مدل‌سازی و ارزیابی پیامد بروز سانحه در مخازن استوانه‌ای ذخیره متان: مطالعه موردی پالایشگاه شهید هاشمی‌نژاد (خانگیران - سرخس)

مرتضی جلالی النجارقی*[1]، سیدجلال‌الدین هاشمی[2]

[1]کارشناس ارشد رشته مهندسی شیمی گرایش HSE، دانشگاه صنعت نفت، ایران

[2]عضو هیئت‌علمی، دانشگاه صنعت نفت، ایران

دریافت: 94/10/13 پذیرش: 95/6/20

چکیده

به‌منظور اجرای واقع‌گرایانه مدیریت بحران، باید سوانح قابل وقوع، به‌درستی کشف و پیامدهای ناشی از آنان به‌طور علمی ارزیابی شوند. مخازن استوانه‌ای ذخیره متان یکی از پتانسیل‌های مخاطره‌آمیز در مجموعه‌های نفتی است. هرگونه نشتی در آن‌ها می‌تواند منجر به بروز حادثه آتش‌سوزی، انفجار، خسارت به تجهیزات یا ایجاد مسمومیت برای کارکنان یا مردم باشد؛ بنابراین با ارزیابی پیامد و مدل‌سازی آن می‌توان شدت هرگونه حادثه ممکن‌الوقوع را پیش‌بینی و به کمک آن اقدامات اصلاحی متناسب را اتخاذ نمود. بدین ترتیب در صورت بروز هر یک از حوادث نشت مواد سمی، احتراق و یا انفجار مجموعه پیش‌تر ایمن‌سازی شده و آمار سوانح و شدت آن‌ها به حداقل خواهد رسید. در این مقاله به کمک مدل‌سازی پیامد توسط نرم‌افزار ALOHA و ارزیابی وسعت مخاطرات با نرم‌افزار CAMEO MARPLOT برای مخازن استوانه‌ای ذخیره متان در پالایشگاه شهید هاشمی‌نژاد انجام شده، مشخص شده است که بارزترین حادثه ناشی از نشت متان، جت آتش است. رعایت فواصل ایمن پالایشگاه از شهر امکان آسیب از طریق جت آتش به شهروندان را به صفر رسانده است؛ اما برای کارکنان پالایشگاه می‌بایست تدابیر ایمنی متناسب با لایه‌های مختلف خطر محتمل اندیشیده شود که این مورد در پالایشگاه شهید هاشمی‌نژاد به‌خوبی رعایت شده است.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی، ارزیابی ریسک، ارزیابی پیامد، مخازن متان، مدیریت بحران

مقدمه

مدل‌سازی با نرم‌افزار یک روش سریع و دقیق برای پیش‌بینی میزان گسترش دامنه رهایش مواد و شبیه‌سازی پیامدهای آن است. از آنجا که مدل‌های ریاضی موجود برای مدل‌سازی پیامد شامل محاسبات پیچیده و بسیار زمان‌بر هستند؛ به‌کارگیری نرم‌افزارهای شبیه‌سازی اهمیت خاصی پیدا می‌کند [1] و به دلیل این‌که ارزیابی پیامد خطراتی همچون رها شدن مواد شیمیایی پرخطر در محیط، یکی از ضروری‌ترین

