مدل‌سازی پیامد و ارزیابی ریسک مخازن کروی LPG پالایشگاه نفت اصفهان

جواد کمالی

واحد سرپرستی HSE ، شرکت گسترش صنعت و حرارت ایران ، تهران ، ایران

محمدرضا امیدخواه

پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران ؛ گروه شیمی دانشگاه تربیت مدرس، تهران ، ایران

طه حسین حجازی*+

دانشکده مهندسی صنایع و سیستم های مدیریت ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

چکیده: صنایع فرایندی بیش‌تر با مواد شیمیایی پر خطری همراه هستند و واحدهای عملیاتی، در دما و فشار گوناگونی قرار دارند. با توجه به شرایط عملیاتی و محیطی گوناگون، ارزیابی و مدل‌سازی حادثه‌ها در مبحث ایمنیِ صنایع فرایندی کمک بسیار شایانی در درک حادثه و مقابله با آن خواهد داشت. از بین همه تجهیزهای فرایندی، مخازن به‌علت انباشت حجم زیادی از مواد شیمیایی، خطرهای نهفته سهمگین تری دارند. هدف از انجام این مطالعه، مدل‌سازی و ارزیابی ریسک مخازن تحت فشار LPG ، در سناریوهای گوناگون نظیر انفجار و اشتعال با در نظر گرفتن شرایط جوی متفاوت است. بنابراین می توان راهکار های کنترلی و اقدامات ایمنی مناسب با آن را پیشنهاد کرد. سه مخزن کروی LPG مربوط به پالایشگاه نفت اصفهان مدل‌سازی شد؛ برای مدل‌سازی همه جانبه سناریو ها، ترکیدن مخزن در شرایط متفاوت جوی بررسی شد و شدت آن به‌دست آمد. با توجه به داده های موجود از حوادث رخدادهای پیشین و در دست بودن نرخ تکرارپذیری آن، درجه ریسک برآورد شد. منحنی ریسک فردی و جمعی پارگی این مخزن ها در ناحیه هشدار قرار گرفت. سرانجام برای کاهش این ریسک پیشنهادهایی ارایه شد.

واژه های کلیدی: ارزیابی و مدل‌سازی حوادث، ایمنی صنایع فرایندی، مخازن تحت فشار، مدل‌سازی اشتعال و انفجار.

KEYWORDS: *Accident assessment and modeling, The safety of process industries, Pressure vessels, Ignition, and explosion modeling.*

مقدمه

ایمنی محیط کار یکی از مسئله‌های مهم صنایع برای حراست از انسان‌ها و سرمایه هاست. رعایت نکردن ایمنی عواقب دردناکی در پی خواهد داشت که جبران آن بدون شک در بسیاری از موردها امکان ناپذیر خواهد بود. با رشد روزافزون صنایع و در حالی که صنایع گوناگون

* عهده دار مکاتبات

+E-mail:t.h.hejazi@aut.ac.ir

در تلاش برای بالا بردن حجم تولید و کاهش قیمت تمام شده فراورده‌های خود هستند، متاسفانه توجهی به شرایط ایمنی واحدها نمی‌شود [۱]. با رشد سریع صنعت، مخاطرات نیز درحال گسترش هستند. با حوادث بزرگی مانند حادثه بوپال (Bhopal) و فلیکس برو (flixborough) بالاخره افکار جهانی جریحه دار شد و سرانجام برای اولین بار بصورت منسجم در سال ۱۹۸۴میلادی قانون‌های بسیاری در زمینه ایمنی واحدهای شیمیایی تصویب شد[۲]. نمونه‌های زیادی از حوادث در صنعت پالایش نفت در ایران و جهان وجود دارد که اهمیت این بررسی را دوچندان می‌کند.

