Iran Occupational Health

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

Iran Occupational Health. 2020 (16 Aug);17:28.

Assessment of inherent safety status in a process plant; using integrated inherent safety index (I2SI)

Abolfazl Moghdasi, PhD Student of Occupational Health, School of Health, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran
Mehdi Jahangiri, (*Corresponding author) Associate Professor, Research Center for Health Science, Institute of Health, Department of Occupational Health, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran. jahangiri_m@sums.ac.ir
Mojtaba Kamaliniya, Associate Professor, Department of Occupational Health, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran
Nader Sharafi, MSc of Environmental Engineering, Khuzestan University of Science and Technology, Ahvaz, Iran

Abstract

Background and aims: Inherent safety (IS) refers to set of measures which increases the level of safety in industries without adding any safety equipment. In general; the strategies for improving safety in the industries can be subdivided into conventional and inherent categories. In conventional safety; the process safety level will be enhanced by adding a variety of safety equipment to processes or/and plants (which named Add-on) also engineering techniques and strategies. In conventional safety methods and strategies; maintaining a high level of safety requires constant maintenance. On the other hand; in case of perturbation or failure in any of the safety layers, the safety level will back to the basic level that was before doing any safety measures. Inherent safety strives to eliminate risk rather than controlling or accepted them. All of the principles named inherent safety are essentially aimed to eliminating risk, hazardous substances or hazardous and/or complex processes in industries. In this study, the I2SI used to assess the inherent safety status of a process plant. This index can evaluate the inherent safety status at all stages of the system life cycle, especially the operational phase. It is also capable of evaluating the inherent safety for each equipment and process as well as the whole system and quantifying the results. In this aspect, this index can be used to prioritize control measures. In addition to the above, this index can compare the costs of implementing inherent safety principles with conventional safety costs and quantify the economic justification for implementing inherent safety. This study aimed to evaluate the inherent safety status of a C2 + recovery unit in a petrochemical plant and justify the cost of implementing the principles of inherent safety and its impact compared to conventional safety.

Methods: First, the inherent safety status of each equipment and eventually the whole system were evaluated using the I2SI approach. In addition, I2SI could calculate the cost of implementing both conventional and inherent safety of the processes. Hence, by comparing cost indices together; the economic justification for implementing the inherent safety was examined. The I2SI consists of two main sub-indicators, including the hazard index (HI) and the inherent safety potential index (ISPI). Moreover, this sub-indicator calculated by other sub-indicators. To calculate the HI and ISPI, first, the damage index (DI) was determined, then the degree of need for process hazard control index (PHCI) was calculated for each case. Next, to calculate the ISI, each of the inherent safety principles was evaluated based on the applicability according to the process engineers and process designer's viewpoint, also the application of the inherent safety principles to control each of the process condition parameters was obtained separately. Finally, the I2SI was calculated for each equipment as well as the whole unit. In order to calculate the economic aspects of inherent safety implication compared to conventional safety, the cost indices including conventional safety cost index (CSCI) and inherent safety cost index (ISCI) was also calculated and analyzed.

Results: This study aimed to evaluate the inherent safety status of a process unit and justify the cost of implementing the inherent safety principles and its impact compared to conventional safety. The results showed, due to using a large tower with a capacity of 1137 m3, that the I2SI for the Methanizer tower is lower than other equipment. It is also because of its high process pressure which almost 33.5 brag, which is high pressure from the standard atmosphere and could have severe consequences in the possible accidents. The results of the simulation of worst-case scenario with PHAST software showed that the DI for the Methanizer tower is higher than the other equipment. On the other hand; DI for LP REFR. Circulation Drum, which has the smallest amount of inventory resulting in has the lowest

Keywords

Inherent safety,

Integrated Inherent Safety Index,

Cost index,

Process unit

Received: 11/01/2019

Published: 16/08/2020

capacity from other equipment, is less than the rest. Similarly, the PHCI for the Methanizer tower was calculated more than any other equipment, indicating the low inherent safety of this equipment and the need for control measures. Also, the I2SI for Methanizer tower was lower than other equipment and calculated equal to 0.29. For this reason, the DI for the Methanizer tower for mortality of 50% is high as a result the HI obtained high, too (200 and 4, respectively). The same thing has affected the inherent safety of this equipment. The I2SI for the equipment involved in the propane cooling cycle were 1.05, which is higher than other equipment. Costs of the possible incident that infliction to process and environmental due to the nature of material released, the cost of its environmental clearance and equipment operating conditions were estimated based on the method presented in the I2SI approach. According to this index in an incident case; MP REFR. Circulation Drum could cause the most financial damage to the system, besides the feed drum has minimal damage. The results received from the sensitivity analysis of the Methanizer tower by PHAST software showed if the temperature of this tower to be more negative, also if the operational pressure will approach atmospheric pressure, the inherent safety of the Methanizer will be improved; in the other words, the Methanizer tower will be inherently safer. The reason is that in the case of a leakage scenario, low temperature will be reduced the material flow rate also the severity of its consequences such as type of fire and/or vapor cloud dispersion. Low pressure can also have a similar effect on the outcome of potential scenarios. The mass flow of the cooling propane could be decreased by increasing the temperature of the flow 22-26. This line acts as heating of the Methanizer tower, thereby reducing its temperature can result in reducing the amount of cold (propane) required. By lowering the pressure of the Methanizer tower, the cooling propane flow rate can be reduced as well, which will improve the operating conditions of the Methanizer tower inherently to enhance its safety and, in other words, the implementation of the “attenuation”. Also, optimizing operating conditions can reduce the volume of vessels, especially the Methanizer tower, thus enforcing the principle of “minimization”. The results of this study showed that the I2SI for the process studied was 0.41, indicating a low level of the inherent safety status of the process. This is probably because of lack of unawareness of process designers and engineers about the inherent safety principles during the process design and operating it. The results of this study showed that although the design phase of the system life cycle is the best time to implement the inherent safety principles, some of the inherent safety principles could be economically justified to implement in the operational phase. Based on the results of the study, the inherent safety cost index (ISCI) for the Methanizer tower was higher than the conventional safety cost index (CSCI). These indicators mean that 3.58$ should be spent to maintain a dollar of capital by increasing the inherent safety of the Methanizer Tower, and 3.11$ should be spent to maintain a dollar of capital by enhancing the safety of the Methanizer Tower. In other words, it is more cost-effective to implement conventional safety principles to improve the safety status of this equipment. The reason for this is that the operating conditions of the Methanizer tower are dangerous and inventory is very high. For this reason, the inherent safety of the Methanizer tower is very low and provide the inherent safety principles for this equipment will be costly. However, the difference between the cost of implementing conventional and inherent safety principles is less than 0.5$. This indicates that if the “attenuation” is applied to the operating conditions of the tower, its will be inherently safer, therefore; its inherent safety cost index will decrease. Also, if the inherent safety principles had been adhered to in the design of the Methanizer tower, the implementation of the inherent safety principles in the operational phase would have been more justified.

