

## تعیین سطح یکپارچگی ایمنی در یک واحد تولید هیدروژن با استفاده از روش تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی

شیما سادات لاجوردی<sup>۱</sup>، محمدجواد جعفری<sup>۲</sup>، ایرج محمدفام<sup>۳\*</sup>

۱. دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه علوم و تحقیقات، تهران، ایران  
۲. دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی، تهران، ایران  
۳. دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی همدان، همدان، ایران

### چکیده:

سابقه و هدف: بحران خطرات موجود در فرآیندهای شیمیایی ایجاب می‌کند که در برابر آن‌ها از چندین لایه حفاظتی استفاده گردد. در همین راستا تجزیه و تحلیل کفایت و مقاومت لایه‌های حفاظتی مورد استفاده، یک ضرورت است. در این مطالعه سطح ایمنی لایه‌های حفاظتی موجود در یک سیستم تولید هیدروژن ارزیابی شده است. روش بررسی: برای ارزیابی لایه‌های حفاظتی از روش تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی ترجیحی استفاده شد. در این مطالعه رویدادهای دارای اثر شدید، علل آغازین و فرکانس آن‌ها، لایه‌های حفاظتی مستقل و احتمال شکست در زمان مورد نیاز، همچنین احتمال رویدادهای میانی و سطح یکپارچگی ایمنی در بررسی قرار گرفتند. یافته‌ها: نتایج نشان داد که کاهش خطرپذیری ضروری مابین  $10^{-1}$  و  $10^{-2}$  بوده و یک سطح یکپارچگی ایمنی ثانویه به عنوان الزام تعیین گردید. همچنین مشخص شد نیازی به انجام یک مطالعه آنالیز کمی ریسک نیست. نتیجه‌گیری: با توجه به زمان بر بودن اجرای روش تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی ترجیحی، به نظر می‌رسد ترکیب این روش با یک ابزار نرم‌افزاری، می‌تواند روش را کارآمدتر ساخته و بر سرعت و دقت کار بینجامد. کلمات کلیدی: تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی، ایمنی، یکپارچگی، هیدروژن

### مقدمه

هیدروژن‌ناسیون روغن‌های جامد در رآکتورهای ویژه‌ای تولید و مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این صنعت نشت و انفجار گاز هیدروژن می‌تواند علاوه بر تحمیل زیان‌های سنگین اقتصادی، آلودگی‌های زیست محیطی، تلفات سنگین انسانی نیز به دنبال داشته باشد (۳).

برای پیشگیری از این قبیل حوادث، تعیین الزامات ایمنی خاص بخش مهمی از اقدامات پیشگیرانه محسوب می‌شود. الزامات یاد شده شامل شناسایی، ارزیابی و کنترل خطرات و نظارت

بروز حوادث صنعتی در بیشتر موارد به تحمیل زیان‌های قابل توجه انسانی، زیست محیطی و اقتصادی می‌انجامد (۱). در صنایع فرایندی که دارای چهار مشخصه عمده شامل کمیت و کیفیت انرژی‌های مورد استفاده، انعطاف ناپذیری پایین، پیچیدگی زیاد و ارزش بالا هستند زیان‌های یاد شده گاهی فاجعه بار می‌شوند (۲). در این میان صنایع تولید روغن‌های خوراکی که نوعی از صنایع فرایندی محسوب می‌شوند، هیدروژن مورد نیاز فرآیند

را تعریف می‌نماید و از این رو میانگین نسبت زمانی است که آن موضوع به صورت یک مانع ایمنی عمل نمی‌کند. یک لایه حفاظتی به طور معمول به صورت یک مانع ایمنی در نظر گرفته می‌شود (۷، ۸).

