Occupational Medicine Quarterly Journal
Vol. 17, No3, Autumn 2025
Pages: 11-25

فصلنامه علمی تخصصی طب کار
دوره ۱۷، شماره ۳، پائیز۱۴۰۴
صفحه: ۲۵-۱۱

طبقه‌بندی ریسک آتش‌سوزی و انفجار با استفاده از استاندارد MIL-STD-882E و تکنیک‌های PHL و PHA و تحلیل یک حادثه موردی

مینا شریفی‌پور[۱]، کتایون ورشوساز[۱]، ندا اورک[۱*]، محبوبه چراغی[۱]، فریدون لعل[۲]

چکیده

مقدمه: صنایع فرآیندی همواره با ریسک حوادث فاجعه‌باری از قبیل آتش‌سوزی و انفجار همراه بوده است. لذا چارچوبی تلفیقی برای شناسایی، تحلیل و طبقه‌بندی ریسک‌های آتش‌سوزی و انفجار با استفاده از فهرست و تحلیل مقدماتی خطر (PHL & PHA) به همراه استاندارد MIL-STD-882E ارائه شد.

روش بررسی: ابتدا تیم تحلیل تشکیل و توصیف سیستم انجام شد. سپس یک حادثه آتش‌سوزی واقعی در واحد HDPE پتروشیمی به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب و با داده‌های عملیاتی، مصاحبه با کارشناسان و مستندات فنی علل ریشه‌ای شناسایی گردید. با بهره‌گیری از جداول شدت و احتمال تکنیک‌های PHL و PHA و ماتریس ریسکMIL-STD-882E ، سطح ریسک برای هر سناریو تعیین و پیشنهادات اصلاحی ارائه شد.

نتایج: نتایج مطالعه نشان داد ۸ وضعیت مخاطره‌آمیز می‌تواند ریسک انفجار و آتش‌سوزی را در پی داشته باشد. انفجار راکتورها و حریق سانتریفیوژ در اولین سطح کنترلی مطالعه با درصد ۲۵ قرار گرفت که می‌تواند ناشی از نقص فنی در کنترل ولوها TICI4 باشد که دارای سطح ریسک ۱ D بود و مطابق با ماتریس سطح جدی به خود اختصاص داد. آماده‌سازی لیستPSV ها و چک دوره¬ای آن¬ها می‌تواند سطح ریسک را تا حد قابل قبولی کاهش دهد. همچنین پیامدهای احتمالی غالباً ناشی از ضعف در ایزوله‌سازی، نقص در مجوزهای کار و سهل‌انگاری‌های انسانی هستند.

نتیجه‌گیری: اقدامات کنترلی و پیشگیرانه متناسب با سطح ریسک ارائه شد. یافته‌ها نشان می‌دهد ترکیب PHA و PHL با چارچوب طبقه‌بندی ریسک استاندارد می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری‌های ایمنی و کاهش خطرات در صنایع پر ریسک کمک کند.

واژه‌های کلیدی: استاندارد MIL-STD-882E ، تحلیل حادثه، ریسک، پتروشیمی، تحلیل مقدماتی خطر(PHA)

[۱]گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه ازاد اسلامی، اهواز،ایران
[۲]گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند، بیرجند، ایران
*نویسنده مسئول:. تلفن تماس: ۰۸۳۶ ۱۱۰ ۱۶۳ ۹۸۹۱+، پست الکترونیک: nedaorak@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۱۴

CC BY- NC 4.0

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: 10.18502/tkj.v17i3.20026]

مقدمه

آتش‌سوزی و انفجار از مهم‌ترین حوادث با ریسک بالا در صنایع فرایندی مانند پالایشگاه‌ها، واحدهای پتروشیمی، صنایع نظامی و انبارهای نگهداری مواد قابل اشتعال محسوب می‌شوند. این حوادث نه‌تنها خسارات مالی و جانی سنگینی بر جای می‌گذارند، بلکه موجب اختلالات عملیاتی، کاهش اعتماد عمومی و بروز پیامدهای زیست‌محیطی جبران‌ناپذیر نیز می‌گردند(۱). صنایع پتروشیمی جزء حیاتی صنایع کلیدی نفت و گاز محسوب می‌شوند و فعالیت‌های آن‌ها با خطرات قابل‌توجهی همراه است که می‌تواند در صورت عدم اجرای صحیح و مناسب کنترل‌های ایمنی منجر به حوادث فاجعه‌آمیز شود(۲-۴). نشت مواد سمی و خطرناک در صنایع فرآیندی و شیمیایی نیز همواره یکی از عوامل تهدیدکننده افراد شاغل و ساکنین اطراف این صنایع و همچنین آسیب به محیط زیست بوده است(۵). حوادث، ایجادکننده هزینه‌های متعددی در صنایع هستند. بر اساس مطالعه‌ای در بریتانیا در سال ۲۰۰۱ نتایج نشان داد که بیش از ۴ برابر هزینه‌های مشهود، به راحتی قابل‌محاسبه نیستند. بنابراین هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی ناشی از حوادث بسیار بالا خواهد بود(۶). بر این اساس، مدیریت کارآمد ریسک‌های ایمنی در این حوزه‌ها، نیازمند شناسایی، تحلیل و طبقه‌بندی دقیق خطرات به‌ویژه در مراحل آغازین طراحی و همچنین در طول بهره‌برداری است(۷).

یکی از نخستین گام‌های حیاتی در مدیریت ریسک، شناسایی اولیه خطرات بالقوه است. در این راستا، ابزارهایی چون فهرست مقدماتی خطر (PHL) و تحلیل مقدماتی خطر (PHA) به‌عنوان رویکردهایی ساده اما مؤثر در مراحل اولیه پروژه یا برای بازنگری ایمنی پس از حوادث، شناخته می‌شوند. تکنیک PHL با هدف شناسایی همه خطرات احتمالی بالقوه، پیش از طراحی کامل سیستم مورداستفاده قرار می‌گیرد، درحالی‌که روش PHAبا تمرکز بر پیامدها و شرایط وقوع هر خطر، به تحلیل مقدماتی سناریوهای خطر کمک می‌کند(۸،۹). این ابزارها معمولاً برای ایجاد آگاهی اولیه در مورد سطح مخاطرات موجود و تعریف اقدامات کنترلی اولیه مورداستفاده قرار می‌گیرند(۱۰).

بااین‌حال، برای تصمیم‌گیری دقیق‌تر در مورد اولویت اقدامات ایمنی، صرفاً شناسایی کیفی خطرات کافی نیست، بلکه لازم است ریسک‌ها بر اساس احتمال وقوع و شدت پیامد به‌صورت ساختاریافته و قابل مقایسه طبقه‌بندی شوند. در این زمینه، استاندارد-MIL-STD 882Eبه‌عنوان یک راهنمای معتبر و پرکاربرد در صنایع نظامی و صنایع با ریسک بالا، چارچوبی استاندارد و اثربخش برای تحلیل و مدیریت ریسک ارائه می‌کند. این استاندارد با بهره‌گیری از یک ماتریس شدت-احتمال، امکان دسته‌بندی کمی،کیفی ریسک‌ها را فراهم ساخته و می‌تواند به‌عنوان مکملی برای تکنیک‌های شناسایی اولیه مانند PHA و PHL عمل کند(۱۱،۱۲). استاندارد MIL-STD-882E با طبقه‌بندی شفاف و ساختار سلسله‌مراتبی، شناسایی و ارزیابی خطرات را به‌صورت نظام‌مند امکان‌پذیر می‌سازد و نسبت به ماتریس‌های عمومی، قضاوت کارشناسی دقیق‌تر، تصمیم‌گیری ایمنی مؤثرتر و کاهش احتمال وقوع حوادث در صنایع پر ریسک را فراهم می‌کند.

