شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک بخش‌های مختلف پالایشگاه گاز ایلام با استفاده از رویکرد تلفیقی روش‌های Bow-tie و FMEA

مقداد کاظمی [۱و۲]، علی‌محمد عباسی[۱]، مهرداد کاظمی[۱]، نرگس جمشیدزاده[۱]، محمدامین رشیدی[۳*]

۱)گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ایلام، ایران

۲)گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکدهٔ بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

۳)کمیتهٔ تحقیقات دانشجویی، گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکدهٔ بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۶ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹ /۱۱/۲۰**

چکیده

مقدمه: ارزیابی ریسک فرایندی سامانمند و ضروری برای تعیین تأثیر، رخداد و پیامدهای فعالیت‌های انسان بر سیستم‌های مخاطره‌آمیز است؛ بنابراین، هدف از این مطالعه، شناسایی خطرات و تعیین ریسک کلی بخش‌های گوناگون پالایشگاه گاز ایلام است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعهٔ توصیفی- استنباطی، ارزیابی ریسک با تلفیقی از روش‌های Bow-tie و FMEA بر روی ۱۸ بخش مختلف پالایشگاه گاز ایلام انجام گرفت. ابتدا با استفاده از روش Bow-tie، رویداد اصلی، تهدیدها، پیامدها، اقدامات پیشگیرانه و بهبود مشخص گردید؛ سپس با استفاده از روش FMEA، عدد اولویت ریسک (حاصل‌ضرب شدت، وقوع و کشف) به دست آمد. درنهایت، سطح ریسک در سه گروه بحران‌های کم، متوسط و زیاد دسته‌بندی شد.

یافته‌های پژوهش: بر اساس Bow-Tie، فعالیت رهایش و آزادسازی گاز هیدروژن سولفید (H_2S) به‌عنوان رویداد اصلی معرفی گردید. علاوه بر این، عوامل نشتی و ترکیدگی مخزن، خوردگی و فرسودگی لوله‌ها و اتصالات، خطای انسانی، شرایط عملیاتی نامناسب و عوامل طبیعی در نقش تهدید، همچنین صدمه به منابع انسانی و زیست‌محیطی و خسارات مالی به‌عنوان پیامد مشخص شدند. بر اساس FMEA، خطر نشتی و ترکیدگی مخزن با دو اثر صدمات انسانی و زیست‌محیطی در حیطهٔ بحران زیاد (مهم) قرار گرفت و به‌عنوان مهم‌ترین خطر شناخته شد.

بحث و نتیجه‌گیری: پالایشگاه‌های گاز به علت ذات و ماهیت فرایند کاری، با خطرات بسیاری مواجهه هستند. رویکرد تلفیقی Bow-tie و FMEA روش مناسبی برای ارزیابی ریسک در این‌گونه صنایع است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی ریسک، Bow-tie، FMEA، پالایشگاه گاز

* نویسندهٔ مسئول: کمیتهٔ تحقیقات دانشجویی، گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکدهٔ بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

Email: Rashidi.mohammadamin74@gmail.com

Copyright © 2019 Journal of Ilam University of Medical Science. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution international 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material, in any medium or format, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.2.6.0]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.2.1]

مقدمه

افزایش تولید، گسترش حمل‌ونقل و نیاز بیشتر به مواد شیمیایی از مهم‌ترین تبعات پیشرفت صنعت و فناوری است، به‌طوری‌که امروزه وقوع حوادث ناگواری که ناشی از رهایش و انفجار مواد شیمیایی و سمی در واحدهای صنعتی است، سبب شده خطرات بسیاری افراد جامعه را تهدید کند (۱). حوادث ناشی از کار، جزء جدایی‌ناپذیر صنعت است. این حوادث علاوه بر سلامت جسمانی، سلامت روانی فرد و همچنین خسارت‌هایی را به کارفرمایان وارد می‌کنند (۲). اگرچه در تجزیه‌وتحلیل خطرات، باید همهٔ خطرات بیان شود، معمولاً محدودیت‌های منابع مانع از انجام این کار می‌شود؛ به همین علت، از ارزیابی ریسک استفاده می‌شود. ارزیابی ریسک فرایندی سامانمند و ضروری برای تعیین تأثیر، رخداد و پیامدهای فعالیت‌های انسان بر سیستم‌هایی با ویژگی‌های خطرناک است. مطالعهٔ ریسک با هدف پیشگیری از زیان‌ها و نتایج نامطلوب وقایع انجام می‌شود. ریسک ابزاری ضروری را برای تعیین میزان انطباق عملکرد سازمان با خط‌مشی ایمنی سازمان تشکیل می‌دهد. به‌طورکلی، ارزیابی ریسک یک فرایند سامانمند برای شناسایی و مقایسه است که به کارهای کلیدی سازمان توجه دارد و تهدیدات، احتمالات و پیامدهای خطرات را بررسی می‌کند (۳).

روش‌های گوناگونی برای ارزیابی ریسک وجود دارد که هریک از این روش‌ها مزایا و معایبی دارند. بر اساس بررسی‌های انجام‌گرفته، از روش‌های مختلفی نظیر FMEA، FTA، ETA، HAZOP و Bow-tie برای ارزیابی ریسک در صنایع فرایندی استفاده‌شده است (۴). امروزه، کاربرد دو یا چند روش ارزیابی ریسک در کنار هم به‌صورت مکمل در دنیا مرسوم است و پژوهشگران بسیاری برای افزایش اعتبار مطالعات خود و همچنین دستیابی به نتایج دقیق‌تر، از این روش استفاده می‌کنند (۵). در میان الگوهای گوناگونی که برای بیان سناریوی حوادث ارائه‌شده، روش پاپیونی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و مؤثرترین روش‌ها شناخته‌شده است. امروزه، روش پاپیونی (Bow-tie) در طیف وسیعی از صنایع همچون نفت، گاز، پتروشیمی، نیروگاه‌های اتمی، شرکت‌های هواپیمایی و حتی هوافضا استفاده می‌شود. مهم‌ترین مزایای این روش شامل ارتباطات روشن و بهبود درک و تشخیص افراد، مشارکت همه در برنامهٔ کنترل ریسک و بیشترین کارایی و اثربخشی است (۵). فن پاپیونی یکی از فن‌های مفید برای مدیریت ریسک است که طی آن، ارتباط میان همهٔ عوامل مرتبط با فرایند خطر نشان داده می‌شود؛ همچنین ارتباط همهٔ مؤلفه‌ها در تحلیل عوامل بالقوهٔ آسیب‌رسان با اقدامات کنترلی، فعالیت‌ها و وظایف بحرانی به‌طور کامل بررسی می‌گردند (۶، ۷). روش پاپیونی می‌تواند عملکرد حفاظ یا مانع (مثل زمان پاسخ، کارایی و سطح اطمینان) را ارزیابی و حفاظ‌های معیوب یا فقدان آن‌ها را شناسایی کند. این روش می‌تواند به‌طور ویژه برای نشان دادن اثر سیستم‌های ایمنی و موانع بر روی پیشرفت سناریوهای حادثه سودمند و مفید باشد (۸).

