



بررسی انتشار گاز کلر از مخازن ذخیره به منظور تدوین برنامه واکنش در شرایط اضطراری در یک صنعت پتروشیمی

سید باقر مرتضوی^۱، مجید پارسا راد^۲، حسن اصیلیان مهابادی^۳، علی خوانین^۴

تاریخ پذیرش: ۹۰/۰۲/۲۱

تاریخ ویرایش: ۸۹/۱۱/۰۳

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۸/۰۹

چکیده

زمینه و هدف: گاز کلر یکی از مواد خطرناک است که در صنایع شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. علیرغم تلاش‌های انجام شده جهت کنترل رهایش گاز کلر، رهایش ناگهانی آن در تأسیسات مربوطه رخ می‌دهد. عدم انجام اقدامات مناسب پس از انتشار این گاز می‌تواند منجر به صدمه جدی بر روی سلامت کارکنان و جمعیت ساکن اطراف ناحیه صنعتی شود. مطالعه حاضر سناریوهای انتشار گاز کلر را بررسی نموده، سطوح اضطرار را مشخص کرده و الگویی بهینه از واکنش مؤثرتر و سریع‌تر با حداقل اقدامات لازم جهت کنترل شرایط اضطراری فراهم می‌کند.

روش بررسی: در این مقاله با استفاده از مطالعه خطر و فرآیند (Hazard and Operability Study=HAZOP) و ماتریس ریسک سناریوهای ممکن انتشار گاز کلر در واحد مخازن ذخیره یک مجتمع پتروشیمی بررسی شد. سپس فواصل خطر این سناریوها با توجه به ۱-۲-۳ Emergency Response Planning Guideline تعیین گردید. با توجه به شدت گسترش آلودگی و جمعیت در معرض خطر سناریوهای بدست آمده در چهار سطح اضطرار تعریف شده مرکز ایمنی فرآیندهای شیمیایی (Center for Chemical Process Safety=CCPS) دسته بندی شد. در نهایت برای هر دسته از سناریوها با توجه به سطح اضطرار مربوطه الگویی بهینه از برنامه واکنش در شرایط اضطراری ارائه گردید.

یافته‌ها: بر اساس نتایج این مطالعه، سناریوهای انتشار گاز کلر به دلیل انفجار فاجعه بار مخزن و نقص اسکرابر در فصل تابستان در سطح اضطرار ۴ و در فصل زمستان در سطح اضطرار ۳، انتشار گاز کلر به واسطه پارگی خطوط کلر در فصول تابستان و زمستان در سطح اضطرار ۳ و انتشار گاز کلر در نتیجه نشتی از فلنچ‌ها و گسکت‌ها در سطح اضطرار ۲ از استاندارد سطوح اضطرار موسسه CCPS طبقه بندی گردید.

نتیجه گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که آنالیز خطرات فرآیندی به صورت سیستماتیک با استفاده از روش‌های شناسایی خطرات مانند HAZOP و آنالیز پیامد می‌تواند در شناسایی حوادث احتمالی بزرگ نقش موثری داشته باشد. همچنین با دسته بندی سناریوهای رهایش در یکی از سطوح اضطرار CCPS می‌توان الگویی بهینه جهت مدیریت شرایط اضطراری انتخاب نمود.

کلیدواژه: برنامه واکنش در شرایط اضطراری، پتروشیمی، گاز کلر، سطوح اضطرار

مقدمه

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 (شکل ۱) [۳]. در کشور ما با توسعه صنایع و نیز پتروشیمی پتانسیل بروز حوادث صنعتی بالاتر می‌رود. با در نظر گرفتن اینکه تعداد زیادی از کارکنان در محیط‌هایی با پتانسیل خطر انفجار و انتشار مواد سمی مشغول بکارند و همچنین مجاورت

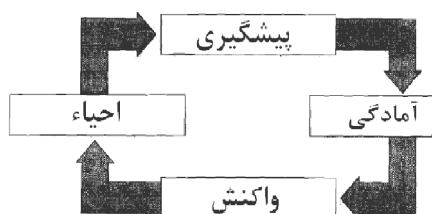
علیرغم تلاش‌های فراوان کارخانجات و صنایع در جهت مدیریت ایمن مواد شیمیایی، احتمال بروز حوادث ویرانگر و کشنده همواره وجود دارد [۱]. در همین راستا سطوح و لایه‌های مختلفی جهت پیشگیری و تخفیف در بروز یا نتایج حاصل از یک حادثه صنعتی وجود دارد که لایه‌های حفاظتی (Lines of Protection) نامیده می‌شوند [۲]. آخرین سطح حفاظتی یک واحد فرآیندی

۱- دانشیار گروه بهداشت حرفه‌ای و محیط، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- نویسنده مسئول) کارشناس ارشد بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. motevaghe@yahoo.com

۳- استادیار گروه بهداشت حرفه‌ای و محیط، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۴- استادیار گروه بهداشت حرفه‌ای و محیط، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.



شکل ۱- سیکل برنامه شرایط اضطراری

مشهورترین نرم افزارهای موجود در این زمینه است. این نرم افزار قادر به مدل سازی مراحل مختلف رهایش مواد (اعم از خالص یا مخلوط) در محیط شامل تخلیه، تبخیر از حوضچه های مایع و در نهایت پخش مواد می باشد. هر دو نوع رهایش پیوسته (پلوم) و رهایش ناگهانی (پاف) در این نرم افزار قابل مدل سازی هستند. همچنین شرایط جوی نیز به عنوان یکی از داده های ورودی به این نرم افزار در نظر گرفته می شود [۷ و ۸].