در مطالعه حاضر، یک حادثه واقعی آتش‌سوزی و انفجار در یکی از واحدهای صنعتی به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. تحلیل حوادث در صنایع فرآیندی و پتروشیمی اهمیت ویژه‌ای دارد چرا که این صنایع با خطرات قابل‌توجهی از جمله انفجارها، آتش‌سوزی‌ها، نشت مواد شیمیایی و حتی آسیب‌های انسانی مواجه هستند. این خطرات می‌توانند نه تنها به تجهیزات و تأسیسات آسیب وارد کنند بلکه بر ایمنی کارکنان و حتی محیط زیست نیز تأثیرگذار باشند. به همین دلیل تحلیل دقیق حوادث گذشته به شناسایی علل اصلی و نقاط ضعف در فرآیندها، طراحی‌ها و عملیات کمک می‌کند و می‌تواند از وقوع حوادث مشابه در آینده جلوگیری کند(۱۳،۱۴). علاوه بر پیشگیری از حوادث، تحلیل‌ها به بهبود مستمر در سیستم‌های ایمنی و فرآیندهای عملیاتی کمک می‌کنند. با تحلیل حوادث،

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: 10.18502/tkj.v17i3.20026]
CC BY- NC 4.0

امکان شناسایی خطرات پنهان و ارزیابی ریسک‌ها فراهم می‌آید. همچنین این تحلیل‌ها می‌توانند در بهینه‌سازی پروسه‌ها و کاهش هزینه‌های ناشی از آسیب‌ها و توقف تولید مؤثر باشند. با توجه به پیچیدگی و حساسیت فرآیندهای پتروشیمی، هر گونه نقص یا خطا در طراحی یا عملیات می‌تواند عواقب جدی داشته باشد، بنابراین تحلیل و پیشگیری از این موارد از اهمیت بالایی برخوردار است(۱۴).

با توجه به کمبود مطالعات موردی بومی که به‌صورت جامع از ترکیب تکنیک‌های شناسایی خطر اولیه با چارچوب‌های استاندارد بین‌المللی برای طبقه‌بندی ریسک استفاده کرده باشند، نیاز به انجام پژوهش‌هایی از این جنس به‌شدت احساس می‌شود. به‌ویژه در صنایعی مانند پتروشیمی یا صنایع پرخطر مشابه، که تحلیل ریسک جامع اغلب به دلایل زمانی یا منابع محدود به مراحل بعدی موکول می‌شود، استفاده از رویکردهای سبک‌تر ولی اثربخش همچون PHL و PHA همراه با طبقه‌بندی مبتنی بر MIL-STD-882E می‌تواند نقشی کلیدی در کاهش خطرات ایفا کند(۱۵،۱۶). بنابراین ابتدا با استفاده از روش‌های PHL و PHA خطرات شناسایی و تحلیل می‌شوند، سپس با بهره‌گیری از ماتریس شدت– احتمال MIL-STD-882E، سطح ریسک هر خطر تعیین شده و طبقه‌بندی نهایی انجام می‌گیرد. هرچند روش‌های PHA و PHL به طور معمول پیش از وقوع حادثه و به‌منظور شناسایی سناریوهای بالقوه به‌کار می‌روند، اما استفاده تکمیلی از آن‌ها پس از وقوع حادثه نیز می‌تواند ارزشمند باشد؛ زیرا با بازبینی ریسک‌ها و آشکارسازی ضعف‌های سیستم، از تکرار حوادث مشابه جلوگیری خواهد شد، سپس با بهره‌گیری از ماتریس شدت احتمال MIL-STD-882E، سطح ریسک هر خطر تعیین شده و طبقه‌بندی نهایی انجام می‌گیرد. هدف این پژوهش، ارائه چارچوبی کاربردی و تلفیقی برای شناسایی، تحلیل و طبقه‌بندی ریسک در سناریوهای مشابه است تا به تصمیم‌گیرندگان در طراحی اقدامات کنترلی اثربخش یاری رساند و از وقوع مجدد حوادث مشابه جلوگیری شود.

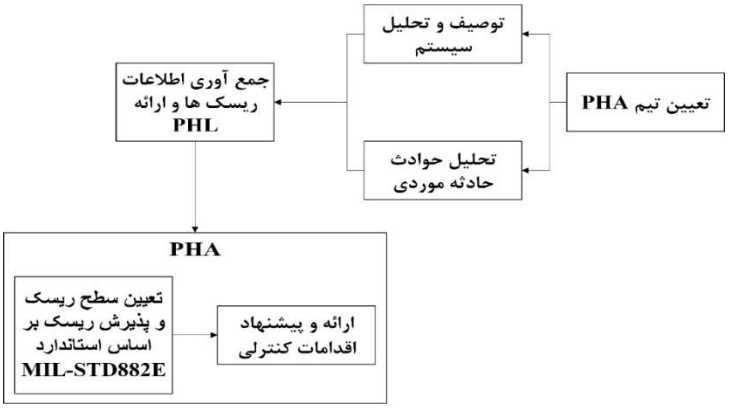
روش بررسی

در این پژوهش، برای تحلیل و طبقه‌بندی ریسک‌های ناشی از یک حادثه آتش‌سوزی و انفجار، از ترکیب دو تکنیک شناسایی خطر شامل فهرست مقدماتی خطر (PHL)و تحلیل مقدماتی خطر (PHA) به‌همراه چارچوب طبقه‌بندی ریسک استاندارد-MIL-STD 882E استفاده شد. شکل ۱ فلوچارت کلی مطالعه حاضر را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۱ در نخستین گام، تیم تحلیل متشکل از کارشناسان ایمنی، مهندسین فرآیند، اپراتورها، ناظران تعمیرات و مدیران بهره‌برداری واحد مورد بررسی تشکیل شد. انتخاب اعضای تیم بر اساس تجربه عملیاتی، دانش فرآیندی و آشنایی با حوادث گذشته صورت گرفت تا تضمین‌کننده پوشش کامل خطرات باشد. در مرحله بعد، سیستم یا فرآیند مورد بررسی به‌صورت کامل توصیف گردید. این توصیف شامل : فرآیندهای عملیاتی و مواد درگیر تجهیزات کلیدی (راکتورها، مخازن، پمپ‌ها و...) شرایط کاری (دما، فشار، جریان و...) نمودارهای PFD وP&ID بود. هدف این مرحله، ایجاد یک درک کامل از ساختار و عملکرد سیستم برای تحلیل مؤثر خطرات بود. همچنین یک حادثه واقعی آتش‌سوزی و انفجار که پیش‌تر در همان سیستم رخ داده بود، به‌عنوان مطالعه موردی انتخاب و به‌صورت دقیق تحلیل شد. مراحل تحلیل شامل :بازسازی حادثه، شناسایی رویداد آغازگر، تشخیص علل اصلی و ریشه‌ای، استخراج داده‌های مستند از گزارش‌های ایمنی و فنی بود. در گام بعدی، بر اساس داده‌های عملیاتی، تجربیات پیشین، و تحلیل حادثه، خطرات بالقوه بر اساس PHL شناسایی و فهرست شدند.

