DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3384 Published by Vesnu Publications

بررسی میزان مؤثر بودن سیستم‌های ایمنی مجهز به ابزار دقیق با استفاده از روش تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی و آنالیز درخت خطا در واحد ایزومریزاسیون پالایشگاه اصفهان

مهدی قاسمپور[۱]، رضا غلامنیا[۲]، موسی جباری[۳]، امیرحسین متین[۴]، عباس آقابابایی[۵]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: بررسی عوامل و نقاط حادثه‌خیز در صنایع فرایندی از طریق ارزیابی و مدیریت خطر و به منظور پیشگیری از بروز حوادث، اهمیت ویژه‌ای دارد. پالایشگاه‌های نفت و گاز دارای مخاطرات متعددی مانند اشتعال، انفجار و یا انتشار مواد سمی هستند و این مخاطرات می‌تواند پیامدهای فاجعه‌بار و جبران‌ناپذیری را به دنبال داشته باشد. انجام مطالعات سطح یکپارچگی ایمنی (Safety integrity level study یا SIL study) در صنایع فرایندی به منظور بررسی وضعیت ایمنی و قابلیت اطمینان سیستم‌های مهندسی پیچیده، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از انجام پژوهش کاربردی حاضر، بررسی میزان مؤثر بودن سیستم‌های ایمنی مجهز به ابزار دقیق در واحد ایزومریزاسیون مجتمع بنزین‌سازی پالایشگاه اصفهان بود.

روش‌ها: در بخش اول مطالعه، از روش نیمه کمی آنالیز لایه‌های حفاظتی (Layer of Protection Analysis یا LOPA) به منظور ارزیابی لایه‌های حفاظتی و تعیین SIL مورد نیاز سیستم (Target SIL) استفاده شد. در بخش دوم، با استفاده از روش آنالیز درخت خطا (Fault tree analysis یا FTA)، نسبت به تعیین SIL موجود سیستم (SIL verification) اقدام گردید.

یافته‌ها: در تمام سناریوهای منتخب، SIL موجود سیستم و SIL مورد نیاز منطبق بود. همچنین، فرکانس رویداد کاهش یافته نهایی، با معیار خطر قابل قبول پالایشگاه مطابقت داشت که این موضوع بیانگر کفایت لایه‌های حفاظتی مستقل (Independent protection layer یا IPL) موجود می‌باشد.

نتیجه‌گیری: طراحی دقیق و استفاده از تجهیزات به روز و جدید، منجر به ایجاد سطح مناسبی از ایمنی در این فرایند می‌گردد و سیستم با قابلیت اطمینان مناسبی در حال فعالیت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: صنایع فرایندی، ارزیابی خطر، LOPA، FTA، سطح یکپارچگی ایمنی

ارجاع: قاسمپور مهدی، غلامنیا رضا، جباری موسی، متین امیرحسین، آقابابایی عباس. **بررسی میزان مؤثر بودن سیستم‌های ایمنی مجهز به ابزار دقیق با استفاده از روش تجزیه و تحلیل لایه‌های حفاظتی و آنالیز درخت خطا در واحد ایزومریزاسیون پالایشگاه اصفهان.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۷؛ ۱۴ (۲): ۲۱۴-۲۰۴

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۱۸ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۱۹ تاریخ چاپ: ۱۳۹۷/۴/۱۵

مقدمه

از کار افتادن سامانه‌ها موجب وقوع اختلال در سطوح مختلفی می‌شود و می‌تواند به عنوان تهدیدی شدید برای جامعه و محیط زیست تلقی شود. از این‌رو، مردم انتظار دارند که سیستم‌ها پایا، اطمینان‌بخش و ایمن باشند. وقوع حوادثی مانند حادثه نیروگاه چرنوبیل، Flixborough انگلستان، سوسو کشور ایتالیا، بوپال هند و حادثه پالایشگاه تگزاس آمریکا و بسیاری از حوادث دیگر که در تمامی آن‌ها خسارت‌های چشمگیر و شدیدی بر جامعه و محیط زیست تحمیل شد، نشان دهنده اهمیت موضوع قابلیت اطمینان و نقش آن در ایمنی فرایندهای صنعتی می‌باشد (۱).

یکی از مسایل مطرح در ایمنی صنایع فرایندی، تصمیم‌گیری در مورد با صرفه بودن یا نبودن سرمایه‌گذاری برای ایمن کردن فرایند است. به بیان دیگر، با توجه به تعداد زیاد حوادث محتمل در یک واحد فرایندی و محدود بودن منابع مالی، تعیین معیاری جهت تصمیم‌گیری و اولویت‌بندی مخاطرات، ضروری به نظر می‌رسد. به همین دلیل است که امروزه تصمیم‌گیری و مدیریت بر مبنای ارزیابی خطر انجام می‌گیرد (۲). ارزیابی و مدیریت خطر، قلب سامانه‌های مدیریتی مرتبط با سلامت، ایمنی و محیط زیست به شمار می‌رود و با استفاده از آن، ضمن شناسایی مخاطرات محیط کار، می‌توان نسبت به اولویت‌بندی اقدامات کاهش خطر و اختصاص منابع لازم برای این کار اقدام نمود (۳). به دلیل گستردگی فرایندها، مواد مصرفی و تولیدی در صنایع فرایندی و شیمیایی و همچنین، ارتباط مستقیم واحدها با یکدیگر، پتانسیل زیادی برای وقوع حوادث بزرگ وجود دارد. بنابراین، شناخت این پتانسیل‌ها و اعمال روش‌های مهندسی ایمنی از طریق استفاده از روش‌های ارزیابی خطر نوین به منظور شناسایی نقاط بحرانی و تعیین قابلیت اطمینان سیستم جهت پیشگیری و کنترل مخاطرات، در این صنایع از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است (۲).

استانداردهای IEC۶۱۵۰۸ و IEC۶۱۵۱۱ در دهه ۱۹۹۰ میلادی توسط کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (International Electrotechnical

۱- کارشناس ارشد، گروه ایمنی صنعتی، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- دانشیار، گروه مدیریت سلامت، ایمنی و محیط زیست، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۳- دانشیار، گروه ایمنی صنعتی، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۴- مربی، گروه ایمنی صنعتی، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۵- شرکت پالایش نفت اصفهان، اصفهان. ایران
نویسنده مسؤول: رضا غلامنیا
Email: gholamnia@sbmu.ac.ir

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.11.3]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3384]

Commission) وضع شد و پیروی از آن‌ها به صورتی هماهنگ جهت تعیین الزامات ویژه سیستم‌های ابزار دقیق ایمنی (Safety Instrumented System یا SIS) منجر به ایجاد روش آنالیز لایه‌های حفاظتی (Layer of Protection Analysis یا LOPA) گردید. سپس مفهوم لایه‌های حفاظتی و رسیدن به آنالیز تعداد و میزان تأثیر لایه‌های مورد نیاز، در سال ۱۹۹۳ توسط مرکز ایمنی فرایندهای شیمیایی (Center for Chemical Process Safety یا CCPS) در کتاب راهنما برای اتوماسیون ایمن فرایندهای شیمیایی منتشر شد. این تکنیک از طریق تعیین لایه‌های حفاظتی مستقل (Independent protection layer یا IPL) کافی در برابر یک سناریو حادثه، بر کاهش خطر تمرکز داشت. با اطلاعات حاصل از اجرای این روش، می‌توان سطح یکپارچگی ایمنی (Safety integrity level یا SIL) مورد نیاز SIS را به دست آورد (۲). با این تکنیک، کاربر می‌تواند میزان کاهش کلی خطر مورد نیاز را مشخص کند و کاهش خطری را تحلیل کند که می‌تواند از لایه‌های حفاظتی تعیین شده به دست آید. استفاده از روش ارزیابی خطر LOPA به علت سادگی کار و داشتن دید وسیعی در ارتباط با ایمنی، نسبت به سایر روش‌های ارزیابی خطر می‌تواند به شکل اثربخش، ایمنی صنایع فرایندی را تا حد زیادی تأمین کند (۴، ۲).

