Archive of SID

تحلیل ریسک‌پذیری مخازن آمونیاک

داود رشتچیان*+

تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، مرکز طراحی فرایند، ایمنی و کاهش ضایعات، صندوق پستی ۹۴۶۵ - ۱۱۳۶۵

احمد لک

بوشهر، دانشگاه خلیج فارس، دانشکده مهندسی، کد پستی ۱۳۷۹۸ - ۷۵۱۶۹

چکیده: یکی از ضروری‌ترین و اصلی‌ترین مراحل برای افزایش سطح ایمنی در واحدهای موجود یا در حال طراحی، ارزیابی ریسک خطرهایی همچون رها شدن مواد شیمیایی در محیط است. این خطرها ممکن است در اثر خطاهای انسانی و یا نقص تجهیزات به وجود آید. در این تحقیق، به کلیات ارزیابی ریسک و نحوه اعمال آن، که شامل مراحلی همچون شناسایی خطرهای احتمالی در یک فرایند، مدل‌سازی خطرهای محتمل مانند آتش‌سوزی، انفجار و یا پیامدهای مربوط به سمیت مواد، محاسبه ریسک و بررسی میزان آن است، پرداخته شده است. به‌منظور آشنایی بیشتر با نحوه اعمال ارزیابی ریسک، مراحل انجام آن بر مخزن آمونیاک یکی از مجتمع‌های پتروشیمی کشور، به همراه مدل‌سازی پیامدهای خطرهای مربوط به کمک نرم‌افزار PHAST که از قوی‌ترین نرم‌افزارها در زمینه مدل‌سازی پیامدها می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: ایمنی، ارزیابی ریسک، مدل‌سازی پیامد، انفجار، مخازن آمونیاک.

KEY WORDS: *Safety, Risk assessment, Consequence modeling, Explosion, Ammonia storage tanks.*

مقدمه

یکی از مسایل مهمی که در ایمنی صنایع فرایندی مطرح است، تصمیم‌گیری در مورد اقتصادی بودن یا اقتصادی نبودن سرمایه‌گذاری برای ایمن‌کردن فرایند است. به بیان دیگر، با توجه به تعداد زیاد حوادث محتمل در یک واحد فرایندی و نیز محدود بودن بودجه، تعیین معیاری برای تصمیم‌گیری و اولویت بندی ضروری به نظر می‌رسد.

به طبع ابعاد حوادث محتمل در یک واحد، یعنی میزان و شدت تاثیر آنها بر انسان، تجهیزات و محیط زیست، عامل مهمی است که در این باره مطرح می‌شود. ولی ابعاد بزرگ حادثه به معنی حتمی بودن آن نیست. زیرا در بیشتر موردها ابعاد حادثه با احتمال وقوع آن نسبت عکس دارد.

میزان ریسک می‌تواند ابعاد حادثه و احتمال وقوع آن‌را یک‌جا نشان دهد و به همین دلیل است که امروزه در ایمنی صنعتی، تصمیم‌گیری بر مبنای مدیریت و ارزیابی ریسک انجام می‌شود. ارزیابی ریسک در صنایع شیمیایی، روشی است برای مدیریت بهتر و کارآمدتر ایمنی در این صنایع.

ارزیابی ریسک، ابتدا به‌منظور بررسی ایمنی صنایع الکترونیکی و هسته‌ای مورد استفاده قرار گرفت و در اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی در صنایع شیمیایی نیز بسط داده شد. ریسک یک حادثه معیاری است از خسارات وارده بر انسان، محیط زیست یا تجهیزات بر اثر رخ‌دادن آن حادثه به گونه‌ای که هم تابع احتمال رخ دادن آن حادثه و هم تابع شدت آسیب‌های وارده ناشی از آن باشد.

*عهده دار مکاتبات

+E-mail:rashtchian@sharif.edu

www.SID.ir

Archive of SID

اکنون پس از آشنایی با مفهوم ریسک، به معرفی مراحل کلی ارزیابی ریسک پرداخته می‌شود. این مراحل به صورت شماتیک در شکل ۱ آورده شده است.

همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، نخستین مرحله از مراحل ارزیابی ریسک شناسایی خطرهای احتمالی است که ممکن است در یک فرایند ایجاد شود. این خطرها بیشتر شامل خراب شدن تجهیزاتی از فرایند است که می‌تواند باعث ایجاد خطرهایی همچون صدمه به تجهیزات دیگر، اتلاف و یا رها شدن مواد در محیط شود.

روش‌های متداولی که برای تعیین مخاطرات احتمالی فرایند استفاده می‌شود تکنیک HAZOP[1]، What-if و Checklist است. پس از تعیین مخاطرات احتمالی، نوبت به تحلیل پیامدها و بررسی شدت آن مخاطرات می‌رسد که نیاز به تعریف دقیق‌تر حوادث احتمالی و مدل‌سازی آن دارد.

به عنوان مثال، اگر یکی از مخاطرات فرایند، نشت ماده‌ای سمی از یک مخزن باشد تعریف دقیق‌تر این حادثه با شرایط عملیاتی و میزان ماده آزاد شده در محیط میسر می‌شود.

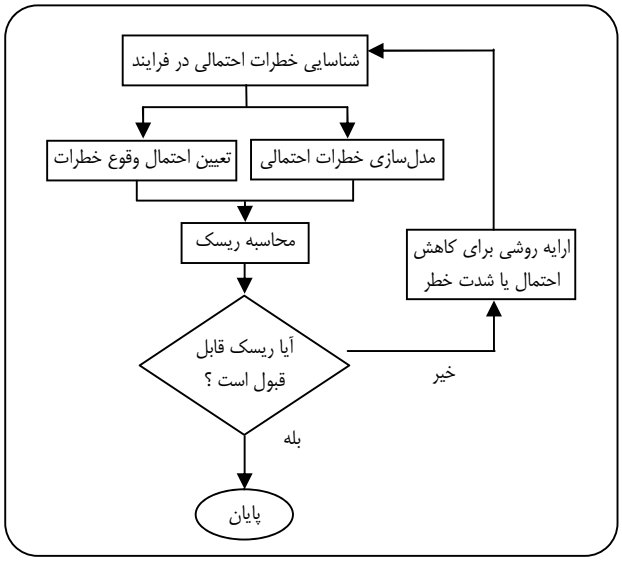
مرحله بعد که به‌صورت موازی با تحلیل پیامدها انجام می‌گیرد، محاسبه احتمال وقوع آن حادثه است. با مشخص شدن این دو پارامتر یعنی شدت وقوع پیامد و احتمال آن می‌توان به محاسبه ریسک پرداخت و با توجه به مقدار و مقایسه آن با معیارهای ریسک، بررسی کرد که آیا ریسک قابل قبول است یا خیر که در ادامه، بخش‌های ذکر شده بیشتر شرح داده خواهد شد.

