

## Consequence modeling and analysis of explosion and fire hazards caused by methane emissions in a refinery in cold and hot seasons

Sevda Panahi<sup>1</sup> , Ali Karimi<sup>2\*</sup> , Reza Pourbabaki<sup>1</sup> 

1- MsC, Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

---

### Abstract

**Background and Aim:** Methane is one of the gaseous materials with high potential of damage. Today, it is widely used in process, chemical industries and human environments. This study thus aimed to predict the emissions and the probable effects of liquid methane using ALOHA software in order to perform appropriate safety measures and consequently to reduce the plausible adverse effects.

**Materials and Methods:** Considering the results of HAZOP studies, the worst case scenario was chosen and, using ALOHA software, possible methane gas leak scenarios from the reservoir were modeled. During the study, all the moral standards were observed.

**Results:** Based on the results obtained, gas concentrations of liquid methane would reach 400000 ppm in a distance of 39 meters around the reservoir, which is in the range of PAC-3 demonstrating risk of death threatening the lives of surrounding people. In the event of a full leakage of 238 meters around the reservoir, the methane gas concentration is predicted to be 50000 ppm, which is equivalent to the low explosive charge (LEL) of methane gas. Wave pressure of vapor cloud caused by methane leaks exceeds 1 psi in a distance of 270 meters.

**Conclusion:** The consequences of methane toxicity in the studied refinery are one of the most serious threats to the personnel. Therefore, preparing a reaction plan for emergency conditions will have an effective role in limiting the harmful effects of the toxic and dangerous materials emissions.

**Keywords:** Methane gas, consequence modeling, refinery, ALOHA software

**Please cite this article as:** Panahi S, Karimi A, Pourbabaki R. Consequence modeling and analysis of explosion and fire hazards caused by methane emissions in a refinery in cold and hot seasons. *Journal of Health in the Field*. 2020; 7(4):34-46.

\***Corresponding Author:** Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

**Email:** a\_karimi@sina.tums.ac.ir

**DOI:** <https://doi.org/10.22037/jhf.v7i4.25456>

**Received:** 12 May 2019

**Accepted:** 18 March 2020

## مدل سازی پیامد و تحلیل خطرات انفجار و آتش سوزی ناشی از انتشار گاز متان در یک پالایشگاه گاز به تفکیک فصول سرد و گرم سال

سودا پناهی<sup>۱</sup>، علی کریمی<sup>۲\*</sup>، رضا پوربابکی<sup>۱</sup>

۱- دانشجوی کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران

۲- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران

### چکیده

**زمینه و اهداف:** گاز متان از جمله موادی با پتانسیل بالای آسیب‌رسانی است که امروزه به صورت گسترده در صنایع فرآیندی و شیمیایی و در محیط‌های انسانی استفاده می‌شود. این مطالعه با هدف پیش‌بینی پیامدهای احتمالی گاز مایع متان توسط نرم‌افزار ALOHA و به منظور انجام اقدامات ایمنی مناسب، جهت کاهش پیامدها انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** در این مطالعه با استفاده از نتایج مطالعات HAZOP، بدترین سناریوی ممکن انتخاب شد و در این مطالعه کاربردی توسط نرم‌افزار ALOHA سناریوهای احتمالی نشت گاز متان از مخزن، مدل‌سازی شد. در طول مدت مطالعه، کلیه موازین اخلاقی رعایت شد.

**یافته‌ها:** بر اساس یافته‌ها، تا حدود ۳۹ متری اطراف مخزن گاز مایع متان غلظت این گاز ppm ۴۰۰۰۰۰ است که در محدوده PAC-3 بوده و خطر مرگ و تهدید زندگی افراد را دارد. در صورت نشت کامل تا فاصله ۲۳۸ متری در اطراف مخزن، غلظت گاز متان، ppm ۵۰۰۰۰ است که برابر با حد پایین انفجار (LEL) گاز متان است. فشار موج انفجار ابر بخار ناشی از نشت متان، از مخزن تا فاصله ۲۷۰ متری بیشتر از ۱ psi است.

**نتیجه‌گیری:** عواقب ناشی از سمیت گاز متان در این پالایشگاه یکی از جدی‌ترین خطراتی است که پرسنل را تهدید می‌کند. بنابراین طراحی یک برنامه واکنش اضطراری جهت محدود کردن اثرات احتمالی نشت گاز یک امر ضروری می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** گاز متان، مدل‌سازی پیامد، پالایشگاه، نرم‌افزار ALOHA

\*نویسنده مسئول: ایران، تهران، بلوار کشاورز، خیابان قدس، خیابان پورسینا، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای

Email: a\_karimi@sina.tums.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۸

## مقدمه

مدل‌های انتشار جوی و تهیه برنامه واکنش اضطراری است. در واقع، طرح اضطراری سطح نهایی حفاظت در یک واحد فرآیندی است. هدف از طرح واکنش اضطراری سازمان‌دهی و افزایش آمادگی در برابر شرایط اضطراری به منظور کاهش آسیب احتمالی است. تعیین شعاع آسیب به دلیل یک حادثه ناشی از گازهای سمی و خطرناک، اهمیت زیادی دارد. برای این منظور از تکنیک‌های مختلفی از جمله استفاده از مدل‌سازی نرم‌افزار استفاده شده است. این فرآیند برای تعیین حاشیه امنیت و خطر استفاده می‌شود [۱۲، ۱۳].

بسیاری از مدل‌ها جهت تعیین نحوه توزیع و انتشار مواد ارائه شده‌اند؛ از جمله این مدل‌ها، نرم‌افزارهایی چون ALOHA و PHAST جهت شبیه‌سازی حوادث صنعتی به کار می‌روند [۱۱، ۱۴]. برنامه واکنش اضطراری می‌تواند با استفاده از نتایج مدل‌سازی برنامه‌ریزی شود. پراکندگی جوی انتشار مواد خطرناک یک مسئله مهم دیگر است. مقدار غلظت آزاد شده برحسب زمان و فاصله یکی از اهداف اصلی ایجاد مدل توزیع و پخش مواد در محیط است. نرم‌افزار ALOHA (Area Location Of Hazardous Atmospheres) قوی‌ترین و معروف‌ترین نرم‌افزار برای مدل‌سازی پیامدهای انتشار مواد در محیط است [۱۵، ۱۶].

ALOHA یک نرم‌افزار کامپیوتری خاص است که به ما کمک می‌کند در مقابل انتشار تصادفی مواد شیمیایی، مدل‌سازی و پیش‌بینی فرآیند نشتی، واکنش بهتری داشته باشیم. این نرم‌افزار قادر به پیش‌بینی همه عواقب ناشی از انتشار مواد شیمیایی مانند آتش‌سوزی، انفجار و مواد سمی در محیط‌زیست است. این نرم‌افزار توسط سازمان محیط زیست آمریکا (USEPA) برای مدل‌سازی حوادث ناشی از انتشار مواد سمی و مواد منفجره ارائه شده است. این نرم‌افزار پایگاه داده بسیار غنی (داده برای بیش از ۱۰۰۰ ماده شیمیایی) و محیط کار ساده‌ای برای اجتناب از اشتباهات کاربر دارد [۱۵]. برنامه واکنش به شرایط اضطراری باید به گونه‌ای ایجاد شود که بیشترین توجه به ماهیت مواد مختلف و خطرات مربوطه را داشته، همچنین سطح ریسک و

نشت و انتشار مواد خطرناک سمی و آتش‌گیر در صنایع فرآیندی و شیمیایی همواره یکی از خطراتی است که زندگی افراد شاغل، ساکنین اطراف این صنایع و همچنین محیط‌زیست را تهدید می‌کند. یکی از اقدامات فوری برای افزایش سطح ایمنی در مرحله طراحی یا فعالیت واحدهای صنعتی، ارزیابی پیامد ریسک‌هایی از جمله انتشار مواد شیمیایی خطرناک در محیط‌زیست می‌باشد. پیش‌بینی رفتار مایع پس از رها شدن و انتشار آن در محیط‌زیست برای ارزیابی پیامدها و آسیب‌های احتمالی و همچنین آگاهی از حداکثر شعاع اطمینان آتش، انفجار و انتشار مواد سمی بسیار مهم است و می‌تواند نقش مهمی جهت مقابله با حوادث در شرایط اضطراری ایفا کند [۱، ۲].

