

ارزیابی ریسک مخازن ذخیره‌سازی گاز نفتی مایع شونده در صنایع فرایندی با استفاده از روش پایپونی

مصطفی میرزائی علی‌آبادی^۱، امید کلات پور^۱، ایرج محمد فام^۲، یوسف بابایی
مسدرقی^{*۳}

^۱ استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

^۲ دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

* نویسنده مسئول: یوسف بابایی مسدرقی، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران. ایمیل:

usf.hse@gmail.com

DOI: 10.21859/johe-03021

چکیده

مقدمه: در مخازن ذخیره سازی LPG مقدار زیادی گازهای قابل اشتعال تحت فشار نگهداری می‌شود. رهایش محتويات این مخازن می‌تواند به پیامدهایی مانند BLEVE و انجارهای آتشین منجر شود. بنابراین، شناسایی علل و پیامدها و سناریوهای حوادث و تعیین احتمال رخداد آن‌ها با استفاده از روش پایپونی (Bowtie) که از ترکیب دو روش آنالیز درخت خطا و آنالیز درخت رویداد حاصل می‌شود امری ضروری بوده و هدف این مطالعه می‌باشد.

روش کار: در این مطالعه که در سال ۱۳۹۵ انجام‌شده است خطرات موجود در مخازن LPG پالایشگاه تهران با روش FTA شناسایی و پیامدهای بعد از رویداد اصلی با استفاده از ETA پیش‌بینی شده و احتمالات هر کدام محاسبه و با استفاده از دیاگرام Bowtie مسیر حادثه از فاز علی تا فاز پیامده ترسیم و بررسی گردید.

یافته‌ها: در مجموع ۲۱ رویداد و ۱۱ برش حداقل همراه با احتمالات رخداد و میزان اهمیت هریک در سمت چپ و ۹ پیامدهای سناریو بعد از رویداد اصلی همراه با احتمالات هریک در سمت راست دیاگرام مشخص گردید. احتمال وقوع رویداد اصلی (رهایش LPG از مخزن کروی) $3/45 \times 10^{-2}$ محاسبه شد.

نتیجه‌گیری: همه عوامل دخیل در رخداد حوادث و پیامدها به صورت تصویری در دیاگرام Bowtie نمایش داده می‌شود. با توجه به دادهای به دست آمده، نقش در سیستم حفاظت کاتدیک و ابزار دقیقه‌ها، سرریز شدن از جمله نقص‌های پراهمیت در مخزن LPG می‌باشد. به دلیل احتمال بالای پیامدها، نیاز به تعییه سیستم‌های پیشگیری کننده یا کاهنده پیامدها، مانند سیستم خنک‌سازی و سیستم Fire stop در واحد موردمطالعه موردنیاز است.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۱۰

واژگان کلیدی:

آنالیز درخت خطا

آنالیز درخت رویداد

گاز نفتی مایع شونده

صنایع فرایندی

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

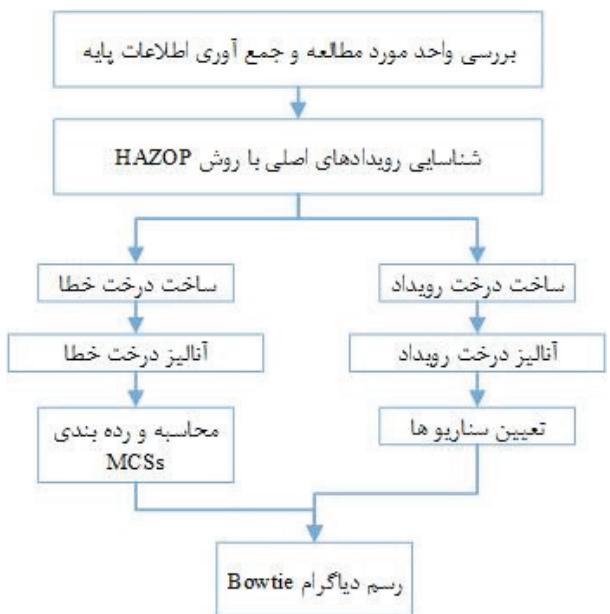
مقدمه

مخازن ذخیره‌سازی یکی از مهم‌ترین قسمت‌ها در صنایع فرایندی بوده که در آن نفت، محصولات پتروشیمی و طیف گسترده‌ای از مواد شیمیایی نگهداری می‌شود. این مخازن در پالایشگاه‌ها حجم زیادی از مواد شیمیایی قابل اشتعال و خطناک را در بر می‌گیرند که همین امر باعث ایجاد پتانسیل خطرات متعددی در آن‌ها می‌شود [۱]. بروز حادثه در این مخازن ممکن است باعث تحمیل خسارت‌های مالی و جانی و همچنین وقفه‌های طولانی مدت در تولید صنایع مرتبط گردد. با توجه به بررسی‌های انجام‌پذیرفته مشخص شده است که

ذخیره‌سازی گاز نفتی مایع شونده (LPG) در صنایع فراینده با استفاده از تکنیک Bowtie می‌باشد. این روش از سال ۲۰۰۵ به بعد بیشتر مورد توجه پژوهشگران در دنیا قرار گرفته است [۱۵].

روش کار

پس از بررسی‌های مقدماتی صورت گرفته در واحد مورد مطالعه الگویی به صورت تصویر ۱ جهت انجام مراحل تحقیق ترسیم شد. بررسی واحد مورد مطالعه و جمع آوری اطلاعات پایه: داده‌ها و اطلاعات لازم از طریق مشاهدات مستقیم، مصاحبه با کارشناسان، بررسی استناد و نقشه‌های عملیاتی و ... جمع آوری گردید.



تصویر ۱: نمایش گرافیکی مراحل انجام تحقیق

شناختی رویدادهای اصلی با روش HAZOP: با توجه به وجود خطرات مختلف در واحد مخازن LPG، تضمیم گرفته شد تا ارزیابی ریسک اولیه‌ای جهت انتخاب رویدادهای اصلی (Top event) انجام گیرد. جهت ترسیم و آنالیز دیاگرام Bowtie ابتدا باید درخت خطأ و درخت رویداد ترسیم و محاسبات مربوطه انجام گردد. روش Bowtie از ترکیب دو روش آنالیز درخت خطأ و آنالیز درخت رویداد ایجاد می‌شود. درخت خطأ (FT): این روش از استاندارد NUREG-0492-FT: این روش آنالیز Fault Tree مدلی گرافیکی و منتج شده است. روش آنالیز Fault Tree مدلی گرافیکی و یک نمودار منطقی است که ترکیب نواقصی که می‌توانند منجر به رخداد رویداد خاص موردنظر که Top Event

در سال ۲۰۰۸ و کره جنوبی در سال ۱۹۹۳ اشاره نمود [۷-۲]. نگرانی‌های عمدahای در ارتباط با ذخیره‌سازی مواد خطرناک مانند LPG که در صورت رهاسازی سریعاً در هوا منتشر می‌شوند در صنایع فراینده وجود دارد و به علت اینکه از هوا سنگین‌تر می‌باشند بر روی سطح زمین تجمع پیدا کرده و با کوچک‌ترین جرقه‌ای فاجعه‌ای عظیم را به بار می‌آورند [۸]. در مخازن ذخیره سازی LPG مقدار زیادی گازهای قابل اشتعال تحت فشار نگهداری می‌شود. رهایش محتویات این مخازن می‌تواند به پیامدهایی مانند انفجار بخار مایع در حال جوشان (BLEVE) و انفجارهای آتشین و پراکندگی مواد سمی منجر شود [۹].

