخ شدن دیواره مخزن در طول مدت ۱۰ ثانیه پخش مواد تا فاصله ۹۰ متری ادامه خواهد داشت. در فاصله ۱۰ متری غلظت ماده به اوج خود یعنی ۱۰۰۰۰۰ PPM خواهد رسید.



شکل ۱۲- رابطه غلظت و فاصله

Fig. 12 - Relationship between Concentration and Distance

طبق نمودار خروجی از نرم افزار در مخزن شماره ۱ مشخص شد در زمان های مختلف غلظت ماده چه تغییری خواهد کرد. پس از سوراخ شدن مخزن با گذشت زمان انتشار ماده افزایش پیدا خواهد کرد به طوری که در طول زمان غلظت ماده ۵۰۰۰ ppm خواهد بود.



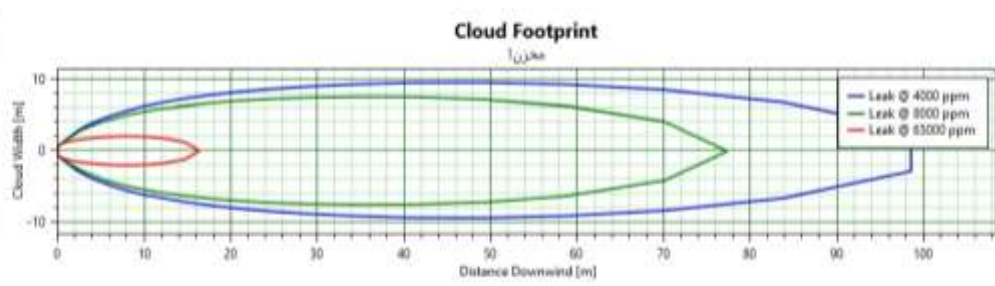
شکل

۱۳- رابطه غلظت و زمان

Fig. 13- Concentration-Time Relationship

براساس غلظت ماده روی سطح زمین (ارتفاع صفر) در نمودار، هر چقدر ماده روی سطح زمین انتشار پیدا کند حجم پراکنش (توده ابری) افزایش پیدا خواهد کرد. در ثانیه ۲۴ و در جهت باد در این محدوده غلظت ماده منتشر شده به ۴۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۶۵۰۰۰ ppm خواهد رسید.

Audit Number	238
Averaging Time	Flammable (18.75 s)
Equipment	مخزن ۱
Height of Interest	0 m
Material	N-OCTANE
Program	Phast 7.11
Scenario	Leak
Time (Leak)	10.1081 s
Weather	مخزن ۱
Workspace	مخزن ۱



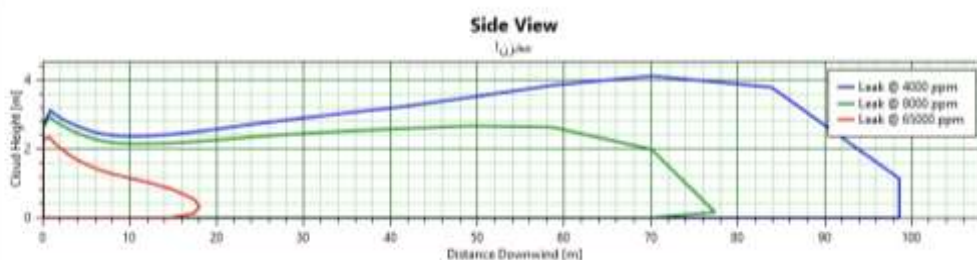
شکل

۱۴- حجم پراکنش

Fig. 14 - Dispersion Volume

طبق نمودار زیر دایره غلظت ماده به وسیله نیروهای کناری در ثانیه ۱۰ به ۴۰۰۰ و ۸۰۰۰ PPM خواهد رسید.

Audit Number	238
Averaging Time	Flammable (18.75 s)
Equipment	مخزن ۱
Material	N-OCTANE
Offset Distance	0 m
Program	Phast 7.11
Scenario	Leak
Time (Leak)	10.1081 s
Weather	مخزن ۱
Workspace	مخزن ۱

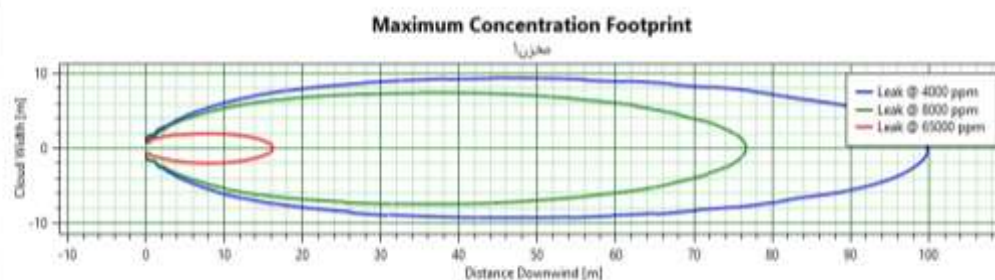


شکل ۱۵- انتشار ماده توسط نیروهای کناری

Fig. 15 - Substance Dispersion by Lateral Forces

براساس نمودار زیر که نشان دهنده‌ی ردپای بیشترین غلظت است، در (ارتفاع صفر - سطح زمین) دایره غلظت ماده به ۴۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۶۵۰۰۰ PPM خواهد رسید.

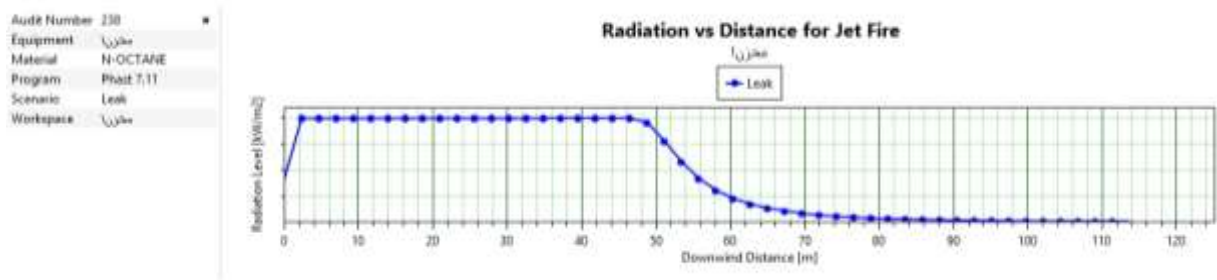
Audit Number	238
Averaging Time	Flammable (18.75 s)
Equipment	مخزن ۱
Height of Interest	0 m
Material	N-OCTANE
Program	Phast 7.11
Scenario	Leak
Weather	مخزن ۱
Workspace	مخزن ۱



شکل ۱۶- ردپای بیشترین غلظت

Fig. 16 - Footprint of Maximum Concentration

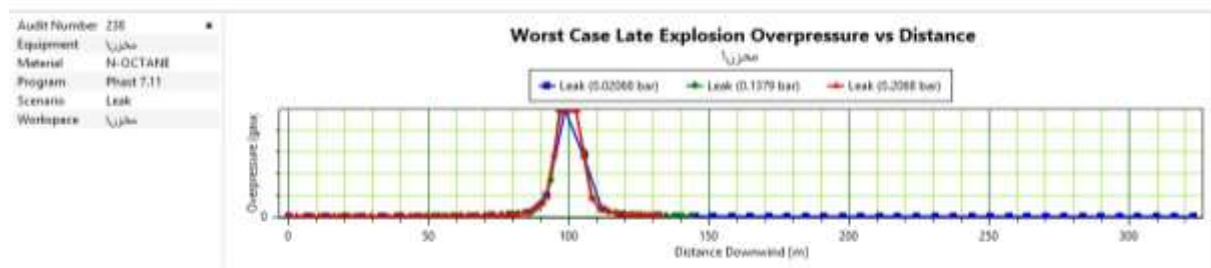
طبق نمودار زیر در فاصله ۱۰ تا ۵۰ متری بالاترین تشعشع انفجار ایجاد خواهد شد.



شکل ۱۷- تشعشع انفجار

Fig. 17- Explosion Radiation

نمودار زیر نشان دهنده موج انفجار در فاصله‌های مختلف است. طبق این نمودار اگر انفجاری رخ بدهد در فاصله ۱۰۰ متری فشار موج انفجار ۰/۰۲ bar خواهد بود.



