JOHE
Journal of Occupational Hygiene Engineering
J Occup Hyg Eng, 2024; 11(3): 222-234 Doi: 10.32592/joohe.11.3.222
https://johe.umsha.ac.ir
UMSHA Press

Case Report

Determination of Safety Integrity level using HAZOP Study and Layer of Protection Analysis (LOPA) in Emergency Shutdown Systems (A Case Study in CPF)

Sajad Afshari[1], *Iraj Mohammad Fam*[1*], *Omid Kalatpour*[1]

1. *Department of Ergonomics, Health in Emergency and Disaster Research Center, Univercity of Social Welfare and Rehabilitation Science, Tehran, Iran*

Article history:
Received: 12 October 2024
Revised: 19 January 2025
Accepted: 17 March 2025
ePublished: 02 July 2025

***Corresponding author**: Sajad Afshari, Department of Ergonomics, Health in Emergency and Disaster Research Center, Univercity of Social Welfare and Rehabilitation Science, Tehran, Iran

E-mail: sajad.afshari111@gmail.com

Abstract

Background and Objective: *Considering the high severity of accidents in process industries, determining the safety integrity level (SIL) is a necessity for adequacy and resistance of the used protective layers. The present study aimed to assess the SIL of emergency shutdown systems (ESD) in the oil lines of a field.*

Materials and Methods: *In this study, the HAZOP method was used to identify dangerous scenarios, and layer of protection analysis (LOPA) was employed to determine SIL in ESD. Dangerous scenarios identified using the HAZOP method were extracted and entered into the LOPA worksheet (PHA Pro8). In the LOPA method, the frequency of the initiating event, independent protective layers, and the tolerable level of risk were determined, and SIL was determined accordingly.*

Results: *The results demonstrated that the main dangers of the desalting unit are related to pressure increase, increase and decrease in surface area, leakage of hydrocarbon materials, dangers of H2S gas, ignition, and explosion. Independent protection layers in the oil line are adequate and, if needed, can significantly reduce the risk. The most important cause of fires and explosions in oil rows has been the reduction of the hydrocarbon liquid level in the desalter tank.*

Conclusion: *The current research pointed out that the significant and fundamental difference between construction and design phases requires a review of the safety systems. Among these changes, we can refer to a change in the SIL of ESD.*

Keywords: *Processing industries, Hazard and operability study ,Layers of protection analysis*

Please cite this article as follows: *Afshari S, Mohammad fam I, Kalatpour O. Determination of Safety Integrity level using HAZOP Study and Layer of Protection Analysis (LOPA) in Emergency Shutdown Systems (A Case Study in CPF). J Occup Hyg Eng. 2024; 11(3): 222-234. DOI: 10.32592/joohe.11.3.222*

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-08-21]

Copyright *© 2024 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite*

Extended Abstract

Background and Objective

Industries play an important role in the economies of countries; however, due to the nature of the materials and processes, there is a high risk of accidents in the oil, gas, and petrochemical industries that have serious human and financial consequences. Major accidents, such as the Bhopal disaster in India (more than 5,000 killed), the Piper Alpha oil platform (168 killed), and similar accidents in Iran, such as the petrochemical fire in Bandar Imam (8 killed) demonstrate the importance of safety in these industries. Regarding the significance of the first and second layers of protection in reducing the probability of accidents and the necessity of conducting Hazard and Operations Guidance (HAZOP) studies, the present study was conducted in the desalination unit of the central processing facility, which has the highest risk of fire and explosion. The Layer of Protection Analysis (LOPA) method was employed as a semi-quantitative technique to assess the risk and determine the adequacy of independent layers of protection in this study. This method helps to determine the level of safety integrity of the instrumentation systems and improve them if necessary. Today's industrial processes are automated and computer-controlled, involving high energies with the potential for catastrophic events. Engineered safety systems, especially emergency stop systems, are essential as critical layers of protection to protect people and equipment. These systems must be reliable and safely stop the process in an emergency. International standards, such as ANSI/ISA S84.01 and IEC 61508 provide guidance to ensure the proper functioning of these systems. Organizations, such as IEC and ISA have also adopted the LOPA method as a standard for determining the level of safety integrity of precision instrumentation systems. This study aimed to evaluate and determine the level of safety integrity of emergency stop systems of the desalination unit of a central processing site of an oil field in order to provide necessary suggestions to increase safety and prevent process accidents.

Materials and Methods

This study is an example of risk assessment in process industries, especially the oil and gas industry, focusing on the desalination unit, which was selected due to the nature of the process and hazards, such as fire, explosion, and toxic gas leakage. To conduct the study, process drawings, equipment, instrumentation, and operating instructions were received from the engineering unit. The two main methods used were HAZOP and LOPA. In the HAZOP assessment, process deviations in nodes were identified using keywords, and their causes were analyzed. Subsequently, the consequences of each deviation were examined without considering the protective layers. The existing protective layers were also examined using P&ID drawings. The importance of analyzing the potential effects of deviations was considered not only in terms of safety but also for improving product quality and operations. The results obtained from HAZOP analysis were qualitatively assessed and corrective actions were suggested in case of ambiguity due to missing information. In the next step, hazardous scenarios were extracted and entered into the LOPA worksheet using PHA Pro software. In the LOPA method, key factors, such as the frequency of initiating events, the effectiveness of protective layers, and the acceptable risk level were analyzed and the required Safety Integrity Level (SIL) was determined. This process was implemented in 13 steps according to the IEC 61511 standard. For each scenario, specific and responsible corrective actions and their review time were determined to reduce risk and increase operational safety, as well as job satisfaction.

Results

The risk assessment of a desalination unit was conducted in this study. Initially, by reviewing the system and process drawings, the unit was divided into smaller nodes, and five operational nodes were selected for the HAZOP study. Based on the process deviations, 25 hazardous scenarios were identified and an emergency shutdown system and SIL were determined for each. Risk criteria were determined based on the severity of the consequences (1-3 fatalities) and international standards. The initial causes of the accidents included defects in the BPCS instrumentation loop of the inlet control valve and operator error, the frequencies of which were determined using CCPS tables. Independent protective layers included liquid level measuring equipment (LALL-5011), human alarms and interventions, pressure gauges (PT-5001), and pressure relief valves. The operator presence factor in the area was assumed to be 0.3 and the probability of fluid ignition was assumed to be 0.5, which was determined based on the nature of the fluid and pressure. The two significant initiating cause-event pairs are: instrumentation failure of the inlet control valve and operator error. Following this, the pressure inside the desalter decreases, increasing the likelihood of two-phase (vapor) formation. Under normal conditions, the desalter should always remain completely full. Using PHA Pro software, the Target Event Frequency, Mitigated Event Frequency, and Risk Reduction Factor values were estimated at 1×10^-6, 3×10^-7, and 10^3, respectively, and finally, a SIL of 3 was determined for the emergency stop system.

Discussion

This study was conducted to determine the SIL for Emergency Shutdown (ESD) systems in a desalination unit. The significance of this study lies in the fact that process industries are prone to accidents, such as fire, explosion, and gas leakage due to the type of materials and energies used. Therefore, the use of protective layers, especially emergency shutdown systems, plays a key role in reducing risks. IEC 61508 and IEC 61511 standards provide the framework for the design and implementation of safety instrumentation systems (SIS). The LOPA method was used as a semi-quantitative tool to determine the safety level of SIS systems, which was applied after a Hazop study and the identification of 25 hazardous scenarios. In the unit under assessment, 15 ESD systems were identified, each of which may cover several hazard scenarios. The most dangerous scenario

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-08-21]

was related to the level reduction in the desalter tank and the consequences of fire and explosion. In this case, using the PHA Pro software, the SIL3 level was determined for the emergency stop system. To reduce the costs associated with achieving SIL3, it is proposed to reduce the required SIL level by adding independent protection layers. Previous studies have also shown that LOPA is faster and less resource-intensive than methods, such as FTA, and has a greater focus on severe outcomes and independent layers of protection. Regarding the limitations of this study, one can indicate the time-consuming nature of accessing evidence and the lack of similar domestic studies. Finally, the difference between the SIL determined at the design stage (SIL Design) and the actual level (SIL Actual) based on the implementation drawings was examined. These differences indicate the need to review and adapt the actual safety level to the designed requirements.

