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

بهزاد اصغری ۱، منوچهر امیدواری*۲

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۲/۲۱ تاریخ ویرایش: ۹۶/۱۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۰۹

چکیده

زمینه و هدف: صنایع فرآیندی به‌عنوان صنایع خطرناک معروف می باشند. 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 فرایندی 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 نرخ 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 بسیار بالایی برای کارکنان و تجهیزات پالایشگاه می‌باشد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردیدکه 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 خطا، فازی، مخزن سقف شناور.

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]. 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

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 ایمنی صنعتی، دانشکده صنایع و مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران. omidvari88@yahoo.com

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-10-16]

مطالعه‌ها با استفاده از روش‌های ارزیابی کلاسیک و بر اساس نظر خبرگان به ارزیابی خطرات مخازن ذخیره‌سازی نفت پرداخته و فقط نوع ماده را به‌عنوان پارامتر اصلی در نظر گرفته است و به عوامل ساختاری اشاره نکرده است [۵ و ۶]. نگرانی‌های عمده‌ای در ارتباط با ذخیره‌سازی مواد خطرناک مانند LPG[1] 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 محتویات 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 وقایع، 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 خط‌مشی ایمنی سازمان تشکیل می‌دهد[۱۲]. به‌طورکلی 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 خطا (FTA)[2] در سال‌های ۶۲-۱۹۶۱ میلادی توسط Watson ابداع و در همان سال در ارزیابی قابلیت اعتماد سیستم کنترل پرتاب موشک‌های بالستیک مورد استفاده قرار گرفت [۱۴ و ۱۵]. روش FTA معمولاً برای پیش‌بینی قابلیت اطمینان سیستم‌های پیچیده در بسیاری از زمینه‌ها، ازجمله 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 خطا (FTA) یک تکنیک تشخیص قدرتمند ارتباط عملکردی منطقی بین اجزای سازنده، فرآیندهای تولید است و به‌طور 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 روس FTA را به‌عنوان روشی مناسب برای تعیین علل شکست معرفی کرده است. [۱۹]

نظریه فازی (Fuzzy) در سال ۱۹۶۵ توسط پروفسور لطفی زاده معرفی گردید[۲۰]. به‌طور خاص این تئوری برای نشان دادن عدم قطعیت و ابهام به‌طور 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، یاکوانگ و همکاران پیرو تحقیقات خود در رابطه با ارزیابی ریسک ایمنی، 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 خطا (FFTA)[3] نامیده می‌شود [۲۳].

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

[1] Liquefied petroleum gas
[2] Fault Tree Analysis
[3] Fuzzy fault tree analysis

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-10-16]

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 شدیم تا با استفاده از ترکیب FTA و فازی به ارزیابی احتمال شکست مخازن ذخیره نفت بپردازیم.

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 به‌دست‌آمده، در مخزن سقف ثابت، "رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف ثابت" به عنوان رویداد خاص موردنظر (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.

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 کفایت 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 به‌وسیله 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:

