



ارزیابی احتمال وقوع رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف شناور پالایشگاه نفت به روش آنالیز فازی درخت خط (FFTA)

بهزاد اصغری^۱، منوچهر امیدواری^{۲*}

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۰۹

تاریخ ویرایش: ۹۶/۱۲/۰۹

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۲۱

چکیده

زمینه و هدف: صنایع فرآیندی به عنوان صنایع خطرناک معروف می‌باشدند. صنایع فرآیندی شامل فرآیندهای متعددی مانند حفاری و تولید، ذخیره، انتقال و پالایش بوده که این فعالیت‌ها دارای ماهیت متفاوت بوده و از نظر وجود ریسک‌های شغلی متعدد متفاوت از یکدیگر هستند. مخازن نفتی یکی از بخش‌های اصلی و خطرناک در صنایع فرآیندی می‌باشد. لذا این تحقیق با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر احتمال خطر رهایش مواد ذخیره شده در مخازن سقف شناور در صنایع نفت و گاز به اجراء در آمده است.

روش بررسی: در این تحقیق از روش FFTA جهت شناسایی و ارزیابی احتمال رهایش ریسک مخزن ذخیره‌سازی سقف شناور در پالایشگاه نفت استفاده شد. جمع‌آوری اطلاعات و شناسایی خطرات و رویدادهای محتمل از طریق مشاهده، مصاحبه، اطلاعات مربوط به فرآیند و مواد مورد استفاده انجام گرفت. برای محاسبه احتمال رویدادهای میانی و اصلی از نمادهای ریاضی بولین استفاده شد. جداسازی رویدادهای پایانی با لحاظ نزخ تکرار شناخته شده با نرخ شکست ناشناخته انجام گرفت. به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی از نظرات خبرگان استفاده شد، با توجه به اینکه خبرگان ممکن است با توجه به تجربیات و دانش خود نظرات مختلفی ارائه دهند، از روش تجمیع نظرات خبرگان استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که محتمل‌ترین علت وقوع رهایش مواد مایع نفتی از مخازن سقف شناور "آسیب سقف شناور و نقص در سیستم انتقال" بود. احتمال وقوع رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف شناور در صنعت پالایشگاه ۰/۲۵۱ محاسبه شد که این میزان سطح ریسک سیار بالایی برای کارکنان و تجهیزات پالایشگاه می‌باشد.

نتیجه گیری: با توجه به نتایج بدست‌آمده مشخص گردید که با توجه به تعیین MCs های بحرانی و محاسبه میزان اهمیت آن‌ها با اتخاذ روش‌های کنترلی حذف این مسیر در کاهش احتمال وقوع رهایش مواد مخزن مؤثر باشد.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی ریسک، درخت خط، فازی، مخزن سقف شناور.

شناسایی دقیق خطرات در صنایع نفت و گاز و ارزیابی و مدیریت ریسک با هدف کاهش شدت و تکرار حوادث پیش از وقوع آن‌ها و به حداقل رساندن صدمه به انسان و اموال از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. آنچه باید مورد توجه قرار گیرد آن است که ابعاد بزرگ یک حادثه همیشه به معنی حتمی بودن آن حادثه نیست زیرا در اکثر موارد ابعاد حادثه با احتمال وقوع آن نسبت عکس دارد [۴]. مخازن ذخیره‌سازی نفت یکی از مهم‌ترین تأسیسات صنعتی است که همواره در معرض ریسک انتشار مواد سمی، آتش‌سوزی رایج‌ترین و انفجار به جهت میزان مرگ‌ومیری که به دنبال دارد، مهم‌ترین ریسک مخازن ذخیره‌سازی نفت و فراورده‌های نفتی است. در این

مقدمه

صنایع فرآیندی با در برگرفتن مشاغل زیاد با تعداد پرسنل بالا، خود را به عنوان یک صنعت جهانی به جهت تأمین سرویس‌ها و تجهیزات با تکنولوژی بالا و همچنین ساخت مواد اولیه برای دیگر صنایع در سراسر جهان مطرح نموده است. صنایع فرآیندی شامل فرآیندهای متعددی مانند حفاری و تولید، ذخیره، انتقال و پالایش بوده که این فعالیت‌ها از نظر وجود ریسک‌های شغلی متعدد، متفاوت از یکدیگر هستند [۱ و ۲]. این صنایع به دلیل وجود حجم بالای هیدروکربن‌های قابل اشتعال ذخیره شده یا در حال پالایش، به عنوان یک صنعت با فعالیت‌های مخاطره‌آمیز ذاتی شناخته شده می‌باشند [۳].

۱- کارشناس ارشد HSE، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) دانشیار، گروه مهندسی صنایع اینمنی صنعتی، دانشکده صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران. omidvari88@yahoo.com



[۱۵]. روش FTA معمولاً برای پیش‌بینی قابلیت اطمینان سیستم‌های پیچیده در بسیاری از زمینه‌ها، از جمله راکتورهای هسته‌ای، هوا فضا، صنعت پتروشیمی، خطوط لوله و غیره استفاده می‌شود. در تجزیه و تحلیل درخت خطای معمولی، احتمال شکست از اجزای به عنوان ارزش‌های دقیق در نظر گرفته می‌شود[۱۶].

تجزیه و تحلیل درخت خطای (FTA) یک تکنیک تشخیص قرtermend ارتباط عملکردی منطقی بین اجزای سازنده، فرآیندهای تولید است و به طور گسترده‌ای برای نشان دادن علل ریشه‌ای رویداد نامطلوب در نارسایی سیستم استفاده می‌شود [۱۷ و ۱۸].

در تحقیقی که در سال ۱۳۹۲ توسط مرتضوی و همکاران صورت گرفت از روش FTA جهت ارزیابی منابع احتراق و انفجار در صنعت ریلی استفاده کرد. در این مقاله روش FTA را به عنوان روشی مناسب برای تعیین علل شکست معرفی کرده است. [۱۹]

نظريه فازی (Fuzzy) در سال ۱۹۶۵ توسط پروفسور لطفی زاده معرفی گردید[۲۰]. به طور خاص این تئوري برای نشان دادن عدم قطعیت و ابهام به طور ریاضی طراحی شده است و ابزارهای رسمی را برای پرداختن به عدم دقت درونی بسیاری از مسائل ارائه می‌دهد [۲۱].

یکی از مهمترین مسائل موجود در فرایند ارزیابی ریسک وجود پارامترهای غیرقطعی در ارزیابی ریسک است که در همین رابطه در سال ۲۰۱۱، یاکونگ و همکاران پیرو تحقیقات خود در رابطه با ارزیابی ریسک اینمی، استفاده از محیط فازی را پیشنهاد دادند [۲۲]. برای انجام کمی درخت FTA، ضروری است که اطلاعات کافی موجود باشد. با توجه به این واقعیت که اطلاعات کافی همیشه در دسترس نیست، روش FTA را می‌توان با استفاده از نظرات کارشناسان با محیط فازی ترکیب کرد، بنابراین به عنوان روش فازی درخت خطای (FFTA) نامیده می‌شود [۲۳].

