مدل‌سازی پیامد نشت هگزان از مخازن ذخیره هگزان و تدوین برنامه واکنش در شرایط اضطراری در یک مجتمع پتروشیمی

محمد حسین بهشتی[۱]، روح اله حاجی زاده[۲]، احمد مهری[۳]، مریم برهانی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۲۶ تاریخ ویرایش: ۹۴/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۷/۲۰

چکیده

زمینه و هدف: نشت مواد سمی در صنایع فرایندی و شیمیایی همواره یکی از عوامل تهدیدکننده افراد شاغل و ساکنین اطراف این صنایع است. هدف از انجام این مطالعه مدل‌سازی نشت هگزان تدوین برنامه واکنش در شرایط اضطراری است.

روش بررسی: در این مطالعه ضمن تشریح عوامل مؤثر بر تخلیه و انتشار مواد، نرم‌افزار LOHA به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین نرم‌افزارها جهت مدل‌سازی انتشار هگزان از مخزن ذخیره ۵۷۹ هزار گالنی یک واحد پتروشیمی مورد استفاده قرار گرفته و بر اساس نتایج مدل‌سازی، برنامه واکنش در شرایط اضطراری در زمان نشت هگزان تهیه و ارائه گردید. این نرم‌افزار علاوه بر مدل‌سازی پخش مواد قادر به مدل‌سازی پیامدهای آتش و انفجار می‌باشد و به‌عنوان یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری شرکت‌ها و دولت‌ها در امر مخاطرات صنعتی و ایمنی عمومی شناخته شده است.

یافته‌ها: بر اساس نتایج این مطالعه قطر استخر تشکیل شده ۲۰۰ متر و تا حدود ۱۴۰ متر اطراف مخزن غلظت گاز هگزان ppm ۸۶۰۰ می‌باشد که خطر مرگ و تهدید زندگی افرادی که در این منطقه قرار دارند وجود دارد. غلظت هگزان تا فاصله ۱۶۰ متری از مخزن، ppm ۷۲۰۰ می‌باشد که حدود ۶۰٪ حداقل غلظت قابل اشتعال (LEL) گاز هگزان است در صورت انفجار ابر بخار تشکیل شده تحت سناریوی ۱ فشار موج انفجار تا فاصله ۱۳۳ متر از مخزن منجر به تخریب ساختمان‌های محل گردد از این محدوده تا فاصله ۱۹۶ متری مخزن باعث صدمات جدی می‌شود. در صورت وقوع سناریوی ۲ (انتشار هگزان از مخزن همراه با شعله) میزان تشعشع حرارتی تا فاصله ۳۵۳ متری از مخزن حدود KW/sqm ۱۰ است و تا فاصله ۴۹۱ متری مخزن میزان تشعشع حرارتی برابر KW/sqm ۵ است.

نتیجه‌گیری: عواقب ناشی از سمیت هگزان جدی‌ترین خطری است که پرسنل را تهدید می‌کند. تهیه طرح واکنش در شرایط اضطراری نقش مؤثری در محدود نمودن اثرات زیان‌بار انتشار مواد سمی و خطرناک خواهد داشت.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی، ارزیابی ریسک، هگزان، نشت هگزان.

مقدمه

رشد روزافزون تقاضاها و توسعه تکنولوژی‌های جدید، احداث نیروگاه‌ها، صنایع و مجتمع‌های پتروشیمی جدید را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. یکی از مراحل اساسی در احداث پالایشگاه ها و مجتمع های پتروشیمی تعیین مکان مناسب برای احداث آن هاست که نیازمند توجه به معیارها و عوامل مختلفی است. ضوابط و عوامل تأثیر گذرا در انتخاب مکان مناسب برای احداث انواع نیروگاه ها و صنایع بزرگ در مطالعات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. ایمنی از مهم‌ترین مقوله‌های مورد بحث در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی می‌باشد. نشت مواد سمی و خطرناک در صنایع فرآیندی و شیمیایی همواره یکی از عوامل تهدیدکننده افراد شاغل و ساکنین اطراف این صنایع و همچنین آسیب به محیط زیست بوده است [۱ و ۲] و علیرغم تلاش‌های فراوان کارخانجات و صنایع در جهت مدیریت ایمن مواد شیمیایی، احتمال بروز حوادث ویرانگر و کشنده همواره وجود دارد [۱۴]. پالایشگاه‌های نفت با توجه به ماهیت فعالیت‌هایی که در واحدهای مختلف نظیر واحد تقطیر، کاهش گرانروی، تصفیه گاز مایع، تبدیل کاتالیستی، آیزوماکس و هیدروژن سازی انجام می شود، طیف وسیعی از مواد شیمیایی را به‌عنوان پسماند تولید می‌کند که دارای اثرات زیست محیطی و بهداشتی خطرناکی است. علاوه

۱- مربی گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات سلامت کار، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران.roohalahhajizade@gmail.com

۳- کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ایلام، ایران.

۴- کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

بر تولید پسماندهای خطرناک نشت مواد سمی و خطرناک در صنایع فرآیندی و شیمیایی همواره یکی از عوامل تهدیدکننده افراد شاغل و ساکنین اطراف این صنایع و همچنین آسیب به محیط زیست بوده است [۱۶]. پیامدهای ناشی از رهایش یک ماده را می‌توان به ۳ دسته ایجاد آتش‌سوزی، ایجاد انفجار و آثار مربوط به سمیت مواد در محیط تقسیم کرد [۳] یکی از روش‌های مؤثر در انجام اقدامات پیشگیرانه، مطالعه پیامد حوادث با استفاده از روش‌های ارزیابی ریسک و مدل‌های پخش اتمسفری [۴] و تهیه برنامه واکنش در شرایط اضطراری است.