بروز سوانح فاجعه آمیزی مثل انفجار مخزن گاز مایع در یکی از واحدهای نفتی در مکزیک، حریق و انفجار مخازن ذخیره نفت در انگلستان و انفجار مخزن پالایش نفت در پورتوریکو، پیامدهای فاجعه باری را ایجاد کرده‌اند [۳، ۴]. اهمیت مدیریت ریسک کنترل مواد خطرناک به واسطه موارد ذیل ارائه شده است: افزایش تولید محصولات باارزش افزوده بالا که نیازمند فرآیندهای صنعتی با حاشیه ایمنی محدود است [۵]؛ افزایش موجودی [۶]، تنوع مسیرهای توزیع، تغییر در مشخصات ریسک زنجیره تأمین به‌عنوان نتیجه‌ای از تغییرات در مدل‌های کسب و کاری [۷]، رشد جمعیت که منجر به شهرسازی برنامه‌ریزی نشده در نزدیکی بخش صنعتی می‌شود [۸]، ورود به عملکرد سازمانی مفهوم توسعه پایدار [۹]، نیاز به تضمین تخصیص بهینه و مؤثر منابع محدود در فرآیندهای ارزیابی و مدیریت ریسک [۸].

پیامدهای ناشی از نشت یک ماده به ۳ دسته تولید حریق، ایجاد انفجار و آثار مربوط به سمیت مواد در محیط، تقسیم‌بندی می‌شود [۱۰]. جهت افزایش سطح ایمنی، رویکرد مدل‌سازی حوادث می‌تواند مناسب باشد [۱۱]. همچنین تصمیم‌گیری در فرآیندهای تدارکاتی، زمانی که مواد خطرناک مورد استفاده قرار می‌گیرند، مستلزم اندازه‌گیری و نمایش ریسک با مدل‌ها، نقشه‌ها و شاخص‌ها است [۵]. یکی از روش‌های مؤثر پیشگیری، مطالعه پیامدهای حوادث با استفاده از روش‌های ارزیابی خطر و

دامنه انتشار به شیوه‌ای باشد که در کوتاه‌ترین زمان ممکن بیشترین تأثیر را داشته باشد [۱۷، ۱۲].

متان گازی با قابلیت اشتعال و انفجار بالاست که بستر بسیاری از حوادث صنعتی و تلفات جانی و خسارات مالی می‌باشد [۱۸]، علاوه بر این متان، ۲۸ برابر بیشتر از گاز CO<sub>2</sub> در گرمایش جهانی (GWP: Global warming potential) تأثیر دارد [۲۰، ۱۹]. یکی از خصوصیات گاز مایع که آن را خطرناک می‌سازد این است که این گاز معمولاً تحت فشار و در دمای بسیار پایین نگهداری می‌شود، بنابراین هر گونه نشت می‌تواند منجر به تغییر حالت آن به بخار و گاز شود. این عمل باعث می‌شود که گاز مایع قبل از رسیدن به منبع اشتعال، صدها متر در هوای محیط پخش شود [۲۰]. متان ماده بنیادی در صنایع پتروشیمی است و تحت عنوان LNG (گاز طبیعی مایع شده) جهت مصارف سوخت و تولید انرژی، به کار می‌رود. واضح است که در مطالعات اخیر توجه به ایمنی منبع گاز متان کمتر صورت گرفته، این درحالی است که پتانسیل خطر گاز متان بسیار بالا بوده و در صورت وقوع حادثه، خسارات مالی و جانی بسیاری در پی خواهد داشت. در سال‌های اخیر مطالعات متعددی به جنبه‌های مختلف ایمنی صنایع به ویژه صنایع فرایندی وابسته به گاز متان پرداخته‌اند، اما مطالعه‌ای که به صورت جزئی پیامدهای احتمالی نشت گاز متان را در صنایع فرایندی مورد بررسی قرار دهد به ندرت یافت می‌شود [۲۲، ۲۱]. با توجه به اهمیت ایمنی و مراقبت از کارکنان و مردم در مقابل نشت غیرمنتظره مواد سمی از صنایع فرایندی و مواجهه حاد با مواد شیمیایی، این مطالعه با هدف بررسی سناریوهای احتمالی نشت، پیش‌بینی انتشار و پیامدهای احتمالی گاز مایع متان با استفاده از نرم‌افزار ALOHA در دو فصل تابستان و زمستان جهت انجام اقدامات ایمنی مناسب، کاهش پیامدها و توسعه برنامه واکنش اضطراری انجام شد.

## مواد و روش‌ها

روش تحقیق استفاده شده در مطالعه حاضر براساس روش مرسوم است که توسط موسسه مهندسان شیمی آمریکا (ALCHE: American Institute of Chemical Engineers)

برای مدل‌سازی و ارزیابی نتایج در صنایع شیمیایی، نفت، گاز و حمل و نقل پیشنهاد شده است. پیامدهای حاصل از حوادث احتمالی، یک مدل چهار مرحله‌ای شامل: ۱. انتخاب سناریو ۲. آنالیز شرایط ۳. مدل‌سازی حادثه (موج انفجار - انتشار سمی - اشتعال) و ۴. ارزیابی آسیب‌ها است.

برای توسعه یک برنامه واکنش اضطراری، خطرات بالقوه سایت مورد مطالعه مورد بازبینی قرار گرفته و همچنین بدترین سناریوهای ممکن در نظر گرفته شدند. پارامترهای مورد نیاز برای نرم‌افزار ALOHA جهت مدل‌سازی نشت گاز از مخازن، شامل داده‌های سایت (محل منبع و زمان انتشار)، داده‌های اتمسفری (دما، رطوبت، جهت و سرعت باد، زمین و دیگر پارامترهای جوی) و مشخصات ماده شیمیایی است. از نتایج مطالعات (HAZOP: Hazard and Operability Study) انجام شده در پالایشگاه مورد نظر، جهت شناسایی مخاطرات موجود در این واحد استفاده شد. با توجه به اینکه یافته‌های حاصل از مطالعات HAZOP کیفی بوده و سناریوهای متعدد به دست آمده ارزش یکسانی نداشتند، فرآیندهای مختلف از نظر درجه بزرگی خطر، میزان احتمال وقوع حادثه و شدت حادثه با یکدیگر مقایسه شدند. بنابراین جامع‌ترین و بدترین سناریو انتخاب و مدل‌سازی شد و نتایج حاصل از آن در محاسبات ریسک استفاده شد. اطلاعات مخزن مورد نظر در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

در نرم‌افزار ALOHA به منظور تعیین دامنه ابر بخار سمی، سطوح راهنمای مواجهه حاد (AEGLs: Acute Exposure Guideline Levels) به شرح زیر استفاده می‌شود:

AEGL-1: در این غلظت، پیش‌بینی می‌شود که جمعیت عموم، از جمله افراد مستعد، می‌توانند تحریک، ناراحتی و برخی اثرات غیرحسی و بدون علامت را تجربه کنند. با این حال، اثرات غیرفعال نیستند و گذرا و برگشت‌پذیر هستند.

AEGL-2: در این غلظت، افراد مستعد ممکن است اثرات مضر یا شدید یا اثرات غیرقابل بازگشت را تجربه کنند. در این صورت، افراد ممکن است توانایی خود برای فرار را از دست بدهند.

براین، برای آماده سازی برنامه واکنش اضطراری از راهنمای برنامه واکنش اضطراری (ERPG: Emergency Response Planning Guidelines) استفاده شده است. ERPGs مقادیری هستند که برای تخمین دامنه غلظت مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۲].

