دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال پنجم، شماره‌ی ۲۰
پاییز ۱۳۹۳،صفحات۵۲-۴۵

بررسی رهایش مواد شیمیایی ازتأسیسات و تأثیرآن بر محیط‌زیست

یونس عباسی*
گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

ر ضا دهقان‌زاده ریحانی
گروه مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

چکیده
ارزیابی ریسک، شناسایی مخاطرات فرآیندی با استفاده از روش‌های سیستماتیک جهت اطمینان از سطح ایمنی واحدهای فرآیندی امری ضروری است. یکی از مراحل افزایش سطح ایمنی در صنایع شیمیایی، ارزیابی ریسک خطراتی مانند رهایش و پخش مواد شیمیایی در محیط زیست است. مدل‌سازی خطرات موادشیمیایی از جمله نحوه رهایش این مواد، آلودگی محیط زیست در یک واحد فرآیندی از مهم‌ترین مراحل ارزیابی ریسک محسوب می‌شود. مدل‌سازی رهایش مواد، آتش‌سوزی و انفجار توسط نرم‌افزارهایی مانند PHAST انجام می‌گیرد. در این مقاله سناریوی رهایش مواد از فلنج لوله به قطر۴ اینچ، مخزن گازمایع،گازبوتان و تاثیر آن بر محیط زیست پیرامون تاسیسات مورد ارزیابی واقع شد.

کلیدواژه:ارزیابی ریسک، رهایش مواد، آتش‌سوزی، PHAST

*Email: Abbaseiyounes@gmail.com

مقدمه

سال‌هاست از صنعتی شدن بشر می‌گذرد. تجربه واحدهای صنعتی و به‌ویژه شیمیایی نشان داده است که مخاطرات عملیاتی و فرآیندی، جزء لاینفک واحدهای شیمیایی هستند. تعداد انفجارها، حوادث و مخاطرات در ابتدای انقلاب صنعتی به حدی زیاد بود که بشر را به فکر واداشت که به همراه پیشرفت فنّاوری، باید به دنبال افزایش سطح ایمنی واحدها نیز باشد. زیرا در صورت عدم توجه به مسائل ایمنی، شدت مخاطرات بالا و صدمات ناشی از حوادث فرآیندی غیرقابل‌جبران خواهد بود [۱].حوادث فرآیندی و افزایش ظرفیت فرآیندهای شیمیایی، طراحان را بر آن داشت که تا ضمن ایجاد استانداردهای جدید یا اضافه نمودن بندهای جدید به استانداردهای قدیمی، سیستم‌های ایمنی را بررسی، طراحی مجدد و تقویت نمایند. به‌طوری‌که امروزه بر اساس قوانین ایمنی، مهندسان طراح ملزم به رعایت حداقل‌های استاندارد در طراحی دستگاه‌ها و فرآیندهای شیمیایی می‌باشند و در صورت ایجاد حادثه به دلیل عدم رعایت استانداردها، مسئول اصلی حادثه طراح می‌باشد[۲]. بدیهی است در واحدهایی که ماهیت خطرناک‌تری دارند، رعایت مسائل ایمنی در طراحی و بهره‌برداری از واحدها با دقت و جدیت بیش‌تری دنبال می‌شود. در طراحی فرآیندهای شیمیایی و در عمر مفید کارخانه‌ها روش‌ها و استانداردهای ایمنی باید بکار گرفته و اجرا گردد. افزایش ظرفیت واحدها، نتیجه پیشرفت تکنولوژی است ولی پیامد حوادث در واحدهای جدید بدتر از واحدهای قدیمی می‌باشد. به‌عنوان‌مثال فرض کنیم ظرفیت یک واحد الفین قدیمی زیر ۱۰۰ هزار تن در سال و ظرفیت واحد الفین جدیدی، تقریباً ۱۲ برابر ظرفیت واحد قدیمی‌تر باشد (تقریباً بالای ۱/۲ میلیون تن) در صورت بروز حادثه در واحد جدید، پیامد آن ۱۲ برابر بزرگ‌تر از واحد قدیمی خواهد بود. برای جلوگیری از ایجاد مخاطرات، باید ابتدا مخاطرات را شناسایی و سپس ارزیابی نمود[۱].