در مطالعات متعددی از روش پاپیونی برای ارزیابی ریسک استفاده‌شده است. در مطالعه‌ای که مولکاهی و همکاران برای آنالیز رویدادها، مدیریت ریسک و شناسایی خطرات آزمایشگاه از طریق روش پاپیونی انجام دادند، نتایج نشان داد که این روش می‌تواند برنامهٔ مناسبی را به‌منظور ایجاد فرهنگ ایمنی فعال با تسهیل ارتباطات خطر و حفظ آگاهی از خطرات برای طیف گسترده‌ای از ذی‌نفعان ایجاد کند (۹). حیرانی نیز در پژوهش خود برای ارزیابی ریسک خطوط لولهٔ انتقال نفت و گاز، از روش Bow-tie فازی‌شده استفاده کرد و نشان داد که استفاده از این الگو به رفع نقیصه یا ضعف موجود در استفاده از روش‌های درخت خطا و درخت واقعه منجر می‌شود (۱۰). پورتون و همکاران در مطالعه‌ای که در صنایع هوانوردی نظامی انجام دادند، به پیاده‌سازی و توسعهٔ هرچه بیشتر الگوی Bow-tie پرداختند و نشان دادند که این روش یک ابزار تجسمی نیرومند برای نمایش فعل‌وانفعالات تنظیمی در طراحی عملکرد سازمان، تولیدات و سیستم نگهداری تحت چارچوب نظارتی آن‌ها است (۱۱). علی‌آبادی و همکاران برای ارزیابی ریسک مخازن ذخیره‌سازی گاز نفتی مایع‌شونده در صنایع فرایندی، از روش پاپیونی استفاده کردند و بیان

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.2.6.0]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.2.1]

نمودند که این روش علاوه بر اینکه رویدادهای پراهمیت را نمایان می‌کند، می‌تواند رویدادهای قابل‌اغماض را هم نشان دهد (۴).

در میان فن‌های آنالیز خطر و ارزیابی ریسک، واکاوی حالات نقص و آثار آن (FMEA) به‌عنوان یک تکنیک معتبر، ارزشمند و مؤثر شناخته‌شده است. این روش از طریق بهینه‌سازی فرایندها و محصولات، به کاهش چشمگیر و فراوانی در خسارات مادی و صدمات انسانی ناشی از حوادث ناخواسته منجر می‌شود (۱۲). FMEA یک روش کیفی و استقرایی در شناسایی خطرهای اجزای یک سیستم و ارزشیابی آثار حالات خطرهای اجزای گوناگون یک سیستم است که توسط یک کار تیمی باعث حذف یا کاهش احتمال وقوع خطر و مستندسازی آن‌ها در سیستم تحت بررسی می‌گردد (۱۲). این روش با برخورداری از ابزاری پشتیبان برای طراحان، در صنایع گوناگون و متعددی از قبیل نفت، گاز، پتروشیمی، هواپیمایی، خودرو، هسته‌ای، الکترونیکی، شیمیایی، مکانیکی و پزشکی به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. علاوه بر این، موفقیت‌های به‌دست‌آمده از این روش در حوزه‌های مختلف سبب شده است تا روزبه‌روز بر کاربردهای آن افزوده گردد (۱۳). اثربخشی و توانایی روش FMEA موجب شده است که نه‌تنها صنایع، بلکه مراکز بهداشتی- درمانی نیز، از این روش برای بهبود و ارتقای وضعیت ایمنی بیماران و ارائهٔ خدمات اضطراری پزشکی استفاده کنند (۱۴).

صنایع فرایندی به علت مواد و شرایط خطرناک، جزو صنایعی با ریسک بالا و به همین علت، مستعد بروز حوادث بزرگ هستند (۱۵). در پالایشگاه‌ها و به‌طورکلی صنعت نفت، به دلایلی اعم از گستردگی حوزه‌های کاری پالایشگاه‌ها، حجم عظیم سرمایه، تعداد بالای کارکنان و مخاطرات فراگیری که در این صنعت وجود دارد، همواره بحث ایمنی موردتوجه متخصصین ایمنی و بهداشت بوده است (۱۶). علاوه بر این، در دهه‌های اخیر، وقوع حوادث هولناک و افزایش شدت و تکرار حوادث و زیان‌های جانی و مالی در این صنایع سبب گردیده که اهمیت موضوع شناسایی دقیق خطرات، ارزیابی و مدیریت ریسک بیشتر نمایان شود (۳)؛ بنابراین، پژوهش حاضر با هدف شناسایی خطرات، تعیین ریسک و تجزیه‌وتحلیل حوادث احتمالی در پالایشگاه گاز ایلام با تلفیقی از دو روش پاپیونی (Bow-tie) و واکاوی حالات نقص و آثار آن (FMEA) انجام گرفت.