AEGL-3: در این غلظت، افراد ممکن است زندگی خود را از دست بدهند یا به عبارت دیگر، مواجهه با این سطح از غلظت ممکن است زندگی را تهدید کند. در حقیقت، AEGL یک غلظت هوای از بخارات سمی است که برحسب بخش‌هایی از هر میلیون و یا میلی‌گرم در هر مترمکعب بیان می‌شود. علاوه

جدول ۱ - اطلاعات مربوط به مخزن

Table 1- Reservoir information

نحوه انتشار	فشار	دمای عملیاتی	حجم	ماده	نوع تجهیز	نام تجهیز
Horizontal	۸۰ Bar	-۸۶ درجه سلسیوس	۵۲۵ و ۴۴۰، ۲۵ لیتر	متان	استوانه‌ای	شیر خروجی Caustic Pre Wash

- تخمین غلظت مواد رها شده در محیط برحسب فاصله و زمان
- تعیین دامنه منطقه متأثر از انفجار مواد سمی و خطرناک
- تعیین دامنه منطقه متأثر از احتراق مواد سمی و خطرناک

به دلیل اینکه موج تخریبی انفجار و فشار حرارتی حریق، در فصل تابستان بیشتر است [۲۴]، فصل تابستان، ۱۵ تیرماه جهت در نظر گرفتن بدترین سناریو انتخاب شد. براساس سایر مطالعات انجام شده و گزارش‌های هواشناسی در فصل تابستان، جهت غالب باد از شمال غرب و در ارتفاع ۱۰ متر از زمین برابر ۵/۹۶ متر بر ثانیه بوده، دمای هوا در فصل مورد نظر ۴۷ درجه و رطوبت نسبی ۹۵ درصد برآورد شد. و فصل زمستان جهت مقایسه بین سناریوهای دو فصل در نظر گرفته شد. همچنین درجه پایداری مربوط به اطلاعات جوی طبق دستورالعمل برای فصول تابستان و زمستان به ترتیب کلاس C و کلاس D به دست آمد [۲۵]. محیط زمین اطراف مخزن، مخلوط خاک و بتن است که امکان تجمع و تشکیل حوضچه‌ای از سیال با بیشترین قطر ممکن را می‌دهد. قطر نشستی مورد نظر معادل ۶ اینچ که قطری هم ارز قطر شیر خروجی است، در نظر گرفته شد. پارامترهایی که جهت مدل‌سازی در نرم‌افزار وارد شدند، شامل منبع انتشار و مشخصات هواشناسی در جدول شماره ۲ ذکر شده‌اند.

پس از مدل‌سازی و تعیین خطرات احتمالی نشت متان در محیط، طرح واکنش در شرایط اضطراری برای آن منطقه تعریف شد. همچنین در این مطالعه، ملاحظات اخلاقی از قبیل جلب رضایت مهندسين بهداشت حرفه‌ای، محرمانه بودن اطلاعات پالایشگاه و

مورد بعدی معیارهای عمل حفاظتی (PAC: Protective Action Criteria) ها هستند که مورد استفاده قرار می‌گیرند.

این مجموعه داده‌ها تمام ۳ سیستم AEGL، ERPG و TEEL (Temporary Emergency Exposure Levels) را ترکیب می‌کند و یک سیستم مبتنی بر سلسله مراتب را اجرا می‌کند. اگر ALOHA به مقادیر PAC محدود باشد، به این معنی است که هیچ مقدار AEGL یا ERPG در کتابخانه شیمیایی ALOHA برای آن ماده وجود ندارد [۲۳].

این مطالعه تحت سه سناریوی متفاوت انجام شده است که به شرح زیر بیان شده است:

سناریو ۱: مایع از شیر خروجی نشت کرده و در محیط توزیع می‌شود.

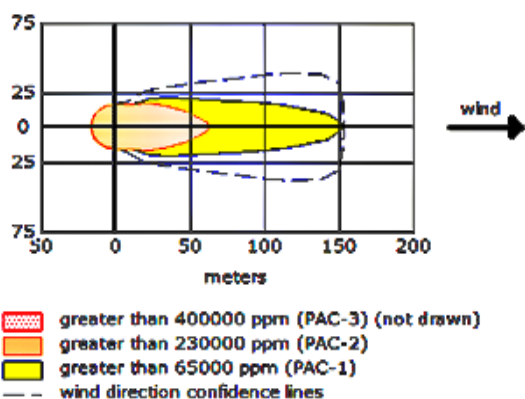
سناریو ۲: گاز مایع از شیر نشت کرده و در محیط به صورت آتش فورانی می‌سوزد.

سناریو ۳: سیلندر منفجر شده و گاز مایع متان به صورت یک توپ آتشی می‌سوزد.

(BLEVE: Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) به‌طورکلی، هدف مدل‌سازی نشت گاز از مخازن سوخت تحت سناریوهای مختلف با استفاده از نرم‌افزار ALOHA به شرح زیر است:

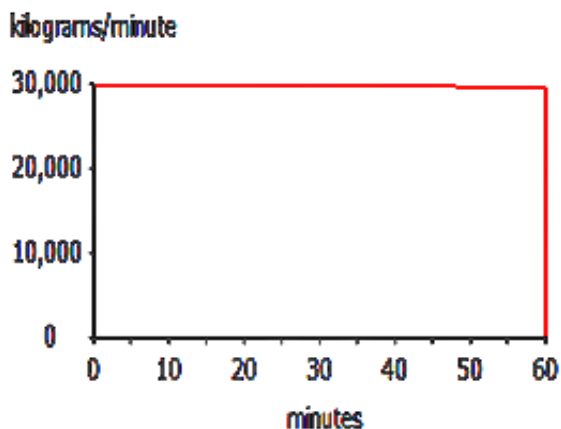
- تعیین دامنه منطقه متأثر از نشت مواد شیمیایی سمی و خطرناک

وجود دارد (ناحیه تهدید به علت اثرات تقریبی میدان نزدیک کشیده نشده است). تا فاصله ۶۲ متری مخزن، غلظت ابر بخار گاز مایع متان ppm ۲۳۰۰۰۰ بود که در محدوده PAC-2 قرار داشت؛ در این ناحیه افراد مستعد ممکن است، اثرات زیان آور، شدید یا برگشت ناپذیر را تجربه کنند. علاوه بر این تا فاصله ۱۵۴ متری از مخزن، غلظت بخار ppm ۶۵۰۰۰ است که در محدوده PAC-1 قرار دارد. یافته‌های حاصل از این سناریو نشان داد که در صورت وقوع سناریو، زمان خروج کل گاز متان از مخزن بیشتر از ۱ ساعت (۶۰ دقیقه) خواهد بود (شکل شماره ۲).



شکل ۱- مدلسازی تشکیل ابر بخار سمی در فواصل مختلف مخزن در تابستان

Figure 1- Modeling the formation of toxic vapor cloud at different intervals of the reservoir in summer



شکل ۲- راندمان خروج گاز مایع متان از مخزن در تابستان

Figure 2- Efficiency of methane outflow from the reservoir in summer

بی‌طرفی پژوهشگر در جمع‌آوری، تحلیل و گزارش داده‌ها لحاظ شد.

جدول ۲- متغیرهای مربوط به اتمسفر و منبع انتشار

Table 2- Atmospheric and emission source variables

متغیرها	پارامترهای مورد نظر	فصل تابستان	فصل زمستان
	سرعت باد	۵/۹۶ متر بر ثانیه	۹/۴ متر بر ثانیه
	جهت غالب باد	شمال غربی	جنوب
اطلاعات	میزان ابری بودن	۰ درصد	۲۰ درصد
جوی	دمای هوا در	۴۷ درجه	۲۴ درجه
	گرم‌ترین ساعت روز	سلسیوس	سلسیوس
	درجه پایداری	کلاس C	کلاس D
	رطوبت نسبی	۹۵ درصد	۶۴ درصد
اطلاعات	قطر مخزن	۵۰ متر	
مخزن	ارتفاع / طول مخزن	۱۳ متر	
	مخزن استوانه‌ای به صورت افقی قرار گرفته است.		