نگاهی به مطالعات صورت گرفته در زمینه کاربرد روش تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۱ میلادی، به وضوح راحتی کار با آن در صنایع فرآیندی در برابر کار با تکنیک‌های کمی خطرپذیری را نشان می‌دهد. پژوهشگرانی همچون آرتور داول (۹)، روی ساندرز (۱۰)، باستین چاپ و اندرو حله (۱۱)، فنگ (۱۲)، چیانگ وی (۱۳) و آدم مارکوسکی (۱۴، ۱۵) در مقالات خود به ارائه روش نیمه کمی تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی پرداخته‌اند. اما به کارگیری روش تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی برای تعیین سطح یکپارچگی ایمنی، تنها پژوهشی می‌باشد که در سال ۲۰۰۸ توسط لاسن در یک جداساز سه فازی نفتی انجام گرفته است (۱۶).

با توجه به کمیت و کیفیت انرژی‌های مورد استفاده در صنایع تولید روغن‌های خوراکی، بحران تبدیل خطرات موجود به رویدادها و حوادث، ارزش اقتصادی بالای سخت افزارهای موجود در این صنعت و تعداد قابل توجه شاغلین موجود، هدف اصلی این مطالعه شناسایی و ارزیابی خطرات، پیامدهای حاصل و موانع ایمنی موجود و همچنین ارائه راهکارهای مناسب برای کاهش خطرپذیری خطرات شناسایی شده با تمرکز بر تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی در واحد تولید هیدروژن شرکت صنعتی بهشهر بود.

### مواد و روش‌ها

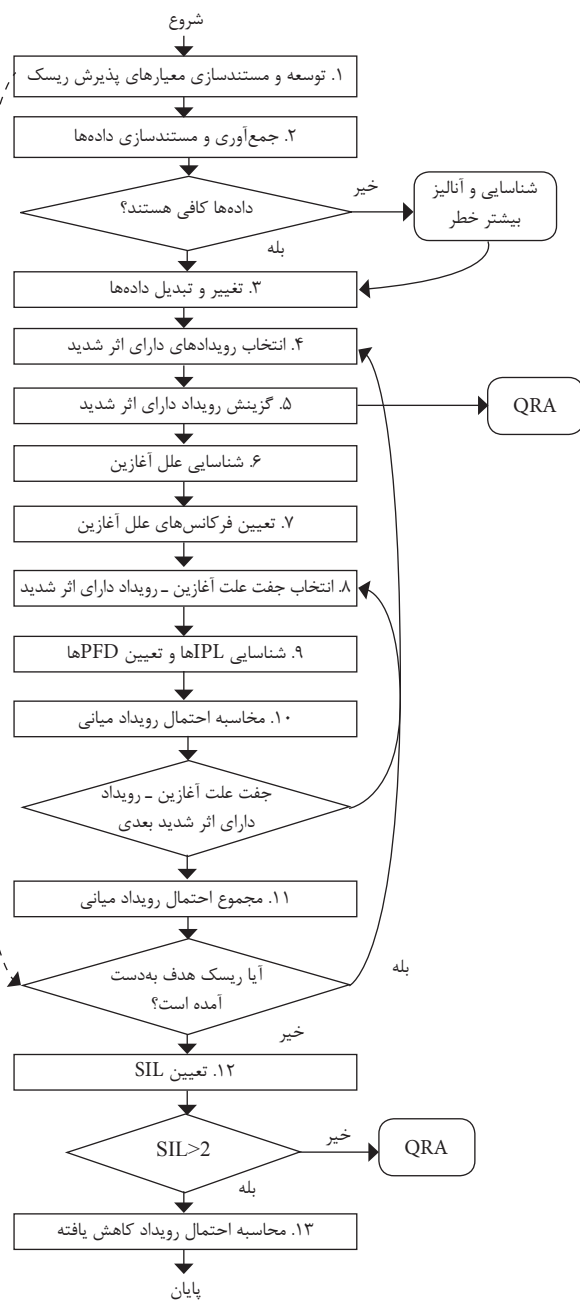
در این مطالعه برای ارزیابی لایه‌های حفاظتی، از روش تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی ترجیحی استفاده گردید. تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی یک روش نیمه کمی است که از دسته‌های عددی برای تخمین پارامترهای مورد نیاز برای کاهش خطرپذیری ضروری مطابق با معیارهای پذیرش، استفاده می‌کند. در این روش برخلاف یک ارزیابی کمی خطرپذیری، اغلب از ساده‌سازی‌ها، داوری‌های تخصصی و جداول برای تعیین ارقام مورد نیاز استفاده می‌شود (۱۷).

