

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

مقداد کاظمی^{۱،۲}، علی محمد عباسی^۱، مهرداد کاظمی^۱، نرگس جمشیدزاده^۱، محمدامین رشیدی^{۳*}

۱) گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ایلام، ایران
 ۲) گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
 ۳) کمیته تحقیقات دانشجویی، گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۶

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 مطالعه 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 (حاصل ضرب شدت، وقوع و کشف) به دست آمد. در نهایت، 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 (H₂S) به‌عنوان رویداد اصلی معرفی گردید. علاوه بر این، عوامل نشستی و ترکیب‌های 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 نشستی و ترکیب‌های مخزن با دو اثر صدمات انسانی و زیست‌محیطی در حیطه 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

* نویسنده مسئول: کمیته تحقیقات دانشجویی، گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده 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.

مقدمه

افزایش تولید، گسترش حمل‌ونقل و نیاز بیشتر به مواد شیمیایی از مهم‌ترین تبعات پیشرفت صنعت و فناوری است، به طوری که امروزه وقوع حوادث ناگوار که ناشی از رهائش 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 تجزیه و تحلیل خطرات، باید همه 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. مطالعه 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. به طور کلی، 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 هر یک 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 استفاده شده است (۴).

امروزه، کاربرد دو یا چند روش ارزیابی ریسک در کنار هم به صورت 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 ارائه شده، روش پایبونی به عنوان یکی از مهم‌ترین و مؤثرترین روش‌ها شناخته شده است. امروزه، روش پایبونی (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 برنامه کنترل ریسک و بیشترین کارایی و اثربخشی است (۵). فن پایبونی یکی از فن‌های مفید برای مدیریت ریسک است که طی آن، ارتباط میان همه عوامل مرتبط با فرایند خطر نشان داده می‌شود؛ همچنین ارتباط همه مؤلفه‌ها در تحلیل عوامل بالقوه آسیب‌رسان با اقدامات کنترلی، فعالیت‌ها و وظایف بحرانی به طور کامل بررسی می‌گردند (۶، ۷). روش پایبونی 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 به طور ویژه برای نشان دادن اثر سیستم‌های ایمنی و موانع بر روی پیشرفت سناریوهای حادثه سودمند و مفید باشد (۸).

در مطالعات متعددی از روش پایبونی برای ارزیابی ریسک استفاده شده است. در مطالعه‌ای که مولکاهی و همکاران برای آنالیز رویدادها، مدیریت ریسک و شناسایی خطرات آزمایشگاه از طریق روش پایبونی انجام دادند، نتایج نشان داد که این روش می‌تواند برنامه مناسبی را به منظور 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 لوله انتقال نفت و گاز، از روش Bow-tie فازی شده 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 توسعه 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 پایبونی استفاده کردند و بیان

نمودند که این روش علاوه بر اینکه رویدادهای پراهمیت را نمایان می‌کند، می‌تواند رویدادهای قابل اغماض 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 شناخته شده 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 ارزیابی 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 به‌دست آمده از این روش در حوزه‌های مختلف سبب شده است تا روزه‌روز بر کاربردهای آن افزوده گردد (۱۳). اثربخشی و توانایی روش FMEA موجب شده است که نه تنها صنایع، بلکه مراکز بهداشتی-درمانی نیز، از این روش برای بهبود و ارتقای وضعیت ایمنی بیماران و ارائه 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 به‌طور کلی 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 مورد توجه 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