در واقع آخرین سطح حفاظتی یک واحد فرآیندی برنامه شرایط اضطراری است. هدف از برنامه شرایط اضطراری ایجاد سازمان‌دهی قابلیت بالای آمادگی در شرایط اضطراری جهت پیشگیری و کاهش میزان خسارت احتمالی است [۱۵]. تعیین شعاع آسیب‌رسانی در حین بروز یک حادثه مربوط به انتشار گازهای سمی از اهمیت به سزایی برخوردار است. این کار جهت مشخص شدن حریم ایمن و خطر است تا بتوان در صورت وقوع چنین رویدادی افراد را از محدوده خطر دور کرده و میزان تلفات را کاهش داد. امروزه برای مدل‌سازی پخش مواد، مدل‌های متفاوتی ارائه شده است، پرکاربردترین این مدل‌ها، مدل‌های گاوسی هستند که پایه تمامی آن‌ها مدل توده‌ای گاوس است [۵، ۶]. استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری یکی از عواملی است که می‌تواند زمان صرف شده برای مدل‌سازی حوادث را به حداقل برساند. امروزه مدل‌های نرم‌افزاری متعددی چون ALOHA و SLAB و DEGADIS-PHAST به‌منظور مدل‌سازی پخش مواد سمی و خطرناک تهیه شده است که هر یک متناسب با کاربرد آن دارای ویژگی‌های خاصی می‌باشند [۷] با انجام مدل‌سازی پخش مواد با استفاده از نرم‌افزارهای معتبر، علاوه بر مشخص نمودن محدوده متأثر از نشت مواد سمی و خطرناک می‌توان برنامه واکنش در شرایط اضطراری را با استفاده از نتایج مدل‌سازی طرح‌ریزی نمود. علاوه بر مدل‌سازی تخلیه مواد، نحوه پخش ماده در محیط و اتمسفر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است به‌طورکلی هدف اصلی مدل سازی پخش مواد، تخمین غلظت ماده منتشر شده در محیط در یک فاصله معین و زمان خاص است. نتایج حاصل از خروجی نرم افزار می تواند معیاری جهت تدوین حداکثر مناطق متأثر از غلظت‌های خطرناک ناشی از نشت مواد در نظر گرفته شود بدین طریق امکان تدوین طرح واکنش در شرایط اضطراری میسر خواهد شد. یکی از نرم‌افزارهای ارائه شده برای مدل‌سازی پیامدهای ناشی از رها شدن مواد در محیط، نرم‌افزار ALOHA است [۱۱ و ۱۲] که از قوی‌ترین و مشهورترین نرم‌افزارها در این زمینه است. ALOHA[1] به معنی محل‌های هوایی پرخطر در جو است ALOHA برنامه کامپیوتری ویژه‌ای است که با مدل‌سازی و پیش‌بینی روند نشت به عکس‌العمل بهتر در برابر حوادث ناشی از رهایش اتفاقی یک ماده شیمیایی کمک می‌کند این نرم‌افزار قادر است تمامی پیامدهای رها شدن مواد در محیط اعم از آتش، انفجار و آثار سمیت مواد را پیش‌بینی کند. این نرم‌افزار توسط EPA[2] برای مدل‌سازی حوادث ناشی از رهایی مواد سمی، منفجره و یا آتش و انفجار در پیامد آن‌ها عرضه شده است. این نرم‌افزار دارای بانک اطلاعاتی بسیار غنی (اطلاعات بیش از ۱۰۰۰ ماده شیمیایی) و محیطی ساده برای جلوگیری از اشتباهات کاربر است [۱۳].

با توجه به اهمیت موضوع متأسفانه مطالعات انجام شده در این زمینه بسیار محدود است. ماهونی و همکاران در سال ۲۰۰۸ الگویی را جهت مشخص نمودن مناطق انجام واکنش در شرایط اضطراری تحت عنوان مناطق داغ[3]، گرم[4] و سرد[5] با استفاده از نرم‌افزار ALOHA در اطراف محدوده انتشار گازهای سمی

1. Areal Location of hazardous Atmosphere
2. Environmental Protection Agency
3. Hot zone
4. Warm zone
5. Cold zone

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

ارائه نمودند که بر پایه راهنماهای سطوح مواجهه حاد (AEGLS)[6] بود اما در مطالعه خود به وظایف گروه‌های مختلف در هنگام انتشار گاز سمی اشاره‌ای نکرده بودند [۱۷]. تسنگ و همکاران (۲۰۰۸) طی مطالعه‌ای مراحل مختلف برنامه واکنش در شرایط اضطراری در مواجهه با گاز کلر در کارخانجات فرآیندی در کشور تایوان را بررسی کردند، اما از هیچ روش ارزیابی ریسک فرآیندی استفاده نکرد ه و سناریوهای رهایش را مشخص نکرده بود. همچنین شعاع آسیب‌رسانی کلر در هنگام رهایش در محیط تعیین نشده بو د [۱۸]. در کشور ما با وجود اهمیت خطرات مواجهه با مواد شیمیایی، به‌طورکلی برنامه‌ای مدون جهت واکنش در شرایط اضطراری با توجه به ماهیت مواد مختلف و خطرات مربوطه، سطح ریسک و دامنه انتشار آن‌ها به‌صورتی که در حداقل زمان ممکن بیشترین اثربخشی را داشته باشد، وجود ندارد. یکی از مواد با قابلیت بالای آسیب‌زایی که امروزه به‌صورت گسترده‌ای در صنعت پتروشیمی استفاده می‌شود هگزان می‌باشد. تعداد زیادی از حوادث بزرگ صنعتی در قرن گذشته مربوطه به انتشار این گاز سمی در محیط بوده است [۱۹]. افراد در معرض خطر تماس می توانند شامل کارکنان نزدیک محل نشتی و نیز افراد عمومی جامعه باشند که در محل های مجاور ناحیه صنعتی سکونت دارند. وجود واحد مخازن حاوی گاز هگزان تحت‌فشار در پتروشیمی و عدم مطالعه خطرات فرآیندی این واحد سبب شده است تا خطرات مربوط به انتشار گاز هگزان و نیز طراحی برنامه واکنش در شرایط اضطراری در این واحد نادیده گرفته شود.

هدف این مطالعه بررسی هدف این مطالعه بررسی سناریوهای ممکن رهایش گاز هگزان در واحد ذخیره‌سازی یک مجتمع پتروشیمی در غرب کشور و ارائه الگوی بهینه برنامه واکنش در شرایط اضطراری برای هر دسته از این رهایش ها با توجه به سطوح اضطرار تعریف شده توسط موسسه CCPS می‌باشد. در این مطالعه ضمن تشریح عوامل مؤثر بر تخلیه و انتشار مواد، نرم‌افزار ALOHA به‌عنوان یکی از مناسب‌ترین نرم‌افزارها جهت مدل‌سازی انتشار هگزان از مخزن ذخیره 20 هزار تنی یک واحد پتروشیمی مورد استفاده قرار گرفته و بر اساس نتایج مدل‌سازی و برنامه واکنش در شرایط اضطراری در زمان انهدام ناگهانی مخزن هگزان تهیه و ارائه گردیده است.