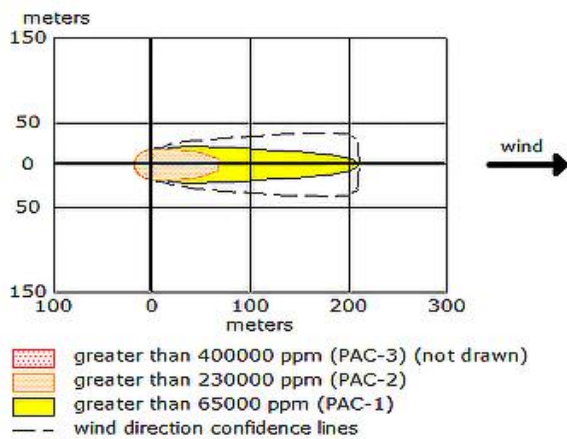
## یافته‌ها

پس از وارد کردن پارامترهای ذکر شده در نرم افزار و با در نظر گرفتن بدترین سناریو، مدلسازی حوادث صورت گرفت. این مطالعه تحت سه سناریوی متفاوت انجام شد که به شرح زیر نتایج مدلسازی هر سناریو به تفکیک بیان شده است:

سناریو ۱: گاز مایع متان از دریچه خروجی نشت کرده و در محیط توزیع می‌شود.

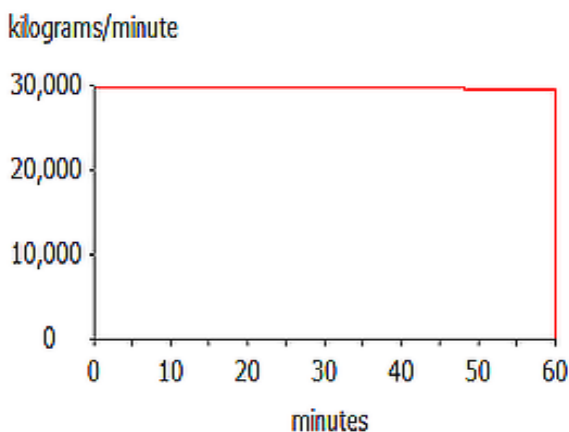
## مدلسازی دامنه تشکیل ابر بخار سمی

فصل تابستان: در این سناریو، فرض شد که گاز از دریچه خروجی مخزن متان خارج می‌شود و یک ابر بخار سمی ایجاد می‌کند که در اطراف مخزن قرار دارد. نتایج مدلسازی گرافیکی سناریوی ۱ و تشکیل ابر بخار سمی اطراف مخزن در شکل شماره ۱ نشان می‌دهد که در مخزن مورد مطالعه، غلظت گاز در اطراف مخزن تا فاصله ۳۹ متر ppm ۴۰۰۰۰۰ در محدوده PAC-3 بوده و خطر مرگ و تهدید زندگی مردمی که در این منطقه هستند،



شکل ۳- مدلسازی تشکیل ابر بخار سمی در فواصل مختلف مخزن در زمستان

Figure 3- Modeling the formation of toxic vapor cloud at different intervals of the reservoir in winter



شکل ۴- راندمان خروج گاز مایع متان از مخزن در زمستان

Figure 4- Efficiency of methane outflow from the reservoir in winter

#### مدل سازی دامنه انفجار ابر بخار گاز مایع متان

تابستان: نتیجه مدل سازی موج فشار ناشی از انفجار متان که تحت سناریوی ۱ تشکیل شده است، نشان داد که در صورت انفجار ابر بخار ناشی از نشت متان، فشار موج انفجار در مخزن تا فاصله ۲۷۰ متری بیشتر از ۱ psi است که قدرت شکستن شیشه‌ها را دارد. مدل سازی گرافیکی، موج فشار ناشی از انفجار بخار گاز متان در شکل شماره ۷ نشان داده شده است.

زمستان: طبق مدل سازی گرافیکی که در شکل شماره ۸ نشان داده شده است، در صورت انفجار ابر بخار ناشی از نشت متان، فشار

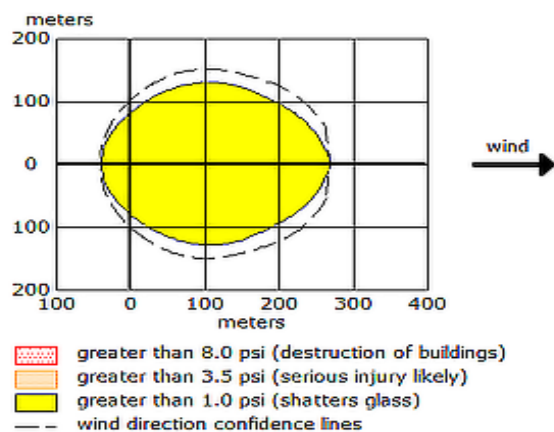
فصل زمستان: نتایج مدل سازی گرافیکی سناریو ۱ برای فصل زمستان و تشکیل ابر بخار سمی اطراف مخزن در شکل شماره ۳ نشان داده شده است. در مخزن مورد مطالعه، غلظت گاز در اطراف مخزن تا فاصله ۳۶ متر  $400000$  ppm در محدوده PAC-3 بوده و خطر مرگ و تهدید زندگی مردمی که در این منطقه هستند وجود دارد (ناحیه تهدید به علت اثرات تقریبی میدان نزدیک کشیده نشده است). تا فاصله ۶۸ متری مخزن، غلظت ابر بخار گاز مایع متان  $230000$  ppm بود که در محدوده PAC-2 قرار داشت؛ در این ناحیه افراد مستعد ممکن است، اثرات زیان آور، شدید یا برگشت ناپذیر را تجربه کنند. علاوه بر این تا فاصله ۲۱۲ متری از مخزن، غلظت بخار  $65000$  ppm است که در محدوده PAC-1 قرار دارد. (پیش بینی انتشار برای فواصل کوتاه کمتر قابل اطمینان است). مطابق شکل شماره ۴، در صورت وقوع سناریو، زمان خروج کل گاز متان از مخزن همانند شکل شماره ۲، بیشتر از ۶۰ دقیقه خواهد بود. با توجه به اینکه دما در فصل تابستان و زمستان تفاوت زیادی ندارد در شکل ۲ و ۴ زمان خروج کل گاز متان از مخزن یکسان بدست آمد.

#### مدل سازی ناحیه قابل اشتعال ابر بخار متان

فصل تابستان: نتایج مدل سازی دامنه قابل اشتعال ابر بخار متان مطابق با غلظت بخارات گاز قابل اشتعال در شکل ۵ نشان داده شده است. طبق نتایج، در نشت کامل گاز مخزن تا فاصله ۲۳۸ متری در اطراف مخزن، غلظت گاز متان،  $50000$  ppm است که برابر با حد پایین انفجار (LEL) گاز متان می باشد؛ تا فاصله ۳۳۹ متری، غلظت در اطراف مخزن  $30000$  ppm است که حدود ۶۰ درصد LEL می باشد و در فاصله  $1/3$  کیلومتری، غلظت به  $5000$  ppm می رسد که برابر با ۱۰ درصد LEL است.

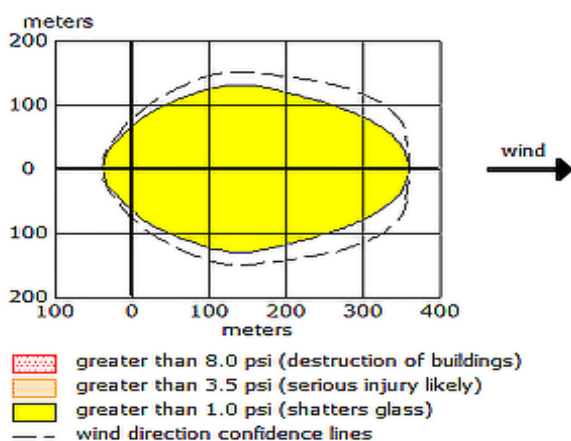
فصل زمستان: مطابق شکل ۶ در صورت نشت کامل گاز مخزن، تا فاصله ۴۸۶ متری، غلظت در اطراف مخزن  $30000$  ppm است که حدود ۶۰ درصد LEL می باشد و در فاصله  $1/6$  کیلومتری، غلظت به  $5000$  ppm می رسد که برابر با ۱۰ درصد LEL است.