در کشور ما با وجود اهمیت خطرات مواجهه با مواد شیمیایی، به طور کلی برنامه ای مدون جهت واکنش در شرایط اضطراری با توجه به ماهیت مواد مختلف و خطرات مربوطه، سطح ریسک و دامنه انتشار آن ها به صورتی که در حداقل زمان ممکن بیشترین اثربخشی را داشته باشد، وجود ندارد.

یکی از مواد با قابلیت بالای آسیب زایی که امروزه به صورت گسترده ای در صنعت پتروشیمی استفاده می شود گاز کلر می باشد. تعداد زیادی از حوادث بزرگ صنعتی در قرن گذشته مربوطه به انتشار این گاز سمی در محیط بوده است [۹ و ۱۰]. همچنین با در نظر گرفتن سطوح ERPG و (Immediately Dangerous to Life or Health=IDLH) این ماده به خطرناک بودن آن در مقایسه با مواد دیگر مورد استفاده در صنعت پتروشیمی پی می بریم (جدول ۱) [۶]. افراد در معرض خطر تماس می توانند شامل کارکنان نزدیک محل نشستی و نیز افراد عمومی جامعه باشند که در محل های مجاور ناحیه صنعتی سکونت دارند.

وجود واحد مخازن حاوی گاز کلر تحت فشار در پتروشیمی ماهشهر و عدم مطالعه خطرات فرآیندی این

کارخانجات پتروشیمی با یکدیگر و نیز نزدیکی با اماکن و شهرهای مسکونی به اهمیت داشتن برنامه شرایط اضطراری و آگاهی کارکنان از این برنامه در این صنعت پی می بریم.

در مطالعه ای که توسط رامابراهمن و سوامیناتان (۲۰۰۰) بر روی یک واحد ذخیره سازی کلر انجام شد، پس از مطالعه ریسک های فرآیندی، یک الگوی کلی برای برنامه واکنش در شرایط اضطراری ارائه گردید. الگوی ارائه شده مفید بود اما کلی بوده و سطوح اضطرار برای سناریوهای مختلف رهایش در آن مشخص نشد [۴]. همچنین ماهونی و همکاران (۲۰۰۸) الگویی را جهت مشخص نمودن مناطق انجام واکنش در شرایط اضطراری تحت عنوان مناطق داغ (Hot zone)، گرم (Warm zone) و سرد (Cold zone) با استفاده از نرم افزار Aerial Location Of Hazardous (ALOHA) در اطراف محدوده انتشار گازهای سمی ارائه نمودند که بر پایه راهنماهای سطوح مواجهه حاد (Acute Exposure Guideline Levels= AEGLs) بود اما در مطالعه خود به وظایف گروه های مختلف در هنگام انتشار گازهای سمی اشاره ای نکرده بود [۵]. تسنگ و همکاران (۲۰۰۸) طی مطالعه ای 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 نکرده و سناریوهای رهایش را مشخص نکرده بود. همچنین شعاع آسیب رسانی کلر در هنگام رهایش در محیط تعیین نشده بود [۶].

تعیین شعاع آسیب رسانی در حین بروز یک حادثه مربوط به انتشار گازهای سمی از اهمیت به سزایی برخوردار است. برای این منظور امروزه از روش های مدل سازی با استفاده از نرم افزار استفاده می شود. 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. نرم افزار تحلیل خطرات فرآیندی PHAST یکی از قوی ترین و

جدول ۱- مقادیر ERPG و IDLH گاز کلر

شاخص	ERPG1(ppm)	ERPG2(ppm)	ERPG3(ppm)	IDLH(ppm)
مقدار	۱	۳	۲۰	۳۰

سطح اضطرار ۴: زمانی که رهایش رخ داده بتواند سبب بروز اثرات نامطلوب بر روی جامعه ساکن در اطراف ناحیه صنعتی به صورت گسترده شود. در این سطح، کلیه مسئولین مرتبط با واکنش طرح اضطراری در شهر از حادثه آگاه شده و اقدامات مناسبی را به کار می‌گیرند. در این سطح اقدامات واکنشی مناسب به جامعه اطراف تسری می‌یابد. از آنجا که در بیشتر برنامه‌های واکنش در شرایط اضطراری ارائه شده، سطوح اضطرار در نظر گرفته نشده است و برنامه واکنش به صورت کلی بیان گردیده است، معیار زمان واکنش و هزینه‌های مورد نیاز جهت کنترل شرایط اضطراری نادیده گرفته شده است. در این مطالعه سعی شده است تا سناریوهای رهایش گاز کلر در نظر گرفته شده، سطوح اضطرار مشخص شده و الگویی بهینه جهت واکنش سریع‌تر و مؤثرتر با حداقل الزامات لازم جهت کنترل شرایط اضطراری ارائه گردد.

روش بررسی

در یکی از مجتمع‌های پتروشیمی واقع در منطقه ماهشهر که در فرآیند تولید خود از گاز کلر استفاده می‌کند، تعداد ۴ عدد مخزن حاوی گاز کلر وجود دارد که هر کدام ظرفیت نگهداری ۵۶ تن کلر مایع فشرده را دارند. هیچ‌گونه برنامه‌ای جهت واکنش در شرایط انتشار گاز کلر از این مخازن وجود نداشته و اصولاً مطالعه خطری در این واحد فرآیندی انجام نگرفته است. جهت توسعه یک برنامه واکنش در شرایط اضطراری باید خطرات موجود در سایت و واحد مورد مطالعه و نیز بررسی بدترین سناریوهای ممکن مورد مطالعه قرار گیرند [۱۱]. ابتدا ارزیابی خطرات فرآیندی با روش HAZOP انجام گرفت. بدین منظور تیمی متشکل از نماینده واحدهای مهندسی فرآیند، بهره‌بردار، تعمیرات مکانیک، ابزار دقیق و ایمنی تشکیل شد. سپس

واحد سبب شده است تا خطرات مربوط به انتشار گاز کلر و نیز طراحی برنامه واکنش در شرایط اضطراری در این واحد نادیده گرفته شود.