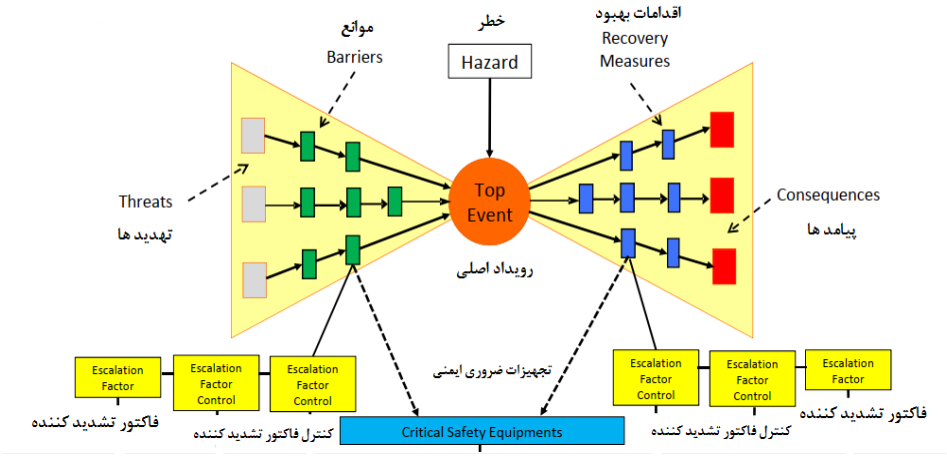
مواد و روش‌ها

در این مطالعهٔ توصیفی- استنباطی، ارزیابی ریسک با تلفیقی از دو روش Bow-tie و FMEA بر روی ۱۸ بخش مختلف پالایشگاه گاز ایلام انجام گرفت. در این پژوهش، گروهی مجرب و آموزش‌دیده، کار جمع‌آوری اطلاعات، شناسایی و تعیین مؤلفه‌هایی مانند خطرات، رویداد اصلی، تهدید، پیامد، مانع، اقدامات بهبود، عوامل تشدیدکننده، کنترل‌ها، احتمال وقوع، شدت اثر و قابلیت کشف با استفاده از مشاهده، مصاحبه، بازدید میدانی، بررسی متون و مطالعات مشابه، گزارش حوادث، نقشه‌های فرایندی، لیست مواد شیمیایی موجود، بررسی اسناد و اطلاعات بایگانی‌شده را انجام دادند. گروه ارزیابی ریسک متشکل از خود محقق، کارشناس ایمنی و بهداشت حرفه‌ای واحد مربوطه، کارشناس مکانیک، کارشناس فنی فرایند، کارشناس تعمیر و نگهداری، کارشناس کنترل کیفیت، کارشناس برق، سرپرست واحدها و تعدادی از کارگران معتمد بود که در ابتدا پژوهشگر، آموزش‌ها و توضیحات لازم دربارهٔ روش‌های استفاده‌شده و فرایند انجام ارزیابی ریسک را ارائه داد.

فن پاپیونی جزو روش‌هایی است که به سبب سادگی، از سوی افراد غیرمتخصص درک می‌شود. این روش به‌عنوان یک رویکرد، هر دو عنصر پیشگیرانه و واکنشی را در نظر می‌گیرد و در عمل به‌عنوان روش مفیدی برای پیشگیری، کنترل و کاهش وقوع حوادث به‌کار می‌رود (۱۷). روش پاپیونی از ترکیب دو روش آنالیز درخت خطا و آنالیز درخت رویداد ایجاد می‌شود. در ساخت یک دیاگرام پاپیونی، علل و تهدید ایجادکنندهٔ رویداد در سمت چپ، رویداد اصلی در مرکز دیاگرام به‌عنوان گره و پیامد ناشی از وقوع رویداد اصلی در سمت راست قرار می‌گیرد و نهایتاً دیاگرام حاصل به شکل پاپیون درمی‌آید (شکل شمارهٔ ۱). دیاگرام استفاده‌شده در روش پاپیونی نشان می‌دهد که تجهیزات، افراد و سامانه‌های ایمنی در یک سناریوی حادثه چگونه عمل می‌کنند و اینکه خطاها و پیامدهای حوادث چه ارتباطی

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.2.6.0]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.2.1]

با همدیگر دارند (۱). در این مطالعه، برای ترسیم دیاگرام‌های استفاده‌شده در روش پاپیونی از نرم‌افزار Microsoft Visio vol.2010 استفاده گردید (شکل شمارهٔ ۲).



شکل شمارهٔ ۱. الگوی پاپیونی



شکل شمارهٔ ۲. مراحل اجرای روش پاپیونی

روش FMEA با هدف افزایش قابلیت اطمینان فرایند از طریق پیشگیری از بروز نقص‌های شناسایی‌شدهٔ سیستم و کاهش پیامدهای نامطلوب ناشی از آن‌ها به‌کار می‌رود (۱۲). در این روش، سه مؤلفهٔ اصلی شدت پیامد، احتمال وقوع پیامد و احتمال کشف پیامد وجود دارد. شدت پیامد به معنای میزان آسیب پیامد

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.2.6.0]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.2.1]

بر انسان و حیوان، خسارات به سرمایه‌های ملی و محیط‌زیست، از بین بردن منابع طبیعی، سرمایه‌های جهانی و مصرف انرژی است. احتمال وقوع به معنای تعیین احتمال وقوع پیامد است و بر اساس مدت‌زمان وقوع و میزان دفعات تکرار یا بروز پیامد تقسیم‌بندی می‌شود. احتمال کشف پیامد به معنای تعیین احتمال کشف با توجه به لوازم، تجهیزات، دستورالعمل‌ها و کنترل‌های موجود است. احتمال کشف نوعی ارزیابی از میزان توانایی سامانه برای شناسایی یک علت یا سازوکار وقوع خطر است (۱۴). در مطالعهٔ حاضر شدت پیامد، احتمال وقوع و احتمال کشف با استفاده از جدول شمارهٔ ۱ تعیین شد.

عدد اولویت ریسک (RPN) از ضرب کردن درجهٔ شدت و درجهٔ وقوع و احتمال کشف در یکدیگر به دست می‌آید و می‌تواند از ۱ تا ۱۰۰۰ متغیر باشد. درنهایت، با استفاده از RPN به‌دست‌آمده می‌توان آن را در سه گروه بحران ضعیف (بحران کم) (RPN=1-99)، بحران متوسط (RPN=100-149) و بحران مهم (بحران زیاد) (RPN=150-1000) تقسیم‌بندی کرد، به‌طوری‌که بحـــــران‌های متوسط و مهم به اقدامات کنترلی فوری نیازمند هســـــتند. گفتنی است که این بازه از مقادیر، قراردادی است و بسته به شرایط محیط کار و میزان سطوح ریســـــک شناسایی‌شده تغییر می‌کند (۱۶).

توان کشف× احتمال وقوع×شدت خسارت = اولویت ریسک یا RPN (Risk Priority Number) = S×O×D

جدول شمارهٔ ۱. رتبه‌بندی خطرات بر حسب شدت پیامد، احتمال خطر و احتمال کشف خطر (قابلیت ردیابی) (۱۴)