میزان تابش گرمایی مخزن که با کمی تمایل به سمت راست، تا ۱۲۰ متری در همه جهات گسترش یافته حدود ۱۰ کیلو وات بر متر مربع است که ممکن است در طول ۶۰ ثانیه باعث مرگ افراد شود. در محدوده ۱۴۷ مترمربعی مخزن تشعشع حرارتی معادل ۵ کیلو وات بر متر مربع است که می تواند منجر به سوختگی درجه ۲ شود و در محدوده ۲۷۳ متر مربعی از مخزن میزان تشعشع حرارتی ۲ کیلووات بر متر مربع است که در عرض ۶۰ ثانیه باعث احساس درد موضعی می شود.



شکل ۷- مدلسازی موج فشار ناشی از انفجار متان در تابستان

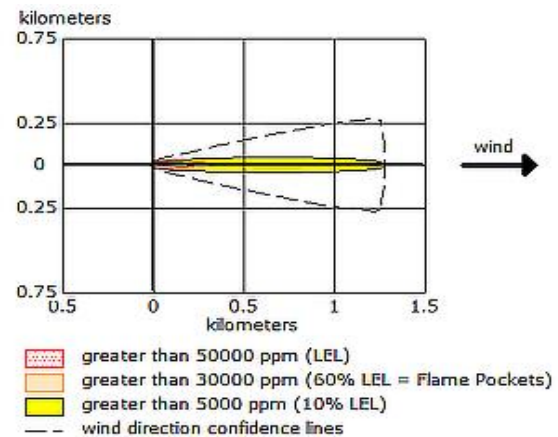
Figure 7- Modeling of pressure wave caused by methane explosion in summer



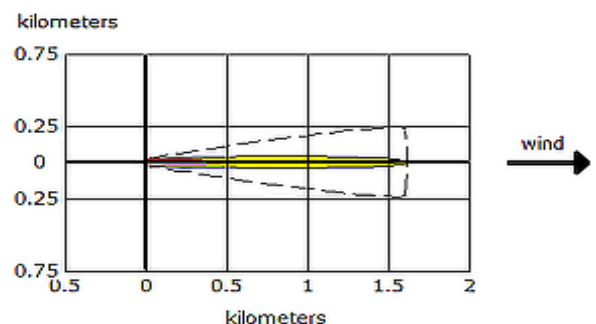
شکل ۸- مدلسازی موج فشار ناشی از انفجار متان در زمستان

Figure 8- Modeling of pressure wave caused by methane explosion in winter

موج انفجار در مخزن تا فاصله ۳۶۱ متری بیشتر از ۱ psi است که قدرت شکستن شیشه ها را دارد.



شکل ۵- مدلسازی محدوده قابل اشتعال ابر بخار متان در تابستان  
Figure 5- Modeling the flammable range of methane vapor in summer



شکل ۶- مدلسازی محدوده قابل اشتعال ابر بخار متان در زمستان  
Figure 6- Modeling the flammable range of methane vapor in winter

سناریو ۲: گاز مایع از شیر نشت کرده و در محیط به صورت آتش فورانی می سوزد.

تابستان: نرم افزار مدل سازی ALOHA، مدت زمان سوختن آتش فورانی را یک ساعت و حداکثر نرخ سوختن را ۲۹۶۰۰ کیلوگرم بر دقیقه برآورد کرد. مدل سازی گرافیکی گرمای تابشی ناشی از سناریو ۲ در مخزن گاز مایع متان در فواصل مختلف در شکل شماره ۹ نشان داده شده است. در صورت آتش سوزی در مخزن،



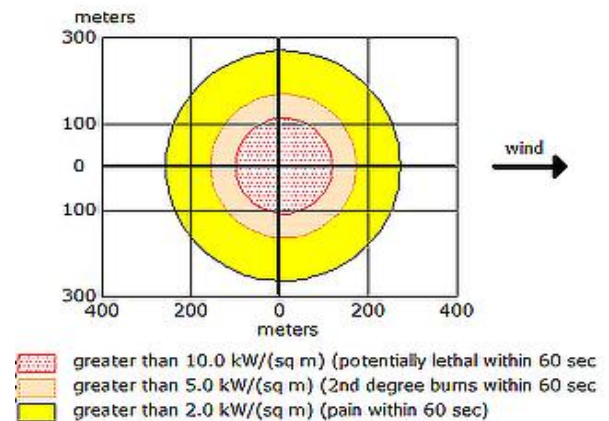
سناریو ۳: مخزن منفجر شده و گاز مایع متان به صورت یک گلوله آتشین شعله‌ور می‌شود (BLEVE)

تابستان: در صورتی که مخزن حاوی مایع تحت فشار به نقطه جوش خود برسد، بخارات منبسط شده در حال جوش BLEVE منفجر می‌شود. در مورد سناریو ۳، چون جرم مایع داخل مخزن زیاد بود، نرم‌افزار قادر به مدل‌سازی برای آن نبود و بیشترین مقداری را که می‌توانست برای آن مدل‌سازی کند را اجرا کرد. در این سناریو آتش کروی با قطر ۹۹۲ متر در عرض ۴۳ ثانیه ایجاد می‌شود. محدوده پراکنش گرمایی ناشی از انفجار بخارات گسترده در شکل شماره ۱۱ قابل مشاهده است. تابش حرارتی در اطراف مخزن تا فاصله ۱/۹ کیلومتر از آن حدود ۱۰ کیلو وات بر مترمربع است که ممکن است موجب مرگ افراد در محل شود و در فاصله ۲/۶ کیلومتری از مخزن، تابش حرارتی ۵ کیلووات بر مترمربع است که ممکن است منجر به سوختگی درجه ۲ شود و تا فاصله ۴/۱ کیلومتری تشعشع حرارتی معادل ۲ کیلووات بر مترمربع است که در طول ۶۰ ثانیه منجر به درد موضعی می‌گردد. زمستان: چون جرم مایع داخل مخزن زیاد بود، نرم‌افزار قادر به مدل‌سازی برای آن نبود و بیشترین مقداری را که می‌توانست برای آن مدل‌سازی کند را اجرا کرد؛ یعنی به جای ۸۰ درصد پر بودن حجم مخزن، ۷۳ درصد برای آن در نظر گرفت. قطر آتش کروی ۹۹۲ متر و طول مدت ایجاد آن ۴۳ ثانیه برآورد شد. مطابق شکل شماره ۱۲، تشعشعات حرارتی در اطراف مخزن تا فاصله ۲/۱ کیلومتر از آن حدود ۱۰ کیلو وات بر مترمربع است که می‌تواند منجر به مرگ افراد در محل شود و در فاصله ۳ کیلومتری از مخزن، تابش حرارتی ۵ کیلووات بر مترمربع است که ممکن است باعث سوختگی درجه ۲ شود و تا فاصله ۴/۶ کیلومتری تشعشع حرارتی معادل ۲ کیلووات بر مترمربع است که در طول ۶۰ ثانیه منجر به درد موضعی می‌گردد.