شکل ۱۸- بدترین حالت موج انفجار

Fig. 18 - Worst-Case Blast Wave Scenario

✓ خروجی بر روی تصاویر ماهواره‌ای در سناریوی دوم

طبق نقشه خروجی، شعاع انتشار ماده در صورت سوراخ شدن دیواره به محدوده رودخانه ماربر واقع در شهرستان سمیرم خواهد رسید اما از سکونتگاه روستایی قاید علی، ماندگان و علی آباد فاصله خواهد داشت که نیاز به راهکارهای مدیریتی است.



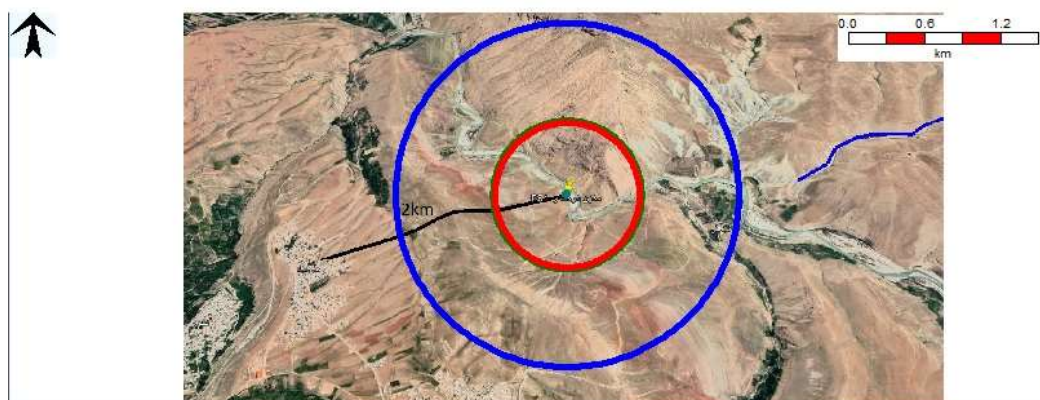


شکل ۱۹- شعاع اثرگذاری

Fig. 19 - Impact Radius

✓ خروجی بر روی تصاویر ماهواره‌ای در سناریوی اول

همان طور که در نقشه خروجی نمایان است، در صورت انهدام کلی ماده شعاع اثر گذاری تا رودخانه مار بر و روستای قایدعلی ادامه خواهد داشت.

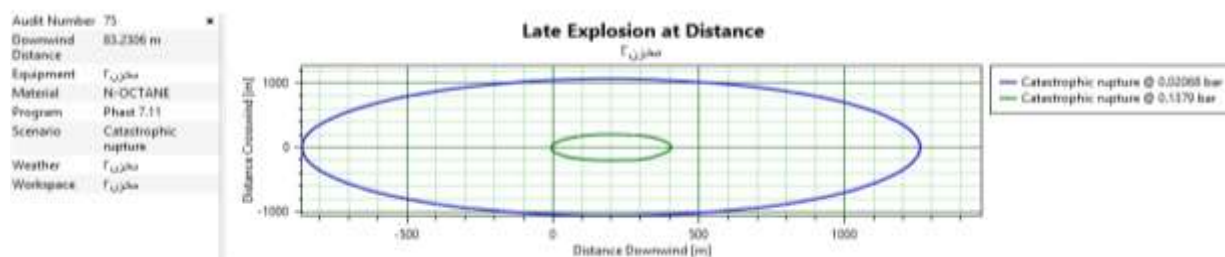


شکل ۲۰- شعاع اثرگذاری

Fig. 20 - Radius of Impact

❖ مخزن شماره ۲: سناریو اول: انهدام کامل مخزن سوخت

در نمودار زیر بدترین حالت انفجار تاخیری مشخص شده است. خروجی زیر گویای این است که فشارهای مختلف تا چه شعاعی پیش خواهد رفت.

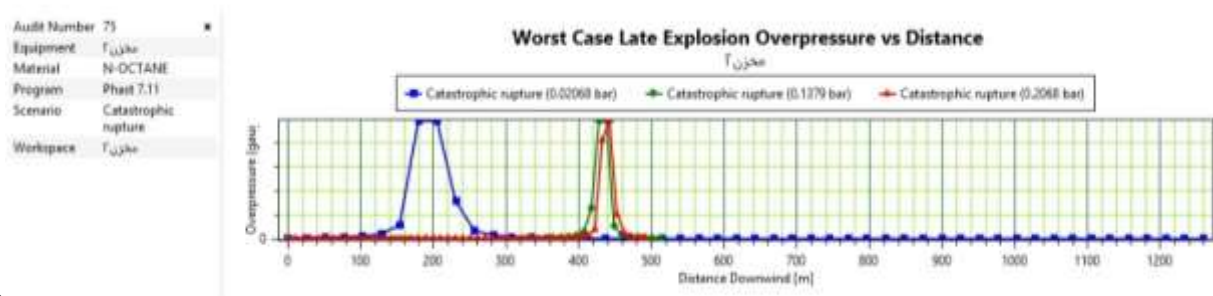


۲۱- انفجار تاخیری

Fig. 21 - Delayed Explosion

شکل

در نمودار زیر موج انفجار در فاصله‌های مختلف را مشخص شده است. طبق این نمودار اگر انفجاری رخ بدهد در فاصله ۱۰۰ تا ۳۰۰ متری فشار موج انفجار 0.2 bar و در فاصله ۴۰۰ تا ۵۰۰ متری فشار موج انفجار 0.13 bar خواهد بود.

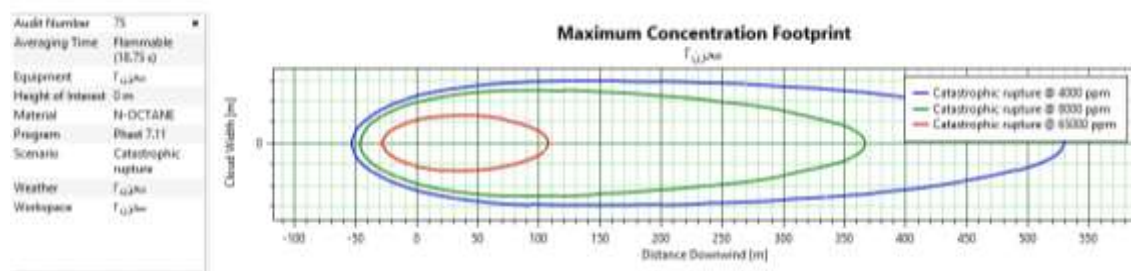


شکل

۲۲- بدترین حالت موج انفجار

Fig. 22- Worst-Case Blast Wave Scenario

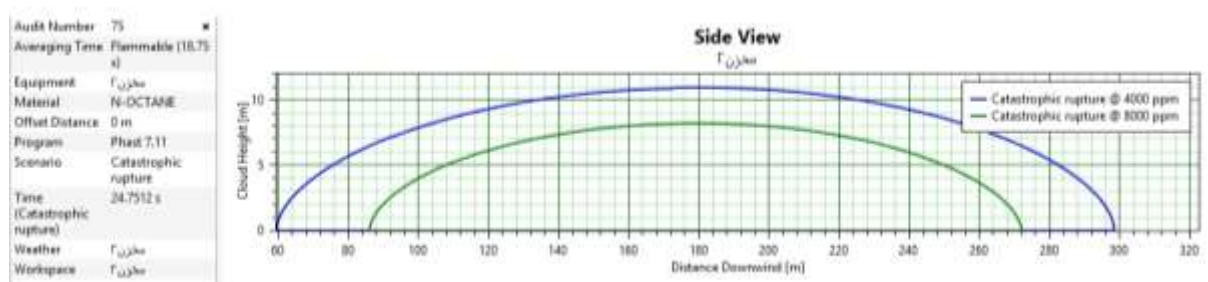
نمودار زیر ردپای بیشترین غلظت را نمایش است. در (ارتفاع صفر- سطح زمین) شعاع تاثیرگذاری غلظت ماده به ۸۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۶۵۰۰ PPM خواهد رسید.



شکل ۲۳-ردپای بیشترین غلظت

Fig. 23 - Footprint of Maximum Concentration

نمودار زیر نشان دهنده انتشار ماده توسط نیروهای کناری است. در ثانیه ۲۴ دایره غلظت ماده به ۴۰۰۰ و ۸۰۰۰ ppm خواهد رسید.