برای کنترل آسیب‌ها و صدمات ناشی از عوامل مخاطره‌آمیز مرتبط با مخازن ذخیره‌سازی LPG باید به شناختی صحیح از خطرات بالقوه آن دست یافته. اصولاً برای ارزیابی ریسک از تکنیک‌های مختلفی استفاده می‌شود که انتخاب روش مناسب با توجه به صنایع مورد بررسی و اهداف مطالعات متفاوت می‌باشد [۱۰]. از روش‌های ارزیابی ریسک What ETA, FMEA, FTA, HAZOP, Dow Index ?if نمود که هر کدام اهداف مشخصی را دنبال کرده و ارزیابی ریسک را با هدف خاصی انجام می‌دهند [۱۱, ۱۲, ۱۳]. در Mطالعه‌ای که توسط Tamil Selvan در مخازن LPG انجام شده است ریسک‌های موجود در این مخزن شناسایی و سناریوهای حوادث مشخص شده و به صورت کمی رتبه‌بندی شده است و سپس با استانداردهای بین‌المللی مقایسه شده و نواحی دارای سطح خطر ALARP مشخص گردیده است [۱۳]. در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۹ انجام داد، Markowski سه روش ETA و FTA و Bowtie را بررسی نمود. وی در این مطالعه عنوان کرد که روش‌های آنالیز اینمی فرایندها از قبیل ETA و FTA می‌توانند بیشتر در رویکرد Bowtie برای ارزیابی ریسک سناریوهای حوادث استفاده شود. ایشان در این مطالعه یک مخزن ذخیره‌سازی ایزو بوتان را آنالیز کرده است [۱۴].

با توجه به توضیحات بالا و همچنین نبود سابقه ارزیابی ریسک با استفاده از روش Bowtie در مخازن ذخیره‌سازی LPG در سطح کشور، به نظر می‌رسد ارزیابی ریسک و همچنین تعیین سناریوهای حوادث مهم به صورت مصور و کمی با استفاده از روش Bowtie. در صنایع فرایندهای کشور به ویژه در قسمت ذخیره‌سازی موادی همچون LPG ضرورتی ویژه دارد که نیاز به توجه بیشتری در این زمینه می‌باشد، بر این اساس هدف از این مطالعه ارزیابی ریسک مخازن

احتمال رویدادهای پایه مربوط به برش حداقل موردنظر و I_i^{FV} میزان اهمیت رویداد پایه به روش Vesely, S_Fussell می‌باشد. در روش FV جهت محاسبه میزان اهمیت هر یک از رویدادهای پایه یا میانی، رویداد موردنظر را برابر صفر در نظر می‌گیرند و احتمال رویداد اصلی را محاسبه می‌کنند سپس از روی رابطه 3 میزان اهمیت رویداد موردنظر را محاسبه می‌نمایند [۱۹]. ضمناً رتبه‌بندی برش‌های حداقل با توجه به تعداد رویدادهای پایه هر برش انجام شده است [۲۰]. آنالیز درخت رویداد (ETA): آنالیز درخت رویداد نیز به دو صورت کمی و کیفی انجام می‌شود. در آنالیز کیفی به تعیین برش‌های حداقل (ستاریوهای) پرداخته شد و در آنالیز کمی احتمال هر برش نیز از طریق رابطه 5 محاسبه گردید. احتمال شکست یا موفقیت هر یک از لایه‌های حفاظتی با توجه به داده‌های عمومی مربوط به منبع شماره [۲۱] و نظرات متخصصین مشخص گردید.

رابطه 5 : $P_{r(consequence)} = P_r(TE) \times \prod_{j=1}^n P_r(E_j)$ احتمال رویداد اصلی، $P_r(TE)$ احتمال رویداد اصلی، $P_r(E_j)$ احتمال شکست یا موفقیت لایه‌های حفاظتی می‌باشد. رسم دیاگرام Bowtie: این تکنیک یک روش ارزیابی احتمالی یکپارچه است که از ترکیب دو تکنیک ETA و FTA ساخته شده است و ستاریوهای حادثه را بر اساس احتمال و مسیرهای رخداد ارزیابی می‌کند. این روش باهدف پیشگیری، کنترل، حذف یا کاهش رویدادهای نامطلوب از طریق توسعه یک ارتباط منطقی بین دلایل و پیامدهای یک رویداد نامطلوب مطرح شده است. درواقع دیاگرام Bowtie به مانشان می‌دهد که تجهیزات و افراد و سیستم‌های اینمی در یک ستاریوی حادثه چگونه عمل می‌کنند و خطاها و پیامدها چه ارتباطی با یکدیگر دارند. زمانی که احتمال وقوع هر ستاریوی ارزیابی شد علتها یا ستاریوهای بحرانی (مهم) به‌وضوح آشکار می‌شوند. بر اساس دیاگرام Bowtie حادثه در دوفاز قبل و بعد از حادثه بررسی شد و رویدادها و ستاریوهای بحرانی مشخص گردید.

یافته‌ها

درخت خطا: با توجه به نتایج HAZOP در مخزن کروی حاوی LPG، رهایش گاز LPG به عنوان رویداد خاص موردنظر (رویداد اصلی) انتخاب گردید و سپس بخش درخت خطا مربوط به روش Bowtie. مطابق تصویر ۲ در پنهانی تخصصی با حضور متخصصان اینمی و افراد عملیاتی مربوطه

نامیده می‌شود) گردد را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. این روش، روشی استنتاجی یعنی از کل به جزء است که در آن از نمادهای ریاضیاتی بولین (مانند AND, OR) استفاده می‌شود تا رویداد اصلی (Top Event) را به رویدادهای پایه (Basic Event) مرتبط کند.

درخت رویداد (ET): بهمنظور شناسایی و محاسبه ترتیب رخداد ستاریوهای دخیل در حادثه بالقوه، از روش آنالیز درخت رویداد استفاده گردید. هدف از استفاده از این روش، تعیین رخداد اولیه و پیامدهای آن در صورت عدم کارکرد صحیح سیستم‌های اینمی می‌باشد و یک ابزار بسیار قدرتمند برای شناسایی و ارزیابی کلیه مسیرهای پیامدهای سیستم که ممکن است بعد از یک رخداد اولیه اتفاق بیفتد می‌باشد. آنالیز درخت خطای (FTA): آنالیز FTA به دو صورت کمی و کیفی صورت می‌پذیرد. در مدل کیفی تنها به بررسی و تعیین برش‌های حداقل یا Minimal Cut Sets(MCSs) پرداخته می‌شود، یک مجموعه برش‌های حداقل ترکیبی از رویدادهای پایه است که برای وقوع رویداد اصلی کفایت می‌کند، اما در مدل کمی، احتمالات Top Event و برش‌های حداقل نیز محاسبه می‌گردد. جهت کمی سازی درخت خطای از داده‌های عمومی مربوط به منابع شماره [۱۶, ۱۷] و ضمایم آن‌ها و نظر متخصصین اینمی استفاده گردید. جهت محاسبه احتمال رخداد TE از رابطه‌های ۱ و ۲ استفاده گردید.