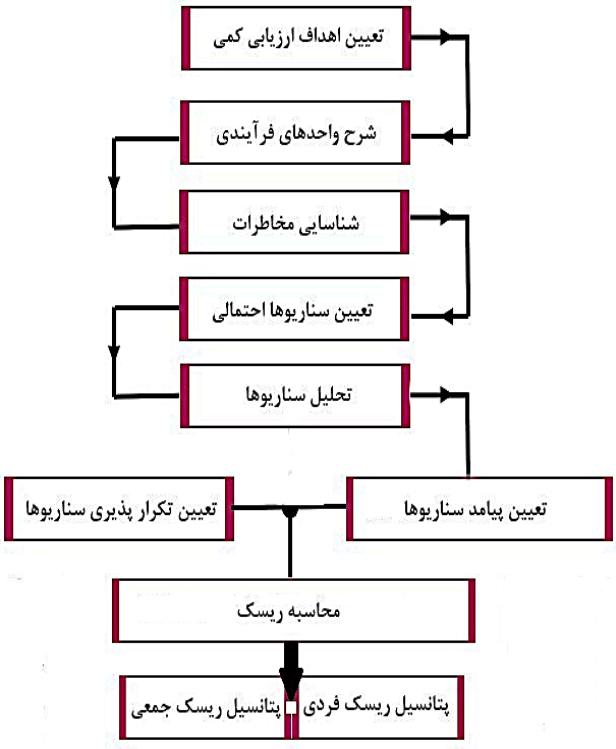
در میان حوادث پالایشگاهی، حادثه انفجار بخار منبسط شده مایع در حال جوش حاصل از نشت پروپان در پالایشگاه نفت فیزین (feyzin) ۱۸ کشته ، ۸۱ مصدوم و ۸۷ میلیون دلار خسارت به بار آورد[۳] پالایشگاه نفت اراک نیز شاهد حادثه‌ای بود که به علت نشتی بر روی Kero-Reboiler در زمان جوشکاری و منجر به انفجار و آتش سوزی شد و متاسفانه ۹ نفر جان خود را از دست دادند؛ در حادثه دیگری در پالایشگاه نفت آبادان نشت گاز و انفجار در سال ۱۳۹۰ یک نفر کشته و ۱۰ مصدوم بر جای گذاشت[۴]. از این رو با توجه به تمرکز اسکان برخی کارکنان پالایشگاه نفت اصفهان در نزدیکی این مخازن و همجواری با شرکت پخش فرآورده‌های نفتی و نیز مجاورت با منطقه بارگیری تانکرهای حامل سوخت، این مخازن در نقطه‌ای حساس و کلیدی قرار گرفته و نیازمند یک ارزیابی دقیق است.

تراکم بالای تجهیزات تحت فشار و قابل اشتعال در صنعت نفت و پتروشیمی باعث می شود تا حساسیت در طراحی، ساخت، نصب، بهره‌برداری و تعمیرات بالا رود. از بین همه تجهیزات فرایندی، مخازن به‌علت انباشت حجم زیادی از مواد شیمیایی، خطر بالقوه بالایی دارند[۳]، از این رو در این بررسی به مدل‌سازی و ارزیابی این تجهیز پرداخته می شود.

مدل‌سازی پیامدهای احتمالی در صنعت می تواند کمک شایانی در لحاظ اقدامات پیشگیرانه داشته باشد. لذا برای مدل‌سازی حوادث باید همه پارامترهای دخیل در سناریوها را جزء به جزء بررسی کرد. در این بررسی داشتن پارامترهای عملیاتیِ مخزن؛ مانند: دما، فشار، نوع مخزن، ارتفاع از سطح ، سرعت انتشار، حد اشتعال ماده، حداقل سطح قابل انفجار و ... مورد نیاز است[۵]. پارامترهای محیطی نیز به سبب دخالت در سرعت پراکندگی و انتشار نیز مهم هستند. دمای محیط، ضریب زبری و ناهمواری‌های سطح، ضریب پایداری جوی، رطوبت نسبی هوا، سرعت باد و برای وزش باد از مهم‌ترین عوامل مهم در چگونگی انتشار ماده هستند.

جدول ۱ – نمونه‌ای از حوادث اتفاق افتاده در صنعت نفت و پتروشیمی کشور

محل حادثه	علت وقوع	پیامدها	سال
پالایشگاه آبادان	نشت گاز و انفجار	۱ نفر کشته و ۱۰ نفر مصدوم	خرداد ۱۳۹۰
شازند اراک	انفجار مخزن	۳۵ نفر کشته، ۵۴ نفر مصدوم	خرداد ۱۳۸۷
پتروشیمی خارک	انفجار بویلر مرکزی واحد قدیم مجتمع پتروشیمی	۴ نفر کشته و ۷ نفر مصدوم	مرداد ۱۳۸۹
پالایشگاه اصفهان	انفجار واحدهای تقطیر در جو و خلاء و گاز مایع شماره یک	۱ نفر کشته	مهر ۱۳۸۹
پتروشیمی بندر امام	نشت گاز و انفجار	۸ نفر کشته و ۲ نفر مصدوم	مرداد ۱۳۹۰