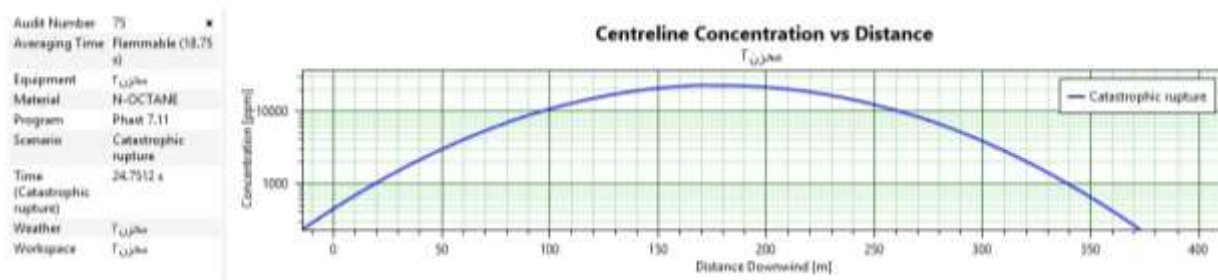


شکل

۲۴-انتشار ماده توسط نیروهای کناری

Fig. 24 - Lateral Dispersion of Substance

طبق نمودار خروجی از نرم‌افزار در مخزن شماره ۲ مشخص شد که پس از انهدام کامل مخزن در طول مدت ۲۴ ثانیه پخش مواد تا فاصله ۴۰۰ متری ادامه خواهد داشت. در فاصله ۲۰۰ متری غلظت ماده به اوج خود یعنی ۱۰۰۰ PPM خواهد رسید.



شکل

۲۵- غلظت ماده در فواصل مختلف

Fig. 25 - Substance Concentration at Various Distances

✓ سناریو دوم: سوراخ شدن مخزن به قطر ۱۵۰ mm

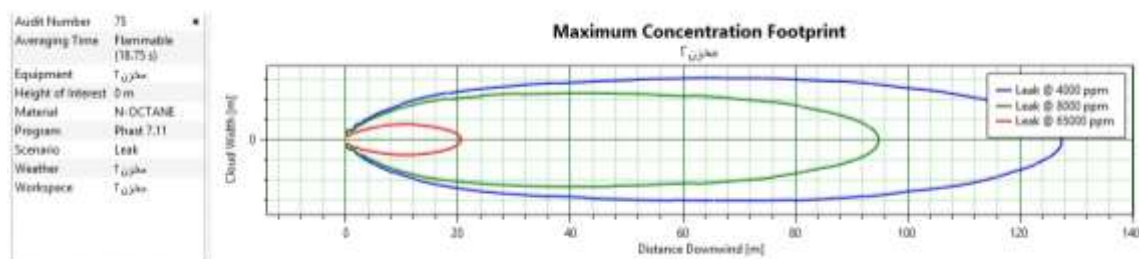
طبق نمودار زیر موج انفجار در فاصله‌های مختلف مشخص شده است. به طوری که در فاصله ۱۰۰-۱۵۰ متری فشار موج انفجار ۰/۰۲ bar خواهد بود.



شکل ۲۶- بدترین حالت موج انفجار

Fig. 26 - Worst-Case Blast Wave

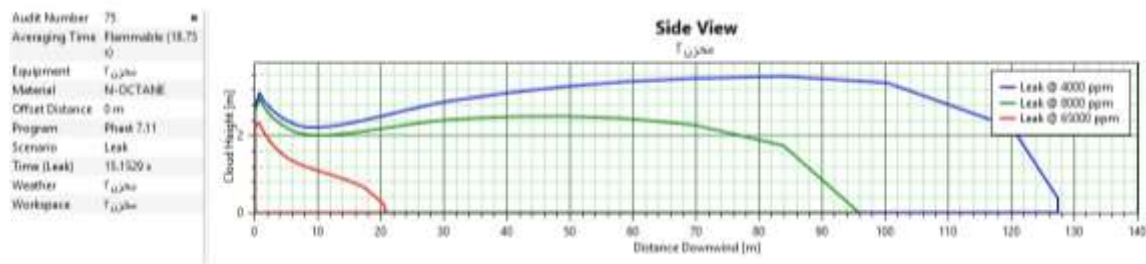
براساس نمودار زیر که نشان دهنده ردپای بیشترین غلظت است، در (ارتفاع صفر - سطح زمین) دایره غلظت ماده به ۴۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۶۵۰۰۰ PPM خواهد رسید.



شکل ۲۷- ردپای بیشترین غلظت

Fig. 27 - Footprint of Maximum Concentration

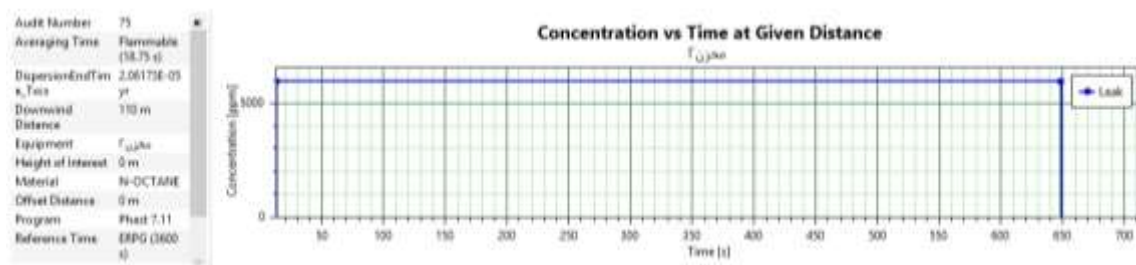
نمودار زیر نشان دهنده دایره غلظت ماده توسط نیروهای جانبی است. در ثانیه ۱۵ دایره غلظت ماده به ۴۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۶۵۰۰۰ ppm خواهد رسید.



شکل ۲۸- غلظت ماده توسط نیروهای کناری

Fig. 28: Substance Concentration by Lateral Forces

طبق نمودار خروجی از نرم‌افزار در مخزن شماره ۲ شخص شد در زمان‌های مختلف غلظت ماده چه تغییری خواهد کرد. پس از سوراخ شدن مخزن با گذشت زمان انتشار ماده افزایش پیدا خواهد کرد به طوری که در طول زمان غلظت ماده ۵۰۰۰ ppm خواهد بود.

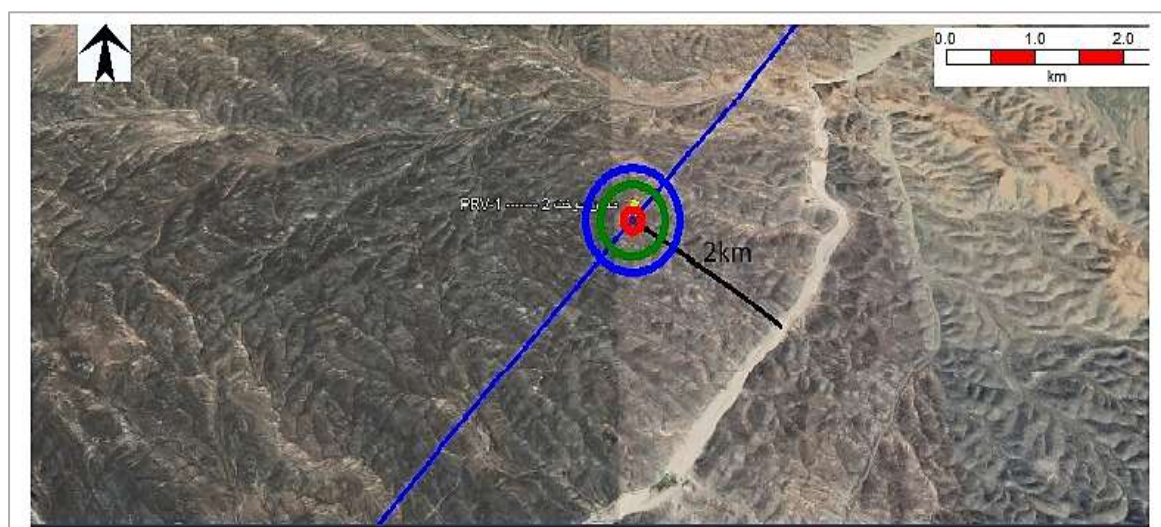


شکل ۲۹- رابطه بین غلظت و فاصله

Fig. 29 - Relationship Between Concentration and Distance

✓ خروجی بر روی تصاویر ماهواره‌ای در سناریوی اول

طبق نقشه خروجی، شعاع انتشار ماده در صورت انهدام کامل مخزن به محدوده آبراهه که در موقعیت شرقی و فاصله تقریبی ۱/۶ کیلومتری واقع شده، خواهد رسید اما از سکونتگاه روستایی فاصله خواهد داشت که نیاز به راهکارهای مدیریتی است. نزدیک‌ترین سکونتگاه روستایی به محل مخزن، روستای هونجان بوده که در فاصله ۱۱ کیلومتری از آن قرار گرفته است.