Conclusion

Considering the difference between the SIL assigned to each emergency stop system at the design stage and the construction stage, this study was conducted using the latest approved drawings to identify this discrepancy. It was revealed that the emergency stop systems assigned at the design stage had no one-to-one ratio for the risk scenarios existing at the operation stage and were different. Therefore, action should be taken during operation regarding the occurrence and assessment of risks. In this study, the most dangerous scenario is the criterion for assigning the SIL to emergency stop systems, so that lower scenarios are also covered.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-08-21]

JOHE
مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای
دوره ۱۱، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، صفحات: ۲۳۴-۲۲۲
https://johe.umsha.ac.ir
UMSHA Press

مقاله موردی

تعیین سطح یکپارچگی ایمنی با استفاده از روش *HAZOP STUDY* و آنالیز لایه‌های حفاظتی در سیستم های توقف اضطراری (مطالعه موردی واحد نمک‌زدایی واحد فراورش مرکزی سایت *CPF*)

سجاد افشاری [۱]، ایرج محمدفام [۱*]، امید کلات‌پور [۱]

۱. گروه ارگونومی، مرکز تحقیقات سلامت در حوادث و بلایا، دانشگاه علوم توان بخشی و سلامت اجتماعی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱
تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۲۷
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۴/۰۴/۱۱

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* **نویسنده مسئول:** سجاد افشاری، گروه ارگونومی، مرکز تحقیقات سلامت در حوادث و بلایا، دانشگاه علوم توان بخشی و سلامت اجتماعی، تهران، ایران

ایمیل: *sajad.afshari111@gmail.com*

چکیده

سابقه و هدف: باتوجه‌به شدت بالای حوادث در صنایع فرایندی، تعیین سطح یکپارچگی ایمنی برای کفایت و مقاومت لایه‌های حفاظتی مورداستفاده، یک ضرورت است. در این مطالعه، سطح یکپارچگی ایمنی سیستم‌های توقف اضطراری در ردیف‌های نفتی یک میدان ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، از دو روش مطالعه خطر و راهبری عملیات برای شناسایی سناریوهای خطرناک و آنالیز لایه‌های حفاظتی برای تعیین سطح یکپارچگی ایمنی موردنیاز سیستم‌های ابزاردقیق استفاده شد. سناریوهای خطرناک شناسایی‌شده در روش *Hazop* استخراج و وارد کاربرگ آنالیز لایه‌های حفاظتی (*PHA Pro8*) شدند. در روش آنالیز لایه‌های حفاظتی، فراوانی رویداد آغازگر، لایه‌های حفاظتی مستقل و سطح قابل‌تحمل ریسک مشخص، و براساس آن سطح، یکپارچگی ایمنی تعیین شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد عمده مخاطرات واحد نمک‌زدایی مربوط به افزایش فشار، افزایش و کاهش سطح، نشت مواد هیدروکربنی و خطرهای گاز هیدروژن سولفید، انفجار و اشتعال است. لایه‌های حفاظتی مستقل موجود در ردیف‌های نفتی مناسب است و در صورت نیاز، لایه‌های حفاظتی مستقل می‌تواند به‌طور معناداری خطر را کاهش دهد. مهم‌ترین علت آتش‌سوزی و انفجار در ردیف نفتی، کاهش سطح مایع هیدروکربنی در مخزن دیسالتر بوده است.

نتیجه‌گیری: این پژوهش نشان می‌دهد که اختلاف چشمگیر و واقعی ساخت و بهره‌برداری با مرحله طراحی نیازمند بازنگری در سیستم‌های ایمنی است که ازجمله این تغییرات می‌توان به تغییر در سطح یکپارچگی ایمنی سیستم‌های توقف اضطراری (*ESD*) اشاره کرد.

واژگان کلیدی: صنایع فرایندی، مطالعه عملیات و خطر، آنالیز لایه‌های حفاظتی

استناد: افشاری، سجاد؛ محمدفام، ایرج؛ کلات‌پور، امید. تعیین سطح یکپارچگی ایمنی با استفاده از روش *Hazop Study* و آنالیز لایه‌های حفاظتی در سیستم‌های توقف اضطراری (مطالعه موردی واحد نمک‌زدایی واحد فراورش مرکزی سایت *CPF*). مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای، پاییز ۱۴۰۳؛۱۱(۳): ۲۲۲-۲۳۴

مقدمه

صنایع نقش بسیار مهمی در اقتصاد کشورها دارند. به نسبت رشد صنایع، خطرهای تولید، فرآوری و نگه‌داری محصولات آن‌ها به‌طور چشمگیری در حال افزایش است. در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی به علت ماهیت مواد، تجهیزات و فرایندها، ریسک بروز حوادث زیاد است [۱، ۲]. پیامدهای جانی و مالی حوادث این صنایع بسیار سهمگین و متفاوت‌تر از سایر صنایع است [۳]. تاریخ حوادث این صنایع، شاهدی بر تعدد وقوع حوادث و تلفات جانی است. حادثه بوپال هند (بیش از ۵۰۰۰ کشته)، مکزیکوسیتی سال ۱۹۸۴ (۵۰۰ کشته)، فیزین فرانسه سال ۱۹۹۶ (۲۰ کشته)، سکوی نفتی پایپر آلفا سال ۱۹۸۸ (۱۶۸ کشته)، فلیپس ۶۶ پاسادانا سال ۱۹۸۹ (۲۳ کشته) و بی‌پی تگزاس‌سیتی سال ۲۰۰۵ (۲۳ کشته) مواردی از حوادث فرایندی هستند. در ایران نیز می‌توان به حادثه آتش‌سوزی پتروشیمی بندر امام در سال ۱۳۹۱ (هشت کشته) و پالایشگاه تهران در سال ۱۳۹۶ (شش کشته) اشاره کرد [۴-۷].

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-08-21]

باتوجه‌به شدت حوادث فرایندی و اهمیت لایه‌های حفاظتی اول و دوم در کاهش احتمال حوادث و نظر به حوادث به‌وقوع‌پیوسته‌ای که از علل غیرمستقیم آن‌ها می‌توان به انجام ندادن مطالعات *Hazop* اشاره کرد، این مطالعه ضروری به نظر می‌رسد [۵] در واحد نمک‌زدایی تأسیسات فراورش مرکزی، که بالاترین میزان ریسک آتش‌سوزی و انفجار وجود دارد، مطالعات *Hazop* انجام، و برای ارزیابی حفاظ‌های به‌کاررفته و کفایت آن‌ها در کنترل رویدادهای خطرناک از روش آنالیز لایه‌های حفاظتی استفاده شد که *Lopa* یک روش آنالیز ریسک نیمه‌کمّی است و برای ارزیابی ریسک یک سناریوی خطرناک انتخابی به کار می‌رود. این تکنیک از طریق تعیین لایه‌های حفاظتی مستقل کافی در برابر یک سناریوی حادثه، بر کاهش ریسک تمرکز دارد و با اطلاعات حاصل از اجرای این روش می‌توان سطح یکپارچگی ایمنی موردنیاز سیستم‌های ابزاردقیق ایمنی را به دست آورد. از مزیت‌های این مقاله، مشخص کردن جایگاه و ارتباط این روش با دیگر تکنیک‌های ارزیابی ریسک است. همچنین ویژگی‌های لایه‌های حفاظتی مستقل سیستم تشریح می‌شود و متوجه می‌شویم بسیاری از پادمان‌هایی که در تکنیک‌های متداول استفاده می‌شوند، ماهیت لایه حفاظتی را ندارند [۸]. این مطالعه به بررسی سناریوهای خطرناک و لایه‌های حفاظتی مستقل در برابر آن‌ها می‌پردازد و در صورت نیاز، اضافه کردن لایه‌های حفاظتی یا تغییر در این لایه‌ها را پیشنهاد می‌کند. همچنین سطح یکپارچگی ایمنی مربوط به سیستم‌های ابزاردقیق استفاده‌شده در این واحد تعیین، و در صورت نیاز برای ارتقای آن پیشنهادهایی ارائه می‌شود.