پیامدهای ناشی از رها شدن مواد در محیط و معیارهای محاسبه شدت آنها

پیامدهای ناشی از رها شدن یک ماده را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد [۲] :

الف ـ ایجاد آتش سوزی، ب ـ ایجاد انفجار، ج ـ آثار مربوط به سمیت مواد رها شده در محیط.

به طور معمول شدت پیامدهای یک حادثه بر اساس تعداد تلفاتی که ایجاد می‌کند بیان می‌شود. در ادامه به معرفی این پیامدها پرداخته می‌شود :



شکل ۱ـ مراحل ارزیابی ریسک [۱].

الف ـ ایجاد آتش‌سوزی

نخستین مورد از مخاطرات عمده در صنایع فرایندی، آتش است. یک گاز اشتعال پذیر تنها در صورتی در هوا مشتعل می‌شود که غلظت آن در محدوه معینی باشد. در غلظت‌های کم‌تر از یک حد مشخص که آن‌را حد پایینی اشتعال پذیری (LFL)[2] می‌گویند، مخلوط برای اشتعال رقیق است و اگر غلظت از حد مشخصی که آن‌را حد بالایی اشتعال پذیری (UFL)[3] می‌گویند بیشتر شود، میزان اکسیژن برای ایجاد اشتعال کافی نیست. غلظت بین این دو حد که به طور معمول به صورت درصد حجمی یا غلظت نشان داده می‌شوند برای ایجاد اشتعال مناسب است.

آتش، انواع گوناگونی دارد که از مهم‌ترین انواع آن می‌توان آتش استخری که بر اثر اشتعال حوضچه حاصل شده از رها شدن یک مایع اشتعال پذیر تشکیل می‌شود و جت آتش که بر اثر اشتعال جت ناشی از خروج گاز تحت فشار از یک روزنه ایجاد می‌شود را نام برد.

آثار و پیامدهای آتش هم شامل آسیب به انسان‌ها و هم آسیب به تجهیزات می‌شود و سهم عمده این آسیب بر اثر انتقال حرارت به روش تشعشع می‌باشد. در جدول ۱ خلاصه‌ای از مقدارهای تشعشع حاصل از یک آتش سوزی و پیامدهای آن مشاهده می‌شود. به کمک این جدول می‌توان شدت پیامدهای یک آتش سوزی اعم از آتش استخری و جت آتش را ارزیابی کرد.

(۱) Hazard and operability study

(۲) Lower flammability limit

(۳) Upper flammability limit

www.SID.ir

Archive of SID

ب ـ انفجار

دومین مورد از خطرهای عمده موجود در صنایع فرایندی پس از آتش، انفجار است. انفجار، آزاد شدن ناگهانی و شدید انرژی است. شدت انفجار تابع میزان انرژی آزاد شده است. انفجار باعث ایجاد موج شوکی می‌شود که به اطراف گسترش پیدا می‌کند و در هر نقطه باعث بالا رفتن فشار می‌شود. پیامدهای انفجار بر اساس این موج شوک ایجاد شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. نکته قابل توجه در انفجار ابر ایجاد شده از رها شدن مواد در محیط این است که قسمتی از این ابر در انفجار شرکت می‌کند که غلظت ماده موجود در آن بین حدهای پایین و بالای اشتعال‌پذیری باشد. در جدول ۲ برخی از پیامدهای ناشی از موج انفجار بر حسب افزایش فشار ایجاد شده در محل ارایه شده است.

ج ـ آثار مربوط به سمیت مواد رها شده در محیط

یکی از خطرهایی که رها شدن مواد در محیط می‌تواند ایجاد کند، حوادث ناشی از سمی بودن مواد است که اغلب پیامدهای آن ناشی از تنفس بیش از اندازه‌ی آنهاست. در بررسی پیامدهای ناشی از تنفس مواد سمی، دو عامل تاثیرگذار هستند. اول غلظتی از ماده که استشمام می‌شود و دوم مدت زمان استشمام آن است. یکی از معیارهای مورد استفاده در ارزیابی اثر مواد سمی، معیار ERPG[1] است. این معیار دارای سه سطح متفاوت است که در جدول ۳ شرح داده شده است. یکی دیگر از روش‌های ارزیابی پیامد استنشاق مواد سمی روش Probit[2] می‌باشد که با معادله‌ی (۱) محاسبه می‌شود:

$$Y = K_1 + K_2 \cdot \ln(C^n \cdot t) \qquad (1)$$

Y: مقدار Probit

C: غلظت ماده سمی (ppm)

t: مدت زمان مواجهه با ماده سمی (min)

K_1 ، K_2 و n : مقدارهای ثابت که تابع نوع ماده است.

در جدول ۴ مقدارهای K_1 ، K_2 و n برای تعدادی از مواد آورده شده است [۴].

مقدار Probit عددی بین ۰ و ۸ می‌باشد و هرچه این عدد بزرگ‌تر باشد، احتمال مرگ و میر بیشتر است. رابطه بین Probit و احتمال مرگ و میر در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱ـ پیامدهای مربوط به سطوح متفاوت تشعشع [۲].

میزان تشعشع (kW/m^2)	پیامدها
۳۷/۵	تشعشع بیشتر از این مقدار برای آسیب رساندن به تجهیزات کافی است و در صورت رسیدن این سطح تشعشع به انسان، موجب مرگ آنی می‌شود.
۲۰	رسیدن این سطح تشعشع به انسان موجب آسیب شدید می‌شود و اگر تیم نجات نرسد موجب مرگ می‌شود.
۴	حد آستانه درد به گونه‌ای که شخص توانایی فرار را دارد.