روش آنالیز درخت خطا (Fault tree analysis یا FTA) نیز نوعی ابزار ارزیابی خطر می‌باشد که می‌تواند به صورت کیفی یا کمی به کار گرفته شود. این روش اگر به صورت کیفی به کار رود، ابزاری در خدمت شناسایی مخاطرات است و در صورتی که کمی شود، در ارزیابی خطر کاربرد خواهد داشت. در این روش یک حادثه نامطلوب که حادثه رأس نامیده می‌شود، مبنا قرار داده می‌شود و راه‌های منجر به بروز این حادثه رأس به صورت بسط بالا به پایین مورد بررسی قرار می‌گیرد (۵). مطالعه حاضر با هدف بررسی میزان تأثیر سیستم‌های ایمنی مجهز به ابزار دقیق با استفاده از روش‌های LOPA و FTA در واحد ایزومریزاسیون مجتمع بنزین‌سازی پالایشگاه نفت اصفهان صورت گرفت.

روش‌ها

این تحقیق از نوع موردی بود که در دو بخش انجام شد.

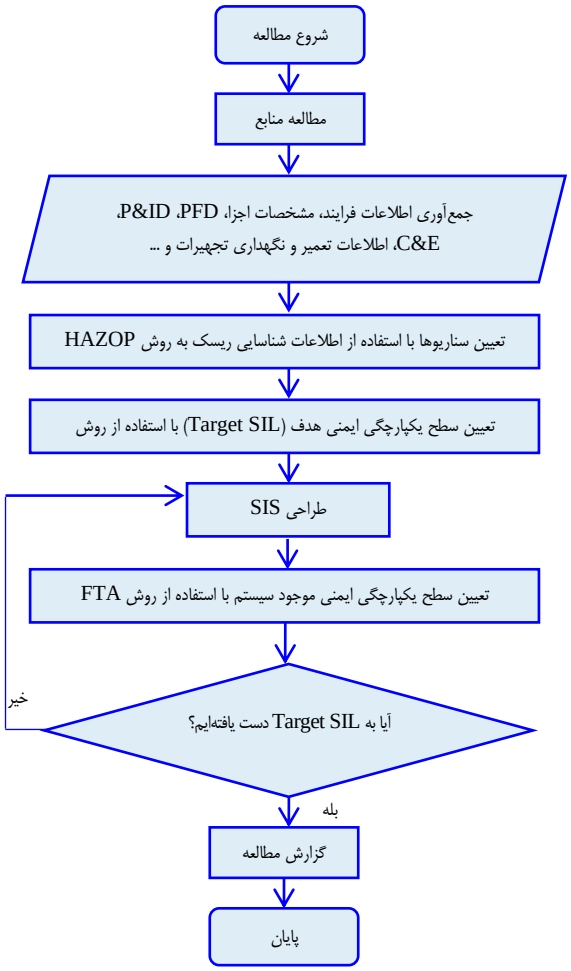
مراحل مطالعات سطح یکپارچگی ایمنی (SIL study)

ارزیابی و تعیین SIL هدف (Target SIL evaluation): در این مرحله SIL مورد نیاز هر Safety Instrumented Function (SIF) مشخص می‌شود.

ممیزی SIL (SIL verification): در این مرحله، فرایند به لحاظ این که سیستم ابزار دقیق ایمنی موجود الزامات SIL هدف (Target SIL) را برآورده کرده است، مورد ممیزی قرار می‌گیرد.

شکل ۱ مراحل انجام مطالعه را به ترتیب نشان می‌دهد.

جهت انجام تحقیق، ابتدا اقدام به جمع‌آوری داده‌های پایه مورد نیاز از طریق بررسی اولیه وضعیت موجود سیستم و اجزای آن، مطالعات کتابخانه‌ای، جمع‌آوری اطلاعات میدانی با مشاهده و بازدید از واحد، بررسی سوابق و اطلاعات مربوط به حوادث رخ داده در این واحد و فرایندهای مشابه، جمع‌آوری، بررسی و مطالعه اسناد فنی، نقشه و دیاگرام‌های جریان فرایند (Process flow diagram یا PFD)، نمودار خطوط لوله و ابزار دقیق (Piping & instrument diagram یا P&ID) و بررسی داده‌های مربوط به سازنده تجهیزات فرایند شد. سپس نسبت به برگزاری جلسات تخصصی با تیم کارشناسان مرتبط با فرایند (ابزار دقیق، تعمیرات و نگهداری، کنترل فرایند، ایمنی و...) اقدام گردید.



شکل ۱. مراحل انجام مطالعه

PFD: Process flow diagram; P&ID: Piping & instrument diagram; SIS: Safety Instrumented System; LOPA: Layer of Protection Analysis; FTA: Fault tree analysis; SIL: Safety integrity level; HAZOP: Hazard and operability study

بخش اول مطالعه: در بخش اول، از روش LOPA به منظور ارزیابی لایه‌های حفاظتی و تعیین SIL مورد نیاز سیستم استفاده شد که مراحل شش‌گانه انجام آن شامل «شناسایی پیامدها و تخمین شدت آن، ایجاد سناریو، تعیین فرکانس رویدادهای آغازگر، تعیین تمامی IPL و تعیین احتمال نقص در زمان تقاضای این لایه‌های حفاظتی (Probability of Failure on Demand) به غیر از سیستم ابزار دقیق ایمنی، جایگزین نمودن مقدار فرکانس خطر قابل قبول به جای فرکانس سناریو در فرمول محاسبات روش LOPA به منظور تعیین PFD سیستم ابزار دقیق ایمنی و تعیین SIL مورد نیاز سیستم» بود.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.11.3]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3384]

مرحله اول از اجرای روش LOPA، شناسایی پیامد و تخمین شدت آن است. پیامدها، خروجی‌های نامطلوب سناریو می‌باشد. در پژوهش حاضر از معیار کمی پذیرش خطر شرکت که با همکاری مدیریت ایمنی، سلامت و محیط زیست تهیه شده بود، استفاده گردید. در ادامه، با استفاده از جداول Cause & Effect و پس از مشخص کردن آغازگرهای عملکرد ابزار دقیق ایمنی (SIF initiators)، تمام اتفاقات پر خطری که ممکن است موجب فعال شدن SIF مورد نظر شود، شناسایی شد. رویداد پرخطری که برای بررسی انتخاب می‌گردد، باید به وسیله روش‌های مناسب مانند Hazard and operability study (HAZOP) به خوبی تبیین شده باشد و نحوه تبدیل شدن این رویداد به یک حادثه که منجر به آسیب به کارکنان، مواد و تجهیزات می‌شود، مشخص گردد. سپس با استفاده از نتایج روش ارزیابی خطر HAZOP، سناریوهای مورد نظر مطابق با جدول ۱، شناسایی، تشریح و تعیین شد.

در مرحله بعد بر اساس مراحل شش‌گانه ذکر شده، اقدام به تعیین رویداد آغازگر سناریوها و فرکانس آن‌ها و شناسایی شرایط یا رویدادهای فعال‌کننده شد. جهت تعیین فرکانس رویداد آغازگر، از تجربیات و سوابق بهره‌بردار فرایند و منابع داده‌ای مانند جلد دوم کتاب LOPA که از سوی مرکز ایمنی فرایندهای شیمیایی منتشر شده بود نیز استفاده گردید. سپس نسبت به تعیین تمامی IPL (به غیر از سیستم ابزار دقیق ایمنی) و تعیین احتمال نقص در زمان تقاضای این لایه‌های حفاظتی اقدام شد.