بیشتر فرایندهای صنعتی امروزه بر پایه کامپیوتر و اتوماتیک کنترل می‌شوند. فرایندها به واسطه پارامترهای عملیاتی شامل مقدار زیادی انرژی هستند که پتانسیل حوادث فاجعه‌بار را دارند. بنابراین، سیستم‌های ایمنی کاملاً مهندسی‌شده برای این صنایع ضروری است. محافظت در برابر انحرافات فرایندی و حفاظت از جان افراد در اولویت این سیستم‌هاست [۹]. امروزه داشتن یک سیستم توقف شرایط اضطراری برای کنترل فرایند هنگام انحراف و جلوگیری از آسیب به فرایند ضرورت دارد که در مرحله طراحی هر سیستم در نظر گرفته می‌شود [۱۰]. برخلاف سیستم کنترل فرایند، که برای کنترل متغیرهای فرایند طراحی شده، یک سیستم توقف اضطراری نشان‌دهنده لایه محافظتی است که باعث کاهش و جلوگیری از بروز وضعیت خطرناک می‌شود. سیستم توقف اضطراری باید بسیار قابل اعتماد باشد و براساس تقاضا و نیاز فعال شود [۸].

در هنگام اضطرار، باید روند را به روشی ایمن از سرویس خارج کرد که این کار را سیستم‌های توقف اضطراری به‌عنوان سیستم‌های حفاظتی انجام می‌دهند. در استانداردهای شناخته‌شده بین‌المللی مانند *ANSI / ISA S84.01* و *IEC* ۶۱۵۰۸ رهنمودهایی برای اطمینان از به‌کارگیری و عملکرد مناسب این سیستم‌ها وجود دارد [۱۱].

سازمان‌ها و استانداردهای بین‌المللی نظیر کمیسیون بین‌المللی الکترونیکی *(IEC)* و جامعه بین‌المللی اتوماسیون *(ISA)* شروع به پذیرش *LOPA* به‌عنوان روش مرجع برای تعیین سطح یکپارچگی ایمنی موردنیاز سیستم‌های ابزاردقیق ایمنی کردند [۱۲].

باتوجه‌به اهمیت سیستم‌های توقف اضطراری به‌عنوان لایه حفاظتی در پیشگیری از حوادث فرایندی، این مطالعه در راستای مطالعات *Hazop* و تحلیل لایه‌های حفاظتی در سیستم‌های توقف اضطراری طراحی‌شده در واحد نمک‌زدایی سایت فرآورش مرکزی یک میدان نفتی انجام گرفت تا در آن تعیین یا تصدیق سطح یکپارچگی ایمنی موردنیاز در سیستم‌های توقف اضطراری این مرکز بررسی و برآورد شود.

روش کار

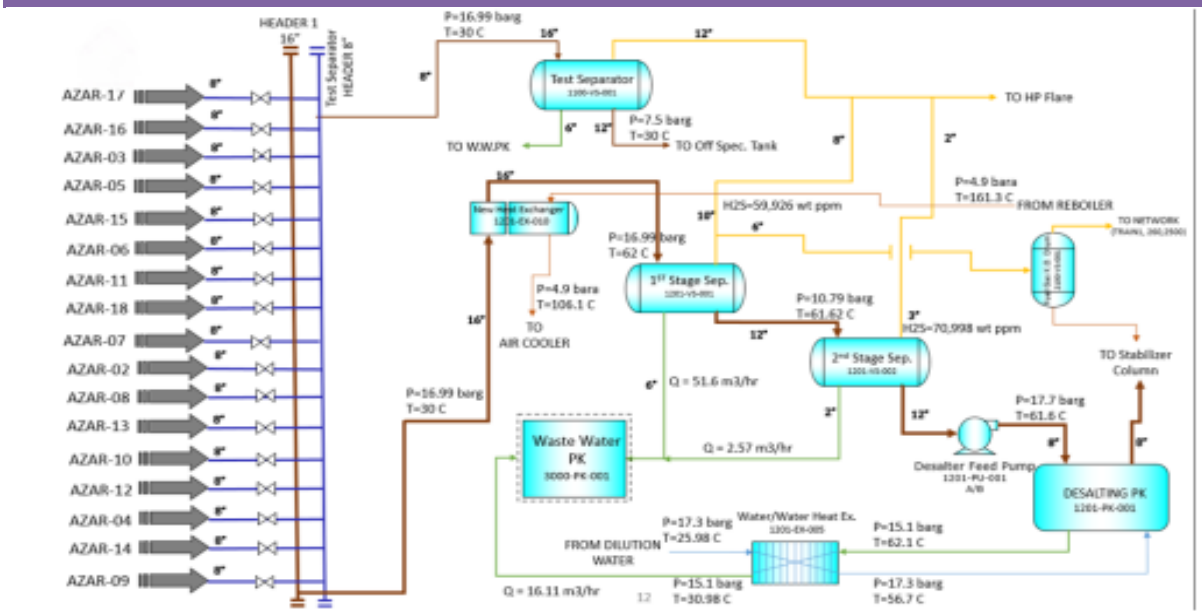
این مطالعه نمونه‌ای از مطالعات ارزیابی ریسک در صنایع فرایندی به‌ویژه صنعت نفت و گاز است [۱۳]. باتوجه‌به ماهیت فرایندی واحدهای نمک‌زدایی، که عمده مخاطرات آن آتش‌سوزی، انفجار و نشت گاز سمی است، این موضوع برای مطالعه انتخاب شد. برای انجام دادن این مطالعه، مدارک و مستندات موردنیاز مثل نقشه‌های نمودار جریان، جانمایی تجهیزات، نقشه لوله‌ها و ابزاردقیق و دستورالعمل‌های عملیاتی از واحد مهندسی گرفته شد. در این مطالعه، از دو روش مطالعه خطر و راهبری عملیات برای شناسایی سناریوهای خطرناک و آنالیز لایه‌های حفاظتی برای تعیین سطح یکپارچگی موردنیاز سیستم‌های توقف اضطراری و ابزاردقیق ایمنی استفاده شده است [۱۴]. در ارزیابی کیفی ریسک به روش *Hazop* با استفاده از کلمات راهنما انحرافات فرایندی در هر گره مشخص، و سپس به شناسایی علت انحراف پرداخته شد. سپس، تیم ارزیاب پیامدهای ناشی از انحراف را شناسایی کردند. باید در نظر داشت که نوشتن پیامد در روش *Hazop* بدون در نظر گرفتن لایه‌های حفاظتی است [۱۵]. در مرحله بعد، لایه‌های حفاظتی موجود برای پیشگیری از بروز پیامد، روی نقشه‌های *P&ID* مربوط به هر گره بررسی و تعیین شدند