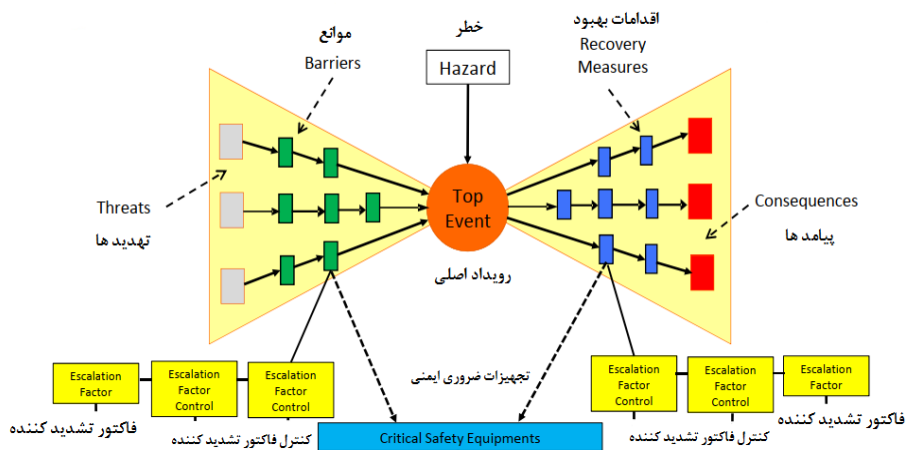
حاضر با هدف شناسایی خطرات، تعیین ریسک و تجزیه و تحلیل حوادث احتمالی در پالایشگاه گاز ایلام با تلفیقی از دو روش پایبونی (Bow-tie) و واکاوی حالات نقص و آثار آن (FMEA) انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه 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 آموزش دیده، 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 بایگانی شده 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 درباره روش‌های استفاده شده و فرایند انجام ارزیابی ریسک را ارائه داد.

فن پایبونی 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 به کار می‌رود (۱۷). روش پایبونی از ترکیب دو روش آنالیز درخت خطا و آنالیز درخت رویداد ایجاد می‌شود. در ساخت یک دیاگرام پایبونی، علل و تهدید ایجادکننده 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 پایبونی درمی‌آید (شکل شماره ۱). دیاگرام استفاده شده در روش پایبونی نشان می‌دهد که تجهیزات، افراد و سامانه‌های ایمنی در یک سناریوی حادثه چگونه عمل می‌کنند و اینکه خطاها و پیامدهای حوادث چه ارتباطی

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



شکل شماره ۱. الگوی پایبونی



شکل شماره ۲. مراحل اجرای روش پایبونی

ناشی از آن‌ها به کار می‌رود (۱۲). در این روش، سه مؤلفه اصلی شدت پیامد، احتمال وقوع پیامد و احتمال کشف پیامد وجود دارد. شدت پیامد به معنای میزان آسیب پیامد

روش FMEA با هدف افزایش قابلیت اطمینان فرایند از طریق پیشگیری از بروز نقص‌های شناسایی‌شده سیستم و کاهش پیامدهای نامطلوب

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 مطالعه حاضر شدت پیامد، احتمال وقوع و احتمال کشف با استفاده از جدول شماره ۱ تعیین شد.

عدد اولویت ریسک (RPN) از ضرب کردن درجه شدت و درجه وقوع و احتمال کشف در یکدیگر به دست می‌آید و می‌تواند از ۱ تا ۱۰۰۰ متغیر باشد. درنهایت، با استفاده از RPN به دست‌آمده 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، به طوری که بحران‌های متوسط و مهم به اقدامات کنترلی فوری نیازمند هستند. گفتنی است که این بازه از مقادیر، قراردادی است و بسته به شرایط محیط کار و میزان سطوح ریسک شناسایی شده تغییر می‌کند (۱۶).

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

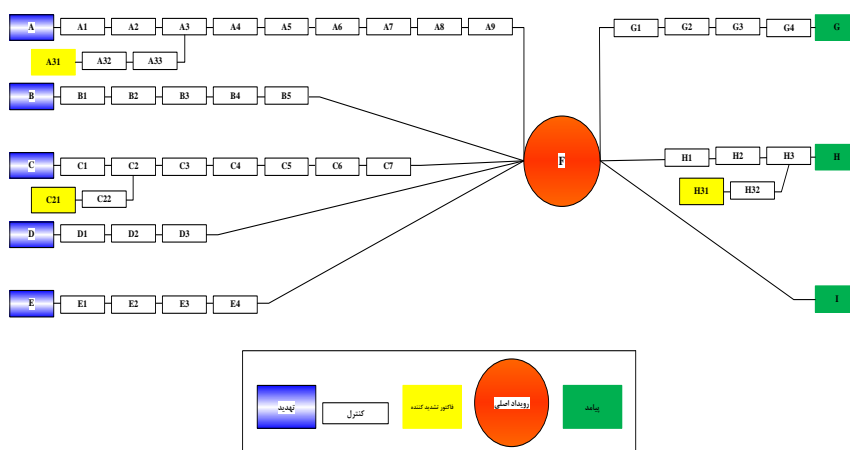
جدول شماره ۱. رتبه‌بندی خطرات بر حسب شدت پیامد، احتمال خطر و احتمال کشف خطر (قابلیت ردیابی) (۱۴)