Conclusion: The I2SI could use for the assessment of inherent safety status also can be performed at all stages of the system's life cycle, including the operational and design phases. The results showed that attention to the inherent safety principles, especially in the design phase, could increase the safety level without reducing the amount of production in addition to reducing the strategic costs of the process and equipment or other Imposed cost for increasing the safety level of safety.

Conflicts of interest: None
Funding: Shiraz University of Medical Sciences

How to cite this article:

Moghdasi A, Jahangiri M, Kamaliniya M, Sharafi N. Assessment of inherent safety status in a process plant; using integrated inherent safety index (I2SI). Iran Occupational Health. 2020 (16 Aug);17:28.

*This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence

سلامت کار ایران
دوره ۱۷ – ۲۸/۱۳۹۹
مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

ارزیابی وضعیت ایمنی ذاتی در یک واحد فرآیندی با استفاده از شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه (I2SI)

ابوالفضل مقدسی: دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران
مهدی جهانگیری: (* نویسنده مسئول) دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران. jahangiri_m@sums.ac.ir
مجتبی کمالی نیا: استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران
نادر شرفی: کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست گرایش آلودگی هوا، دانشگاه علوم تحقیقات خوزستان، اهواز، ایران

چکیده

زمینه و هدف: ایمنی ذاتی به مجموعه اقداماتی گفته می‌شود که سطح ایمنی را بدون اضافه کردن تجهیزات ایمنی افزایش می‌دهد. در ایمنی ذاتی به جای کنترل یا پذیرش خطر هدف حذف خطر است. هدف از این مطالعه ارزیابی وضعیت ایمنی ذاتی در یک واحد فرآیندی و مقایسه هزینه‌های آن در مقایسه با هزینه‌های ایمنی سنتی بود.

روش بررسی: برای ارزیابی وضعیت ایمنی ذاتی فرایند از روش ایمنی ذاتی یکپارچه (Integrated Inherent Safety Index –I2SI) استفاده شد. این روش از دو زیر شاخص اصلی شامل، شاخص خطر (HI –Hazard Index) و شاخص پتانسیل ایمنی ذاتی (ISPI –Inherent Safety Potential Index) تشکیل شده است. که با استفاده از این دو شاخص، ایمنی ذاتی برای هر فرآیند یا تجهیز محاسبه خواهد شد. هریک از این شاخص‌ها از زیرشاخص‌های مجزایی تشکیل شده اند. در ابتدا با برآورد دو شاخص آسیب (DI –Damage Index) و شاخص کنترل خطر و فرآیند (PHCI –Process Hazard Control Index)، شاخص خطر محاسبه شد. شاخص آسیب نیز براساس میزان آسیب و با مدل‌سازی وخیم ترین سناریو ممکن با نرم افزار PHAST محاسبه شد.

یافته‌ها: شاخص آسیب برای برج متانزدا بیشتر از باقی تجهیزات محاسبه شد که دلیل آن علاوه بر فشار بالای فرآیندی، حجم بالای موجودی آن است. همچنین شاخص آسیب برای LP REFR. Circulation Drum که کمترین حجم در نتیجه کمترین مقدار موجودی را در بین باقی تجهیزات دارد، کمتر از بقیه است. به همین صورت شاخص کنترل خطر فرآیند برای برج متانزدا بیشتر از باقی تجهیزات برآورد شد که نشان دهنده ایمنی ذاتی پایین این تجهیز و نیازمند بودن آن به اقدامات کنترلی است.

نتیجه‌گیری: شاخص I2SI برای فرآیند مورد مطالعه ۰/۴۱ محاسبه شد که نشان دهنده پایین بوده وضعیت ایمنی ذاتی این فرآیند است. دلیل این موضوع می‌تواند عدم آگاهی یا بی‌توجهی طراحان و مهندسان فرآیند به اصول ایمنی ذاتی در طراحی و راه‌اندازی فرآیند باشد. از طرف دیگر اگرچه بهترین زمان جهت اجرای اصول ایمنی ذاتی فاز طراحی از چرخه عمر سیستم است اما در فاز بهره‌برداری نیز می‌توان با توجیه اقتصادی برخی از اصول ایمنی ذاتی را اجرا کرد. بر اساس نظر طراحان و مهندسین فرآیند اصل تعدیل را می‌توان بدون هیچ هزینه اضافه‌ای در فاز بهره‌برداری اجرا کرد که علاوه بر افزایش ایمنی ذاتی فرآیند هزینه نگهداری تجهیزات را نیز کاهش می‌دهد. ارزیابی وضعیت ایمنی ذاتی با استفاده از شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه (I2SI) می‌تواند در تمام مراحل چرخه عمر سیستم، از جمله فاز بهره‌برداری و طراحی انجام شود. نتایج نشان داد توجه به اصول ایمنی ذاتی به ویژه در فاز طراحی می‌تواند علاوه بر کاهش هزینه‌های راهبردی فرآیند و تجهیزات، سطح ایمنی آن‌ها را بدون کاهش در میزان تولید، افزایش دهد.

