

## مدل سازی پیامد نشت آمونیاک از مخازن آن با استفاده از نرم افزار ALOHA و تدوین برنامه واکنش در شرایط اضطراری در یکی از صنایع فرایندی

غلام عباس شیرالی<sup>۱</sup>، زینب موسویان اصل<sup>۲</sup>، فرشته جهانی<sup>۲\*</sup>، عاطفه سیاهی آهنگر<sup>۲</sup>، صلاح الدین اعتماد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> عضو هیأت علمی گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

<sup>۳</sup> کارشناس HSE پتروشیمی پردیس، پارس جنوبی، عسلویه، ایران

\* نویسنده مسئول: فرشته جهانی، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.

ایمیل: jahani.f71@gmail.com

### چکیده

**سابقه و هدف:** مهم ترین هدف مدل سازی، کسب دانش در مورد رفتار سیستم واقعی می باشد. نشت مواد سمی در صنایع فرایندی و شیمیایی، امری محتمل بوده و همواره یکی از عوامل تهدیدکننده افراد شاغل و ساکنین اطراف این صنایع می باشد. در این راستا، مطالعه حاضر با هدف مدل سازی پیامد نشت آمونیاک از مخازن آن انجام شد.

**مواد و روش ها:** در مطالعه حاضر نحوه انتشار مایع آمونیاک از مخزن ذخیره سازی در یکی از صنایع پتروشیمی بررسی گردید و با استفاده از نرم افزار ALOHA 5.4.7 (Area Locations of Hazardous Atmospheres) مدل سازی شد. شایان ذکر است که پژوهش حاضر براساس سه سناریوی تشکیل ابر بخار سمی، پدید آمدن محیط قابل اشتعال و ایجاد محیط انفجار ابر بخار سمی مدل سازی گردید.

**یافته ها:** براساس نتایج حاصل از این مدل سازی، غلظت آمونیاک تا حدود ۵ کیلومتر اطراف مخزن برابر با ۱۱۰۰ بخش در میلیون می باشد. همچنین از این منطقه تا حدود ۱۰ کیلومتر اطراف مخزن، غلظت ابر بخار آمونیاک معادل ۱۶۰ بخش در میلیون است. باید خاطرنشان ساخت که در صورت نشت کامل آمونیاک از مخزن، غلظت آمونیاک تا فاصله ۵۰۰ متری مخزن برابر با ۹۰۰۰۰ بخش در میلیون می باشد که حدود ۶۰ درصد حداقل غلظت قابل اشتعال (LEL: Lower Explosion Limit) گاز آمونیاک است. علاوه بر این، غلظت آمونیاک تا حدود ۱/۷ کیلومتری مخزن معادل ۱۵۰۰۰ بخش در میلیون می باشد که حدود ۱۰ درصد حداقل غلظت قابل اشتعال گاز آمونیاک است. باید توجه داشت که در صورت انفجار ابر بخار تشکیل شده، فشار موج انفجار تا فاصله حدود ۷۰۰ متری مخزن معادل ۸ پوند بر اینچ مربع خواهد بود که می تواند منجر به آسیب جدی ساختمان ها گردد.

**نتیجه گیری:** مطابق با نتایج مدل سازی، سمی بودن آمونیاک مهم ترین خطری است که کارکنان را تهدید می کند؛ از این رو انجام بازرسی هایی مطابق با پیشنهاد شرکت سازنده در ارتباط با شیرهای اطمینان مخازن آمونیاک و تهیه طرح واکنش در شرایط اضطراری، نقش مؤثری در محدود نمودن اثرات زیان بار انتشار مواد سمی و خطرناک خواهد داشت.

**واژگان کلیدی:** آمونیاک؛ ارزیابی ریسک؛ پتروشیمی؛ مدل سازی

### مقدمه

خطرات زیادی را برای جامعه بشری به همراه داشته باشد. از سوی دیگر، هدر رفتن بخشی از مواد ارزشمند که جزء محصولات و یا مواد اولیه هستند، به لحاظ اقتصادی ناخوشایند است. با وجود تلاش های فراوان کارخانجات و صنایع برای مدیریت ایمن مواد شیمیایی، احتمال بروز حوادث کشنده وجود

خطوط لوله و مخازن مواد شیمیایی که در بسیاری از موارد در آن ها مواد آلاینده محیط زیست، مواد آتش زا و حتی مواد سمی وجود دارد، از اهمیت به سزایی در صنایع نفت و گاز برخوردار هستند. بدیهی است که نشتی از این خطوط به ویژه در مناطقی که به لحاظ زیست محیطی حساس هستند می تواند