شکل ۱- مراحل ارزیابی کمی ریسک

بخش نظری

الف) گام های بررسی و ارزیابی کمی

روش ارزیابی کمی ریسک (QRA[1]) برای صنایع شیمیایی و فرایندی، توسط شرکت Det Norske Verities و انجمن مهندسی شیمی آمریکا پیشنهاد شده است. برای ارزیابی و محاسبه ریسک دراین روش از نمودارهای ریسک فردی و جمعی منحنی F-N استفاده می‌شود[۳]. با تعیین هدف ارزیابی، باید مشروح آن تجهیز یا واحد فرایندی

(۱) Quantitative Risk Assessment

مورد بررسی قرارداده شود. پس از آن مخاطرات ممکن شناسایی و برای سادگی در ارزیابی، به‌صورت درختواره چیدمان شود. همه سناریوهای ممکن باید بصورت تخصصی تحلیل شده و پارامترهای دخیل درآن، برای تعیین پیامد مد نظر باشد. در ارزیابی ریسک حوادث دو پارامتر نقش عمده‌ای ایفا می‌کنند. پارامتر اول تکرارپذیری آن حادثه و پارامتر دوم شدت پیامدهایی است که آن حادثه بر جای می‌گذارد[۶]. تکرارپذیری یک حادثه به معنای تعداد دفعاتی می‌باشد که آن حادثه در یک بازه زمانی مشخص اتفاق افتاده است و شدت پیامد های یک حادثه به معنای تلفات ناشی از آن حادثه است. هیچکدام از این دو پارامتر به تنهایی برای ارزابی خطرات کافی نیستند. بسیاری از حوادث را می‌توان در نظر گرفت که پیامد شدیدی داشته باشند ولی در عمل احتمال رویدان آنها ناچیز باشد و بلعکس برخی از حوادث ممکن است به کرات رخ دهند ولی پیامد قابل توجهی نداشته باشند. به همین دلیل تعیین معیاری که هردو عامل را درخود داشته باشد در بررسی خطرها بسیار مفید می‌باشد. ریسک ، معیاری است که ترکیبی از تکرار پذیری یک حادثه و شدت پیامد آن است. و معیاری مناسبی برای ارزیابی مخاطره آمیز بودن یک پیامد است[۲].

ب) جمع آوری پارمترهای عملیاتی و محیطی

در مدل‌سازی شناخت دقیق تجهیز ، ماده و محیط بسیار حایز اهمیت است. در این بررسی مخازن کروی گاز مایع تحت فشار (LPG) پالایشگاه نفت اصفهان مورد مطالعه هستند. این مخازن با شماره‌های TK-2060 ، TK-2061 و TK-2062 در یونیت H5 قرار دارد. ارتفاع این مخازن ۱۷٫۹۴متر و ارتفاع از سطح آنها ۴ متر است. ظرفیت هر کدام از این مخازن معادل ۳۰۰۰ مترمکعب است. این مخازن در فشار ۳۸۰۰mmHg و دمای ۲۰ درجه سلسیوس قرار دارند. ضریب زبری سطح ۰٫۱ و باد قالب از شمال غرب به سمت جنوب شرق سایت در نظر گرفته شد، کلاس پایداری جوی، متوسط سرعت باد، دما و رطوبت نسبی محل به شرح جدول زیر است:

جدول ۲ – مشخصه های شرایط محیطی برای بررسی پارامترها

مشخصه	یکا	زمستان	تابستان
متوسط سرعت باد در طول روز	M/S	۳,۱	۴,۸
متوسط سرعت باد در طول شب	M/S	۲,۳	۳,۴
کلاس پایداری روزانه	----	F	D
کلاس پایداری شبانه	----	F	E
متوسط دمای روزانه	°C	۱۴	۳۴
متوسط دمای شبانه	°C	۲	۱۹
متوسط رطوبت نسبی	٪	۶۲	۴۰