در تحقیقی که جهانبانی و همکاران در سال ۱۳۹۵ انجام گرفته است از FFTA جهت تعیین علل شکست و

مطالعه‌ها با استفاده از روش‌های ارزیابی کلاسیک و بر اساس نظر خبرگان به ارزیابی خطرات مخازن ذخیره‌سازی نفت پرداخته و فقط نوع ماده را به عنوان پارامتر اصلی در نظر گرفته است و به عوامل ساختاری اشاره نکرده است [۵ و ۶]. نگرانی‌های عمدہ‌ای در ارتباط با ذخیره‌سازی مواد خطرناک مانند^۱ LPG و بنزین و گازوئیل و ... در صنایع فرایندی وجود دارد که در صورت رهاسازی سریعاً در هوا منتشر می‌شوند 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 [۷]. در مخازن ذخیره‌سازی LPG مقدار زیادی گازهای قابل اشتعال تحت فشار نگهداری می‌شود. رهایش محتويات این مخازن می‌تواند به پیامدهایی مانند BLEVE و انفجارهای آتشین و پراکندگی مواد سمی منجر شود[۸].

در حقیقت مطالعه ریسک به منظور پیشگیری از زیان‌ها و نتایج نامطلوب و قایع، انجام می‌شود[۹]. در تجزیه و تحلیل خطرات اگرچه تمام خطرات بایستی بیان شود، معمولاً محدودیت‌های منابع مانع از انجام این کار می‌شود. به همین علت از ارزیابی ریسک استفاده می‌کنیم [۱۰ و ۱۱]. ارزیابی ریسک فرایندی سیستماتیک و ضروری برای تعیین تأثیر، رخداد و پیامدهای فعالیت‌های انسان بر سیستم‌هایی با ویژگی‌های خطرناک است. ریسک ابزاری ضروری را برای تعیین میزان انطباق عملکرد سازمان با خطمنشی اینمی سازمان تشکیل می‌دهد[۱۲]. به طور کلی ارزیابی ریسک یک فرآیند سیستماتیک برای شناسایی و مقایسه می‌باشد که کارهای کلیدی سازمان را مورد توجه قرار داده و تهدیدات، احتمالات و پیامدهای خطرات را مورد بررسی قرار می‌دهد[۱۳].

روش تجزیه و تحلیل درخت خطای (FTA) در سال‌های ۱۹۶۱-۶۲ میلادی توسط Watson ابداع و در همان سال در ارزیابی قابلیت اعتماد سیستم کنترل پرتاب موشک‌های بالستیک مورد استفاده قرار گرفت [۱۴ و

¹ Liquefied petroleum gas

² Fault Tree Analysis

³Fuzzy fault tree analysis

ارزیابی درخت خطا: برای محاسبه احتمالات رویدادهای میانی و اصلی از نمادهای ریاضی بولین استفاده شد. آنالیز FTA به دو صورت کمی و کیفی صورت می‌پذیرد. در مدل کیفی تنها به بررسی و تعیین برش‌های حداقل (MCSS) پرداخته می‌شود، یک مجموعه برش‌های حداقل ترکیبی از رویدادهای پایه است که برای وقوع رویداد اصلی کفايت می‌کند اما در مدل کمی علاوه بر آن، احتمالات Top Event و برش‌های حداقل نیز محاسبه می‌گردد. محاسبات درخت خطا بر اساس قوانین بولین است و شامل تئوری احتمالات و تئوری قابلیت اطمینان می‌باشد. برخی از تعاریف بخش‌های ریاضیاتی موجود در FTA مطابق موارد زیر می‌باشد:

احتمال موفقیت (Probability of Success): عبارت است از قابلیت اطمینان (R) یک جزء که به وسیله رابطه‌ی $R = e^{-\lambda T}$ محاسبه می‌گردد. در رابطه مذکور λ برابر با نرخ خرابی جزء و T ، زمان در معرض قرار گرفتن جزء می‌باشد. همچنین $\lambda = \frac{1}{MTBF}$ می‌باشد که $MTBF$ ، متوسط زمان بین خرابی تعریف می‌گردد. احتمال موفقیت (Probability of Failure): عدم اطمینان (Q) برابر با احتمال خرابی یک جزء است و روابط زیر برای آن معتبر است:

$$R+Q=1 \rightarrow R=1-e^{-\lambda T}, Q=1$$

جهت کمی سازی درخت خطا از داده‌های عمومی مربوط به منابع شماره [۲۳] و [۲۴] و ضمایم آن‌ها و نظر متخصصین اینمی استفاده گردید. جهت محاسبه احتمال رخداد TE از رابطه‌های زیر که منتاج شده از قوانین بولین است استفاده گردید.

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

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

که در این رابطه k تعداد کل رویدادهای ورودی به

ارزیابی ریسک استفاده شده است. در این تحقیق به تأثیر فعالیت‌های شغلی خطرناک در میزان ریسک آتش‌سوزی در معادن زغال اشاره شده است. در این تحقیق از روش FFTA با ۵ خبره انجام شده است؛ که بر اساس ارزیابی کیفی به رتبه و تعیین وزن خبرگان پرداخته شده است.

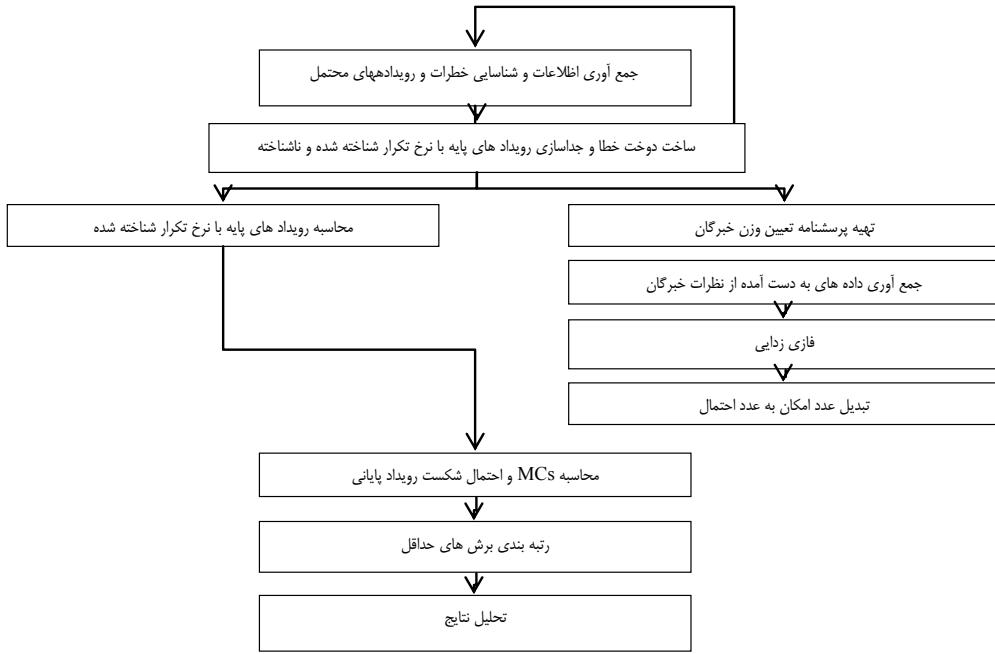
[۲۴]