دارد [۱]. یکی از مهم‌ترین پیامدهای پیشرفت صنعت و تکنولوژی، افزایش تولید و گسترش حمل و نقل می‌باشد که نیازمندی بیشتری به استفاده از مواد شیمیایی دارد و به‌نوبه خود می‌تواند به دلیل رهاش و انفجار مواد شیمیایی در واحدهای صنعتی، جامعه بشری را با خطرات زیادی تهدید نماید. یکی از روش‌های انجام اقدامات پیشگیرانه، مطالعه پیامدهای حادثه با استفاده از تکنیک‌های ارزیابی ریسک و مدل‌های پخش اتمسفری و تهیه برنامه شرایط اضطراری است که آخرین سطح حفاظتی یک واحد فرایندی می‌باشد. هدف از برنامه واکنش در شرایط اضطراری، سازماندهی قابلیت بالای آمادگی واکنش در شرایط اضطراری برای جلوگیری و کاهش میزان خسارت حادثه است [۱،۲]. در ایران با توسعه صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، احتمال وقوع حوادث افزایش یافته است. با توجه به اینکه تعداد زیادی از کارکنان در محیط‌هایی با پتانسیل خطر انفجار و نشت مواد سمی مشغول به کار هستند و نیز اینکه در نزدیکی این صنایع مناطق مسکونی و واحدهای اداری وجود دارد، می‌توان به اهمیت تهیه برنامه واکنش در شرایط اضطراری در این صنایع پی برد [۳].

به‌منظور تعیین شعاع آسیب‌رسانی در بروز حوادث مربوط به انتشار گازهای سمی و پیامدهای حاصل از حادثه، روش‌های مدل‌سازی متعددی همچون SLAB, DEGADIS, PHAST و HGSYSTEM و ALOHA وجود دارد [۴-۶]. یکی از بهترین و مشهورترین نرم‌افزارهای کامپیوتری جهت تحلیل پیامدهای حوادث مربوط به صنایع فرایندی، شیمیایی و پتروشیمی، ALOHA است. کتابخانه شیمیایی این نرم‌افزار توانایی ذخیره بیش از ۱۰۰۰ نوع ماده شیمیایی در خود را دارد. این نرم‌افزار با هدف پیش‌بینی وقوع حوادث و به‌حداقل‌رساندن پیامدهای ناشی از آن‌ها طراحی شده و توسط سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا (EPA: Environmental Protection Agency) به‌منظور مدل‌سازی حوادث ناشی از رهاش مواد سمی و منفجره و یا آتش، انفجار و پیامدهای آن‌ها عرضه شده است. باید توجه داشت که این نرم‌افزار در نسخه‌های جدید علاوه بر مدل‌سازی رهاش مواد سمی و پیامدهای آن‌ها، توانایی مدل‌سازی حرارت ناشی از آتش و یا موج انفجار را نیز دارد (نسخه‌های قدیمی فاقد این توانایی هستند) [۷]. در این ارتباط، Ramabrahmam و همکاران در سال ۲۰۰۰ مطالعه‌ای را در ارتباط با یک واحد ذخیره‌سازی کلر انجام دادند و الگویی را برای انجام برنامه واکنش در شرایط اضطراری ارائه نمودند؛ این الگو بسیار کلی بود و سطوح اضطرار سناریوهای رهاش گاز کلر در آن مشخص نشده بود [۸]. Tseng و همکاران نیز در سال ۲۰۰۸ پژوهشی را با عنوان "برنامه‌ریزی شرایط اضطراری نشت گاز کلر برای صنایع فرایندی در تایوان" انجام دادند. هدف از این مطالعه پیشگیری و یا کاهش اثرات ناشی از نشت گاز کلر به کارکنان کارخانه و شهروندانی بود که در جوار کارخانه زندگی می‌کردند.

## مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر نحوه انتشار مایع آمونیاک از مخزن ذخیره‌سازی ۳۰ هزار متر مکعبی در پتروشیمی بررسی شد و با استفاده از نرم‌افزار ALOHA مدل‌سازی گردید. همچنین، به عوامل مؤثر بر کاهش محدوده متأثر از انتشار مایع آمونیاک پرداخته شد. از آنجایی که هیچ برنامه‌ای به‌منظور واکنش در شرایط اضطراری وجود ندارد، برای تدوین چنین برنامه‌ای ابتدا باید خطرات موجود در سایت و واحد شناسایی شده و مورد مطالعه قرار گیرند [۱]. جهت انجام این پژوهش ابتدا اطلاعات مربوطه از طریق مصاحبه با نماینده واحدهای تعمیرات، بهره‌برداری، ابزار دقیق و مسئولان ایمنی تهیه گردید و سپس سناریوی انتشار مایع آمونیاک مشخص شد. در ادامه با استفاده از ماتریس شاخص ریسک، رتبه هرکدام از سناریوها تعیین گردید. لازم به ذکر است سناریوهایی که شاخص ریسک آن‌ها غیرقابل قبول و یا نامطلوب بود، جهت شبیه‌سازی به کار برده شدند.