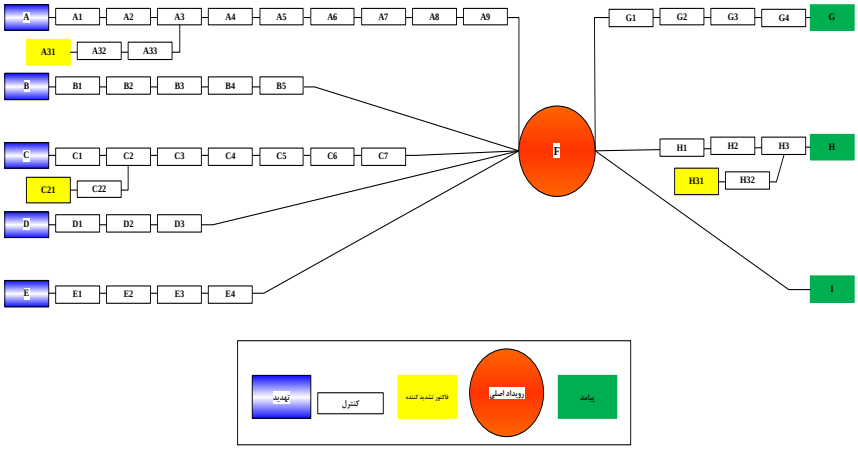
	مشخصه	معیار	رتبه‌بندی
شدت پیامد (S)	شدت پیامد فاجعه‌بار است؛ مانند خطر مرگ، تخریب کامل در اثر زلزله و غیره.	خطرناک – بدون هشدار	۱۰
	شدت پیامد فاجعه‌بار و همراه با هشدار است.	خطرناک – با هشدار	۹
	شدت پیامد جبران‌ناپذیر است –ناتوانی از انجام‌وظیفهٔ اصلی – از دست دادن یک عضو از بدن	بسیار زیاد	۸
	شدت پیامد بسیار است؛ همانند آتش گرفتن تجهیزات یا سوختگی شدید.	زیاد	۷
	شدت پیامد بسیار اما قابل جبران است؛ مثل سوختگی موضعی، آسیب‌های مقطعی.	متوسط	۶
	شدت پیامد کم است؛ مانند ضرب‌دیدگی، مسمومیت خفیف غذایی.	کم	۵
	شدت پیامد بسیار کم است اما بیشتر افراد ا را احساس می‌کنند؛ مثل نشست جزئی گاز.	بسیار کم	۴
	اثر جزئی بر جای می‌گذارد؛ مانند خراش دست به هنگام تراشکاری.	آثار جزئی	۳
	اثر بسیار جزئی دارد.	بسیار جزئی	۲
	بدون اثر	هیچ	۱
احتمال خطر (P)	بسیار بالا– خطر تقریباً اجتناب‌پذیر است.	۱ در ۲ یا بیش از آن	۱۰
		۱ در ۳	۹
	بالا– خطرهای تکراری	۱ در ۸	۸
		۱ در ۲۰	۷
		۱ در ۸۰	۶
	متوسط– خطرهای موردی	۱ در ۴۰۰	۵
		۱ در ۲۰۰۰	۴
	پایین– خطرهای نسبتاً نادر	۱ در ۱۵۰۰۰	۳
		۱ در ۱۵۰۰۰۰	۲
	بعید– خطر غیرمحتمل است.	کمتر از ۱ در ۱۵۰۰۰۰۰۰	۱
احتمال کشف خطر (D)	هیچ کنترلی وجود ندارد و یا در صورت وجود، قادر به کشف خطر نیست.	مطلقاً هیچ	۱۰
	احتمال بسیار ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.	بسیار ناچیز	۹
	احتمال ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.	ناچیز	۸
	احتمال بسیار کمی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.	بسیار کم	۷
	احتمال اندکی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.	کم	۶
	در نیمی از موارد احتمال دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.	متوسط	۵
	احتمال نسبتاً زیادی وجود دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.	نسبتاً زیاد	۴
	احتمال زیادی وجود دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.	زیاد	۳
	احتمال بسیار زیادی وجود دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.	بسیار زیاد	۲
	تقریباً به‌طور حتم با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار می‌شود.	تقریباً حتمی	۱

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.2.6.0]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.2.1]

یافته‌های پژوهش

در پژوهش حاضر، طبق بررسی‌های به‌عمل‌آمده بر روی ۱۸ بخش مختلف پالایشگاه گاز ایلام، بر اساس روش پاپیونی (Bow-Tie)، فعالیت رهایش و آزادسازی گاز هیدروژن سولفید (H_2S) به‌عنوان رویداد اصلی معرفی شد. بر اساس این روش، پنج عامل نشتی و ترکیدگی مخزن، خوردگی و فرسودگی لوله‌ها و اتصالات، خطای انسانی، شرایط عملیاتی نامناسب (دما، فشار و...) و عوامل طبیعی (سیل، زلزله، شرایط آب‌وهوایی نامناسب و...) نقش تهدید داشتند؛ همچنین صدمه به منابع انسانی (مسمومیت، مرگ‌ومیر و...)، صدمات زیست‌محیطی (انفجار، آتش‌سوزی و...) و خسارات مالی به‌عنوان پیامد حاصل از وقوع رویداد اصلی مشخص شدند. در مطالعهٔ حاضر به‌ازای هر تهدید، چندین مانع (اقدام پیشگیرانه) و به‌ازای دو پیامد صدمات انسانی و زیست‌محیطی، چندین اقدام بهبود اتخاذ گردید. گفتنی است که در این مطالعه، در تعدادی از اقدامات پیشگیرانه و بهبود، عوامل تشدیدکننده و کنترل آن‌ها در نظر گرفته‌شده است. اطلاعات تکمیلی دربارهٔ نتایج روش پاپیونی در شکل شمارهٔ ۳ ارائه‌شده است.

بر اساس ارزیابی ریسک و عدد اولویت ریسک(RPN) به‌دست‌آمده توسط روش FMEA، خطر نشتی و ترکیدگی مخزن با دو اثر صدمات زیست‌محیطی و انسانی، در حیطهٔ بحران مهم قرار گرفت و به‌عنوان مهم‌ترین خطر شناخته شد؛ همچنین سایر خطرات شناسایی‌شده در حیطهٔ بحران ضعیف قرار داشتند. طبق نتایج، در همهٔ خطرات شناسایی‌شده ریسک صدمات زیست‌محیطی از صدمات انسانی بالاتر بود. اطلاعات تکمیلی دربارهٔ نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل ریسک خطر در جدول شمارهٔ ۲ ارائه‌شده است.



شکل شماره ۳. نتایج روش پاپیونی

A نشتی و ترکیدگی مخزن	**B_4 برقراری سامانه‌های بازرسی به‌صورت منظم و دوره‌ای**	**E_1 استفاده از تجهیزات نگه‌دارنده**
A_1 طراحی مناسب	**B_5** به حداقل رساندن تعداد اتصالات	**E_2** تجزیه‌وتحلیل زمین‌شناسی و آب‌وهوایی منطقه
A_2 محصور کردن و جداسازی مخزن	**C** خطای انسانی	**E_3** تدوین دستورالعمل واکنش در شرایط اضطراری
A_3 سامانهٔ تشخیص نشتی گاز	**C_1** برگزاری دوره‌های آموزشی و بازآموزی به‌صورت منظم و ادواری	**E_4** ارزیابی ریسک به‌منظور شناسایی مکان‌های پرخطر و حادثه‌خیز
A_4 نصب آلارم و علائم هشداردهنده	**C_2** انجام معاینات دوره‌ای	**F** رهایش و آزادسازی گاز هیدروژن سولفید (H_2S)
A_5 برقراری سامانه‌های بازرسی به‌صورت منظم و دوره‌ای	**C_3** تعویض و چرخش کارکنان	**G** صدمه به منابع انسانی (مسمومیت، مرگ‌ومیر)
A_6 رعایت فاصلهٔ مناسب میان مخازن	**C_4** تدوین دستورالعمل‌های کاری	**G_1** استفاده از وسایل حفاظت فردی (PPE)
A_7 عایق کردن بدنهٔ مخازن و افزایش ضخامت آن	**C_5** تقسیم وظایف میان کارکنان	**G_2** آگاهی و اطلاع‌رسانی به افراد حاضر در منطقه
A_8 نصب شیرهای تخلیهٔ کنترل از راه دور	**C_6** برقراری سامانه‌های ارتباطی و اطلاع‌رسانی با سایر افراد و واحدها	**G_3** تخلیهٔ سریع منطقه
A_9 تعمیر و نگهداری	**C_7** برقراری سامانه‌های بازرسی به‌صورت منظم و دوره‌ای	**G_4** تشکیل گروه کمک‌های اولیه و انجام اقدامات درمانی
A_{31} استفاده از سامانه‌های قدیمی و غیر حساس	**C_{21}** نامناسب بودن و کاربردی نبودن سرفصل‌های آموزشی	**H** صدمات زیست‌محیطی (انفجار، آتش‌سوزی و ...)
A_{32} استفاده از سامانه‌های حساس، مجهز و پیشرفته	**C_{22}** اصلاح و بروز رسانی سرفصل‌های آموزشی	**H_1** تشکیل گروه واکنش در شرایط اضطراری