جدول ۱. سناریوهای مورد بررسی در مطالعه

SIF	سناریو
LSHH-۷۳۰۴۶	افزایش بیش از حد سطح مایع در ظرف ۷۳۰۱ به علت ورود و تجمع بیش از حد آن و خروج مایع از ظرف ۷۳۰۱ و ورود آن به کمپرسور A/B C-۷۳۰۱ و آسیب به کمپرسور و از بین رفتن محصولات
FSLL-۷۳۰۱۳	قطع جریان سیال خروجی از پمپ‌های A/B۷۳۰۱، افزایش شدت واکنش‌ها و افزایش شدید و ناگهانی دمای رآکتور ایزومریزاسیون در اثر کاهش سرعت فضایی، انفجار رآکتور و احتمال مرگ چند نفر از کارکنان
FSLL-۷۳۰۱۴	قطع خوراک (هیدروژن) و واکنش گرمازای شدید و افزایش دمای رآکتور R-۷۳۰۱ A/B و آسیب به آن و مرگ کارکنان
TXSHH-۷۳۰۱۹	افزایش دمای المنت‌های برقی و سوپر هیتر H-۷۳۰۱ و آسیب به دراپرهای خوراک
TXSHH-۷۳۰۱۷	افزایش دمای المنت‌های برقی و سوپر هیتر H-۷۳۰۱ و وارد شدن آسیب به دراپرهای خوراک
TXSHH-۷۳۰۱۵	افزایش دمای المنت‌های برقی و سوپر هیتر H-۷۳۰۱ و وارد شدن آسیب به دراپرهای خوراک
LSHH-۷۳۰۰۶	ارسال بیش از حد سیال از طریق پمپ P-۷۳۰۷ و افزایش سطح مایع در مبدل E-۷۳۰۶ و اختلال در عملکرد هیتر ۷۳۰۱
FSLL-۷۳۰۰۶	عدم وجود سیال کافی در مبدل ۷۳۰۶ و کاهش یا قطع بخارات نفتای سبک ارسالی به هیتر ۷۳۰۱ و وارد شدن آسیب و اختلال در عملکرد هیتر
TXSHH-۷۳۱۳۱	بالا رفتن دمای المنت‌های برقی و افزایش دمای بدنه سوپر هیتر H-۷۳۰۱ و وارد شدن آسیب به سوپر هیتر
TXSHH-۷۳۱۳۲	بالا رفتن دمای المنت‌های برقی و افزایش دمای بدنه سوپر هیتر H-۷۳۰۱ و وارد شدن آسیب به سوپر هیتر
TXSHH-۷۳۱۳۳	بالا رفتن دمای المنت‌های برقی و افزایش دمای بدنه سوپر هیتر H-۷۳۰۱ و وارد شدن آسیب به سوپر هیتر
LSLL-۷۳۰۱۳	کاهش سطح کاستیک در ظرف ۷۳۱۰، بسته نشدن UV-۷۳۱۰۹ و عدم جذب گاز HCL و ایجاد خوردگی در تجهیزات و سامانه سوخت مصرفی پالایشگاه
PSHH-۷۳۰۳۰	افزایش سریع و قابل توجه فشار برج DIH-۷۳۱۱ و بسته شدن REBOILERS A/B۷۳۰۹ و باز شدن شیرهای اطمینان و افزایش مقدار Flaring و ایجاد آلودگی زیست محیطی
PSHH-۷۳۰۲۳	افزایش سریع و قابل توجه فشار برج ۷۳۰۸ و بسته شدن REBOILERS A/B۷۳۱۲ و باز شدن شیرهای اطمینان و افزایش مقدار Flaring و ایجاد آلودگی زیست محیطی
LSLL-۷۳۰۳۲	کاهش سطح مایع در ظرف ۷۳۰۶، بسته شدن UV خروجی ظرف ۷۳۰۶ و از کار افتادن پمپ‌های A/B۷۳۰۱ و امکان افزایش دمای ناگهانی رآکتور در اثر کاهش سرعت فضایی و وارد شدن آسیب به رآکتور
LSLL-۷۳۰۳۳	کاهش سطح مایع در ظرف ۷۳۰۸، بسته نشدن FV خروجی ظرف ۷۳۰۸ و ورود گاز هیدروژن به همراه کلر به برج DIH، افزایش فشار برج و ایجاد خوردگی در تجهیزات و آسیب به جاذب‌های رطوبت
PSLL-۷۳۱۴۲	کاهش بیش از حد فشار خروجی پمپ‌های A/B۷۳۰۱، افزایش دمای ناگهانی رآکتور وآسیب به راکتور
PSLL-۷۳۱۴۳	کاهش بیش از حد فشار خروجی پمپ‌های A/B۷۳۰۱ و ایجاد اختلال در فرایند
PSLL-۷۳۱۴۴	کاهش بیش از حد فشار خروجی پمپ‌های A/B۷۳۰۱ و ایجاد اختلال در فرایند
PAL-۷۳۱۴۲	کاهش فشار خروجی پمپ‌های A/B۷۳۰۱ به علت گرفتگی مسیر (صافی) و داغ شدن پوسته پمپ و وارد شدن آسیب به پمپ
PAL-۷۳۱۴۳	کاهش فشار خروجی پمپ‌های A/B۷۳۰۱ به علت گرفتگی مسیر (صافی) و داغ شدن پوسته پمپ و وارد شدن آسیب به پمپ
PAL-۷۳۱۴۴	کاهش فشار خروجی پمپ‌های A/B۷۳۰۱ به علت گرفتگی مسیر (صافی) و داغ شدن پوسته پمپ و وارد شدن آسیب به پمپ

SIF: Safety Instrumented Function

http://hsr.mui.ac.ir

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.11.3]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3384]

IPL، یک دستگاه، سیستم یا اقدامی است که می‌تواند از پیشرفت سناریو به سمت پیامد نامطلوب جلوگیری نماید. معیارهای سنجش لایه‌های حفاظتی (Protection layer) به عنوان IPL شامل «مؤثر (Effective) در پیشگیری از پیامد باشد، مستقل (Independent) از رویداد آغازگر و دیگر لایه‌های حفاظتی مرتبط با سناریو باشد و قابل بازبینی یا ممیزی (Auditable) باشد» است (۷، ۶، ۲).

جهت تعیین PFD مربوط به IPL از منابعی مانند OREDA (Offshore and Onshore Reliability Data) و یا جلد اول کتاب LOPA و همچنین، از اطلاعات و سوابق شرکت استفاده شد. نمونه IPL و PFD آن‌ها در جدول ۲ ارایه شده است.

تمام اطلاعات مورد نظر به منظور ارزیابی SIL مورد نیاز سیستم، از طریق روش LOPA وارد نرم‌افزار PHA-PRO شد که نمونه کاربرگ آن در جدول ۳ آمده است.

جدول ۲. Independent protection layer (IPL) و عدد Process flow diagram (PFD) برای هر IPL فعال و غیر فعال

IPL	نظرات (با فرض یک مبنای طراحی مناسب و روش‌های مناسب بازرسی و نگهداری)	احتمال نقص بر حسب تقاضا (PFD)
مانع	احتمال پیامدهای بزرگ (نشت گسترده) از یک مخزن در اثر پارگی / نشت / و غیره را کاهش خواهد داد.	۱×۱۰^{-۲}
سیستم فاضلاب (زهکشی) زیرزمینی	احتمال پیامدهای شدید مانند ترکیدن مخزن و نشت گسترده را کاهش خواهد داد.	۱×۱۰^{-۲}
هواکش مخزن (مجرایی به اتمسفر)	جلوگیری از فشار بیش از حد مخازن	۱×۱۰^{-۲}
ضد حریق	میزان گرمای ورودی را کاهش می‌دهد و زمان اضافی برای کاهش دادن فشار، خاموش کردن آتش و... را فراهم می‌کند.	۱×۱۰^{-۲}
دیوار انفجار/ پناهگاه زیرزمینی	احتمال پیامدهای شدید از یک انفجار را با محدود کردن انفجار و به منظور حفاظت از افراد، تجهیزات، ساختمان و... را کاهش می‌دهد.	۱×۱۰^{-۳}
طراحی ذاتاً ایمن	در صورت اجرای صحیح، به طور قابل توجهی می‌تواند احتمال پیامد مرتبط با یک سناریو را کاهش دهد.	۱×۱۰^{-۲}
متوقف‌کننده انفجار/ حریق	اگر به درستی طراحی، نصب و تعمیر و نگهداری شود، باید پتانسیل برای از بین بردن فلاش‌بک از طریق یک سیستم لوله‌کشی و یا به یک ظروف یا مخزن را داشته باشد.	۱×۱۰^{-۲}
IPL	نظرات (با فرض یک مبنای طراحی مناسب و روش های مناسب بازرسی و نگهداری)	احتمال نقص بر حسب تقاضا (PFD)
شیر اطمینان	از افزایش بیش از حد فشار سیستم جلوگیری می‌کند. اثربخشی این وسیله حساس به سرویس کردن و آزمایش کردن است.	۱×۱۰^{-۱}–۱×۱۰^{-۵}
دیسک انفجار	از افزایش بیش از حد فشار سیستم جلوگیری می‌کند. اثربخشی این وسیله حساس به سرویس کردن و آزمایش کردن است.	۱×۱۰^{-۱}–۱×۱۰^{-۵}
سیستم کنترل فرایند اصلی	می‌تواند در صورت وابسته نبودن به رویداد آغازگر، آن را به عنوان IPL در نظر گرفت (برای توضیحات بیشتر به IEC۶۱۵۰۸ و IEC۶۱۵۱۱ رجوع شود).	۱×۱۰^{-۱}–۱×۱۰^{-۲} (بیشتر از ۱×۱۰^{-۱} توسط IEC موافقت شده است)
SIF	برای توضیحات بیشتر به IEC۶۱۵۰۸ و IEC۶۱۵۱۱ رجوع شود.	برای توضیحات بیشتر به IEC۶۱۵۰۸ و IEC۶۱۵۱۱ رجوع شود.
SIL۱	به طور معمول شامل سنسور منفرد، پردازنده منطق منفرد و عنصر نهایی منفرد می‌باشد.	$۱ \times ۱۰^{-۲} > - \geq ۱ \times ۱۰^{-۳}$
SIL۲	به طور معمول شامل سنسورهای چندگانه (برای تحمل خطا)، کانال پردازنده منطقی چندگانه (برای تحمل خطا) و عناصر نهایی چندگانه (برای تحمل خطا) می‌باشد.	$۱ \times ۱۰^{-۱} > - \geq ۱ \times ۱۰^{-۶}$
SIL۳	به طور معمول شامل سنسورهای متعدد، کانال‌های متعدد پردازنده منطقی و عناصر نهایی چندگانه می‌باشد.	$۱ \times ۱۰^{-۱} > - \geq ۱ \times ۱۰^{-۳}$