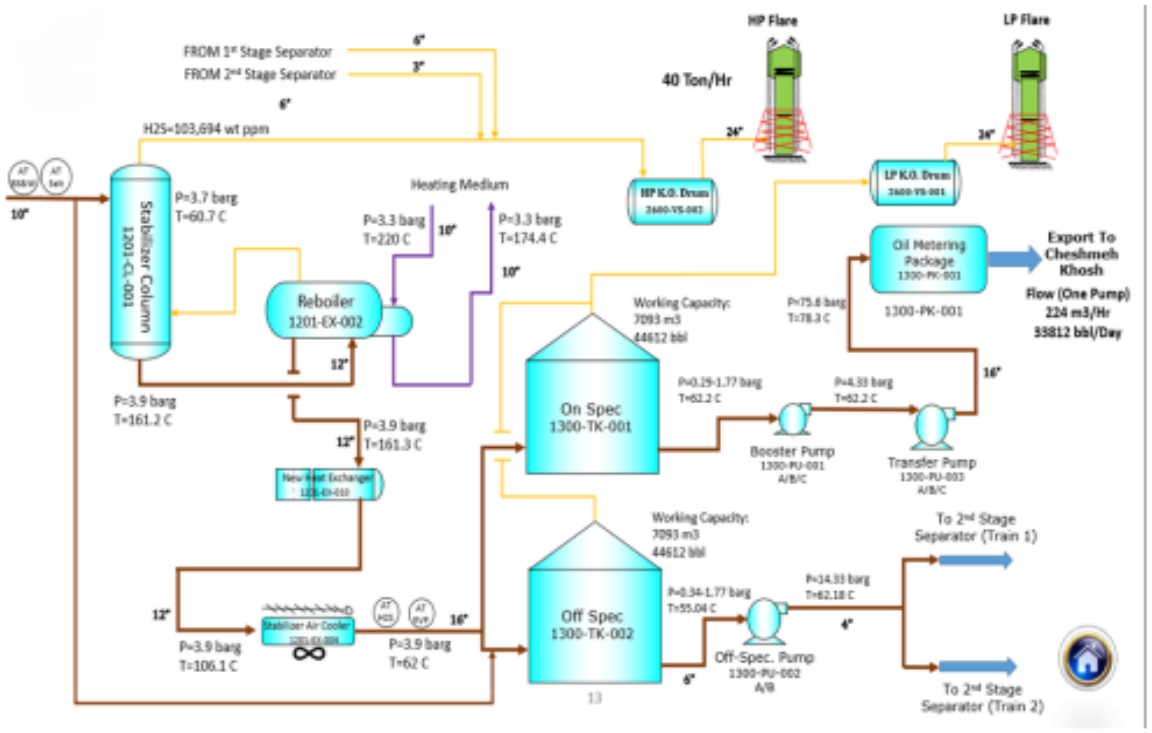
واکاوی آثار بالقوه ناشی از انحرافات از پارامترهای عملیاتی بسیار مهم بود. در واکاوی آثار علاوه‌بر ایمنی، به مسائل مربوط به کیفیت محصول و نحوه انجام دادن کار نیز توجه شد تا از این طریق بتوان نحوه انجام دادن کار و کیفیت محصول و عملیات را بهبود بخشید. مطالعات *Hazop* متکی به تجربه و دانش اعضای گروه است و آثار آن به‌صورت کیفی ارزیابی شد. اگر به‌دلیل اطلاعات ناقص نتوان راجع به مهم بودن آثار تصمیم‌گیری کرد، باید اقدامات لازم برای رفع ابهامات انجام شود. این اقدامات باید مستند شوند و از آن گزارشی تهیه شود [۱۶].

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-08-21]

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-08-21]

نقشه نمودار جریان (*PFD*)

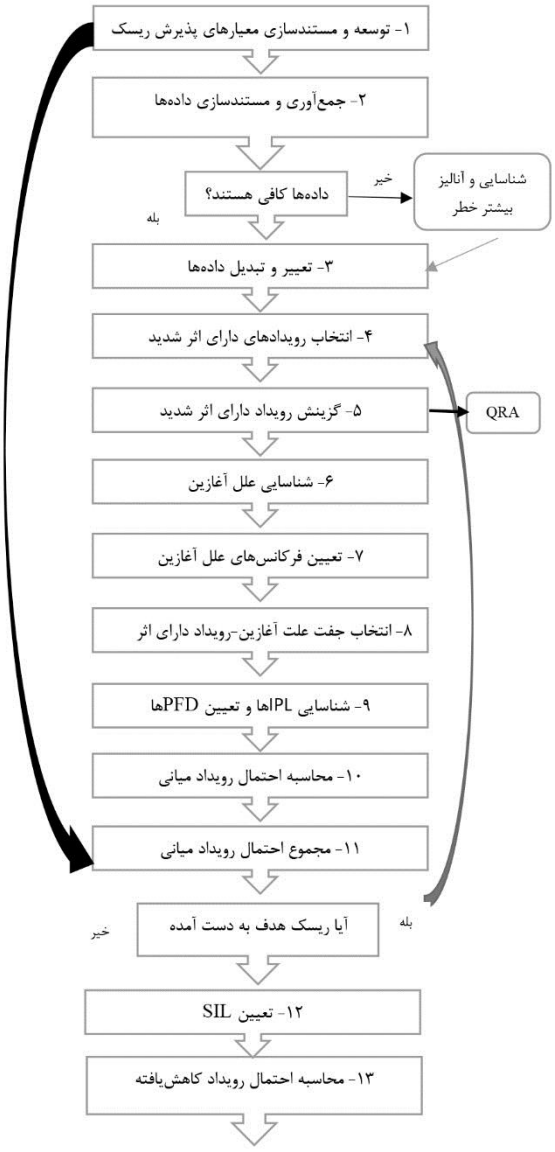




اگر علل به‌وجودآورنده حادثه، قابل رفع یا کاهش باشند، باید برای آن اقدام اصلاحی در نظر گرفت. اقدامات اصلاحی باید در جهت رفع علت، کاهش شدت پیامد، کاهش بروز علت و رضایتمندی شغلی باشند. همچنین مسئول و زمان بازنگری اقدامات درنظرگرفته‌شده باید مشخص شود [۱۷].

در مرحله بعد، سناریوهای خطرناک شناسایی‌شده در روش *Hazop* استخراج و وارد کاربرگ آنالیز لایه‌های حفاظتی در نرم‌افزار *PHA Pro* می‌شود. در روش آنالیز لایه‌های حفاظتی، فراوانی رویداد آغازگر، لایه‌های حفاظتی مستقل و سطح قابل‌تحمل ریسک تعیین، و براساس آن سطح یکپارچگی ایمنی مشخص شد [۱۸]. هنگام اجرای روش تجزیه‌وتحلیل لایه‌های حفاظتی برای متمرکز شدن تیم روی تجزیه‌وتحلیل، روشی واضح و روشن مورد نیاز است. روش تجزیه‌وتحلیل لایه‌های حفاظتی مورداستفاده، روشی توسعه‌یافته براساس استاندارد *IEC 61511* بود که مطابق شکل ۱ در سیزده مرحله اصلی اجرا شد [۱۹]

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-08-21]



شکل ۱. نمودار فرایند روش تجزیه‌وتحلیل لایه‌های حفاظتی [۱۹]

نتایج

در این مطالعه، طی فرایند ارزیابی، پس از بررسی سیستم و نقشه‌های فرایند، مستندات و نقص‌های سیستم، با به‌کارگیری دانش تیم و استفاده از طوفان فکری، براساس شباهت دستگاه‌ها، واحد برای بررسی و واکاوی به قسمت‌های کوچک‌تر تقسیم شد و معمولاً تجهیزاتی که کارکرد یکسانی داشتند در یک گره مطالعات قرار داده شدند. از دیدگاه انجمن مهندسان شیمی آمریکا، هر دستگاه به همراه تجهیزات ابزاردقیق و تجهیزات اطراف آن حداقل یک گره است [۲۰]. درنهایت تیم ارزیاب، تعداد پنج گره عملیاتی را برای بررسی مطالعه *Hazop* انتخاب کردند. سپس، براساس انحرافات فرایندی، که از ترکیب پارامترهای عملیاتی همراه با لغات راهنما ایجاد می‌شوند، سناریوهای خطرناک شناسایی شدند. درمجموع ۲۵ سناریوی خطرناک شناسایی، و برای بررسی بیشتر با روش *LOPA* واکاوی، و سیستم خاموش‌کننده اضطراری مربوط به هریک مشخص، و سطح یکپارچگی ایمنی برای آن‌ها تعیین شد.