$$R+Q=1 \rightarrow \quad R=1-e^{-\lambda T} \text{ ، } Q=1$$

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

$$P_{And}(E)=\prod_{i=1}^{k} P(Ei)$$

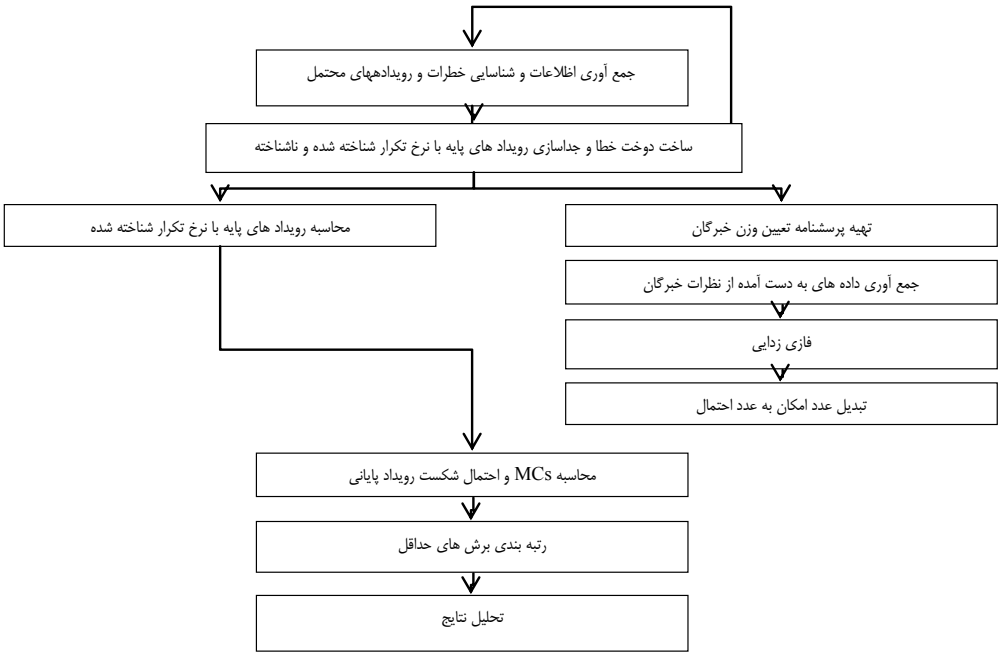
رابطه ۱

$$P_{or}(E)=1-\prod_{i=1}^{k}(1-P(Ei))$$

رابطه ۲

که در این رابطه k تعداد کل رویدادهای ورودی به

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-10-16]



شکل ۱- مراحل انجام تحقیق

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 خطا، Ei برای k=1,2,3,...

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

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

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_i^{FV} میزان اهمیت رویداد پایه به روش Vesely,s_Fussell می‌باشد. در روش FV جهت محاسبه میزان اهمیت هر یک از رویدادهای پایه، رویداد پایه موردنظر را برابر صفر در نظر می‌گیرند و احتمال رویداد اصلی را محاسبه می‌نماید 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. ازآنجایی‌که کارشناسان نمی‌توانند ارزیابی دقیقی از احتمال وقوع ارائه دهند، تمایل دارند قضاوت‌ها به‌صورت 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 خطا FFTA طبق مراحل زیر انجام

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-10-16]

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

جدول ۱- نحوه امتیاز دهی خبرگان

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

جدول ۲- دامنه فازی ذوزنقه‌ای

خیلی کم	(۰/۲، ۰/۱، ۰، ۰)
کم	(۰/۴، ۰/۲۵، ۰/۲۵، ۰/۱)
متوسط	(۰/۷، ۰/۶، ۰/۵، ۰/۳)
زیاد	(۰/۹، ۰/۸۵، ۰/۷۵، ۰/۶)
خیلی زیاد	(۱،۱، ۰/۹، ۰/۸)

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 تجمیع 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.

رابطه ۵ $$S\left(\tilde{A},\tilde{\mathrm{B}}\right)=1-1/4\sum_{f=1}^{4}\left|a_i-b_i\right|$$

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

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

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

رابطه ۷ $$E_u(m=1,2,\ldots\mathrm{M})\mathrm{asRA}(E_u)=\frac{A(E_u)}{\sum_{m=1}^{M}A(E_u)}$$

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

رابطه ۸ $$CC\left(E_u\right)=\beta.\mathrm{w}\left(E_u\right)+(1-\beta).RA\left(E_u\right)$$

تجمیع نظرات: طبق رابطه ۹ محاسبه می‌گردد.

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

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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-10-16]

زمینه‌های تصمیم‌گیری، کنترلی، فرایندی و ... به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مقاله جهت انجام فرایند فازی زدایی از تکنیک مرکز ثقل بالا که در رابطه ۱۰ ارائه شده استفاده می‌گردد.