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: 10.18502/tkj.v17i3.20026]

CC BY- NC 4.0



شکل ۱. فلوچارت مطالعه

ارائه تحلیل مقدماتی خطر (PHA) و تعیین سطح ریسک آخرین گام مطالعه بود. در این مرحله، برای هر خطر شناسایی‌شده، ارزیابی ریسک با استفاده از استاندارد MIL-STD-882Eانجام شد. برای این منظور شدت پیامدها بر اساس جدول شدت MIL-STD-882E طبقه‌بندی شد (از Catastrophic تاNegligible) (جدول ۱) (۱۱،۱۷).

احتمال وقوع خطرات نیز با توجه به داده‌های تاریخی و نظر کارشناسی تعیین شد (از Frequent تا Eliminated) (جدول ۲). سپس سطح ریسک با استفاده از ماتریس شدت–احتمال محاسبه گردید و در چهار سطح (High, Serious, Medium, Low) طبقه‌بندی شد (جدول ۳) و بر اساس سطح ریسک، پذیرش یا عدم پذیرش خطر تعیین شد(۱۱،۱۷).

ارائه پیشنهادات کنترلی و اقدامات اصلاحی در پایان، برای خطراتی که سطح ریسک آن‌ها غیرقابل‌پذیرش(سطح بالا(high) یا جدی(serious)) تشخیص داده شد، اقدامات کنترلی مناسب شامل اقدامات مهندسی، مدیریتی، آموزشی و نظارتی پیشنهاد گردید. هدف این اقدامات کاهش احتمال یا شدت خطرات و رساندن آن‌ها به سطح قابل‌قبول بود(۱۱،۱۷). مطابق جدول ۳ برای ریسک‌های در محدوده قرمز و نارنجی اقدامات فوری پیشنهاد شد. رنگ زرد محدوده احتیاط و رنگ‌های آبی و سبز نیز نیازمند مداخلات چندانی نبود.

جدول ۱. طبقه‌بندی شدت خطر بر اساس استاندارد Mil-STD882E

سطح شدت	طبقه	توضیح	مثال
Catastrophic(فاجعه‌بار)	۱	تلفات گسترده، تخریب کامل سیستم، خسارات سنگین	انفجار کامل راکتور
Critical(بحرانی)	۲	آسیب شدید، جراحت جدی، توقف طولانی عملیات	آتش‌سوزی بزرگ در واحد
Marginal(متوسط)	۳	آسیب جزئی، اختلال موقت، خسارت قابل ترمیم	نشتی گاز محدود
Negligible(ناچیز)	۴	بی‌تأثیر یا تأثیر بسیار جزئی	افزایش دما بدون خطر

جدول ۲. طبقه‌بندی احتمال خطر بر اساس استاندارد Mil-STD882E

احتمال	سطح	توضیح	فراوانی تقریبی
مکرر(Frequent)	A	احتمال زیاد در بازه زمانی کوتاه	چند بار در سال
محتمل(Probable)	B	انتظار وقوع در طول عمر سیستم	یک بار در سال
گاه به گاه(Occational)	C	احتمال وجود دارد اما نامشخص	یک بار در چند سال
نادر(Remote)	D	وقوع به‌ندرت	یک بار در طول عمر سیستم
بعید(Impeobable)	E	وقوع بسیار بعید	تنها در شرایط خاص
حذف شده(Eliminated)	F	خطر حذف شده است	غیرممکن

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: 10.18502/tkj.v17i3.20026]

CC BY- NC 4.0

جدول ۳. ماتریس ریسک بر اساس استاندارد Mil-STD882E

شدت / احتمال	1	2	3	4
A	1A	2A	3A	4A
B	1B	2B	3B	4B
C	1C	2C	3C	4C
D	1D	2D	3D	4D
E	1E	2E	3E	4E
F	1F	2F	3F	4F

نتایج

مطالعه موردی

شرکت پتروشیمی مورد مطالعه شامل سایت‌های متعددی از قبیل ،HDPE، LDPE[53] پلی فنل، آلکن، EO/EG54 و ... است و برای تولید سالیانه ۳۰۰۰۰۰ تن واحد پلی اتیلن سنگین(High-Density Polyethylene) طراحی شده است. در این مطالعه پس از تشکیل تیم و دریافت اطلاعات از مسیرهای مختلف مطابق روش کار تحلیل انجام شد. ابتدا حوادث قبلی من‌جمله حادثه موردی زیر مورد تحلیل قرار گرفت. شکل ۲ نقشه عملیاتی واحد حادثه‌دیده (آتش‌سوزی) موردی را نشان می‌دهد که گزارش و تحلیل آن به صورت زیر است.

در ساعت ۱۵:۳۰، در پی نشت هگزان و ایجاد حریق در ناحیه ۰۴ واحد HDPE، نیروهای آتش‌نشانی مستقر در واحد به صورت استندبای بلافاصله عملیات کولینگ تجهیزات را آغاز کردند. همزمان، سایر نیروهای ایمنی و آتش‌نشانی به همراه آمبولانس به محل حادثه اعزام شدند. مصدوم حادثه به اورژانس منتقل شد و با انجام اقدامات کنترلی شامل کولینگ تجهیزات، حریق تحت کنترل قرار گرفت. در ادامه، با کاهش فشار رآکتور و بستن ولوهای مربوطه توسط پرسنل بهره‌برداری، جریان سوخت قطع شد و حریق پس از حدود ۲۰ دقیقه به طور کامل اطفاء گردید.

این حادثه در اثر نشت هگزان از فلنج اتصال خط ۱ اینچ ازت به خط ۱۲ اینچ حاوی هگزان و اشتعال بخارات آن رخ داد. پیش از وقوع حادثه، نفر تعمیرات به همراه نفر بهره‌برداری، پس از جدا کردن ولو ۱ اینچ از محل اتصال به خط ۱۲ اینچ، اقدام به رفع گرفتگی مسیر با استفاده از یک میله برنجی کردند. با باز شدن مسیر، هگزان نشت کرده و بخارات آن در محیط منتشر شد و در فاصله زمانی کوتاهی با برخورد به یک منبع احتمالی جرقه به احتمال زیاد جرثقیل مستقر در نزدیکی محل حادثه مشتعل گردید.

لازم به ذکر است که هنگام نشت هگزان، کلیه نفرات مستقر در محل به سرعت منطقه را ترک کردند. مصدوم پس از انجام معاینات اولیه بلافاصله به بیمارستان شهرک بعثت منتقل شد و پس از درمان اولیه، به بیمارستان طالقانی اهواز اعزام گردید. سپس با هماهنگی‌های لازم، توسط آمبولانس هوایی و تیم پزشکی همراه، به بیمارستان سوانح سوختگی چمران تهران منتقل شد. متأسفانه، شخص مصدوم پس از یازده روز بستری، بر اثر عوارض ناشی از سوختگی فوت کرد.