هنگام اجرای روش تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی برای

دقیق و دائمی بر اجرای درست فرایند ذکر شده است. در این راستا در دهه ۱۹۹۰ میلادی کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک، استانداردهای IEC 61508 و IEC 61511 را وضع کرد. نیاز به مستندسازی پیروی از استانداردها به صورت هماهنگ برای تعیین الزامات ویژه سیستم‌های ابزار دقیق ایمنی، به شکل‌گیری و معرفی تکنیک تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی انجامید (۴). از نقطه نظر ایمنی با توجه به بحران پیامدهای ناشی از عملی شدن خطرات در فرآیندهای شیمیایی و به منظور کاهش احتمال وقوع نقص‌ها و همچنین کنترل شدت پیامدها، از لایه‌های حفاظتی گوناگونی استفاده می‌شود. فلسفه پشتیبان این امر بیان می‌کند که خطر آزاد شده ناخواسته پیش از رسیدن به عناصر آسیب پذیر، در یکی از لایه‌های حفاظتی به دام افتاده و کنترل می‌گردد (۵).

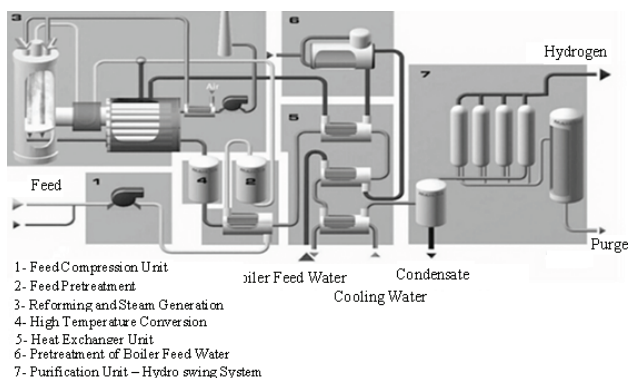
در روش تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی، کفایت و مقاومت این لایه‌ها تجزیه و تحلیل می‌شود. تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی را می‌توان به عنوان یک شکل ساده شده از ارزیابی کمی خطرپذیری در نظر گرفت. این روش را می‌توان پس از مطالعه خطرات و راهبری عملیات و ارزیابی کمی خطرپذیری مورد استفاده قرار داد. یکی از تفاوت‌های میان روش تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی و دیگر روش‌ها این است که روش تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی، لایه‌های حفاظتی مختلف و میزان کاهش خطرات را به طور جداگانه تجزیه و تحلیل می‌کند. روش تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی به ویژه برای تعیین سطح یکپارچگی ایمنی عملکردهای ابزار دقیق ایمنی به کار می‌رود (۴). همچنین در صورتی که لایه‌های حفاظتی در یک سیستم رضایت بخش باشند، این روش به عنوان یک ابزار ارزیابی کمی خطرپذیری کلی استفاده می‌شود. علاوه بر این، برنامه‌ریزی برای بهبودهای اساسی، تحقیق و بررسی حوادث و مدیریت تغییر را می‌توان از کاربردهای دیگر این روش در نظر گرفت (۶).