شکل ۳۰- شعاع اثرگذاری
Fig. 30 - Impact Radius

✓ خروجی بر روی تصاویر ماهواره‌ای در سناریوی دوم

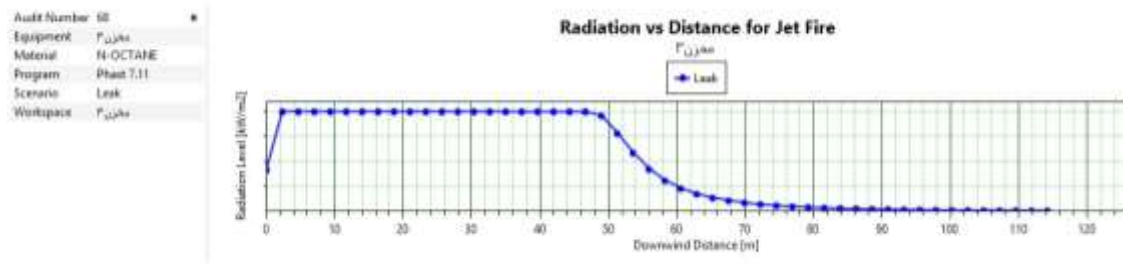
طبق نقشه خروجی، شعاع انتشار ماده در صورت سوراخ شدن دیواره مخزن محدوده آبراهه که در موقعیت شرقی و فاصله تقریبی ۱/۶ کیلومتری واقع شده، خواهد رسید اما از سکونتگاه روستایی فاصله خواهد داشت که نیاز به راهکارهای مدیریتی است.



شکل ۳۱- شعاع اثرگذاری
Fig. 31 - Radius of Influence

✓ مخزن شماره ۳: خروجی بر روی سناریوی دوم

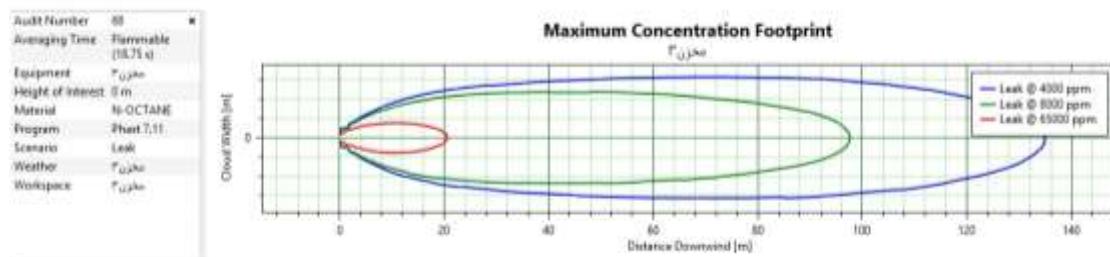
طبق نمودار خروجی در صورت سوراخ شدن دیواره مخزن تشعشع انفجار در فواصل ۵ تا ۵۰ متری در اوج خود خواهد بود (بدترین حالت ممکن) و بعد از آن تشعشعات کاهش پیدا خواهد کرد پس بیشترین اثر در فواصل نزدیک به مخزن خواهد بود.



شکل ۳۲- رابطه تشعشع انفجار و فاصله

Fig. 32: Relationship between Explosion Radiation and Distance

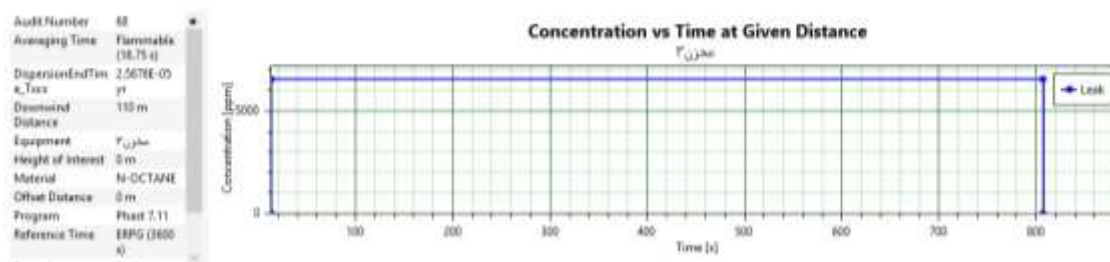
نمودار زیر ردپای بیشترین غلظت است. در (ارتفاع صفر - سطح زمین) دایره غلظت ماده به ۴۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۶۵۰۰۰ PPM خواهد رسید.



شکل ۳۳- ردپای بیشترین غلظت

Fig. 33- Footprint of Maximum Concentration

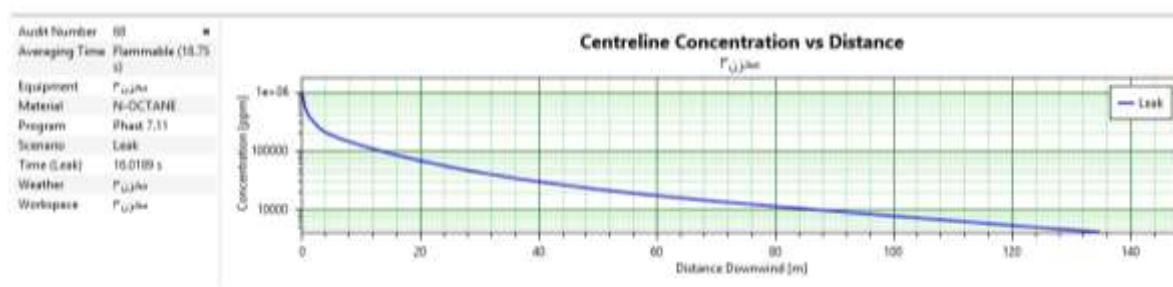
طبق نمودار خروجی از نرم افزار مشخص شد در زمان های مختلف غلظت ماده چه تغییری کرده است. غلظت ماده در بازه زمانی ۱۰۰ تا ۸۰۰ بیشترین مقدار خواهد بود. غلظت ماده در این بازه زمانی ۵۰۰۰ ppm است.



شکل ۳۴- رابطه غلظت و زمان

Fig. 34- Concentration-Time Relationship

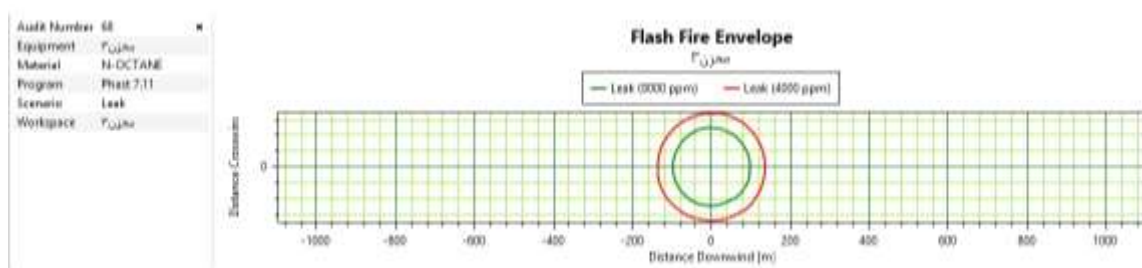
طبق نمودار زیر که براساس رابطه بین غلظت ماده و فاصله است، در صورت سوراخ شدن دیوار مخزن غلظت ماده در طول بازه زمانی ۱۶ ثانیه زیاد خواهد بود به طوری که در فاصله ۱۵ متری غلظت ماده به اوج خود خواهد رسید.



شکل ۳۵- رابطه غلظت و فاصله

Fig. 35 - Relationship between Concentration and Distance

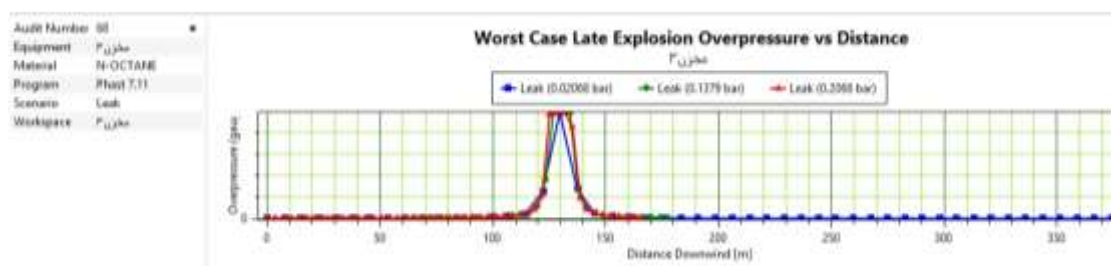
براساس نمودار زیر مشخص شده است که در صورت وقوع نشتی، هنگامی که ماده به منبع جرقه برسد تا چه شعاعی انتشار پیدا خواهد کرد.