با توجه به انجام مقدمات عملیات Hot Cooking، خط خروجی رآکتور R-102150 حاوی هگزان بوده است. جدا بودن ولو روی خط ۱ اینچ ازت از محل فلنج خروجی (در واقع با جدا شدن فلنج مذکور عملاً این ولو از مسیر جدا گردید. OPEN بودن ولو A) (VHC125 روی مسیر ۱۲ اینچ (۱۲-PES01-104008) خروجی پمپ P-B1021- (حاوی هگزان). نشت شدید هگزان از محل فلنج خط ۱ اینچ ازت به خط ۱۲ اینچ خروجی پمپ. فشار خط مذکور در لحظه نشتی حدود ۳ بار و دما ۳۲ درجه سانتیگراد بوده است. آتش‌سوزی در ناحیه مذکور که ارتفاع شعله با توجه به نشتی شدید و همچنین آتش گرفتن تخته‌های داربست تا طبقه سوم سازه ۰۴ کشیده شد. آتش گرفتن کابین جرثقیل ۳۵ تن شرکت جرثقیل جنوب که در مجاورت محل آتش‌سوزی مستقر بود. آتش

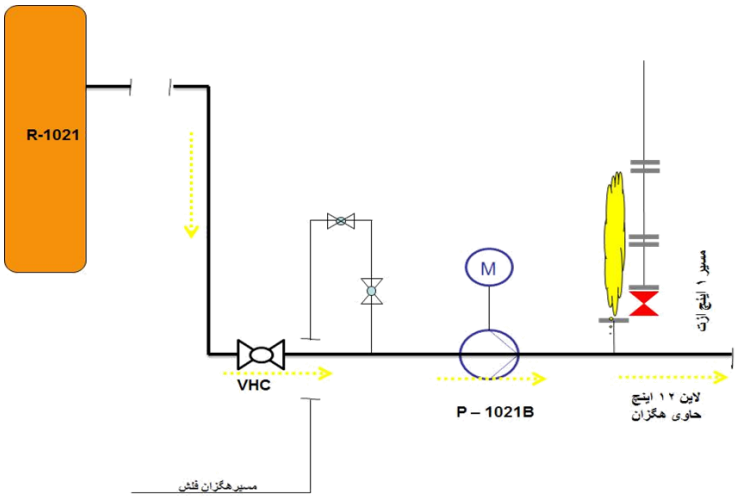
[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: 10.18502/tkj.v17i3.20026]

CC BY- NC 4.0

گرفتن تخته‌های داربست در اطراف outer cooler های ناحیه ۰۴. برای انجام کار رفع گرفتگی از مسیر ازت پرمیت به شماره ۱۳۴۴۰۴ صادر گردیده بود. محل دقیق کار در پرمیت شرح داده نشده بود در واقع به‌صورت کلی بیان شده بود (اینکه رفع گرفتگی از محل کدام تجهیز صورت پذیرد). آیتم‌های ۱ و ۲ پرمیت (بازرسی‌ها) مبنی بر بازدید از دستگاه‌ها، تخلیه و شستشو تجهیزات و همچنین جدا نمودن و مسدود کردن ورودی‌ها و خروجی‌ها، علامت بلی خورده بود. در قسمت پیش‌بینی‌های در نظر گرفته شده هیچکدام از آیتم‌های مربوطه علامت نخورده‌اند از جمله قطع جریان بالادستی / مسدود کردن، تخلیه /vent ، شستشو تعداد پرمیت‌های صادرشده در شیفت عصر ۹ عدد پرمیت کار بوده که همه آن‌ها کار سرد بودند.

ایزوله نکردن مسیر ۱۲ اینچ حاوی هگزان توسط بهره‌برداری (ولو روی این مسیر باز بوده است هگزان کاملاً در مسیر جریان داشته است) لازم به ذکر است در مجوز کار در مقابل گزینه مربوط به جدا کردن و مسدود نمودن ورودی‌ها و خروجی‌ها گزینه بلی تیک خورده است و مفهوم آن این می‌باشد که ولوها کاملاً بسته و مسدود می‌باشد که زمان وقوع حادثه اینگونه نبود. نشت شدید هگزان به دلیل باز کردن اتصالات فلنج و جدا نمودن ولو ۱ اینچ روی خط ازت متصل به لاین ۱۲ اینچ حاوی هگزان، در حالیکه اگر ولو مذکور از محل فلنج باز نمی‌گردید در صورت نشت، سریعاً ولو مذکور توسط بهره‌بردار بسته می‌شد. لازم به ذکر است نشت زمانی اتفاق می‌افتد که نفر تعمیرات پس از جدا نمودن ولو مذکور اقدام به عملیات رفع گرفتگی توسط یک میله (برنجی) می‌نماید در واقع پس از چند بار سیخ زدن مسیر باز و هگزان با فشار از لاین ۱ اینچ خارج می‌گردد. برخورد بخارات هگزان با یک منبع احتمالی جرقه و نهایتاً انفجار و اشتعال. این منبع ایجاد جرقه یا حرارت، احتمالاً جرثقیل مستقر در آن ناحیه بوده است. سوختن کابین جرثقیل ۳۵ تن شرکت جرثقیل جنوب که در مجاورت محل حادثه مستقر بوده و سوختن مقداری از کابل‌های برق و ابزار دقیق مربوط به تجهیزات سایت و فوت کارگر از پیامدهای این حادثه بوده است. شکل ۴-۳ نقشه عملیاتی این حادثه موردی را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نقشه عملیاتی حادثه موردی

پس از بررسی مستندات، شناسایی و ارزیابی ریسک انجام شد. بنابراین با هدف درک فراگیر وضعیت‌های مختلف واحد فرآیندی تحت مطالعه و برای تعیین و شناسایی خطرات و ایجاد یک بینش گسترده و تعیین سطح ریسک خطرات احتمالی، از چک‌لیست PHL(Preliminary Hazard List) استفاده شد. نتایج این

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: 10.18502/tkj.v17i3.20026]

CC BY- NC 4.0

قسمت در جداول ۴ و ۵ آمده است. جدول ۵ ارزیابی حریق و آتش‌سوزی HDPE را نشان می‌دهد.

جدول ۴. چک‌لیست خطرات پایه یا اولیه واحد HDPE

چک‌لیست PHL خطرات اولیه و متداول (واحد HDPE)				
ردیف	علل و منشأ عناصر مخاطره‌آمیز		وجود دارد؟	ملاحظات
			بلی / خیر	
۱	طبیعت دستگاه‌ها		*	
۲	مواد اولیه		*	
۳	خط لوله خوراک الفینی		*	
۴	عوامل محیطی		*	
۵	حمله خارجی		*	
۶	عوامل انسانی	سهل‌انگاری فنی	*	عدم دقت در کنترل فشار و زدن **PSV** به محیط
		خطای انسانی در تعمیرات	*	خطای انسانی در تعمیرات و ورود هگزان به کانال‌ها
		سهل‌انگاری در کنترل**PH**	*	
		ورود بدون مجوز	*	
		عدم پیروی از دستورالعمل‌ها	*	
		سهل‌انگاری در انتقال	*	چک دوره‌ای تمسه ها و عدم استفاده از جک‌های تعادل
		سهل‌انگاری در نمونه‌گیری	*	
۷	نقص فنی	نقص فنی به دلیل تغییرات	*	مسمومیت تنفسی در اثر استنشاق پودر
		نقص فنی در **PH meter**	*	
		نقص فنی در پمپ‌های مرتبط	*	**P-1013**
		نقص در واحد فرآیند ولوها	*	
		نقص در واحد فرآیند ابزار دقیق	*	
		نقص در اتصالات مسیر	*	
		نقص در چین بلاک‌ها	*	
		نقص فنی در تجهیزات نمونه‌گیری	*	
		نقص در گسکت ها	*	
		نقص فنی در **PSV**	*	
۸	زباله‌های خطرناک		*	
۹	نشت‌های مخاطره‌آمیز	نشت **HCI** به محیط ترکیبات کلردار و تولید	*	واکنش با آب
		نشتی در ولو	*	

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: 10.18502/tkj.v17i3.20026]