### بحث

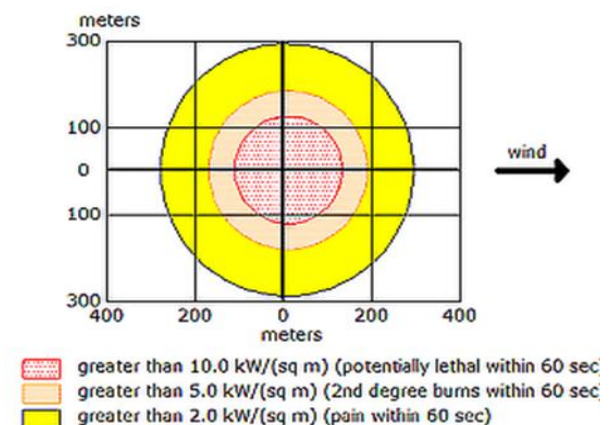
با توجه به نتایج مطالعه حاضر، اگر گاز مایع متان از یک ولو با سوراخ ۶ اینچی روی مخزن نشت کرده و در محیط رها شود، تقریباً بیش از یک ساعت طول می‌کشد تا تمام محتویات گاز

زمستان: حداکثر نرخ سوختن در مدت زمان ۱ ساعت برابر ۲۹۶۰۰ کیلوگرم در دقیقه برآورد شد. مطابق شکل شماره ۱۰ در صورت آتش‌سوزی در مخزن، میزان تابش گرمایی مخزن که با کمی تمایل به سمت راست، تا ۱۳۶ متری در همه جهات گسترش یافته حدود ۱۰ کیلو وات بر مترمربع است که احتمال دارد باعث مرگ افراد در طول ۶۰ ثانیه شود. در محدوده ۱۹۳ متری مخزن تابش حرارتی معادل ۵ کیلو وات بر مترمربع است که منجر به سوختگی درجه ۲ می‌شود و در محدوده ۲۹۸ متری از مخزن میزان تشعشع حرارتی ۲ کیلووات بر مترمربع است که در عرض ۶۰ ثانیه باعث احساس درد موضعی می‌شود.



شکل ۹- مدل‌سازی گرافیکی گرمای تابشی ناشی از سناریو ۲ در تابستان

Figure 9- Graphical modeling of heat radiation caused by Scenario 2 in summer

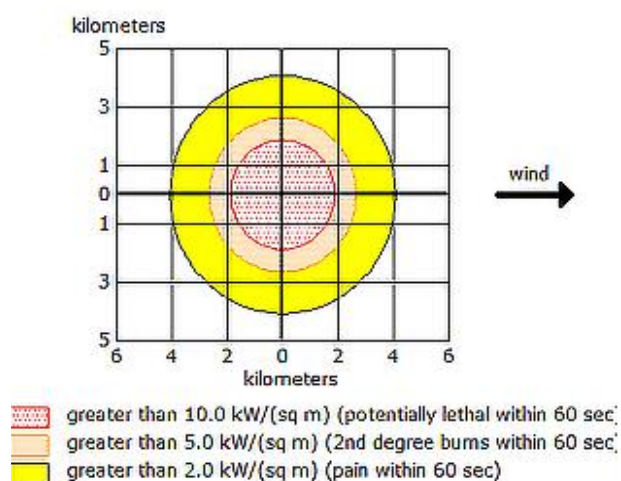


شکل ۱۰- مدل‌سازی گرافیکی گرمای تابشی ناشی از سناریو ۲ در

زمستان

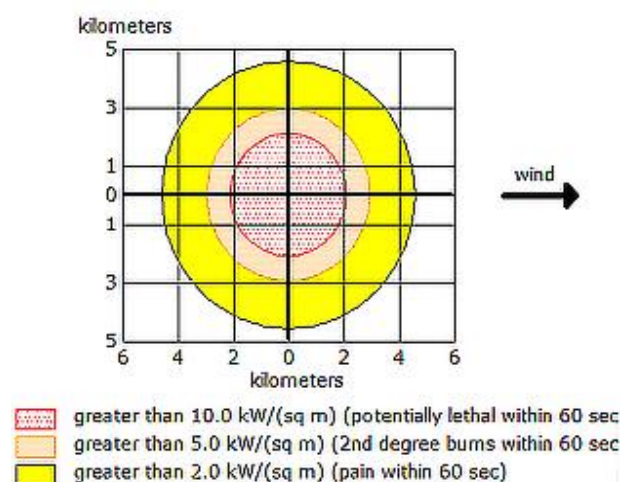
Figure 10- Graphical modeling of heat radiation caused by Scenario 2 in winter

در مطالعه کالیک و همکاران با هدف ارزیابی خطرات انفجار گازهای قابل انفجار در مخزن CNG و LPG خودرو با فرض ایجاد سوراخ به قطر ۳۳۰ میکرومتری و مدل‌سازی با ALOHA دریافتند که تا فاصله ۲۴ متری مخازن LPG و CNG به غلظت ۶۰ درصد و تا فاصله ۶۰ متری به غلظت ۱۰ درصد گسترش می‌یابد [۱۵].



شکل ۱۱- مدل‌سازی گرافیکی انفجار بخار مایع در حال جوش (BLEVE) در تابستان

Figure 11 - Graphical modeling of boiling liquid vapor explosion (BLEVE) in summer



شکل ۱۲- مدل‌سازی گرافیکی انفجار بخار مایع در حال جوش (BLEVE) در زمستان

Figure 12- Graphical modeling of boiling liquid vapor explosion (BLEVE) in winter

تخلیه و در هوای محیط رها شود (غلظت ثابتی در ۱ ساعت اول تخلیه می‌شود)؛ از این زمان می‌تواند برای برنامه‌ریزی مدت زمان خروج افراد و آمادگی برای مقابله با حادثه استفاده کرد. بخار گاز متان در ۵٪ تا ۱۵٪ حجمی ترکیب انفجاری ایجاد می‌کند؛ در نتیجه، در صورت نشت کامل گاز متان از مخزن، اگر هر منبع جرقه و احتراق به فاصله ۱/۳ کیلومتری در فصل تابستان و فاصله ۱/۵ کیلومتری در فصل زمستان، از مخزن وجود داشته باشد، انفجار رخ خواهد داد.

نگاهی به حوادث در بخش‌های مختلف دنیا نشان می‌دهد که کوچک‌ترین غفلت در طراحی، تولید، نصب، استفاده و نگهداری از مخازن ذخیره سازی متان منجر به حوادث فاجعه باری شده است. نتایج نشان داد که در فصل تابستان تا فاصله ۳۹ متر در اطراف مخزن گاز متان، غلظت گاز ppm ۴۰۰۰۰۰ است که این غلظت می‌تواند منجر به سوختگی‌های شدید در پوست و مرگ افراد شود در حالی که این فاصله در فصل زمستان ۳۶ متر برآورد شده است. در صورت انفجار ابر بخار ناشی از نشت متان از مخزن، لازم به ذکر است که موج انفجار هم در فصل تابستان و هم در فصل زمستان، در هیچ فاصله‌ای بیش از ۸ psi یا ۵/۳ psi نبود (این مقدار فشار مورد نیاز برای تخریب ساختمان‌ها و آسیب جدی است). با توجه به اینکه ظرفیت واقعی مخزن (حجم مخزن مورد نظر با طول و قطر بیان شده) بیشتر از حجم واقعی گاز مایع شده است (۸۰٪ از مخزن پر شده است)، اگر در واقع بیش از ۸۰ درصد از مخزن پر شود، نتایج مدل‌سازی متفاوت خواهند بود. معمولاً در مطالعات مربوط به آنالیز ریسک فرآیند، احتمال انفجار ابر بخار ۰/۶ و آتش‌سوزی برابر با ۰/۴ مطرح شده است. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، مهم‌ترین خطری که کارکنان و سایر مردم را در این منطقه تهدید می‌کند، پیامد ناشی از موج انفجار ابر بخار گاز متان می‌باشد که غلظت گاز متان در فصل تابستان تا فاصله ۲۳۸ متری ppm ۵۰۰۰۰ معادل حد پایین انفجار بوده و تا فاصله ۳۳۹ متری در فصل تابستان و همچنین در فصل زمستان تا فاصله ۴۸۶ متری، غلظت در اطراف مخزن ppm ۳۰۰۰۰ است که حدود ۶۰ درصد LEL می‌باشد؛ این غلظت منجر به تخریب سایر تأسیسات و تجهیزات، صدمه به افراد و کارکنان شده و انرژی لازم برای حوادث متعاقب را تأمین می‌کند.