$$\text{رابطه ۱: } P_{\text{And}}(E) = \prod_{i=1}^k P(E_i)$$

$$\text{رابطه ۲: } P_{or}(E) = -1 \prod_{i=1}^k (1 - P(E_i))$$

که در این رابطه‌ها، k تعداد کل رویدادهای ورودی به دروازه موردنظر، $P_{\text{And}}(E)$ احتمال وقوع رویداد میانی یا رویداد اصلی با ورودی And، $P_{or}(E)$ احتمال وقوع رویداد میانی یا رویداد اصلی با ورودی Or، $P(E_i)$ احتمال رخداد رویدادها در درخت خطای E_i برای $i=1, 2, \dots, k$. یکی از مهمترین خروجی‌های آنالیز درخت خطای درروش Bowtie، محاسبه میزان اهمیت (Importance measure) هر یک از رویدادهای پایه و یا میانی و برش‌های حداقل در بروز رویداد اصلی می‌باشد [۱۸]. جهت محاسبه میزان اهمیت رویدادهای پایه و میانی از رابطه 3 و میزان اهمیت برش‌های حداقل از رابطه 4 استفاده گردید.

$$\text{رابطه ۳: } I_i^{FV} = \frac{P(TE) - P(TE)}{P(TE)}$$

$$\text{رابطه ۴: } IM_i = \frac{P(M_i)}{P(TE)}, P(M_i) = \prod_{i \in M} P(BE_i)$$

که در این رابطه IM میزان اهمیت برش حداقل، $P(TE)$ احتمال رویداد اصلی، $P(M_i)$ احتمال برش حداقل، $P(BE_i)$

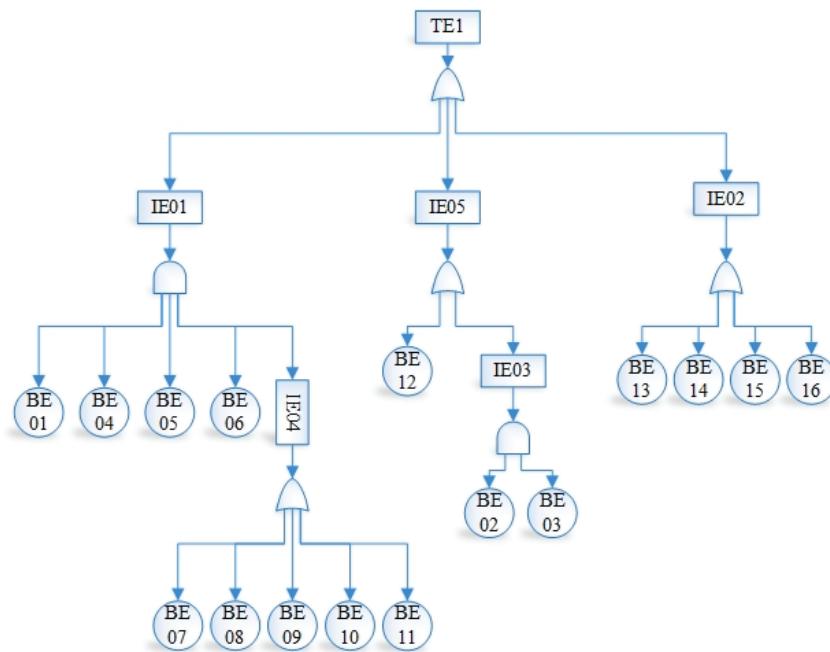
محاسبه احتمالات آن، بخش درخت رویداد مربوط به روش Bowtie نیز مطابق تصویر ۳ با حضور متخصصان اینمنی و افراد عملیاتی، در دو حالت رهایش ناگهانی و رهایش تدریجی و با در نظر گرفتن چهار لایه حفاظتی (سیستم‌های اینمنی) باهدف تعیین سناریوهای مختلف حوادث و توالی رویدادها بعد از رویداد اصلی، ترسیم گردید. بعدازینکه ترسیم کیفی درخت رویداد انجام شد احتمال شکست یا موفقیت هر یک از لایه‌های حفاظتی تعیین شده و سپس با استفاده از رابطه شماره ۵ احتمال هر یک از پیامدها محاسبه شد که در جدول ۳ نمایش داده شده است. ضمناً سناریوهای مختلفی که منجر به این نتایج شده است نیز در این جدول آورده شده است.

ترسیم گردید. بعدازینکه ترسیم کیفی درخت خطابا تمرکز بر رهایش گاز LPG به اتمام رسید احتمال رخداد رویدادهای پایه استخراج شده و کمی‌سازی درخت خطابا استفاده از ترکیب دروازه‌های منطقی و روابط ۱ و ۲ انجام گرفت. جدول ۱ احتمال رخداد رویدادهای پایه و احتمال رخداد رویدادهای میانی و رویداد نهایی (رهایش LPG از مخزن کروی) را نشان می‌دهد.

همچنین میزان اهمیت هر یک رویدادهای پایه و میانی و برش‌های حداقل (MCSS) در بروز رویداد اصلی با استفاده از روابط ۳ و ۴ محاسبه شده و به ترتیب در جداول ۱ و ۲ آمده است. درخت رویداد: بعد از ترسیم درخت خطابا مشخص شدن رویداد اصلی موردنظر و علت‌های به وجود آورنده و

جدول ۱: احتمال رخداد رویدادهای پایه و میانی درخت خطابا و میزان اهمیت رویدادها

رویدادها	توصیف رویداد	احتمال رویداد (در یک سال)	میزان اهمیت رویداد	رتبه‌بندی اهمیت رویداد پایه
BE.۱	ریختن اشتباه مواد به داخل مخزن (filling از بالا)	1×10^{-3}	$1/8 \times 10^{-6}$	۴
BE.۲	نقص سلول‌های کاتدی	$6/3 \times 10^{-2}$	$6/24 \times 10^{-1}$	۲
BE.۳	نقص در سیستم انتقال (پوشش خارجی)	$6/3 \times 10^{-2}$	$6/24 \times 10^{-1}$	۲
BE.۴	عدم تخلیه قبل از نمونه‌گیری	1×10^{-1}	$1/5 \times 10^{-6}$	۱
BE.۵	معرف با مواد تخلیه شده واکنش نشان می‌دهد	1×10^{-1}	$1/5 \times 10^{-6}$	۱
BE.۶	افزایش فشار بیش از ظرفیت PSV	1×10^{-1}	$1/5 \times 10^{-6}$	۱
BE.۷	نقص در کمپرسور	$8/1 \times 10^{-2}$	$2/89 \times 10^{-6}$	۳
BE.۸	نقص در Surge drum	1×10^{-1}	$2/89 \times 10^{-6}$	۱
BE.۹	نقص در PRV	1×10^{-2}	$2/89 \times 10^{-6}$	۵
BE.۱۰	نقص در PSV	1×10^{-2}	$2/89 \times 10^{-6}$	۵
BE.۱۱	نقص در فن هوایی	$2/19 \times 10^{-3}$	$2/89 \times 10^{-6}$	۷
BE.۱۲	نشتی از drain valve	1×10^{-4}	$2/9 \times 10^{-3}$	۸
BE.۱۳	شکست یا نقص LI	1×10^{-2}	$2/81 \times 10^{-1}$	۵
BE.۱۴	خطای اپراتور	3×10^{-3}	$8/1 \times 10^{-2}$	۶
BE.۱۵	حجم ناکافی در مخزن در هنگام بارگیری	1×10^{-2}	$2/81 \times 10^{-1}$	۵
BE.۱۶	نقص در TI&PI	8×10^{-3}	$2/24 \times 10^{-1}$	۶
TE.۱	رهایش LPG از مخزن کروی	$3/45 \times 10^{-2}$	رویداد اصلی	رویداد اصلی
IE.۱	ترکیدگی مخزن	$1/91 \times 10^{-6}$		۵
IE.۲	سرریز شدن مخزن و رهایش از شیر اطمینان (PRV)	$3/406 \times 10^{-2}$		۲
IE.۳	سوراخ شدن مخزن به علت خوردگی	$3/97 \times 10^{-3}$		۴
IE.۴	نقص در سیستم‌های کاهنده فشار	$3/09 \times 10^{-2}$		۱
IE.۵	نشتی از مخزن	$4/07 \times 10^{-3}$		۳