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

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

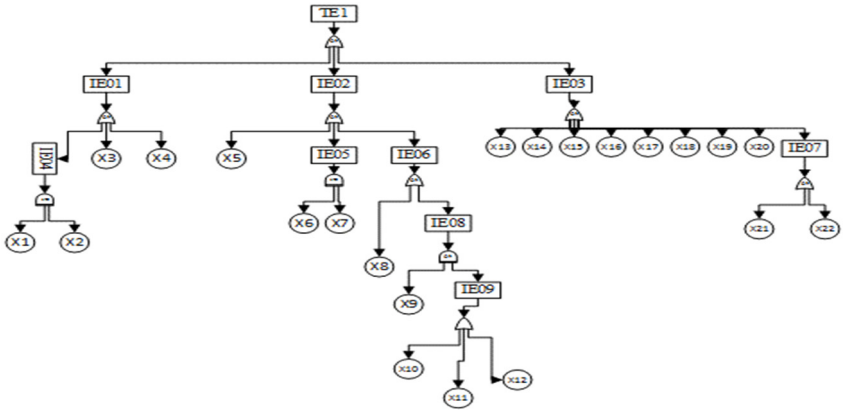
$$X=\frac{1}{3}\times\frac{(a_4+a_3)^2-(a_4a_3)-(a_1+a_2)^2+(a_1a_2)}{a_4+a_3-a_2-a_1}$$ رابطه ۱۱

تبدیل فرمول امکان به احتمال: ازآنجایی‌که عدد به‌دست‌آمده در مرحله فازی زدایی به‌صورت امکانی می‌باشد و ازآنجایی‌که درخت خطا احتمال می‌پذیرد با استفاده از رابطه ۱۰ برای این مرحله استفاده می‌شود[۲۶].

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

یافته‌ها

درخت خطا: با توجه به جمع‌آوری اطلاعات و شناسایی خطرات و رویدادهای محتمل از طریق مشاهده،



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

جدول ۱- فاکتور امتیاز خبرگان

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

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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-10-16]

مصاحبه، اطلاعات مربوط به فرایند مخزن سقف شناور، "رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف شناور" به عنوان رویداد خاص موردنظر (رویداد اصلی) انتخاب گردید و سپس بخش درخت خطای مربوط مطابق شکل ۲ با استفاده از نظر خبرگان و متخصصان ایمنی 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 گذاشته احتمال وقوع رویدادهای پایانی را به‌صورت دامنه‌های زبانی وارد کردند که در جدول ۴ آورده شده است.

با توجه به این‌که نظرات کارشناسان به‌صورت 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 به‌دست‌آمده از جمع‌بندی نظرات کارشناسان که به‌صورت اعداد فازی می‌باشد، با استفاده از رابطه ۱۰ فازی زادیی می‌شود که اعداد قابل اندازه‌گیری و به‌صورت امکانی می‌باشد که در جدول ۷ ارائه شده است. استفاده از تبدیل امکان به احتمال: در مرحله قبل، اعداد فازی زدایی به‌صورت امکانی می‌باشد ازآنجایی‌که درخت خطا احتمال می‌پذیرد، اعداد به‌دست‌آمده در این مرحله فازی، با استفاده از رابطه ۶ از امکان به احتمال تبدیل می‌گردد که در جدول ۸