مواد و روش ها

در این تحقیق پس از مشخص شدن هدف که تجزیه‌وتحلیل مخاطرات فرآیندی ناشی از رهایش مواد قابل اشتعال در واحد تولید و ذخیره گاز مایع شرکت پالایش نفت تبریز می‌باشد، ابتدا به تعریف و شرح واحد موردنظر پرداخته شد و پس‌ازآن با توجه به نتایج تکنیک HAZOPمبنی بر خطرات بالقوه‌ای که پتانسیل رهایش مواد، آتش‌سوزی و انفجار را داشتند شناسایی گردید. جهت ارزیابی کمی ریسک سناریوهایی که احتمال نشت مواد از تجهیزات، آتش‌سوزی و انفجار ، توسط نرم‌افزار PHAST مدل‌سازی گردید.در مراحل اولیه این تحقیق اطلاعات لازم در خصوص برج‌ها، ظروف دریافت‌کننده، لوله‌های فرآیندی و مخازن ذخیره بوتان، پروپان و گاز مایع موردمطالعه ازجمله ابعاد، قطر، ضخامت، جنس، دما و فشار و میزان تولید و غیره، از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی با مراجعه به ادارات بهره‌برداری واحد گاز مایع، عملیات بهره‌برداری مخازن، HSE، مهندسی پالایش و تعمیرات جمع‌آوری گردید. با توجه به ماهیت گازهای بوتان، پروپان و LPG در این پژوهش از منظر اشتعال و انفجار و خطرات مربوطه تحت سناریوهاپیارهگی کامل، نشتی و رهایش مواد در لوله‌های فرآیندی توسط نرم‌افزار PHASTموردبررسی و آنالیز قرار گرفتند که نتایج آنالیز به صورت‌های نوشتاری و منحنی در این مقاله ارائه گردیده است، در ادامه کلیات مراحل تحلیل پیامد ارائه می‌گردد.

مراحل تحلیل پیامد

حوادث واحدهای فرآیندی همواره با یک واقعه آغاز می-شوند. چنین وقایعی می‌تواند شامل ترکیدن و یا شکستن خطوط لوله، سوراخ در مخازن ذخیره و یا وقوع واکنش‌های غیرقابل‌کنترل باشد. این وقایع علاوه بر این‌که با از دست رفتن مواد از منبع ذخیره همراه است، منجر به پخش و گسترش مواد در محیط اطراف محل حادثه می‌گردند. این مواد غالباً دارای خصوصیات مخاطره‌آمیزی مانند سمیت و یا اشتعال‌پذیری می‌باشند که با انتشار آن‌ها احتمال بروز حوادث ثانویه‌ای مانند آتش‌سوزی، مسمومیت و انفجار وجود دارد.

لذا پیش‌بینی رفتار سیال بعد از رهایش و انتشار به‌منظور تخمین پیامدها وصدمات احتمالی امری ضروری است. مراحل تحلیل پیامد در یک واحد فرآیندی به شرح زیر می‌باشد[۳].

انتخاب سناریو

- تحلیل شرایط مؤثر بر سناریوی انتخاب‌شده

-مدل‌سازی حوادثی که در اثربه وقوع پیوستن سناریو ایجاد می‌گردد.

-تحلیل نتایج، نتیجه‌گیری و در صورت امکان ارائه راهکار

انتخاب سناریو

در مرحله اول سناریوها یا حوادثی که عواقب آن‌ها موردتوجه است، انتخاب می‌شوند. با توجه به شکل ۱، سناریو: حادثه یا ترکیبی از حوادث است که وقوع آن منجر به تولید مخاطرات فرآیندی چون آتش، انفجار یا رهایی مواد سمی می‌شود. کلیدی‌ترین مرحله در ارزیابی پیامد، همین گام نخست است. چراکه برگزیدن سناریوهای قابل‌اعتنا از بین تعداد بسیار زیادی گزینه، باعث کاهش زمان و حجم محاسبات می‌گردد. در حالت کلی سناریوها به دودسته تقسیم می‌شوند.

-سناریوی بدترین حالت[۱] : سناریوی است که در صورت وقوع، شدیدترین و بیش‌ترین مقدار خسارت به افراد و یا تجهیزات وارد می‌شود.