در این بخش، نتایج مطالعه براساس نمودار فرایند اجرای روش ارائه می‌شد:

۱. گسترش و مستندسازی معیارهای خطرپذیری: بر پایه نتایج مطالعات پیشین، معیارهای پذیرش تعیین شد که در جدول ۱ آمده است. سطح شدت به‌صورت C_E درجه‌بندی شده که دربرگیرنده یک تا سه مرگ‌ومیر در محل حادثه است. معیارهای گزینش مشخص می‌سازد که رویداد دارای اثر شدید در محدوده تجزیه‌وتحلیل لایه‌های حفاظتی بوده است [۱۸]؛

۲. شناسایی علل آغازین: نقص حلقه ابزاردقیق *BPCS* شیر کنترل ورودی به دیسالتر و خطای اپراتور ازجمله علل آغازین رویداد در دیسالتر هستند. فرکانس این علل آغازین با بهره‌مندی از جداولی که *CCPS* ارائه کرده، در جدول ۲ تعیین شده است [۱۹]؛

۳. لایه‌های حفاظتی مستقل موجود در سیستم: نتایج بررسی نشان داد که سیستم موردمطالعه، این لایه‌های حفاظتی مستقل را دارد [۱۳]:

- تجهیزات اندازه‌گیری سطح مایع داخل دیسالتر (*LALL-5011*)؛
- هشدارهای حساس و مداخلات انسانی؛
- گیج‌های نشان‌دهنده فشار داخل دیسالتر (*PT-5001*)؛
- شیر کاهش دیسالتر؛

۴. تعیین فاکتور حضور افراد در منطقه و احتمال احتراق: براساس سناریو غالب، در این مطالعه فرض شد که سه اپراتور در هر شیفت کار می‌کنند و سی درصد از مواقع، افراد در منطقه حضور دارند که منجر به یک فاکتور حضور در منطقه به میزان ۰/۳ می‌شود. احتمال احتراق به فشار و نوع سیال بستگی دارد. فشار بالای اعمال‌شده بر یک سیال قابل‌اشتعال نسبت به یک سیال غیرقابل‌اشتعال تحت فشار پایین، احتمال احتراق بیشتری دارد. یک دسته‌بندی معمول عبارت است از: ۱ درصورتی‌که سیال خود اشتعال باشد، ۰/۳ درصورتی‌که سیال به‌راحتی مشتعل شود و ۰/۱ درصورتی‌که سیال پایدار و باثبات باشد. سیال ترکیباتی مثل گاز هیدروژن سولفید و نفت دارد که فرض می‌شود به‌راحتی قابل اشتعال باشد؛ اما صد درصد خود اشتعال نیست و به انتخاب احتمال اشتعال به میزان ۰/۵ می‌انجامد [۱۹].

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-08-21]

برگه کار *Hazop*

گره پنجم : استابلایزر، ریبویلر و Air Cooler　　شماره نقشه :DIPI-0008(1/2): DIPI-0008(2/2)

انحراف معیار: 3. افزایش دما در استابلایزر　　شماره تجهیز :1201-EX-004 ; 1201-EX-002 ; 1201-CL-001

علت	پیامد	حفاظ ایمنی	پیشنهادات
1.ولو FV-0031 یا هر عنصر دیگری در سیستم کنترلی که بر روی یک Set Point تنظیم شده خطا دهد و بیشتر باز شود.	1.1. ترکیبات سنگین با بالا رفتن دما در بخش فوقانی استابلایزر افزایش می یابد که این احتمال اختلال در عملکرد تجهیزات پایین دستی مثل کمپرسورها بهمراه افزایش نسبی فشار در استابلایزر به دنبال دارد	1.1.1. آلارم TAH-0036.	47-نشانگر دمایی (TI) بر روی خط گاز خروجی از استابلایزر نزدیک TT-0045 نصب شود.
		2.1.1 آلارم TAH-0037.	48- اندازه خط متصل به ولو FV-0031 بررسی مجدد شود همچنین حالت شکست (failure mode) آن نیز مورد بازبینی قرار گیرد.
		3.1.1. مشاهده وضعیت دمایی استابلایزر از طریق نسانگرهای دمای TI-0038/0039/0033	
		4.1.1. آلارم TAHH-0045 بر روی خط گاز خروجی از استابلایزر فعال شده و از طریق ESD-330 باعث بستن SDV-0030 می شود.	
		5.1.1. شرایط عملیاتی کمپرسورها.	

شکل ۱. نمودار فرایند تجزیه‌وتحلیل لایه‌های حفاظتی [۱۹]

نمونه کاربرگ *Lopa*

Node	LOPA Scenario	Consequence	CAT	S	TEF (events per yr)	Initiating Event		Independent Protection Layers				MEF (events per yr)	LOPA GAP			Recommendations (LOPA)
						Initiating Event	Freq. (events per yr)	IPL Description	Type of IPL	PFD	Total PFD for all IPLs		CAT	PFD	RRF	
1. سپریتور مرحله اول	1. افزایش دما	1. عملیات جداسازی نفت از آب بخوبی انجام نشود هم چنین در عملکرد کمپرسورهای واحد گاز اختلال ایجاد می کند	FAC	4	1.00E-05	1. دمای مبدل حرارتی افزایش یابد باعث می شود دمای نفت ورودی به سپریتور مرحله اول نسبت به شرایط نرمال عملیاتی بالاتر باشد	1.00E-01	1. آلارم TAH-0305	Critical Alarms and Human Intervention	1.00E-01	1.00E-04	1.00E-05	FAC	1.00E+00	1.00	1. ESD – 321 SIL 1
								2. فشار طراحی برای تجهیزات تا 28 درصد بالاتر در نظر گرفته شده است	Process Design	1.00E-01						
								3. با فعال شدن آلارم TAHH-0013 بر روی مبدل حرارتی که باعث فعال شدن ESD-321 می شود و سپس SDV-001 بسته می شود.	SIF	1.00E-01						
								4. اپراتور ممکن است از طریق شرایط عملیاتی کمپرسورها متوجه شرایط غیرنرمال شود	Critical Alarms and Human Intervention	1.00E-01						
	2. افزایش فشار	2. عملکرد جداسازی نفت و آب داخل سپریتور کاهش می یابد و ریسک صدمه دیدن وصل در نتیجه افزایش فشار وجود دارد.	FAC	4	1.00E-05	عملکرد حلقه مربوط به ولو PV-0016 شکست بخورد و ولو بیشتر بسته شود	1.00E-01	1. حلقه PIC-0017 تلاش می کند تا از طریق بازکردن ولو PV-0017 فشار اضافی را تخلیه کند	BPCS	1.00E-01	1.00E-03	1.00E-04	FAC	1.00E-01	10.00	2. ESD – 321 SIL 1
								2. آلارم PAH-0016	Critical Alarms and Human Intervention	1.00E-01						
								3. آلارم PAHH-0004 فعال شده و ESD-321 فعال می کند	SIF	1.00E-01						

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-08-21]

سناریوهای خطرناک شناسایی‌شده

Name Equipment	Equipment	SIF	Hazardous Scanario
1st Stage Separator	1201-VS-001	PAHH	High High Pressure
		LDALL	Low Loe Level
		LAHH	High High Level
		LALL	Low Loe Level
New Inlet Heat Exchanger	1201-EX-010	TAHH	High High Temprature
2st Stage Separator	1201-VS-002	PAHH	High High Pressure
		LAHH	High High Level
		LDALL	Low Loe Level
		LALL	Low Low Level
Pump	1201-PU-001 A/B	PALL	Low Loe Pressure
		PAHH	High High Pressure
		PALL	Low Low Pressure
		PAHH	High High Pressure
1201-PK	DESALTER 1	LALL	Low Low Pressure
	DESALTER2	LALL	Low Low Pressure
	TRIP PUMP ALPHA	PAHH	High High Pressure
	TRIP PUMP ALPHA	PALL	Low Low Pressure
	TRIP PUMP BRAVO	PALL	Low Low Pressure
	TRIP PUMP BRAVO	PALL	Low Low Pressure
	TRIP WATER TO WW	LDALL	Low Low Pressure
	TRIP PUMP RECYCLE(2900)	LDALL	Low Low Pressure
1201-CL-001	LINE TO OFF SPECK TANK	PAHH	High High Pressure
	LINE TO OFF SPECK TANK	TAHH	High High Tempreture
1201-EX-004	1201-EX-004	TAHH	High High Tempreture
1201-EX-002	1201-EX-002 (REBIOLER)	LALL	Low Low Pressure
	1201-EX-002 (REBIOLER)	LAHH	High High Level

۵. تعیین جفت‌های علت آغازین–رویداد دارای اثر شدید موجود در واحد:

- جفت علت آغازین-رویداد دارای اثر شدید ۱: نقص حلقه ابزاردقیق *BPCS* شیر کنترل ورودی - کاهش سطح.

نقص حلقه ابزاردقیق *BPCS* شیر کنترل ورودی، سبب کاهش سطح میزان سیال موجود در دیسالتر می‌شود که به‌دنبال آن، فشار داخل دیسالتر کاهش می‌یابد و احتمال تشکیل دوفازی (بخار) وجود دارد. در شرایط نرمال، دیسالتر باید همواره کاملاً پر باشد.