یکپارچگی ایمنی، در واقع احتمال اجرای وظایف ایمنی مورد نیاز تحت تمام شرایط در طول یک دوره زمانی مشخص از سوی سیستم مرتبط با ایمنی می‌باشد. سطح یکپارچگی ایمنی به چهار سطح دسته‌بندی شده و به صورت احتمال شکست هنگام تقاضا تعریف می‌شود. احتمال شکست هنگام تقاضا، به صورت متوسط نداشتن قابلیت استفاده ایمن از یک موضوع



شکل ۱: نمودار فرآیند روش تجزیه و تحلیل لایه های حفاظتی

ترجیحی (۱۵)



شکل ۲: سیستم تولید هیدروژن

متمرکز شدن تیم بر روی تجزیه و تحلیل، یک روش واضح و روشن مورد نیاز است. روش تجزیه و تحلیل لایه های حفاظتی مورد استفاده یک روش توسعه یافته بر اساس استاندارد IEC 61511 بود که مطابق شکل ۱ در ۱۳ مرحله اصلی اجرا گردید (۱۸).

محل اجرای مطالعه، واحد تولید هیدروژن شرکت صنعتی بهشهر بود. در واحد تولید هیدروژن این شرکت، هیدروژن مورد نیاز فرآیند هیدروژناسیون روغن های جامد تهیه و استفاده می گردد. واحد تولید هیدروژن مجموعه با ظرفیتی معادل  $1/h676/Nm^3$  و با ابعادی معادل  $m2100$ ، از نوع ریفورمینگ بخاری گاز طبیعی بوده و همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، شامل ۷ گره اصلی می باشد. هیدروژن خروجی از سیستم دارای خلوصی برابر با ۹۹/۹ درصد است. سیستم تولید هیدروژن به طور کامل خودکار عمل می کند و از راه مرکز فرمان فرآیند، به وسیله مانیتورهای ویژه ای نظارت و کنترل می شود (۱۹).

مطالعه حاضر در ۱۱ جلسه تخصصی ۴ ساعته در واحد ایمنی، بهداشت و محیط زیست و با کمک یک تیم متشکل از افراد زیر صورت پذیرفت:

- ۳ نفر از اپراتورهای سیستم
- ۴ نفر از مهندسين فرآیند
- مهندس کنترل فرآیند
- نماینده مدیریت تولید
- نماینده تعمیرات و نگهداری تجهیزات/ دستگاه های الکتریکی
- ۲ کارشناس خبره از مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست
- یک متخصص تجزیه و تحلیل خطرپذیری با استفاده از روش

تجزیه و تحلیل لایه های حفاظتی

در طی فرآیند ارزیابی خطرپذیری، پس از بررسی سیستم و نقشه های فرآیند، مستندات حوادث و نقص های سیستم، به کارگیری دانش کارشناسان، اپراتورها و استفاده از تکنیک طوفان ذهنی، بر اساس شباهت زیر سیستم ها تولید هیدروژن به ۷ گره عملیاتی تقسیم و جفت علل آغازین - رویداد دارای اثر شدید عمده تعیین گردید. برای ثبت داده های مطالعه از کار برگ ارائه شده در استاندارد IEC 61511 استفاده گردید (۱۸).

## یافته‌ها

در این بخش نتایج مطالعه بر اساس نمودار فرآیند اجرای روش ارائه می‌گردد:

در جدول ۱ آمده است (۱۹). سطح شدت به صورت  $C_C$  درجه‌بندی شده که دربرگیرنده یک جراحت ناتوان سازنده یا چندین جراحت شدید می‌باشد. معیارهای گزینش مشخص می‌سازد که رویداد دارای اثر شدید در محدوده تجزیه و تحلیل لایه های حفاظتی بوده و هیچ ارزیابی کمی ریسک در این مرحله از تجزیه و تحلیل، آغاز نمی‌گردد.