-سایر سناریوهای انتشار[۲] :احتمال وقوع سایر سناریوهای انتشار به سناریوهای بدترین حالت بیش‌تر بوده ولی عواقب و پیامدهای ناشی ازرخداد آن‌ها به‌مراتب کم‌تر از سناریوی دسته اول می‌باشند.

تجهیزات و وسایلی که جهت انتخاب سناریو مناسب هستند به شرح زیر می‌باشد.

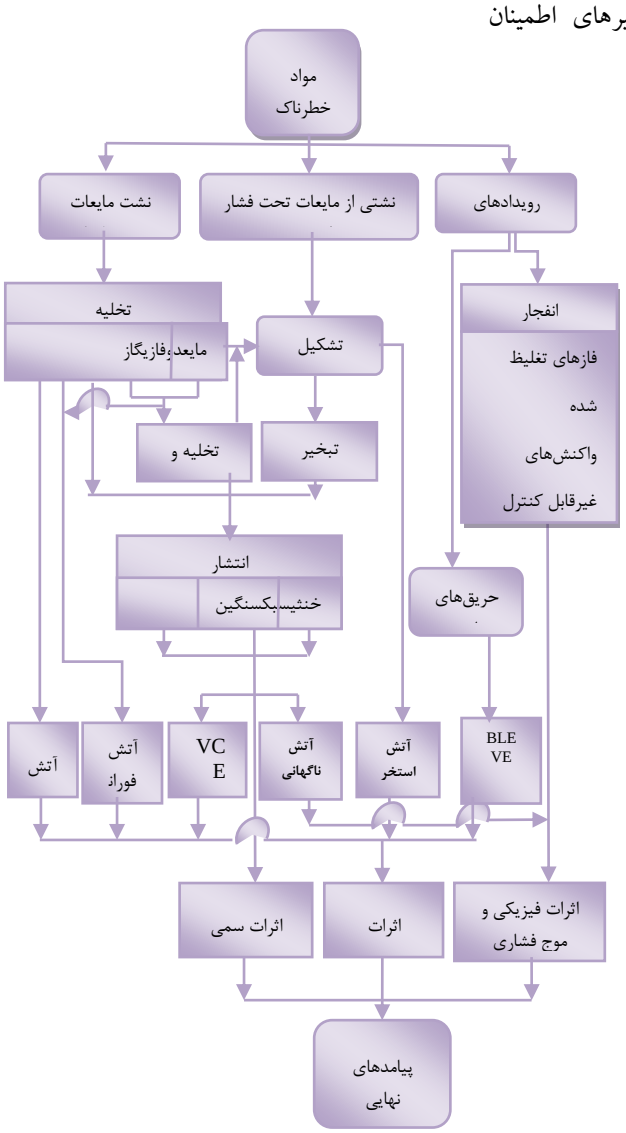
سیستم‌های نقل‌وانتقال مواد در واحد فرآیندی:

- خطوط لوله، فلنج‌ها، پمپ‌ها، شیرآلات و اتصالات

مخازن ذخیره مواد سمی و قابل اشتعال

- تجهیزاتی که با دما و فشار بالا کار می‌کنند: راکتورها، مبدل‌های حرارتی، برج‌های تحت خلأ و مخازن تحت‌فشار

- سیستم‌های تخلیه اضطراری مانندیسک‌های پاره شدنی و شیرهای اطمینان



شکل ۱: سناریوهای مختلف و پیامدهای ناشی از آن‌ها [۶]

تحلیل شرایط مؤثر بر سناریوی انتخاب‌شده

در این مرحله سعی می‌شود تمام شرایط فیزیکی تأثیرگذار بر حادثه شناسایی شود. یعنی برای هر یک از سناریوها به‌طور جداگانه، عواملی که بر چگونگی شکل‌گیری و پیشرفت آن مؤثرند، باید مشخص شوند. برای مثال اگر سناریو موردمطالعه نشت ماده شیمیایی از سوراخ ایجادشده در جداره یک مخزن نگهداری باشد، قبل از سعی در پیش‌بینی چگونگی رهایی و اثرات آن باید تمامی عوامل تأثیرگذار در این فرآیند بررسی

[۱] Worst Case Scenario
[۲] Alternative Release Scenario

شود. در این سناریو چگالی ماده رهاشده نسبت به هوا، دمای انتشار، دمای محیط و نیز سرعت رهایش ازجمله عوامل مؤثر هستند. کشف و در نظر گرفتن این عوامل، کمک به برگزیدن مدل مناسب برای شبیه‌سازی حادثه در مرحله بعد می‌کند.

