

## Modeling the Consequences of Fire and Leakage of Toxic Substances of Methyl-diethanolamine Tank with PHAST Software (A Case Study in Phase 14 of the South Pars Refinery, Iran)

Armin Bagheri<sup>1</sup>, Ehsanollah Habibi<sup>2</sup>

### Original Article

#### Abstract

**Background:** Due to the high volume of the substance in the methyl-diethanolamine (MDEA) tanks and the chemical properties, inflammability, and toxicity of the substance as well as the presence of hydrogen sulfide gas in the equipment around this tank, it is important to model its accidents. In this study, the rupture scenario of the MDEA tank in two seasons, cold and hot, with the presence of a protective wall and the absence of a protective wall, was modeled.

**Methods:** At first, the dimensional data of the volume of the tank, the chemical and thermodynamic information of the substance, and the geographic maps of the desired area were defined for the software. Besides, the average weather conditions were inquired from reliable authorities and given to the software so that after performing the calculations, the results of the reservoir rupture scenario would be stated. In this study, the PHAST software was used for calculating the information.

**Findings:** The area under the pool fire radiation in the hot season was 96.5 meters in the wind direction, which was 93 meters in the cold season. Besides, the minimum distance from the center of the fire, where the probability of death is 99%, was 35 meters in the direction of the wind. The concentration of toxic substances up to a distance of 1825 meters in the direction of the wind had a 99% probability of death, and after that it decreased and reached about zero up to a distance of 1865 meters. In the hot season, the pool evaporation rate increased from 1.3 kg/s to 1.6 kg/s. In the cold season, the evaporation rate of substance was 0.3 kg/s. In the absence of a protective wall for a pool fire, the maximum heat radiation was at a distance of 124 meters; this amount of radiation was about 10 meters in the case of the presence of the protective wall.

**Conclusion:** According to the obtained results, during the occurrence of any of the consequences, which will be in the worst case of these results, the safe distance of the tank can be determined by warning signs. Moreover, in case of accidents, how far the rescue team can approach the danger center and what measures they will have to control the crisis is of great importance.

**Keywords:** Methyl-diethanolamine; PHAST software; Modeling; Fire; Radiation

**Citation:** Bagheri A, Habibi E. Modeling the Consequences of Fire and Leakage of Toxic Substances of Methyl-diethanolamine Tank with PHAST Software (A Case Study in Phase 14 of the South Pars Refinery, Iran). J Health Syst Res 2025; 20(4): 382-9.

1- MSc Student, Department of Occupational Health, Safety and Environment Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

2- Professor, Department of Occupational Health and Safety Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

**Corresponding Author:** Armin Bagheri: MSc Student, Department of Occupational Health, Safety and Environment Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran; Email: arminbagheri1376@gmail.com

## مدل‌سازی پیامد حریق و نشست مواد سمی مخزن متیل‌دی‌اتانول‌آمین با نرم‌افزار PHAST (مطالعه موردی در پالایشگاه چهاردهم پارس جنوبی)

آرمین باقری<sup>۱</sup>، احسان‌اله حبیبی<sup>۲</sup>

### مقاله پژوهشی

### چکیده

**مقدمه:** مدل‌سازی حوادث در مخازن نگهداری متیل‌دی‌اتانول‌آمین (Methyldiethanolamine یا MDEA)، به دلیل خواص شیمیایی، آتش‌گیر بودن، سمیت ماده و وجود گاز هیدروژن سولفید در تجهیزات اطراف این مخازن، حایز اهمیت است. در پژوهش حاضر، سناریوی گسست مخزن MDEA در دو فصل سرد و گرم با وجود دیواره محافظ و عدم وجود دیواره محافظ مدل‌سازی گردید.

**روش‌ها:** ابتدا داده‌های ابعادی از حجم مخزن و اطلاعات شیمیایی و ترمودینامیک ماده و نقشه‌های جغرافیایی منطقه مورد نظر برای نرم‌افزار PHAST تعریف گردید. همچنین، شرایط آب و هوایی میانگین از مراجع معتبر استعلام و به نرم‌افزار داده شد تا بعد از انجام محاسبات، نتایج حاصل از سناریوی گسست مخزن را عنوان کند. در مطالعه حاضر، از نرم‌افزار شبیه‌سازی حوادث فرایندی PHAST استفاده شد.

**یافته‌ها:** منطقه تحت تشعشع آتش استخری در فصل گرم ۹۶/۵ متر در جهت وزش باد بود که این مقدار در فصل سرد ۹۳ متر گزارش گردید. همچنین، حداقل فاصله از کانون آتش که احتمال مرگ در آن ۹۹ درصد می‌باشد، ۳۵ متر در جهت وزش باد بود. احتمال مرگ در غلظت مواد سمی تا فاصله ۱۸۲۵ متر در جهت وزش باد، ۹۹ درصد بود و پس از آن کاهش یافت و تا فاصله ۱۸۶۵ متر به حدود صفر رسید. نرخ تبخیر استخری در فصل گرم از ۱/۳ کیلوگرم بر ثانیه به صورت صعودی تا ۱/۶ کیلوگرم بر ثانیه پیش رفت. در فصل سرد نیز نرخ تبخیر ماده، ۰/۳ کیلوگرم بر ثانیه گزارش شد. در حالت عدم وجود دیواره محافظ برای آتش استخری در فاصله ۱۲۴ متری، بیشترین تشعشع گرمایی وجود داشت که این مقدار تشعشع در حالت وجود دیواره محافظ، حدود ۱۰ متر به دست آمد.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج حاصل شده، در هنگام بروز هر یک از پیامدها که در بدترین حالت این نتایج خواهد بود، می‌توان حریم ایمن از مخزن را به وسیله علائم هشدار دهنده تعیین نمود. همچنین، در صورت بروز حوادث، این که تیم امداد رسان تا چه فاصله‌ای می‌توانند به کانون خطر نزدیک شوند و چه تدابیری جهت کنترل بحران خواهند داشت، مهم است.