منطق فازی تا حد بسیاری برای رفع عدم قطعیت می‌باشد. در این مقاله سعی شده خطاهای انسانی به وسیله متخصصان در محیط فازی و جهت دی فازی کردن از روش مرکز ثقل بالا استفاده می‌شود. لذا در این مطالعه بر آن شدیدم تا با استفاده از ترکیب FTA و فازی به ارزیابی احتمال شکست مخازن ذخیره نفت پردازیم.

روش کار

در این تحقیق از روش FFTA جهت ارزیابی حالات شکست مخزن ذخیره‌سازی مواد نفتی در پالایشگاه استفاده شده است. جمع‌آوری اطلاعات و شناسایی خطرات و رویدادهای محتمل از طریق مشاهده، مصاحبه، اطلاعات مربوط به فرایند و مواد مورد استفاده، اطلاعات بایگانی شده انجام شد، نحوه انجام پژوهش در شکل ۱ ارائه گردید. با توجه به نتایج به دست آمده، در مخزن سقف ثابت، "رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف ثابت" به عنوان رویداد خاص مورد نظر (رویداد اصلی) انتخاب گردید.

اولین گام در ساخت درخت خطا، تعریف رویداد پایانی می‌باشد. این رویداد برتر رویداد ناخواسته است که موضوع تحلیل درخت خطا است. پس از شناسایی رویداد پایانی، علل وقوع رویدادهای میانی که باعث اتفاق افتادن رویداد پایانی می‌شود مشخص می‌گردد. رویدادهای میانی توسط دروازه‌های منطقی برای نشان دادن ارتباطشان به رویداد اصلی متصل می‌گردد. رویدادهای میانی نیز طبق شیوه بالا توسط دروازه‌های منطقی "و" و "یا" به رویدادهای پایه متصل می‌گردد. این رویکرد از بالا تا پایین که از رویداد اصلی شروع و به رویداد پایه تا آنجایی توسعه می‌یابد که همه علل وقوع رویداد اصلی را در برگیرد.



شکل ۱- مراحل انجام تحقیق

در نظر می‌گیرند و احتمال رویداد اصلی را محاسبه می‌نمایند سپس از روی رابطه ۳ میزان اهمیت رویداد پایه موردنظر را محاسبه می‌شود [۲۴].

نظر خبرگان: به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی از نظرات خبرگان استفاده می‌کنند، استخراج نظرات خبرگان یکی از روش‌های ارزیابی احتمال حوادث می‌باشد. در این روش برخی از فواید ارزیابی ریسک و تصمیم‌گیری را فراهم می‌کند. از روش‌های تصمیم‌گیری می‌توان به روش "گروه اسمی" و روش "دلفی" اشاره کرد [۲۵]. در این مقاله از روش دلفی استفاده شد. این روش یک تعامل غیرمستقیم با خبرگان می‌باشد. یک جدول مشاوره و یک جدول امکان وقوع رویدادهای پایه به کارشناسان فرستاده می‌شود. از آنجایی که کارشناسان نمی‌توانند ارزیابی دقیقی از احتمال وقوع ارائه دهنند، تمایل دارند قضاوت‌ها به صورت ترم‌های زبانی مطرح گردد؛ مانند: ۱- بسیار کم؛ ۲- کم؛ ۳- متوسط؛ ۴- زیاد؛ ۵- بسیار زیاد برای توصیف احتمال وقوع رویدادهای پایانی استفاده می‌شود. احتمال وقوع رهایش مواد نفتی از مخزن به روش آنالیز فازی درخت خطأ FFTA طبق مراحل زیر انجام

دروازه موردنظر، $P_{And}(E)$ احتمال وقوع رویداد میانی یا رویداد اصلی با ورودی And، $P_{or}(E)$ احتمال وقوع رویداد میانی یا رویداد اصلی با ورودی Or، $P(Ei)$ احتمال رخداد رویدادها در درخت خطأ، Ei برای $k=1,2,3,\dots$

جهت محاسبه میزان اهمیت رویدادهای پایه و میانی از رابطه ۳ و برش‌های حداقل از رابطه ۴ استفاده گردید:

$$FV_i = \frac{P(TE) - P(TE)^{x_i=0}}{P(TE)}$$

رابطه ۳

رابطه ۴

$$IM_i = \frac{P(Mi)}{P(TE)}, P(Mi) = \prod_{i \in M} P(BE_i)$$

که در این رابطه IM میزان اهمیت برش حداقل $P(TE)$ احتمال رویداد اصلی و $P(Mi)$ احتمال برش حداقل و $P(BE_i)$ احتمال رویداد پایه موردنظر و i میزان اهمیت رویداد پایه به روش Vesely, Fussell FV جهت محاسبه میزان اهمیت هر یک از رویدادهای پایه، رویداد پایه موردنظر را برابر صفر

استفاده از نظرات خبرگان و استفاده از جدول ۲ برای تبدیل ترم‌های زبانی به اعداد فازی از روش ارائه شده توسط Chen و Hawng که در سال ۱۹۹۲ ارائه نمودن استفاده شده است [۲۷].

گردآوری اطلاعات: خبرگان ممکن است با توجه به تجربیات و دانش خود نظرات مختلفی ارائه دهند. از خبرگان خواسته شده است که با منظور نمودن نوع ماده و ساختار فنی مخزن و لایه‌های کنترلی اقدام به نظر در خصوص رویدادهای پایه نمایند. عامل مهمی که در اینجا ارائه شده است تجمعی نظرات خبرگان می‌باشد.