۱. گسترش و مستندسازی معیارهای پذیرش خطر پذیری بر پایه نتایج مطالعات پیشین، معیارهای پذیرش تعیین گردید که

جدول ۱. احتمال رویداد کاهش یافته مورد نظر برای خطرات ایمنی (۲۰)

| سطح شدت | پیامد ایمنی                                | احتمال رویداد کاهش یافته مورد نظر (در سال) |
|---------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| $C_A$   | تنها یک جراحت با نیاز به کمک‌های اولیه     | $3 \times 10^{-2}$                         |
| $C_B$   | چندین جراحت با نیاز به کمک‌های اولیه       | $3 \times 10^{-2}$                         |
| $C_C$   | یک جراحت ناتوان سازنده یا چندین جراحت شدید | $3 \times 10^{-4}$                         |
| $C_D$   | یک مرگ و میر در محل حادثه                  | $3 \times 10^{-5}$                         |
| $C_E$   | بیش از یک و تا سه مرگ و میر در محل حادثه   | $1 \times 10^{-5}$                         |

## ۲. شناسایی علل آغازین

خرابی یا عملکرد نامناسب شیر کنترل ورودی هیدروژن، خرابی مشعل‌های کوره ریفورمر و ... از جمله علل آغازین سیستم تولید هیدروژن می‌باشند. فرکانس این علل آغازین با بهره‌مندی از داوری کارشناسانه و جداول ارائه شده توسط مرکز ایمنی فرایندهای شیمیایی در جدول ۲ تعیین شده است (۱۷).

حفاظتی مستقل زیر می‌باشد:

- تجهیزات اندازه‌گیری دمای داخل کوره ریفورمر
- چشم‌های الکترونیک کوره ریفورمر
- هشدارهای حساس و مداخلات انسانی
- گیج نمایش‌دهنده فشار داخل برج جاذب
- عملکرد شیر اطمینان ۳-۵۴۴۶۰ برای برج جاذب

در جدول ۳، احتمال شکست در زمان مورد نیاز لایه‌های حفاظتی مستقل سیستم نشان داده شده است.

## ۳. لایه‌های حفاظتی مستقل موجود در سیستم

نتایج بررسی نشان داد که سیستم مورد مطالعه دارای لایه‌های

جدول ۲. فرکانس‌های علل آغازین (۱۷)

| علت آغازین                                      | منبع داده                    | فرکانس                                |
|-------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| خرابی یا عملکرد نامناسب شیر کنترل ورودی هیدروژن | قضاوت کارشناسانه             | ۲ مرتبه در سال                        |
| خرابی مشعل‌های کوره ریفورمر                     | مرکز ایمنی فرایندهای شیمیایی | $1 \times 10^{-2}$ / هر فرصت برای عمل |

جدول ۳. احتمال شکست در زمان مورد نیاز لایه‌های حفاظتی مستقل (۱۷)

| لایه‌های حفاظتی مستقل                      | نوع لایه‌های حفاظتی مستقل | منبع داده                    | احتمال شکست در زمان مورد نیاز |
|--------------------------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| تجهیزات اندازه‌گیری دمای داخل کوره ریفورمر | BPCS                      | مرکز ایمنی فرایندهای شیمیایی | $1 \times 10^{-1}$            |
| چشم‌های الکترونیک کوره ریفورمر             | BPCS                      | مرکز ایمنی فرایندهای شیمیایی | $1 \times 10^{-1}$            |
| هشدارهای حساس و مداخلات انسانی             | SIS                       | مرکز ایمنی فرایندهای شیمیایی | $1 \times 10^{-1}$            |
| گیج نمایش‌دهنده فشار داخل برج جاذب         | BPCS                      | مرکز ایمنی فرایندهای شیمیایی | $1 \times 10^{-1}$            |
| عملکرد شیر اطمینان ۳-۵۴۴۶۰ برای برج جاذب   | Pressure Relief Device    | مرکز ایمنی فرایندهای شیمیایی | $1 \times 10^{-2}$            |

کنترل ورودی هیدروژن - افزایش فشار

خرابی شیر کنترل ورودی هیدروژن در بستن به موقع مسیر باعث افزایش فشار در برج می‌گردد که در پی آن احتمال انفجار برج جاذب، وجود دارد.