IPL: Independent protection layer; SIF: Safety Instrumented Function; PFD: Process flow diagram; SIL: Safety integrity level

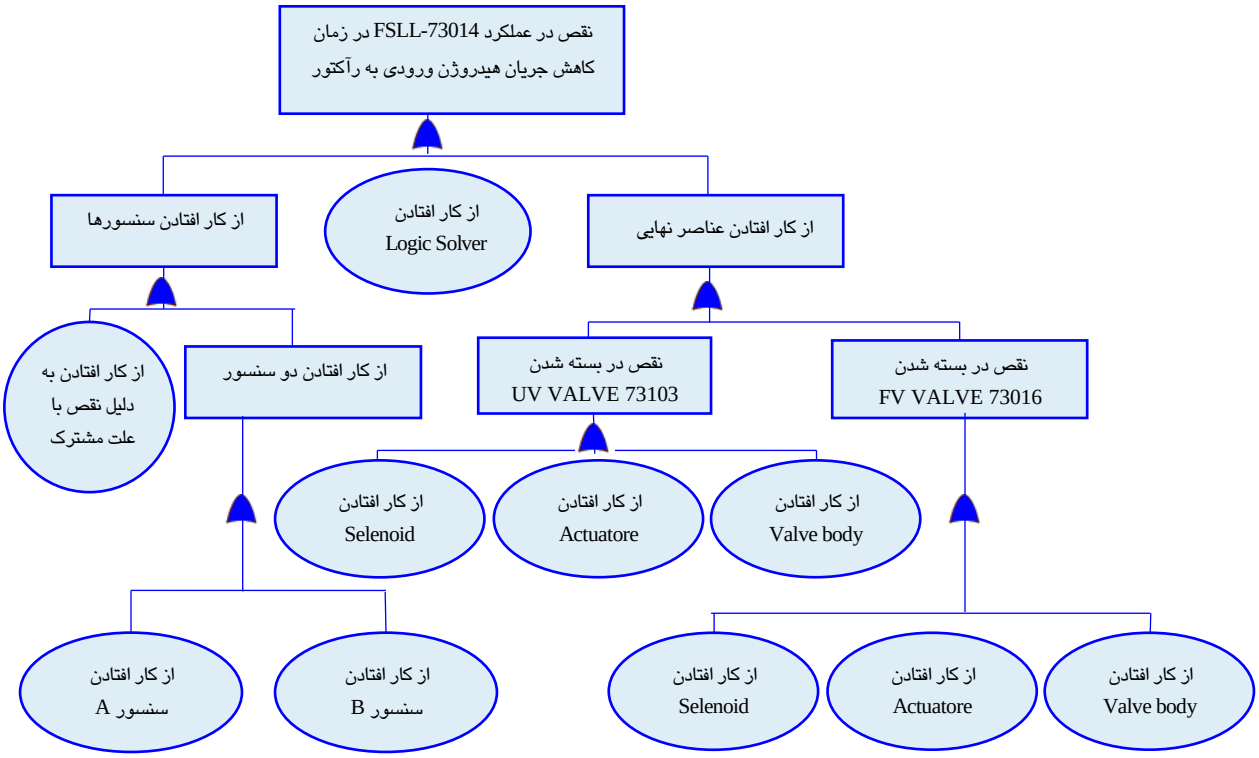
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.11.3]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3384]

جدول ۳. نمونه کاربرگ روش Layer of Protection Analysis (LOPA)

SIF یکپارچگی ایمنی		فرکانس رویداد خطرناک	حفاظ‌ها			رویداد فعال‌کننده یا شرایط تعدیل‌کننده			رویداد آغازگر			معیار ریسک (فراوانی در هر سال)		طبقه پیامد	سناریوی خطرناک و بحرانی
هدف SIL	PFD (req)		PFD	انواع IPLs	شرح	احتمال	شرح		طبقه	فرکانس	شرح	قابل قبول	غیر قابل قبول		
SIL۳	$۱۰^{-۴}$	$۱۰^{-۱}$	۱	لایه حفاظتی غیر مستقل	بدون شرح	۱	حضور کارکنان در سایت		نقص در تجهیزات	$۱۰^{-۱}$	از کار افتادن پمپ‌های A/BV۳۰۱	$۱۰^{-۵}$	$۱۰^{-۴}$	قابل توجه	قطع جریان سیال خروجی از پمپ‌های A/BV۳۰۱، افزایش شدت واکنش‌ها و افزایش شدید و ناگهانی دمای رآکتور ایزومریزاسیون در اثر کاهش سرعت فضایی، انفجار رآکتور و احتمال مرگ چند نفر از کارکنان
SIL۳	$۱۰^{-۴}$	$۱۰^{-۱}$	۱	لایه حفاظتی غیر مستقل	بدون شرح	۱	حضور کارکنان در سایت		نقص در تجهیزات	$۱۰^{-۱}$	گرفتگی صافی پمپ‌ها به وسیله جانب				

SIF: Safety Instrumented Function; SIL: Safety integrity level; PFD: Process flow diagram; IPLs: Independent protection layers

بخش دوم مطالعه: در قسمت دوم مطالعه با استفاده از روش FTA، SIL موجود سیستم مورد بررسی و ممیزی قرار گرفت. این روش مدلی گرافیکی و نموداری منطقی است که ترکیب وقایع و نواقصی که می‌توانند منجر به رویداد نامطلوب گردد را به طور کیفی مشخص می کند و سپس با تحلیل کمی این وقایع، احتمال و تکرارپذیری آن را برآورد می‌نماید و مورد ارزیابی قرار می‌دهد (۸، ۵). روش FTA، شیوه ای استنتاجی یعنی از کل به جزء است که در آن از نمادهای ریاضی و روابط جبر Boolean استفاده می شود تا رویداد اصلی را به رویدادهای پایه‌ای (Basic events) مرتبط کند. در این روش، یک رویداد نامطلوب که رویداد رأس (Top event) نامیده می‌شود، مبنا قرار داده می‌شود و علل و راه‌های منجر به بروز این رویداد اصلی، به صورت بسط از بالا به پایین مورد بررسی قرار می گیرد. جهت اجرای روش FTA مراحل «ساخت درخت خطا، تجزیه و تحلیل کیفی درخت خطا و تجزیه و تحلیل کمی درخت خطا» انجام می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲. نمونه درخت خطا ترسیم شده

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.11.3]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3384]

FTA به دو صورت کیفی و کمی انجام می‌شود. در مدل کمی، احتمال و تکرارپذیری رویداد رأس و برش‌های حداقل بر اساس اطلاعات مربوط به احتمال یا تکرارپذیری وقایع پایه (داده‌های نرخ نقص تجهیزات و داده‌های مربوط به خطاهای انسانی) و همچنین، قوانین جبر Boolean و ترکیب دروازه‌ها محاسبه می‌گردد (۹، ۸). یکی از رویکردهای کمی نمودن روش FTA، استفاده از رویکرد دروازه به دروازه می‌باشد. برای ارتباط منطقی بین وقایع در ساختار درخت خطا، از دروازه‌های AND و OR استفاده می‌شود. در رویکرد دروازه به دروازه، کمی‌سازی از وقایع پایه شروع می‌گردد و تا رسیدن به واقعه رأس به سمت بالا ادامه می‌یابد. همچنین، قبل از محاسبه خروجی دروازه، لازم است همه ورودی‌های دروازه تعریف شوند. قبل از حرکت به سطوح بالاتر، باید همه دروازه‌های پایینی محاسبه گردد (۹).