محاسبه درجه تشابه دو عدد فازی: با توجه به اعداد فازی ذوزنقه‌ای حاصل از نظرات دو خبره جهت محاسبه درجه تشابه دو عدد فازی ذوزنقه‌ای از رابطه ۵ استفاده می‌کنند.

$$S(\tilde{A}, \tilde{B}) = 1 - \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 |a_i - b_i| \quad \text{رابطه ۵}$$

محاسبه میانگین فازی خبره: جهت محاسبه میانگین دو عدد فازی ذوزنقه‌ای از رابطه ۶ استفاده می‌شود.

$$AA(E_u) = \frac{1}{M-1} \sum_{u \neq v}^M S(\tilde{R}_u, \tilde{R}_v) \quad \text{رابطه ۶}$$

محاسبه درجه توافق نسبی: از رابطه ۷ ارائه شده است.

$$E_u(m=1,2,\dots,M) \text{ as RA}(E_u) = \frac{A(E_u)}{\sum_{m=1}^M A(E_u)} \quad \text{رابطه ۷}$$

محاسبه درجه اجماع: جهت تجمعی نظر کارشناس در رابطه ۸ ارائه شده

$$CC(E_u) = \beta \cdot w(E_u) + (1-\beta) RA(E_u) \quad \text{رابطه ۸}$$

تجمعی نظرات: طبق رابطه ۹ محاسبه می‌گردد.

$$\tilde{R}_{AG} = C(E_1) \times \tilde{R}_1 + C(E_2) \times \tilde{R}_2 + \dots + C(E_M) \times \tilde{R}_M \quad \text{رابطه ۹}$$

فازی زدایی: فازی زدایی فرایند ایجاد نتیجه قائل اندازه‌گیری از منطق فازی می‌باشد. فرایند فازی زدایی در

می‌شود [۲۶].

انتخاب خبرگان: در این مطالعه خبره به فردی گفته می‌شود که آشنایی کافی با مخازن نفت و فرایند ذخیره‌سازی نفت و مفهوم خطر و درخت خطا دارد. انتخاب خبرگان بر اساس تجربه، سن و تحصیلات طبق جدول ۱ امتیازدهی می‌شوند. بعد از مشخص شدن شاخص‌های ارزیابی خبرگان وزن آن‌ها تعیین گردید. برای تعیین وزن خبرگان از ترم‌های زبانی استفاده گردید که ۵ ترم زبانی بکار رفته خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد که در جدول ۲ دامنه‌های فازی آن ارائه شده است. برای فازی نمودن این بخش از فازی ذوزنقه‌ای استفاده گردید که جدول ۲ بیان کننده دامنه فازی ترم‌های زبانی به کار رفته در این تحقیق است. با

جدول ۱- نحوه امتیاز دهی خبرگان

امتیاز	طبقه بندی	وضعیت	موقعیت کاری
۴		مدیر	
۳		کارشناس	
۲		تکنسین	
۱		اپراتور	
۴	بیشتر از ۳۰ سال	تجربه	
۳	۳۰-۲۱		
۲	۲۰-۱۱		
۱	۱۰-۵		
۴	دکترا و بالاتر	تحصیلات	
۳	کارشناسی ارشد		
۲	کارشناس		
۱	کاردانی و پایین		
	تر		
۴	بیشتر از ۵۱ سال	سن	
۳	۵۰-۴۱		
۲	۴۰-۳۱		
۱	کمتر از ۳۰		

جدول ۲- دامنه فازی ذوزنقه‌ای

خیلی کم	(۰/۰، ۰/۰)
کم	(۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۲۵)
متوسط	(۰/۳، ۰/۵، ۰/۶)
زیاد	(۰/۶، ۰/۷۵، ۰/۸۵)
خیلی زیاد	(۰/۸، ۰/۹، ۱/۱)



تبديل فرمول امکان به احتمال: از آنجایی که عدد به دست آمده در مرحله فازی زدایی به صورت امکانی می باشد و از آنجایی که درخت خطأ احتمال می پذیرد با استفاده از رابطه ۱۰ برای این مرحله استفاده می شود [۲۶].

$$X^* = \frac{\int \mu_i(x) x dx}{\mu_i(x)} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

یافته ها

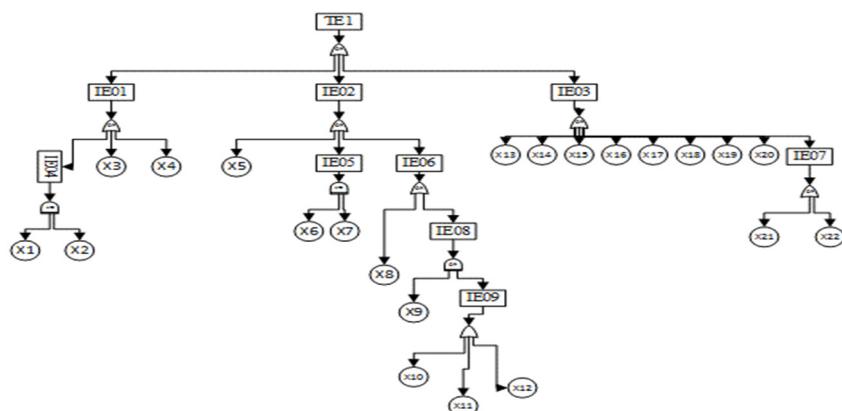
درخت خطأ: با توجه به جمع آوری اطلاعات و شناسایی خطرات و رویدادهای محتمل از طریق مشاهده،

زمینه های تصمیم گیری، کنترلی، فرایندی و ... به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد. در این مقاله جهت انجام فرایند فازی زدایی از تکنیک مرکز نقل بالا که در رابطه ۱۰ ارائه شده استفاده می گردد.

$$X^* = \frac{\int \mu_i(x) x dx}{\mu_i(x)} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

با توجه به اینکه از روش ذوزنقه ای $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ استفاده شده جهت انجام فازی زدایی از تکنیک مرکز نقل بالا در رابطه ۱۱ ارائه می گردد.

$$X = \frac{1}{3} \times \frac{(a_4 + a_3)^2 - (a_4 a_3) - (a_1 + a_2)^2 + (a_1 a_2)}{a_4 + a_3 - a_2 - a_1} \quad \text{رابطه ۱۱}$$



شکل ۲- درخت خطای ترسیم شده با رویداد اصلی " رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف شناور

جدول ۱- فاکتور امتیاز خبرگان

خبرگان	موقعیت کاری	تجربه	تحصیلات	سن	وزن امتیاز	فاکتور امتیاز	شماره
۱	مدیر	۲۱-۳۰	کارشناس	۵۱ و بالاتر	۱۳	۰/۴۴۸	شماره ۱
۲	کارشناس ارشد	۵-۱۰	کارشناس	۳۰	۸	۰/۲۷۵	شماره ۲
۳	کارشناس ارشد	۵-۱۰	کارشناس	۳۰	۸	۰/۲۷۵	شماره ۳
جمع							۱
۲۹							

جدول ۲- نظر کارشناسان نسبت به وقوع رویدادهای میانی

رویداد پایه	خبره شماره ۱	خبره شماره ۲	خبره شماره ۳
X1	متوسط	متوسط	کم
X3	کم	خیلی کم	خیلی کم
X4	متوسط	متوسط	کم
X9	زیاد	زیاد	خیلی زیاد
X10	زیاد	خیلی زیاد	زیاد
X11	متوسط	متوسط	کم
X12	متوسط	کم	کم
X20	کم	خیلی کم	کم

گذاشته احتمال وقوع رویدادهای پایانی را به صورت دامنه‌های زبانی وارد کردند که در جدول ۴ آورده شده است.