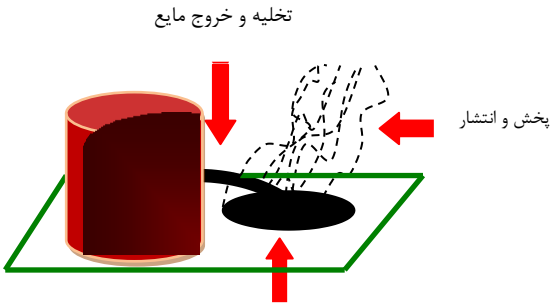
مدل‌سازی حوادثی که در اثربه وقوع پیوستن سناریو ایجاد می‌گردد

به‌وسیله مدل‌های ریاضی، توالی رخدادهای پس از وقوع یک سناریو پیش‌بینی می‌شوند. از نتایج حاصله در این مرحله در مرحله بعد می‌توان برای تخمین پیامدها و خسارات استفاده کرد. پس از انتخاب سناریوهای منطقی، مهم‌ترین عامل در انجام صحیح ارزیابی پیامد، برگزیدن مدلی صحیح است که بتواند تا حد امکان، حادثه را نزدیک به حالتی که در واقعیت رخ می‌دهد شبیه‌سازی کند.

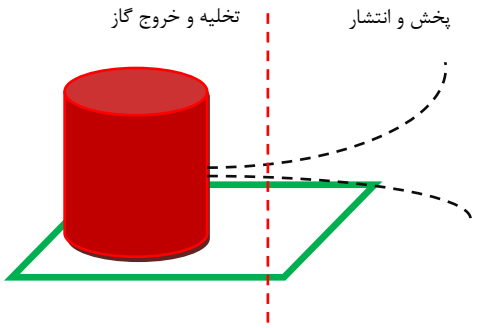
اکثر سناریوها به‌صورت خروج یک ماده خطرناک از یک منبع در اثر ایجاد یک نشتی و یا پارگی در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین در ابتدا و با توجه به شرایط حاکم، مدلی برای پیش‌بینی چگونگی رهایش آن از منبع باید انتخاب شود. پس از رهایش، انتشار صورت می‌گیرد. برای شبیه‌سازی این مرحله نیز مدل‌های شناخته‌شده‌ای وجود دارد. در این مدل‌ها تأثیر عواملی چون پایداری جو و وزش باد، منظور می‌شوند. به‌وسیله این مدل‌ها توزیع غلظت ماده رهاشده نسبت به مسافت از منبع انتشار محاسبه می‌شود. اکثر مدل‌های موجود پیچیده و شامل محاسباتی بسیار زمان‌بر هستند، لذا در این مرحله تمایل بسیاری نسبت به استفاده از نرم‌افزارهای موجود برای مدل‌سازی، وجود دارد. ازجمله این نرم‌افزارها می‌توان به نرم‌افزار PHAST اشاره کرد که توانایی مدل‌سازی رهایش مواد و حوادث ناشی از آن‌ها رادارند.بروز یک حادثه منجر به آزاد شدن مقداری از مواد شیمیایی به محیط می‌گردد. علاوه بر نوع حادثه‌ای که منجر به خروج مواد از تجهیزات فرایندی شده است، عوامل مختلف دیگری بر شکل‌گیری پیامدهای نهاییمؤثرند. با توجه به مراحل مختلفی که یک ماده از زمان شروع تخلیه تا زمان وقوع پیامد مخرب نهایی طی می‌کند، می‌توان حادثه موردنظر را مدل‌سازی کرد.

مدل‌سازی تخلیه و انتشار مواد در محیط زیست

مراحل انتشار گازها و مایعات اندکی باهم تفاوت دارد. رهایش مایعات شامل سه مرحله تخلیه و خروج مایع از منبع انتشار، تشکیل حوضچه و تبخیر و انتشار مایع تخلیه‌شده می‌باشد.درحالی‌که رهایش گازها در محیط شامل مراحل تخلیه و رهایش گاز از منبع انتشار و پخش و انتشار گاز می‌باشد. در شکل‌های ۲ و ۳ این مراحل نشان داده‌شده است [۷].