شکل ۳۶- آتش فورانی

Fig. 36 - Jet Fire

طبق نمودار زیر اگر انفجاری رخ بدهد در بدترین حالت فشار موج انفجار در فاصله ۱۰۰ تا ۱۵۰ متری به ۰/۰۲ و ۰/۱۳ bar خواهد رسید.

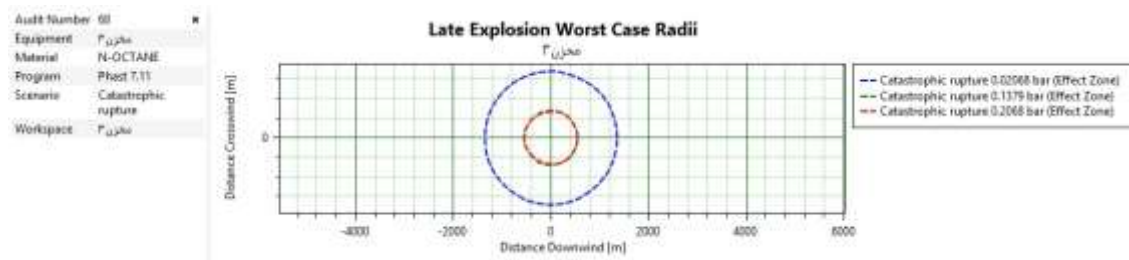


شکل ۳۷- بدترین حالت موج انفجار

Fig. 37 - Worst-Case Blast Wave Scenario

• خروجی بر روی سناریوی اول

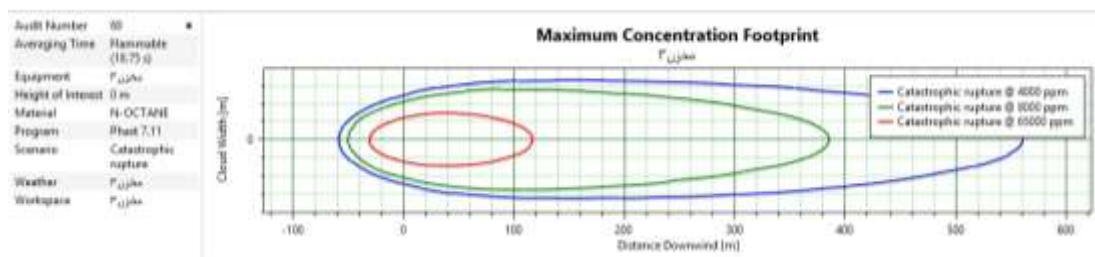
نمودار زیر نشان دهنده تشعشع انفجار در صورت انهدام کامل مخزن است که در صورت وقوع انفجار انعکاس تشعشعات تا چه شعاعی خواهد بود. همان گونه که قابل مشاهده است این اثر در موقعی خواهد بود که باد به صورت (effect zone) باشد.



شکل ۳۸- تشعشع انفجار

Fig. 38 - Explosion Radiation

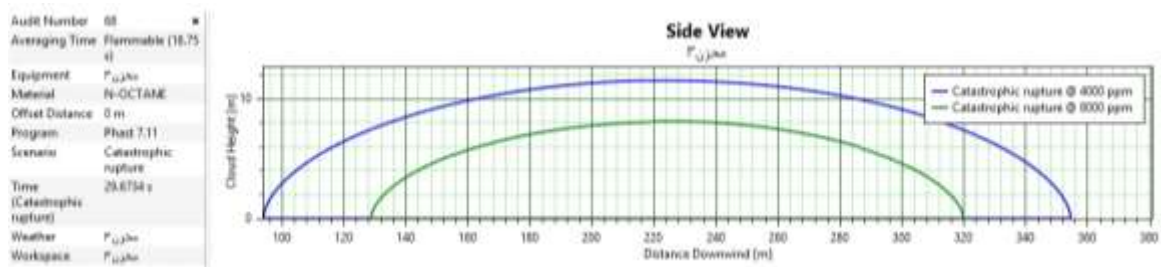
نمودار زیر ردپای بیشترین غلظت است که طبق آن در (ارتفاع صفر- سطح زمین) دایره غلظت ماده به ۴۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۶۵۰۰۰ PPM خواهد رسید.



شکل ۳۹- ردپای بیشترین غلظت

Fig. 39 - Footprint of Maximum Concentration

نمودار زیر نشان خواهد داد که در ثانیه ۲۹ دایره غلظت ماده به ۴۰۰۰ و ۸۰۰۰ ppm خواهد رسید

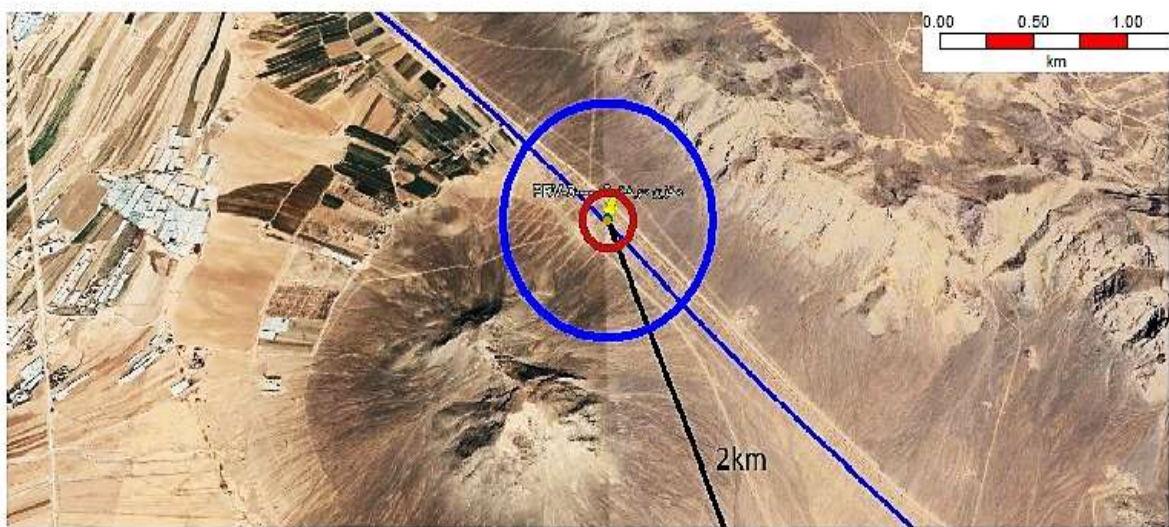


شکل ۴۰- انتشار ماده توسط نیروهای کناری

Fig. 40 - Lateral Dispersion of Substance

✓ خروجی بر روی تصاویر ماهواره‌ای در سناریوی اول

طبق نقشه خروجی، شعاع انتشار ماده در صورت سوراخ شدن دیواره مخزن به محدوده جاده واقع در شمال محل مخزن، اراضی کشاورزی و گلخانه‌های مربوط به شمال شهر دهقان خواهد رسید اما از سکونتگاه روستایی فاصله خواهد داشت که نیاز به راهکارهای مدیریتی است.