جدول ۲ـ پیامدهای مربوط به سطوح مختلف افزایش فشار ناشی از انفجار [۲].

میزان افزایش فشار (psig)	پیامد
۰/۷	خسارات جزیی به ساختمان‌ها
۲/۳	حد آستانه برای آسیب‌دیدگی جدی ساختمان
۳ـ۴	آسیب‌دیدگی مخازن

جدول ۳ـ برخی از معیارهای میزان مجاز در معرض قرارگیری با مواد شیمیایی [۳].

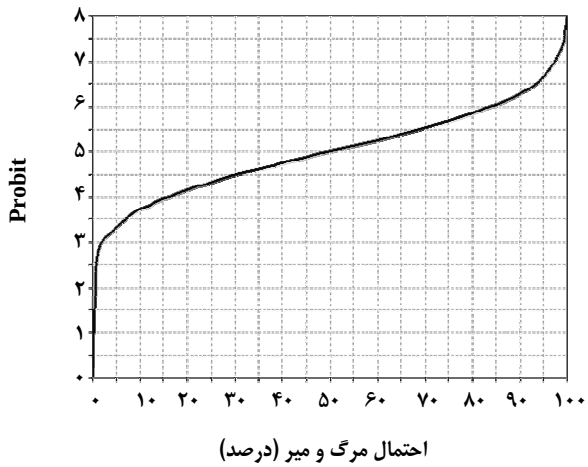
معیار	پیامد
ERPG-۱	بیشترین مقدار غلظت ماده شیمیایی در هواست که همه افراد می‌توانند به مدت یک ساعت در معرض آن قرارگیرند بدون این‌که مزاحمتی برای آنها ایجاد کند یا بوی ناخوشایندی داشته باشد.
ERPG-۲	بیشترین مقدار غلظت ماده شیمیایی در هواست که همه افراد می‌توانند به مدت یک ساعت در معرض آن قرارگیرند بدون این‌که آسیب جدی یا غیر قابل جبران ببینند یا نتوانند اقدامات ایمنی را انجام دهند.
ERPG-۳	بیشترین مقدار غلظت ماده شیمیایی در هواست که همه افراد می‌توانند به مدت یک ساعت در معرض آن قرارگیرند بدون این‌که زندگی آنها تهدید شود.

(۱) Emergency response planning guidelines

(۲) Probability unit

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲ـ نمودار Probit بر حسب احتمال مرگ و میر [۳].

در موردهایی کـه پروفایل غلظت مـاده سمی در یک مکان، با زمان تغییر می‌کند، به جای جمله $C^n.t$ در رابطه Probit، از $(C^n.t)_{eq}$ استفاده می‌شود که با معادله‌ی (۲) محاسبه می‌شود:

$$(C^n.t)_{eq}=\int_{\circ}^{t} C^n.\,t.dt \qquad (۲)$$

در این معادله، t زمانی است که افراد در معرض ابر مواد سمی قرار می‌گیرند.

شناسایی خطرهای احتمالی و تعریف سناریوی حوادث

سناریو، شامل توصیف واقعه‌ای است که احتمال وقوع آن در آینده می‌رود. البته احتمال به این معنی نیست که آن واقعه به طور حتم رخ خواهد داد، بلکه به این معنی است که با توجه به شرایط موجود، منطقی است که انتظار وقوع آن حادثه را داشته باشیم. به عنوان مثال، اگر در یک واحد فرایندی، مخزن بزرگی از یک ماده سمی تحت فشار بالا موجود است، طبیعی است که احتمال نشتی از این مخزن به عنوان یک سناریو در نظر گرفته شود. تعریف سناریو، از مقدماتی‌ترین اقدامات برای ارزیابی ریسک است و به ما می‌گوید که انتظار چه رویدادی را باید داشته باشیم.

قدم اول برای در نظر گرفتن یک سناریوی رها شدن مواد در محیط، تعیین نقاط بالقوه خطرناک واحد است. یکی از روش‌هایی که به تعیین این نقاط کمک می‌کند، تکنیک HAZOP است که در آن انواع انحراف‌های فرایندی از حالت نرمال و پیامدهای ناشی از آن انحراف‌های مورد بررسی قرار می‌گیرد و می‌توان هدف‌های آن‌را به سه دسته تقسیم کرد:

جدول ٤ ـ مقدارهای ثابت رابطه Probit برای چند ماده.

ماده	K_1	K_2	n
آمونیاک	−۹٫۸۲	۰٫۷۱	۲
کلر	−۱۰٫۱	۱٫۱۱	۱٫۶۵
مونوکسید کربن	−۳۷٫۹۸	۳٫۷	۱
سولفید هیدروژن	−۳۱٫۴۲	۳	۱٫۴۳

جدول ۵ ـ ابعاد متفاوت نشتی برای تعریف سناریوهای احتمالی [٦].

ابعاد کیفی نشتی	کوچک	متوسط	بزرگ	گسستگی کامل
قطر نشتی (mm)	۳ تا ۱۰	۱۰ تا ۵۰	۵۰ تا ۱۵۰	-

۱ـ تشخیص انحراف‌های محتمل در واحد فرایندی که می‌تواند باعث عملیات نامطلوب یا ایجاد مخاطره شود.

۲ـ ارزیابی عواقب این انحراف‌ها.

۳ـ در صورت لزوم، ارایه راهکارها و پیشنهادهایی به منظور افزایش ایمنی فرایند [۵].

در تعریف یک سناریو، موردهایی همچون شرایط عملیاتی (فشار و دما)، مقدار ماده رها شده در محیط، ویژگی‌های شیمیایی ماده همچون سمیت و اشتعال پذیری و نیز سوابق واحد بسیار تأثیر می‌گذارند.

در موردهایی که سناریو شامل نشت مواد در محیط است، یکی از عامل‌های مهم در تعیین پیامدهای نشـــتی، سطح مقطع نشتی ایجاد شده است. از آنجا که پیش بینی دقیق اندازه‌ی سوراخ ایجاد شده روی تجهیزات بر اثر عامل‌هایی مانند افزایش فشار یا فرسودگی تجهیزات امکان ندارد به طور معمول اندازه‌های متفاوت نشتی در نظر گرفته می‌شود که در جدول ۵ آمده است.