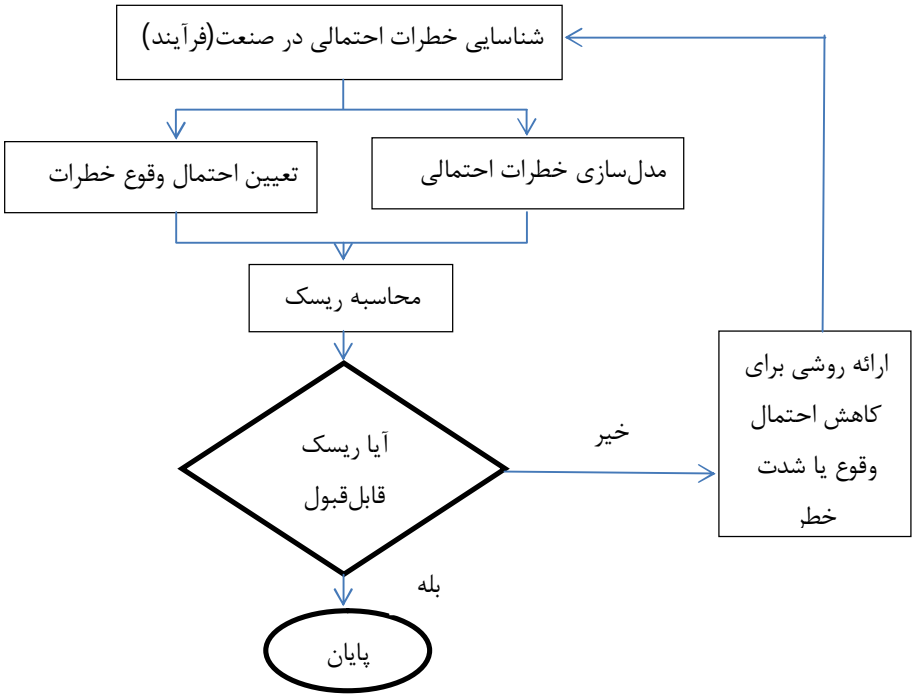
*m.jalali.a@chmail.ir

و اصلی‌ترین مراحل برای افزایش سطح ایمنی در واحدهای فعال نفت و گاز و یا درحال طراحی است [2]؛ اهمیت استفاده از نرم‌افزار بیش‌ترمی‌شود. هدف از ارزیابی پیامد، تعیین میزان خطرات و تلفات احتمالی ناشی از حوادث آتش، انفجار و پخش مواد سمی است. در این مقاله ابتدا به ضرورت فرآیند ارزیابی پیامد، مراحل اجرای آن و در نهایت به تحلیل و بررسی خروجی نرم‌افزار ALOHA خواهیم پرداخت [3]. در این نرم‌افزار بانک اطلاعاتی مواد، پیش‌بینی غلظت در یک مکان و لحظه مشخص، نمودارهای تشعشع آتش و موج انفجار، سرعت باد، شرایط جغرافیایی، زبری سطح زمین، مسافت و مدت‌زمان مدل‌سازی و انتخاب پیامد خاص ازطرف کاربر با بررسی منوها و گراف‌های حاصل مقایسه شده است [4].

با توجه به کاربرد گسترده گاز متان در صنایع مختلف ازجمله نفت، گاز، پتروشیمی و روی‌دادن حوادث فاجعه‌بار در دنیا (نشت متان در کالیفرنیای جنوبی)[5]، در این مقاله به ارزیابی پیامد نشت متان پرداخته‌شده است. یکی از علل خطرناک بودن گاز، تحت‌فشار بودن مخازن است و در دمای بالای نقطه‌جوش، گاز نگه‌داری شده جابه‌جا می‌شود. به همین دلیل براثر نشتی‌های کوچک باعث تبخیر آن می‌شود. این کار باعث می‌شود قبل از رسیدن به منبع جرقه، گاز صدها متر در محیط پراکنده شود [6]. یکی از مسائل مهمی که در ایمنی صنایع نفت و گاز مطرح است، تصمیم‌گیری در مورد اقتصادی بودن یا نبودن سرمایه‌گذاری جهت ایمن‌سازی مخازن ذخیره‌سازی است. درواقع با توجه به تعدد حوادث محتمل در صنایع نفت و گاز و باتوجه به محدود بودن منابع مالی، تعیین معیاری برای تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی ضروری است [7]. در این خصوص شدت، احتمال وقوع و تأثیر حادثه بر انسان، تجهیزات و محیط‌زیست از عوامل مهم در آنالیز مخاطرات است. به همین منظور در صنایع نفت و گاز برای مدیریت بهتر ایمنی از ارزیابی ریسک استفاده می‌کنند [8]. ریسک معیاری برای برآورد خسارت ناشی از حادثه با تعیین احتمال رخ دادن و شدت آسیب‌های ایجادشده بر انسان، تجهیزات و محیط‌زیست است [9]. همان‌طور که در شکل1 مشاهده می‌شود، اولین مرحله ارزیابی ریسک شناسایی پتانسیل مخاطرات قابل رخ دادن است. معمولاً خطراتی که باعث تخریب تجهیزات یا آسیب به سایر تجهیزات دیگر شود و یا باعث اتلاف و یا رها شدن مواد در محیط شوند، بررسی می‌شوند [10].