هدف این مطالعه بررسی سناریوهای ممکن رهایش گاز کلر در واحد ذخیره سازی یک مجتمع پتروشیمی و ارائه الگوی بهینه برنامه واکنش در شرایط اضطراری برای هر دسته از این رهایش‌ها با توجه به سطوح اضطرار تعریف شده توسط موسسه CCPS می‌باشد.

اما اقدامات لازم واکنش در هنگام بروز شرایط اضطراری با توجه به شدت حادثه، وسعت دامنه انتشار آلودگی و جمعیت در معرض خطر مشخص می‌شود. بر این اساس مرکز ایمنی فرآیندهای شیمیایی (CCPS) سطوح اضطرار را به چهار دسته یا سطح اضطرار به صورت زیر تقسیم بندی می‌کند [۱۱].

سطح اضطرار ۱: زمانی که مواد خطرناک وجود داشته یا احتمالاً وجود دارد اما ناشی، ریزش، حریق یا انفجار رخ نداده و انتظار رخداد آن نیز وجود ندارد.

سطح اضطرار ۲: زمانی که اثرات سوء شدید سلامتی وجود ندارد اما رهایش و یا حریق ممکن است توسط افراد شاغل به علت بو یا ابر ایجاد شده تشخیص داده شود و جمعیت اطراف ممکن است به آن توجه کرده و سوالاتی را مطرح کنند.

سطح اضطرار ۳: زمانی که رهایش یا پتانسیل رهایش به عنوان عامل تهدید کننده سلامت جامعه شاغلین اطراف مطرح بوده و احتمال آن نیز به واسطه اقدامات کنترلی اعمال شده وجود داشته باشد. در این سطح، افراد واکنشگر در شرایط اضطراری شهری از موضوع آگاه خواهند شد تا در صورت لزوم اقدامات لازم در این زمینه را انجام دهند. اگر کنترل از دست رود، رهایش می‌تواند به صورت شرایط اضطراری در جامعه درآمد یا اگر کنترل موفقیت آمیز بود به سطح اضطرار ۲ کاهش یابد.

جدول ۲- راهنمای تعیین ابعاد نشستی در سناریوهای مختلف رهایش (۱۳)

ابعاد نشستی‌های مورد بررسی	تجهیزات
5 mm و پارگی کامل	لوله های با قطر کمتر از 5/1 in
5 mm و پارگی کامل	لوله های با قطر بین 2 in تا 6 in
5 mm, 25 mm, 100 mm و پارگی کامل	لوله های با قطر بین 8 in تا 12 in
پارگی کامل خطوط ورودی و خروجی و تخلیه ناگهانی	مخازن
بسته به قطر لوله های ورودی و خروجی، نشستی از درزگیر به قطرهای 5 mm, 25 mm و 100 mm	پمپها

شدت تخلیه کلر نیز از (رابطه ۱) محاسبه شد [۱۳].
رابطه ۱. تعیین میزان دبی خروجی (شدت تخلیه) از محل نشستی

$$m = C_D \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2g_c \cdot M}{R_g \cdot T_1} \cdot \frac{K}{K-1} \cdot \left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{K}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} \right)}$$

m: دبی مواد خروجی (Kg/S)

P_1, P_2 : فشار مواد قبل و بعد از خروج (KPa)

T_1, T_2 : دمای مواد قبل و بعد از خروج

A: مساحت شکاف ایجاد شده (m^2)

Rg: ثابت گازها ($Pa \cdot m^3 / mole \cdot K$)

g_c : ثابت گرانشی زمین ($N \cdot S^2 / Kg \cdot m$)

M: جرم مولکولی گاز ($Kg / mole$)

k: نسبت ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت به حجم ثابت (بدون بعد) بوده که مقدار آن برای گاز کلر برابر با ۱/۳۳ می‌باشد.

در این رابطه C_D ضریب تخلیه روزنه‌ای است که مواد از آن خارج می‌شوند و A مساحت روزنه نشستی مواد است. به کمک نقشه های P& ID و با توجه به ارتفاع نصب تجهیزات که از آن‌ها گاز کلر به بیرون منتشر می‌شود، ارتفاع نشستی‌ها مشخص شد. حالت پایداری جوی در منطقه ماهشهر بر طبق مدل پاسکویل یعنی کلاس D در دو فصل شاخص یعنی فصول تابستان و زمستان در نظر گرفته شده و سایر پارامترهای جوی از قبیل متوسط دما، سرعت جریان باد و میزان رطوبت از طریق ایستگاه هواشناسی منطقه مشخص گردید [۱۴].
ناهمواری زمین برای ناحیه صنعتی نیز ۱ در نظر گرفته

تجهیزات فرآیندی واحد ذخیره سازی کلر بر روی نقشه‌های ترسیم خطوط و تجهیزات ابزار دقیق (Piping & Instrumentation Diagram) توسط این تیم مورد مطالعه قرار گرفته و به گره‌های مختلف تقسیم بندی شد. خطرات فرآیندی با توجه به کلمات راهنمای انتخاب شده در مطالعه HAZOP مشخص شد و برای پیشگیری از بروز آن‌ها پیشنهادات کنترلی ارائه گردید. به کمک این نتایج، سناریوهای انتشار گاز کلر مشخص و با استفاده از ماتریس شاخص ریسک (Risk Ranking Index) RRI برای هر کدام از سناریوها تعیین شد [۱۲]. سناریوهایی که شاخص ریسک آن‌ها غیر قابل قبول یا نامطلوب بود (RRI 1 و RRI 2) جهت شبیه سازی انتشار بکار برده شدند. داده‌هایی از قبیل ابعاد نشستی برای سناریوهای مشخص شده تعیین گردید (جدول ۲) و شاخص‌های فرآیندی از قبیل دما، فشار و حجم ذخیره کلر از طریق مطالعه کتابچه فرآیند واحد مشخص شد.