به این ترتیب می‌توان سناریوهای لازم برای بررسی یک واحد فرایندی را تعریف کرد. البته این نکته را هم باید در نظر داشت که در یک واحد بزرگ با توجه به تعداد تجهیزات، تعداد زیادی سناریو می‌توان در نظر گرفت که بررسی همه آنها زمان‌بر است. ولی در عمل، از بین آنها می‌توان سناریوهایی را انتخاب کرد که پیامدهای آنها، سایر سناریوها را نیز هم‌پوشانی کند. این کار را می‌توان به وسیله‌ی مقایسه‌ی شرایط عملیاتی و همچنین میزان ماده‌ای که در صورت ایجاد حادثه در محیط پخش می‌شود انجام داد و تعداد سناریوها را به حد معقولی رساند [۷].

www.SID.ir

Archive of SID

مدل‌سازی سناریوها

برای تعیین شدت سناریوهای مدنظر، نخستین مرحله مدل‌سازی آنهاست. مدل‌سازی سناریوهایی که به منظور ارزیابی ریسک تعریف شده‌اند شامل دو مرحله است. مرحله نخست که دارای اهمیت بیشتری است، مدل‌سازی رهایش مواد در محیط و مرحله دوم مدل‌سازی پیامدهای ناشی از رهایش مواد است. مدل‌سازی رهایش مواد را بسته به گاز یا مایع بودن مواد تخلیه شده می‌توان به دو یا سه مرحله تقسیم‌بندی کرد. در صورتی که مواد رها شده در محیط گازی شکل باشند، مراحل اصلی مدل‌سازی عبارت‌اند از مدل‌سازی تخلیه مواد و مدل‌سازی پخش مواد. مدل‌های تخلیه مواد به منظور تخمین سرعت تخلیه، مقدار کل ماده رها شده در محیط و درصد ماده‌ای که در هنگام خروج به‌صورت بخار می‌باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مرحله شرایط محیطی همچون دمای محیط و سرعت باد، در مدل‌سازی نقش کم‌رنگی دارند و محاسبه‌ها در عمل به شرایط ابتدایی ماده بستگی دارد. مدل‌های پخش نیز به منظور شبیه‌سازی طرز پراکنده شدن مواد تخلیه شده در محیط به کار می‌روند. در این مرحله برعکس مرحله قبل، نقش اصلی در مدل‌سازی را شرایط محیطی ایفا می‌کند.

در موردهایی که مواد رها شده در محیط به‌صورت مایع باشند، در اطراف منبع رهایش مواد، حوضچه‌ای از ماده‌ی مربوط تشکیل می‌شود که به تدریج شروع به تبخیر می‌کند. در این حالت، بین دو مرحله مدل‌سازی تخلیه مواد و پخش مواد، مرحله دیگری نیز اضـافه می‌شود که تحت عنوان مدل‌سازی شدت تبخیر از حوضچه مایع شناخته می‌شود.

امروزه برای مدل‌سازی پخش مواد، مدل‌های متفاوتی ارایه شده است. پرکاربردترین این مدل‌ها ، مدل‌های *گاوسی* هستند که پایه تمامی آنها مدل توده‌ای *گاوس* است [۸] . این مدل‌ها به این دلیل *گاوسی* نامیده می‌شوند که در آنها فرض می‌شود پروفایل غلظت ماده پخش شده در جهت عمود بر جهت باد به شکل تابع نرمال *گاوسی* است. این مدل‌ها به دلیل سادگی و دقت قابل قبولی که در پیش بینی پروفایل غلظت‌های پخش مواد دارند، در تحلیل پیامدهای حوادث بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل‌های متفاوتی نیز برای مدل‌سازی پیامدهای پخش مواد اعم از آتش و انفجار ارایه شده است که بررسی آنها در این تحقیق نمی‌گنجد.

استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری یکی از عواملی است که می‌تواند زمان صرف شده برای مدل‌سازی حوادث را به حداقل برساند. یکی از نرم‌افزارهای ارایه شده برای مدل‌سازی پیامدهای ناشی از رها شدن مواد در محیط، نرم افزار PHAST است که از قوی‌ترین و مشهورترین نرم افزارها در این زمینه است. این نرم افزار قادر است تمامی پیامدهای رها شدن مواد در محیط اعم از آتش یا انفجار و آثار سمیت مواد را پیش بینی کند.

تعیین احتمال و میزان تکرارپذیری وقوع یک سناریو

یکی از عامل‌های مهم در ارزیابی ریسک، دانستن احتمال وقوع و تکرارپذیری یک سناریوی مشخص است. احتمال رخداد یک حادثه، عبارت است از امکان وقوع آن حادثه در یک بازه زمانی که عددی بین صفر و یک است. تکرارپذیری، عبارت است از تعداد اتفاق افتادن آن حادثه در واحد زمان که به طور معمول یک سال در نظر گرفته می‌شود. همان‌گونه که گفته شد، حوادث ایجاد شده بیشتر بر اثر خراب شدن تجهیزات ایجاد می‌شود. به عنوان مثال، یک شیر کنترل یا یک فلنج بر اثر سوراخ شدن می‌تواند باعث رها شدن مواد در محیط شود که منشأ حوادث بعدی می‌شود. نرخ خرابی چنین تجهیزاتی به واحد تعداد خرابی در سال بر اساس سوابق موجود در واحدهای فرایندی در مراجع متفاوت ارایه شده است. استفاده از سابقه‌ها و پیشینه موجود در محاسبه تکرارپذیری یک حادثه، سابقه‌های موجود در یک واحد و واحدهای مشابه می‌توانند منبع اطلاعاتی بسیار مفیدی در محاسبه تکرارپذیری یک حادثه باشد. در این روش، همه حوادث اتفاق افتاده در یک واحد و واحدهای مشابه جمع آوری شده و با تقسیم تعداد هر حادثه مشخص مثل پارگی یک لوله بر بازه زمانی که این حوادث در آن رخ داده‌اند، میزان تکرارپذیری آن حادثه محاسبه می‌شود. بدیهی است هر چه تعداد واحدهای مورد بررسی بیشتر باشد، اعداد به دست آمده قابل اعتمادتر و به واقعیت نزدیک‌ترند. یکی از مهم‌ترین و مفیدترین مراجع برای محاسبه‌ها وقوع حوادث، مجموعه ARF[۱] است که به وسیله‌ی شرکت DNV جمع‌آوری شده است [۹]. در این مرجع، براساس پایگاه‌های اطلاعاتی که بر اساس حوادث اتفاق افتاده در واحدهای فرایندی پایه‌گذاری شده‌اند، معادله‌هایی برای محاسبه میزان تکرارپذیری نشتی از انواع تجهیزات ارایه شده که در ارزیابی ریسک بسیار مفید هستند.