ازجمله روش‌های متداول ارزیابی ریسک در صنایع نفت و گاز، روش مطالعه عملیات و خطر HAZOP[1]، روش حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن FMEA[2] [11] و استفاده از چک‌لیست هستند [11-13]. در پالایشگاه شهید هاشمی‌نژاد، واحد HSE بیش‌تر تمرکز بر روی روش FMEA است. مرحله بعد از معین نمودن مخاطرات احتمالی، تحلیل پیامدها و شدت اثر آن‌ها است. به‌عنوان مثال نشت یک ماده سمی از مخزن باید به‌طور دقیق مدل‌سازی شود تا میزان مواجهه منطقه عملیاتی و میزان ماده رهاشده در محیط قابل درک شود [14]. در مرحله محاسبه احتمال وقوع حادثه، کار ارزیابی تمام می‌شود و به کمک شدت وقوع و میزان احتمال پیامد، می‌توان بررسی کرد که آیا ریسک قابل‌قبول است یا خیر [15].

[1]Hazard And Operability Study
[2]Failure Mode and Effects Analysis



شکل 1. فلوچارت مراحل ارزیابی ریسک [10]

ایمنی در مخازن ذخیره

مخزن ایمن می‌بایست دارای سیم اتصال به زمین و رنگ مناسب باشد. دو عامل باعث ایجاد مخاطرات الکتریسیته ساکن به هنگام انتقال مواد نفتی آتش‌زا است؛ یکی پخش شدن مایعات به قطرات کوچک و دیگری اصطکاک مایعات هنگام جریان در خطوط‌لوله. دیواره همه مخزن‌ها باید به سیم اتصال به زمین[1] مجهز باشد [16-18]. کار این سیم هدایت بار الکتریسیته ساکن از مخزن به زمین و جلوگیری از تراکم الکتریسیته در بدنه مخزن است [19]. مخزن‌های محصولات سبک به رنگ سفید، رنگ‌آمیزی می‌شوند تا کمترین گرما را از محیط و انرژی تابشی آفتاب جذب کنند تا مقدار تبخیر و هدررفت مواد سبک نفتی کم شود (شکل2).

شکل2. تصویربرخی از مخازن استوانه‌ای در پالایشگاه سرخس

[1]Earthing Wire

توصیه‌های ایمنی مرتبط به گاز متان

گاز متان در غلظت‌های زیاد می‌تواند باعث خفگی شود. گاز متان قابل اشتعال است. درصورت نشت در فضای بسته احتمال انفجار وجود دارد. برای خاموش کردن سیلندرهای گاز متان، از دی اکسیدکربن، اسپری آبومه استفاده می‌شود. محل نگهداری سیلندرهای گاز متان باید دارای تهویه باشد. انبار مخازن و سیلندرهای گاز متان باید خنک، دور از نور آفتاب و منابع گرمازا باشد. مخازن و سیلندرهای گاز متان را از اکسیدکننده‌ی قوی مانند پراکسیدها و ترکیبات هالوژنه مانند کلرین بایستی دور نگهداشته شود. درصورت تماس چشم یا پوست با متان مایع، موضع آلوده را باید فوراً با آب ولرم شستشو شود [20]. کار در فضاهایی که گاز متان وجود دارد نیاز به مجوز[1] واحد ایمنی دارد (این مورد در پالایشگاه شهید هاشمی‌نژاد به‌خوبی رعایت می‌شود). گاز متان می‌تواند مسافت‌های طولانی از طریق خاک عبور کند و برای کارگرانی که در کانال‌ها وگودال‌ها کار می‌کنند؛ خطر مسمومیت، انفجار و اشتعال ایجاد کند. برای شناسایی نشتی گاز متان باید از آشکارساز[2] گاز، استفاده شود [20].