ج) تعیین سناریوها ، مدل‌سازی و ارزیابی آنها

سناریو های مورد بررسی در چهار شرایط محیطی روز تابستان، شب تابستان، روز زمستان و شب زمستان بررسی شد. چون تابستان و بهار ویژگی‌های شبیه به هم و پاییز و زمستان هم ویژگی‌های نزدیک به همی دارند، لذا از بقیه شرایط ممکن برای سهولت در بررسی چشم‌پوشی شد. برای بدست آمدن شدت حادثه از مدل‌سازی نرم افزاری

جدول۳ - ابعاد گوناگون نشتی برای استفاده در مدل های تخلیه – اقتباس از مرجع [2]

تجهیزات	ابعاد مورد بررسی در نشت
لوله با قطر کمتر از ۱,۵ اینچ	5mm و پارگی کامل در نظر گرفته شود
لوله‌های با قطر ۲ تا ۸ اینچ	5mm، 25mm و پارگی کامل
لوله‌های با قطر ۸ تا ۱۲ اینچ	5mm، 25mm، 100mm و پارگی کامل
مخازن و لوله‌های متصل	پارگی و ترکیدن ناگهانی
پمپ ها و اتصالات	بسته به قطر لوله و نشت از درزگیر 5mm، 25mm، 100mm

جدول ۴ – نرخ تکرارپذیریِ نقص پارگی فاجعه بار مربوط به مخازن [7]

نوع مخزن	نوع تخلیه	تکرارپذیری (سال/نقص)
Double-Roof	پارگی و ترکیدن ناگهانی مخزن	۳×۱۰^{-۶}
Spherical	پارگی و ترکیدن ناگهانی مخزن	۶×۱۰^{-۶}
Bullet	پارگی و ترکیدن ناگهانی مخزن	۴×۱۰^{-۵}
Dome-Roof	پارگی و ترکیدن ناگهانی مخزن	۳×۱۰^{-۶}

با نرم افزار PHAST استفاده شد سپس برای اطلاع از تکرارپذیری این حوادث به بانک اطلاعاتی OGP[1] مراجعه شد که نرخ تکرارپذیری حادثه برای این نوع مخزن در هر اندازه نشتی تا پارگی کامل آن آوردهشده است. برای در نظر گرفتن ابعاد گوناگون نشتی، برای استفاده در مدل‌های تخلیه طبق جدول شماره ۳، برای مخازن سناریو پارگی و ترکیدن مخزن می‌تواند مفیدتر و همه جانبه باشد. ابتدا با مدل‌سازی نرم‌افزاری در نرم‌افزار PHAST به کمک تعریف شرایط عملیاتی، محیطی، نقشه مکانی و نیز تعریف موقعیت مخازن بر روی نقشه، فرایند مدل‌سازی انجام شد؛ سپس با استفاده از نرم‌افزار PHAST RISK میزان ریسک مخزن‌ها به‌دست آمد.

سابقه حادثه‌های موجود در یک واحد و واحدهای همانند، می‌تواند منبع اطلاعات بسیار مفیدی برای محاسبه تکرارپذیری حادثه باشد. در این روش همه حادثه‌های اتفاق افتاده جمع آوری و با تقسیم بر تعداد

(۱) Oil & Gas Producers

حادثه‌های اتفاق افتاده، تکرار پذیری آن حادثه‌ی مشخص مانند پارگی مخزن و پارگی لوله به‌دست می‌آید[۱۳].

نتیجه‌ها و بحث

طبق ارزیابی انجام شده با نرم افزار PHAST ، حداکثر پراکندگی ابرگاز در پارگی ناگهانی (Catastrophic rupture)، در پایین‌ترین حد اشتعال (LFL[1]) با غلظت ppm ۱۷۱۴۲ حدود ۱۰۷۰ متر، در سناریو روز زمستان برآورد شده است. نرم افزار PHAST دقت بسیار قابل قبولی در محاسبه انتشار مواد دارد[۸]. بیشینه دامنه پیمایش از کمترین غلظت لازم برای آغاز یک اشتعال(LFL) ، در روزهای فصل گرم سال حدود ۹۴ متر کم‌تر از فصل سرد سال محاسبه شده است. در ماه‌های گرم سال به دلیل ناپایداری لایه های جوی هوا و سرعت بالای باد در پراکنده ساختن ابر گاز قابل اشتعال، دامنه غلظت LFL کم‌تر از ماه‌های سرد سال است. شعاع پیمایش غلظت برحسب متر در سناریوهای گوناگون در جدول شماره ۵ آمده است.