تعارض منافع: *گزارش نشده است.*
منبع حمایت کننده: *دانشگاه علوم پزشکی شیراز*

کلیدواژه‌ها
ایمنی ذاتی،
ایمنی ذاتی یکپارچه،
I2SI،
شاخص هزینه،
واحد فرآیندی

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲۱
تاریخ چاپ: ۹۹/۰۵/۲۶

شیوه استناد به این مقاله:
Moghdasi A, Jahangiri M, Kamaliniya M, Sharafi N. Assessment of inherent safety status in a process plant; using integrated inherent safety index (I2SI). Iran Occupational Health. 2020 (16 Aug);17:28.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 3.0 صورت گرفته است

مقدمه

ایمنی ذاتی به مجموعه‌ای از اقدامات گفته می‌شود که سطح ایمنی را در صنایع بدون اضافه کردن تجهیزات ایمنی افزایش می‌دهد (۱-۳). به طور کلی می توان استراتژی‌های دستیابی به ایمنی را به دو دسته ذاتی و سنتی تقسیم بندی کرد. در ایمنی سنتی با استفاده از روش‌ها و استراتژی‌های مختلف فنی و مهندسی و مدیریتی از طریق اضافه کردن تجهیزات ایمنی به فرآیند، سطح ایمنی فرآیند افزایش می یابد. در ایمنی روش ها و راهکارهای مربوط به ایمنی سنتی، حفظ سطح بالای ایمنی نیاز به تعمیر و نگهداری دائم دارد و در صورت بروز اختلال در هر یک از لایه های ایمنی، سطح ایمنی به حالت اولیه کاهش می‌یابد (۴-۷). در ایمنی ذاتی به جای کنترل یا پذیرش خطر تلاش می‌شود که خطر حذف گردد (۳، ۸). در چند دهه اخیر مطالعات بسیاری با موضوع ایمنی ذاتی انجام شده است. محققان مختلف اصول متفاوتی را تحت عنوان اصول ایمنی ذاتی بیان کردن د(۹). به عنوان مثال فیصل خان و همکاران در روش ایمنی ذاتی یکپارچه (I2SI -Integrated Inherent Safety Index) پنج اصل کوچک‌سازی، جایگزینی، تعدیل، محدودسازی و ساده‌سازی را به عنوان اصول ایمنی ذاتی مطرح کردند (جدول ۱) (۱۰). تمام اصول مطرح شده تحت عنوان اصول ایمنی ذاتی، در اصل به دنبال حذف خطر، ماده خطرناک یا فرآیندهای مخاطره‌آمیز و پیچیده در صنایع هستند. به عبارت دیگر تمام روش‌هایی که منجر به حذف خطر از فرآیند شوند در گروه روش‌های ایمنی ذاتی قرار می‌گیرند. بهترین زمان برای اجرای اصول ایمنی ذاتی، فاز طراحی از چرخه عمر سیستم است زیرا اعمال تغییرات در این مرحله هیچ هزینه‌ای ندارد و آسان‌تر می‌باشد (۱۱، ۱۲). اما اکثر صنایع فرآیندی به خصوص در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، بدون توجه به اصول ایمنی ذاتی طراحی شده و به بهره‌برداری رسیده‌اند (۹، ۱۳). از طرف دیگر، روش‌های بسیاری برای ارزیابی اصول ایمنی ذاتی در صنایع ارائه شده است (۱، ۱۱، ۱۴-۱۶). اکثر این روش‌ها تنها قادر هستند وضعیت ایمنی ذاتی را در فاز طراحی مورد ارزیابی قرار دهند زیرا انجام تغییرات لازم جهت افزایش ایمنی ذاتی در این مرحله مقرون به صرفه و عملی‌تر است (۹). برخی از روش‌های ارزیابی ایمنی ذاتی مانند روش ایمنی ذاتی یکپارچه قادر هستند وضعیت ایمنی ذاتی فرآیند یا تجهیزات را در تمام مراحل چرخه عمر سیستم ارزیابی کنند.

در این مطالعه از شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه برای ارزیابی وضعیت ایمنی ذاتی یک واحد فرآیندی استفاده شده است. این شاخص توسط فیصل خان و همکاران در سال ۲۰۰۴ ارائه و در سال ۲۰۰۵ مورد بازنگری قرار گرفت و بخش هزینه‌ها به آن اضافه شد. شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه می‌تواند وضعیت ایمنی ذاتی را در تمام مراحل چرخه عمر سیستم از جمله فاز بهره‌برداری مورد ارزیابی قرار دهد (۱۰، ۱۶). همچنین این روش قادر است ایمنی ذاتی را برای تک‌تک تجهیزات و فرآیندها همچنین برای کل سیستم ارزیابی کرده و نتیجه را به صورت کمی ارائه دهد. از این لحاظ می‌توان از این شاخص در اولویت‌بندی اقدامات کنترلی استفاده کرد. علاوه بر موارد مطرح شده، این شاخص می‌تواند هزینه‌های اجرای اصول ایمنی ذاتی را نسبت به هزینه‌های ایمنی سنتی مقایسه کرده و توجیه اقتصادی اجرای اصول ایمنی ذاتی را به صورت عددی بیان کند (۳، ۱۰، ۱۷).

این مطالعه با هدف ارزیابی وضعیت ایمنی ذاتی یک واحد C2+ recovery در یک صنعت فرآیندی و توجیه

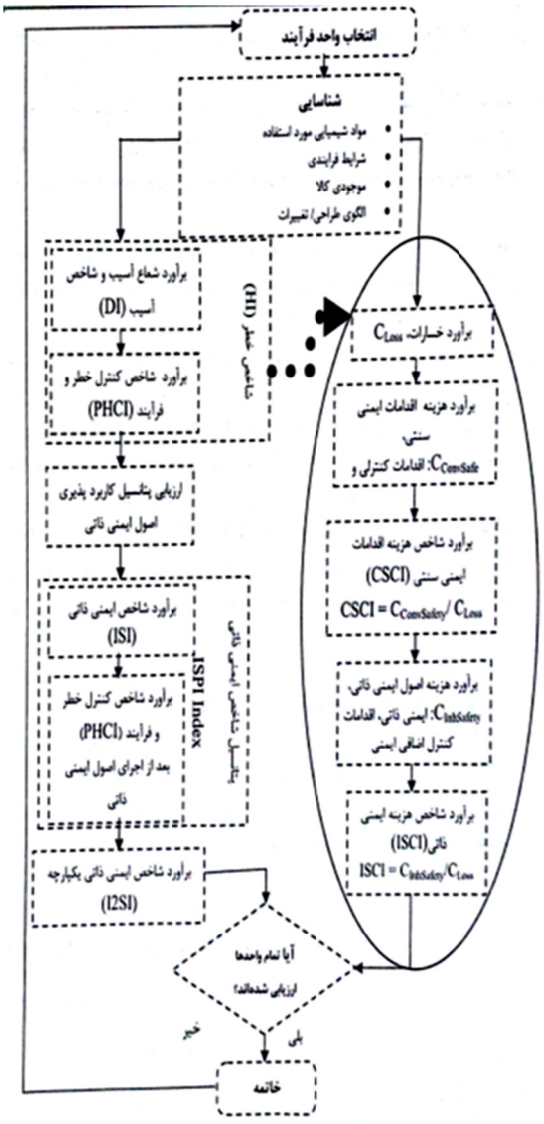
جدول ۱- اصول ایمنی ذاتی استفاده شده در شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه (I2SI)