CC BY- NC 4.0

		نشت از **Sealing**های سانتریفیوژ	*	
		نشت و ریزش هگزان به **collecting pit**	*	
		نشت از اتصالات و کف تانک‌ها	*	
		نشت از اتصالات سیلندر	*	
		نشت از اسلاید ولو	*	
۱۰	عدم دسترسی	مسیر مناسب جهت تعمیرات و **PM**	*	
		عدم وجود جایگاه مناسب	*	
		عدم دسترسی به ابزار فنی بروز	*	
		عدم دسترسی به امکانات ایمنی	*	
۱۱	مخاطرات پتانسیل	عدم وجود دسترسی	*	
۱۲	عدم کامل بودن عایق	عدم توانمندی	*	در قسمت‌هایی که امکان عایق کاری وجود ندارد.
۱۳	صدا		*	عادی شدن صدا برای نفرات و آلودگی صوتی، طبیعت دستگاه
۱۴	ارتعاش		*	خروج از حالت بالانس
۱۵	آلودگی		*	
۱۶	نقص در گازسنج ها		*	
۱۷	گازهای سمی		*	وجود هگزان در سیال خروجی
۱۸	تجهیزات		*	
۱۹	مواد قابل اشتعال		*	
۲۰	حرارت و دما		*	
۲۱	طبیعت کار		*	
۲۲	شارژ		*	شارژ درام در هنگام کاتالیست سازی
۲۳	نقص بدنه		*	
۲۴	سیال داغ		*	
۲۵	تغییرات نقص فنی به دلیل تغییرات در ترکیبات محیطی		*	تغییر در اندازه کپسول **TICI4**، مسمومیت تنفسی
۲۶	قطع شدن واحد فرآیند **Nitrogen blanket**		*	
۲۷	تابش		*	
۲۸	عناصر عملیاتی		*	
۲۹	الکتریسیته و منبع انرژی		*	
۳۰	حرارت و دما		*	
۳۱	رطوبت		*	

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: 10.18502/tkj.v17i3.20026]

CC BY- NC 4.0

۳۲	مواد سمی	*	
۳۳	مواد قابل اشتعال ترکیبات	*	

جدول ۵. ارزیابی حریق و آتش‌سوزی HDPE

نام دستگاه	خطر	پیامد	علت	توضیحات
۱۰۱۱-R۵۰ (Catalyst reactor preparation)	مخاطرات پتانسیل فشار بالا ناشی از واکنش مواد راکتور	انفجار	نقص فنی در کنترل ولوهای ۴TiCl خطای انسانی (سهل‌انگاری)	خسارت مالی
۱۰۱۷-D۵۰ (Activator calibration)	مواد قابل اشتعال	آتش‌سوزی	نقص فنی در پمپ‌های مرتبط (p-۱۰۱۳)	سوختگی فرد
۱۰۲۲-R۵۰ (۲ Reactor) & ۱۰۲۳-R۵۰ (Reactor Peat)	مواد قال اشتعال هیدروژنی	آتش‌سوزی	خطای انسانی نقص فنی در گسکت ها	سوختگی فرد
۱۰۲۹-D۵۰	مواد قابل اشتعال	آتش‌سوزی	خطای انسانی در هنگام آماده‌سازی برای تعمیرات ورود هگزان به کانال‌ها	خسارت مالی
C،B،A۲۰۱۱-CE۵۰ (centrifuge Decanter)	مواد قابل اشتعال	آتش‌سوزی	نشست از های‌sealing سانتیفیوژ	خسارت مالی
C،B،A۲۰۱۱-SC۵۰ (screw conveyor)	مواد قابل اشتعال	آتش‌سوزی	ترکیدن فلکسیبل و نشت از اسلاید ولو	خسارت جانی و مالی
P۵۰-&۲۰۱۱-D۵۰ ۲۰۱۱	مواد قابل اشتعال (هنگام نمونه‌گیری مواد	آتش‌سوزی	خطای انسانی	خسارت جانی و مالی

بنابراین خطرات با استفاده از اطلاعات حاصل از چک‌لیستهای فوق شناسایی و رتبه‌بندی شده و با حذف اطلاعات اضافی، در ابزارهای تحلیلگر وارد می‌گردند. در واقع، این اطلاعات از چک‌لیست‌های فوق به اسناد و جداول PHL منتقل می‌گردند تا بتوان به کمک آن‌ها تجزیه‌وتحلیل بهتر و جامع‌تری ارائه داد. در لیست مقدماتی خطر ارائه‌شده در جدول ۶ ارزیابی ریسک به روش PHA و در نظر گرفتن وضعیت مخاطره‌آمیز، علت، اثرات، سطح ریسک و توضیحات مربوطه ارائه‌شده است. پس از تعیین سطوح و شدت و احتمال وقوع آن‌ها، قواعد لازم و ملاحظات مربوطه نیز برای هر مسیر و وضعیت تشریح شد.

بر اساس درجه اهمیت و اولویت‌بندی، از میان خطرهای پیش‌بینی‌شده از اسناد و چک‌لیست مقدماتی خطر، نشت هگزان، انفجار راکتورها و سیلوها و آتش‌سوزی در دستگاه‌ها، پمپ‌ها و سایر مخازن به دلیل گسترده ایجاد خسارت، پیامدهای ناشی از آن و همچنین تأثیر آن بر عملکرد سایر تجهیزات موجود در واحد فرآیند به‌عنوان سناریوهای اصلی در نظر گرفته شد.

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: 10.18502/tkj.v17i3.20026]

CC BY- NC 4.0

جدول ۶. تحلیل مقدماتی خطر نهایی واحد HDPE

لیست مقدماتی خطر واحد HDPE

ردیف	وضعیت مخاطره‌آمیز	علت	اثرات	سطح	توضیح
۱	انفجار راکتورها	نقص فنی در کنترل ولوها **TICI4**	فشار بالا ناشی از واکنش مواد راکتور	D۱	آماده‌سازی لیست PSVها و چک دوره‌ای آن‌ها
۲	حریق	نقص فنی در یمیهای مرتبط	مواد قابل اشتعال در ۱۰۱۷-D۵۰	E۲	انجام چک دوره‌ای تجهیزات
۳	کردن شیرهای ایمنی واحد	نقص ساختاری	انتشار گاز هگران مسمومیت	D۳	بازدیدهای دوره‌ای تعمیرات و بازرس فنی
۴	فقدان هوای تنفسی	ی از انفجار و نشت زیاد از تجهیزات	مسمومیت و خفگی افراد	D۴	استفاده از تجهیزات ایمنی
۵	حریق سانتریفیوز ۲۰۱۱-C۵۰	نشت از **Sealing**	مواد قابل اشتعال	D۱	بهینه‌سازی تناوب دوره‌ای نگهداری و تعمیرات دوره‌ای
۶	نشت درام ها و لوله ها	نشت هگزان	مواد قابل اشتعال	D۲	استفاده از Gas Analyzer Detector Gas
۷	نش‌سوزی در راکتور ۱ و ۲ و تکمیلی	ص یا نشتی در ولو نمونه‌گیری خطای انسانی	مواد قابل اشتعال مسمومیت و خفگی	D۳	تهیه دستور العمل نمونه‌گیری
۸	حریق	افزایش سطح هگزان مایع	انتشار گاز هگزان در Tower Cooling	D۴	بازدیدهای دوره‌ای بازرس فنی

با توجه به نتایج، ۸ وضعیت مخاطره‌آمیز در نظر گرفته شد که می‌تواند ریسک انفجار و آتش‌سوزی را در پی داشته باشد. . انفجار راکتورها، حریق سانتریفیوز در اولین اولویت کنترل قرار گفت. مطابق نتایج ۲۵ درصد ریسک‌ها در سطح 1D و 2Dبودند. انفجار راکتورها می‌تواند ناشی از نقص فنی در کنترل ولوهاTICI4 باشد که دارای اثرات فشار بالا ناشی از واکنش مواد راکتور و سطح ریسک 1D خواهد بود که مطابق با ماتریس ریسک سطح جدی به خود اختصاص می‌دهد. بنابراین آماده‌سازی لیست PSVها و چک دوره‌ای آن‌ها می‌تواند سطح ریسک را تا حد قابل قبولی و پذیرش ریسک کاهش دهد.

بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از رویکرد تلفیقی PHL و PHA همراه با طبقه‌بندی استاندارد MIL-STD-882Eمی‌تواند به‌عنوان یک ابزار اثربخش برای شناسایی و مدیریت خطرات آتش‌سوزی و انفجار در صنایع فرآیندی مورداستفاده قرار گیرد. در تحلیل موردی انجام‌شده بر روی واحدHDPE ، مجموعه‌ای از خطرات با احتمال و شدت متنوع شناسایی شد که برخی از آن‌ها در طبقه‌بندی ریسک، در سطوح بالا (High) و جدی (Serious)قرار گرفتند. به‌طور خاص، خطر انفجار در راکتورها به دلیل نقص در کنترل ولوهای TICI4 و همچنین نشت‌های هگزان از خطوط فرآیندی، به‌عنوان سناریوهای با سطح ریسک D ۱ و D ۲ طبقه‌بندی شدند که نیازمند اقدام اصلاحی فوری هستند. از جمله نکات مهمی که در فرآیند تحلیل مورد توجه قرار گرفت، ضعف در مدیریت مجوزهای کار (Permit to Work) و ایزوله‌سازی ناکامل تجهیزات قبل از شروع عملیات بود. علاوه بر این، یافته‌ها نشان می‌دهد که ترکیب رویکردهای PHL و PHA در مراحل اولیه طراحی و بهره‌برداری می‌تواند به کاهش چشمگیر عدم قطعیت‌ها در شناسایی خطر کمک کند. این موضوع به‌ویژه در واحدهای

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-22]
[DOI: 10.18502/tkj.v17i3.20026]
CC BY- NC 4.0

پتروشیمی که با حجم بالای مواد قابل اشتعال مانند هگزان و شرایط عملیاتی حساس سروکار دارند، اهمیت مضاعف دارد.

در مطالعه Cheng و همکاران ۳۴۹ مورد از حوادث عمده شغلی در صنعت پتروشیمی در تایوان بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ جمع‌آوری و تحلیل شد. نتایج این مطالعه نشان داد که برای تجهیزات مانند لوله‌ها و شیرهای کنترل، تدوین برنامه‌های ایمنی و حفاظتی با کیفیت بالا، تعمیر و نوسازی، و طراحی مناسب خطوط لوله می‌تواند به طور مؤثر از وقوع حوادثی مانند آتش‌سوزی، انفجار، و مسمومیت ناشی از نشت مواد جلوگیری کند (۱۴). علاوه بر این، اجرای اقدامات مدیریت ایمنی، مانند آموزش‌های ایمنی برای کارکنان، و اجرای استانداردهای بازرسی، عملیات، و ارزیابی ریسک، نقش مهمی در پیشگیری از حوادث دارد. این مطالعه پیشنهاد می‌کند که برای شرایط غیرعادی، مانند ترک خوردن یا آسیب دیدن لوله‌ها و زنگ‌زدگی، باید از داغ شدن زیاد ناشی از نشت مواد به لایه محافظ داخلی لوله جلوگیری شود. همچنین، باید از تداخل لوله‌ها و زنگ‌زدگی ناشی از تماس لوله‌ها با یکدیگر جلوگیری و اقدامات نگهداری و تعمیر انجام شود تا ایمنی محیط کار تضمین گردد. این تدابیر می‌تواند ریسک آسیب‌های کاری و تبعات اجتماعی آن‌ها را کاهش دهد (۱۴). وقایعی که در صنعت پتروشیمی رخ می‌دهد اغلب منجر به مسائل اجتماعی جدی می‌شوند. در پس هر حادثه شغلی، مشکلات مدیریت ایمنی وجود دارد که نیاز به بررسی دارند.

همچنین، نتایج به‌خوبی نشان داد که بهره‌گیری از جدول شدت، جدول احتمال و ماتریس ریسک استاندارد MIL-STD-882E، امکان طبقه‌بندی واضح و ساختاریافته خطرات را فراهم می‌آورد. این طبقه‌بندی به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا با در نظر گرفتن منابع محدود (مالی، زمانی، نیروی انسانی)، اولویت‌های واقعی را شناسایی کرده و اقدامات کنترلی را به‌صورت هدفمند طراحی کنند. این ویژگی به‌ویژه در محیط‌های صنعتی با تعداد زیاد خطرات بالقوه بسیار حیاتی است .مدل تحلیل حادثه در این پژوهش، از رویکردی سیستماتیک بهره گرفت که با در نظر گرفتن عوامل فنی، انسانی و مدیریتی، مشابه با مدل پنیر سوئیسی Reason عمل کرد(۱۶). مدل پنیر سوئیسی ریزن نیز عوامل ایجادکننده حوادث را ازنظر رفتار انسانی و سازمانی بررسی می‌کند. بر اساس این مدل، خطاها و رویدادها اغلب چندعاملی هستند و مستلزم آن است که به طور همزمان یک سری از لایه‌های محافظتی با شکست روبرو شوند. خصوصیت بارز آن توجه به ابعاد پنهان در زنجیره عوامل منجر به حادثه می‌باشد(۱۶).

شناسایی نواقص موجود در لایه‌های ایمنی، از جمله عدم انسداد کامل خطوط هگزان، فقدان سامانه پایش مؤثر گاز و بروز خطای انسانی در فرآیند نمونه‌گیری، بر اهمیت طراحی نظام چندلایه برای کنترل و کاهش خطر تأکید دارد. .. یکی دیگر از یافته‌های قابل توجه، نبود پیش‌بینی دقیق در مجوزهای کار و عدم تطابق آن‌ها با وضعیت واقعی میدان حادثه بود. اگرچه مجوزهای صادرشده حاوی بندهایی نظیر "مسدودسازی ورودی و خروجی‌ها" بودند، اما در عمل هیچ ایزوله‌سازی مؤثری صورت نگرفته بود. این تضاد میان سند و اجرا، ضرورت آموزش مجدد پرسنل و بازرسی میدانی قبل از شروع کار را آشکار ساخت.