در مطالعه حاضر، عدم عملکرد SIF در زمان تقاضا به عنوان رویداد اصلی یا رأس در نظر گرفته شد و علل و راه‌های منجر به بروز این رویداد اصلی به صورت بسط از بالا به پایین در سایر اجزای تشکیل دهنده سیستم ابزار دقیق ایمنی مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام این تحلیل، ابتدا اجزای تشکیل دهنده SIS که شامل سنسور، مدار منطقی و عنصر یا عناصر نهایی می‌باشد، با استفاده از جدول Cause and Effect مشخص گردید. سپس اطلاعات مربوط به نرخ خرابی غیر قابل تشخیص تجهیزات (undetected dangerous λ) و اجزای موجود در SIS استخراج شد. این اطلاعات از طریق داده‌های ارایه شده توسط شرکت‌های سازنده تجهیزات، سایت شرکت Exida و یا از سایر منابع داده‌ای همچون OREDA به دست آمد. همچنین، جهت محاسبه احتمال نقص در زمان تقاضای هر جزء از سیستم، اطلاعات مربوط به فاصله زمانی تست یا تعمیر و نگهداری اجزا (Test interval) از بهره‌بردار (پالایشگاه) اخذ گردید. سپس با استفاده از فرمول $PFD = \frac{\lambda du * TI}{2}$، احتمال نقص در زمان تقاضای هر جزء از سیستم محاسبه شد. در پژوهش حاضر از نرم‌افزار OpenFTA جهت FTA استفاده شد. پس از ساخت درخت خطا با استفاده از نرم‌افزار مذکور، داده‌های به دست آمده از محاسبات هر جزء از سیستم وارد نرم‌افزار و احتمال عدم عملکرد در زمان تقاضای سیستم ابزار دقیق ایمنی (PFD_{SIS}) برآورد گردید.

این مقدار معادل SIL موجود سیستم می‌باشد. در هر دو روش، معیار تعیین SIL، جدول ۴ بود که توسط استاندارد IEC۶۱۵۱۱ ارایه شده است.

جدول ۴. Safety integrity level (SIL)

(مرجع: استاندارد IEC۶۱۵۱۱)

محدوده PFD	طبقه‌بندی SIL
$10^{-5} \leq PFD < 10^{-4}$	۴
$10^{-4} \leq PFD < 10^{-3}$	۳
$10^{-3} \leq PFD < 10^{-2}$	۲
$10^{-2} \leq PFD < 10^{-1}$	۱

SIL: Safety integrity level; PFD: Process flow diagram

یافته‌ها

بر اساس نتایج به دست آمده در تمامی سناریوهای منتخب، سطح یکپارچگی ایمنی مورد نیاز که از طریق روش LOPA مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۵)، با سطح یکپارچگی ایمنی موجود سیستم که با استفاده از روش FTA محاسبه شد (جدول ۶)، مطابقت داشت.

همچنین، فرکانس رویداد کاهش یافته نهایی، با معیار خطر قابل قبول پالایشگاه مطابقت داشت که این موضوع نشان دهنده کفایت IPL جهت کنترل سناریوهای خطرناک می‌باشد (جدول ۷).

از دیگر اهداف مطالعه حاضر، تعیین سطح یکپارچگی ایمنی سیستم‌های ابزار دقیق بود. با توجه به نتایج حاصل از هر دو روش IPL و FTA، از ۲۲ مورد سناریوی خطرناک انتخاب شده، ۴ مورد (۱۸/۲ درصد) SIL۱، ۱۷ مورد (۷۷/۳ درصد) SIL۲ و ۱ مورد (۴/۵ درصد) SIL۳ را به خود اختصاص دادند. نتایج پژوهش نشان داد که سناریوی ۲ (قطع جریان سیال خروجی از پمپ‌های A/B۷۳۰۱، افزایش شدت واکنش‌ها و افزایش شدید و ناگهانی دمای رآکتور ایزومریزاسیون و در نهایت انفجار رآکتور) با پیامد وارد شدن آسیب قابل توجه به واحد و بروز تلفات انسانی، از بحرانی‌ترین نقاط فرایند تولید از نقطه نظر ایمنی در واحد ایزومریزاسیون محسوب می‌شود. سناریوی مذکور بالاترین SIL۳ را در میان سایر سناریوها به خود اختصاص داد. با توجه به انطباق کامل SIL موجود سیستم با سطح مورد نیاز، هیچ موردی از انحراف معیار در سیستم مشاهده نشد که نیاز به اصلاح و یا افزایش لایه‌های حفاظتی داشته باشد.

بحث

هدف مطلوب ایمنی سیستم، توسعه یک سیستم بدون خطر می‌باشد. با این وجود، دستیابی به ایمنی مطلق امکان‌پذیر نیست؛ چرا که رهایی کامل از شرایط خطرناک همیشه امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ به ویژه هنگامی که با سیستم‌های پیچیده‌ای که به طور ذاتی خطرناک هستند، مواجه می‌باشیم. به دلیل این که اغلب این امکان وجود ندارد که همه مخاطرات حذف گردد، هدف واقع‌گرایانه، توسعه دادن سیستم با خطرات قابل قبول است (۱۰).

مطالعه Dutuit و همکاران در دانشگاه بوردو فرانسه انجام شد و نشان داد که نتایج به دست آمده از روش FTA جهت ارزیابی SIL، تا حدودی با آنچه که توسط روش‌های دقیق‌تر (مانند روش شبیه‌سازی Monte Carlo بر مبنای مدل Petri Net) به دست آمده است، یکسان می‌باشد (۱۱). نتایج پژوهش Kaymakci و همکاران که با هدف ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های ایمنی حریق در صنایع ریلی در ترکیه با استفاده از دو روش Risk graph و FTA انجام شد، حاکی از آن بود که برای ارزیابی SIL سیستم‌های پیچیده، روش FTA روش دقیق‌تری نسبت به روش Risk graph می‌باشد (۱۲). Noriyati و همکاران با انجام تحقیقی به این نتیجه رسیدند که مشعل سوپر هیتر موجود در فرایند واحد آمونیاک، یک تجهیز با خطر بالا می‌باشد که احتمال نقص در زمان تقاضای آن برابر با PFD = ۴/۳۸E−۲ و این مقدار معادل SIL۱ می‌باشد. این سطح از قابلیت اطمینان جوابگوی خطر موجود در سیستم نیست. بنابراین، به منظور کاهش خطر و ارتقای سطح ایمنی و قابلیت اطمینان فرایند، نسبت به طراحی مجدد SIS اقدام گردید. با نصب دو عدد Emergency shut-down valve (ESDV) به شکل سری بر روی خط گاز Purge gas و اضافه نمودن Pressure switch، سطح یکپارچگی ایمنی سیستم به SIL۲ ارتقا یافت (۱۳).

از نتایج مطالعه حاضر می‌توان به مواردی اشاره کرد که تحت عنوان پیشنهاد جهت بهبود و ارتقای سطح ایمنی سیستم، در ادامه عنوان شده است.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.11.3]

[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3384]

جدول ۵. نتایج تعیین Safety integrity level (SIL) هدف (Target SIL) با استفاده از روش Layer of Protection Analysis (LOPA)