روش بررسی

در مطالعه حاضر به بررسی و مدل‌سازی نحوه انتشار هگزان از مخزن ذخیره ۵۷۹ هزار گالنی در یک مجتمع پتروشیمی پرداخته شده و در ادامه به عوامل مؤثر بر کاهش محدوده متأثر از انتشار این ماده و همچنین تهیه طرح واکنش در شرایط اضطراری در آن مجتمع و منطقه متأثر از انتشار هگزان اشاره می‌گردد.

جهت توسعه یک برنامه واکنش در شرایط اضطراری باید خطرات موجود در سایت واحد مورد مطالعه و نیز بررسی بدترین سناریوهای ممکن مورد مطالعه قرار گیرند [۲۰]. جهت تعیین سناریوها از نتایج ارزیابی ریسک فرایندی با روش HAZOP استفاده شد. خطرات فرایندی با روش HAZOP مشخص شده بود. به کمک این نتایج، سناریوهای انتشار گاز هگزان مشخص و با استفاده از ماتریس شاخص ریسک RRI[7] برای هرکدام از سناریوها تعیین شد. سناریوهایی که شاخص ریسک آن‌ها غیرقابل‌قبول یا نامطلوب بود جهت شبیه‌سازی انتشار به کار برده شدند. در این مطالعه، هگزان به‌صورت مایع در یک مخزن با طول ۲۰ و قطر ۱۲ متر در شرایط دمای ۲۰ درجه سانتی گراد نگهداری می‌شود شیر خروجی با قطر ۲۴ اینچ و در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از کف مخزن قرار دارد. با فرض نشت ناگهانی مخزن مقداری از هگزان سریعاً تغییر فاز داده و به‌صورت گاز پخش می‌شود ولی مقدار قابل‌توجهی نیز روی سطح و در دیواره بتنی اطراف تانک جمع می‌شود که متناسب با آهنگ تبخیر شروع

[6]. Acute Exposure Guideline levels

[7]. Risk Ranking Index

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

به تغییر فاز از مایع به بخار می‌نماید. لازم به ذکر است که از محدودیت‌های مدل‌سازی نشت گازها با کمک نرم‌افزارها این است که باید شرایط محل نشت به نرم‌افزار وارد شود. به همین دلیل مدل‌سازی نشت در مواردی غیر از شیر تخلیه کاری بسیار سخت و دارای خطای زیادی می‌باشد.

پارامترهای ورودی مورد نیاز در نرم‌افزار ALOHA جهت مدل‌سازی نشت هگزان از مخازن ذخیره آن شامل پارامترهای مربوط به منبع انتشار[8] (محل منبع و زمان انتشار)، پارامترهای اتمسفریک[9] (دمای محیط، رطوبت، جهت و سرعت باد، نوع زمین و سایر پارامترهای اتمسفریک) و پارامترهای مربوط به ماده شیمیایی[10] می‌باشد. در این بخش از گزینه CHEMICAL ماده شیمیایی مورد نظر را انتخاب می‌کنیم خواص بیش از ۱۰۰۰ ماده خالص شیمیایی در بانک اطلاعاتی این نرم‌افزار جای دارد اگر ماده مورد نظر در فهرست مواد نرم‌افزار موجود نیست با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ماده مورد نظر ماده را برای نرم‌افزار تعریف می‌کنیم.

در نرم‌افزار ALOHA جهت تعیین محدوده تشکیل ابر بخار سمی از Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs) استفاده می‌گردد. تعیین محدوده‌ها به‌صورت زیر است:

AEGL-1: در این غلظت پیش‌بینی می‌شود که جمعیت عمومی شامل افراد مستعد، تحریک، آزردگی و برخی از اثرات غیر حسی و بدون علامت را تجربه کنند و به‌هرحال اثرات ناتوان‌کننده نیست و زودگذر و برگشت‌پذیر است.

AEGL-2: در این حالت افراد جامعه شامل افراد مستعد، می‌توانند اثرات نامطلوب و شدید و یا برگشت‌ناپذیر را تجربه کنند. در این حالت ممکن است افراد توان فرار را به‌نوعی از دست بدهند.

AEGL-3: در این حالت افراد ممکن است دچار مرگ شده و یا مواجهه در این سطح تهدیدکننده حیات افراد باشد. در AEGL ها تراکم هوابرد است و بر حسب قسمت در میلیون یا میلی‌گرم بر مترمکعب بیان می‌شود. علاوه بر این جهت تهیه برنامه واکنش در شرایط اضطراری از ERPG (Emergency Response Program Guideline) استفاده می‌شود. مقادیر راهنمای طرح‌ریزی پاسخ در شرایط اضطراری (ERPG) مقادیری هستند که در راستای تخمین گستره‌های غلظت مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ERPG-1: حداکثر مقدار غلظت ماده در هوا است که انتظار می‌رود در مقادیر در حدود و نزدیک به آن، همه افرادی که به مدت بیش از یک ساعت با آن غلظت در معرض و مواجهه هستند، فقط اثرات خفیف و زودگذر را تجربه کنند و یا بوی ماده را احساس کنند.

ERPG-2: حداکثر مقدار غلظت ماده هوابرد است که انتظار می‌رود در مقادیر در حدود و یا نزدیک آن، همه افرادی که بیش از یک ساعت در معرض و مواجهه هستند، اثرات توسعه‌ای غیر برگشت‌پذیر و یا اثرات نامطلوب وخیم را بر سلامتی تجربه نکنند به‌طوری‌که اقدامات حفاظتی و پیشگیرانه فرد در معرض و مواجهه مختل نشود.

ERPG-3: حداکثر مقدار غلظت ماده هوابرد است که انتظار می‌رود در مقادیر در حدود و یا نزدیک آن، همه افرادی که بیش از یک ساعت در معرض و مواجهه هستند، اثراتی را که منجر به تهدید حیات و زندگی آن‌ها می‌شود را تجربه نکنند.

ضمناً بر اساس گزارش سازمان هواشناسی منطقه این مطالعه با این فرض انجام شد که سرعت جریان باد از جنوب و در ارتفاع ۱۰ متر از زمین برابر ۸ متر بر ثانیه می‌وزد و محیط زمین اطراف مخزن خاکی بوده و شرایط برای تشکیل استخر با بیشترین قطر ممکن وجود دارد. این مطالعه تحت شرایط ۳ سناریوی مختلف انجام شد که به‌صورت زیر بیان شده است.

- **سناریوی ۱:** مایع از شیر خروجی نشت کرده تشکیل یک استخر تبخیر شونده می‌دهند.