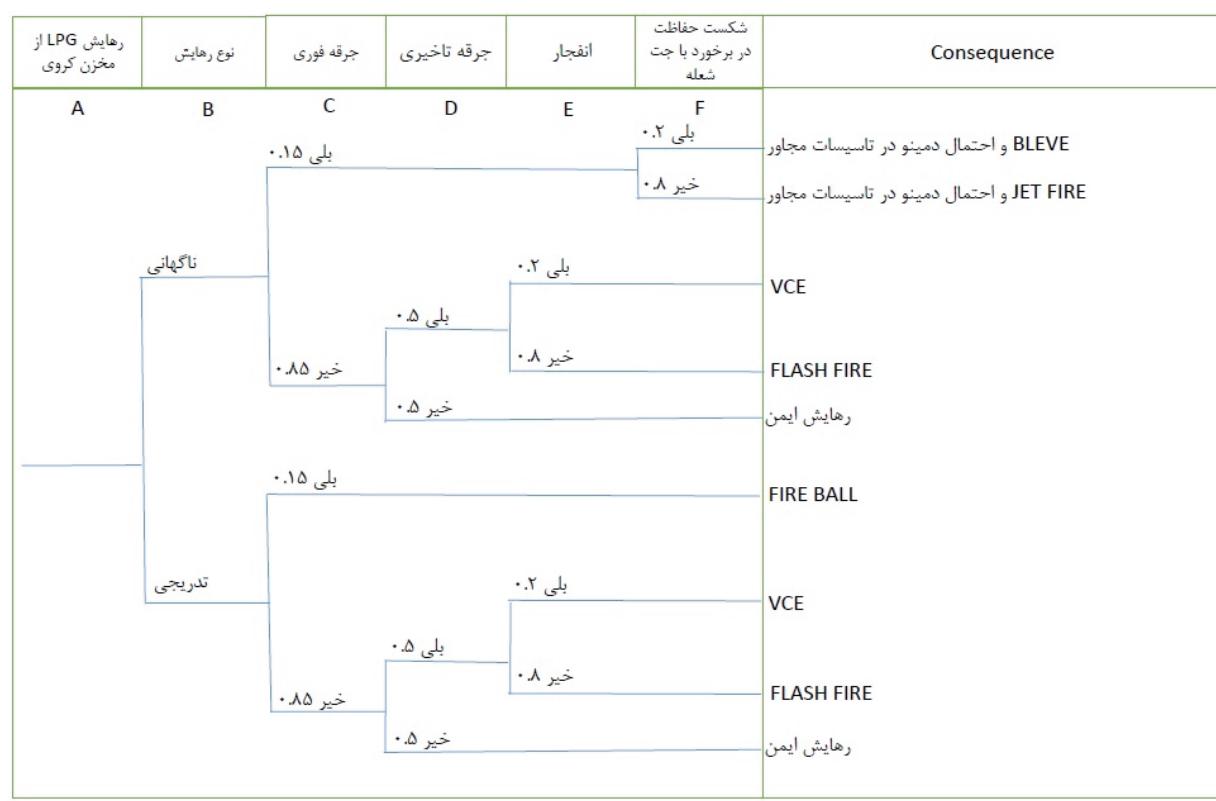
تصویر ۲: درخت خطا ترسیم شده مربوط به رهایش گاز LPG از مخزن کروی در روش Bowtie

جدول ۲: توصیف برش‌های حداقل مربوط به درخت خطا و میزان اهمیت هریک از آن‌ها

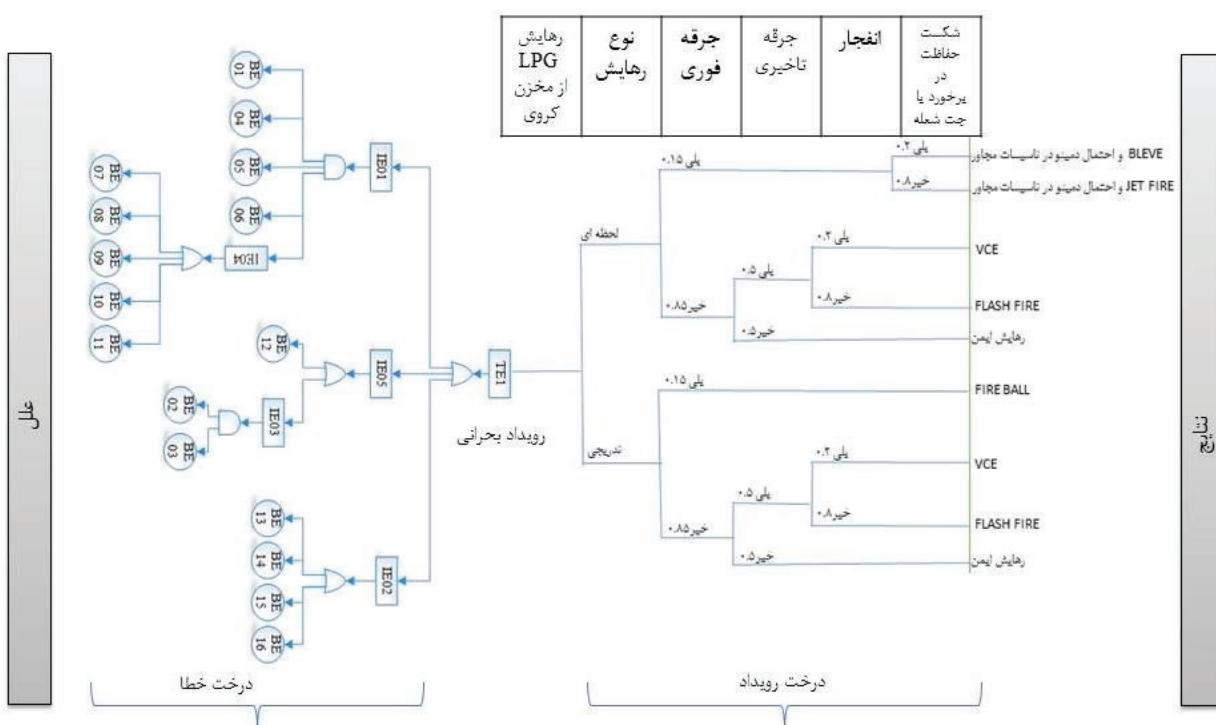
شماره برش حداقل	توصیف	احتمال (در یک سال)	میزان اهمیت برش حداقل	رتبه‌بندی اهمیت برش حداقل
CS1	BE01,BE04,BE05,BE06,BE07	8×10^{-7}	$2/35 \times 10^{-5}$	۳
CS2	BE01,BE04,BE05,BE06,BE08	1×10^{-6}	$2/9 \times 10^{-5}$	۳
CS3	BE01,BE04,BE05,BE06,BE09	1×10^{-7}	$2/9 \times 10^{-6}$	۳
CS4	BE01,BE04,BE05,BE06,BE10	1×10^{-7}	$2/9 \times 10^{-6}$	۳
CS5	BE01,BE04,BE05,BE06,BE11	$2/19 \times 10^{-8}$	$6/35 \times 10^{-7}$	۳
CS6	BE02,BE03	$3/969 \times 10^{-4}$	$1/15 \times 10^{-1}$	۲
CS7	BE12	1×10^{-4}	$2/9 \times 10^{-3}$	۱
CS8	BE13	1×10^{-2}	$2/9 \times 10^{-1}$	۱
CS9	BE14	3×10^{-3}	$8/7 \times 10^{-2}$	۱
CS10	BE15	1×10^{-2}	$2/9 \times 10^{-1}$	۱
CS11	BE16	8×10^{-3}	$2/32 \times 10^{-1}$	۱