**واژه‌های کلیدی:** متیل‌دی‌اتانول‌آمین؛ نرم‌افزار PHAST؛ مدل‌سازی؛ آتش؛ تشعشع

**ارجاع:** باقری آرمین، حبیبی احسان‌اله. مدل‌سازی پیامد حریق و نشست مواد سمی مخزن متیل‌دی‌اتانول‌آمین با نرم‌افزار PHAST (مطالعه موردی در پالایشگاه چهاردهم پارس جنوبی). مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۴۰۳؛ ۲۰ (۴): ۳۸۲-۳۸۹

تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۶/۶

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۳/۱۶

آتش ناگهانی، مشخص گردید که آتش ناگهانی دارای دامنه وسیع‌تری می‌باشد، اما به دلیل مدت زمان کوتاه، تأثیرات کمتری نسبت به آتش استخری بر جای می‌گذارد. همچنین، نتایج آتش استخری در فصل گرم بیشتر از فصل سرد گزارش گردید (۲). انتشارات بدون فشار یا تحت فشار و انتشار مداوم، متغیر با زمان یا آبی می‌باشد (۳). بررسی و شناسایی خطرات و سناریوها در مطالعاتی که از نرم‌افزار PHAST استفاده می‌کردند، نسبت به تحقیقاتی که از نرم‌افزار ALOHA استفاده می‌کردند، دقیق‌تر و منسجم‌تر بود (۴).

متیل‌دی‌اتانول‌آمین (Methyldiethanolamine یا MDEA)، جاذب امیدوارکننده‌ای برای مصرف انرژی کم در فرایند جذب کربن دی‌اکساید است. آنتالپی تجزیه بی‌کربنات تشکیل شده توسط MDEA، ۶۱ کیلوژول بر مول و بسیار کمتر از کاربامات (MEA) Ethanolamine و کربن دی‌اکساید می‌باشد

### مقدمه

نیروی انسانی و منابع مادی جزء جدایی‌ناپذیر هر صنعتی می‌باشد و پیش‌بینی حوادث فرایندی اهمیت فراوانی دارد. نرم‌افزار PHAST نقش جالب توجهی در زمینه مدل‌سازی پیامد حوادث فرایندی ایفا کرده است. تصفیه گاز طبیعی از ترکیبات هیدروژن سولفید و کربن دی‌اکساید به منظور کاهش خطرات ناشی از مسمومیت، مسایل زیست محیطی و افزایش ارزش حرارتی و صادراتی گاز صورت می‌گیرد که در اصطلاح شیرین‌سازی گاز نامیده می‌شود.

در پژوهشی دو شرایط آب و هوایی گرم و سرد در نظر گرفته شد و نتایج آن در هر دو شرایط نشان داد که در اثر پیامد انفجار، برد موج انفجار برای شرایط گرم، ۲۰۴ متر و برای شرایط سرد، ۲۵۶ متر می‌باشد (۱). با بررسی‌های انجام گرفته بر روی سناریوهایی مدل‌سازی شده در دو نوع آتش استخری و

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

۲- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

نویسنده مسؤول: آرمین باقری؛ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

Email: arminbagheri1376@gmail.com

رها سازی می‌تواند بسیار متفاوت باشد. بیشترین فاصله محاسبه شده با PHAST، نصف مقدار محاسبه شده با نرم‌افزار DEGASIS+ می‌باشد (۱۵). بدینانه‌ترین سناریو برای مخزن ۱ یعنی گسست ناگهانی در نیمه اول و دوم سال به ترتیب ابعاد ۹۲۰/۳۷ و ۵۶۹/۳۸ متر را نشان می‌دهد که طبق استاندارد ERPG باید ERPG3 را برایش در نظر گرفت (۱۶). اگرچه ارزیابی‌ها نشان داد که بین نتایج به دست آمده توسط PHAST و ALOHA هیچ تطابقی وجود ندارد، اما خروجی‌های برنامه همچنان می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در برنامه‌ریزی واکنش اضطراری و تخصیص خدمات پزشکی و پشتیبانی در مواقع اضطراری کمک کند (۱۷). سناریوی پارگی فاجعه‌بار مخزن MDEA در آب و هوای تابستانی، بدترین حالت با بیشترین خطر است؛ چرا که در این حالت، فاصله آسیب‌دیده حدود ۲۴۵۰ متر است (۱۸). حریم ایمن بر اساس میزان تشعشعات ۴ کیلووات بر مترمربع در نشتی و تخلیه ناگهانی مخزن میعانات گازی به ترتیب ۶۰ و ۱۴۰ متر می‌باشد (۱۹). در صورت بروز نشتی‌ها در فضای باز (مواد قابل اشتعال)، بزرگ‌ترین خطری که افراد و تجهیزات و به دنبال آن، گروه آتش‌نشانی را تهدید می‌کند، وقوع پدیده آتش ناگهانی (Flash fire) است که اغلب محدوده گسترده‌ای را در برمی‌گیرد (۲۰).