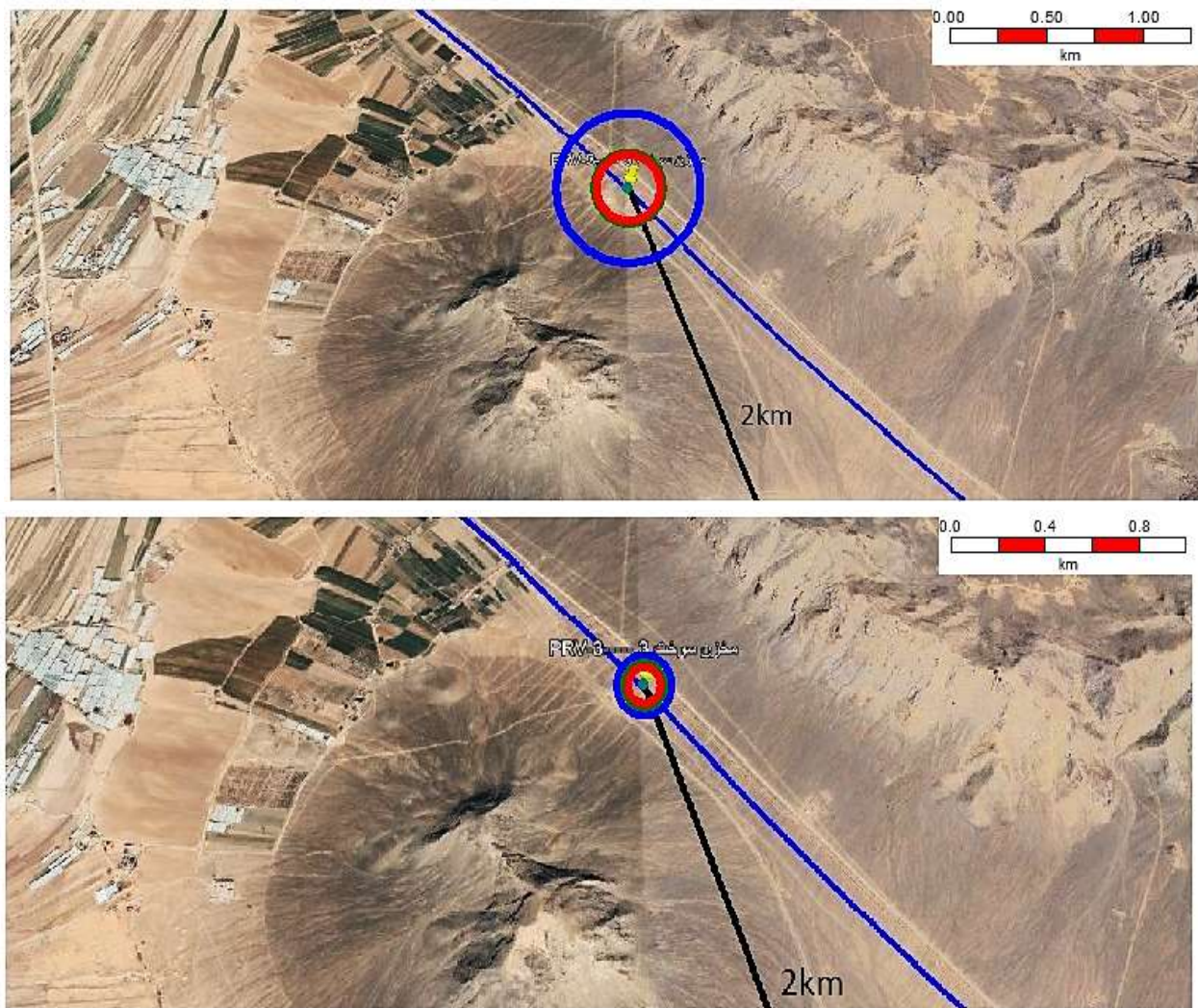


شکل ۴۱- شعاع اثرگذاری

Fig. 41 - Impact Radius

✓ خروجی بر روی تصاویر ماهواره‌ای در سناریوی دوم

طبق نقشه خروجی، شعاع انتشار ماده در صورت سوراخ شدن دیواره مخزن به محدوده جاده واقع در شمال محل مخزن خواهد رسید اما از سکونتگاه روستایی فاصله خواهد داشت که نیاز به راهکارهای مدیریتی است.



شکل ۴۲- شعاع اثرگذاری

Fig. 42 - Radius of Impact

بحث و نتیجه گیری

این مطالعه به ارزیابی جامعی از ریسک‌های فرآیندی و پیامدهای محیط زیستی-اجتماعی مرتبط با حوادث مخازن سوخت دیزل در پروژه انتقال اضطراری آب اصفهان، با استفاده از نرم‌افزار (Phast نسخه ۸.۴، DNV)، پرداخته است. نتایج نشان می‌دهند که دو سناریوی مدلسازی شده - شکست کامل مخزن (سناریو ۱) و سوراخ شدن دیواره به قطر ۱۵۰ میلی‌متر (سناریو ۲) - خطرات قابل توجهی را با پیامدهای متغیر برای ایمنی فرآیند، یکپارچگی محیط زیستی و رفاه جامعه ایجاد نموده‌اند. یافته‌ها با مطالعات پیشین که از Phast برای ارزیابی کمی ریسک و تحلیل خطرات فرآیند (PHA) استفاده کرده‌اند، همخوانی دارند، اما کاربرد آن را به یک پروژه زیرساختی در یک کشور در حال توسعه گسترش می‌دهند و بدین ترتیب، یک شکاف حیاتی در ادبیات را پوشش می‌دهند (Witlox et al., 2018; Rashidi & Varshosaz, 2023). شبیه‌سازی‌های Phast نشان دادند که شکست کامل مخزن (سناریو ۱) منجر به ایجاد مناطق خطر گسترده‌ای کرده است؛ به طوری که پراکندگی دیزل در مدت ۲۴ ثانیه به ۴۰۰ متر رسید و حداکثر غلظت ۶۵,۰۰۰ PPM در فاصله ۲۰۰ تا ۲۵۰ متری برای مخزن ۱ مشاهده شد. فشار بیش از حد انفجار در محدوده ۰/۲ bar (۳۰۰-۲۰۰ متر) تا ۰/۱۳ bar (۶۰۰-۵۰۰ متر) متغیر بود، در حالی که مناطق تابش آتش‌سوزی جت تا ۴۰۰ متر با غلظت ۸,۰۰۰ PPM گسترش یافتند. در مقابل، سناریو ۲ (سوراخ شدن

۱۵۰ میلی متری) اثرات موضعی تری را ایجاد کرد؛ با پراکندگی محدود به ۹۰ متر و حداکثر غلظت $100,000$ PPM در فاصله ۱۰ متری برای مخزن ۱، و فشار بیش از حد انفجار 0.2 bar در فاصله ۱۰۰ متری. این نتایج با یافته‌های Witlox و همکاران (۲۰۱۸) که پروفایل‌های پراکندگی و انفجار مشابهی را برای انتشار هیدروکربن‌ها در محیط‌های دریایی با استفاده از مدل پراکندگی یکپارچه (UDM) و مدل Multi-Energy TNO نرم‌افزار Phast گزارش کرده‌اند، سازگار است. حاشیه‌های خطای کمتر Phast در مقایسه با سایر مدل‌ها، مانند DEGADIS، همانطور که توسط Johnson (۲۰۲۱) اشاره شده است، بر قابلیت اطمینان آن برای پیش‌بینی مناطق خطر در سیستم‌های صنعتی پیچیده تأکید می‌کند. تفاوت در مناطق خطر بین سناریوها، تأثیر شدت شکست را بر پروفایل‌های ریسک برجسته ساخته است. شکست کامل مخزن، که بدترین سناریو را نشان داد، به دلیل پراکندگی سریع و شعاع تأثیر گسترده، چالش‌های قابل توجهی را برای واکنش اضطراری ایجاد نموده است. با این حال، ماهیت موضعی سناریو ۲ نشان داد که اقدامات کنترلی قادر است پیامدها را به طور مؤثرتری کاهش دهد. این یافته‌ها با نظر Rashidi & Varshosaz (۲۰۲۳) که بر اهمیت راهبردهای کاهش خطر خاص برای هر سناریو در تأسیسات شیمیایی تأکید کرده‌اند، همسو است. ادغام داده‌های هواشناسی (مانند سرعت باد ۱۱-۱۳ متر بر ثانیه، کلاس C پاسکوئیل-گیفورد) و اثرات توپوگرافیکی در مدل‌های Phast، دقت پیش‌بینی خطر را افزایش داد و از کاربرد Phast در مناطق متنوع توپوگرافی مانند اصفهان حمایت می‌کند.