با توجه به این که نظرات کارشناسان به صورت دامنه زبانی می‌باشد با استفاده از جدول ۳ به اعداد فازی تبدیل می‌شود و با استفاده از رابطه‌های ۲ اعداد فازی کارشناسان جمع‌بندی می‌شود، نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است.

فازی زدایی: در این مرحله اعداد بدست‌آمده از جمع‌بندی نظرات کارشناسان که به صورت اعداد فازی می‌باشد، با استفاده از رابطه $10 \cdot$ فازی زدایی می‌شود که اعداد قابل اندازه‌گیری و به صورت امکانی می‌باشد که در جدول ۷ ارائه شده است. استفاده از تبدیل امکان به احتمال: در مرحله قبل، اعداد فازی زدایی به صورت امکانی می‌باشد از آنجایی که درخت خطا احتمال می‌پذیرد، اعداد بدست‌آمده در این مرحله فازی، با استفاده از رابطه

۶ از امکان به احتمال تبدیل می‌گردد که در جدول ۸

مصاحبه، اطلاعات مربوط به فرایند مخزن سقف شناور، "رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف شناور" به عنوان رویداد خاص مورد نظر (رویداد اصلی) انتخاب گردید و سپس بخش درخت خطا مربوط مطابق شکل ۲ با استفاده از نظر خبرگان و متخصصان اینمنی و افراد عملیاتی مربوطه ترسیم گردید. جداسازی رویدادهای پایانی مطابق جدول ۴ با لحاظ نرخ تکرار شناخته شده با نرخ شکست ناشناخته مشخص شد. احتمال رخداد رویدادهای پایه بر اساس نرخ تکرار مشخص استخراج شده محاسبه گردید که در جدول ۵ ارائه شده است.

محاسبه احتمال وقوع رویدادهای پایه بر اساس منطق فازی: کارشناسان ممکن است با توجه به تجربیات و دانش خود نظرات مختلفی ارائه دهند. در این مقاله از نظر ۳ خبره استفاده شد که در جدول ۳ ارائه شده، بر اساس جدول ۱ امتیازدهی و فاکتور وزن آن‌ها مشخص شد.

سپس طبق پرسشنامه‌ای که در اختیار خبره قرار

جدول ۳- جداسازی رویدادهای پایانی طبق نرخ تکرار شناخته شده و ناشناخته همچنین احتمال وقوع در یک سال

خطر نشتی مایعات	رویدادهای	نرخ شکست	احتمال رخداد در	خطر نشتی مایعات نفتی	رویدادهای	نرخ شکست	احتمال رخداد در	خطر	پایه	خطر	پایه	خطر نشتی مایعات
نقص سلول‌های کاتدی				اشتباه در خوادن انالوگ های دیجیتالی	X12	Fuzzy	$1/5 \cdot 10^{-3}$	اشتباه در خوادن انالوگ های دیجیتالی	X1	Fuzzy	$2/9 \cdot 10^{-3}$	نقص سلول‌های کاتدی
نقص در سیستم انتقال تروریسم	FTA	X13		Gate valve			$2/8 \cdot 10^{-3}$	نشستی شیر		FTA	$6/3 \cdot 10^{-3}$	نقص در سیستم انتقال تروریسم
سوراخ شدگی دیواره مخزن	FTA	X14		Valve			$5 \cdot 10^{-4}$	نقص در اتصالات خروجی		Fuzzy	$4/7 \cdot 10^{-5}$	سوراخ شدگی دیواره مخزن
آسیب سقف شناور	FTA	X15		Valve			$5 \cdot 10^{-4}$	نقص در اتصالات ورودی		Fuzzy	$2/9 \cdot 10^{-3}$	آسیب سقف شناور
نقص در L1	FTA	X16		flexible drain			$1/1 \cdot 10^{-4}$	نشستی لوله drain مربوط به		FTA	$1/6 \cdot 10^{-1}$	نقص در L1
عدم کارکرد مکانیکی	FTA	X17		emergency drain			$3 \cdot 10^{-4}$	نقص در emergency drain		FTA	$4/0 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$	عدم کارکرد مکانیکی
معیوب بودن Valve	FTA	X18		نفخ در shir یک طرفه drain			$1 \cdot 10^{-4}$	نفخ در shir یک طرفه drain		FTA	$4/0 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$	معیوب بودن Valve
انتخاب کنترلر مشابه	FTA	X19		نفخ در Seal			$2/6 \cdot 10^{-3}$	نفخ در Seal		FTA	$1/96 \cdot 10^{-6}$	انتخاب کنترلر مشابه
عملیات غیر معمول	Fuzzy	X20		نشستی از محل نمونه گیری			$2/2 \cdot 10^{-4}$	نشستی از محل نمونه گیری		Fuzzy	$3/6 \cdot 10^{-3}$	عملیات غیر معمول
خوادن دستور کار به اشتباہ	FTA	X21		man hole			$5/39 \cdot 10^{-3}$	خوادگی در پوش hole		Fuzzy	$2/6 \cdot 10^{-3}$	خوادن دستور کار به اشتباہ
	FTA	X22		gasket			$3 \cdot 10^{-5}$	خوادگی gasket		Fuzzy	$2/9 \cdot 10^{-3}$	



خطر نشتی مایعات نفتی	رویدادهای پایه	دروازه	احتمال رخداد در یک سال	جدول ۹- احتمال رخداد رویدادهای نهایی و پایه
رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف شناور	TE	OR	.۰/۲۵۱	
پاره شدن مخزن	IE01	OR	.۰/۰۰۳۱	
نشستی از اتصالات مخزن	IE02	OR	.۰/۱۶۱	
سرریز شدن مواد نفتی	IE03	OR	.۰/۱۰۵	
نشت بر اثر خودگی	IE04	AND	.۰/۰۰۱۸۳	
نقص در ابزار دقیق ها	IE05	AND	.۰/۰۰۰۰۱۶	
بسته نشدن valve	IE06	OR	.۰/۰۰۱۴	
لوله ورودی مخزن				
Man Hole	IE07	OR	.۰/۰۵۳۹	
خطای اپراتور	IE08	AND	.۰/۰۰۱۴	
خطای اپراتور ایستگاه پمپاژ	IE09	OR	.۰/۰۴۰۲	

شناور) را شناس می دهد.

بحث و نتیجه گیری

نتایج مرحله ترسیم کیفی نمودار درخت خطاط، نشان می دهد که در مجموع ۳۱ علل یا نقص (۲۲ رویداد پایه ای و ۹ رویداد میانی) در رخداد رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف ثابت دخیل هستند.

با توجه به جدول ۱۰ آسیب سقف شناور (احتمال رخداد: $1/6 \times 10^{-1}$)، نقص در سیستم انتقال (احتمال رخداد: 2×10^{-2}) و انتخاب کنترلر مشابه و عملیات غیر معمول (احتمال رخداد: $3/6 \times 10^{-2}$) به ترتیب بیشترین نقش را در رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف شناور را دارا می باشند.