### روش‌ها

در پژوهش حاضر که از نوع کیفی بود، برحسب داده‌های جدول ۱، پارگی و گسست ناگهانی مخزن و خالی شدن یک باره ماده MDEA که بیشترین نرخ سوختن و رهاش ماده سمی می‌باشد، مورد ارزیابی و بحث قرار گرفت. بررسی پیامدهای گسست مخزن ذخیره و بازیابی MDEA در واحد ۱۰۸ بازیابی گوگرد پالایشگاه گاز چهاردهم پارس جنوبی به وسیله نرم‌افزار PHAST نسخه ۸،۲۲ صورت گرفت. ماده MDEA به عنوان یک کاتالیزور به منظور حذف گازهای اسیدی مانند هیدروژن سولفید از گاز طبیعی و تبدیل آن به گاز شیرین که در اصطلاح به آن شیرین‌سازی گاز گفته می‌شود، استفاده می‌گردد. سپس طی فرایندهای شیمیایی، MDEA مجدد بازیابی و در مخزن مورد بررسی ذخیره می‌شود. این مخزن از نوع مخازن سقف پوشیده اتمسفریک می‌باشد که تنها از آن جهت ذخیره ماده در فشار اتمسفر استفاده می‌گردد، اما به دلیل خواص شیمیایی و واکنش‌پذیری MDEA با اکسیژن هوا و دمای نگهداری آن، سقف این مخزن توسط گاز نیتروژن محبوس شده است. حجم کلی مخزن حدود ۳۲۳ مترمکعب می‌باشد که تنها ۲۵۶ مترمکعب از ماده مذکور در آن وجود دارد. نرم‌افزار PHAST یکی از کامل‌ترین نرم‌افزارهای شناخته شده در حوزه سلامت و ایمنی و شبیه‌سازی پیامدهای حوادث صنعتی می‌باشد که در این مطالعه از به‌روزترین نسخه آن استفاده گردید.

(۹۵ کیلوژول بر مول) (۵). به طور معمول، در میان آمین‌های موجود، MDEA از طریق گزینش‌پذیری نسبت به هیدروژن سولفید، بارگیری بیشتر گازهای اسیدی مجاز و مصرف انرژی بازسازی کمتر، به عنوان آمین‌های عمومی در سیستم‌های ترکیبی استفاده می‌شود (۶) و مزیت اصلی آن نسبت به سایر فرایندهای آمینی این است که می‌توان از MDEA برای حذف انتخابی هیدروژن سولفید در حضور کربن دی‌اکساید استفاده کرد. اگر گاز در فشارهای بین ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ PSIG (پوند در هر اینچ مربع) (۶۰۰-۵۵۰۰ کیلوپاسکال) در تماس باشد، سطح هیدروژن سولفید را می‌توان به غلظت‌های مورد نیاز خطوط لوله کاهش داد (۷). صفحات فولادی ۷ میلی‌متری پس از برخورد آتش جت ۲ دقیقه‌ای از بین می‌روند. شکست پس از ۱۳ دقیقه قرار گرفتن در معرض تابش حرارتی، ۳۷/۵ کیلووات بر مترمربع رخ می‌دهد. علاوه بر این، در جدول نقل شده LEED ذکر شده است که فشار بیش از حد ۲۰/۷ کیلوپاسکال، منجر به پارگی مخازن ذخیره نفت می‌شود (۸). بین سه آمین، MEA بالاترین سرعت واکنش را با کربن دی‌اکساید نشان می‌دهد؛ در حالی که MDEA دارای خواص سودمندتری با توجه به ظرفیت واکنش و گرمای بازسازی است (۹). یافته‌های مطالعه خدادادی موسیری و همکاران نشان داد که ایجاد یک الگوریتم مدیریت ریسک مناسب با تمرکز بر مدل‌سازی پیامدها، می‌تواند گام مؤثری در جهت کاهش زیان در صنعت فرایند باشد (۱۰).

عملیات تحت تأثیر در کارخانه‌های Liquefied petroleum gas (LPG) به مناطق خطر مختلف طبقه‌بندی شده است و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. احتمال وقوع حوادث منجر به تصادف با استفاده از ابزارهایی مانند ALOHA و PHAST مدل‌سازی می‌شود. تشعشعات حرارتی ۴۰-۴ کیلووات بر مترمربع تخمین زده شده است (۱۱). در تحقیق صادقی یارندی و کریمی گزارش شد که در فاصله ۲۰ متری، میزان افزایش فشار حاصل از موج انفجار ۱ بار و به معنای مرگ کامل می‌باشد و این فشار به تدریج با افزایش فاصله از مخزن، کاهش می‌یابد تا جایی که در فاصله ۴۰۰ متری، به ۰/۰۱ بار می‌رسد که همان حریم ایمن است (۱۲). بر این اساس، پیشنهاد شده است که بالاترین فاصله خطر به دست آمده بر مبنای معیار Emergency Response Planning Guidelines-1 (ERPG1)، تعیین فاصله خطر بر اساس کمترین غلظت ماده شیمیایی در هوای محیط می‌باشد که حتی بوی ناخوشایندی برای ساکنان در معرض مواجهه ایجاد نمی‌کند (۱۳).