پیامدهای ناشی از رهاشدن مواد در محیط

پیامدهای ناشی از رهاشدن یک ماده در محیط را به‌طور عمده می‌توان به سه دسته (1) آثار سمیت ماده (2) احتراق (3) انفجار تقسیم‌بندی کرد [21-23].

آثار سمیت ماده

مواجهه افراد با مواد شیمیایی به‌طور عمده از سه طریق امکان‌پذیر است: تماس با پوست، تنفس و ورود به دستگاه گوارش از طریق دهان(خوردن). رایج‌ترین آن‌ها، تنفس است [21].

احتراق

آتش، ازجمله مخاطرات عمده صنایع نفت و گاز است. یک ماده گازی اشتعال‌پذیر تنها در بازه معینی از غلظت مشتعل می‌شود. این بازه بین حد پایین اشتعال‌پذیری[3] (LFL) و حد بالایی اشتعال‌پذیری[4] (UFL) است. در حد پایین مخلوط رقیقی از ماده و اکسیژن وجود دارد و در حد بالا میزان اکسیژن برای آتش گرفتن کافی نیست. این دو مقدار را معمولاً با غلظت یا درصد حجمی نشان می‌دهند [23].

نحوه احتراق مواد مختلف است. آتش استخری بر اثر اشتعال مواد رها شده و تجمع یافته در حوضچه ایجاد می‌شود و جت آتش از اشتعال گاز خروجی تحت‌فشار از یک روزنه به وجود می‌آید. پیامدهای ناگوار آتش شامل آسیب به انسان و تجهیزات است که بیشتر بر اثر انتقال حرارت به روش تشعشع است. در جدول 1 پیامدهای مربوط به سطوح متفاوت تشعشع ذکر شده است [22].

[1]Permit
[2]Detector
[3]Lower flammability limit
[4]Upper flammability limit

جدول1. آثار و پیامد ناشی از مقادیر مختلف تشعشع [23]

میزان تشعشع (kW/m^2)	پیامدها
37/5	در این سطح مرگ آنی برای انسان و تخریب تجهیزات حادث می‌شود
20	انسان دچار آسیب شدید شده و نیاز فوری به امدادرسانی دارد
4	آستانه درد برای انسان است و امکان فرار وجود دارد

در جدول 2 پیامد ناشی از فشارهای مختلف انفجار ذکر شده است [22].

جدول2. پیامد ناشی از فشار حاصل از انفجار[22]

فشار (psig)	پیامد
0.7	خسارت کم به ساختمان‌ها
2.3	آستانه آسیب‌دیدگی ساختمان‌ها
3 تا 4	آسیب مخازن

روش تحقیق

در این مقاله پیامد ناشی از احتراق متان در حال خارج شدن از مخزن، و بروز سانحه جت آتش بررسی شده است. در جدول 3 مشخصات متان (اطلاعات موجود در نرم‌افزار) ذکر گردیده است. در جدول 4 اطلاعات مربوط به شرایط جوی و آب و هوایی پالایشگاه آمده است.

جدول3. مشخصات ماده شیمیایی متان [3]

ردیف	مشخصات	مقدار
1	جرم مولکولی($g.mol^{-1}$)	16.04
2	حد پایین انفجاری(ppm)	50000
3	حد بالایی انفجاری (ppm)	150000
4	نقطه‌جوش (°C)	-161.8
5	فشار بخار در دمای محیط (atm)	بزرگ‌تر از 1
6	غلظت اشباع محیطی (ppm)	1/000/000