اصول	توضیحات
کوچک‌سازی (Minimization)	کاهش مقدار ماده خطرناک
جایگزینی (Substitution)	استفاده از ماده بی‌خطرتر
تعدیل (Attenuation)	عملیات در شرایط عملیاتی ایمن‌تر انجام شود
محدودسازی (Limitation)	طراحی و عملیات، جهت کاهش اثرات مواجهه (مانند جداسازی فرآیند)
ساده‌سازی (Simplification)	اجتناب از پیچیدگی‌هایی نظیر تولیدات چندگانه یا واحدهای عملیاتی چندمنظوره یا تراکم لوله‌ها در خطر تولید

هزینه اجرای اصول ایمنی ذاتی و میزان تاثیر آن در مقایسه با ایمنی سنتی انجام شده است.

روش کار

وضعیت ایمنی ذاتی هریک از تجهیزات و درنهایت کل سیستم با روش ایمنی ذاتی یکپارچه بر اساس الگویی که در شکل ۱ آمده، مورد ارزیابی قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است در این شاخص علاوه بر وضعیت ایمنی ذاتی (*شاخص I2SI*)، شاخص هزینه ایمنی ستتی و ایمنی ذاتی نیز محاسبه می‌شود (*قسمت راست شکل ۱*). از مقایسه شاخص هزینه‌ها با هم می‌توان توجیه اقتصادی اجرای اصول ایمنی ذاتی را در مقایسه با ایمنی سنتی مورد بررسی



شکل ۱ – چارچوب مفهومی شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه

قرار داد. شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه از دو زیر شاخص اصلی شامل، شاخص خطر (HI -Hazard Index) و شاخص پتانسیل ایمنی ذاتی (Inherent Safety ISPI -Potential Index)تشکیل شده است.

در نهایت با استفاده از این دو شاخص بر اساس رابطه ۱ شاخص ایمنی ذاتی برای هر فرآیند یا تجهیز محاسبه شد.

رابطه ۱:

$$I2SI = \frac{ISPI}{HI}$$

شاخص ایمنی ذاتی کل برای کل فرآیند یا سیستم بر اساس رابطه ۲ محاسبه شد.

رابطه ۲:

$$I2SI_{system} = \left(\prod_{i=1}^{N} I2SI_i \right)^{1/2}$$

در رابطه ۲، i واحد فرآیندی و N تعداد کل واحدهای فرآیندی است.

در ادامه بر اساس شکل ۲، مراحل انجام کار شرح داده شده است.

شاخص آسیب (DI –Damage Index): این شاخص بر اساس اطلاعات دقیق فرآیندی، به طور جداگانه برای هرکدام از خطرات حریق و انفجار، سمیت حاد، سمیت مزمن و آسیب محیطی با استفاده از منحنی‌های شکل ۲-الف تا ۴-ج تعیین گردید. در این منحنی‌ها محور افقی شعاع آسیب می‌باشد. این شاخص بر اساس مدل‌سازی پیامد سناریو شدیدترین حالت ممکن توسط نرم‌افزار PHAST محاسبه شده است. شعاع آسیب هر تجهیز برای مرگ‌ومیر ۵۰٪ افراد بر روی محور افقی مشخص و از محور عمودی مقدار شاخص آسیب محاسبه شد.

شاخص‌های آسیب محیط برای هریک از آلاینده‌های آب، هوا و خاک به طور مجزا محاسبه شد (شکل ۲-پ تا ۴-ج) سپس شاخص نهایی آسیب محیطی با استفاده از رابطه ۳ تعیین شد.

رابطه ۳:

$$DI_{en} = Min\left\{100\left[(DI_{air})^3 + (DI_{water})^3 + (DI_{soil})^3\right]^{1/3}\right\}$$

شاخص آسیب کل با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد.

رابطه ۴:

$$DI=Min\left\{200\left[(DI_{fe})^2+(DI_{ac})^2+(DI_{ch})^2+(DI_{en})^2\right]^{1/2}\right\}$$

DI_{fe}: شاخص آسیب حریق و انفجار

DI_{ac}: شاخص آسیب سمیت حاد

DI_{ch}: شاخص آسیب سمیت مزمن

DI_{en}: شاخص آسیب محیطی

شاخص کنترل خطر و فرآیند (Process Hazard Control Index –PHCI): جهت محاسبه این شاخص به اطلاعات دقیق فرآیند نظیر فشار (p)، دما (t)، جریان (f)، سطح (l)، غلظت (c)، تهویه داخلی (iv)، دیوار صوتی (b)، دیوار مقاوم به حریق (fr)، آبفشان (s) و رقیق‌سازی (d) نیاز است. این شاخص به صورت ذهنی و با توجه به نظر متخصصان ایمنی و مهندسین فرآیند، بر اساس نیاز به اقدامات کنترلی برای هرکدام از فاکتورهای مطرح شده، تعیین گردید. برای محاسبه این شاخص ابتدا با استفاده از جدول ۲ درجه نیاز به اقدامات کنترل خطر فرآیند، تعیین سپس با استفاده از منحنی شکل ۳، شاخص کنترل خطر فرآیند برای هر مورد محاسبه شد. درنهایت با استفاده از رابطه ۵، شاخص کنترل خطر فرآیند کل (*PHCI*) محاسبه شد.