رتبه‌بندی	معیار	مشخصه	شدت پیامد (S)	احتمال خطر (O)	احتمال کشف خطر (D)
۱۰	خطرناک - بدون هشدار	شدت پیامد فاجعه‌بار است؛ مانند خطر مرگ، تخریب کامل در اثر زلزله و غیره.	شدت پیامد (S)	بسیار بالا - خطر تقریباً اجتناب‌پذیر است.	بسیار کم
۹	خطرناک - با هشدار	شدت پیامد فاجعه‌بار و همراه با هشدار است.			
۸	بسیار زیاد	شدت پیامد جبران‌ناپذیر است - توانایی از انجام وظیفه اصلی - از دست دادن یک عضو از بدن			
۷	زیاد	شدت پیامد بسیار است؛ همانند آتش گرفتن تجهیزات یا سوختگی شدید.			
۶	متوسط	شدت پیامد بسیار اما قابل جبران است؛ مثل سوختگی موضعی، آسیب‌های مقطعی.			
۵	کم	شدت پیامد کم است؛ مانند ضرب‌دیدگی، مسمومیت خفیف غذایی.			
۴	بسیار کم	شدت پیامد بسیار کم است اما بیشتر افراد را احساس می‌کنند؛ مثل نشست جزئی گاز.			
۳	آثار جزئی	اثر جزئی بر جای می‌گذارد؛ مانند خراش دست به هنگام تراشکاری.			
۲	بسیار جزئی	اثر بسیار جزئی دارد.			
۱	هیچ	بدون اثر			
۱۰	۱ در ۲ یا بیش از آن	بسیار بالا - خطر تقریباً اجتناب‌پذیر است.	احتمال خطر (O)	بسیار کم	بسیار کم
۹	۱ در ۳	بالا - خطرهای تکراری			
۸	۱ در ۸	متوسط - خطرهای موردی			
۷	۱ در ۲۰	پایین - خطرهای نسبتاً نادر			
۶	۱ در ۸۰	بسیار کم			
۵	۱ در ۴۰۰	بسیار کم			
۴	۱ در ۲۰۰۰	بسیار کم			
۳	۱ در ۱۵۰۰۰	بسیار کم			
۲	۱ در ۱۵۰۰۰۰	بسیار کم			
۱	کمتر از ۱ در ۱۵۰۰۰۰۰	بسیار کم			
۱۰	مطلقاً هیچ	هیچ کنترلی وجود ندارد و یا در صورت وجود، قادر به کشف خطر نیست.	احتمال کشف خطر (D)	بسیار کم	بسیار کم
۹	بسیار ناچیز	احتمال بسیار ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.			
۸	ناچیز	احتمال ناچیزی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.			
۷	بسیار کم	احتمال بسیار کمی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.			
۶	کم	احتمال اندکی دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.			
۵	متوسط	در نیمی از موارد احتمال دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.			
۴	نسبتاً زیاد	احتمال نسبتاً زیادی وجود دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.			
۳	زیاد	احتمال زیادی وجود دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.			
۲	بسیار زیاد	احتمال بسیار زیادی وجود دارد که با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار شود.			
۱	تقریباً حتمی	تقریباً به‌طور حتم با کنترل‌های موجود خطر ردیابی و آشکار می‌شود.			