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.2.6.0]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.2.1]

A_{33} الگوگیری از سامانه‌های به‌کاررفته در سایر صنایع
B خوردگی و فرسودگی لوله‌ها و اتصالات
B_1 استفاده از لوله‌ها و اتصالات ایمن و مناسب
B_2 عایق‌کاری و پوشاندن لوله‌ها برای جلوگیری از واکنش‌های شیمیایی
B_3 تعویض، تعمیر و نگهداری لوله‌ها و اتصالات به‌صورت ادواری
D شرایط عملیاتی نامناسب (دما، فشار و ...)
D_1 اندازه‌گیری، پایش و بازرسی مؤلفه‌ها به‌صورت منظم و ادواری
D_2 استفاده از سامانه‌های هشداردهنده
D_3 آماده‌سازی (راه‌اندازی) سامانه‌های جایگزین برای استفاده در زمان خرابی و معیوب بودن سیستم
E عوامل طبیعی (سیل، زلزله، شرایط آب‌وهوایی نامناسب و ...)
H_2 مسدود کردن مسیر جریان
H_3 تأمین تجهیزات اطفا حریق
H_{31} نامناسب و ناکافی بودن تجهیزات
H_{32} بررسی و کنترل دورهای تجهیزات
I خسارات مالی

راهنمای شکل شمارهٔ ۳

جدول شمارهٔ ۲. نتایج تجزیه‌وتحلیل خطرات شناسایی‌شده در پالایشگاه گاز ایلام به روش FMEA

ردیف	خطرات	اثرات	احتمال وقوع (P)	شدت اثر (S)	قابلیت کشف (D)	RPN	سطح ریسک
۱	نشتی و ترکیدگی مخزن	صدمات زیست‌محیطی	۵	۶	۶	۱۸۰	۳
		صدمات انسانی		۷	۵	۱۷۵	۳
۲	خوردگی و فرسودگی لوله‌ها	صدمات زیست‌محیطی	۴	۵	۴	۸۰	۱
		صدمات انسانی		۴	۴	۶۴	۱
۳	خطای انسانی	صدمات زیست‌محیطی	۳	۶	۳	۵۴	۱
		صدمات انسانی		۵	۳	۴۵	۱
۴	شرایط عملیاتی نامناسب	صدمات زیست‌محیطی	۲	۶	۳	۳۶	۱
		صدمات انسانی		۵	۳	۳۰	۱
۵	عوامل طبیعی	صدمات زیست‌محیطی	۱	۷	۷	۴۹	۱
		صدمات انسانی		۶	۸	۴۸	۱

بحث و نتیجه‌گیری

ایمنی در پالایشگاه‌های گاز اهمیت ویژه‌ای دارد (۲). بر اساس نتایج پژوهش‌های گوناگون در پالایشگاه گاز، بروز حوادث متنوع و مختلف از قبیل آتش‌سوزی، نشت گاز، ترکیدگی مخازن، مسمومیت، سوختگی و... به صدمات و خسارت‌های جبران‌ناپذیر انسانی، زیست‌محیطی و اقتصادی منجر می‌شود (۱۸، ۲).

در مطالعهٔ حاضر، از روش پاپیونی برای انجام فرایند ارزیابی ریسک در ۱۸ بخش پالایشگاه گاز ایلام استفاده شد. این روش، هر دو عنصر پیشگیرانه و واکنشی را در نظر می‌گیرد (۸)؛ بنابراین، با استفاده از این روش در پالایشگاه گاز می‌توان قادر به شناسایی خطر، ارزیابی و کنترل ریسک و تحلیل حوادث احتمالی در نقش یک روش مناسب، کارآمد و معتبر بود (۱۹). در این مطالعه بر اساس روش پاپیونی، پنج عامل نشتی و ترکیدگی مخزن، خوردگی و فرسودگی لوله‌ها و اتصالات، خطای انسانی، شرایط عملیاتی نامناسب و عوامل طبیعی نقش تهدید داشتند؛ همچنین صدمه به منابع انسانی، صدمات زیست‌محیطی و خسارات مالی به‌عنوان پیامد حاصل از وقوع رویداد اصلی مشخص شدند. بر اساس روش FMEA، خطر نشتی و ترکیدگی مخزن با دو اثر صدمات زیست‌محیطی و انسانی، در حیطهٔ بحران مهم قرار گرفت و به‌عنوان مهم‌ترین خطر شناخته شد؛ همچنین سایر خطرات شناسایی‌شده در حیطهٔ بحران ضعیف قرار گرفتند. طبق نتایج، در همهٔ خطرات شناسایی‌شده ریسک صدمات زیست‌محیطی از صدمات انسانی بالاتر بود.

در پژوهش حاضر بر اساس روش پاپیونی، فعالیت رهایش و آزادسازی گاز هیدروژن سولفید (H_2S) به‌عنوان رویداد اصلی معرفی شد. پژوهش‌هایی نظیر پژوهش ژانگ و همکاران (۱۹)، حیرانی و همکاران (۱۰)، شهریار و همکاران (۲۰)، مونز و همکاران (۲۱) که به ارزیابی ریسک خطوط لولهٔ انتقال نفت و گاز پرداختند، رهایش و آزادسازی گاز را به‌عنوان رویداد اصلی معرفی کردند. در مطالعه‌ای که جعفری و همکاران بر روی برج‌های شیرین‌سازی گاز در دو پالایشگاه گاز انجام دادند، سناریوی نشت گاز سمی به‌عنوان مهم‌ترین سناریو مشخص شد (۲). در پژوهشی که فردوس و همکاران بر روی یک پالایشگاه نفت واقع در اطراف شـــهر تگزاس

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.2.6.0]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.2.1]