رابطه ۵:

$$PHCI=\begin{bmatrix}PHCI_p+PHCI_t+PHCI_f+PHCI_l+PHCI_c\\+PHCI_{iv}+PHCI_b+PHCI_{fr}+PHCI_s+PHCI_d\end{bmatrix}$$

شاخص خطر (Hazard Index –HI): بر اساس اطلاعات به دست آمده از بخش ۳-۱ و ۳-۲، شاخص خطر با استفاده از رابطه ۶ برای هریک از تجهیزات به طور مجزا محاسبه شد.

رابطه ۶:

$$HI=\frac{DI}{PHCI}$$

شاخص ایمنی ذاتی (Inherent Safety Index –ISI): این شاخص قابلیت اجرای اصول ایمنی ذاتی را به صورت کمی بیان می‌کند. در کمی سازی و محاسبه شاخص ایمنی ذاتی از یکسری واژه‌های کلیدی استفاده می‌شود که همان اصول ایمنی ذاتی هستند.

جدول ۲- راهنمای تعیین درجه نیاز به اقدامات کنترل خطر و فرآیند

توصیف	درجه نیاز
ضروری	۱۰
خیلی مهم	۹
مهم	۸
خیلی مهم نیست ولی نیاز است	۷
نیاز است	۶
نیازهای متوسط	۵
اگر باشد بهتر است	۴
بر روی فرآیند تأثیرگذار نیست	۳
نیاز نیست	۲-۱

جدول ۳- راهنمای تعیین درجه تاثیر اصول ایمنی ذاتی

توصیف	درجه
کاملا کاربردی و مخاطرات حذف می‌شود	۱۰
کاملا کاربردی و بیشتر مخاطرات مهم کاهش پیدا می‌کند	۹
کاملا کاربردی و خطر کاهش می‌یابد	۸
کاملا کاربردی و خطر به طور متوسطی کاهش می‌یابد	۷
بسیار کاربردی است و خطر را حذف می‌کند	۶
بسیار کاربردی است و خطر را کاهش می‌دهد	۵
کاربردی است و احتمالا خطر را حذف می‌کند	۴
کاربردی است و احتمالا خطر را کاهش می‌دهد	۳
تا حدودی کاربردی است و احتمالا خطر را حذف می‌کند	۲
تا حدودی کاربردی است و احتمالا خطر را حذف می‌کند	۱

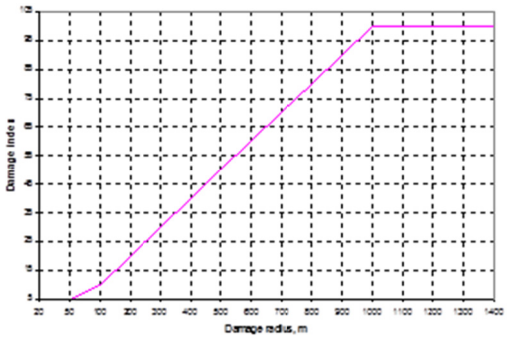
هریک از اصول ایمنی ذاتی بر اساس قابلیت کاربرد بر اساس نظر مهندسین و طراحان فرآیند بر اساس جدول ۳ ارزش‌گذاری شدند. درنهایت با استفاده از منحنی‌های شکل ۶-الف تا ۶-ت و جدول ۶ نمره نهایی شاخص ایمنی ذاتی برای هریک از تجهیزات بر اساس روابط ۷ و ۸ محاسبه شد و شاخص ساده سازی به طور مستقیم از جدول ۵ تعیین گردد.

اصل تعدیل شامل ۳ پارامتر عملیاتی دما، فشار و سمیت و خوردگی است که فرآیند را کنترل می‌کنند. شاخص ایمنی ذاتی برای کاربرد اصول ایمنی ذاتی جهت کنترل هریک از این پارامترها به صورت جدا از شکل ۶-ث به دست آمد و برای اصل تعدیل از رابطه ۷ محاسبه شد.

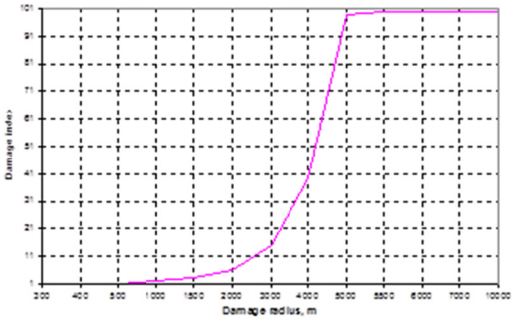
رابطه ۷:

$$ISI_a=Min\left\{100\left[(ISI_{temp})^3+(ISI_{pres})^3+(ISI_{toxi})^3\right]^{1/3}\right\}$$

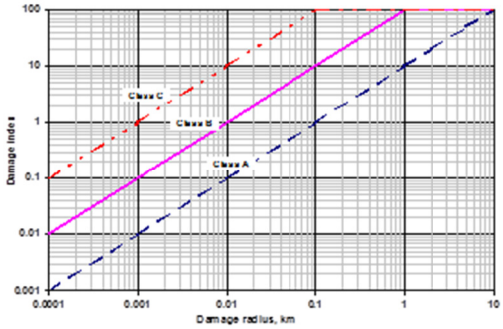
شاخص ایمنی ذاتی برای هر تجهیز از رابطه ۸ محاسبه شد.



شکل ۲– الف: نمودار شاخص آسیب برای سمیت حاد



شکل ۲– پ : نمودار شاخص آسیب برای سمیت مزمن



شکل ۲– ج : نمودار شاخص آسیب برای آلاینده خاک

در شکل ۲- ت، ج و د منظور از A, B و C موارد زیر می‌باشد:

کلاس A: موادی که درجه سمیت یا خورندگی آن‌ها بر اساس رتبه‌بندی NFPA کمتر از ۲ می‌باشد.

کلاسB: موادی که درجه سمیت یا خورندگی آن‌ها بر اساس رتبه‌بندی NFPA برابر ۲-۳ می‌باشد.