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

خطر نشتی مایعات نفتی	رویدادهای پایه	نرخ شکست خطر	احتمال رخداد در یک سال	خطر نشتی مایعات نفتی	رویدادهای پایه	نرخ شکست خطر	احتمال رخداد در یک سال
نقص سلول های کاتدی	X1	Fuzzy	$۲/۹*۱۰^{-۳}$	اشتباه در خواندن انالوگ های دیجیتالی	X12	Fuzzy	$۱/۵*۱۰^{-۳}$
نقص در سیستم انتقال	X2	FTA	$۶/۳*۱۰^{-۲}$	نشتی شیر Gate valve	X13	FTA	$۲/۸*۱۰^{-۲}$
تروریسم	X3	Fuzzy	$۴/۷*۱۰^{-۵}$	نقص در اتصالات Valve خروجی	X14	FTA	$۵*۱۰^{-۴}$
سوراخ شدگی دیواره مخزن	X4	Fuzzy	$۲/۹*۱۰^{-۳}$	نقص در اتصالات Valve ورودی	X15	FTA	$۵*۱۰^{-۴}$
آسیب سقف شناور	X5	FTA	$۱/۶*۱۰^{-۱}$	نشتی لوله flexible مربوط به drain	X16	FTA	$۱/۱*۱۰^{-۴}$
نقص در LI	X6	FTA	$۴/۰۳*۱۰^{-۳}$	نقص در emergency drain	X17	FTA	$۳*۱۰^{-۴}$
عدم کارکرد LH مکانیکی	X7	FTA	$۴/۰۳*۱۰^{-۳}$	نقص در شیر یک طرفه drain	X18	FTA	$۱*۱۰^{-۴}$
معیوب بودن Valve	X8	FTA	$۱/۹۶*۱۰^{-۶}$	نقص در Seal	X19	FTA	$۲/۶*۱۰^{-۲}$
انتخاب کنترلر مشابه	X9	Fuzzy	$۳/۶*۱۰^{-۲}$	نشتی از محل نمونه گیری	X20	Fuzzy	$۲/۲*۱۰^{-۴}$
عملیات غیر معلول	X10	Fuzzy	$۳/۶*۱۰^{-۲}$	خوردگی در پوش man hole	X21	FTA	$۵/۳۹*۱۰^{-۲}$
خواندن دستور کار به اشتباه	X11	Fuzzy	$۲/۹*۱۰^{-۳}$	خوردگی gasket	X22	FTA	$۳*۱۰^{-۶}$

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-10-16]

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

رویداد پایه	جمع بندی به صورت دامنه فازی
X1	(۰/۲۴، ۰/۴۲، ۰/۶۱)
X3	(۰/۰۴، ۰/۱۰، ۰/۱۶، ۰/۲۲)
X4	(۰/۲۴، ۰/۴۲، ۰/۴۲، ۰/۶۱)
X9	(۰/۶۶، ۰/۷۹، ۰/۸۲، ۰/۹۳)
X10	(۰/۶۶، ۰/۷۹، ۰/۸۲، ۰/۹۳)
X11	(۰/۲۴، ۰/۴۲، ۰/۴۲، ۰/۶۱)
X12	(۰/۱۸، ۰/۳۵، ۰/۳۵، ۰/۵۲)
X20	(۰/۰۷، ۰/۱۷، ۰/۲۰، ۰/۳۴)

جدول ۵– نتایج حاصل از فازی زدایی رویداد های پایه

رویداد پایه	فازی زدایی
X1	۰/۴۲۸۱
X3	۰/۱۳۰۶
X4	۰/۴۲۸۱
X9	۱/۴۴۳
X10	۱/۴۴۳
X11	۰/۴۲۸۲
X12	۰/۳۵۲
X20	۰/۲۰۱

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	۰/۰۳۶
X10	۰/۰۳۶
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 کمی‌سازی درخت خطا، با استفاده از ترکیب دروازه‌های 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 شناور) را نشان می‌دهد.

جدول ۹– احتمال رخداد رویدادهای نهایی و پایه

خطر نشتی مایعات نفتی	رویدادهای پایه	دروازه	احتمال رخداد در یک سال
رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف شناور	TE	OR	۰/۲۵۱
پاره شدن مخزن	IE01	OR	۰/۰۰۳۱
نشتی از اتصالات مخزن	IE02	OR	۰/۱۶۱
سرریز شدن مواد نفتی	IE03	OR	۰/۱۰۵
نشت بر اثر خوردگی	IE04	AND	۰/۰۰۰۱۸۳
نقص در ابزار دقیق ها	IE05	AND	۰/۰۰۰۰۰۱۶
بسته نشدن valve لوله ورودی مخزن	IE06	OR	۰/۰۰۱۴
Man Hole	IE07	OR	۰/۰۵۳۹
خطای اپراتور	IE08	AND	۰/۰۰۱۴
خطای اپراتور ایستگاه پمپاژ	IE09	OR	۰/۰۴۰۲