یافته‌های پژوهش

در پژوهش حاضر، طبق بررسی‌های به‌عمل‌آمده بر روی ۱۸ بخش مختلف پالایشگاه گاز ایلام، بر اساس روش پایبونی (Bow-Tie)، فعالیت رهایش و آزادسازی گاز هیدروژن سولفید (H₂S) به‌عنوان رویداد اصلی معرفی شد. بر اساس این روش، پنج عامل نشستی و ترکیبگی 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 مطالعه 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 گرفته شده است. اطلاعات تکمیلی درباره نتایج روش پایبونی در شکل شماره ۳ ارائه شده است. بر اساس ارزیابی ریسک و عدد اولویت ریسک (RPN) به‌دست‌آمده توسط روش FMEA، خطر نشستی و ترکیبگی مخزن با دو اثر صدمات زیست‌محیطی و انسانی، در حیطه بحران مهم قرار گرفت و به‌عنوان مهم‌ترین خطر شناخته شد؛ همچنین سایر خطرات شناسایی شده در حیطه بحران ضعیف قرار داشتند. طبق نتایج، در همه خطرات شناسایی شده ریسک صدمات زیست‌محیطی از صدمات انسانی بالاتر بود. اطلاعات تکمیلی درباره نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل ریسک خطر در جدول شماره ۲ ارائه شده است.



شکل شماره ۳. نتایج روش پایبونی

A نشستی و ترکیبگی مخزن

B4 برقراری سامانه‌های بازرسی به‌صورت منظم و دوره‌ای

E1 استفاده از تجهیزات نگهدارنده

A1 طراحی مناسب

E2 تجزیه و تحلیل زمین‌شناسی و آب‌وهوایی منطقه

B5 به حداقل رساندن تعداد اتصالات

E3 تدوین دستورالعمل واکنش در شرایط اضطراری

C خطای انسانی

A2 محصور کردن و جداسازی مخزن

E4 ارزیابی ریسک به‌منظور شناسایی مکان‌های پرخطر و حادثه‌خیز

C1 برگزاری دوره‌های آموزشی و بازآموزی به‌صورت منظم و ادواری

A3 سامانه تشخیص نشستی گاز

F رهایش و آزادسازی گاز هیدروژن سولفید (H₂S)

C2 انجام معاینات دوره‌ای

A4 نصب آلارم و علائم هشداردهنده

G صدمه به منابع انسانی (مسمومیت، مرگ‌ومیر)

C3 تعویض و چرخش کارکنان

A5 برقراری سامانه‌های بازرسی به‌صورت منظم و دوره‌ای

G1 استفاده از وسایل حفاظت فردی (PPE)

C4 تدوین دستورالعمل‌های کاری

A6 رعایت فاصله مناسب میان مخازن

G2 آگاهی و اطلاع‌رسانی به افراد حاضر در منطقه

C5 تقسیم وظایف میان کارکنان

A7 عایق کردن بدنه مخازن و افزایش ضخامت آن

G3 تخلیه سریع منطقه

C6 برقراری سامانه‌های ارتباطی و اطلاع‌رسانی با سایر افراد و واحدها

A8 نصب شیرهای تخلیه کنترل از راه دور

G4 تشکیل گروه کمک‌های اولیه و انجام اقدامات درمانی

C7 برقراری سامانه‌های بازرسی به‌صورت منظم و دوره‌ای

A9 تعمیر و نگهداری

H صدمات زیست‌محیطی (انفجار، آتش‌سوزی و...)

C21 نامناسب بودن و کاربردی نبودن سرفصل‌های آموزشی

A31 استفاده از سامانه‌های قدیمی و غیر حساس

H1 تشکیل گروه واکنش در شرایط اضطراری

C22 اصلاح و بروز رسانی سرفصل‌های آموزشی

A32 استفاده از سامانه‌های حساس، مجهز و پیشرفته

A33 الگوگیری از سامانه‌های به‌کاررفته در سایر صنایع	D شرایط عملیاتی نامناسب (دما، فشار و ...)	H2 مسدود کردن مسیر جریان
B خوردگی و فرسودگی لوله‌ها و اتصالات	D1 اندازه‌گیری، پایش و بازرسی مؤلفه‌ها به‌صورت منظم و ادواری	H3 تأمین تجهیزات اطفاء حریق
B1 استفاده از لوله‌ها و اتصالات ایمن و مناسب	D2 استفاده از سامانه‌های هشداردهنده	H31 نامناسب و ناکافی بودن تجهیزات
B2 عایق کاری و پوشاندن لوله‌ها برای جلوگیری از واکنش‌های شیمیایی	D3 آماده‌سازی (راه‌اندازی) سامانه‌های جایگزین برای استفاده در زمان خرابی و معیوب بودن سیستم	H32 بررسی و کنترل دوره‌های تجهیزات
B3 تعویض، تعمیر و نگهداری لوله‌ها و اتصالات به‌صورت ادواری	E عوامل طبیعی (سیل، زلزله، شرایط آب‌وهوایی نامناسب و ...)	I خسارات مالی