شکل۲: مراحلپخشوگسترشمایعاتدرمحیط زیست



شکل۳: مراحل پخش و گسترش گازها در محیط زیست

با توجه به جدول ۱، به‌منظور درک رفتار سیال پس از رهایش و پیش‌بینی چگونگی توزیع سیال منتشرشده ضروری است تا فرآیند تخلیه مواد مدل‌سازی شود. برای آگاهی از پیامدهای انتشار یک سیال باید روند انتشار، غلظت مواد و رفتار ترمودینامیکی سیال قابل پیش‌بینی باشد [۸].جهت مدل‌سازی تخلیه مواد نیاز به یک مدل تخلیه جرمی مناسب است که همراه با موازنه جرم بتواند جرم باقیمانده در دستگاه و یا مخزن حادثه‌دیده را تعیین نماید. مدل‌های تخلیه مواد توانایی پیش‌بینی شدت و سرعت تخلیه مواد، مقدار کل ماده

پخش‌شده و حالت فیزیکی ماده در هنگام تخلیه رادارند. شدت تخلیه مواد تابعی از زمان می‌باشد و در اکثر مواقع باگذشت زمان کاهش می‌یابد. از طرفی دما و فشار فرآیندی نیز باگذشت زمان دائماً در حال تغییر می‌باشد، لذا برای در نظر گرفتن تأثیرات این پارامترها در چگونگی رهایش مواد نیاز به مدل‌های بسیار پیچیده‌ای می‌باشد[۶]،[۹].

جدول ۱: فاز سیالات در زمان تخلیه از مخزن به محیط زیست

فاز سیال در شرایط فرآیندی	فاز سیال در دمای محیط	فاز نهایی سیال برای مدل‌سازی
گاز	گاز	گاز
گاز	مایع	گاز
مایع	گاز	گاز جز این‌که نقطه‌جوش ماده در محیط کم‌تر از ۸۰ درجه فارنهایت باشد
		مایع جز این‌که نقطه‌جوش ماده در محیط بیش‌تر از ۸۰ درجه فارنهایت باشد
مایع	مایع	مایع

رهایش و پخش مواد شیمیایی به محیط بیرون یکی از مخاطرات عمده در صنایع شیمیایی می‌باشد. مخاطرات مربوط به مواد سمی به دو فاکتور مهم میزان سمیت مواد و مدت‌زمان استنشاق و تماس با آن‌ها وابسته است. جهت ارزیابی اثرات سمیت مواد معیارها و پارامترهای گوناگونی وجود دارد. در ارتباط با چگونگی ارزیابی خسارت‌هایی که افراد در اثر تماس با مواد سمی به آن دچار می‌شوند روابط و پارامترهای از پیش تعریف‌شده‌ای وجود دارد که با استفاده از آن‌ها می‌توان درجه خسارت را معین نمود. یکی از مهم‌ترینین معیارها،ERPG[1]می‌باشد که در جدول ۲ شرح داده‌شده است [۶]،[۹].

تحلیل نتایج، نتیجه‌گیری و در صورت امکان ارائه راه‌کار

بر اساس نتایج خروجی از مدل و سنجیدن آن‌ها با معیارهای موجود، شدت آسیب‌رسانی حادثه مشخص می‌شود. برای مثال فشار ایجادشده در اثر انفجار یا میزان تشعشع حرارتی رسیده در اثر آتش، برای نقاط با فواصلمختلف از مبدأ [۱]حادثه، که از مدل‌سازی منتج شد، با مقادیر مجاز یا قابل‌تحمل که در مراجع وجود دارد،مقایسه می‌شود.

جدول ۲:سطوح مختلف ERPG

ERPG-1	حداکثر میزان غلظتقابل‌تنفسی که هیچ‌یک از افراد در معرض قرارگرفته برای مدت‌زمان یک ساعت دچار هیچ‌گونه آسیبی نشوند. ازجمله حوادث زودگذر و یا استنشاق واضح بوی این مواد اشاره کرد.
ERPG-2	حداکثر میزان غلظت قابل‌تنفسی است که هیچ‌یک از افراد در معرض قرارگرفته برای مدت‌زمان یک ساعت دچار آسیب برگشت‌ناپذیری نشوند. یا آنکه آسیب‌ها و نشانه‌های در معرض قرارگیری به‌گونه‌ای نباشد که در توانایی‌های فردی برای کارهای حفاظت شخصی خللی ایجاد کند.
ERPG-3	حداکثر میزان غلظت قابل‌تنفسی است که جان هیچ‌یک از افراد در معرض قرارگرفته برای مدت‌زمان یک ساعت به خطر نیفتد.