لایه‌های حفاظتی مستقل اعتبار یافته عبارتند از:

۱. نمایش فشار توسط گیج PRSA 54441-4 Alarm: 17 bar

۲. وجود شیر اطمینان ۳-۵۴۴۶۰ برای برج جاذب

احتمال رویداد میانی برای این جفت علت آغازین - رویداد دارای اثر شدید با استفاده از رابطه شماره ۱ نیز به صورت زیر است:

= احتمال رویداد میانی

$$1 \times 10^{-7} \times (1 \times 10^{-2}) \times (1 \times 10^{-2}) \times (1 \times 10^{-3}) \times (0.5) = 1/5 \times 10^{-8}$$

میزان احتمال رویداد میانی کلی پس از محاسبات انجام شده، برابر

$$7/5 \times 10^{-7} \text{ می‌گردد.}$$

۶. اندازه‌گیری خطرپذیری هدف، تعیین سطح یکپارچگی

ایمنی و احتمال رویداد کاهش یافته

از راه تقسیم احتمال رویداد کاهش یافته هدف بر احتمال رویداد میانی کلی (رابطه شماره ۲) احتمال شکست هنگام تقاضا پاسخ‌دهنده به سطح یکپارچگی ایمنی مشخص می‌گردد (۱۴).

معادله نشان می‌دهد که چگونه فرکانس قابل قبول برای تعیین کاهش خطرپذیری ضروری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

رابطه شماره ۲

$$NRR = \frac{TMEL}{IEL, total} = \frac{3 \times 10^{-5}}{7.5 \times 10^{-7}} = 0.4 \times 10^{-2}$$

## بحث

نتایج این مطالعه نشان داد که اجرای تکنیک تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی مستلزم داشتن اطلاعات و دانش گسترده است. در نتایج مطالعات کوی و همکارانش (۲۱) و مارکوسکی (۱۴) نیز بر همین کار تاکید شده است. علاوه بر این، معلوم گردید ترکیب تیم در به دست آوردن یک نتیجه رضایت‌بخش کاری اساسی است. این موضوع نشان می‌دهد که برای اجرای موفقیت آمیز روش، کار تیمی و درک گسترده و عمیق از سیستم لازم است. این یافته، مشابه یافته‌های کوی و همکارانش و لاسن می‌باشد (۲۱). تجارب حاصل از مطالعه مشخص کرد برای آسانی این مرحله، تبادل تجربه و دستورالعمل‌های بیشتر یک ضرورت

۴. تعیین فاکتور حضور افراد در منطقه و احتمال احتراق

بر اساس سناریو غالب در این مطالعه فرض شد که ۳ اپراتور به طور شایسته کار می‌کنند و ۳۰٪ از مواقع افراد در منطقه حضور دارند که منجر به یک فاکتور حضور در منطقه به میزان ۰/۳ می‌گردد. احتمال احتراق به فشار و نوع سیال بستگی دارد. فشار بالای اعمال شده بر یک سیال قابل اشتعال، احتمال احتراق بیشتری نسبت به یک سیال غیرقابل اشتعال تحت فشار پایین دارا می‌باشد. یک دسته‌بندی معمول عبارت است از: ۱ در صورتی که سیال خود اشتعال باشد، ۰/۳ در صورتی که سیال به راحتی مشتعل گردد و ۰/۱ در صورتی که سیال پایدار و باثبات باشد. سیال ترکیبی از گاز متان و هیدروژن است، که فرض می‌شود به راحتی قابل اشتعال باشد اما ۱۰٪ خود اشتعال نیست و به انتخاب احتمال اشتعال به میزان ۰/۵ می‌انجامد (۱۸).

۵. تعیین جفت‌های علت آغازین - رویداد دارای اثر شدید

موجود در سیستم

✓ جفت علت آغازین - رویداد دارای اثر شدید ۱: خرابی مشعل‌های کوره ریفورمر - کاهش دما

خرابی مشعل‌های کوره ریفورمر، سبب کاهش دمای کوره می‌گردد که در پی آن احتمال انجام نشدن واکنش در کوره و تولید نشدن هیدروژن وجود دارد.