گاهی با جرقه وسایل الکتریکی اطراف مخزن و قرارگرفتن ابر بخار در ناحیه قابل اشتعال، آتش ناگهانی به سرعت رخ می‌دهد[۴].

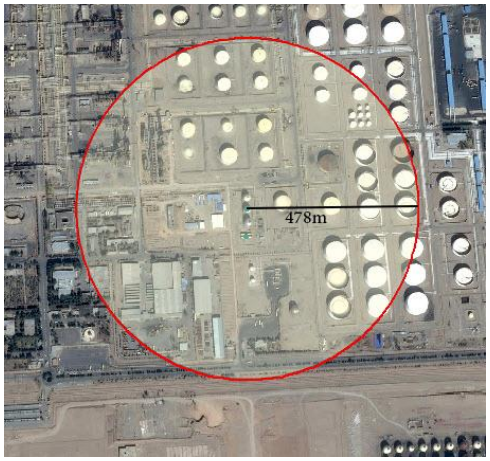
بنابراین‌احتمال آتش کروی در این مخزن در سه سطح از شدت تابش گرمایی بررسی شده است. بیش‌ترین مسافت تحت تأثیر در سطح تابشی $37.5\ kW/m^2$ تا شعاع ۴۷۸ متری بوده که این مقدار در سناریو شب زمستان، برآورد شده است (شکل شماره ۲). احتمال مرگ افراد در بازه تابش و مساحت بازه اثر سطوح تابشی در آتش کروی این مخازن در جدول شماره ۶ آمده است.

انفجار ناگهانی مخازن از شدیدترین سناریو محتمل است که بررسی آن اهمیت ویژه دارد[۹].

انفجار و اشتعال مخازن نفت و گاز بیشترین انحراف و شدیدترین پیامدها را به همراه دارد[۱۰]. بنابرین بیشترین گستردگی وقوع آتش ناگهانی (Flash Fire) پس از رَپچر این مخزن بررسی شد که تا شعاع اثر ۱۰۶۷ متری از مخزن امتداد دارد. همان‌گونه که پیش از این هم گفته شد، هرچند وقوع یک آتش ناگهانی تنها کسری بسیار کمی از زمان رخ می‌دهد ولی انرژی گرمایی متصاعد شده از آن منجر به سوختگی می‌شود بنابراین برای تعیین ریسک این نوع آتش احتمال مرگ افراد در نزدیک بازه گسترش آتش را ۹۸ درصد در نظر می‌گیرند. بیشترین توسعه این نوع از آتش در مخازن ۲۰۶۰ تا ۲۰۶۲ در سناریو روز تابستان تا شعاع ۹۷۶ متری، در سناریو روز زمستان

جدول ۵ - شعاع پیمایش غلظت برحسب متر در سناریو های گوناگون مربوط به مخزن ۲۰۶۰ الی ۲۰۶۲

سطح غلظت ابر گازی	غلظت برحسب ppm	شعاع پیمایش غلظت برحسب متر در سناریوهای گوناگون			
		روز زمستان	شب زمستان	روز تابستان	شب تابستان
حداکثر غلظت قابل اشتعال(UFL)	۹۲۴۳۰	۲۰۷,۹	۱۶۷,۲	۱۸۲,۵	۱۷۳,۸
حداقل غلظت قابل اشتعال(LFL)	۱۷۱۴۰	۱۰۶۷	۷۹۰,۴	۹۷۶,۵	۸۵۳,۲



شکل۲- بازه اثر سطح تابشی مستقیم منجر به سوختگی شدید در آتش کروی مخزن ۲۰۶۰

تا شعاع ۱۰۶۷ متری ، در سناریو شب تابستان تا شعاع ۸۵۳ متری و در سناریو شب زمستان تا شعاع ۷۹۰ متری، به‌دست آمده است. بیشینه مسافت تحت تاثیر انفجار در فشار موج ۱,۵bar حدود ۲۵۵ متر، در فشار موج ۰,۲bar حدود ۷۳۰ متر، در فشار موج ۰,۱۳ bar حدود ۹۷۴ متر محاسبه شده است. اگر ریسک در ناحیه ALARP قرار بگیرد، غیرقابل پذیرش است و راهکار اصلاحی باید انجام شود[۱۱].