احتمال رخداد رویداد اصلی (رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف شناور) نیز $0/251$ محاسبه گردید. نتایج این مطالعه با مطالعات زیر مورد بررسی و مطابقت قرار گرفت. در مطالعات مشابه تمام این ۳۱ علل اشاره نشده و مورد بررسی قرار نگرفته است که از جنبه های نوآوری این مطالعه می باشد. این تحقیق برگرفته از روش ارائه شده توسط lavasani Mir در سال ۲۰۱۱ بوده است که

جدول ۴- جمع بندی نظرات کارشناسان به صورت اعداد فازی ذوزنقه ای

رویداد پایه	جمع بندی به صورت دامنه فازی
X1	(۰/۰۲۴، ۰/۰۴۲، ۰/۰۴۲، ۰/۰۴۲)
X3	(۰/۰۴۰، ۰/۰۱۶، ۰/۰۲۲)
X4	(۰/۰۲۴، ۰/۰۴۲، ۰/۰۴۲، ۰/۰۴۲)
X9	(۰/۰۶۶، ۰/۰۷۹، ۰/۰۸۲، ۰/۰۹۳)
X10	(۰/۰۶۶، ۰/۰۷۹، ۰/۰۸۲، ۰/۰۹۳)
X11	(۰/۰۲۴، ۰/۰۴۲، ۰/۰۴۲، ۰/۰۴۲)
X12	(۰/۰۱۸، ۰/۰۳۵، ۰/۰۳۵، ۰/۰۵۲)
X20	(۰/۰۰۷، ۰/۰۱۷، ۰/۰۲۰، ۰/۰۳۴)

جدول ۵- نتایج حاصل از فازی زدایی رویدادهای پایه

رویداد پایه	فازی زدایی
X1	۰/۰۲۸۱
X3	۰/۱۳۰۶
X4	۰/۰۲۸۱
X9	۱/۰۴۴۳
X10	۱/۰۴۴۳
X11	۰/۰۴۲۸۲
X12	۰/۰۳۵۲
X20	۰/۰۲۰۱

جدول ۶- نرخ احتمال وقوع رویدادهای پایه در یک سال

رویداد پایه	نرخ احتمال در یک سال
X1	۰/۰۰۲۹
X3	۰/۰۰۰۴۷
X4	۰/۰۰۲۹
X9	۰/۰۰۳۶
X10	۰/۰۰۳۶
X11	۰/۰۰۲۹
X12	۰/۰۰۱۵
X20	۰/۰۰۰۲۲

احتمال وقوع رویدادهای پایه در یک سال ارائه شده است.

محاسبه احتمال وقوع رویداد میانی و اصلی: بعد از به اتمام رسیدن محاسبه احتمال رخداد رویدادهای پایه شده و کمی سازی درخت خطاط، با استفاده از ترکیب دروازه های منطقی و روابط ۱ و ۵ انجام گرفت. جدول ۹ احتمال رخداد رویدادهای پایه و احتمال رخداد رویدادهای میانی و رویداد نهایی (رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف

جدول ۱۰- برش‌های حداقل و رتبه بندی اهمیت برش‌های حداقل

	رتبه بندی اهمیت	میزان اهمیت	احتمال در یک سال	تصویف رویدادها	شماره برش حداقل
۲		.۰۰۰۷۱	.۰۰۰۱۱	x1,x2	MCs1
۱		.۰۰۰۱۸	.۰۰۰۰۴۷	x3	MCs2
۱		.۰۱۱۵	.۰۰۲۹	x4	MCs3
۱		.۶۳۷۴	.۰۶	x5	MCs4
۲		.۰۱۶۰	.۰۰۰۴۰۳	x6,x7	MCs5
۱		.۰۰۰۶۳	.۰۰۰۰۱۶	x8	MCs6
۳		.۰۰۰۱۴	.۰۰۰۰۳۷	x9,x10,x11	MCs7
۳		.۰۰۰۰۵۹	.۰۰۰۰۱۵	x9,x11,x12	MCs8
۳		.۰۰۰۰۷۵	.۰۰۰۰۱۹	x9,x10,x12	MC9
۱		.۰۱۱	.۰۰۲۸	x13	MCs10
۱		.۰۰۰۱۹	.۰۰۰۰۵	x14	MCs11
۱		.۰۰۰۱۹	.۰۰۰۰۵	x15	MCs12
۱		.۰۰۰۴۳	.۰۰۰۱۱	x16	MCs13
۱		.۰۰۱۱۹	.۰۰۰۰۳	x17	MCs14
۱		.۰۰۰۳۹	.۰۰۰۰۱	x18	MCs15
۱		.۰۱۳	.۰۰۲۶	x19	MCs16
۱		.۰۰۰۰۸۷	.۰۰۰۰۲۲	x20	MCs17
۱		.۰۲۱۴	.۰۰۵۳۹	x21	MCs18
۱		.۰۰۰۰۳۳	.۰۰۰۰۶	x22	MCs19

سوخت سقف شناور دانست. همچنین دلیل تفاوت در عدد محاسبه شده برای احتمال وقوع رویداد اصلی نیز می‌تواند به دلیل شرایط خاص مخازن LPG و سختگیری بیشتر استانداردهای آن دانست.

با توجه به جدول ۱۰ در مجموع ۱۹ برش حداقل در شاخه درخت خطای دیاگرام 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 نیز دیده می‌شود [۲۹].

با توجه به مقایسه نتایج این مطالعه با مطالعه Wang و نیز Khakzad با توجه به تعداد برش‌های حداقل هر درخت خطایی 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 فرآیند مخازن سقف شناور بکار گرفته شده است. در مخازن سقف شناور به دلیل شرایط فنی و نوع ماده ذخیره شده در آن از شرایط خاصی برخوردار است که در فرایند درخت خطای لازم است به صورت تلفیقی خطرات مواد و ساختار مخزن را در نظر گرفت که در این تحقیق این مسئله منظور شده است که در مطالعات قبلی این مسئله لحاظ نشده است.