پیامدهای پیچیده، سناریوهای احتمالی را با در نظر گرفتن جمعیت محلی، استفاده از زمین و شرایط آب و هوایی تجزیه و تحلیل می‌کند تا خطرات مرتبط با انتشار مواد خطرناک را تعیین نماید (۱۴). اگر از حالت مخزن (Vessel) به جای لوله بلند (Long pipe) بدون جریان پمپ استفاده گردد، محاسبات نرخ

جدول ۱. روش‌های تخمین اندازه نشتی

ابعاد گسستگی مورد بررسی	تجهیزات
۵ میلی‌متر و پارگی کامل	لوله‌های با قطر کمتر از ۱/۵ اینچ
۵ و ۲۵ میلی‌متر و پارگی کامل	لوله‌های با قطر بین ۲ تا ۶ اینچ
۵، ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌متر و پارگی کامل	لوله‌های با قطر بین ۸ تا ۱۲ اینچ
پارگی کامل خطوط ورودی و خروجی و تخلیه ناگهانی	مخازن
بسته به قطر لوله‌های ورودی و خروجی، نشتی از درزگیر به قطرهای ۵، ۲۵ و ۱۰۰ میلی‌متر	پمپ‌ها

نماید، شدت تشعشع در جهت وزش باد بیشتر خواهد شد.

جدول ۲. اطلاعات آب و هوایی فصول زمستان و تابستان

فصل	ویژگی	مقدار
تابستان	سرعت وزش باد	۵/۵ متر بر ثانیه
	نسبت پایداری پاسکوییل	C
	دمای اتمسفر	۴۸ درجه سانتی‌گراد
	رطوبت نسبی	۸۵ درصد
	نرخ تشعشع خورشید	۱/۱ کیلووات بر مترمربع
	دمای سطح زمین برای محاسبات آتش استخری	۵۵ درجه سانتی‌گراد
زمستان	سرعت وزش باد	۲ متر بر ثانیه
	نسبت پایداری پاسکوییل	D
	دمای اتمسفر	۹/۵ درجه سانتی‌گراد
	رطوبت نسبی	۳۵ درصد
	نرخ تشعشع خورشید	۰/۵ کیلووات بر مترمربع
	دمای سطح زمین برای محاسبات آتش استخری	۹ درجه سانتی‌گراد
	دمای سطح زمین برای محاسبات تبخیر سطحی	۹ درجه سانتی‌گراد

طبق فرض مسأله در جهت وزش باد کنونی، افراد و آتش‌نشانان در محیط تشعشع مشخص شده نباید بدون استفاده از تجهیزات حفاظت فردی حاضر شوند؛ چرا که در این محیط احتمال مرگ ۹۹ درصد می‌باشد؛ البته این در صورتی است که کل حجم ماده ذخیره شده در مخزن دچار آتش گردد.

در نرم‌افزار PHAST ابتدا باید کلیه اطلاعات جغرافیایی، آب و هوایی و فرایندی برای نرم‌افزار تعریف و اطلاعات ورودی بر اساس استانداردهای جهانی اندازه‌گیری شود و سپس در نرم‌افزار PHAST قرار گیرد. سپس این نرم‌افزار محاسبات را انجام و داده‌های کیفی و کمی مربوط به هر سناریو و پیامدی را نمایش خواهد داد.

**ابزارهای جمع‌آوری داده‌ها:** با توجه به این که ماده مورد نظر (MDEA) در بانک ماده نرم‌افزار موجود نمی‌باشد، باید کلیه اطلاعات فیزیکی، شیمیایی، ترمودینامیکی، حدود مواجهه و... را جهت تعریف ماده در اختیار داشت. پس از به دست آوردن اطلاعات، ماده تعریف می‌شود و با در نظر گرفتن میانگین شرایط آب و هوایی از منابع اطلاعاتی، داده‌های آب و هوایی و جغرافیایی، مکان مخزن مورد بررسی وارد و در نقشه نرم‌افزار تعریف می‌شود. بر حسب جدول ۲، اطلاعات آب و هوایی از منابع هواشناسی معتبر داخلی و خارجی اخذ گردید و بدترین حالت آب و هوایی در نظر گرفته شد.