(۱) Activity responsible function technical library

www.SID.ir

Archive of SID

پیامد / میزان تکرارپذیری	مراقبت پزشکی	قطع عضو	یک نفر تلفات	۲ تا ۱۰ نفر تلفات	بیشتر از ۱۰ نفر تلفات	فاجعه آمیز
بیشتر از 10^{-2}						
بین 10^{-2} تا 10^{-3}					ریسک بالا	
بین 10^{-3} تا 10^{-4}			ریسک متوسط			
بین 10^{-4} تا 10^{-5}	ریسک پایین					
کم‌تر از 10^{-5}						

شکل ۳ـ نمونه‌ای از ماتریس ریسک.

در برخی موردها، یک حادثه می‌تواند به چند علت رخ دهد. برای مثال ترکیدن ناگهانی یک مخزن می‌تواند به علت افزایش بیش از حد فشار در آن باشد که خود می‌تواند بر اثر عامل‌هایی مانند گرم شدن بیش از حد مخزن یا ورود بیش از حد خوراک به مخزن ایجاد شود که هر کدام از این عامل‌ها نیز می‌توانند بر اساس تعدادی از عامل‌های دیگر ایجاد شود. در چنین موردهایی برای محاسبه احتمال رویداد سناریو، می‌توان از روش‌هایی همچون تحلیل درخت خطا و تحلیل درخت رویداد استفاده کرد [۱۰].

محاسبه ریسک [۲]

پس از محاسبه شدت پیامدهای سناریو و میزان تکرارپذیری، نوبت به محاسبه ریسک مربوط به سناریو است. از معمول‌ترین روش‌های محاسبه ریسک می‌توان روش منحنی F-N[1] و روش ماتریس ریسک را نام برد که در شکل‌های ۳ و ۴ نمونه‌هایی از آنها مشاهده می‌شود.

در روش ماتریس ریسک، با توجه به تکرارپذیری و شدت پیامد، به هر سناریو، یک خانه در ماتریس ریسک تعلق می‌گیرد. هر ماتریس ریسک به سه قسمت اصلی تقسیم می‌شود. قسمت سمت راست و بالا، بخش ریسک بالا نام دارد. هر سناریویی که در این بخش قرار بگیرد، خطرناک بوده و به طور حتم باید برای کاهش ریسک آن اقدامی صورت گیرد. بخش وسط، بخش ریسک متوسط است و در صورتی که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد، باید برای کاهش ریسک سناریوی مربوط، کاری انجام داد. بخش سمت چپ و پایین نیز بخش ریسک پایین است که نشان‌دهنده ریسک قابل قبول در آن سناریو است.

در روش منحنی F-N، حالت‌های متفاوتی که یک سناریو می‌تواند منجر به پیامدهای ناگوار شود، مورد بررسی قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، همان‌گونه که گفته شد سناریوی نشتی از یک مخزن را می‌توان در حالت‌های ایجاد نشتی کوچک تا پارگی کامل تجهیز بررسی کرد. پس از در نظر گرفتن حالت‌های متفاوت و مدل‌سازی آنها و تعیین تکرارپذیری و تعداد تلفات، به هر کدام از این حالت‌ها، یک نقطه در نمودار F-N تعلق می‌گیرد که از اتصال آنها به یکدیگر منحنی F-N مربوط به آن سناریو به دست می‌آید. نمودار F-N نیز همچون ماتریس ریسک به سه بخش ریسک بالا، ریسک متوسط و ریسک پایین تقسیم می‌شود که با رسم منحنی F-N محدوده ریسک آن در نمودار مشخص شده و می توان آن‌را ارزیابی کرد.

به این ترتیب با مشخص شدن میزان خسارات و استفاده از اطلاعاتی که در مرحله ارزیابی کمی مخاطرات، در مورد احتمال وقوع حوادث نامطلوب حاصل می‌شود، نسبت به مدیریت ریسک و تلاش برای کاهش ضایعات به وسیله‌ی راهکارهایی برای حذف یا کاستن اثرهای محتمل حوادث اقدام می‌شود

نمونه‌ای از ارزیابی ریسک برای مخازن آمونیاک مجتمع پتروشیمی خراسان

آمونیاک ازجمله موادی است که در صنایع پتروشیمی به میزان زیادی تولید می‌شود. این ماده هم دارای خاصیت اشتعال پذیری است و هم سمی است. البته در مقایسه با سایر مواد با اشتعال پذیری بالا، آمونیاک قدرت اشتعال‌پذیری زیادی ندارد و بیشتر خطرها، ناشی از سمی بودن آن است. در جدول ۶ ویژگی‌های مربوط به اشتعال و سمیت آمونیاک آورده شده است. واحد فرایندی که در این‌جا مورد بررسی قرار گرفته، واحد آمونیاک

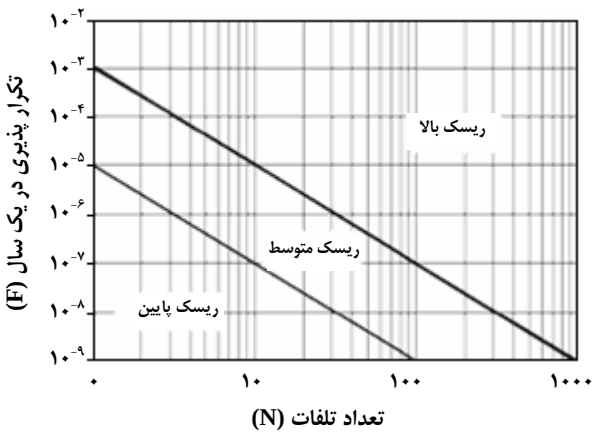
(۱) Frequency-number of fatalities

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦ـ ویژگی‌های مربوط به اشتعال و سمیت آمونیاک.