مدت زمان تخلیه نیز به منظور محاسبه کامل ماده آزاد شده در محیط مورد نیاز می‌باشد. در اکثر موارد برای تعیین زمان تخلیه از مقدار ماده موجود در منبع و نرخ تخلیه آن استفاده می‌شود ولی در سایر موارد بعضی از محققان مدت زمان ۱۰ دقیقه را برای شبیه سازی انتشار پیشنهاد کرده‌اند [۱۳]. در بعضی از مطالعات، در مواردی که سیستم به ردیاب‌های نشستی و شیرهای جداکننده که از اتاق کنترل قابل بستن است مجهز باشد، مدت زمان ۳ دقیقه پیشنهاد شده است. در این مطالعه با توجه به عدم وجود سیستم‌های ردیاب در واحد فرآیندی مدت زمان تخلیه ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شد.

جدول ۳- نتایج حاصل از مطالعات HAZOP در واحد ذخیره سازی کلر

ردیف	کلمه راهنما	انحراف	علل بروز	پیامد	عملکرد مورد نیاز
۱	وجود ندارد	جریان	۱. ولوهای دستی بسته شده‌اند ۲. ولوهای EDS بسته شده‌اند ۳. لوله عبور جریان بسته شده است	الف تا ج. تاخیر در شروع فرایند	دستورالعمل بهره‌برداری جهت کلیه موارد عدم جریان اصلاح شود
۲	زیاد	جریان	نشستی از فلنج	خطر سمیت	۱. اتصالات فلنجی به حداقل برسد ۲. متناسب بودن گسکت چک شود ۳. محل فعال سازی ESD در دو نقطه راحت و ایمن باشد.
			نشستی از ولو	خطر سمیت	۱. اتصالات فلنجی به حداقل برسد ۲. متناسب بودن گسکت چک شود
			پاره شدن خطوط کلر به واسطه ضربه	خطر سمیت	فعالیت‌های فیزیکی در نزدیکی خطوط کلر به حداقل برسد
۳	زیاد	سطح	نشانگر سطح کلر را به خطا نشان می‌دهد و گاز کلر از طریق شیر تخلیه فشار به اسکرابر می‌رود	شیر ایمنی تخلیه گاز عمل کرده و به اسکرابر تخلیه می‌شود	مقیاس‌ها را تنظیم کرده و تجهیز اتشانگر ابزار دقیقی نصب شوند
۴	زیاد	درجه حرارت	حریق از طریق تجهیزات و تاسیسات مجاور به قسمت مخازن کلر گسترش می‌یابد	۱. شیرهای ایمنی مقادیر زیادی گاز کلر به اسکرابر تخلیه می‌کنند. ۲. پوسته مخازن پاره شدن و در اثر بالا رفتن فشار انفجار رخ می‌دهد.	۱. آنالیز خطر انجام شود ۲. سیستم ضد حریق مخازن کلر باید بتواند حداقل ۶۰ دقیقه مقابل حریق ایستادگی کند
۵	کم	سطح	معیوب بودن نشانگر دما سبب می‌شود تا تشخیص سطح کاستیک در درون اسکرابر به درستی انجام نشود و امکان دارد مقدار کاستیک موجود به ۱٪ برسد	مقادیر زیادی گاز کلر از طریق سیستم تخلیه اضطراری به محیط منتشر می‌شود-خطر مسمومیت	نصب چندین نشانگر دما بصورت موازی و تست متناوب این تجهیزات انجام شود
۶	زیاد	فشار	فشار نیتروژن بیش از اندازه شود	شیرهای ایمنی تخلیه فشار عمل کرده و گاز کلر به اسکرابر تخلیه می‌شود	سیستم کنترل فشار نیتروژن و PCV برای تخلیه مناسب انتخاب شود.
			دما بالا می‌رود.	پارگی فلنج-خطر سمیت	چندین گیج فشارسنج بر روی خطوط طولی نصب شود

سناریوهای رهائش با شاخص ریسک RRI1 یا RRI2 عبارت از پارگی فاجعه بار مخزن ذخیره کلر، ایجاد نقص در سیستم اسکرابر و انتشار گاز کلر به محیط، پارگی خطوط حامل گاز کلر و نشستی از ولوها و فلنج‌های موجود در واحد بودند (جدول ۴).