فراوانی را ایجاد کرده است. لذا توجه به مخازن ذخیره گاز متان که حاوی حجم بالایی از این گاز هستند، لازم و ضروری است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که طرح یک برنامه واکنش اضطراری ضروری است. از آنجا که تخمین تعداد افراد در معرض خطر، اولین قدم در تعیین نیاز به تخلیه در شرایط اضطراری است. توصیه می‌شود تعداد ساکنان مواجهه یافته با گاز در سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد. نقاط قوت این مطالعه، استفاده از نرم‌افزار ساده و قابل اطمینان در مراحل مختلف تحلیل ریسک و بررسی یکی از بزرگ‌ترین مخازن گاز متان است. ناتوانی در استفاده از داده‌های این مطالعه در تمام فصول محدودیت‌های این مطالعه است. از آنجا که این مطالعه در فصل تابستان انجام شد، فواصل خطر ممکن است در زمستان و تابستان متفاوت باشد. نتایج مطالعه مرتضوی و همکاران در ارزیابی انتشار گاز کلر از مخازن ذخیره سازی به منظور توسعه طرح‌های پاسخ اضطراری در صنعت پتروشیمی این موضوع را تأیید می‌کند. افزایش فواصل خطر در تابستان نسبت به زمستان به دلیل این واقعیت است که در تابستان، دمای لایه‌های سطح اتمسفر در نزدیکی سطح زمین تقریباً برابر با دمای لایه‌های بالایی اتمسفر است و بنابراین جو پایدارتر از فصل زمستان است [۲۶، ۲۷]. در این مطالعه تفاوت چشمگیری بین دو فصل تابستان و زمستان دیده نشد.

این مطالعه تنها در مدل‌سازی گاز نشت یافته از یکی از خروجی‌های دریچه مخزن انجام شده است، اما در عمل، مخزن مورد نظر دارای ۳ خروجی با قطر ۶ اینچی بود که توصیه می‌شود، سناریویی برای حالتی که هر ۳ دریچه با هم نشت می‌کنند، تعریف کرده و مدل‌سازی شود. همچنین منابع انتشار علاوه بر مخازن ذخیره سازی، در مراحل دیگری از انتقال و کاربرد نیز قرار دارند. بنابراین برای شناسایی و کنترل منابع انتشار نیاز است که دقیق‌تر و با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار گیرد. در نتیجه، انجام مطالعات بیشتر در این زمینه بسیار ضروری است. در این تحقیق ۳ سناریو اصلی بررسی شد. شناسایی سناریوهای دیگر و تعیین سطح فوریت برای هر کدام از آن‌ها ضروری است. طبق مطالعه ای که پوربابکی و همکاران به منظور بررسی و تحلیل

در مورد آتش فورانی تحت سناریو ۲ در مخزن مورد بررسی، مقدار تابش حرارتی در فصل تابستان در فاصله ۱۲۰ متری و در زمستان در فاصله ۱۳۶ متری حدود  $10 \text{ kW/m}^2$  است که ممکن است طی مدت ۶۰ ثانیه باعث مرگ شود، همچنین مقدار تابش حرارتی برابر ۵ کیلووات بر مترمربع در تابستان در فاصله ۱۴۷ متری و در زمستان در فاصله ۱۹۳ متری، می‌تواند منجر به سوختگی درجه دوم شود. همچنین در فاصله ۲۷۳ متری از کپسول‌ها در تابستان و در فاصله ۲۹۸ متری در زمستان مقدار تابش حرارتی ۲ کیلو وات بر مترمربع است و ممکن است در عرض ۶۰ ثانیه باعث درد موضعی شود.

خروجی گرافیکی نرم‌افزار ALOHA نشان داد که در مورد سناریو ۳ در مخزن متان، آتش کروی با قطر ۹۹۲ متر در عرض ۴۳ ثانیه رخ خواهد داد. در مورد BLEVE تحت سناریو ۳، مقدار تابش حرارتی در تابستان در فاصله ۱/۹ کیلومتر و در زمستان در فاصله ۲/۱ کیلومتر از مخزن حدود ۱۰ کیلو وات بر مترمربع است و ممکن است موجب مرگ افراد در این منطقه شود. در تابستان در فاصله ۲/۶ کیلومتری و در زمستان در فاصله ۳ کیلومتری مخازن، تابش حرارتی ۵ کیلو وات بر مترمربع است و ممکن است باعث سوختگی درجه دوم شود. در تابستان در فاصله ۴/۱ کیلومتری و در زمستان در فاصله ۴/۶ کیلومتری مخزن، تابش حرارتی ۲ کیلووات بر مترمربع است و ممکن است منجر به درد موضعی شود. در مطالعه محمدفام و همکاران با عنوان ارزیابی پیامد حریق مخازن گاز متان در یک پالایشگاه گاز به‌وسیله نرم‌افزار PHAST، با انتخاب ۳ سناریو با قطر نشتی ۵۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ میلی‌متر، تابش حرارتی ناشی از حریق به‌عنوان پیامد اصلی در نظر گرفته شد؛ نتایج نشان دادند که بدترین سناریو در نشتی ۲۵۰ میلی‌متر با شدت تابش  $37/5$  کیلووات بر متر مربع در ناحیه‌ای به مساحت  $37104$  متر مربع گسترش یافته است که می‌تواند باعث مرگ ۲۳ نفر شود [۲۱]. با وجود اینکه گاز متان سمی نیست، اما می‌تواند در صنعت حادثه بیافریند و همچنین با کاهش میزان اکسیژن هوا باعث ایجاد خفگی در افراد شود. علاوه بر این گاز متان یکی از گازهایی است که در گرمایش زمین مؤثر بوده و در دهه‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته و مشکلات

تدوین یک مجرای اتصالی از چندین مخزن به یک مخزن واحد جهت تخلیه ماده مورد نظر در شرایط بحرانی و کاهش شدت حادثه می‌تواند تا حدودی کمک کننده باشد. توصیه می‌شود قبل از ساخت یک واحد شیمیایی و فرایندی حتماً ارزیابی ریسک صورت گیرد. همچنین کاهش قطر ولو خروجی نیز در کاهش میزان نشتی بسیار مؤثر است.

از آنجا که اولین قدم در صورت بروز حادثه تخلیه منطقه خطر می‌باشد، لذا لازم است برنامه‌ای جهت واکنش در شرایط اضطراری در نظر گرفته شود. این برنامه می‌تواند شامل جمع‌آوری شماره تماس واحدهای مجاور برای اطلاع‌رسانی فوری، زنگ خطر با تراز صدایی که محدوده خطر را کاملاً پوشش دهد و هماهنگی با ارگان‌های امداد و نجات و آتش‌نشانی نزدیک منطقه باشد.

#### تشکر و قدردانی

نویسندگان از تمامی کارشناسان بهداشت حرفه‌ای و مسئولین واحدهای HSE پالایشگاه مورد مطالعه، تشکر و قدردانی می‌کنند. همچنین، از داوران محترمی که با انتقادات سازنده و بیان نظرات کارشناسی خود به ارتقای کیفیت این مقاله کمک کردند، سپاسگزاری می‌شود. بدون شک، نظرات حرفه‌ای آنها نقش بسزایی در تکامل این مقاله داشته است.

#### References

- 1- Lees F. Lees' Loss prevention in the process industries: Hazard identification, assessment and control: Butterworth-Heinemann; 2012.
- 2- Pula R, Khan F, Veitch B, Amyotte P. A grid based approach for fire and explosion consequence analysis. *Process Safety and Environmental Protection* 2006; 84(2):79-91.
- 3- Jung H, Ma J. A study on legal systems and politics to control chemicals-Focus on regulation of hazardous chemicals. *Administrative Law Journal* 2016; 44(44):191-222.
- 4- Kim M-U, Moon KW, Sohn J-R, Byeon S-H. Sensitivity Analysis of Weather Variables on Offsite Consequence Analysis Tools in South Korea and the United States. *International journal of Environmental Research and Public Health* 2018; 15(5):1027. DOI: 10.3390/ijerph15051027
- 5- Maure LC, Valdivia FAG, Machado NIC, Glistau E. Methodology for the management of risk in the storage and transport of hazardous substances. *Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering* 2019; 12(1):15-20.
- 6- Fyffe L, Krahn S, Clarke J, Kosson D, Hutton J. A preliminary analysis of Key Issues in chemical industry accident reports. *Safety Science* 2016; 82:368-73.
- 7- Li C, Ren J, Wang H. A system dynamics simulation model of chemical supply chain transportation risk management systems. *Computers & Chemical Engineering* 2016; 89:71-83.