### یافته‌ها

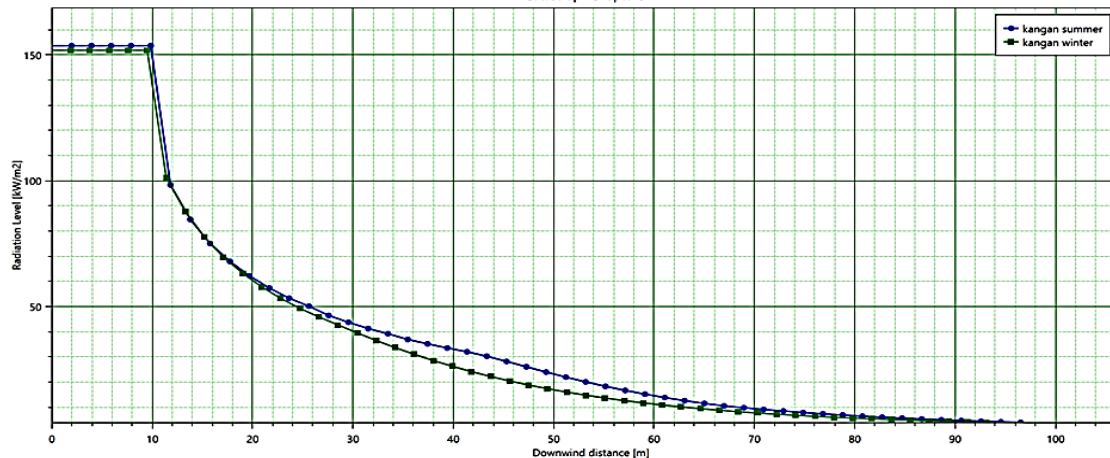
بر اساس شکل ۱، میزان تشعشع تا فاصله ۱۰ متری از کانون آتش در جهت وزش باد، بیشترین تشعشع به اندازه ۱۵۱ کیلووات بر مترمربع بود. همچنین، در فصل تابستان تا فاصله ۹۶/۵ متر و در زمستان تا فاصله ۹۲ متر در جهت وزش باد، میزان تشعشع آتش احساس خواهد شد.

بیشترین فاصله از کانون آتش، ۹۶/۵ متر در جهت وزش باد در فصل گرم و ۹۳/۱۲ متر در فصل سرد می‌باشد که این فاصله به عنوان فاصله ایمن برای افراد تلقی می‌گردد.

آستانه درد از این فاصله به سمت مرکز آتش شروع و به مرور احتمال مرگ و آسیب‌های جدی به نفرات حاضر در ناحیه بیشتر می‌شود.

با توجه به شکل ۲، مقدار گرمای تشعشعی که می‌تواند به سایر تجهیزات آسیب بزند (با مقدار ۳۷/۵ کیلووات بر مترمربع)، در فاصله ۳۵ متری در جهت وزش باد است و بر اساس شکل ۳، مقدار تشعشع ۴ کیلووات بر مترمربع تا فاصله ۹۶/۵ متر در جهت باد می‌باشد. در صورتی که جهت وزش باد تغییر

Radiation vs Distance for Late Pool Fire  
Catastrophic rupture



شکل ۱. نمودار تشعشع بر حسب فاصله





شکل ۲. نمودار Geographic information system (GIS) در حالت ۳۷/۵ کیلووات بر مترمربع تشعشع برای آتش استخری

مخازن، این اعداد با هم تفاوت دارند. در پژوهش مشابهی، حریم ایمن بر اساس میزان تشعشعات ۴ کیلووات بر مترمربع در نشستی و تخلیه ناگهانی مخزن میعانات گازی به ترتیب ۶۰ و ۱۴۰ متر گزارش گردید (۱۹). آتش ناگهانی دامنه وسیع‌تری دارد، اما به دلیل مدت زمان کوتاه، تأثیرات کمتری نسبت به آتش استخری بر جا می‌گذارد. همچنین، نتایج آتش استخری در فصل گرم بیشتر از فصل سرد است (۲) که با یافته‌های مطالعه حاضر مشابهت دارد. درجهت پاسخ به فرضیات تحقیق، بیشترین میزان تشعشع که احتمال مرگ افراد را به ۹۹ درصد می‌رساند، در فاصله ۳۵ متری از مخزن در جهت وزش باد در فصل گرم می‌باشد. این میزان تشعشع به خطوط انتقال هوای تحت فشار، بخار و... می‌رسد و همچنین، می‌تواند باعث آسیب به تجهیزات و ادوات برقی و ابزار دقیق گردد. دیواره محافظ در این سناریو می‌تواند تا حد قابل قبولی آتش و شعاع آن را کنترل و محدود سازد. بیشترین میزان تشعشع آتش استخری در حالت وجود دیواره ۱۰ متر می‌باشد، اما بدون وجود دیواره، این عدد به ۱۲۴ متر می‌رسد که بسیار قابل توجه است.