مطالعه‌ای که Ouache و همکاران در ارتباط با مخزن ذخیره‌سازی LPG با استفاده از روش Bowtie انجام دادند نشان می‌دهد که ترکیدگی مخزن و سرریز شدن مخزن به ترتیب بیشترین تأثیر را در رخداد رهایش گاز LPG دارند و احتمال رخداد رویداد اصلی نیز 1×10^{-4} محاسبه شده است [۲۸]. در این تحقیق از درخت خطای در حالت قطعی استفاده شده است. در حالی که بسیاری از عوامل خطای پذیر در مخازن از حالت عدم قطعیت برخوردار است. از مهم‌ترین علت منظور ننمودن نشستی از مخزن را می‌توان به تفاوت در ساختار LPG با مخازن



شناسایی و احتمالات رخداد آن‌ها به روش FFTA محاسبه شده است [۳۱]. همچنین در مطالعه Yuhua و همکاران جهت برآورد احتمال شکست انتقال خط لوله‌های نفت و گاز نیز ۴۴ رویداد پایه به روش FFTA محاسبه گردیده است [۳۲]. 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 حفاظتی و منظور نمودن لایه‌های حفاظتی در محاسبات احتمال رویدادهای پایه است که از مهم‌ترین وجه تفاوت با مطالعات مشابه است. استفاده از FFTA در خصوص شکست مخازن سقف در هیچ مطالعه مشابهی وجود ندارد. از طرفی استفاده از درخت خطا در محیط فازی با توجه به ساختار درخت خطای ارائه شده از جنبه‌های نوآوری این تحقیق محسوب می‌شود. بطوریکه در هیچ مطالعه‌ای ۳۱ علل پایه به عنوان MCS مطرح نشده است. در این مطالعه از روش FFTA جهت ارزیابی احتمال وقوع رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف شناور پالایشگاه نفت بر اساس نوع ماده ذخیره شده، ساختار فنی و لایه‌های کنترلی مخازن ارائه شده است. با توجه به نتیجه این تحقیق می‌توان گفت:

۱- FFTA برای استخراج نظرات کارشناسان جهت تخمین احتمال وقوع روش ارزیابی برای ارزیابی ایمنی و قابلیت اطمینان سیستم مؤثر است. در مقایسه با روش‌های سنتی FTA، پیشنهاد رویکرد FFTA که شامل منطق فازی و روش FTA معمولی می‌باشد می‌تواند احتمال نزد شکست رویدادهای پایه ناشناخته به دست آورد.

۲- وزن کارشناسان مختلف از عوامل مهم است که بر نتایج ارزیابی FFTA مؤثر می‌باشد. به طور معمول، کارشناسان مختلف ممکن است تنظیمات مختلف در هر معیار ارزیابی کردند، که ممکن است به تغییرات قابل توجهی از احتمال شکست منجر شود اهمیت نسبی هر متخصص که کاهش ذهنیت قضاؤت انسانی و بهبود دقت و صحت FFTA ممکن است. این بخش تحقیق از

در به وقوع پیوستن حادثه آسیب‌پذیرتر می‌باشد [۳۰]. میزان اهمیت هر یک از برش‌های حداقل (MCSS) در روز رویداد اصلی در جدول ۱۰ آمده است که در آن MCs4 و MCs18 بین برش‌های حداقل دارای بیشترین اهمیت و بیشترین تأثیر در وقوع رویداد رأس را دارا می‌باشند و برش حداقل MCs6 و MCs7 و MCs8 و MCs9 کمترین تأثیر و اهمیت را در رخداد دارد. در مطالعه Ouache و همکاران که به روش Bowtie انجام شده است در مجموع شش رویداد پایه و چهار برش حداقل را می‌توان محاسبه نمود. اینکه کدام رویداد رأس دارد نیز قابل محاسبه می‌باشد و برش حداقل حساس و مهم در مطالعه فوق مشابه برش حداقل حساس و مهم این مطالعه می‌باشد؛ اما مطلبی که در اینجا اهمیت دارد اینست 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 اغلب به هنگام محاسبه این اهمیت‌ها نتیجه‌گیری و استنباط می‌شود اینست 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، بازرگانی، 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 برد. آنچه مسلم است قطعه‌ای که سهم عمده‌ای در وقوع رویداد رأس دارد بایستی در زمان کمتری تعمیر یا از سرویس خارج گردد.

در مطالعه Shi و همکاران برای آتش‌سوزی و حوادث انفجار برای مخازن ذخیره‌سازی نفت ۳۹ رویداد پایه

به دست آمده در این تحقیق تأکید دارند.

منابع

1. Babayi Mesdaraghi Y, Mirzaei Aliabadi M, Mohammad Fam I, Kalatpour O. Risk assessment of liquefied petroleum gas (LPG) storage tanks in the process industries using the Bowtie technique. *J Occup Hyg Engineer*. 2016;3(2):1-11 [Persian]
2. Brauer RL. Safety and health for engineers: John Wiley & Sons; 2016.
3. Nezhad AZ, Mortazavi SB, Mahabadi HA, Khavanin A. Identification and Safety Assessment of the Hazardous Zones (Unwanted Energy Flows) in an Construction Project at the National Petrochemical Company by Application of ET and BA Method. *J Appl Sci*. 2007;7(19):2769-75.
4. Lees F. Lees' Loss prevention in the process industries: Hazard identification, assessment and control: Butterworth-Heinemann; 2012.
5. Craddock H. Safety hand in hand with quality. *Quality World*. 1997;23(7):558-600.
6. Shaluf IM, Abdullah SA. Floating roof storage tank boilover. *J Loss Prev Process Indust*. 2011;24(1):1-7.
7. Florea G, Popa M. Safety and Security Integration in LPG Tank Farm Process Control. IFAC Proceed Vol. 2012;45(6):1828-1831.
8. 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 Thermal Sci*. 2016;104:228-244.
9. Covello VT, Merkhoher MW. Risk assessment methods: approaches for assessing health and environmental risks: Springer Science & Business Media; 2013.
10. Purser DA, McAllister JL. Assessment of hazards to occupants from smoke, toxic gases ,and heat. SFPE handbook of fire protection engineering: Springer; 2016. p. 2308-428.
11. Shan MAHU, editor A risk assessment approach to fire safety ranking of student housing facilities. Masters Abstracts International; 2008.
12. Van Duijne FH, van Aken D, Schouten EG. Considerations in developing complete and quantified methods for risk assessment. *Safe Sci*. 2008;46(2):245-54.
13. Radu LD. Qualitative, semi-quantitative and, quantitative methods for risk assessment: case of the financial audit. *Analele Stiintifice ale Universitatii"*

جنبه‌های نوآوری اجرایی تحقیق در خصوص FFTA است که در هر تحقیق لازم است به صورت اختصاصی مورد توجه قرار گیرد.

۳- روش FFTA مذکور قادر به و تجزیه و تحلیل اهمیت درخت خطا که می‌تواند وقایع مهم و ضعف طراحی در آن را شناسایی کند و توجه برای جلوگیری از آتش‌سوزی مخزن نفت و انفجار مورد نیاز است.