سپس مدل انتشار گاز کلر در سناریوهای فوق به کمک نرم افزار در سه سطح ERPG1، ERPG2 و ERPG3 شبیه سازی شده و شعاع هر کدام به ترتیب به صورت خطوط رنگی (سفید، خط چین و سیاه) با مقیاس دقیق بر روی نقشه های ماهواره ای مشخص گردید. (شکل ۲-الف و ب و جدول ۵)

سپس جمعیت شاغل و ساکنین مناطق اطراف که تحت تأثیر رهائش احتمالی گاز کلر در سناریوهای مختلف قرار خواهند گرفت مشخص شده و در نهایت

شد [۱۳]. سپس داده های بدست آمده در مراحل فوق به نرم افزار PHAST داده شد. به کمک نرم افزار شعاع خطر در فواصل ERPG1-2-3 بدست آمد و فواصل بدست آمده با در نظر گرفتن مقیاس بر روی نقشه های ماهواره ای منطقه مشخص شد. با در نظر گرفتن تعاریف CCPS از سطوح اضطرار، سطوح اضطراری هر سناریوی رهائش با شاخص ریسک غیرقابل قبول و نامطلوب تعیین شد. در نهایت، الگوهای بهینه ای از برنامه شرایط اضطراری سطوح اضطرار مشخص شده تعیین گردید.

یافته‌ها

نتایج حاصل از مطالعه نقشه های P&ID و مطالعات HAZOP واحد کلر مشخص شده است. (جدول ۳).

جدول شماره ۴- جدول تعیین طبقه ریسک سناریوهای محتمل رهائش گاز کلر

ردیف	پیامد	احتمال	شدت	شاخص طبقه بندی ریسک	شاخص تصمیم گیری
۱	تأخیر در شروع فرآیند	محتمل	ناچیز	RRI3	مشمول شرایط اضطراری نیست.
۲	تخلیه از طریق شیر تخلیه ایمنی به اسکرابر	محتمل	ناچیز	RRI3	مشمول شرایط اضطراری نیست.
۳	نشستی از ولو و فلنج	محتمل	بحرانی	RRI1	مشمول شرایط اضطراری است.
۴	پاره شدن خطوط حامل کلر	به ندرت	بحرانی	RRI1	مشمول شرایط اضطراری است.
۵	تخلیه از اضطراری به محیط	بعید	فاجعه بار	RRI1	مشمول شرایط اضطراری است.
۶	انفجار فاجعه بار مخازن کلر	به ندرت	فاجعه بار	RRI2	مشمول شرایط اضطراری است.

۵- فواصل ERPG1-2-3 در بررسی سناریوهای محتمل با ریسک غیر قابل قبول و نامطلوب

ردیف	سناریو	فصل	شعاع محدوده ERPG از محل مخازن ذخیره کلر (km)			جمعیت در معرض مواجهه (نفر)	سطح اضطرار
			ERPG3	ERPG2	ERPG1		
۱	پارگی فاجعه بار مخزن	تابستان	۱۱	۶/۵	۳	۱۷۵۰۰۰	۴
۲	پارگی فاجعه بار مخزن	زمستان	۴	۲/۵	۱/۵	۱۱۶۰۰	۳
۳	تخلیه از طریق اسکرابر به محیط	تابستان	۹	۵/۲	۲/۲	۱۷۵۰۰۰	✓
۴	تخلیه از طریق اسکرابر به محیط	زمستان	۵/۱	۴/۷	۱/۸	۱۱۶۰۰	✓
۵	پارگی خطوط کلر	تابستان	۲/۱	۱	۰/۲۵۰	۱۱۶۰۰	✓
۶	پارگی خطوط کلر	زمستان	۰/۹۰۰	۰/۷۰۰	۰/۲۰۰	۱۷۸۰	✓
۷	نشستی از طریق فلنج	تابستان	۰/۲۲۵	۰/۱۵۸	۰/۰۶۳	۴۹۰	✓
۸	نشستی از طریق فلنج	زمستان	۰/۱۹۲	۰/۱۲۳	۰/۰۴۴	۴۹۰	✓

سطوح اضطرار با توجه به تعاریف استاندارد موسسه CCPS مشخص شدند (جدول ۵).

بحث

روش ارزیابی خطرات در این مطالعه به صورت ترکیبی از روش‌های کیفی و کمی شامل مطالعه HAZOP، استفاده از ماتریس ریسک و استفاده از روش آنالیز پیامد به کمک نرم افزار سبب گردید تا ضمن شناسایی خطرات فرآیندی واحد، سناریوهای مختلف انتشار بررسی و برای هر کدام برنامه واکنش در شرایط اضطراری طراحی شود.

فواصل خطر با توجه به سطوح ERPG تعیین گردید. فاصله ERPG1، ERPG2 و ERPG3 برای انفجار فاجعه بار مخزن در فصل تابستان ۱۱ کیلومتر، ۶/۵

کیلومتر و ۳ کیلومتر، در فصل زمستان به ترتیب ۴ کیلومتر، ۲/۵ کیلومتر و ۱/۵ کیلومتر، برای سناریوی نقص در سیستم اسکرابر در فصل تابستان به ترتیب برابر با ۹ کیلومتر، ۵/۲ کیلومتر و ۲/۳ کیلومتر و در فصل زمستان برابر با ۵/۱ کیلومتر، ۴/۷ کیلومتر و ۱/۸ کیلومتر است. در مورد پارگی خطوط حاوی کلر این فواصل در فصل تابستان به ترتیب ۲/۱ کیلومتر، ۱ کیلومتر، ۰/۲۵۰ کیلومتر و در فصل زمستان به ترتیب ۰/۹۰۰ کیلومتر، ۰/۷۰۰ کیلومتر، ۰/۲۰۰ کیلومتر تعیین شد. (جدول ۶) علت افزایش فواصل خطر در فصل تابستان نسبت به زمستان این است که در فصل تابستان لایه های سطحی جو که در مجاورت سطح زمین قرار دارند تقریباً دمایی برابر با لایه های فوقانی جو داشته و بنابراین جوی پایدارتر نسبت به زمستان

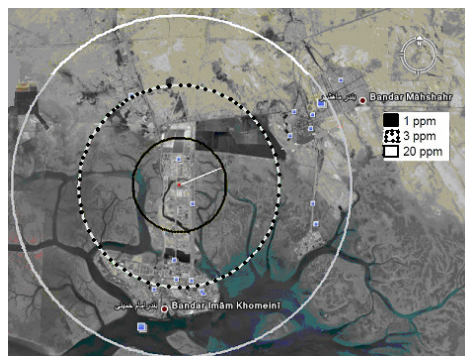
محور عمود بر سطح زمین کم بوده و توده آلودگی در محور افقی گسترش بیشتری پیدا می‌کند [۱۳].