سطوح مواجهه حاد (AEGLs: Acute Exposure Guideline Levels) براساس اثرات سمی از سطح یک با حداقل مواجهه تا سطح سه با شدیدترین مواجهه تقسیم‌بندی می‌شوند. سطوح AEGLs در مطالعه حاضر به‌صورت زیر می‌باشد:

سطح ۱: ناراحتی قابل توجه، سوزش و یا برخی از اثرات غیرحسی بدون علامت؛ با این وجود، اثرات ناتوان‌کننده نیستند

نداشت. رطوبت نسبی محیط نیز ۲۵ درصد بود.

### یافته‌ها

پارامترهای ورودی مورد نیاز در این نرم‌افزار برای مدل‌سازی نشت آمونیاک از مخازن ذخیره آن شامل: پارامترهای مربوط به منبع انتشار (محل منبع و زمان انتشار)، پارامترهای اتمسفریک (دمای محیط، رطوبت، جهت و سرعت باد، نوع زمین و سایر پارامترهای اتمسفریک) و پارامترهای مربوط به ماده شیمیایی می‌باشد. باید عنوان نمود که برای تعیین محدوده تشکیل ابر بخار سمی از AEGLs استفاده گردید. با توجه به تعریف مشخصات سناریو برای نرم‌افزار ALOHA، اطلاعات سناریو مطابق با جدول ۴-۱ که در ادامه آمده‌اند، در خروجی نرم‌افزار ظاهر می‌شود.

### مدل‌سازی تشکیل ابر بخار سمی

در این سناریو فرض بر آن است که آمونیاک از شیر خروجی مخزن خارج شده و در محدوده اطراف مخزن استخری از مایع آمونیاک تشکیل می‌گردد که در اثر تبخیر، ابر بخار سمی ایجاد می‌نماید. نتایج مدل‌سازی نشان داد که در صورت وقوع سناریوی مذکور، ۲۱۷۵۰۰ کیلوگرم از مایع درون مخزن طی مدت ۱۰ دقیقه با حداکثر دبی ۴۵۰۰۰ کیلوگرم در دقیقه خارج خواهد شد که راندمان خروجی آن در شکل ۱ نشان داده شده است. شکل ۲ محدوده غلظت ابر بخار آمونیاک ناشی از تبخیر استخر تشکیل شده در اطراف مخزن را نشان می‌دهد. براساس نتایج حاصل از این مدل‌سازی، غلظت آمونیاک تا حدود ۵ کیلوگرم اطراف مخزن (محدوده قرمز رنگ) معادل ۱۱۰۰ بخش در میلیون می‌باشد که در محدوده AEGL-3 بوده و برای

و به محض قطع مواجهه، گذرا و برگشت پذیر می‌باشند. سطح ۲: اثرات منفی بر سلامت طولانی‌مدت، جدی و برگشت ناپذیر است. سطح ۳: اثرات بهداشتی تهدیدکننده و اینکه افراد دچار مرگ می‌شوند [۱۲].

### سناریو

در این مطالعه ساعت ۱۷:۱۴ دقیقه روز ۲۳ آبان ماه سال ۱۳۹۶ در پی خوردگی و نقص شیر تخلیه‌ای با قطر ۰/۶ در ۴ متری از کف یکی از مخازن عمودی آمونیاک با ارتفاع ۲۰ متر و ظرفیت ۳۰۰۰۰ متر مکعب، آمونیاک مایع ذخیره شده به طور ناگهانی نشت پیدا می‌کند و استخر تبخیرشونده تشکیل می‌گردد. ارتفاع آمونیاک در مخزن بستگی به تولید و فروش دارد؛ اما معمولاً ۲۵ درصد از مخزن با مایع آمونیاک پر می‌گردد. شایان ذکر است که آمونیاک در دمای ۳۳- درجه سانتی‌گراد و فشار ۵۰ میلی‌بار نگه داشته می‌شود. با توجه به شرایط ذکر شده در بالا، سناریوی مورد نظر نشت مایع از شیر خروجی مخزن و تشکیل استخر تبخیرشونده می‌باشد که خود از سه بخش تشکیل شده است:

۱. مدل‌سازی تشکیل ابر بخار سمی

۲. مدل‌سازی محیط قابل اشتعال

۳. مدل‌سازی محیط انفجار ابر بخار سمی

این مخزن در محیطی روباز و در موقعیت طول ۵۲ و ۶۱ شرقی و عرض ۲۷ و ۴۹ شمالی قرار دارد. هنگام وقوع این اتفاق، دمای هوا ۳۱ درجه سانتی‌گراد و سرعت باد در ارتفاع ۳ متری، ۲ متر بر ثانیه از سمت جنوب غربی اندازه‌گیری شد. باید خاطر نشان ساخت که آسمان صاف بود و هیچ‌گونه وارونگی وجود

جدول ۱: اطلاعات مربوط به موقعیت سناریو

اطلاعات موقعیت	
موقعیت	بوشهر، عسلویه، واحد PE
مبادله هوای ساختمان در هر ساعت	دفتر با فضای بسته (۰/۵۰)
زمان	۲۳ آبان ۱۳۹۶؛ ساعت ۱۷:۱۴ دقیقه

جدول ۲: ویژگی‌های ماده شیمیایی (آمونیاک)

نام شیمیایی	آمونیاک
وزن ملکولی	۱۷/۰۳ گرم بر مول
AEG-1 (۶۰ دقیقه)	۳۰ بخش در میلیون
AEG-2 (۶۰ دقیقه)	۱۶۰ بخش در میلیون
AEG-3 (۶۰ دقیقه)	۱۱۰۰ بخش در میلیون
IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health)	۳۰۰ بخش در میلیون
حد پایین انفجار	۱۵۰۰۰ بخش در میلیون
حد بالای انفجار	۲۸۰۰۰ بخش در میلیون
شرایط دمای جوش ماده شیمیایی	بالتر از ۱ اتمسفر
غلظت اشباع	۱۰۰۰۰۰۰ بخش در میلیون یا ۱۰۰ درصد

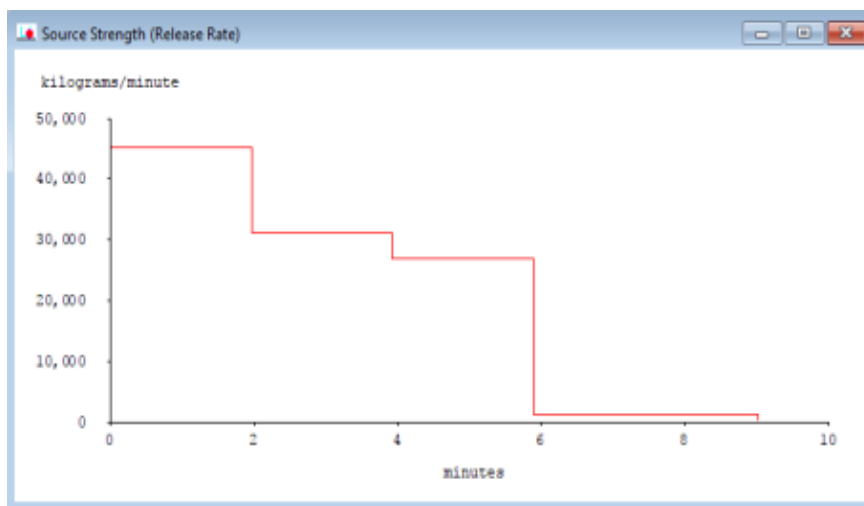
جدول ۳: ویژگی‌های اتمسفریک زمان وقوع سناریو

داده‌های جوی	ورود دستی داده‌ها
باد	۲ متر بر ثانیه از سمت جنوب غربی
میزان پوشش ابر	۰/۵
طبقه پایداری	E
رطوبت نسبی	۲۵ درصد
دمای هوا	۳۱ درجه سانتی‌گراد
نوع زمین	شهری یا دارای پوشش گیاهی
	بدون وارونگی دما

جدول ۴: ویژگی‌های مربوط به منبع انتشار

رهاسازی ماده از سوراخ در مخزن استوانه‌ای	
قابلیت اشتعال ماده رهاسازی‌شده از مخزن (قابل اشتعال نیست)	
قطر مخزن	۱۳/۸ متر
حجم مخزن	۳۰۰۰ متر مکعب
طول تانک	۲۰ متر
مخزن حاوی مایع است	
قطر سوراخ دایره‌ای	۰/۶ متر
جرم ماده شیمیایی داخل تانک	۵۶۵ تن
دمای درونی	-۳۳ درجه سانتی‌گراد
۲۵ درصد از مخزن پر می‌باشد	
سوراخ از پایین تانک ۴ متر فاصله دارد	
زمان آزادسازی	۹ دقیقه
حداکثر میانگین انتشار پایدار	۴۵۰۰۰ کیلوگرم در دقیقه
کل حجم منتشرشده	۲۰۵۰۲۴ کیلوگرم

نکته: رهاسازی ماده مخلوطی از گاز و هوا است (دو جریان متفاوت).