ارزیابی پیامدهای محیط زیستی نشان داد که هر دو سناریو خطراتی را برای گیرنده‌های حساس اکولوژیکی، به ویژه رودخانه ماربر و اراضی کشاورزی در شعاع ۱۵ کیلومتری مخازن سوخت، ایجاد نمود. در سناریو ۱، اثر پراکندگی به رودخانه ماربر و اراضی کشاورزی گسترش یافت، با خطرات احتمالی آلودگی ناشی از ترکیبات گوگرد دیزل که قادر است SO_2 تولید کرده و به باران اسیدی کمک کنند اسیدی (Yang et al., 2021). سناریو ۲ منطقه کوچک‌تری را تحت تأثیر قرار داد، اما همچنان به رودخانه ماربر رسید، که نشان‌دهنده لزوم وجود سیستم‌های مهار نشت قوی است. این یافته‌ها، گزارش Umar و همکاران (۲۰۱۹) را تأیید می‌کنند که تخریب طولانی‌مدت کیفیت آب ناشی از نشت دیزل، به ویژه در اکوسیستم‌های آبی، را نشان دادند. خطر آلودگی خاک در اراضی کشاورزی، ناشی از رسوب و جذب دیزل، با مطالعات Johnson و همکاران (۲۰۱۹) که پایداری هیدروکربن‌ها در خاک و تأثیر آن‌ها بر بهره‌وری محصولات کشاورزی را برجسته کردند، همخوانی دارد. پتانسیل انتشار SO_2 برای تشکیل باران اسیدی، خطرات محیط زیستی دیگری از جمله اسیدی شدن خاک و از دست رفتن تنوع زیستی را به همراه دارد. این موضوع به ویژه برای رودخانه ماربر، به عنوان یک منبع آبی حیاتی برای منطقه، نگران‌کننده است و بر لزوم پایش لحظه‌ای کیفیت هوا تأکید دارد. ادغام خروجی‌های Phast با نقشه‌برداری GIS امکان شناسایی دقیق مناطق تحت تأثیر را فراهم آورد و ارزش تحلیل مکانی را در ارزیابی‌های ریسک محیط زیستی نشان داد (Hameed, 2025). با این حال، فقدان داده‌های میدانی برای کیفیت آب و خاک، اعتبار این پیش‌بینی‌ها را محدود می‌کند، که چالشی رایج در کشورهای در حال توسعه با زیرساخت‌های پایش محدود است (Johnson, 2021). ارزیابی پیامدهای اجتماعی نشان داد که هر دو سناریو خطرات مستقیم حداقلی را برای سکونتگاه‌های انسانی ایجاد می‌کنند، به دلیل وجود فواصل ایمن از مخازن سوخت (به عنوان مثال، ۱۱ کیلومتر از روستای هنژان برای مخزن ۲). با این حال، پیامدهای غیرمستقیم، مانند اختلال در معیشت کشاورزی و زیرساخت‌ها (مانند جاده‌ها، سد حنا)، همچنان قابل توجه هستند. در سناریو ۱، مناطق خطر به رودخانه ماربر و روستای قایدعلی (۲ کیلومتر از نقطه پایانی خط لوله) گسترش یافت، که مستلزم آگاهی جامعه و برنامه‌ریزی برای تخلیه است. شعاع تأثیر کوچک‌تر سناریو ۲ مناطق مسکونی را تحت تأثیر قرار نداد، اما همچنان جاده‌ها و اراضی کشاورزی را متأثر ساخت، که بر لزوم مدیریت ترافیک و برنامه‌ریزی کاربری اراضی تأکید می‌کند. این یافته‌ها با Khan و همکاران (۲۰۲۵) که بر اهمیت مشارکت جامعه در کاهش خطرات اجتماعی ناشی از حوادث صنعتی تأکید کرده‌اند، سازگار است. فواصل ایمن از سکونتگاه‌ها، خطرات فوری سلامت، مانند مواجهه با غلظت‌های سمی یا فشارهای بیش از حد انفجار، را کاهش داده است، اما پیامدهای بلندمدت اجتماعی-اقتصادی، از جمله از دست رفتن بهره‌وری کشاورزی و خسارات اقتصادی، نیازمند بررسی بیشتر است. متدولوژی ارزیابی پیامدهای اجتماعی، برگرفته از Khanm و همکاران (۲۰۲۵)، تراکم جمعیت و عوامل آسیب‌پذیری را به

طور مؤثر در نظر گرفت، اما عدم وجود نظرسنجی‌های اجتماعی، عمق تحلیل پیامدهای اجتماعی را محدود نموده است. مطالعات آتی باید شامل مشاوره‌های ذینفعان برای دریافت برداشت‌های محلی و افزایش ارتباطات ریسک باشد، همان طور که توسط Hameed (۲۰۲۵) پیشنهاد شده است. در مقایسه با مطالعات پیشین مبتنی بر Phast، این پژوهش به طور منحصربه‌فردی ارزیابی کمی ریسک را با ارزیابی پیامدهای محیط‌زیستی و اجتماعی در بستر یک کشور در حال توسعه ادغام نموده است. Witlox و همکاران (۲۰۱۸) و Rashidi & Varshosaz (۲۰۲۳) بر ریسک‌های فرآیندی در محیط‌های صنعتی متمرکز بودند، با توجهی محدود به پیامدهای اکولوژیکی یا اجتماعی. در مقابل، این مطالعه به تعامل ریسک‌های فرآیندی، محیط زیستی و اجتماعی در یک پروژه زیرساختی واقعی پرداخته است و با چارچوب‌های مدیریت ریسک یکپارچه پیشنهادی توسط Johnson و همکاران (۲۰۲۱) همسو است. استفاده از Phast در مناطق حساس اکولوژیکی، مانند مناطق نزدیک رودخانه ماربر، کاربرد آن را فراتر از محیط‌های صنعتی سنتی گسترش می‌دهد و شکافی را که توسط Rashidi & Varshosaz و همکاران (۲۰۲۳) مطرح شده است، پوشش می‌دهد. مقایسه Phast با DEGADIS، همان طور که توسط Barjoe و همکاران (۲۰۲۲) گزارش شده است، دقت برتر آن را در مدلسازی پراکندگی تأیید می‌کند و استفاده از آن را در این مطالعه اعتبار می‌بخشد. یافته‌های این پژوهش با مطالعات اخیر هم‌راستا است که بر ضرورت تلفیق مدلسازی ریسک فرآیندی با تحلیل‌های محیط‌زیستی و اجتماعی تأکید کرده‌اند. برای مثال، Zhang و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که انفجارهای مرتبط با مخازن سوخت می‌توانند اثرات غیرمستقیم پایداری بر زیرساخت‌ها و امنیت غذایی ایجاد کنند، حتی زمانی که خطر مستقیم برای سکونتگاه‌ها پایین است. همچنین، Amori & Yahya (۲۰۲۴) به اهمیت شرایط اقلیمی و تابش خورشیدی در افزایش خطرات انفجار و انتشار مواد هیدروکربنی اشاره کرده‌اند، که یافته‌های این مطالعه را در زمینه حساسیت پروژه به تغییرات محیطی تأیید می‌کند. علاوه بر این، نتایج این تحقیق با مطالعات Salvo & Vitale (۲۰۲۳) همخوانی دارد که بر لزوم ترکیب داده‌های سنجش‌ازدور با مدل‌های ریسک برای پیش‌بینی پیامدهای محیطی تأکید کرده‌اند. همچنین، یافته‌های Martinez و همکاران (۲۰۲۴) نشان می‌دهد که نادیده گرفتن اثرات تجمعی حوادث صنعتی می‌تواند بر پایداری اکوسیستم‌ها تأثیرات بلندمدت داشته باشد، موضوعی که در این پژوهش نیز از طریق بررسی انتشار ترکیبات گوگردی دیزل برجسته گردید. در نهایت، این مطالعه با ارائه یک چارچوب یکپارچه میان مدلسازی، تحلیل مکانی و ملاحظات اجتماعی، می‌تواند الگویی برای پروژه‌های مشابه در سایر کشورها فراهم کند.