LFL	UFL	ERPG-۱	ERPG-۲	ERPG-۳
۱۶ درصد	۲۵ درصد	۲۵ ppm	۲۰۰ ppm	۱۰۰۰ ppm



شکل ٤ـ نمونه‌ای از نمودار F-N.

مجتمع پتروشیمی خراسان است که دو مخزن بزرگ ذخیره آمونیاک آن می‌تواند منبع خطرهای متفاوتی شود.

این دو مخزن با ارتفاع ۱۶ و قطر ۴۰ متر در فاصله ۴۰ متری از یـکدیگر قرار دارند و آمونیاک در فشار ۱٫۰۶ bar و دمای ۳۵- درجه سانتی‌گراد در آنها نگه‌داری می‌شود. محتوی هر کدام از مخازن به وسیله‌ی یک پمپ که در فاصله ۲۰ متری از مخازن قرار گرفته‌اند با فشار ۲۶٫۵ bar به بخش بارگیری منتقل می‌شود. این مخازن با هدف افزایش سطح ایمنی، به‌صورت دوجداره ساخته شده و در حد فاصل دو جداره آنها و روی خط لوله خروجی، یک شیر XV و دتکتورهای گاز آمونیاک نصب شده تا در صورت ایجاد نشتی در دیواره داخلی، اپراتورها را متوجه نشتی آمونیاک کند.

تعیین خطرهای احتمالی و تعریف سناریو

از آنجا که پمپ‌ها فشار آمونیاک را تا حد قابل توجهی بالا می‌برند، یکی از سناریوهای محتمل که در بررسی این واحد مورد شناسایی قرار گرفته، نشتی از فلنج خط لوله در بخش خروجی پمپ است که می‌تواند باعث رها شدن مقدار قابل توجهی آمونیاک در محیط شده و خطرهایی همچون مسموم شدن پرسنل، جت آتش و یا آتش استخری را ایجاد نماید که دو مورد آخر می‌تواند به مخازن نیز آسیب برساند. نزدیک‌ترین محلی که این سناریو می‌تواند برای پرسنل خطر ساز شود، اتاق کنترل واحد است که در فاصله حدود ۵۰۰ متری از مخازن قرار دارد و به‌طور متوسط ۲۰ نفر در آن وجود دارند.

هدف، بررسی پیامدهای ناشی از این سناریو بر اتاق کنترل و نیز امکان صدمه به مخازن بر اثر ایجاد آتش است. قطر نشتی مورد مطالعه در این‌جا ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود. با مراجعه به مراجع موجود میزان تکرارپذیری این سناریو ۳×۱۰^{-۵} بار در سال به دست می‌آید [۶].

در صورت بروز چنین حادثه‌ای، رها شدن آمونیاک در صورتی می‌تواند متوقف شود که شیر XV در خروجی مخزن به وسیله‌ی اپراتور از اتاق کنترل بسته شود. با توجه به استانداردهای موجود، زمان متوسط برای متوجه شدن اپراتورها از نشتی، حدود ۱۰ دقیقه در نظر گرفتـه شده که در این مدت مقدار۴۲۲۰۰ کیلوگرم آمونیاک که بر اساس دبی خروجی از نشتی و مدت زمان آن محاسبه شده است، در محیط پخش می‌شود [۶].

مدل‌سازی سناریو

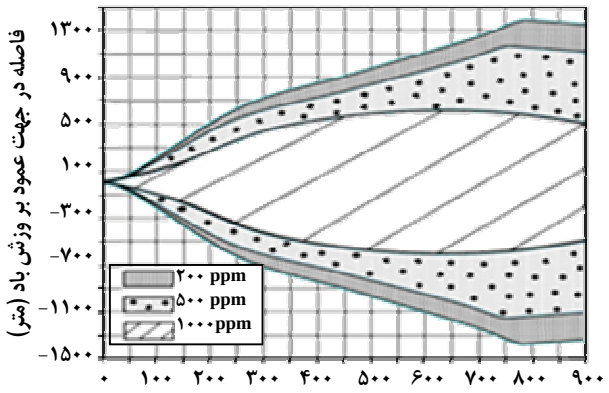
در ادامه‌ی نتیجه‌های حاصل از مدل‌سازی این سناریو که با کمک نرم افزار PHAST [۴] حاصل شده است ارایه می‌شود:

نخستین پیامدی که باید مورد بررسی قرار گیرد پیامدهای ناشی از سمیت آمونیاک پخش شده در محیط اسـت. به منظور مدل‌سازی، دمای متوسط هوا ۲۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت متوسط باد در منطقه ۲ m/s در نظر گرفته شده است. در شکل ۵ پروفایل غلظت تشکیل شده از نشتی آمونیاک در محیط مشاهده می‌شود. محور افقی این نمودار، فاصله از محل نشتی در جهت باد و محور عمودی آن فاصله از منبع رهایش در جهت عمود بر باد است. محل نشتی در این نمودار با نقطه (o ، o) مشخص می‌شود. در این نمودار هر یک از غلظت‌های مطلوب که عبارت‌اند از: ۲۰۰ ppm، ۵۰۰ ppm و ۱۰۰۰ ppm، به وسیله‌ی محدوده‌هایی که حداقل غلظت در آنها برابر است با این غلظت‌ها، از نمای بالا و با یک رنگ ویژه مشخص شده است.