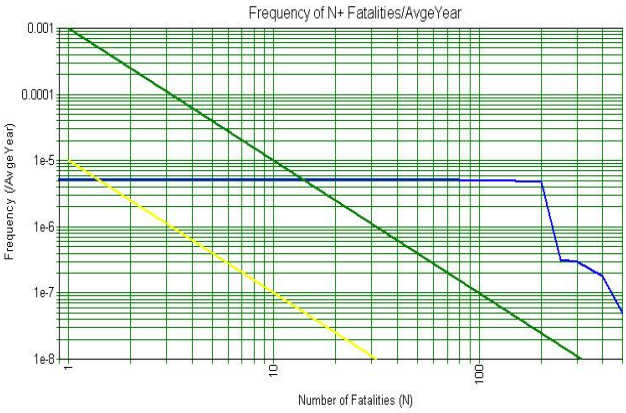
به طور کلی معیار قابل قبول بودن ریسک جمعی بصورت خطوط مشخص برروی منحنی F-N[2] مشخص می‌شود. این خطوط در جوامع گوناگون متفاوت بوده و هر کشور منحنی F-N مخصوص به صنایع خود را ارائه می‌دهد. منحنی F-N زیر از سه بخش تشکیل شده است. بخش پایین نمودار نشان‌دهنده ریسک قابل‌قبول (1×10^{-5}) و بخش بالای آن منطقه ریسک بالا (۰/۰۰۱) می‌باشد که اقدام‌های لازم برای کاهش ریسک آن (از طریق کاهش احتمال رخداد و یا کاهش پیامدهای آن) انجام شود (شکل شماره ۳). قسمت وسط نمودار

(۱) Lower Flammable Limit

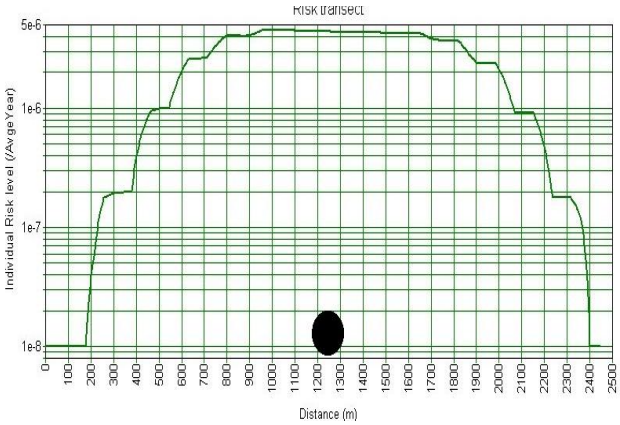
(۲) Frequency- Number

جدول۶ - احتمال مرگ در محدوده تشعشع و مساحت محدوده اثر سطوح تابشی در آتش کروی مخازن ۲۰۶۰ الی ۲۰۶۲

	4kW/m2		12.5kW/m2		37.5 kW/m^2	
شرایط محیطی	درصد احتمال مرگ آوری	مساحت تشعشعات شعله (M^2)	درصد احتمال مرگ آوری	مساحت تشعشعات شعله (M^2)	درصد احتمال مرگ آوری	مساحت تشعشعات شعله (M^2)
روز/ زمستان DWS	بدون مرگ –احتمال سوختگی	۱۲۷۹۰۱۶۰	۶،۵۳	۳۷۴۸۵۱۲	۹۸،۷۴	۵۵۶۶۹۳
شب /زمستان NWS	بدون مرگ –احتمال سوختگی	۱۴۶۵۴۸۹۷	۶،۵۳	۴۳۱۱۳۵۲	۹۸،۷۴	۷۱۷۹۹۹
روز/ تابستان DSS	بدون مرگ –احتمال سوختگی	۱۱۰۴۳۷۹۹	۶،۵۳	۳۲۱۷۸۶۴	۹۸،۷۴	۳۹۲۹۹۱
شب/ تابستان NSS	بدون مرگ –احتمال سوختگی	۱۳۱۳۴۶۵۶	۶،۵۳	۳۵۸۲۹۹۵	۹۸،۷۴	۵۸۸۹۴۲



شکل۳- منحنی ریسک جمعی پارگی مخازن ۲۰۶۰ الی ۲۰۶۲



شکل ۴- نمودار برشی ریسک فردی مخازن ۲۰۶۰ الی ۲۰۶۲

ناحیه ALARP نامیده می‌شود. این منطقه به منزله هشداری است که نشان می‌دهد حادثه مذکور در حال نزدیک شدن به منطقه ریسک بالا است. روشن است در این مخازن ریسک پارگی در ناحیه غیر قابل قبولی قرار دارد.