- جفت علت آغازین-رویداد دارای اثر شدید ۲: خطای اپراتور در بستن شیر کنترل ورودی - کاهش سطح.
- پیامد خطای اپراتور در بستن شیر کنترل ورودی، احتمال تشکیل دوفازی (بخار) در دیسالتر است.

۶. اندازه‌گیری خطرپذیری هدف، تعیین سطح یکپارچگی ایمنی و احتمال رویداد کاهش‌یافته: ازآنجاکه ما در این مطالعه برای تعیین سطح یکپارچگی ایمنی سیستم‌های ابزاردقیق از نرم‌افزار *PHA Pro* استفاده کردیم، مقادیر *Target Event Frequency (TEF)* برابر با ۱×۱۰^{-۶}، *Mitigated Event Frequency (MEF)* برابر با ۱×۱۰^{-۳}، *Risk Reduction Factor (RRF)* برابر با $۱۰^{۳}$ بود که درنهایت پس از محاسبه فاکتور کاهش ریسک مقدار سطح یکپارچگی ایمنی ۳ *(SIL3)* به سیستم توقف اضطراری واحد مدنظر اختصاص یافت [۶]. از نرم افزار استفاده شده است).

جدول ۱. احتمال رویداد کاهش‌یافته موردنظر برای خطرات ایمنی [۳]

سطح شدّت	پیامد ایمنی	احتمال رویداد کاهش‌یافته موردنظر (در سال)
C_A	تنها یک جراحت با نیاز به کمک‌های اوّلیه	۳×۱۰^{-۲}
C_B	چندین جراحت با نیاز به کمک‌های اوّلیه	۳×۱۰^{-۳}
C_C	یک جراحت ناتوان‌کننده یا چندین جراحت شدید	۳×۱۰^{-۴}
C_D	یک مرگ‌ومیر در محلّ حادثه	۳×۱۰^{-۵}

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-08-21]

C_E	بیش از یک و تا سه مرگ‌ومیر در محلّ حادثه	۱×۱۰^{-۵}

جدول ۲. فرکانس علل آغازین [۳]

علل آغازین	منبع داده	فرکانس
نقص حلقه ابزار دقیق *BPCS*	*CCPS*	۰,۱
خطای اپراتور	*CCPS*	۰.۰۱

جدول ۳. احتمال شکست در زمان موردنیاز لایه‌های حفاظتی مستقل [۳]

لایه‌های حفاظتی مستقل	نوع لایه حفاظتی مستقل	منبع داده	احتمال شکست در زمان موردنیاز
تجهیزات اندازه‌گیری سطح مایع داخل دیسالتر	*BPCS*	*CCPS*	۱×۱۰^{-۱}
هشدارهای حسّاس و مداخلات انسانی	*SIS*	*CCPS*	۱×۱۰^{-۱}
گیج‌های نشان‌دهنده فشار داخل دیسالتر	*BPCS*	*CCPS*	۱×۱۰^{-۱}
شیر کاهش فشار دیسالتر *Relief Valve*	*Pressure Relief Device*	*CCPS*	۱×۱۰^{-۲}

بحث

باتوجه‌به کمیت و کیفیت مواد و انرژی‌های مورداستفاده در صنایع فرایندی، بحران تبدیل خطرهای موجود به رویدادها و حوادث، آلودگی‌های زیست‌محیطی، تعداد چشمگیر شاغلان موجود و اهمیت لایه‌های حفاظتی اول و دوم در پیشگیری و کنترل رویدادها، هدف اصلی این پژوهش به دست آوردن اطلاعات برای تخصیص سطح یکپارچگی ایمنی به سیستم‌های توقف اضطراری موجود و ارائه راهکار مناسب برای کاهش خطرهای شناسایی‌شده با تمرکز بر آنالیز لایه‌های حفاظتی است.

الزامات ویژه سیستم‌های ابزاردقیق ایمنی، در استانداردهای *IEC61508* و *IEC61511* آمده است. راوسند و هویلند (۲۰۰۴) *SIS* را به‌صورت سیستمی متشکل از سنسورها، تحلیلگران منطقی و آیتم‌های محرک شرح می‌دهند و می‌توان آن‌ها را به‌صورت یک لایه حفاظتی مستقل برای تجهیزات در نظر گرفت. ازنظر ایمنی، باتوجه‌به بحران و پیامدهای ناشی از عملی شدن خطرها در فرایندهای صنعتی و به‌منظور کاهش احتمال وقوع نقص‌ها و همچنین کنترل شدت پیامدها، از لایه‌های حفاظتی گوناگون استفاده می‌شود. یکی از این لایه‌ها سیستم‌های توقف اضطراری است که خطرهای آزادشده ناخواسته قبل از رسیدن به سنسور آسیب‌پذیر در این لایه به دام می‌افتند و کنترل می‌شوند [۱۹].

جدول ۴. مقدار *SIL* طراحی و *SIL* واقعی

Name Equipment	*Equipment*	*SIS*	سناریوهای خطرناک	طراحی *SIL*	به‌دست‌آمده *SIL*
۱□□ □□□□□ *Separator*	۱۲۰۱-*VS-001*	*ESD-321*	افزایش فشار	۱	۱
		ESD-322	کاهش سطح	۱	۲
		ESD-321	افزایش سطح	۱	۲
		ESD-323	کاهش سطح	۱	۲
New Inlet Heat Exchanger	۱۲۰۱-*EX-010*	*ESD-321*	افزایش دما	۱	۱
۲□□ □□□□□ *Separator*	۱۲۰۱-*VS-002*	*ESD-324*	افزایش فشار	۲	۱
		ESD-324	افزایش سطح	۲	۱
		ESD-325	کاهش سطح	۱	۲
		ESD-326	کاهش سطح	۱	۱
Pump	۱۲۰۱-*PU-001 A/B*	*ESD-326 /A*	کاهش فشار		۱ توقّف پمپ *A*
		ESD-326 /A	افزایش فشار		۱ توقّف پمپ *A*
		ESD-326 /B	کاهش فشار		۱ توقّف پمپ *B*
		ESD-326 /B	افزایش فشار		۱ توقّف پمپ *B*
۱۲۰۱-*PK-001*	*DESALTER 1*	*ESD-301*	کاهش فشار		۳ توقّف دیسالتر ۱
	DESALTER2	*ESD-302*	کاهش فشار		۲ توقّف دیسالتر ۲
	TRIP PUMP ALPHA	*ESD-303*	افزایش فشار		۲ ۱۲۰۱-*PK-001-PU001A* (توقّف)
	TRIP PUMP	*ESD-303*	کاهش فشار		۲ ۱۲۰۱-*PK-001-*

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-08-21]

	PU001A(توقّف)				*ALPHA*	
۲	۱۲۰۱-*PK-001-PU001B*(توقّف)		افزایش فشار	*ESD-304*	*TRIP PUMP BRAVO*	
۲	۱۲۰۱-*PK-001-PU001B*(توقّف)		کاهش فشار	*ESD-304*	*TRIP PUMP BRAVO*	
۲	*SDV-5031*		کاهش سطح	*ESD-305*	*TRIP WATER TO Waste Water*	
	۱۲۰۱-*PK-001-PU001A/B* (توقّف)		کاهش فشار	*ESD-306*	*TRIP PUMP RECYCLE*(۲۹۰۰)	
۱		۱	افزایش فشار	*ESD-330*	*LINE TO OFF SPECK TANK*	۱۲۰۱-*CL-001*
۱		۱	افزایش دما	*ESD-330*	*LINE TO OFF SPECK TANK*	
۱		۱	افزایش دما	*ESD-328*	۱۲۰۱-*EX-004 (Air Cooler)*	۱۲۰۱-*EX-004*
۲		۱	کاهش سطح	*ESD-328*	۱۲۰۱-*EX-002 (REBIOLER)*	۱۲۰۱-*EX-002*
۲		۱	افزایش سطح	*ESD-329*	۱۲۰۱-*EX-002 (REBIOLER)*	

مطالعه‌ای با عنوان «آنالیز ریسک ساده‌شده، آنالیز لایه‌های حفاظتی» در سال ۲۰۱۵ ارائه شد که در آن بیان شد که آنالیز لایه‌های حفاظتی، یک ابزار ارزیابی ریسک است که به‌طور بی‌نظیری برای تعیین توانایی *SIF* مفید است. آنالیز لایه‌های حفاظتی، ابزاری نیمه‌کمّی است که می‌تواند *PFD* موردنیاز برای *SIF* را تخمین بزند. این روش می‌تواند بعد از آنالیز خطرهای فرایند مانند *Hazop* و بعد از *FTA* یا *QRA* به کار برده شود [۲۱-۲۳]. در مطالعه‌ای که با عنوان پیشرفت‌هایی در تعیین *SIL*انجام شد، روش *LOPA* به‌عنوان روشی موفق و کارا در شناسایی خطر و تعیین *SIL* معرفی شد. در سال ۲۰۱۴، درباره نقش لایه‌های حفاظتی در فاجعه بوپال هند مطالعه‌ای انجام گرفت. در این پژوهش، به آنالیز هفت‌لایه حفاظتی درنظرگرفته‌شده برای سناریوی نشت عظیم بخارات متیل ایزوسیانات پرداخته شد. براساس فرکانس پیامد محاسبه‌شده برای این لایه‌های حفاظتی، وقوع چنین حادثه‌ای به یک بار در هر یک‌میلیون سال تقلیل می‌یابد [۲۴].