آغـــازگر عملکـــرد ابزار دقیق ایمنی	سناریو	SIL
LSHH-۷۳۰۴۶	افزایش بیش از حد سطح مایع در ظرف ۷۳۰۱ به علت ورود و تجمع بیش از حد آن و خروج مایع از ظرف ۷۳۰۱ و ورود آن به کمپرسور C-۷۳۰۱A/B و آسیب به کمپرسور و از بین رفتن محصولات	SIL۲
FSLL-۷۳۰۱۳	قطع جریان سیال خروجی از پمپ‌های A/B۷۳۰۱، افزایش شدت واکنش‌ها و افزایش شدید و ناگهانی دمای رآکتور ایزومریزاسیون در اثر کاهش سرعت فضایی، انفجار رآکتور و احتمال مرگ چند نفر از کارکنان	SIL۳
FSLL-۷۳۰۱۴	قطع خوراک (هیدروژن) و واکنش گرمازای شدید و افزایش دمای رآکتور R-۷۳۰۱A/B و آسیب به رآکتور و مرگ کارکنان	SIL۱
TXSHH-۷۳۰۱۹	افزایش دمای المنت‌های برقی و سوپر هیتر H-۷۳۰۱ و آسیب به درایرهای خوراک	SIL۲
TXSHH-۷۳۰۱۷	افزایش دمای المنت‌های برقی و سوپر هیتر H-۷۳۰۱ و وارد شدن آسیب به درایرهای خوراک	SIL۲
TXSHH-۷۳۰۱۵	افزایش دمای المنت‌های برقی و سوپر هیتر H-۷۳۰۱ و وارد شدن آسیب به درایرهای خوراک	SIL۲
LSHH-۷۳۰۰۶	ارسال بیش از حد سیال از طریق پمپ P-۷۳۰۷ و افزایش سطح مایع در مبدل E-۷۳۰۶ و اختلال در عملکرد هیتر ۷۳۰۱	SIL۲
FSLL-۷۳۰۰۶	عدم وجود سیال کافی در مبدل ۷۳۰۶ و کاهش یا قطع بخارات نفتای سبک ارسالی به هیتر ۷۳۰۱ و وارد شدن آسیب و اختلال در عملکرد هیتر	SIL۲
TXSHH-۷۳۱۳۱	بالا رفتن دمای المنت‌های برقی و افزایش دمای بدنه سوپر هیتر H-۷۳۰۱ و وارد شدن آسیب به سوپر هیتر	SIL۲
TXSHH-۷۳۱۳۲	بالا رفتن دمای المنت‌های برقی و افزایش دمای بدنه سوپر هیتر H-۷۳۰۱ و وارد شدن آسیب به سوپر هیتر	SIL۲
TXSHH-۷۳۱۳۳	بالا رفتن دمای المنت‌های برقی و افزایش دمای بدنه سوپر هیتر H-۷۳۰۱ و وارد شدن آسیب به سوپر هیتر	SIL۲
LSLL-۷۳۰۱۳	کاهش سطح کاستیک در ظرف ۷۳۱۰، بسته نشدن UV-۷۳۱۰۹ و عدم جذب گاز HCL و ایجاد خوردگی در تجهیزات و سامانه سوخت مصرفی پالایشگاه	SIL۱
PSHH-۷۳۰۳۰	افزایش سریع و قابل توجه فشار برج DIH-۷۳۱۱ و بسته شدن REBOILERS A/B۷۳۰۹ و باز شدن شیرهای اطمینان و افزایش مقدار Flaring و ایجاد آلودگی زیست محیطی	SIL۲
PSHH-۷۳۰۲۳	افزایش سریع و قابل توجه فشار برج ۷۳۰۸ و بسته شدن REBOILERS A/B۷۳۱۲ و باز شدن شیرهای اطمینان ها و افزایش مقدار Flaring و ایجاد آلودگی زیست محیطی	SIL۲
LSLL-۷۳۰۳۲	کاهش سطح مایع در ظرف ۷۳۰۶، بسته شدن UV خروجی ظرف ۷۳۰۶ و از کار افتادن پمپ‌های A/B۷۳۰۱ و امکان افزایش دمای ناگهانی رآکتور در اثر کاهش سرعت فضایی و وارد شدن آسیب به رآکتور	SIL۱
LSLL-۷۳۰۳۳	کاهش سطح مایع در ظرف ۷۳۰۸، بسته نشدن FV خروجی ظرف ۷۳۰۸ و ورود گاز هیدروژن به همراه کلر به برج DIH ، افزایش فشار برج و ایجاد خوردگی در تجهیزات و آسیب به جاذب‌های رطوبت	SIL۱
PAL-۷۳۱۴۲	کاهش بیش از حد فشار خروجی پمپ‌های A/B۷۳۰۱، افزایش دمای ناگهانی رآکتور وآسیب به آن	SIL۲
PAL-۷۳۱۴۳	کاهش بیش از حد فشار خروجی پمپ‌های A/B۷۳۰۱ و ایجاد اختلال در فرایند	SIL۲
PAL-۷۳۱۴۴	کاهش بیش از حد فشار خروجی پمپ‌های A/B۷۳۰۱ و ایجاد اختلال در فرایند	SIL۲
PSLL-۷۳۱۴۲	کاهش فشار خروجی پمپ‌های A/B۷۳۰۱ به علت گرفتگی مسیر (صافی) و داغ شدن پوسته پمپ و وارد شدن آسیب به پمپ	SIL۲
PSLL-۷۳۱۴۳	کاهش فشار خروجی پمپ‌های A/B۷۳۰۱ به علت گرفتگی مسیر (صافی) و داغ شدن پوسته پمپ و وارد شدن آسیب به پمپ	SIL۲
PSLL-۷۳۱۴۴	کاهش فشار خروجی پمپ‌های A/B۷۳۰۱ به علت گرفتگی مسیر (صافی) و داغ شدن پوسته پمپ و وارد شدن آسیب به پمپ	SIL۲

SIL: Safety integrity level

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.11.3]

[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3384]

جدول ۶. نتایج ارزیابی Safety integrity level (SIL) موجود سیستم با استفاده از روش Fault tree analysis (FTA)

آغازگر عملکرد ابزار دقیق ایمنی (SIF Initiator)	شرح عملکرد ابزار دقیق ایمنی (SIF)	تعیین SIL از طریق روش FTA
LSHH-۷۳۰۴۶	در صورت وجود سطح بالای مایع در V-7301، موجب متوقف شدن کمپرسور 7301A/B می‌شود.	SIL۲
FSLL-۷۳۰۱۳	در صورت کاهش بیش از حد هیدروژن ورودی به راکتور، موجب بسته شدن UV-73103، FV-73016 و UV-73101 می‌شود.	SIL۳
FSLL-۷۳۰۱۴	در صورت کاهش بیش از حد هیدروژن ورودی به مبدل، موجب بسته شدن UV-73103 و FV-73016 می‌شود.	SIL۱
TXSHH-۷۳۰۱۹	در صورت افزایش دمای المنت برقی سوپر هیتر (Inlet Bundle)، موجب خاموش شدن هیتر H-7301 می‌شود.	SIL۲
TXSHH-۷۳۰۱۷	در صورت افزایش دمای المنت برقی سوپر هیتر (Intermediate Bundle)، موجب خاموش شدن هیتر H-7301 می‌شود.	SIL۲
TXSHH-۷۳۰۱۵	در صورت افزایش دمای المنت برقی سوپر هیتر (Outlet Bundle)، موجب خاموش شدن هیتر H-7301 می‌شود.	SIL۲
LSHH-۷۳۰۰۶	در صورت وجود سطح بالای مایع در بخار ساز، موجب خاموش شدن هیتر H-7301 می‌شود.	SIL۲
FSLL-۷۳۰۰۶	در صورت کاهش بیش از حد جریان در مولد بخار، موجب خاموش شدن هیتر H-7301 می‌شود.	SIL۲
TXSHH-۷۳۱۳۱	در صورت افزایش دمای المنت برقی (Inlet Bundle) و بالا رفتن دمای بدنه هیتر، موجب خاموش شدن هیتر H-7301 می‌شود.	SIL۲
TXSHH-۷۳۱۳۲	در صورت افزایش دمای المنت برقی (Intermediate Bundle) و بالا رفتن دمای بدنه هیتر، موجب خاموش شدن هیتر H-7301 می‌شود.	SIL۲
TXSHH-۷۳۱۳۳	در صورت افزایش دمای المنت برقی (Outlet Bundle) و بالا رفتن دمای بدنه هیتر، موجب خاموش شدن هیتر H-7301 می‌شود.	SIL۲
LSLL-۷۳۰۱۳	در صورت کاهش بیش از حد سطح مایع در V-7310، موجب بسته شدن UV-73109 می‌شود.	SIL۱
PSHH-۷۳۰۳۰	در صورت افزایش فشار در Deisohexaniser (V-7311)، موجب بسته شدن مسیر بخار از طریق بستن UV-73111، FV-73029 و FV-73030 می‌شود.	SIL۲
PSHH-۷۳۰۲۳	در صورت افزایش فشار در Stabilizer (V-7308)، موجب بسته شدن مسیر بخار از طریق بستن UV-73107، FV-73019 و UV-73020 می‌شود.	SIL۲
LSLL-۷۳۰۳۲	در صورت کاهش بیش از حد سطح مایع در Feed Surge Drum (V-7306)، موجب بسته شدن UV-73101 و توقف پمپ‌های P-7301A/B می‌شود.	SIL۱
LSLL-۷۳۰۳۳	در صورت کاهش بیش از حد سطح مایع در Stabilizer (V-7308)، موجب بسته شدن UV-73028 می‌شود.	SIL۱
PAL-۷۳۱۴۲	در صورت ارسال آلارم کاهش فشار خروجی پمپ شارژ (P-7301A/B)، موجب می‌شود پمپ‌های P-7301A/B به شکل خودکار و همزمان روشن شوند.	SIL۲
PAL-۷۳۱۴۳	در صورت ارسال آلارم کاهش فشار خروجی پمپ برگشت Stabilizer (P-7303)، موجب می‌شود پمپ‌های P-73010A/B به شکل خودکار و همزمان روشن شوند.	SIL۲
PAL-۷۳۱۴۴	در صورت ارسال آلارم کاهش فشار خروجی پمپ (P-73010)، موجب می‌شود پمپ‌های P-73010A/B به شکل خودکار و همزمان روشن شوند.	SIL۲
PSLL-۷۳۱۴۲	در صورت کاهش بیش از حد فشار در خروجی پمپ شارژ (P-7301)، موجب می‌شود پمپ خاموش شود.	SIL۲
PSLL-۷۳۱۴۳	در صورت کاهش بیش از حد فشار در خروجی پمپ برگشت Stabilizer (P-7303)، موجب می‌شود پمپ خاموش شود.	SIL۲
PSLL-۷۳۱۴۴	در صورت کاهش بیش از حد فشار در خروجی پمپ برگشت Deisohexaniser (P-73010)، موجب می‌شود پمپ خاموش شود.	SIL۲