جدول ۳: احتمال طبقه‌بندی شده پیامدهای نهایی درخت رویداد (حروف انگلیسی به تصویر B حالت شکست لایه حفاظتی)

شاخه‌های ایجاد‌کننده پیامد	پیامد	احتمال (در یک سال)
ABC F	BLEVE و احتمال دمینو در تأسیسات مجاور	$1/035 \times 10^{-3}$
ABC F	Jet fire و احتمال دمینو در تأسیسات مجاور	$4/14 \times 10^{-3}$
AB C D E	VCE	$2/93 \times 10^{-3}$
AB C D E	Flash fire	$1/17 \times 10^{-3}$
AB C D	رهایش ایمن	$1/46 \times 10^{-3}$
ABC	Fire Ball	$5/17 \times 10^{-3}$
AB C D E	VCE	$2/93 \times 10^{-3}$
AB C D E	Flash fire	$1/17 \times 10^{-3}$
AB C D	رهایش ایمن	$1/46 \times 10^{-3}$



تصویر ۳: درخت رویداد ترسیم شده مربوط به رهایش گاز LPG از مخزن کروی در روش Bowti



تصویر ۴: دیاگرام Bowtie و اجزاء تشکیل دهنده آن

رخداد رویداد اصلی نیز 1×10^{-4} محاسبه شد [۲۳]. علت نبود نشتی از مخزن در دلایل وقوع رویداد اصلی در مطالعه فوق می‌تواند به بسط ندادن بیشتر شاخه درخت خطای دیاگرام Bowtie ارتباط داشته باشد. همچنین دلیل تفاوت در عدد محاسبه‌شده برای احتمال وقوع رویداد اصلی نیز می‌تواند به دلیل بهتر بودن دستگاه‌های ایمنی و احتمال رخداد پایین رویدادهای پایه در مخزن‌های مورد مطالعه در مطالعه فوق باشد. با توجه به جدول ۲ درمجموع ۱۱ برش حداقل

در شاخه درخت خطای دیاگرام Bowtie محاسبه شد و میزان اهمیت هریک از آن‌ها محاسبه شده و رتبه‌بندی گردید. رتبه‌بندی برش‌های حداقل با توجه به تعداد رویدادهای پایه در هر برش انجام شد که این نوع رتبه‌بندی در مطالعات مشابه [۲۰] نیز دیده می‌شود.

با توجه به مقایسه نتایج این مطالعه با مطالعه آقای Nima khakzad و همکاران [۲۰] و نیز مطالعه آقای Daqing Wang [۲۵] می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تعداد برش‌های حداقل هر درخت خطای بستگی به تعداد رویدادهای پایه و نحوه ورود رویدادهای پایه از طریق دروازه‌های «و» و «یا» دارد. البته نباید از نظر دور داشت که هر چه تعداد برش‌های حداقل در یک درخت خطای زیاد باشد سیستم مورد مطالعه در به وقوع پیوستن حادثه آسیب‌پذیرتر می‌باشد.

میزان اهمیت هر یک رویدادهای پایه و میانی در جدول ۱ و میزان اهمیت برش‌های حداقل (MCSS) در جدول ۲ (BE^{۰۳}, BE^{۰۲}) آمده است که در آن رویداد پایه ۲ و ۳ (IE^{۰۲}) در بین رویدادهای میانی دارای بیشترین اهمیت و بیشترین تأثیر در وقوع رویداد رأس را دارا می‌باشند و نیز برش‌های حداقل ۸ و ۱۰ (CS^{۱۰}, CS^۸) بیشترین و برش حداقل ۵ (CS^۵) کمترین تأثیر و اهمیت را در رخداد رویداد اصلی دارا می‌باشند. با توجه به این نتایج می‌توان گفت که با وجود عوامل مختلف در اکسایش دیواره و تجهیزات جانبی مخزن، توجه به تعییرات و نگهداری و تست‌های دوره‌ای سیستم حفاظت کاتدیک توجه ویژه‌ای را در واحد موردمطالعه می‌طلبد و دارای اولویت بیشتری نسبت به سایز تجهیزات جانبی می‌باشد. نتیجه این مطالعه با مطالعه زیر مقایسه گردید. در مطالعه آقای Rachid Ouache و همکاران که با روش Bowtie انجام شده است درمجموع شش رویداد پایه و چهار برش حداقل را می‌توان محاسبه نمود. اینکه کدام رویداد پایه و کدام برش حداقل بیشترین تأثیر را در رخداد رویداد رأس دارد نیز قابل محاسبه می‌باشد و برش حداقل حساس و مهم در مطالعه فوق مشابه برش حداقل حساس و مهم این مطالعه

دیاگرام Bowtie با کمک داده‌ها و اطلاعات مربوط به درخت خطای و درخت رویداد ترسیم شده و اطلاعات آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همان‌گونه که در تصویر ۴ مشخص می‌باشد عوامل به وجود آورنده رویداد اصلی همراه با شاخه‌ها و دروازه‌های منطقی در سمت چپ دیاگرام و لایه‌های حفاظتی همراه با شکست یا موقفيت این لایه‌ها و پیامدها در سمت راست دیاگرام Bowtie است.