پروسه پروژه‌های ساخت‌وساز و بازسازی در صنعت پتروشیمی پیچیده است و حوادث در این حوزه ممکن است زنجیره‌ای و تأثیرگذار باشند. مدیریت مجوز کار در ساختمان یکی از بخش‌های مهم مهندسی پتروشیمی است، که عمدتاً برای تأیید هویت افراد وارد شونده به منطقه ساخت‌وساز و صلاحیت آن‌ها در دریافت مجوز کار طراحی شده است(۱۷). . همچنین در مطالعه Shida و همکاران نتایج نشان داد که در پروژه‌های واقعی، سامانه طراحی شده می‌تواند مجوز کار در صنعت پتروشیمی را از حالت کاغذی به حالت الکترونیکی تبدیل کرده و از صحت صلاحیت وارد شونده‌ها به‌طور سریع و مؤثر اطمینان حاصل کند. همچنین، این سیستم می‌تواند فرد retired (بازنشسته یا ترک کارکرده) را از ورود مجدد به سایت جلوگیری کند (۱۹). بنابراین استفاده از چارچوب تلفیقی تحلیل خطر و طبقه‌بندی ریسک نه تنها امکان پیش‌بینی بهتر سناریوهای مخاطره‌آمیز را فراهم می‌سازد، بلکه

CC BY- NC 4.0

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: 10.18502/tkj.v17i3.20026]

به‌عنوان ابزار تصمیم‌سازی برای مدیریت ایمنی در سطح کلان قابل‌اتکا است(۱۲, ۲۰, ۲۱).

درس‌آموزی و عبرت گرفتن از حوادث به معنای بررسی دقیق رویدادهای گذشته برای شناسایی علل وقوع، درک اشتباهات و بهبود عملکرد در آینده است. این فرآیند به سازمان‌ها و افراد کمک می‌کند تا از تجربیات تلخ گذشته برای جلوگیری از تکرار اشتباهات مشابه استفاده کنند(۲۰). در صنایع پرخطر مانند پتروشیمی و فرآیندی، درس‌آموزی از حوادث می‌تواند به ارتقای ایمنی، بهبود رویه‌های عملیاتی و کاهش ریسک‌های احتمالی منجر شود(۱۱, ۲۱, ۲۲). جوامعی که از تاریخ و تجربه‌های پیشین خود عبرت می‌گیرند، کمتر دچار تکرار اشتباهات می‌شوند و سریع‌تر به پیشرفت دست می‌یابند. برای اینکه درس‌آموزی از حوادث مؤثر باشد، باید رویکردی سیستماتیک و علمی در تحلیل آن‌ها اتخاذ شود. مستندسازی، بررسی عمیق علل وقوع، ایجاد تغییرات در فرآیندها و آموزش مستمر از جمله اقداماتی هستند که به سازمان‌ها و افراد کمک می‌کنند تا از اشتباهات گذشته تجربه بیاموزند و آن‌ها را به فرصت‌هایی برای بهبود تبدیل کنند. بنابراین در این مطالعه حوادث به وقوع پیوسته در پتروشیمی جهت ارزیابی بهتر واحد HDPE انجام شد. یکی از مهم‌ترین حوادث فرآیندی در کشور ایران، حادثه پتروشیمی بوعلی ماهشهر بود. در این مجتمع، نشت یکی از مخازن پارازایلین علت اصلی ایجاد حادثه بود. از ۱۳ علل اصلی شناسایی‌شده می‌توان به کمبود تجهیزات و مواد اولیه مناسب اطفاء حریق اعم از فوم و کمبود فشار آب آتش‌نشانی موردنیاز، عدم آمادگی کامل سامانه اطفای حریق مجتمع، عدم اولویت‌بندی در اطفای حریق، عدم رعایت اصول تعمیرات پیشگیرانه و سهل‌انگاری در آموزش و بازآموزی دوره‌ای منابع انسانی اشاره کرد (۲۵). بنابراین خیلی از علت‌های احتمالی بروز حریق و انفجار در صنایع فرآیندی مشابه می‌باشند که باید راهکارهای عملیاتی در این زمینه ارائه گردد. همچنین تحلیل حوادث می‌تواند به بهبود فرهنگ ایمنی در سازمان‌ها کمک کند. با درک صحیح از عوامل مؤثر در بروز حوادث و اشتباهات، کارکنان و مدیران آگاه‌تر می‌شوند و هم‌راستایی بیشتری با استانداردهای ایمنی و محیط زیستی پیدا می‌کنند. این امر علاوه بر کاهش ریسک‌ها، به ارتقاء عملکرد کلی شرکت نیز کمک خواهد کرد و در نهایت باعث افزایش اعتبار و رقابت‌پذیری در بازار خواهد شد(۲۶).

پیشنهاد می‌شود مطالعات آتی با استفاده از روش‌های ترکیبی کمی–احتمالی مانند تحلیل درخت خطا(FTA) ، مدل‌های دینامیک سیستم یا شبکه‌های بیزین، به تحلیل عمیق‌تری از انتشار و زنجیره رخدادها بپردازند تا میزان دقت و قابلیت پیش‌بینی سیستم‌های ایمنی بهبود یابد (۲۷, ۲۸).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با تلفیق تکنیک‌های شناسایی خطر PHLو PHA و طبقه‌بندی ریسک بر اساس استاندارد MIL-STD-882E، یک چارچوب جامع برای تحلیل و مدیریت ریسک آتش‌سوزی و انفجار در واحدهای فرآیندی ارائه شد. تحلیل حادثه آتش‌سوزی در واحد HDPE نشان داد که حوادث غالباً ناشی از ضعف در ایزوله‌سازی، نقص در مجوزهای کار، سهل‌انگاری‌های انسانی و ... هستند. استفاده از چک‌لیست‌های ساختاریافته و ابزارهای استاندارد ریسک، به شناسایی دقیق خطرات پنهان و اولویت‌بندی اقدامات کنترلی کمک شایانی می‌کند. همچنین مشخص شد که اجرای بازرسی‌های فنی، آموزش مداوم پرسنل، بازنگری مجوزهای کار و استفاده از تجهیزات پایش نشت می‌تواند نقش کلیدی در کاهش سطح ریسک ایفا کند. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، از روش‌های ترکیبی مانند تحلیل درخت خطا (FTA) و شبکه‌های بیزین برای تحلیل عمقی‌تر سناریوهای حادثه استفاده گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله مراتب سپاس و قدردانی صمیمانه خود را از شرکت پتروشیمی مارون، به‌ویژه واحد پژوهش و نوآوری و واحد ایمنی،بهداشت،محیط زیست(HSE)، به دلیل همکاری صمیمانه، پشتیبانی‌های

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: 10.18502/tkj.v17i3.20026]

CC BY- NC 4.0

فنی و ارائه اطلاعات ارزشمند که نقش بسزایی در پیشبرد این مطالعه داشت، اعلام می‌دارند.

تعارض در منافع

هیچ‌گونه تعارضی در منافع برای نویسندگان مقاله وجود ندارد.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی ندارد.

ملاحظات اخلاقی

این مقاله مستخرج از رساله دکتری با کد اخلاق IR.IAU.AHVAZ.REC.1404.188 می‌باشد. در نگارش این مقاله از منابع مشکوک و فاقد اعتبار استفاده‌نشده و در بازنگری منابع رعایت صداقت و امانت شده است.