نشت کربن دی سولفید در یکی از پالایشگاه‌ها صورت گرفت مشخص گردید که بخش بزرگی از آسیب‌ها و تلفات نه تنها قابل پیشگیری هستند بلکه قابل پیش‌بینی نیز هستند و فراهم کردن اقداماتی همچون شناسایی عوامل ریشه‌ای و پیامدهای نهایی آنها و اقدامات برای کنترلشان بسیار مهم است [۲۸-۳۰]. تحلیل علل ریشه‌ای تصادفات نظیر انتشار مواد شیمیایی قابل اشتعال و مواد منفجره در محیط یکی از مهم‌ترین گام‌ها برای افزایش سطح ایمنی در واحدهای موجود یا در مرحله طراحی فرآیندها است.

#### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج مدل‌سازی نرم‌افزار ALOHA، در صورتی که سناریوهای بیان شده رخ بدهند، بیشترین فاصله‌ای که مخزن قادر به ایجاد ابر بخار سمی، غلظت قابل اشتعال، فشار ناشی از انفجار، آتش‌فروانی و BLEVE است به ترتیب برابر با ۱۵۴، ۱۳۰۰، ۲۷۰، ۲۷۳، ۴۱۰۰ متر است. بنابراین تا محدوده ۴۱۰۰ متری محدوده‌ای است که باید با احتیاط و رعایت اصول ایمنی در آن فعالیت و رفت و آمد کرد، می‌توان از دیوار مانع آتش هم به‌عنوان سدی در برابر عوامل جرقه استفاده کرد و بدین ترتیب مدت زمان شروع حریق را با توجه به اینکه گاز متان سبک‌تر از هواست پس از نشت به لایه‌های فوقانی می‌رود، به تأخیر انداخت. یکی از علل اصلی ایجاد نشتی یا سوراخ در مخازن، خوردگی یا فرسودگی آنهاست که می‌تواند با نگهداری اصولی و بررسی دوره‌ای از سلامت این تجهیزات اطمینان حاصل کرد. همچنین

- 8- Sujan MA, Habli I, Kelly TP, Gühneemann A, Pozzi S, Johnson CW. How can health care organisations make and justify decisions about risk reduction? Lessons from a cross-industry review and a health care stakeholder consensus development process. *Reliability Engineering & System Safety* 2017; 161:1-11.
- 9- Bellamy LJ. Exploring the relationship between major hazard, fatal and non-fatal accidents through outcomes and causes. *Safety Science* 2015; 71:93-103.
- 10- Koller G, Fischer U, Hungerbühler K. Assessing safety, health, and environmental impact early during process development. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2000; 39(4):960-72.
- 11- Samia C, Hamzi R, Chebila M. Contribution of the lessons learned from oil refining accidents to the industrial risks assessment. *Management of Environmental Quality: An International Journal* 2018; 29(4):643-65.
- 12- Beheshti MH, Dehghan SF, Hajizadeh R, Jafari SM, Koohpaei A. Modelling the consequences of explosion, fire and gas leakage in domestic cylinders containing LPG. *Annals of Medical and Health Sciences Research*. 2018; 8:83-88.
- 13- Moradi B, Jazani RK, Gheisvandi H, Tehrani GM. Risks management of Tube Bundle heat exchanger in the petrochemical industries using the Risk-Based Inspection approach. *Journal of Health in the Field* 2019; 7(1):36-43 (In Persian).
- 14- Akbarifard S, Sharifi MR, Qaderi K. Data on optimization of the Karun-4 hydropower reservoir operation using evolutionary algorithms. *Data in Brief* 2020:105048. DOI: 10.1016/j.dib.2019.105048
- 15- Kulich M, Cáb S, Nos F, Bernatík A. Explosion risk assessments for facilities with compressed flammable gases. *TRANSACTIONS of the VŠB–Technical University of Ostrava, Safety Engineering Series* 2015; 10(2):13-19.
- 16- Evans M. Modeling hydrochloric acid evaporation in ALOHA. New York: U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Ocean Resources Conservation and Assessment, Hazardous Materials Response and Assessment Division, 1993.
- 17- Khakkar S, Ranjbarian M, Pouyakian M. Study of CFSES software compliance with Iranian national standards for fire safety assessment of commercial complexes. *Journal of Health in the Field* 2019; 7(1):26-35 (In Persian).
- 18- Zarei E, Jafari M, Dormohammadi A, Sarsangi V. The role of modeling and consequence evaluation in improving safety level of industrial hazardous installations: A case study: Hydrogen production unit. *Iran Occupational Health* 2014; 10(6):29-41 (In Persian).
- 19- Zoqi M, Doosti M. An approach towards designing a new sanitary landfill system for treatment of emissions from decomposition in urban gas network. *Quarterly Journal of Environmental Science and Technology* 2018; 20(3):117-26 (In Persian).
- 20- Skytt T, Nielsen SN, Jonsson B-G. Global warming potential and absolute global temperature change potential from carbon dioxide and methane fluxes as indicators of regional sustainability—A case study of Jämtland, Sweden. *Ecological Indicators* 2020; 110:105831. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.105831
- 21- Assari MJ, Kalatpour O, Zarei E, Mohammadfam I. Consequence modeling of fire on Methane storage tanks in a gas refinery. *Journal of Occupational Hygiene Engineering* 2016; 3(1):51-59 (In Persian).
- 22- Falsafi A, Mohebbi A, Baghaei A. Simulation of flammable and toxic gases released from condensate storage tank in a gas plant based on elevation change. *Gas Processing Journal* 2019; 7(2):53-66.
- 23- Julio MA, Juan LC, Ángel GL, Alcides GF, Miño G. Methodologies MESERI, fire and explosion index, ALOHA, to determine safety zones in gas service stations. *KnE Engineering* 2020:329-46.
- 24- Kamaei M, Alizadeh SSA, Keshvari A, Kheyrikhah Z, Moshashaei P. Risk assessment and consequence modeling of BLEVE explosion wave phenomenon of LPG spherical tank in a refinery. *Health and Safety at Work* 2016; 6(2):10-24 (In Persian).
- 25- Tushman, Michael, and C. O'Reilly. *Winning through Innovation: A Practical Guide to Leading Organizational Change and Renewal*. Boston, MA: Harvard Business School Press; 2002.
- 26- Avasthy A., Siddiqui N.A. Quantitative estimation of risk to community near an ammonia rail wagon loading facility. In: Siddiqui N., Tauseef S., Abbasi S., Rangwala A. *Advances in fire and process safety*. Singapore: Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering, Springer, 2018.
- 27- Ghajari A, Lotfali E, Azari M, Fateh R, Kalantary S. Fungal airborne contamination as a

- serious threat for respiratory infection in the hematology ward. *Tanaffos*. 2015;14(4):257.
- 28- Pourbabaki R, Karimi A, Yazdanirad S. Modeling the consequences and analyzing the dangers of carbon disulfide emissions using ALOHA software in an oil refinery. *Journal of Health in the Field* 2019; 6(3):1-9 (In Persian).
- 29- Jafari MJ, Gharari M, Kalantari S, Omid L, Ghaffari M, Fardi GR. The influence of safety training on improvement in safety climate in construction sites of a firm. *Safety Promotion and Injury Prevention* 2015; 2(4):257-64 (In Persian).
- 30- Abbaslou H, Karimi A. Modeling of Ammonia Emission in the Petrochemical Industry. *Jundishapur Journal of Health Sciences* 2019;11(3):e94101. DOI: 10.5812/jjhs.94101.