بحث

شناسایی خطرات یک وظیفه ابتدایی جهت ارزیابی خطرات است. هر چه ارزیابی‌ها دقیق و جامع باشد و بتواند احتمالات خطرات و سناوهای به وجود آورنده حوادث را بهطور تقریباً کامل بیان کند می‌تواند رهنمودهای بسیاری را برای مدیران ارشد یک سازمان مهیا سازد. با توجه به تصویر ۲ Bowtie نتایج مرحله ترسیم کیفی درخت خطای دیاگرام نشان داد درمجموع ۲۱ علل یا نقص (۱۵ رویداد پایه‌ای و ۵ رویداد میانی) در رخداد رهایش گاز LPG دخیل هستند. نتایج این مطالعه با مطالعات زیر موردنبررسی و مطابقت قرار گرفت. در درخت خطای ترسیم شده مربوط به مطالعه Rajakarunakaran از مخزن یک کامیون درمجموع ۱۶ رویداد پایه و ۴ رویداد میانی [۲۲] و در درخت خطای ترسیم شده مربوط به مطالعه Refaul Ferdous و همکاران ۶ رویداد پایه [۲۳] و در مطالعه Rachid Ouache و همکاران نیز ۶ رویداد پایه و ۲ رویداد میانی شناسایی شده است [۲۴]. وجود تجهیزات جانبی مختلف در هر یک از انواع مخازن LPG، حجم مخزن، گسترش دادن رویدادهای پایه، در نظر گرفتن مرازهای فیزیکی مختلف در انواع مطالعات، تعداد رخدادهای غیرمجاز و سطح تمرکز دلایل عمدۀ تفاوت در تعداد رویدادهای پایه و میانی شناسایی شده می‌تواند باشد. با توجه به جدول ۱ سرریز شدن مخزن و رهایش از شیر اطمینان (احتمال رخداد: 10^{-2} , نشتی از مخزن (احتمال رخداد: 10^{-3} , 10^{-4})، نشتی از مخزن (احتمال رخداد: 10^{-3} , 10^{-4}) و ترکیدگی مخزن (احتمال رخداد: 10^{-3} , 10^{-4}) به ترتیب بیشترین نقش را در رهایش گاز LPG دارا می‌باشند. احتمال رخداد رویداد اصلی (رهایش LPG از مخزن کروی) نیز 10^{-3} , 10^{-4} محاسبه گردید. نتایج این مطالعه با مطالعات زیر موردنبررسی و مطابقت قرار گرفت.

در مطالعه‌ای که آقای Rachid Ouache و همکاران در ارتباط با مخزن ذخیره‌سازی LPG با استفاده از روش Bowtie انجام داد، ترکیدگی مخزن و سرریز شدن مخزن به ترتیب بیشترین تأثیر را در رخداد رهایش گاز LPG داشتند و احتمال

حافظتی در مطالعه فوق نسبت به این مطالعه متفاوت است. مطابق با تصویر ۴ که دیاگرام Bowtie را نمایش می‌دهد دو نوع آنالیز شامل آنالیز کمی و آنالیز کیفی دارای پنج بخش اساسی و کاربردی شامل خطرات (تهدیدها)، درخت خطای رویداد، پیامدها به همراه چندین بخش فرعی شامل لایه‌های حفاظتی، سناریوهای قبل و بعد از وقوع حوادث، احتمالات رخداد سناریوها و برش‌های حداقل، میزان اهمیت، شناسایی و محاسبه شده است. این اطلاعات ارزشمند روش Bowtie از ترکیب دو روش آنالیز درخت خطای آنالیز درخت رویداد حاصل شده است. نتایج این مطالعه با مطالعات زیر بررسی و مطابقت داده شد.

و همکاران دو نوع آنالیز شامل آنالیز کیفی (دیاگرام درخت خطای و درخت رویداد همراه با لایه‌های حفاظتی) و آنالیز کمی (دیاگرام درخت خطای و درخت رویداد و لایه‌های حفاظتی همراه با محاسبه احتمالات رویداد اصلی و پیامدها) را همراه با ارتباط خطاهای و پیامدها برای روش Bowtie بررسی کردند [۲۶]. همچنین Targoutzidis و همکاران در مطالعه خود روش Bowtie را روشنی که از پتانسیل خطرات شروع کرده و در ادامه به رویداد اصلی بسط داده می‌شود و سپس پیامدهای حادثه بررسی می‌شود تعریف کرده و سپس در آنالیز عملی خود برش‌های حداقل و سناریوهای حادثه را تعیین و احتمالات آن همراه با میزان اهمیت هر یک از رویدادها و برش‌ها را محاسبه نموده‌اند [۲۷]. نتایج این مطالعه با مطالعات فوق و همچنین مطالعات [۲۸-۳۲] مشابه می‌باشد.

نتیجه گیری

هدف از ارزیابی کمی ریسک به روش Bowtie محاسبه ارزش علل شروع کننده و احتمال پیامدهای حاصله و نیز تعیین سناریوها شروع کننده و ادامه‌دهنده تا پیامدهای حاصله می‌باشد. در دیاگرام Bowtie مسیر حادثه از فاز علل و قوع حادثه تا پیامدهای حادثه را دریابی شد. در این فرایند میزان اهمیت رویدادها و برش‌های حداقل و سناریوهای مختلف نیز مشخص شد که می‌تواند در تخصیص منابع و امکانات جهت کاهش رخداد حوادث و پیامدهای آن مورد بهره قرار گیرد. از دیگر مزیت‌های کاربرد روش Bowtie در ارزیابی ریسک مخازن LPG، پیشگیرانه و واکنشی بودن و ارائه راهکارهای کنترلی، پوشش دادن تمامی فرایندهای مربوط به مخزن LPG، ساده و قابل اجرا بودن، هزینه پایین اجرا، قابل فهم بودن برای همگان، خروجی دیاگرامی و قابل نصب در فضاهای اداری می‌باشد. دیاگرام Bowtie نشان داد که عوامل متعددی

می‌باشد [۲۳] اما مطلبی که در اینجا اهمیت دارد این است که کاربرد میزان اهمیت چه برای رویدادهای پایه و چه برای برش‌های حداقل دو چیز است: ۱- تخصیص بهتر منابع برای کنترل ۲- تعیین دامنه آنالیز هریک از رویدادهای پایه و یا برش‌های حداقل. آنچه که اغلب به هنگام محاسبه این اهمیت‌ها نتیجه‌گیری و استنباط می‌شود این است که تنها تعداد اندکی از رویدادها، نقش برجسته‌تری در وقوع رویداد رأس دارند در بسیاری از موارد تنها کمتر از ۲۰ درصد رویدادها در وقوع بیش از ۹۰ درصد رویداد رأس نقش دارند. علاوه بر مشخص شدن میزان اهمیت رویدادها، از دیگر نتایج سودمند این محاسبه، روشن شدن وضعیت تخصیص منابع به منظور تست، تعمیر و نگهداری، بازرسی، کنترل کیفیت و غیره می‌باشد تا بدین‌وسیله با بهینه‌سازی توزیع منابع، هزینه‌ها به حداقل برسد و سیستم به وضعیت بهتری سوق داده شود. علاوه بر تخصیص منابع، از سنجش میزان اهمیت می‌توان برای تعیین زمان‌های تعمیر یا از سرویس خارج کردن قطعات بهره بردار. آنچه مسلم است قطعه‌ای که سهم عمده‌ای در وقوع رویداد رأس دارد بایستی در زمان کمتری تعمیر یا از سرویس خارج گردد.