✓ **بخش ۱-۱:** مدل‌سازی تشکیل ابر بخار سمی

[8]. Site Data
[9]. Atmospheric Data
[10]. Chemical Data

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

✓ **بخش ۱- ۲:** مدل‌سازی محیط قابل اشتعال ابر بخار سمی

✓ **بخش ۱- ۳:** مدل‌سازی محیط انفجار ابر بخار سمی

• **سناریوی ۲:** مایع از خروجی نشت کرده و تشکیل یک استخر در حال اشتعال را می‌دهد.

به‌طورکلی اهداف مدل‌سازی نشت هگزان از مخازن سوخت تحت سناریوهای مختلف با استفاده از نرم‌افزار ALOHA به‌صورت زیر بیان می‌شود.

۱. مشخص نمودن محدوده متأثر از نشت مواد سمی و خطرناک

۲. تخمین غلظت ماده منتشر شده در محیط در یک فاصله معین و زمان خاص

۳. مشخص نمودن محدوده متأثر از انفجار مواد سمی و خطرناک

۴. مشخص نمودن محدوده متأثر از اشتعال مواد سمی و خطرناک

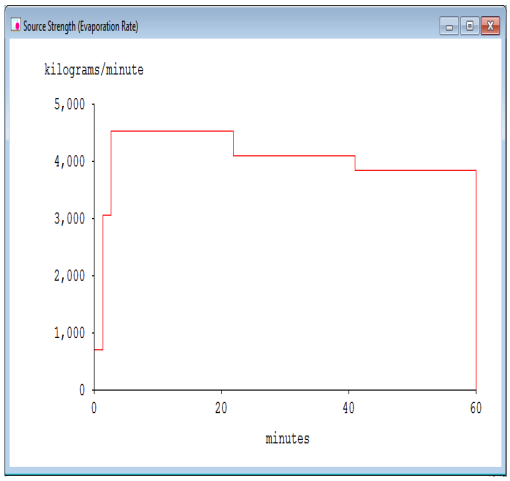
یافته‌ها

سناریوی ۱: مایع از شیر خروجی نشت کرده تشکیل یک استخر تبخیر شونده می‌دهند.

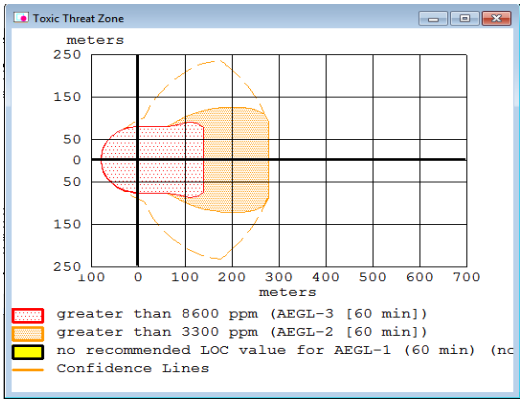
بخش ۱-۱: مدل‌سازی تشکیل ابر بخار سمی

در این سناریو فرض بر این است که هگزان از شیر خروجی مخزن خارج و در محدوده اطراف مخزن استخری از مایع هگزان تشکیل می‌شود که در اثر تبخیر ایجاد ابر بخار سمی می‌نماید. نتایج مدل‌سازی نشان داد که در صورت وقوع سناریوی مذکور زمان خروج کل مایع هگزان از مخزن ۱ ساعت می‌باشد که حداکثر دبی مایع خارج شده ۴۵۱۰ کیلوگرم در دقیقه است. کل مایع خارج شده ۲۴۲۱۷۲ کیلوگرم و قطر استخر تشکیل شده ۲۰۰ متر می‌باشد. نتایج مدل‌سازی گرافیکی سناریوی ۱ و تشکیل ابر بخار سمی در محدوده مخزن به‌صورت نمودار در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است.

همان‌طور که خروجی متنی مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار ALOHA نشان داد مدت‌زمان خروج کل



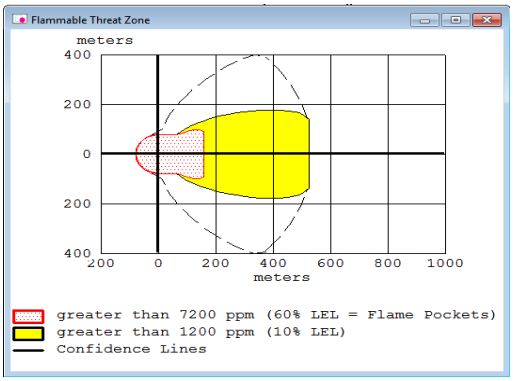
شکل ۱- مدلسازی ر اندمان خروج مایع هگزان از مخزن ذخیره



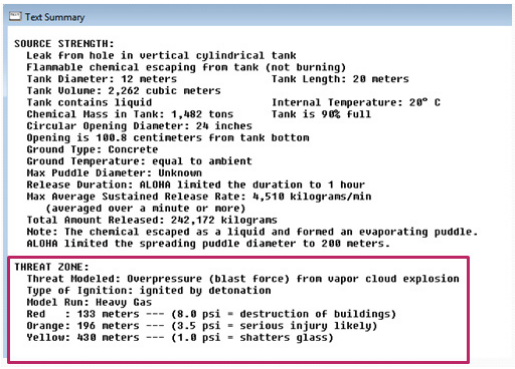
شکل ۲- مدلسازی تشکیل ابر بخاری سمی در فواصل مختلف مخزن

هگزان از مخزن یک ساعت می‌باشد که این مطلب در خروجی گرافیکی (شکل ۲) نیز نشان داده شده است. علاوه بر این بیشترین میزان دبی خروجی در ۲۰ دقیقه اول نشتی نشان داده شده است. شکل ۳ محدوده غلظت ابر بخار هگزان ناشی از تبخیر استخر تشکیل شده اطراف مخزن را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این مطالعه تا حدود ۱۴۰ متر اطراف مخزن (محدوده قرمز رنگ) غلظت گاز هگزان ۸۶۰۰ ppm می‌باشد که در محدوده AGEL-3 قرار داشته و که خطر مرگ و تهدید زندگی افرادی که در این منطقه قرار دارند وجود دارد. از این محدوده تا فاصله ۲۷۸ متر (محدوده نارنجی) غلظت ابر بخار هگزان ۳۳۰۰ ppm می‌باشد که در محدوده AGEL-2 قرار داشته و در این

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]



شکل ۴- مدلسازی گرافیکی محدوده قابل اشتعال ابر بخار هگزان



شکل ۵- مدلسازی متنی فشار ناشی از انفجارابر بخار هگزان

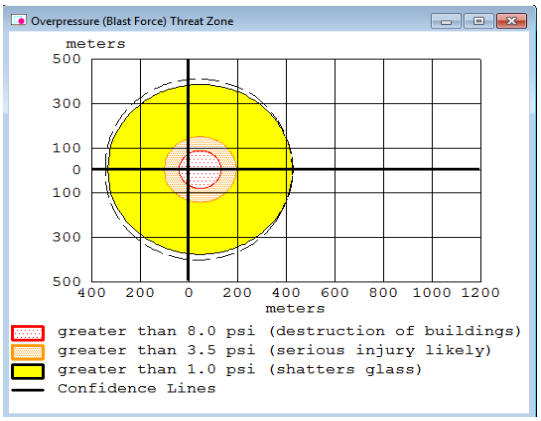
محدوده افراد مستعد، می‌توانند اثرات نامطلوب و شدید و یا برگشت‌ناپذیر را تجربه کنند.