هم‌چنین درصورتی‌که سناریو موردبررسی انتشار یک ماده سمی در محیط باشد، توزیع غلظت ماده منتشرشده در فواصل مختلف، با آستانه سمیت آن ماده مقایسه شده و محدوده خطر مشخص می‌شود.

[۱] Emergency Response Planning Guideline

یافته‌ها

شرایط جوی منطقه

عوامل جوی هریک به‌گونه‌ای سبب ایجاد تغییر در رفتار انتشار مواد می‌گردند، مهم‌ترین عوامل جوی مؤثر در انتشار مواد شامل دمای محیط، سرعت، جهت باد و پایداری جوی می‌باشند. شرایط آب و هوایی این منطقه به شرح جدول ۳ که از سایت هواشناسی تبریز اقتباس‌شده است مورداستفاده قرار گرفت.

جدول ۳: شرایط آب و هوایی منطقه

شرایط آب و هوایی مربوط به بازه زمانی شش‌ماهه اول سال		واحد
دما	۲۱	C
رطوبت	۴۳	٪
سرعت باد	۱۲	m/sec
پایداری جوی	C	–
شرایط آب و هوایی مربوط به بازه زمانی شش‌ماهه دوم سال		–
دما	۴	C
رطوبت	۶۲	٪
سرعت باد	۸	m/sec
پایداری جوی	D	–

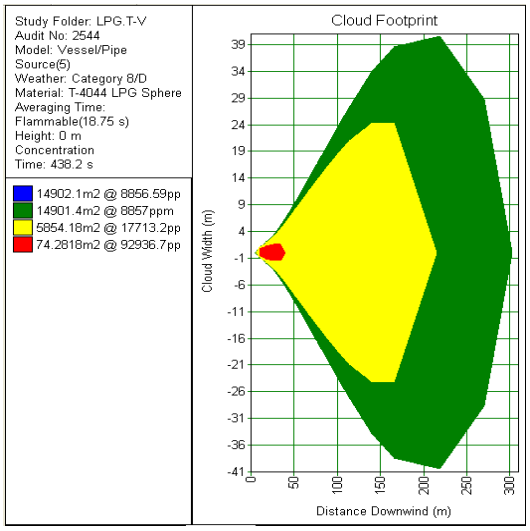
اطلاعات مربوط به سناریو و شرایط عملیات

در این بخش از مقاله با توجه به اهمیت و خطر واحد گاز مایع پالایشگاه نفت تبریز، یکی از سناریوهایی که از احتمال وقوع بیش‌تر برخوردار است به شرح جدول (۴) مدل‌سازی و مورد آنالیز قرار گرفتند. در ادامه به بررسی و آنالیز هر یک از این سناریوها در شکل‌های ۵ تا ۹ پرداخته می‌شود.

جدول ۴:سناریوهای انتخاب‌شده

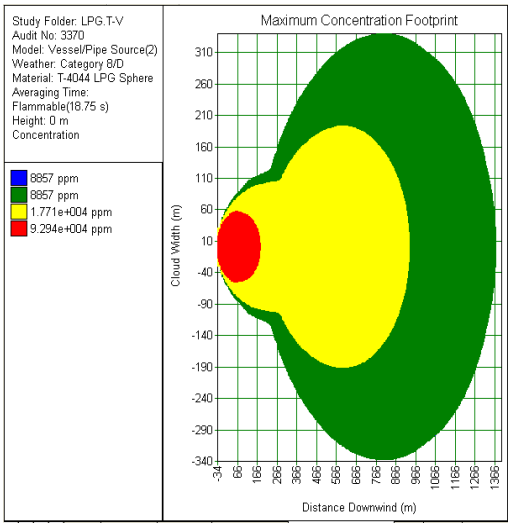
سناریو	نوع سناریو	شرح سناریو	حجم	ترکیب جریان سیال
۱	رهایش	رهایش مواد از لوله ۴ اینچی مخزن گاز مایع	–	C_3H_8, C_4H_{10}, C_5H_{12}
۲	رهایش	رهایش مواد از مخزن گاز مایع در اثر ترکیدگی	۶۳۶m^3	C_3H_8, C_4H_{10}, C_5H_{12}
۳	رهایش	رهایش مواد از مخزن گاز بوتان در اثر ترکیدگی	۲۲۲۶m^3	C_3H_8, C_4H_{10}