انجام دادند، رهایش و آزادسازی هیدروکربنِ واحد ایزومریلاسیون (ISOM) به‌عنوان رویداد اصلی معرفی گردید (۲۲). یکی از مهم‌ترین علل خسارات و صدمات بسیار در حوادث فرایندی، مربوط به ماهیت و استفادهٔ فراوان از مواد شیمیایی است (۲۳). پالایشگاه‌های نفت و گاز جزو منابع اصلی و عمدهٔ آلودگی ناشی از آلایندهٔ H2S محسوب می‌شوند (۲۴). در جریان خون، چنانچه گاز هیدروژن سولفید (H2S) به‌سرعت با اکسیژن جابجا نشود، سبب مسمومیت و درنهایت مرگ می‌گردد. این گاز نسبت به هوا سنگین‌تر است و قابلیت گسترش در سطح زمین و سرانجام انفجار و احتراق را دارد (۲۳)؛ بنابراین به نظر می‌رسد انتخاب فعالیت رهایش و آزادسازی گاز هیدروژن سولفید به‌عنوان رویداد اصلی، کاملاً منطقی باشد.

در پژوهش حاضر، پنج عامل در نقش تهدید و سه پیامد کلی معرفی شدند؛ همچنین بیشترین لایه‌های حفاظتی در بخش‌های موانع (اقدام پیشگیرانه) و اقدام بهبود به ترتیب نُه و چهار لایه بود. در مطالعه‌ای که اُیوچه و همکاران بر روی مخازن LPG با استفاده از روش Fuzzy Bow-Tie انجام دادند، علاوه بر انتخاب رهایش گاز در قالب رویداد اصلی، شش رویداد پایه و درمجموع ده پیامد (۲۵) معرفی شد (۲۶). سِلوان و همکاران در مطالعه‌ای، به ارزیابی ریسک مخازن LPG پرداختند و نتایج پژوهش آنان، رهایش گاز را در قالب رویداد اصلی نشان داد و درمجموع پنج نوع پیامد مشخص گردید (۲۶). احتمالاً مهم‌ترین علت تفاوت میان نتایج مطالعهٔ حاضر با دو پژوهش یادشده مربوط به این است که مطالعهٔ حاضر بر روی ۱۸ بخش مختلف پالایشگاه انجام گرفت، درحالی‌که پژوهش‌های یادشده (با وجود تشابه در روش ارزیابی ریسک) تنها بر روی مخازن LPG پالایشگاه صورت گرفته بود. در مطالعهٔ حاضر، بخش پیامد یا عواقب به سه بخش کلی تقسیم شد، درحالی‌که در پژوهش‌های بالا نام پیامدها به‌صورت دقیق بیان گردیده و بر اساس مطالعهٔ حاضر بیشتر آن‌ها در بخش صدمات زیست‌محیطی قرارگرفته‌اند. در مطالعه‌ای که یان و همکاران بر روی سیستم مبدل گاز بیومس انجام دادند، نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز نشتی گاز از طریق روش پاپیونی نشان داد که پیامدهای حاصل نشتی گاز شامل مسمومیت، صدمات و تلفات جزئی و عمده، حریق و همچنین خسارات عمدهٔ دارایی بود (۲۷). در پژوهش مونِز و همکاران، برای ارزیابی ریسک خطوط لوله انتقال گاز طبیعی از روش پاپیونی استفاده شد که درمجموع هفت تهدید و چهار پیامد مشخص گردید؛ همچنین بیشتر لایه‌های حفاظتی در بخش‌های موانع (اقدام پیشگیرانه) و اقدام بهبود به ترتیب چهار و سه لایه بود (۲۱). عمده‌ترین علت تفاوت میان نتایج مطالعهٔ حاضر با مطالعهٔ مونِز مربوط به جامعهٔ پژوهش است، به‌طوری‌که مطالعهٔ حاضر بر روی پالایشگاه گاز انجام گرفت، درحالی‌که پژوهش مونِز بر روی خطوط لوله انتقال گاز طبیعی صورت گرفته است.

در پژوهش حاضر خطر نشتی و ترکیدگی مخزن با دو اثر صدمات زیست‌محیطی و انسانی، در حیطهٔ بحران مهم قرار گرفت و به‌عنوان مهم‌ترین خطر شناخته‌شدهٔ همچنین در همهٔ خطرات شناسایی‌شده ریسک صدمات زیست‌محیطی از صدمات انسانی بالاتر بود. در پژوهش میرزایی علی‌آبادی و همکاران که با هدف ارزیابی ریسک مخازن LPG پالایشگاه تهران با استفاده از روش پاپیونی انجام گرفت، نتایج نشان داد که سرریز شدن مخزن، رهایش از شیر اطمینان، نشتی و ترکیدگی مخزن به ترتیب بیشترین تأثیر را در رهایش گاز LPG داشته‌اند (۴). در پژوهش اُیوچه و همکاران، به ترتیب ترکیدگی مخزن و سرریز شدن مخزن به‌عنوان اصلی‌ترین عوامل در رهایش و آزادسازی گاز LPG پالایشگاه معرفی شدند (۲۶). قاسمی و همکاران نیز مطالعه‌ای در شرکت ملی گاز ایران انجام دادند که بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین عدد اولویت ریسک (RPN) به ریسک‌های حریق و انفجار (صدمات زیست‌محیطی) تعلق گرفت (۱۳). در پژوهشی که مهدوی و همکاران بر روی پالایشگاه گاز سرخون و قشم انجام دادند، بیشترین عدد اولویت ریسک (RPN) مربوط به خوردگی داخل مخزن بود که در صورت نبود برنامهٔ منظم نگهداری می‌توانست به انتشار مواد سمی و خطرناک به محیط اطراف منجر شود (۲۸). در مطالعه‌ای که وزدانی و همکاران بر روی مخازن ذخیره‌سازی میعانات گازی شرکت پالایش گاز پارسیان انجام دادند، نتایج نشان داد که ریسک صدمات زیست‌محیطی از صدمات انسانی کمتر بود. در پژوهش

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.2.6.0]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.2.1]

وزدانی و همکاران، عوامل طبیعی و اقدامات عمدی به‌عنوان مهم‌ترین ریسک زیست‌محیطی و همچنین استنشاق بخارهای درون مخزن به‌عنوان مهم‌ترین ریسک ایمنی و بهداشت شناسایی شدند (۲۹). عمده‌ترین علت تفاوت در نتایج مطالعهٔ حاضر با مطالعهٔ وزدانی مربوط جامعهٔ پژوهش است، به‌طوری‌که مطالعهٔ حاضر بر روی پالایشگاه گاز انجام گردید، درحالی‌که پژوهش وزدانی بر روی خطوط مخازن ذخیره‌سازی میعانات گازی صورت گرفت.