SIL: Safety integrity level; FTA: Fault tree analysis; SIF: Safety Instrumented Function

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.11.3]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3384]

جدول ۷. نتایج ارزیابی Safety integrity level (SIL) در واحد ایزومریزاسیون پالایشگاه اصفهان با استفاده از روش‌های Layer of Protection Analysis (LOPA) و Fault tree analysis (FTA)

آغازگر عملکرد ابزار دقیق ایمنی	معیار خطر قابل قبول	تعیین SIL از طریق روش LOPA	تعیین SIL از طریق روش FTA	احتمال رویداد کاهش یافته نهایی	SIL verification
LSHH-V۳۰۴۶	$۱۰^{-۳}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۳}$	Ok
FSLL-V۳۰۱۳	$۱۰^{-۵}$	SIL۳	SIL۳	$۱۰^{-۵}$	Ok
FSLL-V۳۰۱۴	$۱۰^{-۵}$	SIL۱	SIL۱	$۱۰^{-۵}$	Ok
TXSHH-V۳۰۱۹	$۱۰^{-۳}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۳}$	Ok
TXSHH-V۳۰۱۷	$۱۰^{-۳}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۳}$	Ok
TXSHH-V۳۰۱۵	$۱۰^{-۳}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۳}$	Ok
LSHH-V۳۰۰۶	$۱۰^{-۳}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۳}$	Ok
FSLL-V۳۰۰۶	$۱۰^{-۳}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۳}$	Ok
TXSHH-V۳۱۳۱	$۱۰^{-۳}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۳}$	Ok
TXSHH-V۳۱۳۲	$۱۰^{-۳}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۳}$	Ok
TXSHH-V۳۱۳۳	$۱۰^{-۳}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۳}$	Ok
LSLL-V۳۰۱۳	$۱۰^{-۳}$	SIL۱	SIL۱	$۱۰^{-۳}$	Ok
PSHH-V۳۰۳۰	$۱۰^{-۵}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۵}$	Ok
PSHH-V۳۰۲۳	$۱۰^{-۵}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۵}$	Ok
LSLL-V۳۰۳۲	$۱۰^{-۳}$	SIL۱	SIL۱	$۱۰^{-۳}$	Ok
LSLL-V۳۰۳۳	$۱۰^{-۳}$	SIL۱	SIL۱	$۱۰^{-۳}$	Ok
PAL-V۳۱۴۲	$۱۰^{-۳}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۳}$	Ok
PAL-V۳۱۴۳	$۱۰^{-۳}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۳}$	Ok
PAL-V۳۱۴۴	$۱۰^{-۳}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۳}$	Ok
PSLL-V۳۱۴۲	$۱۰^{-۳}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۳}$	Ok
PSLL-V۳۱۴۳	$۱۰^{-۳}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۳}$	Ok
PSLL-V۳۱۴۴	$۱۰^{-۳}$	SIL۲	SIL۲	$۱۰^{-۳}$	Ok

SIL: Safety integrity level; FTA: Fault tree analysis; LOPA: Layer of Protection Analysis

لزوم بازنگری و به روز نمودن برنامه مدیریت واکنش در شرایط اضطراری (Emergency Response Plan یا ERP) در واحد ایزومریزاسیون و در سطح پالایشگاه با توجه به وجود سناریوهایی که دارای سطح خطر بالا می‌باشند و علاوه بر خسارات مالی و تلفات انسانی در سایت، موجب تهدیدات زیست محیطی در خارج از سایت می‌گردند.

با وجود قابلیت اعتماد کمتر به مداخلات اپراتوری نسبت به کنترل‌های مهندسی، پیگیری و اجرای برنامه آموزش مستمر کارکنان، تدوین و یا بازنگری دستورالعمل‌های واکنش در شرایط اضطراری واحد و اجرای مانورها و تمرین کارکنان بر اساس دستورالعمل‌های واکنش در شرایط اضطراری واحد توصیه می‌گردد. این امر باعث ایجاد آمادگی و ارتقای قابلیت‌های انسانی و ایفای نقش بهتر کارکنان در زمان بروز شرایط اضطراری می‌شود.

حفظ سطح یکپارچگی ایمنی موجود، منوط به سالم بودن تجهیزات کنترلی و عدم وقوع نقص فنی در عملکرد آن‌ها می‌باشد. بنابراین، یکی از نتایج حاصل از پژوهش حاضر که به منظور کاهش حوادث و ارتقای سطح ایمنی فرایند می‌توان به آن اشاره کرد، ارایه پیشنهاد به منظور برنامه‌ریزی جهت نگهداری و تعمیرات سیستم ابزار دقیق ایمنی مبتنی بر قابلیت اطمینان (Reliability Centered Maintenance یا RCM) است. RCM یک برنامه نت زمان‌بندی شده است که حداکثر ایمنی و قابلیت اطمینان یک تجهیز را تضمین می‌نماید و این احتیاجات را با کمترین هزینه برآورده می‌سازد.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اجرای روش آنالیز لایه‌های حفاظتی، مستلزم داشتن اطلاعات و دانش گسترده افراد از فرایند و درک عمیق از سیستم‌های موجود و داشتن تخصص، مهارت و تجربه مناسب تیم انجام دهنده این روش می‌باشد. این امر در صحت و دقت نتایج، تعیین‌کننده است. این مورد در بیشتر مطالعاتی که با استفاده از روش LOPA انجام شده، مورد تأکید قرار گرفته است (۱۶-۱۴). مطالعه حاضر بیشتر بر محاسبه و پیش‌بینی احتمال بروز سناریوهای خطرناک متمرکز بود و کفایت لایه‌های حفاظتی در برابر این سناریوها را بررسی نمود. پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آینده و به منظور تعیین علل ریشه‌ای سناریوها و پیامدهای خطرناک آن‌ها، از تحلیل علل ریشه‌ای (Root cause analysis یا RCA) و روش‌های مرتبط با آن مانند FTA، Management Oversight and Risk Tree (MORT) و یا Tripod Beta استفاده گردد. در نهایت، لازم به ذکر است که بر اساس مقالات و مطالعات موجود، بیشتر تحقیقاتی که در داخل کشور به منظور تعیین سطح یکپارچگی ایمنی با استفاده از روش LOPA انجام شده است، تنها به مشخص و تعیین نمودن Target SIL پرداخته‌اند (۲۱-۱۶)، اما در پژوهش حاضر ضمن تعیین SIL مورد نیاز سیستم از طریق روش LOPA، اقدام به ممیزی سیستم و ارزیابی قابلیت اطمینان آن با استفاده از روش FTA گردید.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.11.3]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3384]