بخش ۱- ۲: مدل‌سازی محیط قابل اشتعال ابر بخار هگزان

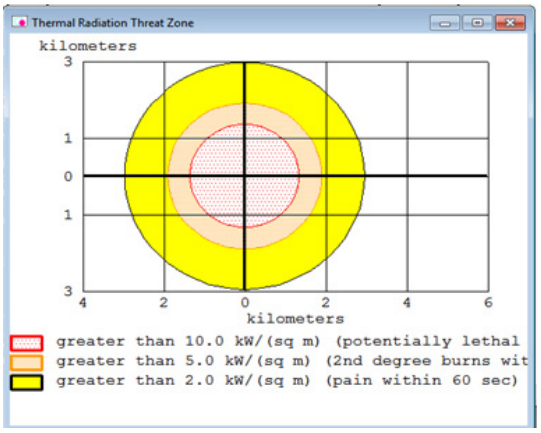
نتایج مدل‌سازی گرافیکی تشکیل بخار هگزان در محدوده مخزن بر اساس غلظت قابل اشتعال در شکل ۴ نشان داده شده است.

نتایج شکل ۳ نشان می‌دهد که در صورت نشت کامل هگزان از مخزن تا فاصله ۱۶۰ متری مخزن (منطقه قرمز رنگ) غلظت هگزان به ۷۲۰۰ ppm می‌باشد که حدود ۶۰٪ حداقل غلظت قابل اشتعال (LEL) گاز هگزان است و تا محدوده ۵۲۶ متری مخزن (محدوده زرد رنگ) غلظت هگزان به ۱۲۰۰ ppm می‌باشد که حدود ۱۰٪ حداقل غلظت قابل اشتعال (LEL) گاز هگزان است.

بخش ۳: مدل‌سازی محیط انفجار ابر بخار سمی



شکل ۳- مدلسازی گرافیکی فشار ناشی از انفجارابر بخار هگزان



شکل ۶- مدلسازی انفجار بخارات منبسط شده مایع در حال جوش (BELEVE) تحت سناریوی ۳

نتایج مدل‌سازی گرافیکی و متنی موج فشار ناشی از انفجار بخار هگزان که تحت سناریوی ۱ تشکیل شده است به‌صورت شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است.

بر اساس شکل ۴ و ۵ در صورت انفجار ابر بخار تشکیل شده تحت سناریوی ۱ فشار موج انفجار تا فاصله ۱۳۳ متر از مخزن حدود Psi۸ می‌باشد که ممکن است منجر به تخریب ساختمان‌های محل گردد این محدوده در خروجی گرافیکی با رنگ قرمز نشان داده شده است. از این محدوده تا فاصله ۱۹۶ متری مخزن (محدوده نارنجی رنگ) موج انفجار حدود psi۳ می‌باشد که ممکن است باعث صدمات جدی شود. در محدوده زرد رنگ (تا فاصله ۴۳۰ متری مخزن) فشار ناشی از موج انفجار برابر psi۱ قدرت شکستن

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

شیشه‌ها را داد.

سناریوی ۲: مایع از خروجی نشت کرده و تشکیل یک استخر در حال اشتعال را می‌دهد.

نتایج گرافیکی نرم‌افزار ALOHA جهت مدل‌سازی این سناریو در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است. بر اساس نتایج متنی نرم‌افزار قطر استخر در حال اشتعال تشکیل شده ناشی از نشت هگزان ۱۴۴ متر می‌باشد؛ و بیشترین مقدار خروج هگزان از مخزن ۹۹۳۰۰ کیلوگرم در دقیقه است. نتایج گرافیکی و متنی مدل‌سازی نشت هگزان از مخزن سوخت تحت سناریوی ۲ حاکی از این است که کل زمان خروج هگزان ۱ ساعت می‌باشد که در ۵ دقیقه اول بیشترین میزان خروج هگزان وجود خواهد داشت. میزان تشعشع حرارتی تا فاصله ۳۵۳ متری از مخزن (محدوده قرمز رنگ) حدودKW/sqm ۱۰ است که ممکن است در عرض ۶۰ ثانیه باعث مرگ افراد در محل شود. تا فاصله ۴۹۱ متری مخزن (محدوده نارنجی رنگ) میزان تشعشع حرارتی برابر KW/sqm ۵ است که ممکن است منجر به سوختگی درجه ۲ گردد. تا فاصله ۷۵۴ متری منبع نیز تشعشع حرارتی برابر KW/sqm ۲ است که ممکن است در طول ۶۰ ثانیه منجر به درد موضعی گردد.

سناریوی ۳: تانک منفجر شده و هگزان به‌صورت یک توپ آتشین می‌سوزد[11](BLEVE).

BLEVE هنگامی اتفاق می‌افتد که مخزن حاوی مایع تحت‌فشار به نقطه جوش رسیده و دچار ترکیدگی و ازهم‌گسیختگی می‌شود. این اتفاق معمولاً در مخازن گازهای تحت‌فشار روی می‌دهد و انفجاری فاجعه‌آمیز را در پی دارد مگر آنکه سریعاً مخزن را توسط آب و یا ماده سردکننده دیگری خنک کنند و از انفجار آن جلوگیری نمایند. بروز نقص و آسیب‌دیدگی ظرف در دو نقطه یا بیشتر در یک لحظه بطوریکه دمای مایعات درون ظرف بالاتر از دمای جوش استاندارد قرار داشته باشد. در این حالت اگر مایعات درون مخزن قابلیت اشتعال داشته باشند انفجار مهیبی رخ خواهد داد.