در صنایع فرایندی، ارزیابی ریسک روش مؤثری برای تعیین سطح یکپارچگی ایمنی است. پالایشگاه‌های گاز به دلیل ذات و ماهیت فرایند کاری با خطرات بسیاری مواجهه هستند. الگوی پاپیونی قادر به ترکیب علل و پیامد حوادث به‌صورت گرافیکی است؛ همچنین این روش قادر به نمایش اقدامات لازم برای پیشگیری از وقوع حوادث (اقدامات پیشگیرانه یا موانع) و کاهش پیامدها (اقدامات بهبود) است. به عبارتی، این روش قادر به ارائهٔ آثار سیستم‌های ایمنی بر روی پیشرفت سناریوی حادثه است. با توجه به اینکه هر یک از روش‌های ارزیابی ریسک، ویژگی‌ها و معیارهای منحصربه‌فردی دارند و اینکه تنها با استفاده از یک روش ارزیابی ریسک نمی‌توان همهٔ خطرات و ریسک‌های موجود در یک صنعت ویژه را شناسایی و ارزیابی کرد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از روش‌های تلفیقی می‌تواند نتایج بهتر و دقیق‌تری را ارائه کند. ازجمله مشکلات اساسی استفاده از روش FMEA در ارزیابی ریسک، احتمال در نظر گرفتن وزن‌های یکسان برای هر یک از ریسک فاکتورها (شدت، احتمال و قابلیت کشف)، بیان احتمال هر یک از حالت‌های نقص در برابر ریسک فاکتورها به شکل عددی (بین ۱ تا ۱۰) و اولویت‌بندی ریسک‌ها بر اساس عدد RPN است که در برخی موارد ممکن است این اعداد باهم برابر باشد و یا در صورت وجود فاصلهٔ اندک از یکدیگر ممکن است اولویت‌بندی ریسک‌ها با مشکل مواجه شود (۳۰). در مقابل، روش پاپیونی به‌عنوان یک رویکرد، هر دو عنصر پیشگیرانه و واکنشی را در نظر می‌گیرد و در عمل به‌عنوان روش سودمندی برای پیشگیری، کنترل و کاهش وقوع حوادث به‌کار می‌رود (۱۷). این روش یک ابزار تجسمی نیرومند برای نمایش فعل‌وانفعالات تنظیمی در بروز رویدادها و حوادث در یک سازمان است و علاوه بر اینکه رویدادهای پراهمیت را نشان می‌دهد، قادر است تا رویدادهای قابل‌اغماض را هم نمایان کند؛ بنابراین، در صورت استفاده از این دو روش به‌صورت ترکیبی می‌توان ریسک فاکتورهای خطرناک و درنتیجه، رویداد اصلی را شناسایی کرد و به عبارتی می‌توان همهٔ توجه و تلاش خود را بر روی شناسایی و کنترل عوامل مؤثر بر روی رویداد اصلی متمرکز کرد و از اتلاف انرژی و زمان به دلیل بررسی رویدادهای غیر اصلی جلوگیری نمود.

در این مطالعه نیز نتایج نشان داد که استفاده از الگوی تلفیقی Bow-tie و FMEA می‌تواند به‌عنوان روش مناسبی برای انجام ارزیابی ریسک و شناسایی خطرات فرایندی در پالایشگاه‌های گاز باشد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، فعالیت رهایش و آزادسازی گاز هیدروژن سولفید (H2S) به‌عنوان رویداد اصلی و خطر نشتی و ترکیدگی مخزن به‌عنوان مهم‌ترین خطر شناسایی شد؛ بنابراین، فعالیت‌هایی که به رهایش H2S منجر می‌شوند و یا مکان انجام آن‌ها مخازن است، هنگام اتخاذ اقدامات کنترلی باید در اولویت قرار بگیرند. درنهایت، برای انجام مطالعات مشابه در آینده به پژوهشگران توصیه می‌شود که از الگوهایی با عدم قطعیت پایین‌تر مانند تئوری فازی یا شبکه بیزین استفاده کنند.

سپاس‌گزاری

مطالعهٔ حاضر حاصل طرح تحقیقاتی با کد طرح ۹۲۴۰۱۷/۵۷ است که تحت حمایت مالی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی ایلام صورت گرفته است. نویسندگان این مطالعه، بدین‌وسیله از همهٔ شاغلان پالایشگاه گاز ایلام و عزیزانی کمال تشکر و قدردانی را دارند که ما را در انجام این تحقیق یاری کرده‌اند.

References

1.Kamaei M, Alizadeh SSA, Keshvari A, Kheyrkhah Z, Moshashaei P. [Risk assessment and consequence modeling of Bleve explosion wave phenomenon of LPG

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.2.6.0]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.2.1]

spherical tank in a refinery]. JHSW2016;6:10-24. (Persian)
2.Jafari MJ, Askarian AR, Omidi L, Lavasani MRM, Taghavi L, Ashori AR. [The assessment of independent layers of protection in gas sweet ening towers of two gas refineries]. J Saf Promot Inj Prev2014;2:103-12. (Persian)
3.Asghari B, Omidvari M. [Probability assessment of chemical liquid release at floating roof storage tank in the oil refinery by fuzzy fault tree analysis]. IOH2018;15:8-20. (Persian)
4.Mirzaeialiabadi M, Mohammadfam I, Kalatpour O, Babayimesdaraghi Y. [Risk assessment of liquefied petroleum gas storage tanks in the process industries using the bow tie technique]. JOHE 2016;3:1-11. (Persian) doi.10.21859/johe-03021
5.Karami J, Karimi S. [HSE hazard analysis in iran yasa rubber industry using the approach hemp and bow tie]. SSUOHHP2019;3:51-62. (Persian)
Doi: https://doi.org/10.18502/ohhp.v3i1.964
6.De Ruijter A, Guldenmund F. The bowtie method: A review. Safety Science. 2016;88:211-8. Doi: 10.1016/j.ssci.2016.03.001
7.Mohammadzadeh Bahar H, Nabi Bidhendi g. [Assessment of critical fire risks in an industrial estate using a combination of fuzzy logic expert elicitation bow tie and monte Carlo methods]. JOHE2019;5:57-6. (Persian) doi.10.29252/johe.5.4.57
8.Jacinto C, Silva C. A semi quantitative assessment of occupational risk using bow tie representation. Saf Sci 2010;48:973-9. doi.10.1016/j.ssci.2009.08.008
9.Mulcahy MB, Boylan C, Sigmann S, Stuart R. Using bowtie methodology to support laboratory hazard identification, risk management, and incident analysis. J Chem Health Saf2017;24:14-20. doi.10.1016/J.JCHAS.2016.10.003
10.Heyrani P, Baghaei A. [Risk assessment in gas and oil pipelines based on the fuzzy bow tie technique]. JHSW 2016;6:59-70. (Persian)
11.Purton L, Clothier R, Kourousis K. Assessment of technical airworthiness in military aviation: implementation and further advancement of the bow tie model. Procedia Engineering 2014;80:529-44. doi.10.1016/j.proeng.2014.09.110
12.Mohammadian M, Hashemi Nejad N. [Hazard analysis in poly van house factory using Fmea method]. JJUMS2015;1:49-58. (Persian)
13.Ouache R, Adham AA. Safety instrumented systems between reliability and fuzzy. Int J Inf Syst Eng2014;2:173-85.
14.Mirmohammadi T, NaseriPouya Z, Hosseinalipour Z. [Risk factors assessment in educational equipment manufacturers company using Fmea]. J Health Res Com 2016;2:9-18. (Persian)
15.Mirzaeealiabadi M, Mohammadfam I, Ahmadigahar A. [Root causes analysis of the Blow out of oil and gas wells in the drilling industry using bow tie analysis]. IOH 2019;15:16-24. (Persian)
16.Hamidan N, Dashti S. [Risk assessment of oil reservoirs of amout arvand free zone area at the explotiation phase using Fmea method]. ARUMS Health2018;9:389-402. (Persian) doi.10.29252/j.health.9.4.389
17.Tang Y, Jing J, Zhang Z, Yang Y. A Quantitative Risk Analysis Method for the High Hazard Mechanical System in Petroleum and Petrochemical Industry. Energies 2017;11:14. doi. 10.3390/en11010014
18.Askarian A, Jafari M J, Omidi L, Mirilavasani M R, Taghavi L, et al. Hazard identification and risk assessment in two gas refinery units. Health Scope2018; 7:68252. doi. 10.5812/jhealthscope.68252.
19.Zhang P ,Qin G, Wang Y. Risk assessment system for oil and gas pipelines laid in one ditch based on quantitative risk analysis. Energies2019;12:981. doi. 10.3390/en12060981