References

1. Lees F. Lees' Loss prevention in the process industries: Hazard identification, assessment and control: Butterworth-Heinemann; 2012.
2. Di-Sarno L, Majidian A. Risk assessment of a typical petrochemical plant with ageing effects subjected to seismic sequences. Engineering Structures. 2024;310:118110. [Persian]
3. Esmaeili SV, Esmaeili R, Mohsenian A, Alboghobeish A. Consequence Analysis and Safety Assessment of an Ethylene Oxide Unit in a Petrochemical Complex. International Journal of Environmental Health Engineering. 2024;13(1):23. [Persian]
4. Spínola AC, Pinheiro CT, Ferreira AG, Gando-Ferreira LM. Mineral carbonation of a pulp and paper industry waste for CO2 sequestration. Process Safety and Environmental Protection. 2021;148:968-79.
5. Crawley F, Tyler B. HAZOP: Guide to Best Practice Guidelines to Best Practice for the Process and Chemical Industries -9780323394604.
6. Battaglia M, Frey M, Passetti E. Accidents at work and costs analysis: a field study in a large Italian company. Industrial health. 2014:2013-0168.
7. Laal F, Hanifi SM, Madvari RF, Khoshakhlagh AH, Arefi MF. Providing an approach to analyze the risk of central oxygen tanks in hospitals during the COVID-19 pandemic. Heliyon. 2023;9(8). [Persian]
8. Ericson CA. Hazard analysis techniques for system safety: John Wiley & Sons; 2015.
9. Olaide AO, Jung JC, Choi MJ, Ngbede UM. Preliminary Hazard Analysis: Assessment of New Component Interface Module Design for APR1400. Journal of the Korean Society of Systems Engineering. 2021;17(1):21-34.
10. Hyatt N. Guidelines for process hazards analysis (PHA, HAZOP), hazards identification, and risk analysis: CRC press; 2018.
11. Raymond R, Hecht M, editors. A SysML Profile for MIL- STD- 882E (System Safety). INCOSE International Symposium; 2022: Wiley Online Library.
12. Kundnani S. Preliminary hazard analysis (PHA): great approach to risk analysis in pharmaceutical industry. International Journal of Frontiers in Science and Technology Research. 2022.
13. Nivolianitou Z, Konstandinidou M, Michalis C. Statistical analysis of major accidents in petrochemical industry notified to the major accident reporting system (MARS). Journal of hazardous materials. 2006;137(1):1-7.
14. Cheng C-W, Yao H-Q, Wu T-C. Applying data mining techniques to analyze the causes of major occupational accidents in the petrochemical industry. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2013;26(6):1269-78.
15. Signoret J-P, Leroy A. Preliminary Hazard Analysis (PHA). Reliability Assessment of Safety and Production Systems: Analysis, Modelling, Calculations and Case Studies: Springer; 2021. p. 145-56.
16. Baybutt P. Requirements for improved process hazard analysis (PHA) methods. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2014;32:182-91.
17. SMC-T ST. TAILORING INSTRUCTIONS FOR MIL-STD-882E. 2012.

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: 10.18502/tkj.v17i3.20026]

CC BY- NC 4.0

18. Song W, Li J, Li H, Ming X. Human factors risk assessment: An integrated method for improving safety in clinical use of medical devices. Applied Soft Computing. 2020;86:105918.
19. Chen S, Jiang W, Zhou C. Development of permit-to-work management system based on POP model for petrochemical construction safety. Journal of Intelligent Construction. 2023;1(2):1-19.
20. Sotoodeh A, Abdullah M, Ahmed T, Chandrasekar M, editors. Safety in Systems: A Comprehensive Literature Review of PHA, FMEA, HAZOP, and Fault Tree Analysis. IISE Annual Conference Proceedings; 2024: Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE).
21. Catala C, Anato L, Carrero L, Morar C. Improving Process Hazard Analysis (PHA) outcomes to better manage critical controls in mining industry: From PHA to verification in the field. Process Safety Progress. 2024;43(4):659-67.
22. Wienen HCA, Bukhsh FA, Vriezekolk E, Wieringa RJ. Accident analysis methods and models—a systematic literature review. 2017.
23. Bouafia A, Bougofa M, Rouainia M, Medjram MS. Safety risk analysis and accidents modeling of a major gasoline release in petrochemical plant. Journal of Failure Analysis and Prevention. 2020;20(2):358-69.
24. Koo J, Kim S, Kim H, Kim Y-H, Yoon ES. A systematic approach towards accident analysis and prevention. Korean journal of chemical engineering. 2009;26(6):1476-83.
25. Iranian students news Agency (ISNA). 2019;https://www.isna.ir/news/98023116749/.
26. Ghorbani M, Ebrahimi H, Vosoughi S, Eskandari D, Moradi Hanifi S, Mandali H. Analyzing the influential factors of process safety culture by hybrid hidden content analysis and fuzzy DEMATEL. Scientific Reports. 2024;14(1):1470.
27. Rashidi F, Baradaran S, Sobati MA. Design improvement for enhanced process safety in a biodiesel production unit using Fuzzy Bayesian network analysis. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2025;94:105543.
28. Göksu B, Şakar C, Yüksel O. A probabilistic assessment of ship blackout incident with Fault Tree Analysis into (FTA) Bayesian Network (BN). Journal of Marine Engineering & Technology. 2025;24(1):54-69.

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: 10.18502/tkj.v17i3.20026]

CC BY- NC 4.0

Fire and explosion risk classification using MIL-STD-882E standard and PHL and PHA techniques and analysis of a case study incident

Sharifipour M[1], Varshosaz K[2], Orak N[3†], Cheraghi M[4], Laal F[5]

[1]Department of Environment, Ahv.C, Islamic Azad University Ahvaz, Iran
[2] Department of Environment, Ahv.C, Islamic Azad University Ahvaz, Iran
[3] Department of Environment, Ahv.C, Islamic Azad University Ahvaz, Iran
[4] Department of Environment, Ahv.C, Islamic Azad University Ahvaz, Iran
[5] Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Determinants of Health Research Center, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran

Abstract

Introduction: Process industries are inherently associated with the risk of catastrophic events such as fires and explosions. An integrated framework was created to identify analyze, and classify fire and explosion risks utilizing Preliminary Hazard List (PHL) and Preliminary Hazard Analysis (PHA) techniques along with the MIL-STD-882E risk assessment standard.

Materials and Methods: Initially, an analysis team was established and a system description was conducted. A real fire incident in the HDPE unit of a petrochemical plant was then selected as a case study. The underlying causes were identified through operational data, expert interviews, and technical documents. Using severity and probability tables from PHL and PHA methods, along with the MIL-STD-882E risk matrix, the risk level for each scenario was determined and corrective recommendations were proposed

Results: The findings revealed that eight hazardous conditions could possibly result in fire and explosion risks. Reactor explosions and centrifuge fires were identified in the initial control level of the study, accounting for 25%, linked to technical failures in control valves (TICI4). This scenario was assigned a risk level of 1D, classified as serious per the matrix. Compiling a comprehensive list of Pressure Safety Valves (PSVs) and implementing periodic inspections could significantly reduce the associated risk level. Moreover, the predominant consequences were mainly associated with deficiencies in isolation procedures, weaknesses in permit-to-work systems, and mistakes made by individuals.

Conclusion: Control and preventive measures proportional to the identified risk levels were recommended. The results demonstrate that combining PHA and PHL techniques with the MIL-STD-882E risk classification framework can enhance safety-related decision-making and mitigate hazards in high-risk process industries.

Keywords: MIL-STD-882E, Accident analysis, Risk, Petrochemical, Preliminary Hazard Analysis (PHA)

This paper should be cited as:
Sharifipour M, Varshosaz K, Orak N, Cheraghi M, Laal F. ***Fire and explosion risk classification using MIL-STD-882E standard and PHL and PHA techniques and analysis of a case study incident.*** Occupational Medicine Quarterly Journal. 2025:17(3): 11-25.

†***Corresponding author***
Email: nedaorak@iau.ac.ir
Tel: +989163110836
Received: 28.06.2025 ***Accepted: 06.10.2025***

CC BY- NC 4.0

[Downloaded from tkj.ssu.ac.ir on 2026-06-22]

[DOI: 10.18502/tkj.v17i3.20026]