شکل شماره ۴، نمودار برشی ریسک نسبت به مخازن ۲۰۶۰ تا ۲۰۶۲ را نشان می‌دهد. در این نمودار ریسک فردی به صورت تابعی از فاصله شرق تا غرب سایت رسم شده است. شکل زیر نشان می‌دهد که بیشترین ریسک فردی در فاصله بین ۹۰۰ تا ۱۷۵۰ متری می‌باشد. در وسط این دو ناحیه، مخزن واقع شده است (بیشترین ریسک در شعاع ۴۸۰ متری). به دلیل وزش باد غالب از سمت غرب به شرق ریسک حوادث درضلع شرقی مخزن کمی بیشتر خواهد بود. قرار گرفتن کانتور ریسک در بالای ناحیه هشدار مهم بوده و برنامه ریزی برای کاهش ریسک بسیار دارای اهمیت است[۱۲].

نتیجه گیری

هدف اصلی این مطالعه، شناخت بهتر از مدل‌های گوناگون اشتعال، انفجار و انتشار ماده در صورت بروز ترکیدگی مخازن گاز مایع است. شناخت حوادث احتمالی هرچقدر ملموس تر و عینی‌تر باشند به طبع واکنش در برابر آن‌ها و اقدامات پیشگیرانه قبل از رخداد آن منطقی‌تر خواهد بود. براش درک یک حادثه در صنایع فرایندی، شبیه‌سازی و ارزیابی آن ابزار بسیار کارآمدی خواهد بود. البته این مسئله را باید همواره در نظر داشت که ایمنی منحصر به فاز ساخت، نصب و بهره‌برداری نیست؛ بلکه در مرحله ایده و طراحی یک سایت پالایشگاهی نیز این مسئله بسیار حائز اهمیت است و چه بسا که اهمیت افزونی هم دارد. ضمن بررسی‌های انجام شده احداث هرگونه مرکز تجمع در اطراف سه مخزن LPG بسیار خطرناک است. ریسک قرارگیری افراد تا شعاع حدود ۴۸۰متری اطراف مخازن بسیار خطرناک برآورد شد. لذا باید اتاق‌های کنترل، مسیرهای فرار ایمن و مسیرهای دسترسی به سایر تجهیزات در خارج از این محدوده جانمایی شود. کنترل دقیق و بازررسی مخازن یاد شده اهمیت ویژه ای دارد و به تعویق انداختن برنامه‌های اورهال این مخازن ریسک بسیار زیادی دارد. کنترل ضخامت سنجی منظم و کنترل خوردگی (هرچند ناچیز) به واحد

محترم مخازن و واحد محترم خوردگی پالایشگاه تاکید شد. قرار دادن مانع توری فلزی با فریم بسیار مقام در اطراف مخزن برای جلوگیری و کاهش ضربه ناشی از پرتابه های انفجار به افراد و سایر تجهیزات پیشنهاد می‌شود. نصب دکتورهای حساس در ارتفاع استاندارد در اطراف مخزن به برای کشف سریع و اعلان نشت گاز بسیار حائز اهمیت است. سیستم اعلان اتوماتیک نیز توصیه شد. بازرسی منظم برای حصول اطمینان از صحت عملکرد دکتورها و نیاز به یک برنامه مدون برای این کار بسیار مؤثر خواهد بود. قطع فوری تأسیسات اطراف در برنامه واکنش در شرایط اضطراری گنجانده شد. استفاده از الکتروموتورهای ایزوله و آنتی استاتیک و همچنین ارت کردن تجهیزها در این مورد تاکید شد. نصب صاعقه گیر با شعاع پوشش مناسب در محدوده مخزن برای جلوگیری از احتمال برخورد صاعقه بسیار ضروری است. برای جانمایی مخازن LPG در آینده توصیه می‌شود ابتدا مدل‌سازی و ارزیابی‌ها به‌طور کامل انجام و سپس با شرایط کامل‌تری از لحاظ فنی ساخته و نیز در یک مکان مناسب نصب و تجهیز شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۷

قدردانی

این بررسی، بخشی از یک پژوهش گسترده است که با حمایت واحد پژوهش پالایشگاه نفت اصفهان به انجام رسید. از همکاری همه جانبه‌ی واحد پژوهش، واحد مخازن، واحد مهندسی خوردگی و واحد HSE که صادقانه پشتیبانی کردند، سپاسگزاریم.