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.2.6.0]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.2.1]

20.Shahriar A, Sadiq R, Tesfamariam S. Risk analysis for oil and gas pipelines a sustainability assessment approach using fuzzy based bow tie analysis. J Los Preve Proce Ind 2012;25:505-23. doi.10.1016/j.jlp.2011.12.007

21.Muniz MVP, Lima GBA, Caiado RGG, Quelhas OLG. Bow tie to improve risk management of natural gas pipelines. Proce Saf Prog 2018;37:169-75. doi.10.1002/prs.11901

22.Ferdous R, Khan F, Sadiq R, Amyotte P, Veitch B. Analyzing system safety and risks under uncertainty using a bow tie diagram an innovative approach. Proce Saf Environ Protection. 2013;91:1-18. doi.10.1016/j.psep.2011.08.010

23. Ebrahemzadih M, Foroghinasab F, Mortazavi M, Soltanigerdefaramarzi R. [Analysis of Processing Accidents due to H2S in Clot Stuck Unit of one of the South Pars Refineries leakage using determination of safe privacy approach]. SSUJ 2015;7:11-8. (Persian)

24.Minabi A, Atabi F, Moattar F, Jafari M J. [Simulation of concentrations and dispersion of hydrogen sulfide h2s due to incinerators of sulfur recovery units in a gas refinery in asaluyeh]. JEHE 2017; 4 :279-88. (Persian) doi.10.18869/acadpub.jehe.4.4.279

25.Selvan T, Siddqui N. Risk assessment study for LPG storage and handling system of heat treatment plant. Int J Emerg Technol Adv Eng2015;5:216.

26.Yan F, Xu K, Yao X, Li Y. Fuzzy bayesian network bow tie analysis of gas leakage during biomass gasification. Plos One 2016;11: 160045. doi.10.1371/journal.pone.0160045

27.Ghasemi S, Yavari K, Mahmoudvand R, Sahabi B, Naeim A. [A new method for determining insurability of risks in gas refineries using the failure mode and effect analysis method]. J Econ Polic 2015;7:1-26. (Persian)

28.Mahdavi S, Rasti Pisheh P, Jozekanaani M. [Safety assessment of glycol recovery unit in a gas refinery by failure mode and effects analysis technique]. JOHE2016;5:151-9. doi. 10.18869/acadpub.johe.5.3.151

29.Vazdani S, Sabzghabaei GR, Dashti S, Cheraghi M, Alizadeh R, Hemmati A. Application of FMEA model for environmental safety and health risks assessment of gas condensates storage tanks of parsian gas refining company in 2016. RUMSJ 2018;17:345-58. doi. 10.26480/ees.02.2017.16.18

30.Omidvar M, Nirumand F. [Risk assessment using FMEA method and on the basis of MCDM, fuzzy logic and grey theory a case study of overhead cranes]. JHSW. 2017; 7:63-76. (Persian)

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.2.6.0]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.2.1]

Identification of Hazards and Risk Assessment among Various Units of Ilam Gas Refinery using the Integrated Approach of Bow-tie and FMEA Methods

Kazemi M[1,2], Abbasi A[1], Kazemi M[1], Jamshidzadeh N[1], Rashidi M [3]*

(Received: September 6, 2020 Accepted: February 8, 2021)

Abstract

Introduction: Risk assessment is a systematic and essential procedure to determine the effects, events, and consequences of human activities on perilous systems. This study aimed to identify the hazards and determine the total risk of various units of Ilam Gas Refinery.

Materials & Methods: This descriptive-inferential study assessed the risks on 18 various units of Ilam Gas Refinery through a combination of Bow-tie and FMEA methods. Initially, the top event, threats, consequences, as well as preventive and recovery measures were identified using the Bow-tie method. Afterward, Risk Priority Number (multiplying severity, occurrence, and detection) was obtained by FMEA. Finally, the risk level was divided into three groups of low, moderate, and high crisis.

Findings: Based on Bow-Tie, the release activity of H_2S gas was introduced as the top event. Furthermore, tank leakage and burst, corrosion and wear of pipes and fittings, human error, poor operating conditions, and natural factors in the threat role, as well as damages to human and environmental resources and financial losses were identified as consequences. Based on FMEA, the hazard of tank leakage and burst with two effects of human and environmental damages was in the level of high (major) crisis and was recognized as the most important hazard.

Discussions & Conclusions: Gas refineries are faced with many hazards due to the nature of the work process. The integrated approach of Bow-tie and FMEA is a suitable method for risk assessment in such industries.

Keywords: Bow-tie, FMEA, Gas Refinery, Risk Assessment

1.Dept of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Ilam University of Medical Sciences, Ilam, Iran
2.Dept of Occupational Health Engineering, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3.Student Research Committee, Dept of Occupational Health and Safety, Faculty of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
** Corresponding author Email: Rashidi.mohammadamin74@gmail.com*

Scientific Journal of Ilam University of Medical Sciences

[Downloaded from sjimu.medilam.ac.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.15634728.1400.29.2.6.0]
[DOI: 10.52547/sjimu.29.2.1]