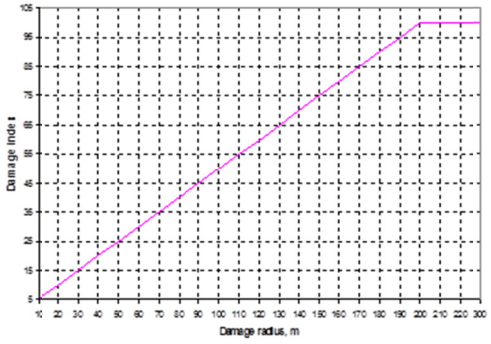
کلاس C: موادی که درجه سمیت یا خورندگی آن ها بر اساس رتبه‌بندی NFPA برابر ۴ می‌باشد.

رابطه ۸:

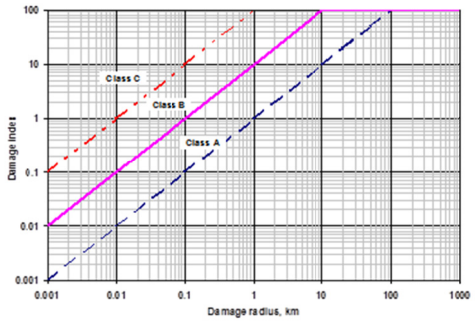
$$ISI=Min\left\{200,\left[(ISI_m)^2+(ISI_{su})^2+(ISI_l)^2+(ISI_{si})^2+(ISI_a)^2\right]^{1/2}\right\}$$

ISI_m: شاخص ایمنی ذاتی کوچک‌سازی

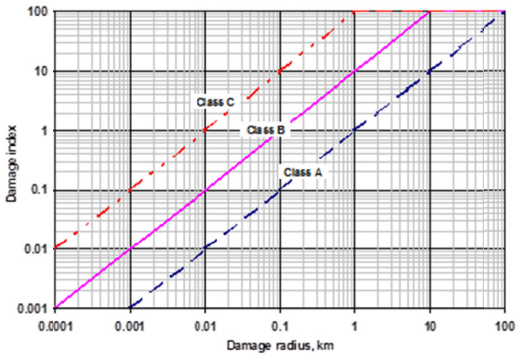
$ISIs_u$: شاخص ایمنی ذاتی جایگزینی



شکل ۲– ب : نمودار شاخص آسیب برای حریق و انفجار



شکل ۲– ت : نمودار شاخص آسیب برای آلاینده آب



شکل ۲– د : نمودار شاخص آسیب برای آلاینده خاک

ISI_a: شاخص ایمنی ذاتی تعدیل

ISI_{si}: شاخص ایمنی ذاتی ساده‌سازی

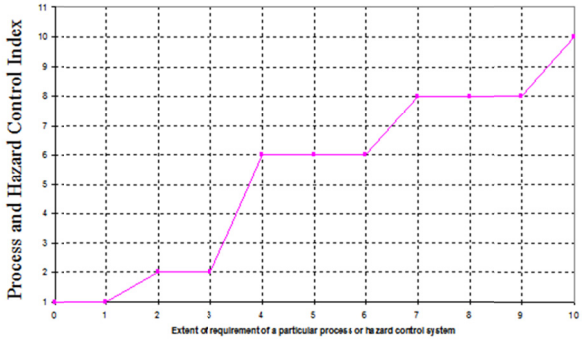
ISI_l: شاخص ایمنی ذاتی محدودسازی

شاخص پتانسیل ایمنی ذاتی (Inherent Safety Potential Index –ISPI): با برآورد دوباره شاخص کنترل خطر (Process Hazard Control Index -PHCI) و فرآیند با فرض اجرای اصول ایمنی ذاتی، شاخص پتانسیل ایمنی ذاتی از رابطه ۹ محاسبه گردید.

رابطه ۹:

$$ISPI=\frac{ISI}{PHCI}$$

ISI :Inherent Safety Index



شکل ۳- درجه نیاز به سامانه کنترل خطر و فرآیند

جدول ٤- راهنمای طبقه‌بندی کنترل هزینه فرآیند

سامانه کنترلی	هزینه (دلار)		
	کلاس C	کلاس B	کلاس A
کنترل فشار	۱۵-۹	۹-۴	۴-۲
کنترل درجه حرارت	۱۲-۶	۶-۳	۳-۱
کنترل جریان	۱۸-۱۱	۱۱-۶	۶-۳
کنترل سطح	۱۲-۹	۹-۵	۵-۲
کنترل PH	۱۲-۶	۶-۳	۳-۱
سامانه‌های کنترل اضافی (کنترل غلظت، تراکم و ...)	۱۹-۱۱	۱۱-۵	۵-۲

کلاس A: فرآیندهایی که در یک ظرفیت طبیعی مشغول کار می‌باشند و به یک سامانه کنترل معمولی نیاز دارند.
کلاس B: فرآیند تحت شرایط عملیاتی تحت فشار در حال کار می‌باشد و به یک سامانه کنترلی پیشرفته نیاز دارد.
کلاس C: فرآیند تحت شرایط به ظرفیت بالا از مواد شیمیایی بسیار خطرناک به همراه شرایط عملیاتی با فشار بی‌نهایت بوده و به یک سامانه کنترلی پیشرفته نیاز دارد.

شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه (Inherent Safety Index –I_2SI): درنهایت با استفاده از رابطه ۱ و ۲ شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه برای هر تجهیز و کل واحد محاسبه شد. به طور کلی گستره نمره شاخص خطر (HI) و شاخص پتانسیل ایمنی ذاتی (ISPI) می‌تواند از ۱ تا ۲۰۰ متغیر باشد که این امر انعطاف‌پذیری لازم برای محاسبه شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه جهت کمی سازی وضعیت ایمنی ذاتی فراهم کرده است. مطالعات نشان داده است که هرچه نمره شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه بیشتر باشد، فرآیند ذاتا ایمن‌تر است همچنین کاربرد اصول ایمنی ذاتی در فرآیند تاثیر بهتری دارد.