با توجه به تصویر ۳، نتایج مرحله کیفی ترسیم درخت رویداد مربوط به روش Bowtie نشان داد که درمجموع ۹ پیامد در حالت‌های مختلف شکست یا موفقیت لایه‌های حفاظتی و توالی رویدادها می‌تواند به وجود آید. بعدازاینکه ترسیم کیفی درخت رویداد انجام شد احتمال شکست یا موفقیت هر یک از لایه‌های حفاظتی تعیین شده و احتمال هر یک از پیامدها به همراه سناریوهای مختلفی که منجر به این پیامدها می‌شود محاسبه شد که در جدول ۳ نمایش داده شده است. سناریوی ABCD دارای بیشترین احتمال و سناریوی ABCF دارای کمترین احتمال در به وقوع پیوستن پیامد پیش‌بینی شده را دارا است. نتایج این مطالعه با مطالعات زیر موردنرسی و مطابقت قرار گرفت. در مطالعه Rachid Ouache و همکاران ۱۰ پیامد و سناریو در بخش درخت رویداد روش Bowtie شناسایی و احتمالات رخداد آن‌ها محاسبه شده است [۱۳]. همچنین در مطالعه Tamil Selvan LPG و همکاران نیز ۵ پیامد درنتیجه رهایش ناگهانی گاز LPG شناسایی و محاسبه گردیده است، همچنین سناریو و پیامد مهم این مطالعه نیز رهایش این گاز LPG محاسبه شده است [۲۳]. نتایج مطالعات فوق با نتایج این مطالعه مشابه است و تنها تفاوت در احتمالات محاسبه شده برای پیامدها می‌باشد و این تفاوت به این دلیل می‌باشد که احتمال رخداد رویداد اصلی و احتمال شکست یا موفقیت لایه‌های

تست‌های ضخامت سنجی دیواره، احتیاط در هنگام نمونه‌برداری یا هنگام Drain کردن، کمتر نمودن حجم مواد ذخیره شده در داخل مخزن و تعمیرات و نگهداری ابزار دقیق‌ها. همچنین با توجه به احتمال محاسبه شده برای رویداد اصلی (رهایش گاز LPG) تجهیزات ویژه‌ای در واحد موردمطالعه موردنیاز است که از جمله آن‌ها تعییه سیستم خنکسازی مخازن، عایق‌بندی دیواره، تست‌های ضخامت سنجی بیشتر و دقیق‌تر، تعییه سه عدد پمپ و کمپرسور و فن هوایی (همیشه یکی از این تجهیزات در مسیر باشد و دو مورد دیگر به عنوان یدک نگهداری شود). وجود عدم قطعیت در احتمالات ورودی رویدادهای پایه از جمله معایب مطالعه فوق به شمار می‌رود که نیاز به انجام مطالعه به شیوه منطق فازی یا فازی - عصبی دارد که در آینده انجام شود.

سپاسگزاری

در پایان از کارکنان واحد ایمنی پالایشگاه نفت شهید تندگویان تهران به سبب همکاری‌های مفیدی که با نویسنده‌گان داشتند نهایت تقدیر و تشکر را دریم.

REFERENCES

- Lees F. Lees' Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control. Philadelphia: Elsevier Science; 2012.
- Chang JI, Lin C-C. A study of storage tank accidents. *J Loss Prev Process Ind.* 2006;19(1):51-9. [DOI: 10.1016/j.jlp.2005.05.015](https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.05.015)
- Mou X, Carleton University. Dissertation. Engineering C, Co P. Quantitative Fire Risk Analysis Case Study Using CUrisk. Ottawa: Library and Archives Canada = Bibliothèque et Archives Canada; 2009.
- Reed S, Tromp F, Lam A. Major hazards—Thinking the unthinkable. *Environ Manage.* 1992;16(6):715-22. [DOI: 10.1007/bf02645661](https://doi.org/10.1007/bf02645661)
- Ronza A, Fàbrega J, Sánchez J. Contributions to the risk assessment of major accidents in port areas. Barcelon: Universitat Politècnica de Catalunya; 2011.
- Taveau J. Explosion of fixed roof atmospheric storage tanks, part 1: Background and review of case histories. *Process Saf Prog.* 2011;30(4):381-92. [DOI: 10.1002/prs.10459](https://doi.org/10.1002/prs.10459)
- Pallotta N, Giovannone M, Pezzotti P, Gigliozzi A, Barberani F, Piacentino D, et al. Ultrasonographic detection and assessment of the severity of Crohn's disease recurrence after ileal resection. *BMC Gastroenterol.* 2010;10:69. [DOI: 10.1186/1471-230X-10-69](https://doi.org/10.1186/1471-230X-10-69) PMID: 20594291
- Floreo G, Popa M. Safety and Security Integration in LPG Tank Farm Process Control. IFAC Proc Vol. 2012;45(6):1828-31. [DOI: 10.3182/20120523-3-ro-2023.00436](https://doi.org/10.3182/20120523-3-ro-2023.00436)
- Landucci G, D'Aulisa A, Tugnoli A, Cozzani V, Birk AM. Modeling heat transfer and pressure build-up in LPG vessels exposed to fires. *Int J Therm Sci.* 2016;104:228-44. [DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2016.01.002](https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2016.01.002)
- Marhavilas PK, Koulouriotis DE. A risk-estimation methodological framework using quantitative assessment techniques and real accidents' data: Application in an aluminum extrusion industry. *J Loss Prev Process Ind.* 2008;21(6):596-603. [DOI: 10.1016/j.jlp.2008.04.009](https://doi.org/10.1016/j.jlp.2008.04.009)
- Fabbrocino G, Iervolino I, Orlando F, Salzano E. Quantitative risk analysis of oil storage facilities in seismic areas. *J Hazard Mater.* 2005;123(1-3):61-9. [DOI: 10.1016/j.jhazmat.2005.04.015](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.04.015) PMID: 15908107
- Tixier J, Dusserre G, Salvi O, Gaston D. Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. *J Loss Prev Process Ind.* 2002;15(4):291-303. [DOI: 10.1016/s0950-4230\(02\)00008-6](https://doi.org/10.1016/s0950-4230(02)00008-6)
- Tamil Selvan R. risk assessment study for LPG storage and handling system of heat treatment plant. *Int J Emerg Technol Adv Eng.* 2015;5(7):122-31.
- Markowski AS, Mannan MS, Bigoszewska A. Fuzzy logic for process safety analysis. *J Loss Prev Process Ind.* 2009;22(6):695-702. [DOI: 10.1016/j.jlp.2008.11.011](https://doi.org/10.1016/j.jlp.2008.11.011)
- Cockshott JE. Probability Bow-Ties. *Process Saf Environ Prot.* 2005;83(4):307-16. [DOI: 10.1205/psep.04380](https://doi.org/10.1205/psep.04380)
- Freeman RA. CCPS guidelines for chemical process quantitative risk analysis. *Plant Oper Prog.* 1990;9(4):231-5. [DOI: 10.1002/prsb.720090409](https://doi.org/10.1002/prsb.720090409)
- Autor O, Autor SIM. OREDA : Offshore reliability data handbook: PO Box; 2002.
- Vesely DL, Straub KD, Nolan CM, Rolfe RD, Finegold SM, Monson TP. Purified Clostridium difficile cytotoxin stimulates guanylate cyclase activity and inhibits adenylate cyclase activity. *Infect Immun.* 1981;33(1):285-91. [PMID: 6114928](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6114928/)
- Rausand M. Reliability of Safety-Critical Systems: Theory and Applications: John Wiley & Sons; 2004.
- Khakzad N, Khan F, Amyotte P. Safety analysis in process facilities: Comparison of fault tree and Bayesian network approaches. *Reliabil Eng Syst Saf.* 2011;96(8):925-32. [DOI: 10.1016/j.ress.2011.03.012](https://doi.org/10.1016/j.ress.2011.03.012)
- Safety) CCfCP. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis: Wiley; 2000.
- Ferdous R, Khan F, Sadiq R, Amyotte P, Veitch B. Fault and event tree analyses for process systems risk analysis: uncertainty handling formulations. *Risk Anal.* 2011;31(1):86-107. [DOI: 10.1111/j.1539-6924.2010.01475.x](https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2010.01475.x) PMID: 20731791
- Ouache R, Adham AA. Reliability Quantitative Risk Assessment in Engineering System using Fuzzy Bow-Tie. *Int J Curr Eng Technol.* 2014;4(2):1117-23.
- Rajakarunakaran S, Maniram Kumar A, Arumuga Prabhu V. Applications of fuzzy faulty tree analysis and expert elicitation for evaluation of risks in LPG refuelling station. *J Loss Prev Process Ind.* 2015;33:109-23. [DOI: 10.1016/j.jlp.2014.11.016](https://doi.org/10.1016/j.jlp.2014.11.016)
- Wang D, Zhang P, Chen L. Fuzzy fault tree analysis for fire and explosion of crude oil tanks. *J Loss Prev Process Ind.* 2013;26(6):1390-8.