نتایج رهایش مواد از لوله ۴ اینچی مخزن گاز مایع



شکل ۴:ارتفاع ابر گازی تشکیل یافتهناشی ازرهایش مواد از لوله ۴ اینچی مربوط به مخزن گاز مایع به مدت ۱۰ دقیقه

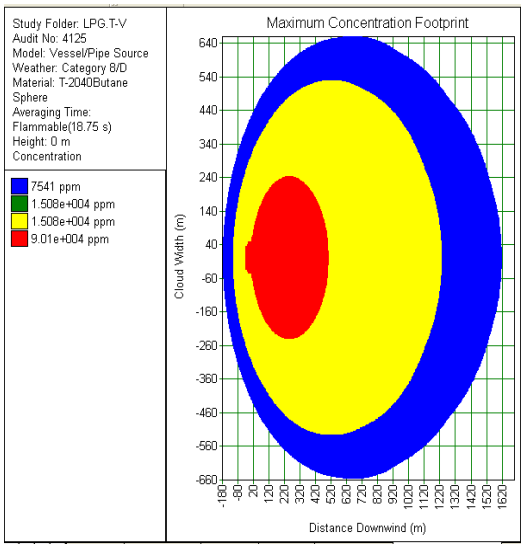
نتایج رهایش مواد از مخزن گاز مایع در اثرترکیدگی



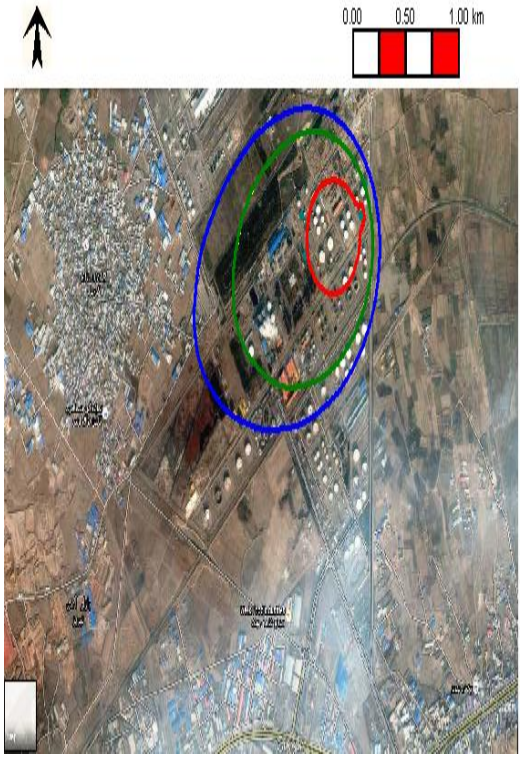
شکل ۵:تاثیر بیش‌ترین غلظت ابر گازی تشکیل یافته ناشی از ترکیدگی مخزن گاز مایع

شکل ۶: تاثیر بیش‌ترین غلظت ابر گازی تشکیل یافته ناشی از ترکیدگی مخزن گاز مایع و تاثیر آن بر محیط زیست و پالایشگاه

نتایج رهایش مواد از مخزن گاز بوتان در اثر ترکیدگی



شکل ۷:تاثیر بیش‌ترین غلظت ابر گازی تشکیل یافته ناشی از ترکیدگی مخزن گاز بوتان



شکل ۸: تاثیر بیش‌ترین غلظت ابر گازی تشکیل یافته ناشی از ترکیدگی مخزن گازبوتان و تاثیر آن بر محیط زیست و پالایشگاه

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به شکل ۴، در صورت رهایش گاز در محیط به مدت ۱۰ دقیقه از لوله ۴ اینچی مخزن گاز مایع، می‌تواند ناحیه‌ای به مساحت ۱۴۹۰۲ مترمربع را با غلظت۸۸۵۶/۵۹ ppmتحت پوشش خود قرار داده و