شاخص هزینه‌ها: در این شاخص جنبه‌های اقتصادی اجرای ایمنی ذاتی در مقایسه با هزینه‌های ایمنی سنتی محاسبه می‌شود. این شاخص شامل: شاخص هزینه‌های ایمنی سنتی (*CSCI*) و شاخص هزینه‌های ایمنی ذاتی (*ISCI*) می‌باشد که هرکدام از زیرشاخص‌هایی دیگر به دست می‌آید، در ادامه هرکدام از این شاخص‌ها و نحوه محاسبه آن‌ها شرح داده شده است.

برآورد خسارات (C_{Loos}): هزینه‌های خسارات از حاصل جمع خسارات تولید (PL)، خسارات دارایی (AL) آسیب به انسان (HHL) و هزینه پاک‌سازی محیط زیست (ECC) با استفاده از رابطه ۱۰ محاسبه گردید.

رابطه ۱۰:

$$C_{Loss} = C_{PL} + C_{AL} + C_{HHL} + C_{ECC}$$

خسارت به تولید (PL) بر اساس رابطه ۱۱ محاسبه شد. مدت زمان توقف احتمالی فرآیند بر اساس نظر مهندسین طراح فرآیند و واحد برنامه‌ریزی صنعت مورد مطالعه تخمین زده شد. ارزش تولید از برآورد میزان تولید و ارزش دلاری هر واحد محصول به دست آمد.

رابطه ۱۱: مدت زمان توقف احتمالی فرآیند (ساعت) × ارزش تولید (دلار به ازای ساعت)=C_{PL}

خسارات دارایی (AL) بر اساس رابطه ۱۲ محاسبه شد. تراکم دارایی بر اساس رابطه ۱۳ و مساحت بخش

آسیب دیده بر اساس مدل‌سازی پیامد حوادث بر اساس سناریو شدیدترین حالت ممکن برای مرگ‌ومیر ۵۰٪ توسط نرم‌افزار PHAST محاسبه شد.

رابطه ۱۲: تراکم دارایی (دلار در هر مترمربع) × مساحت خسارت دیده (مترمربع)=C_{AL}

رابطه ۱۳:

$$\text{Asset density (\$/area)} = \frac{\sum_i^n (\text{Equipment price+buildings price})}{total\ area\ of\ plant}$$

پارامتر آسیب به انسان (HHL)، مربوط به آسیب به سلامت انسان است و بر اساس مرگ‌ومیرها و هزینه‌های مربوط به آن و رابطه ۱۴ محاسبه شده است. هرچند نمی‌توان برای جان انسان قیمت تعیین کرد اما برای محاسبه هزینه

جراحت مرگ‌ومیر، از هزینه بیمه برای جان یک انسان استفاده شده است.

رابطه ۱۴:

وسعت ناحیه آسیب (مترمربع) × تراکم جمعیتی (تعداد افراد در مترمربع) × هزینه جراحت مرگ‌ومیر (دلار) =C_{HHL}

هزینه پاک‌سازی محیط زیست (ECC) با استفاده از رابطه ۱۵ محاسبه شد و برای محاسبه هزینه پاک‌سازی هر یک از پارامترهای خاک، آب‌وهوا بر اساس حجم یا مقدار آلودگی از روابط ۱۶تا۱۸ استفاده شده است.

رابطه ۱۵:

$$C_{ECC} = C_{Soil} + C_{Water} + C_{Air}$$

رابطه ۱۶:

خاک آلوده (تن) × هزینه پاک‌سازی (دلار به ازای هر تن) × NH =C_{Soil}

رابطه ۱۷:

حجم آب آلوده شده (مترمکعب) × هزینه پاک‌سازی (دلار به ازای هر مترمکعب) × NH =C_{water}

رابطه ۱۸:

حجم هوای آلوده (مترمکعب) × هزینه پاک‌سازی (دلار به ازای هر مترمکعب) × NH =C_{air}

NH معرف درجه خطر سلامتی در لوزی مواد شیمیایی NFPA می‌باشد.

برای محاسبه حجم هوای آلوده شده، با استفاده از نرم‌افزار PHAST نحوه انتشار ابر گازی محاسبه شد و درنهایت با استفاده از رابطه ۱۹ حجم هوای آلوده محاسبه شد.

رابطه ۱۹:

$$V = \frac{\frac{4}{3}+\pi abc}{2}$$

a: طول ابر گازی، b: عرض ابر گازی، c: ارتفاع ابر گازی

هزینه اقدامات کنترل فرآیند ($C_{control}$): هزینه‌های اقدامات کنترل فرآیند با استفاده از رابطه ۲۰ محاسبه شد.

رابطه ۲۰:

$$C_{Control} = \sum_{i=1}^{n} N * C_i$$

Ci هزینه اقدامات کنترل فرآیند در تعداد N می‌باشد و n تعداد کل سامانه‌های کنترلی به کار گرفته شده است. هزینه اقدامات کنترلی خاص به صورت تک‌تک از جدول ۴ به دست آمده است.

هزینه‌های اقدامات ایمنی اضافی: این نوع هزینه مربوط به اقدامات ایمنی و تجهیزات مربوط به آن است که با استفاده از رابطه ۲۱ محاسبه شد.

رابطه ۲۱:

$$C_{Add-on} = \sum_{j=1}^{n} N * C_j$$

Cj هزینه اقدامات کنترل فرآیند در زمان N و n تعداد کل سامانه‌های ایمنی اضافی به کار گرفته شده است. هزینه اقدامات ایمنی اضافی خاص به صورت تک‌تک از جدول ۵ محاسبه شد.

شاخص هزینه ایمنی ذاتی (Inherent Safety Cost Index- ISCI): این شاخص از رابطه ۲۲ محاسبه شد.

رابطه ۲۲:

$$ISCI = \frac{C_{InhSafety}}{C_{Loss}}$$

$$C_{InhSafety} = C_{Inherent} + C_{Control} + C_{Add\text{-}on}$$

در روابط فوق $C_{InhSafety}$ و CLoss به ترتیب هزینه‌ایمنی ذاتی و هزینه خسارات وارد شده می‌باشند. هزینه اقدامات اضافی و هزینه اقدامات کنترل فرآیند با

جدول ٦- مشخصات تجهیزات مورد مطالعه در فرآیند

تجهیزات مورد مطالعه	دما (C)	فشار (bar)	موجودی (kg)
Demethanizer	-۹۴٫۶	۳۳٫۵	۸۴۲۵۰
MP REFR Circulation Drum	-۱۳٫۵	۳٫۸	۲۶۸۴۰
Feed HP Separator	-۴۳٫۸	۱٫۲	۳۱۸۰۰
LP REFR. Circulation Drum	-۶۰	۵۵٫۶	۸۱۱۹

استفاده از روابطی که در قسمت‌های قبل ذکر شده محاسبه شد. هزینه مربوط به اجرای ایمنی ذاتی بر اساس هزینه‌های به کارگیری هریک از اصول ایمنی ذاتی (کوچک‌سازی، جایگزینی، تعدیل، ساده‌سازی و محدودسازی) و درجه تاثیر آن‌ها با استفاده از رابطه ۲۳ محاسبه شد.