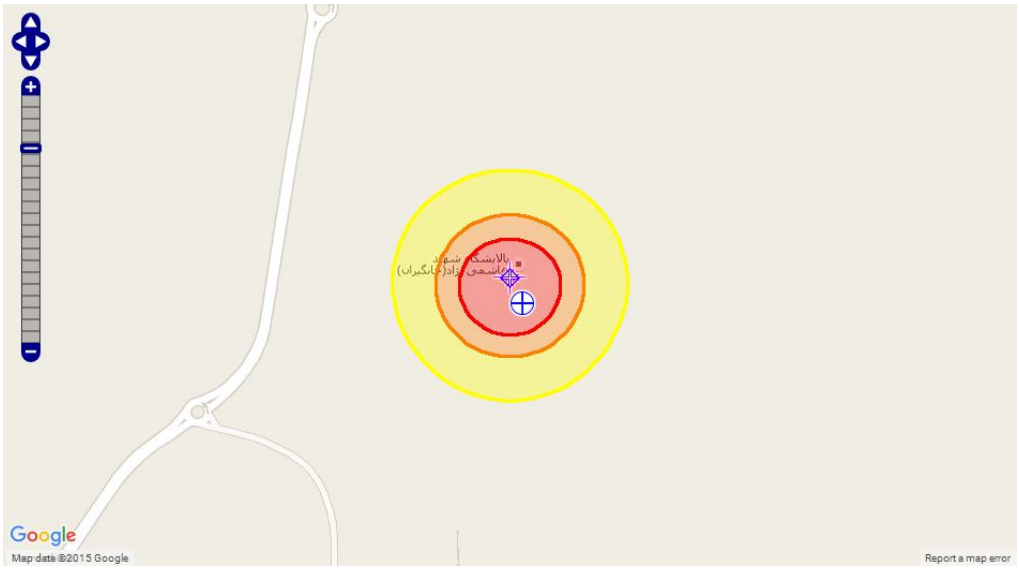
جدول4. اطلاعات جوی محیط پالایشگاه و محل مخزن [3و26]

ردیف	مشخصات	مقدار
1	سرعت وزش باد (m/s)	10 از جهت شمال
2	نوع سطح زمین	هموار، سخت
3	پوشش ابری منطقه	5 دهم
4	دمای هوا (°F)	15
5	دسته‌بندی پایداری	D
6	رطوبت هوا	%50

با هدف بررسی دقیق ابعاد مختلف حادثه ممکن‌الوقوع در مخزن ذخیره متان، اطلاعات دقیقی وارد نرم‌افزار می‌شود و با شرح دقیق موارد مذکور در جدول 5 می‌توان مدل‌سازی و ارزیابی پیامد را در خروجی مدل به‌طورکامل مشاهده کرد و طبق اطلاعات خروجی، اقدامات اصلاحی ایمنی را برای تک‌تک مخازن با توجه به شرایط واحد، تصمیمات مدیریتی را در شرایط بحرانی اتخاذ نمود.

جدول5. مشخصات قدرت منبع (نرخ سوختن) [3]

ردیف	مشخصه	مقدار/توصیف
1	قطر مخزن (m)	6
2	طول مخزن (m)	9
3	حجم مخزن (m^3)	254
4	محتویات مخزن	فقط گاز
5	جرم کل ماده شیمیایی در مخزن (Kg)	5/064
6	دمای داخل مخزن (°F)	15
7	فشار داخل مخزن (atm)	25
8	طول حفره (m)	1
9	عرض حفره (m)	0.1
10	حداکثر طول شعله (m)	53
11	مدت‌زمان سوختن (min)	1
12	حداکثر نرخ سوختن (Kg/s)	289
13	حداکثر مقدار سوخته شده (Kg)	4/726



شکل3. نمایش منطقه مورد تهدید پیامد ناشی از آتش ماده متان روی نقشه پالایشگاه [3]

شکل4. نقشه هوایی فاصله محل پالایشگاه شهید هاشمی نژاد و شهر سرخس [3]

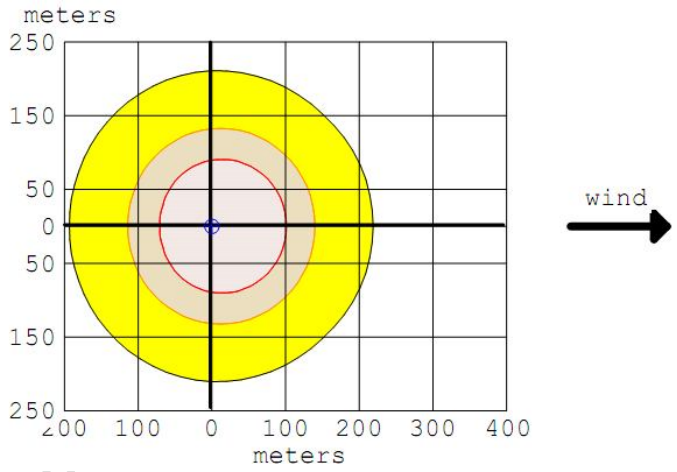
محدوده‌های استانداردی که معیارهای عمل حفاظتی[1] دارند و باید اقدامات اصلاحی متناسب برای آن‌ها لحاظ کرد در جدول 6 برای ماده متان ذکر شده‌اند [24و25].