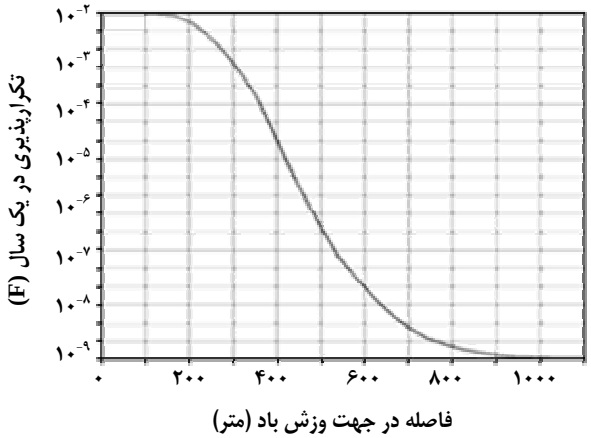
همان‌گونه که مشاهده می‌شود، غلظت ۱۰۰۰ ppm که کشنده است فاصله حدود ۵۰۰ متری را در بر می‌گیرد که اتاق کنترل را شامل می‌شود. در شکل ۶ نمودار احتمال مرگ و میر بر حسب فاصله از محل نشتی که براساس مقدار probit به وسیله‌ی نرم‌افزار PHAST محاسبه شده است، مشاهده می‌شود. همان‌گونه که این شکل نشان می‌دهـد احتمال مرگ و میـر در فاصله ۵۰۰ متری از

www.SID.ir

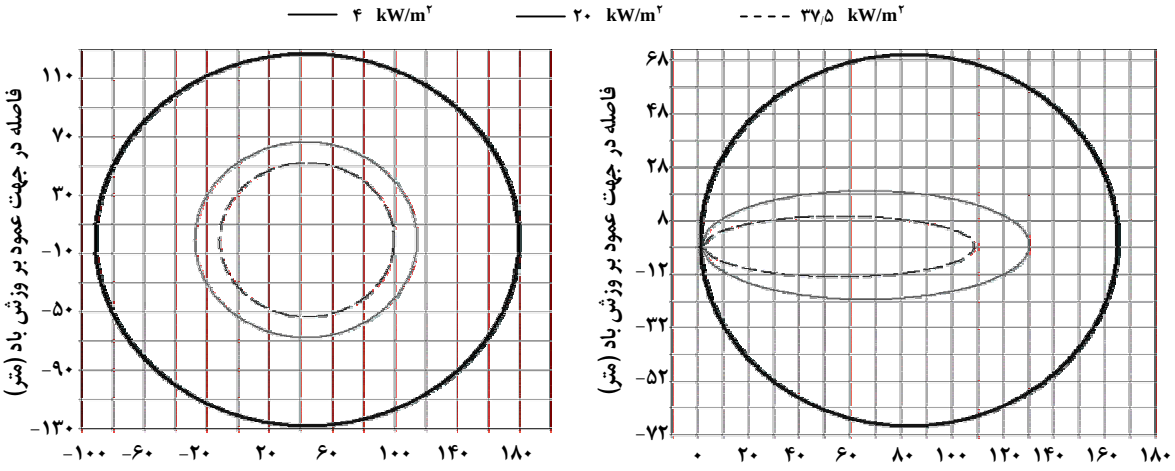
Archive of SID



شکل ۵ ـ پروفایل غلظت تشکیل شده از نشتی آمونیاک.



شکل ٦ـ نمودار احتمال مرگ و میر بر حسب فاصله از محل نشتی.



الف ـ جت آتش

ب ـ آتش استخری

شکل ۷ـ کانتورهای تشعشع مربوط به جت آتش و آتش استخری.

محل نشتی، ۰/۴ است. به این ترتیب با توجه به تعداد افراد درون اتاق کنترل که ۲۰ نفر هستند، میزان تلفات در این سناریو ۸ نفر محاسبه می‌شود.

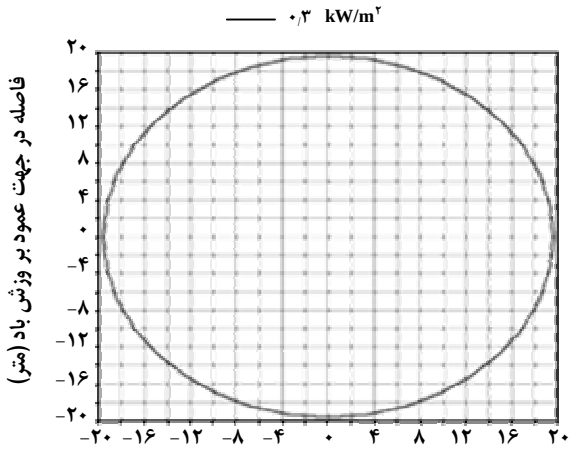
پیامد بعد که باید مورد بررسی قرار گیرد، اشتعال آمونیاک رها شده در محیط است. پس از خروج آمونیاک از محل نشتی، بخشی از آن به صورت ناگهانی تبخیر می‌شود که جتی از گاز را تشکیل می‌دهد و بخش مایع آمونیاک نیز در اطراف محل نشتی باعث تشکیل حوضچه‌ای از آمونیاک می‌شود. از آنجا که پمپ‌ها یکی از منابع جرقه محسوب می‌شوند، می‌توانند باعث اشتعال آمونیاک پخش شده گردند. پس در این حالت هم امکان تشکیل آتش استخری و هم امکان تشکیل جت آتش موجود است که می‌تواند سبب آسیب به مخازن شود. در شکل‌های ۷ـ الف و ۷ـ ب، نتیجه‌های حاصل از مدل‌سازی این پیامدها مشاهده می‌شود. در این نمودارها نیز محور افقی، فاصله از محل نشتی در جهت باد و محور عمودی، فاصله از محل نشتی در جهت عمود بر باد است و محل نشتی با نقطه (o ، o) مشخص می‌شود. در این شکل‌ها هر یک از خطها، مکان هندسی نقاطی از اطراف محل نشتی که میزان تشعشع رسیده به آنها مقدار ثابتی است را نشان می‌دهد. سطح‌های تشعشع مورد مطالعه در این بررسی عبارت‌اند از: ۴، ۲۰ و ۳۷/۵ kW/m^2.

www.SID.ir

Archive of SID

پیامد / میزان تکرارپذیری	مراقبت پزشکی	قطع عضو	یک نفر تلفات	۲ تا ۱۰ نفر تلفات	بیشتر از ۱۰ نفر تلفات	فاجعه آمیز
بیشتر از 10^{-2}						
بین 10^{-3} تا 10^{-2}						
بین 10^{-4} تا 10^{-3}						
بین 10^{-5} تا 10^{-4}						
کم‌تر از 10^{-5}						

شکل ۹ـ ماتریس ریسک مربوط به سناریو (محل سناریو با رنگ سیاه مشخص شده است).