در مطالعه امیدوار و نیرومند در سال ۱۳۹۴ با موضوع «استفاده از تئوری فازی جهت ارزیابی ایمنی مخازن شارژ آمونیاک با استفاده از روش آنالیز لایه‌های حفاظتی»، ابتدا با استفاده از نظر متخصصان، نرخ نقص لایه‌های حفاظتی به‌صورت فازی به دست آمد. سپس، با استفاده از عملگرهای فازی، امکان فازی به احتمال فازی و درنهایت به نرخ نقص قطعی تبدیل شد. یافته‌های مطالعه در واحد تولید کریستال‌های سفالکسین یک شرکت داروسازی ارزیابی ریسک به روش *Lopa* نشان داد لایه‌های حفاظتی بیشتری مانند سنسور قطع جریان روی مخزن و نصب نشانگر فشار روی رآکتور مورد نیاز است [۲۵].

نتایج حاصل از کاربرد این تکنیک در صنایع نشان می‌دهد این تکنیک ابزار اثربخشی برای تعیین سطح یکپارچگی ایمنی (*SIL*) توسط مهندسان ایمنی فرایند است و ضمن اینکه به منابع کمتری نسبت به دیگر تکنیک‌های ارزیابی ریسک نیاز دارد، اجرای آن از روش‌هایی چون آنالیز درخت خطا (*FTA*) و دیگر روش‌های کمّی ارزیابی ریسک سریع‌تر است. ازجمله مزایای مهم آن می‌توان به تمرکز روی پیامدهای شدید، در نظر گرفتن علل اولیه وقوع حوادث، دیدگاه سیستماتیک، تعیین *IPL* برای هریک از علل اولیه و تعیین منابع مؤثر کاهش ریسک اشاره کرد. باتوجه‌به سطح ریسک، ۲۵ سناریو خطرناک از مطالعه *Hazop* شناسایی و وارد کاربرگ *Lopa* شد.

در واحد موردمطالعه پانزده سیستم توقف اضطراری وجود داشت. ازآنجاکه سیستم‌های توقف اضطراری اختصاص‌یافته برای سناریوهای خطر موجود نسبت یک‌به‌یک ندارند و یک سیستم توقف اضطراری به فراخور تناسب یک یا چند سناریو خطرناک را پوشش می‌دهد، سطح یکپارچگی موردنیاز برای هر سیستم توقف اضطراری در سناریوهای مختلف می‌تواند متفاوت باشد. ازاین‌رو در تخصیص سطح یکپارچگی ایمنی به سیستم‌های توقف اضطراری خطرناک‌ترین سناریو ملاک عمل است تا به این وسیله سناریوهای نازل‌تر نیز پوشش داده شوند [۲۳]. ازآنجاکه خطرناک‌ترین سناریو با پیامد آتش‌سوزی و انفجار، مربوط به کاهش سطح در مخازن دیسالتر است، حداکثر سطح یکپارچگی ایمنی برای سیستم‌های توقف اضطراری با استفاده از تحلیل لایه‌های حفاظتی، *SIL3* برای خطرناک‌ترین سناریوها مشخص شد. این سطح از یکپارچگی ایمنی دربرگیرنده هزینه بسیاری است. ازاین‌رو می‌توان با افزودن لایه‌های حفاظتی مستقل و مؤثر بیشتر، سطح یکپارچگی ایمنی موردنیاز سیستم *ESD* را پایین آورد [۲۶].

در مطالعه‌ای که نعمتی و همکاران (۱۳۹۵) با موضوع

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-08-21]

استفاده از روش‌های *Hazop* و *Lopa* برای تعیین سطح یکپارچگی ایمنی سیستم‌های ابزاردقیق ایمنی خاموش‌کننده‌های اضطراری انجام داده‌اند، به ضرورت تعیین سطح یکپارچگی ایمنی بین مرحله طراحی با مرحله ساخت و بهره‌برداری پرداخته می‌شود و در آن سطح یکپارچگی ایمنی در واحد به‌کاررفته مشخص، و با سطح یکپارچگی ایمنی تعیین‌شده در ارزیابی ریسک قیاس می‌شود تا اطمینان حاصل شود که طراح و شرکت سازنده از سطح یکپارچگی، که در ارزیابی ریسک تعیین شده است، استفاده کرده باشد [۲۷].

پیشنهاد ۱: باتوجه‌به زمان‌بر بودن مطالعات *Lopa* با استفاده از نتایج سایر مطالعات تجزیه‌وتحلیل و مدیریت ریسک، که به شناسایی خطرها و رویدادهای اولیه خطرآفرین در سازمان می‌انجامد، می‌توان اجرای مطالعه تجزیه‌وتحلیل لایه‌های حفاظتی را آسان کرد و سرعت بخشید. **پیشنهاد** ۲: این پژوهش در چرخه عمر ایمنی فرایند و درباره تعیین سطح یکپارچگی ایمنی است. برای کامل شدن این چرخه لازم است ادامه مطالعات درباره اثبات سطح یکپارچگی ایمنی باشد، که به بحث مهندسی قابلیت اطمینان مربوط می‌شود.

ازجمله محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به این موارد اشاره کرد: ۱. زمان‌بر بودن هماهنگی لازم با مدیران برای دسترسی به مدارک موردنیاز (نقشه‌ها، دستورالعمل‌ها و...)؛ ۲. محدودیت دسترسی به سامانه درسا (سامانه بارگذاری مدارک پروژه)؛ چون فقط افراد محدودی به این سامانه و پسورد آن دسترسی داشتند؛ ۳. محدود بودن مطالعات و پژوهش‌های داخلی انجام‌شده درباره موضوع پایان‌نامه.

در این پژوهش، تمام سناریوهای ممکن در ردیف نفتی شناسایی و سیستم توقف اضطراری مربوطه بررسی شد. ازاین‌رو باتوجه‌به اینکه در مرحله طراحی برای هر سطح توقف اضطراری تعریف شده، براساس سناریوهای موجود یک سطح یکپارچگی ایمنی تخصیص یافته بود و در مرحله اجرای نقشه‌های طراحی‌شده تغییراتی لحاظ شده که سطح یکپارچگی تعیین‌شده در مرحله طراحی را تحت تأثیر قرار داده است. بنابراین، در این پژوهش باتوجه‌به آخرین نقشه‌های تأییدشده برای ساخت، جهت شناسایی سناریوهای موجود و تعیین سطح یکپارچگی مختص به آن‌ها اقدام شد. پس، در ردیف *SIL Design* سطح یکپارچگی ایمنی مربوط به محاسبات مرحله طراحی است که مغایرت چشمگیری با *SIL Actual* سطح یکپارچگی ایمنی تعیین‌شده براساس نقشه‌های *as built* دارد.