آلوده کند. هم‌چنین با توجه به شکل‌های ۵ و۷ در خصوص رهایش گاز از مخازن ذخیره گاز مایع و گاز بوتان در اثر ترکیدگی مخزن به ترتیب می‌توانند مناطقی به مساحت ۶۶۴۸۳۲ مترمربع را با غلظت ۸۸۵۷ppm و در رهایش از مخزن گاز بوتان ناحیه‌ای به مساحت ۱۶۷۸۶۴۴ مترمربع را با غلظت ۷۵۴۱ppm تحت پوشش ابر گازی خود قرار داده و این ناحیه را آلوده کند. در تصاویر ۶ و۸ ناحیه‌هایی با غلظت‌های متفاوت با ترکیب رنگ‌های قرمز (بیش‌ترین غلظت آلودگی)، سبز و آبی (کم‌ترین غلظت آلودگی) و تمامی فضای سبز، ساختمان‌ها و تاسیساتی که در پوشش این ابر گازی و در معرض آلودگی قرار دارند مشاهده می‌شود و با توجه به اشتعال این توده گازی، تمامی فضای سبز، هم‌چنین قسمتی ساختمان‌ها و از تاسیساتی که در معرض این ابر گازی قرار دارند از بین خواهند رفت.

از دیدگاه زیست محیطی استفاده ازLPG به صورت استاندارد دارای کم‌ترین چرخه حیات انتشار گازهای گل‌خانه‌ای در مقایسه با سایر سوخت‌های تجاری است. پتانسیل کاهش اوزون با استفاده از این سوخت به نصف بنزین کاهش می‌یابد، هم‌چنین انتشار هیدروکربن‌های نسوخته ۱/۳ اکسیدهای نیتروژن ۲۰٪، منواکسید کربن ۶۰٪ در مقایسه با بنزین کاهش می‌یابد.ازآن‌جا که گازمایع حاوی پروپان می‌باشد که سنگین‌تر از هواست و در صورت نشت، به‌صورت لکه روی سطح زمین باقی مانده و در آب‌های زیرزمینی نیز نفوذ می‌کند. امکان شعله ور شدن آن روی سطح زمین نیز هست. لذا از این حیث باید در حمل و نقل و حین استفاده، نهایت دقت در جلوگیری از نشتLPGصورت گیرد[۱۱].

منابع

[۱] گوگل، م.، شناسایی مخاطرات HAZOP و آنالیز کیفی ریسک در صنایع فرآیندی توسط نرم‌افزارPHA-PRO.، تهران, دانش گران صنعت پژوه، چاپ اول, ۱۳۸۴.

[۲] گوهر رخی، م.، ترابی، م.، اکبری، ف.، گلعذاری، ف. ، ارزیابی کمی و کیفی ریسک در واحدهای فرآیندی، تهران، دانشگران صنعت پژوه، چاپ اول،۱۳۸۸.

[۳] عبدالحمیدزاده، بهمن.، هاشمی، وحید.، دستورالعمل روش آنالیز پیامد و استفاده ازآن در مدیریت ریسک .، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی ونفت، مرکزطراحی فرآیند، ایمنی وکاهش ضایعات.

[4] Mannan, S., Lees, L.,2005, Loss Prevention in the Process Industries, Hazard identification, assessment and control., Elsevier, Third edition, Oxford.

[5] American Institute of Chemical Engineers (AIChE), Guidelines for Chemical Process, Quantitative Risk Analysis, Second edition, New York, 2000.

[6] Lees, F.P.,1996, Loss Prevention in the Process Industries,Butterworth- Heinemann Wobourn; MA;Vol. 3.

[7] Doe Handbook ,Temporary Emergency Exposure Limits for Chemicals: Methods and Paractice US, Department of Energy, DOE-HDBK-1046-2008.

[8] Consequence Analysis API Recommendations,MieezyslawBorysiewicz"MAHNAZ".

[9] Det Norske veritas; QRA training course, module 10,Consequences modeling,2004.

[10] Intrnational Association of Oil and Gas Producer (OGP), Process Release Frequency, Risk Assessment Data Directory, Report NO 433-7, March 2010.

[11] http://www.daneshju.ir