[1]Protective Action Criteria

جدول6. غلظت‌های مهم در تعیین معیارهای عمل حفاظتی(PACs)[3]

نوع ماده	PAC-1	PAC-2	PAC-3	
متان	2900ppm	2900ppm	17000ppm	LEL= 50/000 ppm

در تصویر نمودار 1 منطقه مورد تهدید تشعشع حریق ناشی از حفره ایجاد شده در مخزن متان به تصویر کشیده شده است. طبق نمودار 1 نواحی با مخاطرات مرگ‌آور به رنگ قرمز، نواحی با مخاطرات مصدومیت‌های غیرقابل جبران با رنگ نارنجی و نواحی با احتمال بروز خسارات و مصدومیت‌های قابل جبران و یا کم‌هزینه با رنگ زرد مشخص شده‌اند. طبق این نمودار تا فاصله 102 مترمربع ناحیه قرمز، تا فاصله 141 مترمربع ناحیه نارنجی و تا فاصله 220 مترمربعی ناحیه زرد رنگ است. شایان‌ذکر است این فواصل برای حادثه محتمل و ناشی از صدمه دیدن مخزن متان با ابعاد مشخص در جدول 5 است که پرمخاطره‌ترین شکل سناریو[1] در نظر گرفته شده است.



نمودار1. تصویر نموداری از منطقه تهدید تابش حرارتی [3]

در نمودار 1 پیامد ناشی از آتش ممکن‌الوقوع از نوع جت-آتش نشان داده‌شده است. نواحی بدین ترتیب تقسیم‌بندی شده‌اند:

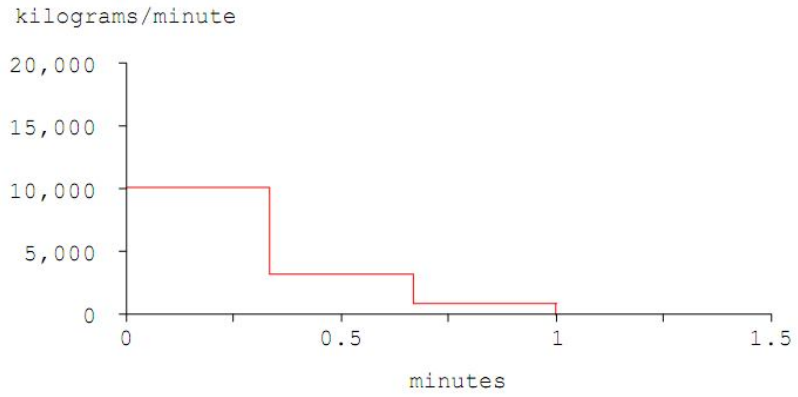
(1) ناحیه قرمز (10 Kw/sq m) (پتانسیل کشندگی در 1 دقیقه) به وسعت 102 مترمربع

(2) ناحیه نارنجی (5 Kw/sq m) (سوختگی درجه 2 در 1 دقیقه) به وسعت 141 مترمربع

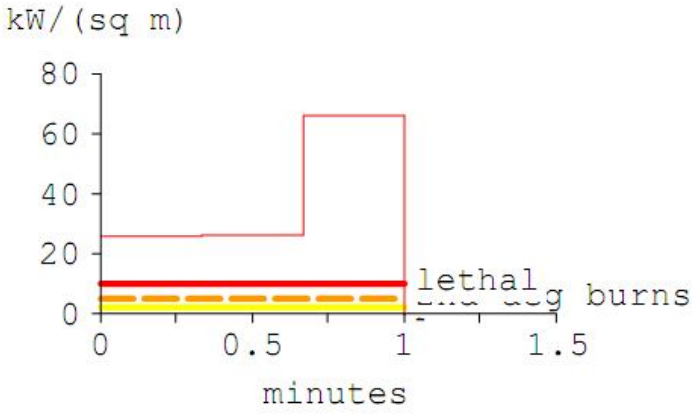
(3) ناحیه زرد (2 Kw/sq m) (احساس درد و سوختگی‌های جزئی) به وسعت 220 مترمربع