نتایج خروج گرافیکی نرم‌افزار ALOHA نشان داد که در صورت وقوع سناریوی ۳ گلوله آتشین به قطر ۶۴۰ متر و در عرض ۳۱ ثانیه رخ خواهد داد.

نتایج گرافیکی و متنی مدل‌سازی انفجار بخارات منبسط شده مایع در حال جوش (BELEVE) تحت سناریوی ۳ نشان داد که میزان تشعشع حرارتی تا فاصله ۱,۳ کیلومتری از مخزن (محدوده قرمز رنگ) حدودKW/sqm ۱۰ است که ممکن است در عرض ۶۰ ثانیه باعث مرگ افراد در محل شود. تا فاصله ۱/۹ کیلومتری مخزن (محدوده نارنجی رنگ) میزان تشعشع حرارتی برابرKW/sqm ۵ است که ممکن است منجر به سوختگی درجه ۲ گردد. تا فاصله ۳ کیلومتری منبع نیز تشعشع حرارتی برابر KW/sqm ۲ است که ممکن است در طول ۶۰ ثانیه منجر به درد موضعی گردد.

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این مطالعه جدی‌ترین خطری که پرسنل را تهدید می‌کند عواقب ناشی از سمیت هگزان است و غلظتی از هگزان که کشنده است به اتاق کنترل می‌رسد زیرا تا حدود ۱۴۰ متر اطراف مخزن غلظت گاز هگزان ppm ۸۶۰۰ می‌باشد که در محدوده AGEL-3 قرار داشته و این محدوده حاکی از خطر مرگ و تهدید زندگی افرادی که در این منطقه قرار دارند می‌باشد. علاوه بر این تا فاصله ۲۷۸ متر غلظت ابر بخار هگزان ppm ۳۳۰۰ می‌باشد که در محدوده AGEL-2 قرار داشته و در این محدوده افراد مستعد، می‌توانند اثرات نامطلوب و شدید و یا برگشت‌ناپذیر را تجربه کنند. مطالعه نقاب و همکاران نشان داد که دامنه پتانسیل عمل عصب حسی در اعصاب مدیان و سورال کارگران در معرض مواجهه با هگزان نسبت به گروه مرجع به شکل معنی‌داری کمتر است [۲۱] که نشان‌دهنده اثرات سمی عصبی ناشی از مواجهه با هگزان می‌باشد.

بر اساس نتایج این مطالعه در صورت نشت کامل هگزان از مخزن تا فاصله ۱۶۰ متری مخزن غلظت

[11]. Boiling liquid expanding vapor explosion

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

هگزان بـه حـدود ۶۰٪ حـداقل غلظـت قابـل اشـتعال (LEL) گاز هگزان می‌رسد. همچنین بر اسـاس شـکل ۴ و ۵ در صورت انفجار ابر بخـار تشـکیل شـده تحـت سناریوی ۱ فشار مـوج انفجـار تـا فاصـله ۱۳۳ متـر از مخزن منجر به تخریب ساختمان‌هـای محـل گـردد از این محدوده تا فاصله ۱۹۶ متری مخزن ممکـن اسـت باعث صـدمات جـدی شـود؛ و تـا فاصـله ۴۳۰ متـری مخـزن فشـار ناشـی از مـوج انفجـار قـدرت شکسـتن شیشه‌ها را داد. تشعشـع ناشـی از جـت آتـش و آتـش اسـتخری باعـث آسـیب بـه مخـازن و زیرسـاخت‌هـا می‌شود. نتایج این مطالعه نشـان مـی‌دهـد کـه وجـود برنامه شرایط اضطراری نه بـه‌صـورت کلـی بلکـه بـه شکلی که بـا صـرف بهینـه وقـت و هزینـه، بـالاترین اثربخشی لازم را داشته باشد امری الزامی است. از آنجا که اولین گام در تعیین نیاز تخلیه منطقه، تخمین تعداد افراد در معرض خطر می‌باشد [۲۲]. پیشـنهاد مـی‌شـود تعداد ساکنین در معـرض مواجهـه بـا گـاز هگـزان در سناریوهای مختلف رهایش مشـخص شـود. بـر طبـق مطالعات جائو جیا هورنگ و همکـاران در سـال ۲۰۰۵ ساکنین مناطقی که غلظت گاز کلـر در آنجـا تـا شـعاع خطر ERPG -2 می‌رسد و فرصت فرار به مکـان‌هـای دورتر را ندارند می‌توانند در پناهگاه‌های تعبیـه شـده در محل با فشار هوای مثبت یا در نقاط مرتفع پناه بگیرند. [۲۳] در این مطالعه سطح اضطرار ۱ برای سـناریوهایی مشخص شد که در این حالت تنها کارکنان در مجتمـع مورد مطالعه بایستی از محل تخلیه شوند تا در معـرض مواجهه با گاز هگزان قـرار نگیرنـد. سـطح اضـطرار ۲ برای سناریوهایی تعیین شد که در هنگـام رهـایش بـا سناریوهای فوق کلیه ساکنین کارخانجات مجاور باید از منطقـه خـارج شـوند. همچنـین اطـلاع‌رسـانی بـه مجتمع‌های اطراف نیز انجام گیرد و تـیم پزشـکی نیـز وارد عمل شود. در این مرحله تیم امـداد و نجـات نیـز جهت نجات افراد صدمه دیده وارد عمل شـوند. سـطح اضطرار ۳ برای سناریوهایی تعیین شـد کـه عـلاوه بـر کارکنـان منطقـه، جامعـه مسـکونی اطـراف را نیـز در معرض مواجهه با گاز هگـزان قـرار مـی‌دهـد. در ایـن مرحله علاوه بر گروه‌های درگیـر در سـطح اضـطرار ۲ باید مراکز بهداشتی درمـانی شـهری، پلـیس، سـازمان محیط زیست و خدمات آتش‌نشانی و امداد شهری نیـز جهت واکنش شرایط اضطراری وارد عرصـه شـوند. بـا توجه به اینکه این مطالعه در فصل تابستان انجـام شـد فواصل خطر در فصل زمستان نسبت به تابستان ممکن است کاهش یابد. نتایج مطالعه مرتضوی و همکاران در بررسی انتشار گاز کلر از مخازن ذخیره به‌منظور تـدوین برنامه واکـنش در شـرایط اضـطراری در یـک صـنعت پتروشیمی ایـن مطلـب را تأییـد مـی‌کنـد [۱۶]. علـت افـزایش فواصـل خطـر در فصـل تابسـتان نسـبت بـه زمستان این اسـت کـه در فصـل تابسـتان لایـه‌هـای سطحی جو که در مجـاورت سـطح زمـین قـرار دارنـد تقریباً دمایی برابر بـا لایـه‌هـای فوقـانی جـو داشـته و بنابراین جوی پایدارتر نسبت به زمستان حاکم است اما در فصل زمستان دمای لایه‌های نزدیک به زمـین کـه حرارت زمین را که با تابش نور خورشید حاصل شده به خود گرفته‌اند با دمای لایـه‌هـای فوقـانی جـو تفـاوت بیشتری داشته و بنـابراین جـوی ناپایـدارتر نسـبت بـه تابستان حاکم است و همان‌طور کـه مـی‌دانـیم در جـو پایدارتر میزان گسترش گازهای سنگین بسیار بیشـتر از جو ناپایدار است، زیرا حرکت جریان هوا در محور عمود بر سطح زمین کم بوده و توده آلودگی در محـور افقـی گسترش بیشتری پیدا می‌کند [۲۳].