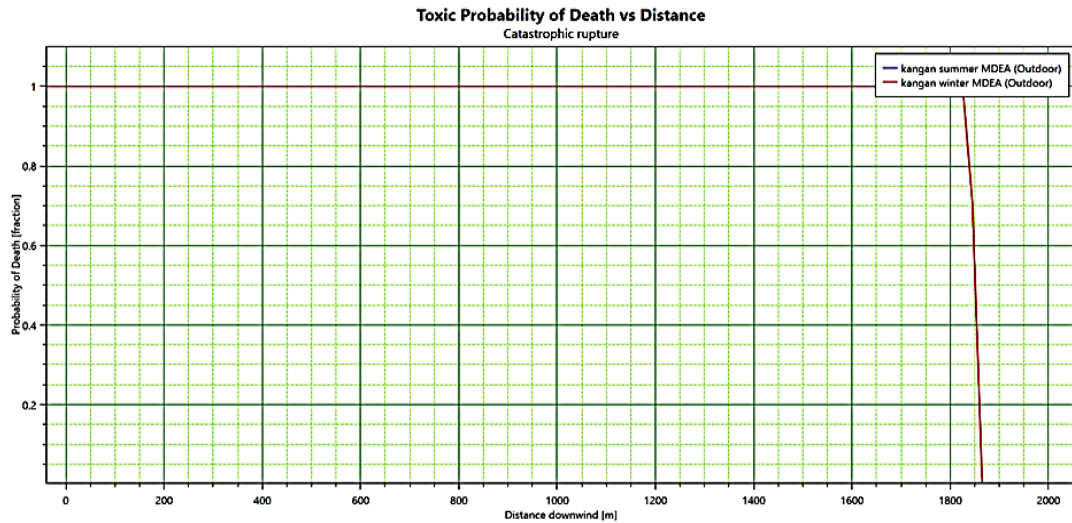
**نتایج نشت مواد سمی:** نتایج به دست آمده برای سمیت ماده رها شده طبق شکل ۴ تا فاصله ۱۸۲۵ متر در جهت وزش باد، احتمال مرگ ۹۹ درصد می‌باشد و پس از آن کاهش می‌یابد و تا فاصله ۱۸۶۵ متر به حدود صفر می‌رسد. با توجه به نتیجه گزارش شده، بهترین تصمیم برای در امان ماندن در صورت انتشار ماده در هوا، فرار در جهت عمود بر وزش باد است. در شکل ۵ میزان تشعشع ابر سمی از بالا نشان داده شده است.

### بحث

**آتش استخری:** در منطقه مورد مطالعه، به طور عمده دو شرایط آب و هوایی حاکم وجود دارد که در پژوهش حاضر سعی شد تا حدودی حادثه‌ترین شرایط در فصول گرم و سرد مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به نتایج آتش استخری، میزان تشعشعی که می‌تواند انسان را تحت تأثیر قرار دهد، در فاصله ۹۶/۵ متر در جهت وزش باد برای فصل تابستان می‌باشد که در مقایسه با سایر تحقیقات مشابه این اعداد معقول هستند، اما به دلیل تفاوت شرایط آب و هوایی یا فیزیکی



شکل ۳. نمودار Geographic information system (GIS) در حالت ۴ کیلووات بر مترمربع تشعشع برای آتش استخری

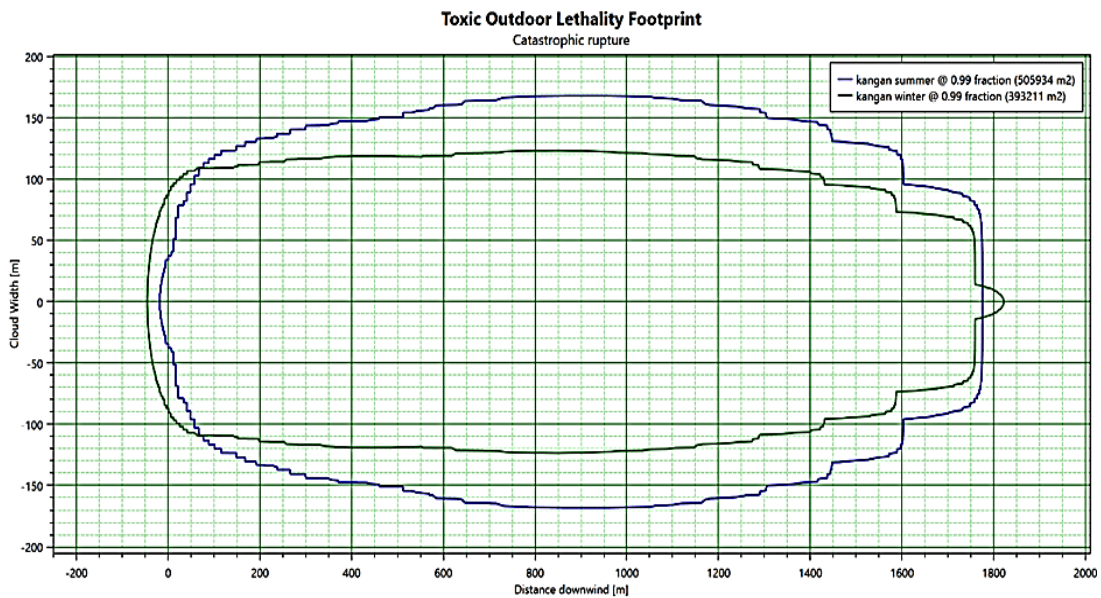


شکل ۴. نمودار احتمال مرگ بر حسب فاصله

### نتیجه‌گیری

بر اساس فرضیات پژوهش، دیواره محافظ تا حد قابل قبولی از میزان تشعشع و نشت مواد سمی به سایر قسمت‌ها جلوگیری می‌کند و می‌توان گفت کارآمد خواهد بود. سایر مخازن و لوله‌های انتقال مواد در صورت بروز آتش‌سوزی حاصل از آتش‌سختی، دچار تشعشع حرارتی بالایی نخواهند شد، اما جهت اطمینان بیشتر در صورت بروز آتش‌سوزی تجهیزات و لوله‌های حامل مواد با خطر بالا، می‌توان از عایق حرارتی مناسب استفاده کرد که در این حالت، افراد در شعاع ۳۵ متری از کانون شعله دچار تشعشع ۳۷/۵ کیلووات خواهند شد و طبق استانداردهای موجود، احتمال مرگ ۹۹ درصد می‌باشد.