راهنمای شکل شماره ۳

جدول شماره ۲. نتایج تجزیه و تحلیل خطرات شناسایی شده در پالایشگاه گاز ایلام به روش FMEA

ردیف	خطرات	اثرات	احتمال وقوع (P)	شدت اثر (S)	قابلیت کشف (D)	RPN	سطح ریسک
۱	نشستی و ترکیدگی مخزن	صدمات زیست‌محیطی	۵	۶	۶	۱۸۰	۳
۲	خوردگی و فرسودگی لوله‌ها	صدمات انسانی	۴	۵	۴	۸۰	۱
۳	خطای انسانی	صدمات زیست‌محیطی	۳	۶	۳	۵۴	۱
۴	شرایط عملیاتی نامناسب	صدمات انسانی	۲	۵	۳	۴۵	۱
۵	عوامل طبیعی	صدمات زیست‌محیطی	۱	۷	۳	۳۰	۱
		صدمات انسانی		۶	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 مطالعه 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 نشستی 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 نشستی و ترکیدگی مخزن با دو اثر صدمات زیست‌محیطی و انسانی، در حیطه بحران مهم قرار گرفت و به‌عنوان مهم‌ترین خطر شناخته شد؛ همچنین سایر خطرات شناسایی شده در حیطه بحران ضعیف قرار گرفتند. طبق نتایج، در همه خطرات شناسایی شده ریسک صدمات زیست‌محیطی از صدمات انسانی بالاتر بود.

در پژوهش حاضر بر اساس روش پاپیونی، فعالیت رهایش و آزادسازی گاز هیدروژن سولفید (H₂S) به‌عنوان رویداد اصلی معرفی شد. پژوهش‌هایی نظیر پژوهش ژانگ و همکاران (۱۹)، حیرانی و همکاران (۱۰)، شهریار و همکاران (۲۰)، مویز و همکاران (۲۱) که به ارزیابی ریسک خطوط لوله 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 شهر تگزاس

انجام دادند، رهایش و آزادسازی هیدروکربن واحد ایزومریلاسیون (ISOM) به‌عنوان رویداد اصلی معرفی گردید (۲۲). یکی از مهم‌ترین علل خسارات و صدمات بسیار در حوادث فرایندی، مربوط به ماهیت و استفاده فراوان از مواد شیمیایی است (۲۳). پالایشگاه‌های نفت و گاز جزو منابع اصلی و عمده آلودگی ناشی از آلاینده 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 نه و چهار لایه بود. در مطالعه‌ای که آیوچه 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 در مجموع ده پیامد (۲۵) معرفی شد (۲۶). سلوان و همکاران در مطالعه‌ای، به ارزیابی ریسک مخازن LPG پرداختند و نتایج پژوهش آنان، رهایش گاز را در قالب رویداد اصلی نشان داد و در مجموع پنج نوع پیامد مشخص گردید (۲۶). احتمالاً مهم‌ترین علت تفاوت میان نتایج مطالعه حاضر با دو پژوهش یادشده مربوط به این است که مطالعه 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 مطالعه حاضر، بخش پیامد یا عواقب به سه بخش کلی تقسیم شد، درحالی‌که در پژوهش‌های بالا نام پیامدها به‌صورت دقیق بیان گردیده و بر اساس مطالعه حاضر بیشتر آن‌ها در بخش صدمات زیست‌محیطی قرار گرفته‌اند. در مطالعه‌ای که یان و همکاران بر روی سیستم مبدل گاز بیومس انجام دادند، نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز نشی گاز از طریق روش پایبونی نشان داد که پیامدهای حاصل