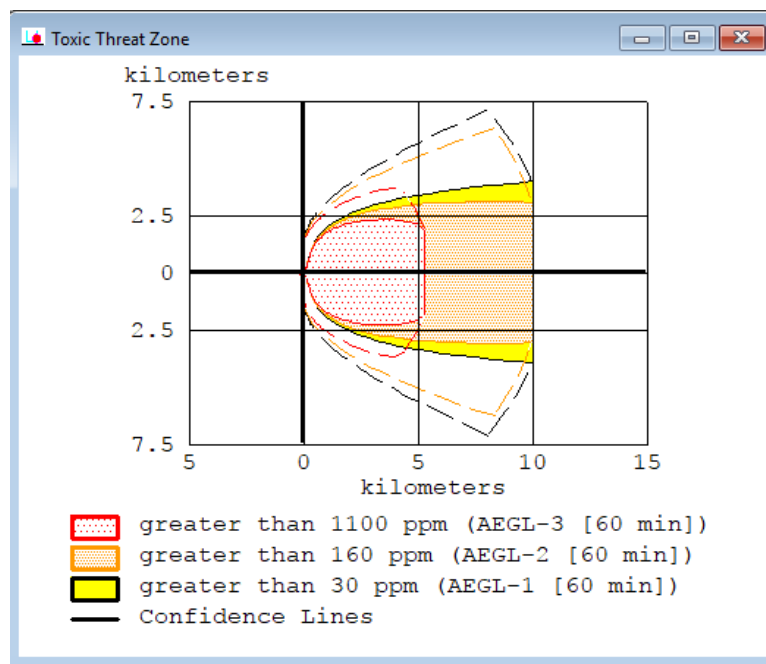
شکل ۱: مدل‌سازی راندمان خروج مایع آمونیاک از مخزن ذخیره

زرد رنگ معادل ۳۰ بخش در میلیون برآورد شده است.

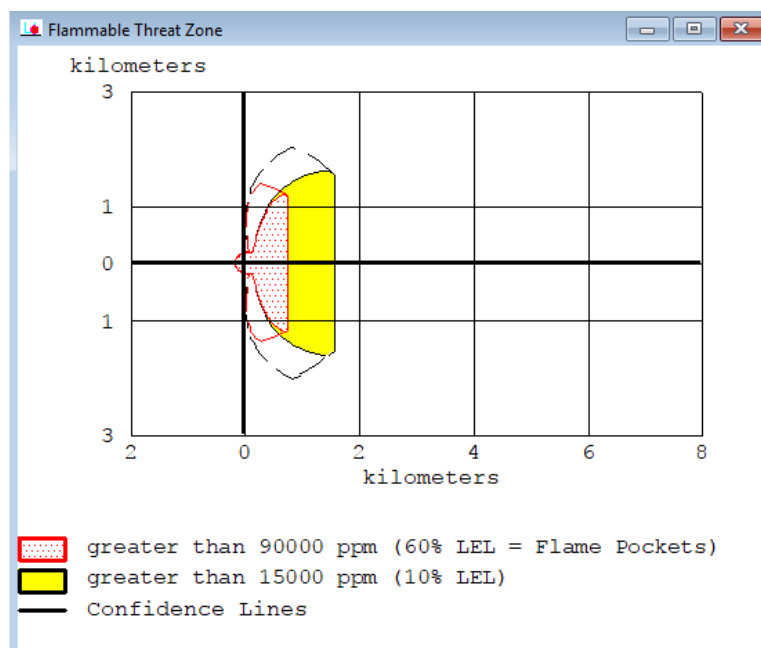
#### مدل‌سازی محیط قابل اشتعال

نتایج مدل‌سازی گرافیکی تشکیل بخار آمونیاک در محدوده مخزن براساس غلظت قابل اشتعال در شکل ۳ نشان داده شده است.