در این مطالعه فقط به مدل‌سـازی نشـت هگـزان از شیر خروجی مخازن ذخیره پرداخته شد ولـی در عمـل منابع انتشار هگزان نه‌تنها از مخـازن ذخیـره، بلکـه در سایر مراحل انتقال و کاربرد آن بسیار زیاد می‌باشند که جهت شناسایی و کنترل دقیق منابع انتشار گاز هگـزان نیاز به بررسی دقیق‌تر و جزئی‌تـر مـی‌باشـد. در نتیجـه انجام مطالعات بیشتر در این زمینه امری بسـیار لازم و ضروری است. در این مطالعه ۳ سـناریوی مهـم مـورد بررسی قرار گرفت لازم است سایر سناریوها شناسـایی و سطح اضطرار برای هر یک مشخص شود.

بسـیاری از حـوادث نـاگوار بـه خـاطر خـوردگی و پوسیدگی اتصال‌ها و تجهیـزات رخ مـی‌دهـد. بازرسـی

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

فنی و ضخامت سنجی مرتب یکی از اقداماتی است که با انجام آن از روی دادن بسیاری از حوادث می‌توان جلوگیری کرد. به همین دلیل با توجه به نقش مهم این شیر در کنترل میزان مواد پخش شده بازرسی مرتب آن ضروری است.

در نمونه مورد بررسی در این مقاله ارزیابی ریسک برای مخازنی انجام شد که مدت‌ها از زمان ساخت آن می‌گذرد. در اصل ارزیابی ریسک، باید در مرحله‌های ابتدایی ساخت واحد انجام شود، زیرا پیشنهادهای قابل‌ارائه، تنوع بیشتری خواهد داشت. به‌عنوان مثال قبل از ساخت واحد، پیشنهادهایی همچون تغییر محل احداث یک ساختمان یا نصب یک مخزن، تغییر اندازه و ابعاد یک مخزن، تغییر قطر یک لوله و موارد دیگری از این قبیل، پیشنهادهایی هستند که امکان اجرای آن‌ها پس از ساخت واحد بسیار مشکل‌تر از قبل از ساخت آن است و در برخی موارد هم در عمل ممکن نیست. به همین منظور حتی‌الامکان، ارزیابی ریسک را باید به‌عنوان یکی از مراحل ابتدایی ساخت یک واحد فرایندی در نظر گرفت. در مرحله مدل‌سازی، هر چه قدر اطلاعات مورد نیاز دقیق‌تر باشد نتایج حاصل از مدل‌سازی، نیز قابل‌اعتمادتر می‌باشد. یکی از اطلاعات مهم و مورد نیاز برای مدل‌سازی، اطلاعات هواشناسی است. با ایجاد ایستگاه‌های هواشناسی در محل واحد می‌توان شرایط جوی دقیق‌تری را برای مدل‌سازی در نظر گرفت و دقت مدل‌سازی و محاسبه‌های مربوطه را تا حد زیادی افزایش داد.

نظر به اینکه یکی از اقدامات مؤثر در کاهش تلفات انسانی در زمان انتشار گازهای سمی و خطرناک اطلاع‌رسانی به‌موقع در زمان نشت و اقدام مؤثر در تخلیه و جابجایی نیروهای انسانی می‌باشد بنابراین تهیه طرح واکنش در شرایط اضطراری نقش مؤثری در محدود نمودن اثرات زیان‌بار انتشار مواد سمی و خطرناک خواهد داشت. بنابراین اقدامات واکنشی در زمان انتشار هگزان به دلیل انفجار مخزن هگزان به شرح ذیل می‌باشد:

- پیش‌بینی‌های لازم در خصوص تخلیه اضطراری افراد واحدهای اطراف به سمت ضلع غربی منطقه صورت پذیرد.
- متناسب با شرایط باد غالب منطقه و همچنین مسیر حرکت انتشار هگزان در فصل تابستان، پیشنهاد می‌گردد نقاط تجمع اضطراری کارگران مجتمع پتروشیمی در ضلع جنوبی آن مجتمع انتخاب گردد تا بدین طریق تخلیه اضطراری از این واحدها با کمترین آسیب به نفرات صورت پذیرد.
- آموزش‌های لازم به‌موقع به نفرات در خصوص استفاده از لوازم حفاظت تنفسی مناسب و همچنین آشنایی آنان با محل‌های تجمع و تخلیه پیش‌بینی گردد.
- بانک اطلاعات جامع از مسئولین و نفرات کلیدی هر شرکت همراه با شماره تلفن‌های ثابت / متغیر، محل‌های سکونت و دسترسی سریع به آن‌ها جهت مواقع اضطراری تهیه گردد.
- بازرسی و بازدیدهای مستمر از سیستم‌های اعلام / هشدار، سیستم‌های اسپری آب و همچنین تجهیزات حفاظت فردی صورت پذیرد.
- انجام بازرسی‌های منظم مطابق پیشنهاد شرکت سازنده از شیرهای اطمینان بالای مخازن هگزان جهت اقدام به‌موقع این شیرها، در زمان افزایش فشارهای عملیاتی صورت پذیرد.
- پیش‌بینی خطوط تلفن اضطراری و تجهیزات ارتباطی جهت هماهنگی بیشتر با مجتمع‌های مجاور به عمل آید.

منابع

1. Jahangiri M, Parsarad A. Determination of hazard distance of chemical release in a petrochemical industry by chemical exposure index (CEI). Iran Occupational Health. 2010;7(3):55-62.
2. Crawley F, Tyler B. HAZOP: Guide to best practice: guidelines to best practice for the process and chemical industries: Elsevier; 2015.
3. KollerGU, Fischer K. Hungerbühler, Assessing safety, health, and environmental impact early during process development. Industrial &

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

Engineering Chemistry Research. 2000;39(4):960-972.