سمیت: مطابق شکل ۴، تا فاصله ۱۸۲۰ متری در جهت وزش باد در صورتی که باد از بالا به پایین بوزد، احتمال مرگ ۹۹ درصد می‌باشد و پس از ۱۸۶۵ متر احتمال مرگ به صفر می‌رسد که این سناریو در حالتی رخ می‌دهد که آتش رخ ندهد و تمام حجم ماده مخزن تبخیر گردد. سناریوی پارگی فاجعه‌بار مخزن MDEA در آب و هوای تابستانی، بدترین حالت با بیشترین خطر است؛ چرا که در این حالت، فاصله آسیب‌دیده حدود ۲۴۵۰ متر است (۱۸) که این عدد با توجه به جغرافیای حاکم بر دو منطقه متفاوت، نزدیک به یکدیگر می‌باشد. بهترین راه در هنگام بروز حادثه، حرکت در جهت خلاف وزش باد است و در صورتی که ندانیم منبع رهایش کجاست، بهترین کار حرکت در جهت عمود بر وزش باد می‌باشد.



شکل ۵. نمودار ابر احتمال مرگ

قطع باعث شروع آتش‌سوزی خواهد شد. طبق استاندارد سازمان ایمنی و آتش‌نشانی آمریکا (National Fire Protection Association) یا NFPA)، قدرت آتش‌گیری MDEA عدد ۱ می‌باشد که به راحتی و تنها در حضور هوا مشتعل نخواهد شد؛ مگر شدت تشعشع خورشید به حدی برسد که مایع درون استخر را به دمای خود اشتعالی برساند یا منبع جرقه دلیل شروع حریق گردد.

**تعیین محدوده Fire zone:** با توجه به این که آتش حاصل از سناریو آتش‌سوزی است، محدوده‌ای که می‌تواند منجر به مرگ افراد یا آسیب جدی به تجهیزات گردد، مقدار تشعشع  $37/5$  کیلووات بر مترمربع می‌باشد که با توجه به نتایج نرم‌افزار،  $35$  متر در جهت وزش باد به دست آمد (شکل ۲). این منطقه که مساحتی به اندازه  $1638$  مترمربع دارد، به عنوان منطقه ممنوع تلقی می‌شود که در هنگام حریق از ورود به این منطقه باید خودداری گردد. در هنگام وقوع بحران و اطفای حریق، آتش‌نشانان و تیم مدیریت بحران از فاصله تقریبی  $63$  متر در جهت وزش باد با شدت  $2$  متر بر ثانیه امکان نزدیک شدن به کانون آتش را نخواهند داشت و باید سعی کنند از این فاصله حریق را اطفاء کنند.

### تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر برگرفته از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد با شماره ۱۴۱۶۲۵۹۹۵۳۹، مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد می‌باشد. بدین وسیله از کلیه عوامل، استاد راهنمای گرانقدر و دانشگاه علوم پزشکی اصفهان تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

در سناریوی مذکور، دمای هوا بیشتر روی پیامد تبخیر استخری تأثیرگذار است و عمده تأثیرات آب و هوایی نه در بحث دمایی، بلکه در مبحث پایداری جوی مانند وزش باد و اختلاط در لایه‌های جوی می‌باشد که از بین این عوامل، اثر دما کمتر از پایداری جوی است. در مطالعه حاضر سعی شد بیشترین میانگین شرایط آب و هوایی در چند سال گذشته مورد استفاده قرار گیرد. در مواقع ناپایداری جوی مانند وزش باد، ابر، رهاش مواد سمی از مرکز مختصاتی (---) را تنها در جهت وزش باد پراکنده کرده است و این مقیاس پراکنده‌گی بسته به شدت وزش باد متغیر خواهد بود، اما در تحقیق حاضر، اختلاط شدید لایه‌های جوی در نظر گرفته نشده و تمامی ماده سمی پراکنده شده به شکل مستقیم و در جهت وزش باد منتشر شده است.

داده‌های حاصل از مدل‌سازی مخزن بدون دیواره محافظ، آثار بسیار شدیدتری بر دیگر تجهیزات و منابع انسانی خواهد گذاشت و وجود دیواره محافظ مناسب، می‌تواند تا حد قابل قبولی از شدت پیامدها بکاهد. این کار در صنعت مورد بررسی انجام گرفت.