نتایج این مطالعه نشان داد که حریم خطر در سطوح ERPG1-2-3 در انفجار فاجعه بار مخزن در فصل تابستان بیشتر از سناریوی رهایش ناشی از نقص در سیستم اسکرابر بوده و برعکس در فصل زمستان حریم خطر در سطوح ERPG1-2-3 ناشی از نقص در سیستم اسکرابر بیشتر از سناریوی انفجار فاجعه بار مخزن است. (نمودار ۱) بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که رهایش ناگهانی و توده‌ای^۱ (پاف) در تابستان گسترش بیشتری نسبت به رهایش پیوسته^۲ (پلوم) دارد و برعکس در فصل زمستان رهایش به صورت پلوم گسترش بیشتری نسبت به رهایش نوع پاف دارد. ذکر این نکته حائز اهمیت است که گسترش توده پاف در هر دو راستای عمود و افقی از محل رهایش، گسترش نسبتاً یکسانی دارد و در شرایط ناپایداری بیشتر (فصل زمستان) حرکت توده پاف کلر (سناریوی انفجار فاجعه بار مخزن) در راستای عمود بر سطح زمین به دلیل تبادلات جوی عمودی بیشتر در این شرایط، گسترش بیشتری نسبت به پلوم آن (سناریوی نقص سیستم اسکرابر) دارد. این بدان معناست که توده پاف گاز کلر (سناریوی انفجار مخزن) در جو پایدارتر (فصل تابستان) به دلیل عدم وجود تبادلات جوی عمودی گسترش بیشتری در جهت افقی نسبت به پلوم آن (سناریوی نقص سیستم اسکرابر) دارد.

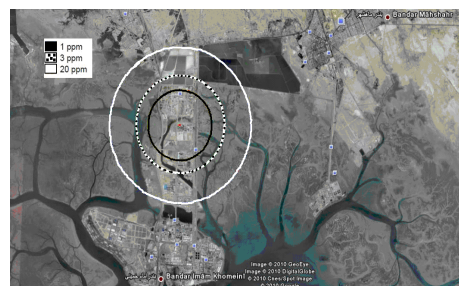
از آنجا که اولین گام در تعیین نیاز تخلیه منطقه تخمین تعداد افراد در معرض خطر می‌باشد تعداد ساکنین در معرض مواجهه با گاز کلر در سناریوهای مختلف رهایش مشخص شد [۱۵].

^۱ رهایش توده‌ای شامل رهایش گاز یا بخارات از یک منبع به صورت ناگهانی می‌باشد به شکلی که توده ای گرد یا کروی از بخار یا گاز در هوا تشکیل شود که معمولاً کل این توده از یک مکان به مکان دیگر حرکت می‌کند.

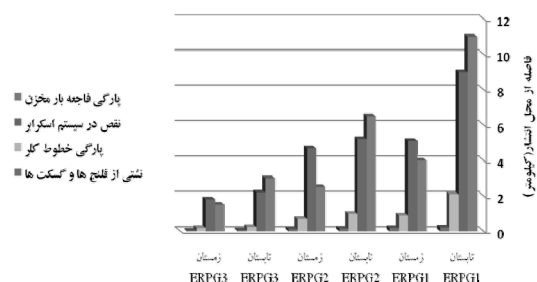
^۲ رهایش پیوسته شامل رهایش گاز یا بخارات از یک منبع به صورت پیوسته می‌باشد به صورتی که آلودگی از محل نشست تا نقاط دورتر امتداد پیدا می‌کند.



شکل ۲- الف- خطوط ERPG1-2-3 در نتیجه انفجار فاجعه بار مخزن حاوی کلر در فصل تابستان