لایه‌های حفاظتی مستقل اعتبار یافته عبارتند از:

۱. چشم الکترونیکی برای مشعل‌های شماره ۲ و ۵

۲. اندازه‌گیری دمای داخل کوره ریفورمر توسط

TRA 21517 Alarm: 920 °C Shut down: 950 °C

فرمول محاسبه احتمال رویداد میانی (رابطه شماره ۱) به صورت زیر است (۱۵):

رابطه شماره ۱

احتمال رویداد میانی = فرکانس علت آغازین × PFD1 × PFD2 ×

احتمال حضور افراد در منطقه × احتمال احتراق

= احتمال رویداد میانی

$$1 \times 10^{-7} \times (1 \times 10^{-2}) \times (1 \times 10^{-1}) \times (1 \times 10^{-1}) \times (1 \times 10^{-1}) \times (0.5) = 1/5 \times 10^{-8}$$

✓ جفت علت آغازین - رویداد دارای اثر شدید ۲: خرابی شیر

خواهد بود (۱۶، ۲۱).

اجرای مطالعه نشان داد که استفاده از نتایج سایر مطالعات تجزیه و تحلیل و مدیریت ریسک که به شناسایی خطرات و رویدادهای اولیه خطرآفرین در سازمان می‌انجامد می‌تواند اجرای مطالعه تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی را آسان کرده و سرعت بخشد.

با توجه به زمان بر بودن مطالعه تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی، به نظر می‌رسد ترکیب این روش با یک ابزار نرم‌افزاری مانند HASILT (۲۱)، روش را کارآمدتر ساخته و همین‌طور ویژگی‌های مفیدی را فراهم می‌سازد.

### تشکر و قدردانی

از مدیر عامل محترم، مسئولین واحدهای ایمنی، بهداشت و محیط زیست و تولید هیدروژن شرکت صنعتی بهشهر که نهایت همکاری را در تهیه این مقاله به عمل آوردند سپاسگزاری می‌گردد.

نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی ترجیحی بدون نیاز به نرم افزارهای تخصصی و اختصاصی آن حداقل در سطح صنایع متوسط قابل اجراست. اجرای این تکنیک همچنین نشان داد که به دست آوردن فرکانس علت آغازین بعضی از رویدادها از روی جداول اختصاصی روش عملی نیست و این امر استفاده از قضاوت‌های کارشناسانه و همچنین ایجاد و استفاده از پایگاه‌های داده اختصاصی و تبادل تجارب را مورد تاکید قرار می‌دهد.

یکی از مراحل دارای اهمیت در اجرای تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی تعیین لایه‌های حفاظتی آن‌ها، مستقل بودن و یا نبودن آن‌هاست. این کار طی مطالعه موردی در سیستم شیر کنترل مشاهده گردید. در طول مطالعه مشاهده شد تفسیر مستقل یا غیر مستقل بودن لایه‌ها دشوار است.

## REFERENCES

- Rikhardsson PM, Impgaard M. Corporate cost of occupational accidents: an activity-based analysis. *Accident Analysis & Prevention*. 2004; 36(2):173-82.
- Shah S, Fischer U, Hungerbühler K. A Hierarchical Approach for the Evaluation of Chemical Process Aspects from the Perspective of Inherent Safety. *Process Safety and Environmental Protection*. 2003; 81(6):430-43.
- Nga HD, John HSL. Comments on explosion problems for hydrogen safety. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2008;21(2):136-46.
- Dowell AM. Layer of protection analysis for determining safety integrity level. *ISA Transactions*. 1998; 37(3): 155-65.
- Wei C, Rogers WJ, Mannan MS. Layer of protection analysis for reactive chemical risk assessment. *Journal of hazardous materials*. 2008; 159 (1): 19-24.
- Jafari MJ, Lajevardi SS, Fam IM. Semi Quantitative Risk Assessment of a Hydrogen Production Unit. *International Journal of Occupational Hygiene*. 2013; 5(3): 101-8.
- Baybutt P. Layers of protection analysis for human factors (LOPAHF). *Process Safety Progress*. 2002; 21 (2): 119-29.
- Freeman R. Using layer of protection analysis to define safety integrity level requirements. *Process safety progress*. 2007; 26(3): 185-94.
- Dowell AM, Williams TR. Layer of protection analysis: Generating scenarios automatically from HAZOP data. *Process safety progress*. 2005; 24(1): 38-44.
- Sanders RE. Practicing chemical process safety: a look at the layers of protection. *Journal of Hazardous Materials* 2004;115(1-3):141-7.
- Schuppa B, Halea A, Pasmanb H, Lemkovitzb S, Goossensa L. Design support for the systematic integration of risk