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مرحله ترسیم کیفی نمودار درخت خطا، نشان می‌دهد که در مجموع ۳۱ علل یا نقص (۲۲ رویداد پایه‌ای 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: $۱/۶\times۱۰^{-۱}$)، نقص در سیستم انتقال (احتمال رخداد:$۶/۳\times۱۰^{-۲}$) و انتخاب کنترلر مشابه و عملیات غیر معلول (احتمال رخداد:$۳/۶\times۱۰^{-۲}$) به ترتیب بیشترین نقش را در رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف شناور را دارا می‌باشند.

احتمال رخداد رویداد اصلی (رهایش مواد مایع نفتی از مخزن سقف شناور) نیز ۰/۲۵۱ 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 جنبه‌های نوآوری این مطالعه می‌باشد. این تحقیق برگرفته از روش ارائه شده توسط Mir lavasani در سال ۲۰۱۱ بوده است که

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-10-16]

جدول ۱۰- برش‌های حداقل و رتبه بندی اهمیت برش های حداقل

شماره برش حداقل	توصیف رویدادها	احتمال در یک سال	میزان اهمیت	رتبه بندی اهمیت برش های حداقل
MCs1	x1,x2	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۷۱	۲
MCs2	x3	۰/۰۰۰۴۷	۰/۰۰۰۱۸	۱
MCs3	x4	۰/۰۲۹	۰/۰۱۱۵	۱
MCs4	x5	۰/۱۶	۰/۶۳۷۴	۱
MCs5	x6,x7	۰/۰۴۰۳	۰/۰۱۶۰	۲
MCs6	x8	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۰۶۳	۱
MCs7	x9,x10,x11	۰/۰۰۰۰۳۷	۰/۰۰۰۰۰۱۴	۳
MCs8	x9,x11,x12	۰/۰۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۰۰۵۹	۳
MC9	x9,x10,x12	۰/۰۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۰۰۷۵	۳
MCs10	x13	۰/۰۲۸	۰/۱۱۱	۱
MCs11	x14	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱۹	۱
MCs12	x15	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱۹	۱
MCs13	x16	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۴۳	۱
MCs14	x17	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱۱۹	۱
MCs15	x18	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳۹	۱
MCs16	x19	۰/۰۲۶	۰/۱۰۳	۱
MCs17	x20	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰۸۷	۱
MCs18	x21	۰/۰۵۳۹	۰/۲۱۴	۱
MCs19	x22	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۲۳	۱

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 خطا لازم است به‌صورت 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 خطا در حالت قطعی استفاده شده است. درحالی‌که بسیاری از عوامل خطاپذیر در مخازن از حالت عدم قطعیت برخورداراست. از مهم‌ترین علت منظور ننمودن نشتی از مخزن را می‌توان به تفاوت در ساختار LPG با مخازن 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 Khakzad و نیز Wang و همکاران می‌توان نتیجه‌گیری کرد که 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 خطا زیاد باشد سیستم مورد مطالعه

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-10-16]

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 وMCs9 کمترین تأثیر و اهمیت را در رخداد دارد. در مطالعه Ouache و همکاران که با روش Bowtie انجام شده است در مجموع 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 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، 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 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 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 به‌عنوان 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 نرخ شکست رویدادهای پایه ناشناخته به دست آورد.

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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-10-16]

جنبه‌های نوآوری اجرایی تحقیق در خصوص FFTA است که در هر تحقیق لازم است به‌صورت 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 منتهی 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 به‌دست‌آمده 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"

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-10-16]

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 Lavasani 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, Ll 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. Lavasani 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]

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-10-16]

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

Behzad Asghari[1], 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

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-10-16]