مقدار 10/000 کیلوگرم متان در مدت‌زمان یک دقیقه ابتدای آغاز حریق می‌سوزد و این نرخ سوختن در نمودار 2 که خروجی نرم‌افزار بوده؛ به‌وضوح قابل رؤیت است. میزان تشعشعات در نقطه آغازین جت آتش نیز در نمودار 3 به تصویر کشیده شده است.

[1]Worst Case Scenario



نمودار2. نرخ سوختن متان در شرایط مذکور [3]



نمودار3. تشعشع حرارتی در نقطه آغازین و شدت آن در مدت یک دقیقه [3]

نتیجه‌گیری

با توجه به نمودارهای ارائه‌شده حاصل از مدل‌سازی پیامد سناریوی نشت متان از خروجی نرم‌افزار ALOHA، می‌توان نتیجه گرفت که در این سناریو، جدی‌ترین خطری که کارکنان را تهدید می‌کند عواقب ناشی از جت آتش است. برای ارزیابی ریسک جت آتش و پیامد ناشی از اشتعال متان پخش‌شده در محیط نیز مشاهده شد که تشعشع ناشی از جت آتش باعث آسیب به سایر مخازن و کارکنان می‌شود. با توجه به مسائل اقتصادی نصب شناساگرهای[1] گاز متان در نزدیکی مخازن و ارتباط آن‌ها با سیستم هشدار عمومی، سیستم خودکار اطفا حریق و اعلام به سیستم آتش‌نشانی و قطع خودکار شیرهای ورودی می‌تواند بسیاری از حوادث ناگوار که ممکن است به خاطر خوردگی، پوسیدگی و یا تصادف وسایل حمل‌ونقل با مخازن رخ دهد را کاهش دهد. بازرسی فنی و حفاظت فنی از مخازن به‌طور ادواری می‌تواند از خیلی حوادث جلوگیری نماید. بدین ترتیب احتمال رویداد حوادث به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌یابد و می‌توان شدت پیامدهای ممکن را کاهش داد. در این مقاله ارزیابی بر روی مخزنی انجام گردید که عمر نسبتاً طولانی داشته است اما

[1]Detector

بهترین نوع ارزیابی ریسک در مراحل طراحی و ساخت واحد باید انجام شود که در آن صورت پیشنهادها و اقدامات اصلاحی قابل ارائه، طیف گسترده‌ای خواهند داشت. به‌عنوان مثال تغییر جانمایی و محل احداث یک ساختمان یا مخزن، تغییر ابعاد مخزن، تغییر ضخامت لوله‌ها و مواردی از این قبیل، که امکان اجرایی شدن آن‌ها پس از ساخت واحد بسیار مشکل‌تر از مرحله طراحی خواهد بود. ثبت و استفاده از اطلاعات جوی و هواشناسی برای ارزیابی دقیق بسیار حائز اهمیت است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود در محل واحد، یک ایستگاه هواشناسی کوچک ایجاد گردد.

تشکروقدردانی

به جهت همکاری با مهر کارکنان زحمتکش واحد HSE پالایشگاه شهید هاشمی نژاد، بدین‌وسیله از همه آن عزیزان تقدیر و تشکر می‌نمایم.