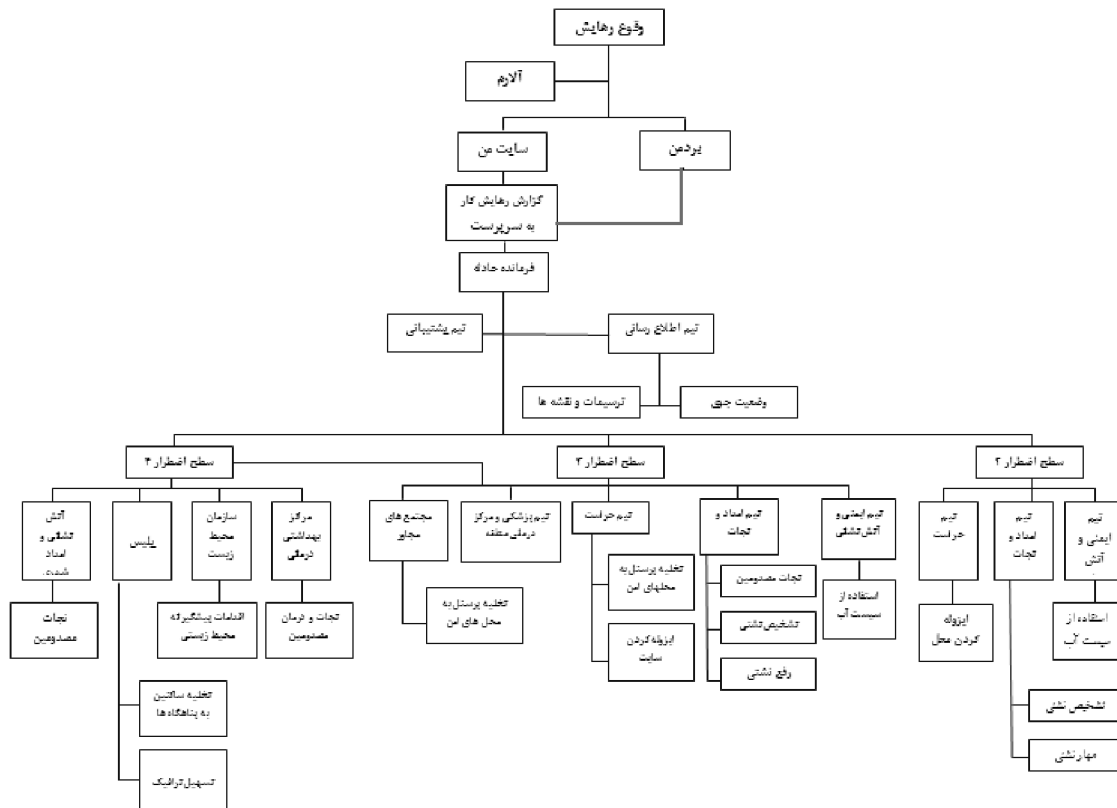


شکل ۲- ب- خطوط ERPG1-2-3 در نتیجه انفجار فاجعه بار مخزن حاوی کلر در فصل زمستان



نمودار ۱- نمودار مقایسه حریم خطر در سطوح ERPG1-2-3 در سناریوهای غیرقابل قبول و نامطلوب رهایش در واحد ذخیره سازی کلر

حاکم است اما در فصل زمستان دمای لایه های نزدیک به زمین که حرارت زمین را که با تابش نور خورشید حاصل شده به خود گرفته‌اند با دمای لایه های فوقانی جو تفاوت بیشتری داشته و بنابراین جوی ناپایدارتر نسبت به تابستان حاکم است و همان‌طور که می‌دانیم در جو پایدارتر میزان گسترش گازهای سنگین بسیار بیشتر از جو ناپایدار است، زیرا حرکت جریان هوا در



شکل ۴. فلودیگرام واکنش در شرایط اضطراری در سطوح اضطرار سناریوهای رهایش غیرقابل قبول و نامطلوب در واحد کلر

صرف بهینه وقت و هزینه، بالاترین اثربخشی لازم را داشته باشد امری الزامی است. سطح اضطرار ۲ برای سناریوی نشتی از فلنج و گسکت در فصول تابستان و زمستان مشخص شد که در این حالت تنها کارکنان در کارخانه مورد مطالعه بایستی از محل تخلیه شوند تا در معرض مواجهه با گاز کلر قرار نگیرند. سطح اضطرار ۳ برای سناریوهای پارگی فاجعه بار مخزن و نقص در سیستم اسکرابر در فصل زمستان و نیز پارگی خطوط کلر در فصول زمستان و تابستان تعیین شد و این بدین معناست که در هنگام رهایش با سناریوهای فوق کلیه ساکنین کارخانجات مجاور باید از منطقه خارج شوند. همچنین اطلاع رسانی به مجتمع‌های اطراف نیز انجام می‌گیرد و تیم پزشکی نیز وارد عمل می‌شود در این مرحله تیم امداد و نجات جهت نجات افراد صدمه دیده نیز وارد عمل می‌شوند. سطح اضطرار ۴ برای سناریوهای پارگی فاجعه بار مخزن و نقص در سیستم

ساکنین در معرض خطر مواجهه با گاز کلر در حد ERPG1 در هنگام انفجار فاجعه بار مخزن و نقص در سیستم اسکرابر در فصل تابستان ۱۷۵۰۰۰ نفر و در فصل زمستان ۱۱۶۰۰ نفر بود. همچنین تعداد افراد در معرض خطر مواجهه در سناریوی پارگی خط کلر در تابستان ۱۱۶۰۰ نفر و در فصل زمستان ۱۷۸۰ نفر بود. سناریوی نشتی از فلنج در فصول تابستان و زمستان تهدید کننده ۳۹۰ نفر از کارکنان اطراف محل نشتی می‌باشد. (جدول ۷) بر طبق مطالعات جاثو جیا هورنگ و همکاران (۲۰۰۵) ساکنین مناطقی که غلظت گاز کلر در آنجا حداکثر تا ۳ ppm (شعاع خطر ERPG2 کلر در جدول) می‌رسد و فرصت فرار به مکان‌های دورتر را ندارند می‌توانند در پناهگاه‌های تعبیه شده در محل با فشار هوای مثبت یا در نقاط مرتفع پناه بگیرند [۱۶]. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که وجود برنامه شرایط اضطراری نه به صورت کلی بلکه به شکلی که با

4- Boppana V Ramabrahmam, G. Swaminathan. Disaster management plan for chemical process industries. Case study: investigation of release of chlorine to atmosphere. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2000; (13): 57-62.

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

6- Tsenga J M, Liub M Y, Chang R H, Sud J L, Shu C M. Emergency response plan of chlorine gas for process plants in Taiwan. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2008; (21): 393-399.

7- Fullwood R Ralph. Probabilistic Safety Assessment in the Chemical and Nuclear Industrie. Elsevier Inc, 2000; P.358.