افراد حاضر در آن منطقه خطر مرگ را به همراه دارد. از سوی دیگر از این منطقه تا حدود ۱۰ کیلومتر اطراف مخزن (محدوده نارنجی)، غلظت ابر بخار آمونیاک برابر با ۱۶۰ بخش در میلیون است که در محدوده AGEL-2 قرار دارد و افراد مستعد در این محدوده می‌توانند اثرات نامطلوب، شدید و یا برگشت‌ناپذیر را تجربه نمایند. شایان ذکر می‌باشد که غلظت آمونیاک در محدوده



شکل ۲: مدل‌سازی تشکیل ابر بخار سمی در فواصل مختلف مخزن



شکل ۳: مدل‌سازی گرافیکی تشکیل بخار آمونیاک اطراف مخزن

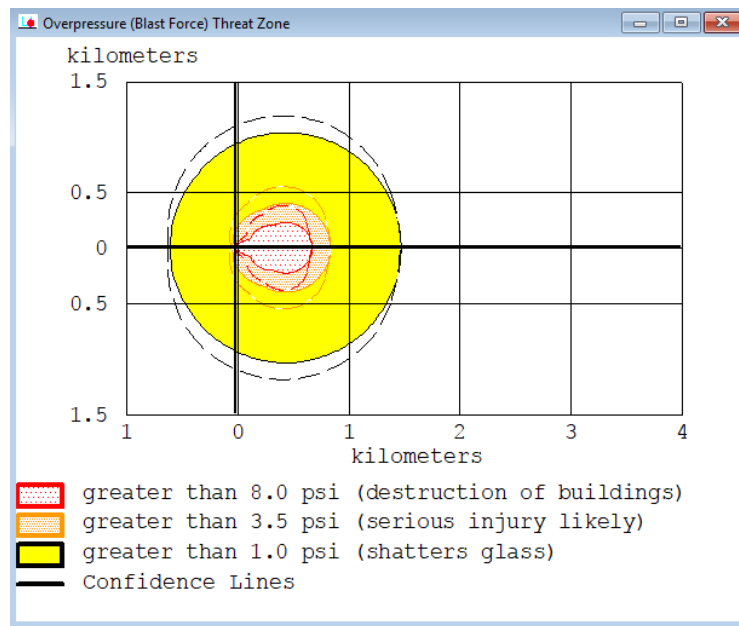
آمونیاک که تحت سناریوی تعریف‌شده تشکیل شده است، به صورت شکل ۴ می‌باشد.

براساس شکل ۴ در صورت انفجار ابر بخار تشکیل‌شده تحت سناریوی تعریف‌شده، فشار موج انفجار تا فاصله حدود ۷۰۰ متری از مخزن (محدوده قرمز رنگ) ۸ پوند بر اینچ مربع خواهد بود که می‌تواند موجب آسیب جدی ساختمان‌ها گردد. از سوی دیگر، در محدوده نارنجی فشار ناشی از انفجار معادل ۳/۵ پوند بر اینچ مربع است که می‌تواند منجر به صدمات جدی گردد. در محدوده زرد رنگ نیز فشار ۱ پوند بر اینچ مربع بوده و قدرت شکستن شیشه‌ها را دارد.

شکل ۳ حاکی از آن است که در صورت نشت کامل آمونیاک از مخزن، تا فاصله ۵۰۰ متری آن (منطقه قرمز) غلظت آمونیاک ۹۰۰۰۰ بخش در میلیون می‌باشد که حدود ۶۰ درصد حداقل غلظت قابل اشتعال گاز آمونیاک است. همچنین تا حدود ۱/۷ کیلومتری مخزن (محدوده زرد)، غلظت آمونیاک ۱۵۰۰۰ بخش در میلیون می‌باشد که حدود ۱۰ درصد حداقل غلظت قابل اشتعال گاز آمونیاک است.