4. Khan F, Abbasi S. Modelling and control of the dispersion of hazardous heavy gases. Journal of loss prevention in the process industries. 1999;12(3):235-244.

5. Mellor G. The Gaussian cloud model relations. Journal of the Atmospheric Sciences. 1977;34(2): 356-358.

6. Van Ulden A, Holtslag A. Estimation of atmospheric boundary layer parameters for diffusion applications. Journal of Climate and Applied Meteorology. 1985;24(11): 1196-1207.

7. Hanna S, Britter R, Leung J, Hansen O, Sykes I, Drivas P, et al. Source emissions and transport and dispersion models for toxic industrial chemicals (tics) released in cities. J14.1. 2009.

8. Rigas F, Konstandinidoua M, Centolab P, Reggiob GT. Safety analysis and risk assessment in a new pesticide production line. Journal of loss prevention in the process industries. 2003;16(2):103-109.

9. Brock W. Hydrogen Fluoride: How Toxic Is Toxic (A Hazard and Risk Analysis). in Proceedings of Halon Options Technical Working Conference. 1999.

10. Tseng JM, Liub MY, Changc RH, Sud JL, Shu CM. Emergency response plan of chlorine gas for process plants in Taiwan. Journal of loss prevention in the process industries. 2008;21(4):393-399.

11. Evans M. Modeling hydrochloric acid evaporation in ALOHA. US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Ocean Resources Conservation and Assessment, Hazardous Materials Response and Assessment Division. 1993.

12. Manual A.U. Available for download at: http://www. epa. gov/ceppo/cameo/pubs/aloha. pdf. Additional information: http://response. restoration. noaa. gov/cameo/aloha. html, 1999.

13. EPA N. Area Locations of Hazardous Atmospheres (ALOHA). User's Manual, US Environmental Protection Agency (USEPA) and the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Washington, DC, 1999.

14. Center for Chemical Process Safety.Guidlines for Technical Planning for on-site Emergencies. New York: AIChE.1995; P5.

15. Guidlines for Technical Planning for on-site Emergencies. Center for Chemical Process Safety. New York: AIChE. 1995; P.4-11.

16. Mortazavi SB, Parsarad M, Asilian Mahabadi H, Khavanin A. Evaluation of chlorine dispersion from storage unit in a petrochemical complex to providing an emergency response program Iran Occupational Health. 2011:8(3).

17. O'Mahony Mary T, Donal D, O'Sullivan Alice, Hession M. Emergency planning and the Control of Major Accident Hazards (COMAH/ Seveso II) Directive. Journal of Hazardous Materials. 2008;154:355-356.

18. Tsenga JM, Liub MY, Chang RH, Sud JL, Shu CM. Emergency response plan of chlorine gas for process plants in Taiwan. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2008;21:393-399.

19. Jahangiri M, Sareban Zadeh Z. Quantitative Risk Assessment In Process Industries.Fanavaran-PUB. 2011.

20. Center for Chemical Process Safety, Guidelines for Technical Planning for on-site Emergencies. second edition, New York: AIChE. 1995; P.192.

21. Neghab M, Soleimani E, Khamoushian K. Subclinical neuropathy in workers occupationally exposed to n-hexane. Scientific Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research. 2013;10(4):105-117.

22. Urbanik T. Evacuation time estimates for nuclear power plants.Journal of Hazardous Materials. 2000;75:165-180.

23. Horng J, Lin Y, Chi M. Using consequence analysis on some chlorine operation hazards and their possible effects on neighborhoods in central Taiwan. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2005;18:474-480.

24. Center for Chemical Process Safety. Guidelines for chemical process Quantitative Risk Analysis, second edition. New York: AIChE. 2000;p. 57-153.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]

Modeling the Result of Hexane Leakage from Storage Tanks and Planning an Emergency Response Programm in a Petrochemical Complex

Mohammad Hossein Beheshti[1], Roohalah hajizadeh[2], Ahmad Mehri[3], Maryam Borhani[4]

Received: 2015/02/15 Revised: 2015/06/11 Accepted: 2015/10/12

Abstract

Background and aims: Leakage of toxic and hazardous substances in the chemical and process industries always had been one of the factors threatening the workers and residents of the industries. The purpose of this study is modeling of hexane emissions planning emergency response program.

Methods: In this study we describe the factors affecting discharging release of material and ALOHA software used as one of the best software for modeling emissions from storage tank 579 thousand gallons of hexane, in a petrochemical. And based on modeling results emergency response plan in sudden devastation of hexane tank prepared and presented.

Results: The results of modeling toxic vapor cloud formation caused by the release of hexane and form liquid pools around tank (scenario 1) showed that the diameter of pool formed was 200 m and about 140 meters around tank concentration of hexane is 8600 PPm (range AGEL-3) that there is risk of death and life-threatening in people that are in the area. Distances up to 160 meters of tank, concentration of hexane is 7200 ppm that is about 60% of the Lower explosive limit (LEL) in gas-hexane. To 526 meters of hexane tank, concentration of hexane is 1200 ppm that is about 10% of the Lower explosive limit (LEL) of hexane gas. In explosion of toxic vapor cloud up to 133 meters away from the tank area is 8 psi, and to a distance of about 196 meters of tank, the blast wave pressure is 3 Psi. In the event of scenario 2 (hexane emissions from tank associated with the burning) thermal radiation from a distance of 353 meters of the tank is 10KW/sqm and to 491 meters of away from tank thermal radiation is 5 KW/sqm.

BELEVI and tank explosive occurring (scenario 3) leads to the formation of a fireball with 640 meters diameter in 31 seconds time, and the amount of thermal radiation to 1.3 km from tank is 10KW / sqm.

Conclusion: Hexane toxicity is the most serious consequences of danger that threatening the personnel. Therefore preparation of emergency response plan will have an important role in limiting the harmful effects in release of toxic and hazardous substances.

Keywords: Modeling, Risk assessment, Hexane, Hexane tank.

1. Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Gonabad University of Medical Sciences, Gonabad, Iran.
2. (**Corresponding author**) PhD Candidate of Occupational Health Engineering, Occupational Health Research Center, Qom University of medical sciences, Qom, Iran. roohalahhajizade@gmail.com
3. MSc of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Elam University of Medical Sciences, Elam, Iran.
4. MSc of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-21]