یافته‌ها بر لزوم راهبردهای کاهش خطر سفارشی‌شده برای افزایش ایمنی و پایداری در پروژه اصفهان تأکید دارند. برای ریسک‌های فرآیندی، سیستم‌های مهار نشت، فناوری‌های اطفاء حریق، و تشخیص نشت لحظه‌ای برای کاهش پیامدهای شکست مخازن توصیه می‌شوند. اقدامات حفاظت از محیط زیست، مانند موانع مهار ثانویه و پروتکل‌های واکنش سریع برای نشت‌ها، برای حفاظت از رودخانه ماربر و اراضی کشاورزی حیاتی هستند. کاهش ریسک اجتماعی شامل برنامه‌های آگاهی‌بخشی جامعه، طرح‌های تخلیه اضطراری، و همکاری با مقامات محلی برای حفاظت از جمعیت‌های آسیب‌پذیر است. این راهبردها با بهترین شیوه‌های صنعتی و دستورالعمل‌های محیط زیستی همسو هستند و انطباق با استانداردهای بین‌المللی را تضمین می‌کنند. این مطالعه دارای چندین محدودیت است. اولاً، فقدان داده‌های میدانی برای کیفیت آب، خاک و هوا، اعتبار پیش‌بینی‌های Phast را محدود می‌کند، که یک محدودیت رایج در کشورهای در حال توسعه است. ثانیاً، ارزیابی پیامدهای اجتماعی بر داده‌های ثانویه و نقشه‌برداری GIS متکی است و فاقد ورودی مستقیم جامعه است. ثالثاً، شبیه‌سازی‌ها شرایط هواشناسی ثابتی را فرض می‌کنند که ممکن است تغییرات فصلی را به طور کامل پوشش ندهد. مطالعات آتی باید اندازه‌گیری‌های میدانی، مشاوره‌های ذینفعان، و مدلسازی آب و هوای پویا را برای افزایش اعتبار یافته‌ها دربرگیرد. رویکرد یکپارچه، با به کارگیری Phast در بستر یک کشور در حال توسعه، شکاف مهمی در ادبیات را پوشش می‌دهد و چارچوبی قوی برای مدیریت ریسک در پروژه‌های زیرساختی فراهم می‌آورد. تحقیقات آتی باید شبیه‌سازی‌ها را با داده‌های میدانی اعتبارسنجی کند، دیدگاه‌های جامعه را در برگیرد و پیامدهای بلندمدت محیط زیستی و اجتماعی را برای افزایش پایداری پروژه‌های مشابه در سطح جهانی بررسی نماید.

Extended Abstract

Introduction: Fuel storage tanks, particularly in large-scale infrastructure projects such as emergency water transmission lines, present significant risks due to potential leakage, fire, or explosion. These incidents can cause extensive environmental contamination, human casualties, and disruption of critical services. The present study focuses on the emergency water transmission project in Isfahan Province, Iran, which includes diesel storage tanks essential for pump station operation. This research integrates Quantitative Risk Assessment (QRA) using the PHAST software to evaluate both technical (e.g., vapor dispersion, delayed explosion, thermal radiation) and socio-environmental consequences of two hypothetical accident scenarios: full tank rupture and wall perforation.

Materials and Methods: The study employed PHAST 8.0 software to model two main scenarios at three horizontal cylindrical diesel tanks located along the 202-kilometer transmission route. Environmental input data were derived from four synoptic meteorological stations in the project area. Parameters such as ambient temperature, wind direction, and terrain type were considered. Outputs included gas concentration vs. time/distance, explosion overpressure, and thermal radiation profiles. These were spatially overlaid on regional maps to evaluate potential impacts on nearby residential, agricultural, and ecological zones.

Results: In the full-rupture scenario, hazardous gas concentrations exceeded 1000 PPM up to 400 meters from the source, with maximum explosion overpressure reaching 0.02 bar at 300 meters. Thermal radiation levels were critical within a 10–50 meter radius. The wall-perforation scenario showed high concentrations (up to 100,000 PPM) in closer ranges (~90 m). Mapping outputs indicated that certain rural settlements and agricultural lands fall within danger zones.

Discussion and Conclusion: This research demonstrates that fuel tank failures along water transmission infrastructures pose significant human and environmental hazards. The use of PHAST provides reliable estimations of dispersion and impact radii under realistic conditions. Findings emphasize the urgent need for safety zoning, early detection systems, and design modifications to mitigate potential disasters. Moreover, integrating technical modeling with geographic and socio-environmental assessments offers a comprehensive approach for proactive risk management in critical infrastructure projects.

Keywords: Quantitative Risk Assessment, PHAST modeling, Crisis Management, Operational Risks, Regional Impacts.

References

- Amori, K. E., & Yahya, H. M. (2024). Solar Radiation Impact on Interior Pressure and Temperature of LPG Storage Tank in Baghdad Province. *Journal of Petroleum Research and Studies*, 14(4), 140-153.
- API. (2016). <https://www.api.org/-/media/files/oil-and-natural-gas/pipeline/2016-api-aopl-annual-liquids-pipeline-safety-excellence-performance-report-strategic-plan.pdf>.
- Barjoe, S. S., Elmi, M. R., Varoon, V. T., Keykhosravi, S. S., & Karimi, F. (2022). Hazards of toluene storage tanks in a petrochemical plant: modeling effects, consequence analysis, and comparison of two modeling programs. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(3), 4587-4615.
- Center for Chemical Process Safety (CCPS). (2010). *Guidelines for risk based process safety*. John Wiley & Sons.
- Cheraghi, M., Bagherian-Sahlavani, A., Noori, H., & Mohammad-Fam, I. (2021). Evaluation of hazard distances related to toxic releases in a gas refinery: comparison of chemical exposure index and consequence modeling approaches. *International journal of occupational safety and ergonomics*, 27(3), 641-653. [In Persian]
- DNV. <https://www.dnv.com/publications/dnv-annual-report-2020-199645/>
- EPA, 2018. https://search.epa.gov/epasearch/?querytext=Toxic+and+threatening+doses&areaname=&areacontacts=&areasearchurl=&typeofsearch=epa&result_template=#/
- Hameed, S. (2025). A Framework for Risk Management in Infrastructure Projects: A Case Study of Developing Countries. *Dijlah Journal of Engineering Sciences* ISSN: 3078-9664, e-ISSN: 3078-9656, 2(2).

- Hannun, R. M., & Razzaq, A. H. A. (2022). Air pollution resulted from coal, oil and gas firing in thermal power plants and treatment: A review. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1002 (1), 012008.
- Johnson, D. R. (2021). Integrated risk assessment and management methods are necessary for effective implementation of natural hazards policy. *Risk Analysis*, 41(7), 1240-1247. Lee, K.,
- Khan, M., Zhang, Y., & Khan, S. (2025). Echoes of survival: climate change impact & typologies of adaptation among vulnerable communities toward climate-Induced food insecurity in Pakistan. *Research on World Agricultural Economy*, 290-318.
- Khanm, T., Kaman, Z. K., & Samsuddin, S. A. B. (2025). A Review of Social Impact Assessment (SIA) and Flood Risk: Recommendations for the Management of Dam Disaster. *International Journal of Sustainable Development & Planning*, 20(2).
- Moreno-Martinez, I., & Hattemer, B. (2024). Dust to Dust: Tracing Air Pollution's Impact on Work Accidents. *Available at SSRN 4812658*.
- Pouyakian, M., Ashouri, M., Eidani, S., Madvari, R. F., & Laal, F. (2023). A systematic review of consequence modeling studies of the process accidents in Iran from 2006 to 2022. *Heliyon*, 9(2). [In Persian]
- Rashidi, S., & Varshosaz, K. (2023). Modeling and evaluation of the environmental consequences of fire in atmospheric storage tanks using PHAST software. *Advances in Environmental Technology*, 9(2), 153-164.
- Salvo, C., & Vitale, A. (2023). A remote sensing method to assess the future multi-hazard exposure of urban areas. *Remote Sensing*, 15(17), 4288.
- Umar, H. A., Abdul Khanan, M. F., Ahmad, A., Sani, M. J., Abd Rahman, M. Z., & Abdul Rahman, A. (2019). Spatial database development for oil spills pollution affecting water quality system in Niger Delta. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 645-657.
- Wais, T. Y., Namq, B. F., Najam, L. A., Khalaf, H. N. B., Gismelseed, A. M., Mansour, H., & Mostafa, M. Y. A. (2025). Natural and artificial radioactivity levels in the agricultural soil of lands near the Al-Kasak oil refinery, northern Iraq. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 334(2), 1471-1484.
- Witlox, H. W., Fernández, M., Harper, M., Oke, A., Stene, J., & Xu, Y. (2018). Verification and validation of Phast consequence models for accidental releases of toxic or flammable chemicals to the atmosphere. *Journal of loss prevention in the process industries*, 55, 457-470.
- Yang, W., Gong, J., Wang, X., Bao, Z., Guo, Y., & Wu, Z. (2021). A Review on the Impact of SO₂ on the Oxidation of NO, Hydrocarbons, and CO in Diesel Emission Control Catalysis. *ACS Catalysis*, 11(20), 12446-12468.
- Zhang, Y., Liang, H., & Zhang, Q. (2024). Coupling mechanism of physical processes and chemical reactions during phase transition in liquid tanks under thermal radiation. *Process Safety and Environmental Protection*, 191, 565-584.