۴- منطق فاز قبل از وقوع حادثه (دیاگرام درخت خطا) بر این اساس استوار است که هرگونه فعالیت یا عملیاتی دارای خطرات بالقوه و پتانسیل آسیب‌رسانی است و در صورت رهاسازی این خطرات، تهدیداتی ایجاد می‌شود، لذا برای جلوگیری از این تهدیدات لازم است موانع مناسب پیش‌بینی و در مسیر این خطرات قرار بگیرند تا از رها شدن ناخواسته آن‌ها پیشگیری شود. ضمن اینکه در این فرآیند میزان اهمیت رویدادها و برش‌های حداقل و سناریوهای مختلف نیز مشخص می‌شود که می‌تواند در تخصیص منابع و امکانات جهت کاهش رخداد حوادث و پیامدهای آن مورد بهره قرار گیرد. از دیگر مزیت‌های کاربرد روش FFTA، پیشگیرانه و واکنشی بودن، پوشش دادن تمامی فرایندها، ساده و قابل اجرا بودن، هزینه پایین اجرا، قابل فهم بودن برای همگان، خروجی دیاگرامی و قابل نصب در فضاهای اداری می‌باشد.

ردیابی مسیرهای منطقی متنه‌ی به رویداد رأس و پیامدها، اولویت دهی به رویدادهایی که بیشترین سهم را در وقوع رویداد رأس و پیامدها دارند، ابزار نظارتی بر عملکرد سیستم، ابزار پیشگیرانه، شناسایی نقاط ضعف طراحی و روش‌های اجرایی، همچنین برای ارائه پیشنهادهایی برای کاهش حوادث بالقوه آنالیز شده (بهبود سیستم‌های کاهنده فشار مخزن، سیستم‌های جلوگیری کننده از رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف شناور، سیستم‌های جلوگیری کننده از ایجاد و رسیدن جرقه به مواد رهایش شده، روش‌های شناسایی و اطفاء خودکار و غیره) را نمایان می‌کند رویدادهای قابل اغماض را هم آشکار می‌سازد.

در راستای این تحقیق، نویسنده‌های این مقاله به حل این مسئله با منطق خاکستری و مقایسه نتایج آن با نتایج



- 19
25. Participants O. OREDA Offshore Reliability Data Handbook, DNV, PO Box. 2002.
 26. Freeman RA. CCPS guidelines for chemical process quantitative risk analysis. Process Safe Progress. 1990;9(4):231-5.
 27. Clemen RT, Winkler RL. Combining probability distributions from experts in risk analysis. Risk Analys. 1999;19(2):187-203.
 28. Miri Lavasan M, Wang J, Yang Z, Finlay J. Application of fuzzy fault tree analysis on oil and gas offshore pipelines. Int J Marine Sci Engineer. 2011;1(1):29-42.
 29. Chen SJ, Hwang CL. Fuzzy multiple attribute decision making methods. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*: Springer; 1992. p. 289-486.
 30. Ouache R, Adham AA. Reliability Quantitative Risk Assessment in Engineering System using Fuzzy Bow-Tie. Int J Current Engineer Technol. 2014;4(2):1117-23.
 31. Khakzad N, Khan F, Amyotte P. Safety analysis in process facilities: Comparison of fault tree and Bayesian network approaches. Reliabil Engineer Syst Safe. 2011;96(8):925-32.
 32. Wang D, Zhang P, Chen L. Fuzzy fault tree analysis for fire and explosion of crude oil tanks. J Loss Prev Process Indust. 2013;26(6):1390-8.
 33. Shi L, Shuai J, Xu K. Fuzzy fault tree assessment based on improved AHP for fire and explosion accidents for steel oil storage tanks. J Hazard Mat. 2014;278:529-38.
 34. Yuhua D, Datao Y. Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis. J Loss Prev Process Indust. 2005;18(2):83-8.
 - Alexandru Ioan Cuza" din Iasi-Stiinte Economice. 2009;56:643-57.
 14. Ericson CA, L1 C, editors. Fault tree analysis. System Safety Conference, Orlando, Florida; 1999.
 15. Lee WS, Grosh DL, Tillman FA, Lie CH. Fault Tree Analysis, Methods, and Applications: A Review. IEEE Transac Reliabil. 1985;34(3):194-203.
 16. Chen L. An analysis of fault tree of an oil-well pump. ACTA Petrolei Sinica. 1995;16:145-51.
 17. Ejlali A, Miremadi SG. FPGA-based Monte Carlo simulation for fault tree analysis. Microelectron Reliabil. 2004;44(6):1017-28.
 18. Kales P. Reliability: for technology, engineering, and management: Pearson College Division; 1998.
 19. Mortazavi SB, Daneshvar S, AtrKar Roshan S. Fire risk assessment in Tehran metro line 1 (rectifier substation) with fault tree analysis. Iran Occup Health. 2014;11(2):57-62. [Persian]
 20. Zadeh LA. Fuzzy sets. Inform Control. 1965;8(3):338-53.
 21. Zadeh LA. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. Fuzzy Set System. 1978;1(1):3-28.
 22. Yaqiong L, Man LK, Zhang W. Fuzzy theory applied in quality management of distributed manufacturing system: A literature review and classification. Engineering. Appl Artific Intellig. 2011;24(2):266-77.
 23. Lavasan SM, Zendegani A, Celik M. An extension to Fuzzy Fault Tree Analysis (FFTA) application in petrochemical process industry. Process Safe Enviro Protect. 2015;93:75-88.
 24. Jahanbani Z, Sereshki F, Ataei M, Ghanbari K. Risk Assessment of Fire by using Fuzzy Fault Tree Analysis Case study: Eastern Alborz Coal Mines. Iran Occup Health. 2017;14(3):46-57. [persian]

Probability assessment of chemical liquid release at floating roof storage tank in the oil refinery by fuzzy fault tree analysis

Behzad Asghari¹, Manouchehr Omidvari*²

Received: 2017/05/11

Revised: 2018/02/28

Accepted: 2018/07/31

Abstract

Background and aims: Process industries are known to be hazardous industries. Chemical industrial processings involves several processes such as drilling and production, storage, transportation, and refining. These activities are different in natureand rate of job risks. One of the main and dangerous sections of the process is oil reservoir. Therefore, this study aimed to identify factors affecting of the risk of chemical release staring at floating roof storage tanks in oil and gas industry.

Methods: In this study, fuzzy fault tree analysis (FFTA) was used to identify and evaluate the risk of the release floating roof storage tanks used in oil refineries. Collect information and identify risks and possible events were used through observation, interviews, information of the process and materials. To calculate the probability of intermediate and main event of Boolean math notation was used. Isolation of the final events was unknown with the known repetition rate and the rate of failure.

Results: The results showed that the most likely cause of liquid chemical release oil from floating roof tanks was "tank fitting and overflow leakage of oil". Possibility of a chemical liquid release was 0.251 for floating roof tank which is very highly risky for staff and equipments of refineries.

Conclusion: According to the results, according to determining critical MCs and the calculation of the importance of adopting remove control the way in reducing the likelihood of chemicals release seems to be effective.

Keywords: Risk assessment, Fault tree, Fuzzy, Floating roof tanks

1. MSc, Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University, Science and Research Branch-Tehran, Tehran, Iran.
 2. (**Corresponding author**) Associate Professor of Industrial and Mechanical Engineering Faculty, Islamic Azad University, Qazvin Branch, Qazvin, Iran. omidvari88@yahoo.com