- reduction into early chemical process design. *Safety Science*. 2006;44(1):37-54.
12. Fang JS, Mannan MS, Ford DM, Logan J, Summers A. Value at Risk Perspective on Layers of Protection Analysis. *Process Safety and Environmental Protection*. 2007;85(1):81-7.
  13. Summers AE. Introduction to layers of protection analysis. *Journal of Hazardous Materials*. *Journal of Hazardous Materials*. 2003; 104 (1): 163-8.
  14. Markowski A, Kotynia A. Bow-tie model in layer of protection analysis. *Journal of Process Safety and Environmental Protection*. 2011; 89 (4):1-9.
  15. Markowski AS, Mannan SM. ExSys-LOPA for the chemical process industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 2010;23:688-96.
  16. Gowland R. The accidental risk assessment methodology for industries (ARAMIS)/layer of protection analysis (LOPA) methodology: A step forward towards convergent practices in risk assessment?. *Journal of hazardous materials*. 2006; 130(3): 307-10.
  17. Hauptmanns U. Semi-quantitative fault tree analysis for process plant safety using frequency and probability ranges. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2004; 17(5): 339-45.
  18. Rouvroye JL, Van Den Bliet EG. Comparing safety analysis techniques. *Reliability Engineering & System Safety* 2002; 75(3): 289-94.
  19. Bridges WB, Clark T. Key issues with implementing LOPA. *Process Safety Progress*. 2010; 29(2): 103-7.
  20. Gowland R. "The accidental risk assessment methodology for industries (ARAMIS)/layer of protection analysis (LOPA) methodology: A step forward towards convergent practices in risk assessment?". *Journal of hazardous materials* 130. 2006;3 307-10.
  21. Cui L, Shu Y, Wang Z, Zhao J, Qiu T, Sun W. HASILT: An intelligent software platform for HAZOP, LOPA, SRS and SIL verification. *Reliability Engineering & System Safety*. 2012; 108: 56-64.

## Determining Safety Integrity Level on a Hydrogen Production Unit with Application of the of Protection Analysis Method

Lajevardi Sh S<sup>1</sup>, Jafari MJ<sup>2</sup>, MohammadFam I<sup>3\*</sup>

### Abstract

**Backgrounds and Objective:** The criticality of existing hazards of chemical processes requires that several protection layers to be used against them. In this regard, applied layers efficiency and resistance analysis is a necessity. In this study the level safety of protection layers of a hydrogen production unit, has been evaluated.

**Materials and Methods:** In order to assess the protection layers the preferred Layers of Protection Analysis method has been used. In this study, events have the severe effect, initiating causes and frequencies, Independent Protection Layers and Probability of Failure on Demand, the total probability of intermediate events and Safety Integrity Level were investigated.

**Results:** Results showed that the essential risk reduction was ranging from  $10^{-1}$  to  $10^{-2}$  and a Safety Integrity Level 2 was determined as a requirement. The results also specified it was not necessary to carry out a Quantitative Risk Analysis study.

**Conclusion:** The time consuming nature of preferred Layers of Protection Analysis method, dis show the combination of this method by a software tools may result in more efficient method and lead to more speed and precision.

**Keywords :**Layers of Protection Analysis, Safety, Integrity, Hydrogen

1. Islamic Azad University, Science & Re-search Branch, Tehran, Iran

2. Faculty of Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3. Faculty of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

\* **Corresponding Author:** Mohammadfam@umsha.ac.ir