#### مدل‌سازی محیط انفجار ابر بخار سمی

نتایج مدل‌سازی گرافیکی موج فشار ناشی از انفجار بخار



شکل ۴: مدل‌سازی گرافیکی موج فشار ناشی از انفجار بخار آمونیاک

هیدروژن پرداخته شد، گزارش گردید که ریسک فردی ناشی از موج انفجاری دارای بیشترین ریسک برای افراد در اتاق کنترل می‌باشد و ریسک آن در سطح غیرقابل‌قبولی است [۱۶] که این امر همچون مطالعه فعلی، موقعیت کارکنان اتاق کنترل را تهدید می‌کند. علاوه‌براین تا فاصله ۱۰ کیلومتری، غلظت ابر بخار آمونیاک معادل ۱۶۰ بخش در میلیون می‌باشد که در محدوده AGEL-2 قرار دارد و منجر به ظاهرشدن اثرات نامطلوب، شدید و یا برگشت‌ناپذیر در افراد مستعد حاضر در ساختمان‌های اداری در این فاصله می‌شود. خوشبختانه در اثر اتفاق افتادن این سناریو، اثر سمی در افراد شهرنشین که در فاصله ۱۵ کیلومتری از مخزن ساکن هستند، ظاهر نخواهد شد. براساس نتایج حاصل از مدل‌سازی، در صورت نشت کامل آمونیاک از مخزن، غلظت آن تا فاصله ۵۰۰ متری به حدود ۶۰ درصد حداقل غلظت قابل اشتعال گاز آمونیاک می‌رسد که در صورت وجود منبع حرارتی در این فاصله، امکان آتش‌سوزی وجود خواهد داشت. در این مدل‌سازی نشان داده شد که در صورت انفجار ابر بخار تشکیل‌شده تحت این سناریو، فشار موج انفجار تا فاصله ۷۰۰ متری از مخزن صدمات جدی را برای افراد حاضر در پی دارد و منجر به شکسته‌شدن شیشه‌های تمامی ساختمان‌های اداری تا مخزن خواهد شد؛ زیرا تمامی ساختمان‌ها در فاصله کمتر از ۱۵۰۰ متر قرار دارند. در این راستا، بهشتی و همکاران با استفاده از نرم‌افزار ALOHA به مدل‌سازی پیامد نشت هگزان پرداختند و ضمن تأکید بر پاسخ‌دهی مناسب این مدل عنوان نمودند که تهیه طرح واکنش در شرایط اضطراری، نقش مؤثری در محدودنمودن اثرات زیان‌بار انتشار مواد سمی و خطرناک خواهد داشت [۱۷].

### نتیجه‌گیری

بر مبنای آنچه بیان گردید، اقدامات واکنشی در زمان انفجار

با توجه به اینکه در نواحی پرخطر ساختمان، تأسیسات و غیره وجود دارد، در صورت شرایط اضطراری، نقاط امن از نقطه M1 تا M7 در نقاط مختلف پتروشیمی می‌باشند؛ نقطه M1= پالایش فاز ۱، نقطه M2= کنار در پتروشیمی پارس، M3= پشت واحد بگینگ یا بارگیری، M4= در اصلی ورودی پتروشیمی پردیس، M5= در واحد آبگیر، M6= در ورودی فاز ۳ و M7= پشت انبار فاز ۳.

### بحث

مطالعه حاضر با هدف مدل‌سازی پیامد نشت آمونیاک یکی از صنایع پتروشیمی انجام شد. اولین و مهم‌ترین یافته مطالعه حاضر این بود که مدل‌سازی در آمادگی پیش از وقوع حوادث نقش مهمی دارد. در سایر مطالعاتی که با هدف مدل‌سازی پیش از وقوع حوادث انجام شده‌اند نیز به این مهم اشاره شده است [۱۵-۱۳]. مدل‌سازی‌های انجام‌شده حاکی از آن هستند که جدی‌ترین خطری که کارکنان را تهدید می‌کند، عواقب ناشی از سمی‌بودن آمونیاک است. همان‌طور که بیان شد، غلظت گاز آمونیاک تا حدود ۵ کیلومتر اطراف مخزن معادل ۱۱۰۰ بخش در میلیون می‌باشد که در محدوده AGEL-3 قرار دارد. در این محدوده خطر مرگ و تهدید زندگی برای افرادی که در این منطقه هستند، وجود دارد؛ بنابراین با توجه به قراردادن ساختمان مدیریت در فاصله ۱۲۰ متری، اتاق بهره‌برداری در فاصله ۲۰۰ متری، چهار عدد اتاق کنترل در فواصل ۲۰۰، ۲۶۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری و سایر صنایع فرایندی در فواصل ۱۰۰، ۸۰۰ و ۱۵۰۰ متری از مخزن مربوطه، غلظتی از آمونیاک که کشنده است به ساختمان‌ها و سایر صنایع هم‌جوار رسیده و مرگ افراد شاغل در آن‌ها را در پی خواهد داشت. در این زمینه، در مطالعه جعفری و همکاران که در آن به مدل‌سازی در فرایند تولید

خواهد داشت.

- بازرسی‌های منظم مطابق با پیشنهاد شرکت سازنده از شیرهای اطمینان مخازن آمونیاک جهت اقدام به‌موقع این شیرها در زمان افزایش فشار عملیاتی صورت پذیرد.

### تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مدیریت شرکت پتروشیمی مورد نظر اعلام می‌دارند.

مخزن آمونیاک به دلیل خوردگی و نقص شیر تخلیه به شرح زیر می‌باشد:

- بازرسی و بازدیدهای مستمر از سیستم‌های اعلام/ هشدار، سیستم‌های اسپری آب و همچنین تجهیزات حفاظت فردی صورت پذیرد.
- پیش‌بینی خطوط تلفن اضطراری و تجهیزات ارتباطی جهت هماهنگی بیشتر با مجتمع‌های مجاور به عمل آید.
- تهیه طرح واکنش در شرایط اضطراری نقش مؤثری در محدود نمودن اثرات زیان‌بار انتشار مواد سمی و خطرناک

### REFERENCES

1. American Institute of Chemical Engineers. Center for Chemical Process Safety. Guidelines for use of vapor cloud dispersion models. New York: Wiley-AIChE; 1996.
2. Khan FI, Abbasi SA. Modelling and control of the dispersion of hazardous heavy gases. *J Loss Prev Proc Indust.* 1999;12(3):235-44. DOI: 10.1016/S0950-4230(98)00009-6
3. Mortazavi SB, Parsarad M, Mahabadi HA, Khavanin A. Evaluation of chlorine dispersion from storage unit in a petrochemical complex to providing an emergency response program. *Iran Occupat Health.* 2011;8(3):68-77.
4. Mellor GL. The Gaussian cloud model relations. *J Atmos Sci.* 1977;34(2):356-8. DOI: 10.1175/1520-0469(1977)034<0356:TGCMR>2.0.CO;2
5. Van Ulden A, Holtslag AA. Estimation of atmospheric boundary layer parameters for diffusion applications. *J Climate Appl Meteorol.* 1985;24(11):1196-207. DOI: 10.1175/1520-0450(1985)024<1196:EOABLP>2.0.CO;2
6. Hanna S, Britter R, Leung J, Hansen O, Sykes I, Drivas P. Source emissions and transport and dispersion models for toxic industrial chemicals (tics) released in cities. *Symp Urban Environ.* 2009;114:1.
7. EPA N. Area Locations of Hazardous Atmospheres (ALOHA). Washington, DC: User's Manual, US Environmental Protection Agency (USEPA) and the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA); 1999.
8. Ramabrahmam BV, Swaminathan G. Disaster management plan for chemical process industries. Case study: investigation of release of chlorine to atmosphere. *J Loss Prev Proc Indust.* 2000;13(1):57-62. Doi: 10.1016/S0950-4230(98)00057-6
9. Tseng JM, Liu MY, Chang RH, Su JL, Shu CM. Emergency response plan of chlorine gas for process plants in Taiwan. *J Loss Prev Proc Indust.* 2008;21(4):393-9. DOI: 10.1016/j.jlp.2008.01.006
10. O'Mahony MT, Doolan D, O'Sullivan A, Hession M. Emergency planning and the Control of Major Accident Hazards (COMAH/Seveso II) directive: an approach to determine the public safety zone for toxic cloud releases. *J Hazard Mater.* 2008;154(1-3):355-65. PMID: 18078713 DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.10.065
11. Kamaei M, Alizadeh SS, Keshvari A, Kheyrikhah Z, Moshashaei P. Risk assessment and consequence modeling of BLEVE explosion wave phenomenon of LPG spherical tank in a refinery. *Health Saf Work.* 2016;6(2):10-24. [Persian]
12. National Research Council, Committee on Acute Exposure Guideline Levels. Acute exposure guideline levels for selected airborne chemicals. Washington, DC: National Academies Press; 2009.
13. Law WP, Erain N, Ramli NI, Gimbin J. Assessment of chlorine leak dispersion around Gebeng industrial area and potential evacuation route. *Atmos Res.* 2018;216(1):117-29. DOI: 10.1016/j.atmosres.2018.10.003
14. Golbabaee F, Nooroddin A, Mohammadfam I. Dispersion modeling of propane leakage from an industry. *J Manag Syst.* 2012;10(34):1-13. [Persian]
15. Rashid ZA, Yeong AM, Alias AB, Ahmad MA, Ali SA. Study of vapour cloud explosion impact from pressure changes in the liquefied petroleum gas sphere tank storage leakage. *Mater Sci Eng.* 2018;358(1):12073.
16. Jafari MJ, Zarei E, Dormohammadi A. Presentation of a method for consequence modeling and quantitative risk assessment of fire and explosion in process industry (Case study: Hydrogen Production Process). *Health Saf Work.* 2013;3(1):55-68. [Persian]
17. Beheshti MH, Hajizadeh RO, Mehri A, Borhani Jebeli M. Modeling the result of hexane leakage from storage tanks and planning a emergency response programm in a petrochemical complex. *Iran Occupat Health.* 2016;13(1):69-79. [Persian]