منابع

[1] Wang Wenjing, Sun Biao, GuoKaihua, Quantitative Risk Analysis for LNG Station Accidents, Journal of Safety Science and Technology 7,2011, p. 114-117.
[2] Hille, R., Assessment of conventional and radiological risks for the handling of hazardous substances in a research centre. Process Safety, Environ. Prot., 80,2002, pp. 298–304.
[3] NOAA and U.S. EPA, ALOHA 5.2.3 Online Help, Office of Response and Restoration of the National Oceanic and Atmospheric Administration and Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office of the U.S. Environmental Protection, Seattle, WA, USA.2015.
[4] Hillairet, J., Voyer, D., Frincu, B., Meneghini, O., Ekedahl, A. and Goniche, M., Modeling of lower hybrid antennas using the ALOHA code and comparisons with Tore Supra experiments. Fusion Engineering and Design, 84,2009, pp. 953–955.
[5] Hassim, M.H. and Hurme, M., Occupational chemical exposure and risk estimation in process development and design. Process Safety, Environ. Prot., 88, 2010, pp. 225–235.
[6] Ohba, R., Kouchi, A., Hara, T., Vieillard, V. and Nedelka, D., Validation of heavy and light gas dispersion models for the safety analysis of LNG tank. J. Loss Prev. Process Ind., 17, 2004, pp. 325–337.
[7] Shariff, A.M. and Leong, C.T., Inherent risk assessment-A new concept to evaluate risk in preliminary design stage. Process Safety, Environ. Prot., 87, 2009, pp. 371–376.
[8] Hirst, I.L., Maddison, T.E. and Porter, S.R., Appropriate risk assessment methods for major accident establishments. Process Safety, Environ. Prot., 81,2003, pp. 12–18.
[9] Darbra, R.M., Demichela, M. and Murè, S., Preliminary risk assessment of ecotoxic substances accidental releases in major risk installations through fuzzy logic. Process Safety, Environ. Prot., 86,2008, pp. 103–111.
[10] Kao, C.S., on constructing assessing mode for equipment risk management: The Petrochemical Industry Cases. Master Thesis, Fu Jen Catholic University, 2008.
[11] Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis. Department of Defense, MIL-STD-1629A, USA.2005, P.114.
[12] Carlson C.S., “Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)”, John Wiley & Sons, 2012.

[13] Kotek a L., Tabas M., “HAZOP study with qualitative risk analysis for prioritization of corrective and preventive actions”, 20th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2012, pp. 808 – 815.
[14] I, Y.P., Shu, C.M. and Chong, C.H., Applications of 3D QRA technique to the fire/explosion simulation and hazard mitigation within a naphtha-cracking plant. J. Loss Prev. Process Ind., 22,2009, pp. 506–515.
[15] Aymen M., Samuel B., Ali S. and Michel T., Dynamic risk management unveils productivity improvements. J. Loss Prev. Process Ind., 22,2009, pp. 25–34.
[16] Suardin, J.A., McPhateJr, A.J., Sipkema, A., Childs, M. and Mannan M.S., Fire and explosion assessment on oil and gas floating production storage offloading (FPSO): An effective screening and comparison tool, Process Saf. Environ. Prot., 87, 2009, pp. 147–160.
[17] XuYabo, QianXinming, Liu Zhenyi, Quantitative Risk Analysis on the Leakage of Compressed Natural Gas Pipeline, China Safety Science Journal 18, 2008, p. 146-149.
[18] Wang Shukun,.Risk Analysis of Fire and Explosion in the Combustion System of Natural Gas Power Generation, Electric safety technology 6,2004, p. 11-13.
[19] Zhang Jianwen, Lei Da, Risk Analysis of Jet Fire Radiation in the Leakage Accident of Natural Gas Pipeline, Journal of Safety and Environment 11, 2011, p. 233-236.
[20] Jiang Huanyong, Han Li, Shao Yong, Leakage Consequence Simulation and Quantitative Risk Assessment on Gas Off-Take Station, Oil & Gas Storage and Transportation 28, 2009, p. 23-26.
[21] Liu Mao, Analysis of Theory and Method in Accident Risk. Peking University Press, Beijing, 2011, p. 188-192.
[22] Steven, R., Hanna, Rex E. Britter, “Wind Flow and Vapor Cloud Dispersion at Industrial and Urban Sites”, 2002.
[23] Zarate L, Arnaldos J, Casal J. Establishing safety distances for wildland fires. J Fire Saf.2008; 43:565–575.
[24] Shao Hui, Zhu Yueqing, Shao Feng, Study of Urban Regional Risk Based on Information Diffusion, China Safety Science Journal 21,2011, p. 166-170.
[25] RenJunping,.Quantitative Calculation of Risk for Industrial Accident, Nankai University, Tianjin, 2005.
[26] Central Weather Iran, 2015. http://www.irimo.ir/