منابع

[۱] کاظمی، بابک ؛ "ایمنی و بهداشت کار"، نشر برآیند پویش، ص.۱۱ (۱۳۸۹)

[۲] عبدالحمیدزاده، بهمن ؛ بدری، ناصر ؛ "ارزیابی کمی و کیفی ریسک در صنایع فرایندی"، انتشارات اندیشه سرا، ص.۶ (۱۳۹۲)

[۳] جهانگیری، مهدی؛ نوروزی، محمدامین؛ ساربان زاده، کیوان؛ "مدیریت و ارزیابی ریسک". جلد دوم، نشر فن آوران، ص.۱۳ (۱۳۹۱)

[4] Haghnazarloo H. Parvini M. Lotfollah M; Consequence Modeling of a Real Rupture of Toluene Storage Tank, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **37:** 11-18 (2015)

[5] Haji Abbasi M. Benhelal E. Ahmadi A; Designing an Optimal Safe Layout for a Fuel Storage Tanks Farm: Case Study of Jaipur Oil Depot. *Journal of Chemical, Nuclear, Metallurgical and Materials Engineering*, **8(2):** 147-156 (2014)

[6] Mohammadfam I. Zarei E; Safety Risk Modeling and Major Accidents Analysis of Hydrogen and Natural Gas Releases: A Comprehensive Risk Analysis Framework. *International Journal of Hydrogen Energy*, **40(39):** 13653-13663 (2015)

[7] OGP. "Risk Assessment Data Directory-Storage Incident Frequencies" - International Association of Oil & Gas Producers. Report No. 434-3 (2010)

[8] Seungkyu D. ChangJun L. DongiL S; A Study on Quantitative Risk Analysis for Fire and Explosion in LNG-Liquefaction Process of LNG-FPSO, *6th International Conference on Process Systems Engineering, PSE ASIA*, (2014).

[۹] عباسی، یونس؛ دهقان زاده زیحانی، رضا، "آنالیز پیامد حوادث فرایندی مخزن ذخیره گاز مایع در شرکت پالایش نفت تبریز با استفاده از نرم افزارPHAST"، *کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهشی در شیمی و مهندسی شیمی*، (CHCONF ۰۱_۲۶۳) . (۱۳۹۴)

[۱۰] بهوندپور،رحیم ؛ گلبابایی، فریده؛ مدیریت مخاطرات، مدل‌سازی و ارزیابی پیامد نشتی از مخزن تفکیک‌گر سکوی نفتی نوروز جدید، *ماهنامه علمی اکتشاف و تولید نفت و گاز*، (۱۲۲): ۳۰-۳۴ (۱۳۹۴)

[۱۱] جعفری، محمدجواد؛ زارعی، اسماعیل؛ دُرمحمدی، علی؛ ارایه روشی برای مدل‌سازی پیامد و ارزیابی کمی ریسک حریق و انفجار در صنایع فرایندی (مطالعه موردی: فرایند تولید هیدروژن)، *فصلنامه علمی بهداشت و ایمنی کار*، **۳(۱):** ۵۵-۶۸ (۱۳۹۲)

[۱۲] کمالی، جواد ؛ محمدی، هادی ؛ ‘‘مدل‌سازی و آنالیز پیامد مخزن آمونیاک مجتمع پتروشیمی کرمانشاه با استفاده از نرم افزار Phast’’، *ششمین کنفرانس ملی مهندسی ایمنی و مدیریت HSE (دانشگاه صنعتی شریف)*، ۶ -۱۱۵۱ (۱۳۹۳)

[۱۳] باقری، مجتبی؛ بدری، ناصر؛ رشتچیان، داوود ؛ تعیین حریم ایمن خطوط انتقال گاز ترش به روش ارزیابی کمی ریسک؛ *نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران*، **۳۲(۲):** ۵۷ تا ۷۱ (۱۳۹۲)