نتیجه‌گیری

باتوجه‌به تفاوت بین سطح یکپارچگی ایمنی تخصیص‌یافته به هر سیستم توقف اضطراری در مرحله طراحی با مرحله ساخت، این پژوهش باتوجه‌به آخرین نقشه‌های تأییدشده به‌منظور شناسایی این مغایرت انجام شد که مشخص شد سیستم‌های توقف اضطراری تخصیص‌داده‌شده در مرحله طراحی برای سناریوهای خطر موجود در مرحله بهره‌برداری نسبت یک‌به‌یک ندارد و متفاوت است. بنابراین، باید در زمان بهره‌برداری درباره بروز و ارزیابی ریسک اقدام شود. در این پژوهش، در تخصیص سطح یکپارچگی ایمنی به سیستم‌های توقف اضطراری خطرناک‌ترین سناریو ملاک عمل است تا به این وسیله سناریوهای نازل‌تر نیز پوشش داده شوند.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه‌ای با عنوان تعیین سطح یکپارچگی ایمنی با استفاده از روش *Hazop Study* و آنالیز لایه‌های حفاظتی در سیستم‌های توقف اضطراری (مطالعه موردی واحد نمک‌زدایی واحد فراورش مرکزی سایت *(CPF)* در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۴۰۰ است که با حمایت دانشگاه علوم پزشکی همدان اجرا شده است. بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله از مدیران، سرپرستان و تمام همکاران محترم در شرکت راه‌اندازی و بهره‌برداری صنایع نفت *(OICO)* واقع در میدان نفتی آذر-مهران ایلام، که در جمع‌آوری مطالب، تهیه و آماده‌سازی پژوهش از هیچ کمکی دریغ نکردند، نهایت تشکر و قدردانی را دارند.

تضاد منافع

ندارد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند. این پژوهش در کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی همدان در تاریخ ۱۴۰۰/۱/۱۵ با شناسه اخلاق *IR.UMSHA.REC.1400.024* تصویب شده است.

سهم نویسندگان

سجاد افشاری، نویسنده اول؛ ایرج محمدفام،نویسنده دوم؛ امید کلات‌پور، نویسنده سوم این مقاله هستند.

حمایت مالی

جهت گردآوری این مقاله هیچ حمایت مالی دریافت نشده است.

REFERENCES

۱. Zhou J, Reniers G. Analysis of emergency response actions for preventing fire-induced domino effects based on an approach of reversed fuzzy Petri-net. *J Loss Prev Process Ind*. 2017; **47**:169-73. DOI:10.1016/j.jlp.2017.03.011

۲. Jafari MJ, Bahmani R, Pouyakian M, Khorshidi Behzadi Y. Modeling the consequence of vinyl chloride accidental release from tanks in a petrochemical plant. *Occupl Hyg Health Promot*. 2021;**4**(4):301-314. DOI:10.18502/ohhp.v4i4.5443

۳. CCPS**.** Guidelines for chemical process quantitative risk analysis. Wiley. 2010. DOI:10.1002/9780470935422

٤. Kerin T. The evolution of process safety standards and legislation following landmark events what have we learnt? *Process Saf Prog.* 2016; **35**(2):165-170. DOI:10.1002/prs.11762

٥. Khandan M, Koohpaei A, Jabari M, Vosoughi S. Risk assessment of chemical processes using layer of protection analysis (LOPA) method: case study in a petrochemical unit's drum. *Iran Saf Sci Technol J*. 2015;

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-08-21]

2(3):63-77. Link
٦. Jafari MJ, Askarian AR, Omidi L, Lavasani MR, Taghavi L, Ashori AR. The assessment of independent layers of protection in gas sweetening towers of two gas refineries. *Saf Promot Inj Prev*. 2014; **2**(2):103-112. DOI:10.22037/meipm.v2i2.7037
٧. IRNA. Six killed, 2 injured in Tehran refinery Blaz. 2017. Link
٨. Alimohamdadi I, Jalilian M, Nadi M. Determination of safety integrity level (SIL) using LOPA method in the emergency shutdown system (ESD) of hydrogen unit. *Iran J Health Saf Environ*. 2014; **1**(4):191-195. Link
٩. Faisal I. Khan; S. A. Abbasi (2012); Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries; Computer Aided Environmental Management Unit; Centre for Pollution Control and Energy Technology; Pondicherry University; Kalapet-605 014; Pondicherry; India.
١٠. Summers A, VogtmannW, Smolen S. Improving PHA/LOPA by consistent consequence severity estimation. SIS-TECH Solutions; 12621 Featherwood Dr; Suite 120 Houston; TX 77034; USA. 2013. Link
١١. Marszal E, Scharpf EW. Safety integrity level selection – systematic methods including layer of protection analysis. *The Instrumentation, Systems and Society (ISA)*. 2002.
١٢. Summers A, VogtmannW, Smolen S. Improving PHA/LOPA by consistent consequence severity estimation; SIS-TECH Solutions; 12621 Featherwood Dr; Suite 120 Houston; TX 77034; USA. 2013. Link
١٣. Jahangiri M, Moghaddisi Kouchesarai A, Norouzi MA. Management and risk assessment; Quantitative assessment of risks in the process industry. *Theran: Fanavaran Publication*. 2012. Link
١٤. Lee S, Chang D. Safety systems design of VOC recovery process based on HAZOP and LOPA. *Proc Saf Progr*. 2014; **33**(4):339-344. DOI:10.1002/prs.11662
١٥. Cui L, Shu Y, Wang Z, Zhao J, Qiu T, Sun W, et al. HASILT: An intelligent software platform for HAZOP, LOPA, SRS and SIL verification. *Reliabil Engineer Syst Safe*. 2012; **108**: 56-64. DOI: 10.1016/j.ress.2012.06.014
١٦. Kotek L, Tabas M. HAZOP study with qualitative risk analysis for prioritization of corrective and preventive action. Procedia Engineering. 2012; **42**:808-815. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.07.473
١٧. Wang F, Gao J, Wang H. A new intelligent assistant system for HAZOP analysis of complex process plant. *J Loss Prev Process Ind*. 2012; **25**(3):636-642. DOI:10.1016/j.jlp.2012.02.001
١٨. Center for Chemical Process Safety. Guidelines for initiating events and independent protection layers in layer of protection analysis: Wiley. 2015. DOI:10.1002/9781118948743
١٩. Lajevardi SS، Jafari MJ، Mohammad fam I. Determining safety integrity level on a hydrogen production unit with application of the protection analysis method. *J Safety Promot Inj Prev*. 2014; **2**(1):23-30. Link
٢٠. Rouvroye JL, Van Den Bliek EG. Comparing safety analysis techniques. *Reliabil Engineer Syst Safe*. 2002; **75**(3): 289-294. DOI:10.1016/S0951-8320(01)00116-8
٢١. Habibi E, Zare S, Keshavarzi M, Mousavi M, Yousefi HA. The application of the layer of protection analysis (LOPA) in sour water refinery process. *Int J Environ Health Eng*. 2013; **2**(1):48. DOI:10.4103/2277-9183.122445
٢٢. CCPS. Layer of protection analysis – simplified process risk assessment. American Institute of Chemical Enginners (AIChe), Centre for Chemical Process Safety (CCPS). 2001. Link
٢٣. Lajevardi SS, Jafari MJ, Mohammadfam I. Determining safety integrity level on a hydrogen production unit with application of the layers of protection analysis method. *J Saf Promot Inj Prev*. 2014; **2**(1):23-30. Link
٢٤. Khan F, Rathnayaka S, Ahmed S. Methods and models in process safety and risk management: past, present and future. *Process Saf Environ Prot*. 2015; **98**, 116–147, DOI:10.1016/j.psep.2015.07.005
٢٥. Jafari M, Lajevardi S, Mohammad Fam I. Semi quantitative risk assessment of a hydrogen production unit. *Int J Occup Hyg*. 2013; **5**(3):101-108. Link
٢٦. Omidvar M، Niroumand F. Safety assessment table of ammonia charging tanks using method Fuzzy layer of protective analysis (FLOPA) .*J Occup Health Engineer*. 2016; **2**(4): 14-24. DOI:10.21859/johe-02043
٢٧. Lassen CA. Layer of protection analysis (LOPA) for determination of safety integrity level (SIL). The Norwegian University of Science and Technology Department of Production and Quality Engineering. 2016. Link
٢٨. Nemati A، Ali Hosseini A، 3rd International Conference in Oil gas، Refining and Petrochemicals 2016.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2025-08-21]