شکل ۸ ـ کانتور افزایش فشار مربوط به انفجار ابر آمونیاک.

همان‌گونه که در شکل ۷ ـ الف مشاهده می‌شود، در صورت ایجاد جت آتش میزان تشعشع $37/5\ kW/m^2$ می‌تواند تا فاصله حدود ۱۱۰ متری را شامل می‌شود که با توجه به فاصله ۲۰ متری پمپ‌ها و مخازن، نتیجه می‌شود امکان آسیب رسیدن به مخازن آمونیاک موجود است. از شکل ۷ ـ ب نیز می‌توان نتیجه گرفت که در صورت ایجاد آتش استخری، سطح تشعشع $37/5\ kW/m^2$ تا حدود ۱۰۰ متری را در بر می‌گیرد که در این مورد نیز مخازن آمونیاک صدمه خواهند دید. یکی دیگر از پیامدهای محتمل، انفجار ابر تشکیل شده از نشت آمونیاک است. شکل ۸ نشان دهنده این پیامد است. با توجه به این شکل نتیجه می‌شود که انفجار ابر تشکیل شده از آمونیاک شدید نیست و فقط باعث ایجاد موج فشاری به اندازه‌ی ۰٫۳ psi در فاصله ۲۰ متری از محل نشتی که محل قرار گرفتن مخازن است می‌شود که با توجه به جدول ۲، می‌توان نتیجه گرفت که برای مخازن خطرساز نیست.

ارزیابی ریسک

در این بررسی، برای ارزیابی ریسک پیامدهای ناشی از نشتی آمونیاک از روش ماتریس ریسک استفاده می‌شود. همان‌گونه که در مدل‌سازی پیامدهای این سناریو مشاهده شد، تکرارپذیری این سناریو 3×10^{-5} بار در سال و تلفات ناشی از آن ۸ نفر است. همان‌گونه که در شکل ۹ نشان داده شده است، این سناریو در بخش ریسک متوسط ماتریس قرار می‌گیرد. در این حالت در صورتی که روش‌های ارایه شده برای کاهش پیامدهای این سناریو از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد، می‌توان آنها را عملی کرد.

نتیجه‌ها و بحث

با توجه به نمودارهای ارایه شده حاصل از مدل‌سازی پیامد سناریوی نشتی از خروجی پمپ می‌توان نتیجه گرفت که در این سناریو، جدی‌ترین خطری که پرسنل را تهدید می‌کند عواقب ناشی از سمیت آمونیاک است و همان‌گونه که مشاهده شد، غلظتی از آمونیاک که کشنده است به اتاق کنترل می‌رسد. برای ارزیابی ریسک این پیامد در بررسی پیامدهای ناشی از اشتعال آمونیاک پخش شده در محیط نیز مشاهده شد که تشعشع ناشی از جت آتش و آتش استخری باعث آسیب به مخازن می‌شود. با توجه به ریسک متوسط سناریوی مورد بررسی، یکی از راه حل‌های ممکن که به نسبت کم هزینه است، نصب دتکتورهای گاز آمونیاک در نزدیکی پمپ‌های آمونیاک و ارتباط آنها با شیر XV روی خروجی مخازن به گونه‌ای است که با تشخیص نشتی آمونیاک به وسیله‌ی دتکتورها، به طور اتوماتیک فرمانی برای بستن این شیر فرستاده شود. بسیاری از حوادث ناگوار به خاطر خوردگی و پوسیدگی اتصال‌ها و تجهیزات رخ می‌دهد. بازرسی فنی و ضخامت‌سنجی

www.SID.ir

Archive of SID

مرتب، یکی از اقداماتی است که با انجام آن از روی‌دادن بسیاری از حوادث می‌توان جلوگیری کرد. به همین دلیل با توجه به نقش مهم این شیر در کنترل میزان مواد پخش شده در محیط در صورت ایجاد حادثه، بازرسی مرتب آن ضروری است. به این ترتیب میزان آمونیاک رها شده در محیط و نیز احتمال رویداد این حادثه به میزان قابل توجهی کاهش یافته و می‌توان تا حد زیادی شدت پیامدهای ممکن را کاهش داد.

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 قابل ارایه، تنوع بیشتری خواهند داشت. به عنوان 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 لولـه و موردهای 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 از موردها هم در عمل ممکن نیست. بـه همیـن منظور حتی‌الامکان، ارزیابی ریسک را باید به عنوان یکی از مراحل ابتدایی ساخت یک واحد فرایندی در نظر گرفت. در مرحلـه مدل‌سازی، هـر چقـدر که اطلاعات مورد نیاز دقیق‌تر باشد، نتیجه‌های حاصل از مدل‌سازی نیز قابل اعتمادتر می‌شود. 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 مربوط را تا حد زیادی افزایش داد.

تاریخ دریافت: ۸۵/۳/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۶/۲۷

مراجع

[1] Det Norske Veritas Inc., “Frequency Analysis of Accidental Oil Releases from FPSO Operations in the Gulf of Mexico”, January (2001).

[2] Lees, F.P., “Loss Prevention in the Process Industries”, Butterworth-Heinemann, 3rd Edition, (2005).

[3] CCPS, “Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis”, 2nd Edition, New York, Center for Chemical Process Safety, (2000).

[4] DNV Software PHAST, Version 6.0. DNV, (2000).

[5] “Shell HAZOP Manual”, EP 95-03013, (1995).

[6] Det Norske Veritas, “CO_2 Sequestration Risk Assessment”, April (2003).

[۷] عبدالحمیدزاده، بهمن؛ رشتچیان، داود؛ آنالیز پیامدهای نشت اکسید اتیلن از مخازن نگه‌داری در یک مجتمع پتروشیمی، نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت، تهران (۱۳۸۳).

[8] Steven, R., Hanna, Rex E. Britter, “Wind Flow and Vapor Cloud Dispersion at Industrial and Urban Sites”, (2002).

[9] Det Norske Veritas Inc., “Activity Responsible Function (ARF) Technical Library”, Vol. IV, Internal DNV Report, May (1996).

[10] CCPS, “Guidelines for Hazard Evaluation Procedures”, 2nd Edition, New York, Center for Chemical Process Safety, (1992).

www.SID.ir