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج بـه دسـت آمـده از مطالعـه حاضـر، طراحـی دقیـق و اسـتفاده از تجهیزات به روز و جدید در واحد ایزومریزاسیون، منجر به ایجاد سطح مناسبی از قابلیت اطمینان و ایمنی در این فرایند شد.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر برگرفته از پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد مهندسی ایمنـی صنعتی دانشکده سلامت، ایمنی و محـیط زیسـت دانشـگاه علـوم پزشـکی شهید بهشتی می‌باشد که با کد IR.SBMU.RETECH 1396.198 در معاونت پژوهشی این دانشگاه ثبت گردید و با حمایت و پشـتیبانی شـرکت پالایش نفت اصفهان صورت گرفت. بدین وسـیله از مـدیران، مسـؤولان و کارکنان شرکت پالایش نفت اصفهان بـه ویـژه اداره پـژوهش و فـن‌آوری، مـدیریت و کارکنـان HSE، ریاسـت منطقـه بنـزین‌سـازی و سرپرسـت و کارکنان واحد ایزومریزاسیون، به جهـت مسـاعدت در انجـام ایـن تحقیـق، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

1. Billinton R, Allan RN. Reliability evaluation of engineering systems: Concepts and techniques. Trans. Rezaeian M. Tehran, Iran: Amirkabir University of Technology Publication; 1992. p. 796. [In Persian].
2. Dormohammadi A, Zarei E. Semi quantitative and quantitative risk assessment in process industries with focus on techniques of QRA, LOPA, DOW index. Tehran, Iran: Fanavaran Publications; 2014. p. 252. [In Persian].
3. Jahangiri M, Norozi-Chegini MA. Risk assessment & management. Tehran, Iran: Fanavaran Publications; 2012. [In Persian].
4. CCPS (Center for Chemical Process Safety). Layer of Protection analysis: Simplified process risk assessment. Hoboken, NJ: Wiley; 2001. [In Persian].
5. Abdolhamidzadeh B, Badri N. Quantitative and qualitative risk assessment in process industries and describing methods for identifying industrial hazards with a focus on the HAZOP approach. Tehran, Iran: Andishesara Publications; 2010. [In Persian].
6. International Electrotechnical Commission. Functional Safety of Electrical/electronic/programmable Electronic Safety-related Systems: Guidelines on the application of IEC 61508.2 and IEC 61508.3. Geneva, Switzerland: IEC; 2010.
7. American Institute of Chemical Engineers, Center for Chemical Process Safety. Guidelines for initiating events and independent protection layers in layer of protection analysis. Hoboken, NJ: Wiley; 2014.
8. Mirzaei Aliabadi M, Mohammad Fam I, Kalatpour O, Babayi Mesdaraghi Y. Risk assessment of liquefied petroleum gas (LPG) storage tanks in the process industries using the Bowtie technique. Journal of Occupational Hygiene Engineering 2016; 3(2): 1-11. [In Persian].
9. Jahangiri M, Norozi M, Sareban Zadeh K. Risk assessment & management. Tehran, Iran: Fanavaran Publications; 2013. [In Persian].
10. Ericson CA. Hazard analysis techniques for system safety. Trans. Moudi MA, Akbari J, Barakat S, Safari S, Shakerian M. Tehran, Iran: Fadak Isatis; 2015. p. 570. [In Persian].
11. Dutuit Y, Innal F, Rauzy A, Signoret JP. Probabilistic assessments in relationship with safety integrity levels by using Fault Trees. Reliability Engineering & System Safety 2008; 93(12): 1867-76.
12. Kaymakci OT, Ustoglu I, Divriklioglu E. Reliability assessment of fire safety systems in railway industry: A case study. Journal of the Chinese Institute of Engineers 2015; 38(3): 286-96.
13. Noriyati RD, Prakoso AB, Musyafa A, Soeprijanto A. HAZOP study and determination of safety integrity level using fault tree analysis on fuel gas superheat burner of ammonia unit in petrochemical plant, East Java. Asian J Applied Sci 2017; 5(2): 396-409.
14. Markowski AS, Sam Mannan M. ExSys-LOPA for the chemical process industry. J Loss Prev Process Ind 2010; 23(6): 688-96.
15. Myers PM. Layer of protection analysis quantifying human performance in initiating events and independent protection layers. J Loss Prev Process Ind 2013; 26(3): 534-46.
16. Lajevardi SS, Jafari MJ, Mohammadfam I. Determining safety integrity level on a hydrogen production unit with application of the layers of protection analysis method. Safety Promotion and Injury Prevention 2014; 2(1): 23-30. [In Persian].
17. Habibi E, Keshavarzi M, Yousefi Rizi HA, Hasanzadeh A. Outcome analysis of major accidents and determining the safety integrity level of processes in sour water stripping unit of gas refinery using lopa technique. J Health Syst Res 2011; 7(3): 301-14. [In Persian].
18. Rafan MH, Nemati Paridari M. Using the fuzzy model to layers of protection analysis in estimating the safety integrity level of oil pipeline transmission. Proceedings of the 8th Symposium advances in Science and Technology Commission-IV; 2014 Feb. 6; Mashhad, Iran. [In Persian].
19. Jafari M, Askarian A, Omidi L, Miri Lavasani MR, Taghavi L, Ashori A. The assessment of independent layers of protection in gas sweetening towers of two gas refineries. Journal of Safety Promotion and Injury Prevention 2014; 2(2): 103-12. [In Persian].
20. Hosseini AA, Nemati A. Using HAZOP and LOPA methods for determining of safety integrity level (SIL) for ESDs on hydrogen production unit of a petrochemical plant. Proceedings of the 3rd International Conference on Oil, Gas & Petrochemical; 2015 Dec. 13-4; Tehran, Iran. [In Persian].
21. Yarmohammadi F, Varshosaz K, Paridari N, Mohammadfam I. Layer of protection analysis (LOPA) of the MTBE tanks of Shiraz refinery. Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Development, Solutions and Challenges Focusing on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism Tabriz; 2015 Feb 24-26; Tabriz, Iran. [In Persian].

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.11.3]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3384]

DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3384 Published by Vesnu Publications

Journal of Health System Research Vol. 14, No. 2, Summer

Received: 08.01.2018 Accepted: 10.03.2018 Published: 06.07.2018

Evaluating the Effectiveness of Safety Instrumented Systems Using Layer of Protection Analysis and Fault Tree Analysis in the Isomerization Unit of Isfahan Oil Refinery, Iran

Mahdi Ghasempur[1], Reza Gholamnia[2], Mousa Jabbari[3], Amir Hossein Matin[4], Abbas Aghababaee[5]

Original Article

Abstract

Background: Investigating the hazardous factors and points in process industries through risk management and evaluation for preventing accidents is particularly important. Oil and gas refineries have several risks such as fire, explosion, or the release of toxic substances, which might have catastrophic and irremediable consequences. Conducting safety integrity level (SIL) studies in the process industries for assessing safety status and reliability of complex engineering systems is of particular importance. This study aimed to investigate the effectiveness of safety instrumented systems (SIS) in the isomerization unit of the gasoline production complex of Isfahan oil refinery, Iran.

Methods: In the first part of the study, the semi-quantitative method of layer of protection analysis (LOPA) was used to analyze the layers of protection and determine the required SIL of the system (target SIL). In the second part, using the fault tree analysis (FTA), the existing SIL of the system was verified.

Findings: In all selected scenarios, the existing SIL of system is consistent with the required SIL (target SIL). The frequency of final reduced event corresponded to the acceptable risk standard of the refinery as well, which indicated the adequacy of the existing independent protection layers (IPLs).

Conclusion: Accurate designing and using the state-of-the-art equipment lead to an acceptable level of safety in this process, and the system is working with a proper reliability.

Keywords: Process industries, Risk assessment, Layers of protection analysis, Fault tree analysis, Safety integrity level

Citation: Ghasempur M, Gholamnia R, Jabbari M, Matin AH, Aghababaee A. **Evaluating the Effectiveness of Safety Instrumented Systems Using Layer of Protection Analysis and Fault Tree Analysis in the Isomerization Unit of Isfahan Oil Refinery, Iran.** J Health Syst Res 2018; 14(2): 204-14.

1- Department of Industrial Safety, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Department of Health, Safety and Environment, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
3- Associate Professor, Department of Industrial Safety, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
4- Lecturer, Department of Industrial Safety, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
5- Industrial Consultant, Isfahan Oil Refinery, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Reza Gholamnia, Email: gholamnia@sbmu.ac.ir

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.11.3]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3384]