در شکل‌های ۱ و ۲، مقدار تشعشع زیادی که باعث تخریب تجهیزات و لوله‌های اطراف مخزن می‌شود نشان داده نشده است. بیشترین مقدار تشعشع ناشی از آتش‌سوزی،  $151$  کیلووات بر مترمربع و در فاصله  $10$  متری از کانون آتش می‌باشد و طبق نقشه‌ها و مدارک [Process Flow Diagram (PFD)]، مخزن تحت فشار یا تجهیز دارای خطر بالا در این فاصله از مخزن مورد بررسی نیست. وجود منبع جرقه مانند الکتریسیته پمپ‌ها، تجهیزات ابزار دقیقی و... به طور

### References

- Cheraghi H, Soltanzadeh A, Ghiasi S. Consequence modeling of the ethylene oxide storage tanks explosion using the PHAST software (a case study in a petrochemical industry). *Iran J Health Environ* 2018; 11(2): 261-70.
- Ghasemi M, Givehchi S, Nasrabadi M. Modeling consequences of Ethylene tank explosion with PHAST software in a petrochemical industry and providing an emergency response plan. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> National Conference on Process, Refining and Petrochemical Engineering*; 2015 Oct 12; Tehran, Iran.
- Witlox HWM, Fernandez M, Harper M, Oke A, Stene J, Xu Y. Verification and validation of PHAST consequence models for accidental releases of toxic or flammable chemicals to the atmosphere. *J Loss Prev Process Ind* 2018; 55: 457-70.
- Pouyakian M, Ashouri M, Eidani S, Madvari RF, Laal F. A systematic review of consequence modeling studies of the process accidents in Iran from 2006 to 2022. *Heliyon* 2023; 9(2): e13550.
- Ullah A, Soomro MI, Kim WS, Khan BA, Memon S, Soomro SH. Integration of CO<sub>2</sub> capture unit with membrane distillation technology: CO<sub>2</sub> mitigation and freshwater production. *Chem Eng Process* 2020; 158: 108185.
- Farzaneh A, Saghatoleslami N, Feyzi Y. Transient H<sub>2</sub>S content rise in the effluent of a natural gas treating unit: Role of COS hydrolysis and heat stable amine salts. *Process Saf Environ Prot* 2021; 153: 84-93.
- Padurean A, Cormos CC, Cormos AM, Agachi PS. Multicriterial analysis of post-combustion carbon dioxide capture using alkanolamines. *Int J Greenh Gas Con* 2011; 5(4): 676-85.
- Hosseini N, Givehchi S, Maknoon R. Cost-based fire risk assessment in natural gas industry by means of fuzzy FTA and ETA. *J Loss Prev Process Ind* 2020; 63: 104025.
- Zareie-kordshouli F, Lashani-zadehgan A, Darvishi P. Post-combustion CO<sub>2</sub> capture using [Emim] [Ac] ionic liquid, piperazine activated N-methyldiethanolamine and promoted K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> in a bench scale. *Int J Greenh Gas Con* 2017; 62: 46-60.
- Khodadadi-Mousiri A, Yaghoot-Nezhada A, Sadeghi-Yarandi A, Soltanzadeh A. Consequence modeling and root cause analysis (RCA) of the real explosion of a methane pressure vessel in a gas refinery. *Heliyon* 2023; 9(4): e14628.
- Bariha N, Ojha DK, Srivastava V, Mishra IM. Fire and risk analysis during loading and unloading operation in

- liquefied petroleum gas (LPG) bottling plant. *J Loss Prev Process Ind* 2023; 81: 104928.
12. Sadeghi-Yarandi M, Karimi A. Evaluation of Consequence Modeling of Fire and Explosion on Methane Storage Tanks in CNG Refueling Station. *Safety Promot Inj Prev* 2023; 6(4): 237-46.
  13. Khorram R. Modeling the Consequences Release of Cyanogen agents in Bushehr Nuclear Power Plant Neighborhood Using PHAST, ALOHA and WISER Software. *Iran Occup Health* 2021; 17(4): 4-17.
  14. Malvya RK, Rushaid M. Consequence Analysis of LPG Storage Tank. *Materials Today* 2018; 5(2): 4359-67.
  15. Vianello C, Macchietto S, Maschio G. Conceptual Models for CO<sub>2</sub> Release and Risk Assessment: a Review. *Chem Eng Trans* 2012; 26: 573-8.
  16. Sadeghi-Yarandi M, Mahdinia M, Barazandeh J, Soltanzadeh A. Evaluation of the toxic effects of ammonia dispersion: consequence analysis of ammonia leakage in an industrial slaughterhouse. *Med Gas Res* 2021; 11(1): 24-9.
  17. Naemnezhad A, Isari AA, Kayer E, Esfandiari-Birakolya M. Consequence assessment of separator explosion for an oil production platform in South of Iran with PHAST Software. *Model Earth Syst Environ* 2017; 3: 43.
  18. Khorani M, Mansouri M, Hosseini SH, Setarehshenas N. Consequence Modeling of a Rupture of Methyl Diethanolamine (MDEA) Storage Spherical Tank (Catastrophic Rupture Scenario). *J Chem Health Risks* 2022; 12(2): 23-21.
  19. Kamaei M, Alizadeh SH, Keshvari A, Kheyrkhah Z, Moshashaei P. Investigation and modeling of the effects caused by the fire of the gas condensate storage tank under construction of a refinery. *J Occup Hyg Eng* 2015; 2(3): 29-36.
  20. Jafari M, Davazdah-Emami S, Velayatzadeh M. Consequences of Fire and Explosion in Distillation Unit of Persian Gulf Star Gas Condensate Refinery Using PHAST Software. *Occupational Hygiene and Health Promotion* 2019; 6(1): 13-28.