به تنها یی یا در کنار هم در قوع رویداد رأس و پیامدهای ایجاد شده، می‌توانند دخیل باشند. از جمله مهم‌ترین این موارد می‌توان به نقص در سیستم حفاظت کاتدیک، نقص در ابزار دقیق‌ها و سرریز شدن مخزن به علت بی‌احتیاطی را نام برد. اطلاعاتی که این ترسیم گرافیکی به ما می‌دهد شامل موارد زیر است: ردیابی مسیرهای منطقی منتهی به رویداد رأس و پیامدها که در جدول ۲ و ۳ آمده است، اولویت‌دهی به رویدادهایی که بیشترین سهم را در قوع رویداد رأس و پیامدها دارند، ابزار نظارتی بر عملکرد سیستم، ابزار پیشگیرانه، شناسایی نقاط ضعف طراحی و روش‌های اجرایی مانند عدم نصب Fire stop بین چهارتا مخزن، همچنین برای ارائه پیشنهادهایی برای کاهش حوادث بالقوه آنالیز شده، بهینه‌سازی و به حداقل رساندن مصرف منابع به این شکل که دیاگرام Bowtie ضمن اینکه رویدادهای پراهمیت را نمایان می‌کند رویدادهای قابل اغماض را هم آشکار می‌سازد. رویدادهای قابل اغماض در این مطالعه بسط داده نشد.

با توجه به وجود خطرات مختلف در واحد مخازن LPG مواردی که نیاز به توجه اساسی دارند شامل موارد زیر می‌باشند: سیستم حفاظت کاتدیک، کمتر نمودن فواصل

- DOI: [10.1016/j.jlp.2013.08.022](https://doi.org/10.1016/j.jlp.2013.08.022)
26. de Ruijter A, Guldenmund F. The bowtie method: A review. *Saf Sci.* 2016;88:211-8. DOI: [10.1016/j.ssci.2016.03.001](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.03.001)
27. Targoutzidis A. Incorporating human factors into a simplified “bowtie” approach for workplace risk assessment. *Saf Sci.* 2010;48(2):145-56. DOI: [10.1016/j.ssci.2009.07.005](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.07.005)
28. de Dianous V, Fievez C. ARAMIS project: a more explicit demonstration of risk control through the use of bow-tie diagrams and the evaluation of safety barrier performance. *J Hazard Mater.* 2006;130(3):220-33. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2005.07.010](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.07.010) PMID: [16107301](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16107301/)
29. Delvosalle C, Fievez C, Pipart A, Debray B. ARAMIS project: a comprehensive methodology for the identification of reference accident scenarios in process industries. *J Hazard Mater.* 2006;130(3):200-19. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2005.07.005](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.07.005) PMID: [16126337](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16126337/)
30. Khakzad N, Khan F, Amyotte P. Dynamic safety analysis of process systems by mapping bow-tie into Bayesian network. *Process Saf Environ Prot.* 2013;91(1-2):46-53. DOI: [10.1016/j.psep.2012.01.005](https://doi.org/10.1016/j.psep.2012.01.005)
31. Markowski AS, Kotynia A. “Bow-tie” model in layer of protection analysis. *Process Saf Environ Prot.* 2011;89(4):205-13. DOI: [10.1016/j.psep.2011.04.005](https://doi.org/10.1016/j.psep.2011.04.005)
32. Mokhtari K, Ren J, Roberts C, Wang J. Application of a generic bow-tie based risk analysis framework on risk management of sea ports and offshore terminals. *J Hazard Mater.* 2011;192(2):465-75. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2011.05.035](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.05.035) PMID: [21705142](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21705142/)

Risk Assessment of Liquefied Petroleum Gas (LPG) Storage Tanks in Process Industries Using the Bowtie Technique

Mostafa Mirzaee Aliabadi¹, Omid Kalapour¹, Iraj Mohammadfam², Yousef Babaee Masdarghi^{3,*}

¹ Assistant Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran

² Associate Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran

³ MSc Student, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran

** Corresponding author: Yousef Babaee Masdarghi, MSc Student, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran. E-mail: usf.hse@gmail.com*

DOI: 10.21859/johe-03021

Received: 04.05.2016

Accepted: 31.08.2016

Keywords:

Fault Tree Analyses

Event Tree Analyses

Bowtie

LPG

Process Industries

How to Cite this Article:

Mirzaee Aliabadi M, Kalapour O, Mohammadfam I, Babaee Masdarghi Y. Risk Assessment of Liquefied Petroleum Gas (LPG) Storage Tanks in Process Industries Using the Bowtie Technique. J Occup Hyg. 2016;3(2):1-11. DOI: 10.21859/johe-03021

© 2016 Hamedan University of Medical Sciences.

Abstract

Introduction: Liquefied Petroleum Gas (LPG) storage tanks contain large volumes of flammable and pressurized gases. Release of these fluids can lead to disastrous accidents such as BLEVE, and fiery explosion. Therefore, identifying the causes, consequences, probabilities, and scenarios of accidents using Bowtie technique, that is a combination of Fault Tree Analyses (FTA) and Event Tree Analyses (ETA), is imperative and the purpose of this study.

Methods: This study was performed in 2016. The hazards of the mentioned study in Tehran Refinery LPG tanks were identified by Fault Tree Analyses and the consequences of the top event were predicted by Event Tree Analyses. Probabilities of the events were calculated and the accident route, from the causes phase to consequences phase, was drawn by the Bowtie diagram.

Results: In total, 21 events and 11 minimal cut sets with their occurrence probabilities and importance measure were determined at the left side of the Bowtie diagram. Also, 9 consequences and scenarios of the top event were determined on the right side of the diagram. The occurrence probability of the top event (LPG release of spherical tanks) was calculated as 3.45×10^{-2} .

Conclusions: All factors involved in the occurrence of accidents and their consequences are shown in the Bowtie diagram. According to the obtained data, failure of cathodic protection systems and instrumentation, and overflow of tanks are important defects of LPG tanks. Due to the high probability of consequences, preventing systems such as cooling systems and fire stop systems are required for installation in the studied unit to reduce the consequences of accidents.