8- Pandya Nishant, Marsden Eric, Floquet Pascal, Gabas Nadine. Sensitivity analysis of a model for atmospheric dispersion of toxic gases. Institut pour une Culture de Sécurité Industrielle. 2008; 1143-1144.

9- Khan I, Rani J, Abbasi S. Accident simulation as a tool for assessing and controlling environmental risks in chemical process industries: A case study. Korean J Chem Eng. 1998; 15(2): 124-135.

10- Gangopadhyaya R K, Dasa S K, Mukherjee M. Chlorine leakage from bonnet of a valve in a bullet. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 2005. ; 18 : 526-530.

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

12- Center for Chemical Process Safety, Guidelines for Technical Planning for on-site Emergencies, second edition, New York: AIChE, 1995; P. 49.

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

14- Iran meteorological organization, available at www.irimo.ir.

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

16- Horng Jao Jia, Lin Yi Shu, Chi Min Tsai. 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.

اسکراپر در فصل تابستان مشخص شده است زیرا علاوه بر کارکنان منطقه، جامعه مسکونی اطراف (ساکنین شهرهای ماهشهر و بندر امام خمینی و روستاهای اطراف) را نیز در معرض مواجهه با گاز کلر قرار می‌دهد. در این مرحله علاوه بر گروه‌های درگیر در سطح اضطرار ۳ باید مراکز بهداشتی درمانی شهری، پلیس، سازمان محیط زیست و خدمات آتش نشانی و امداد شهری نیز جهت واکنش شرایط اضطراری وارد عرصه شوند. در الگوی ارائه شده (شکل ۴) سعی شده است تا حداقل تیم‌ها و گروه‌های درگیر در برنامه واکنش در شرایط اضطراری شرکت کرده که این امر به افزایش سرعت عمل ایشان به منظور کنترل هرچه سریع‌تر و مؤثرتر شرایط اضطراری کمک می‌کند.

نتیجه گیری

به طور کلی نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد:

۱. بررسی مدل انتشار گاز کلر و تعیین فواصل خطر بر مبنای ERPG1، ERPG2 و ERPG3 به عنوان شاخصی مناسب در تصمیم‌گیری جهت قرار گرفتن سناریوهای ره‌ایش گاز سمی کلر در سطوح اضطرار می‌باشد.
۲. در بررسی سناریوهای انتشار گاز کلر از واحد مخازن ذخیره مشخص شد که امکان بروز سطوح اضطرار ۲، ۳ و ۴ وجود دارد.
۳. سطوح اضطرار مبنای خوبی جهت تصمیم‌گیری در مورد اقدامات و تیم‌های مداخله‌کننده در برنامه واکنش در شرایط اضطراری است.

منابع

- 1- Center for Chemical Process Safety. Guidelines for Technical Planning for on-site Emergencies. New York: AIChE. 1995; P5.
- 2- Franks Andrew. Lines of Defence/Layers of Protection Analysis in the COMAH Context. [2]. Available at. www.hse.gov.uk/research/misc/vectra.
- 3- Guidelines for Technical Planning for on-site Emergencies. Center for Chemical Process Safety. New York: AIChE. 1995; P.4-11.

Evaluation of chlorine dispersion from storage unit in a petrochemical complex to providing an emergency response program

S.B. Mortazavi¹, M. Parsarad², H. Asilian Mahabadi³, A. Khavanin⁴

Received: 2010/10/31

Revised: 2011/01/23

Accepted: 2011/05/11

Abstract

Background and aim: Chlorine gas is a dangerous material that is used in chemical industries. In spite of the attempts for chlorine gas release control, sudden releases still occur in the related installations. Not taking proper emergency measures after chlorine gas dispersion may result in serious harm to health of the personnel and the people residing around the industrial area. The present study considers chlorine gas dispersion scenarios, determines emergency levels and presents an optimized pattern for more effective and faster response with the least required measures for emergency conditions control.

Method: In the present paper by using Hazard and Operability Study (HAZOP) and risk matrix the possible scenarios of chlorine gas dispersion in storage tanks unit of a petrochemical complex were considered. Then the intervals of these scenarios were determined with a view to Emergency Response Planning Guideline 1-2-3. With a view to the intensity of pollution extension and the population exposed to risk the scenarios were classified in the four emergency levels defined by Center for Chemical Process Safety (CCPS). Finally for each class of scenarios with a view to the related emergency level an optimum pattern of response plan in emergency conditions was presented.

Results: On the basis of the results of this study, chlorine gas dispersion scenario of the catastrophic explosion of the tank and scrubber system failure in the summer was classified in emergency level 4, in the winter in emergency level 3, chlorine gas dispersion due to chlorine lines rupture in the summer and winter in emergency level 3 and chlorine gas dispersion due to leakage of flanges and gaskets in emergency level 2 according to emergency levels of CCPS.

Conclusion: The results of this study showed that systematic process risks analysis by use of risks recognition methods such as HAZOP and consequence analysis may have an effective role in recognition of the possible major events. Also by classification of release scenarios in CCPS emergency levels, we can select the best pattern for emergency conditions management.

Keywords: Emergency response Planning, Petrochemical, Chlorine, Emergency Levels.

1. Tarbiyat Modarres University, Occupational Health Department, Tehran, Iran.

2. **Corresponding author**, Tarbiyat Modarres University, Occupational Health Department, Tehran, Iran. motevaghe@yahoo.com

3. Tarbiyat Modarres University, Occupational Health Department, Tehran, Iran.

4. Tarbiyat Modarres University, Occupational Health Department, Tehran, Iran.