نشی گاز شامل مسمومیت، صدمات و تلفات جزئی و عمده، حریق و همچنین خسارات عمده‌داری بود (۲۷). در پژوهش موز و همکاران، برای ارزیابی ریسک خطوط لوله انتقال گاز طبیعی از روش پایبونی استفاده شد که در مجموع 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 مطالعه حاضر با مطالعه موز مربوط به جامعه پژوهش است، به‌طوری‌که مطالعه حاضر بر روی پالایشگاه گاز انجام گرفت، درحالی‌که پژوهش موز بر روی خطوط لوله انتقال گاز طبیعی صورت گرفته است.

در پژوهش حاضر خطر نشی و ترکیبگی مخزن با دو اثر صدمات زیست‌محیطی و انسانی، در حیطه بحران مهم قرار گرفت و به‌عنوان مهم‌ترین خطر شناخته‌شده همچنین در همه فطرات 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 پایبونی انجام گرفت، نتایج نشان داد که سرریز شدن مخزن، رهایش از شیر اطمینان، نشی و ترکیبگی مخزن به ترتیب بیشترین تأثیر را در رهایش گاز LPG داشته‌اند (۴). در پژوهش آیوچه و همکاران، به ترتیب ترکیبگی 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 برنامه 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 پارس‌پارس انجام دادند، نتایج نشان داد که ریسک صدمات زیست‌محیطی از صدمات انسانی کمتر بود. در پژوهش

وزدانی و همکاران، عوامل طبیعی و اقدامات عمدی به عنوان مهم‌ترین ریسک زیست‌محیطی و همچنین استنشاق بخارهای درون مخزن به عنوان مهم‌ترین ریسک ایمنی و بهداشت شناسایی شدند (۲۹). عمده‌ترین علت تفاوت در نتایج مطالعه حاضر با مطالعه وزدانی مربوط جامعه پژوهش است، به طوری که مطالعه حاضر بر روی پالایشگاه گاز انجام گردید، در حالی که 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 پایبونی قادر به ترکیب علل و پیامد حوادث به صورت 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 ارائه 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 همه 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. از جمله 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 فاصله اندک از یکدیگر ممکن است اولویت‌بندی ریسک‌ها با مشکل مواجه شود (۳۰). در مقابل، روش پایبونی به عنوان یک رویکرد، هر دو عنصر پیشگیرانه و واکنشی را در نظر می‌گیرد و در عمل به عنوان روش

سودمندی برای پیشگیری، کنترل و کاهش وقوع حوادث به کار می‌رود (۱۷). این روش یک ابزار تجسمی نیرومند برای نمایش فعل و انفعالات 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 به صورت ترکیبی می‌توان ریسک فاکتورهای خطرناک و در نتیجه، رویداد اصلی را شناسایی کرد و به عبارتی می‌توان همه 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 به عنوان روش مناسبی برای انجام ارزیابی ریسک و شناسایی خطرات فرایندی در پالایشگاه‌های گاز باشد. بر اساس نتایج به دست آمده، فعالیت رهایش و آزادسازی گاز هیدروژن سولفید (H₂S) به عنوان رویداد اصلی و خطر نشتی و ترکیدگی مخزن به عنوان 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. در نهایت، برای انجام مطالعات مشابه در آینده به پژوهشگران توصیه می‌شود که از الگوهای با عدم قطعیت پایین‌تر مانند تئوری فازی یا شبکه بی‌زین استفاده کنند.

سپاس‌گزاری

مطالعه 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، بدین وسیله از همه 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, Kheyrkhan Z, Moshashaei P. [Risk

assessment and consequence modeling of BLEVE explosion wave phenomenon of LPG

- spherical tank in a refinery]. JHSW2016;6:10-24. (Persian)
- 2.Jafari MJ, Askarian AR, Omid 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.Hamidani N, Dashti S. [Risk assessment of oil reservoirs of amount arvand free zone area at the exploitation 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, Omid 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

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 Eng* 2015;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]. *JOHE* 2016;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)

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 A¹, Kazemi M¹, Jamshidzadeh N¹, 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 H₂S 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