رابطه ۲۳:

$$C_{Inherent}=C_M/E_M+C_S/E_S+C_A/E_A+C_{Si}/E_{Si}+C_L/E_L$$

C: هزینه‌های اجرای هریک از اصول ایمنی ذاتی که با استفاده از نظر مهندسین فرآیند و مسئولین مربوطه محاسبه شد.

E: درجه تاثیر هریک از اصول ایمنی ذاتی که از جدول ۳ به دست آمد.

مشخصات تجهیزات فرایندی در جدول ۶ ارائه شده است.

یافته‌ها

در جدول ۷ شاخص آسیب برای هر یک از تجهیزات براساس سناریوی شدیدترین حالت ممکن (worst case scenario) که با نرم افزار PHAST محاسبه شده است، ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود شاخص آسیب برای برج متانزدا بیشتر از باقی تجهیزات است (۲۰۰) که دلیل آن علاوه بر فشار بالای فرآیندی، حجم بالای موجودی آن است (جدول ۶). همچنین شاخص آسیب برای LP REFR. Circulation Drum که کمترین حجم در نتیجه کمترین مقدار موجودی را در بین باقی تجهیزات دارد، کمتر از بقیه است (۴۵).

به همین صورت شاخص کنترل خطر فرآیند برای برج متانزدا که براساس نظر مهندسین و طراحان فرآیند به طور ذهنی برآورد شده است بیشتر از باقی تجهیزات است که نشان دهنده ایمنی ذاتی پایین این تجهیز و نیازمند بودن آن (به ترتیب ۴ و ۲، ۸۳)، در نهایت شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه برای برج متانزدا برابر با ۰/۲۹ می‌باشد که کمتر از درام تغذیه کننده است. همینطور شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه برای برج متانزدا کمتر از باقی تجهیزات محاسبه شده است.

شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه برای LP REFR. Circulation Drum و MP REFR Circulation Drum که در چرخه سردسازی به اقدامات کنترلی است. شاخص کنترل خطر فرآیند برای سه درام (یک درام تغذیه کننده و دو درام چرخه خنک سازی) برابر ۴۰ برآورد شده است.

شاخص ایمنی ذاتی برای برج متانزدا و درام تغذیه‌کننده تقریبا برابر می‌باشد (به ترتیب ۱۸/۳۷ و ۱۸/۳۲) اما به دلیل بالاتر بودن شاخص کنترل خطر فرآیند برای برج متانزدا و همینطور بالاتر بودن شاخص خطر برای آن (به دلیل بالا بودن شاخص آسیب) نسبت به درام تغذیه کننده پروپان نقش دارند برابر با ۱/۰۵ به دست آمده است که بیشتر از باقی تجهیزات است. همچنین شاخص ایمنی ذاتی کل برای فرآیند ۰/۴۱ محاسبه شده است که نشان دهنده ایمنی ذاتی پایین فرآیند مورد مطالعه می‌باشد. جدول ۸ نتایج به دست آمده از شاخص هزینه‌ها به روش ایمنی ذاتی یکپارچه را نشان می‌دهد. هزینه هایی که براثر وقوع حوادث احتمالی برسیستم و محیط زیست تحمیل می شود با توجه به نوع ماده آزاد شده، هزینه پاکسازی آن از محیط و شرایط عملیاتی تجهیزات براساس روش ارائه شده در روش ایمنی ذاتی یکپارچه برآورد شده است. طبق این شاخص MP REFR. Circulation Drum در صورت وقوع حادثه می تواند بیشترین خسارت مالی را به سیستم تحمیل کند. و کمترین خسارت را درام تغذیه کننده به همراه دارد.

برای بررسی توجیه‌پذیری اجرای اصول ایمنی ذاتی و سنتی باید شاخص هزینه‌های آن‌ها با هم مقایسه شود

جدول ۷- نتایج شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه برای فرآیند استحصال متان

مرحله فرآیند/واحد	شاخص آسیب DI	شاخص کنترل خطر فرآیند PHCI1	شاخص ایمنی ذاتی ISI	شاخص کنترل خطر فرآیند PHCI2	شاخص خطر HI	شاخص بالقوه ایمنی ذاتی ISPI	شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه I2SI
Demethanizer	۲۰۰	۵۰	۱۸/۳۷	۱۶	۴	۱/۱۵	۰/۲۹
MP REFR Circulation Drum	۶۵	۴۰	۲۰/۵۵	۱۲	۱/۶۳	۱/۷۱	۱/۰۵
Feed HP Separator	۱۱۳	۴۰	۱۸/۳۲	۱۲	۲/۸۳	۱/۵۳	۰/۵۴
LP REFR. Circulation Drum	۴۵	۴۰	۲۰/۵۵	۱۲	۱/۶۳	۱/۷۱	۱/۰۵
$I2SI_{system}$				۰/۴۱			

جدول ۸- شاخص هزینه‌های فرآیند استحصال متان

مرحله فرآیند/ واحد	خسارات قابل انتظار Closs	هزینه‌های ایمنی سنتی Cconvsafety	هزینه‌های ایمنی ذاتی Cinherentsafety	شاخص هزینه‌ایمنی ذاتی ISCI	شاخص هزینه‌ایمنی سنتی CSCI
Demethanizer	۲۱۵۳۰	۶۷۰۰۰	۷۷۰۰۰	۳/۵۸	۳/۱۱
MP REFR Circulation Drum	۵۳۶۱۹۴	۱۲۶۰۰۰	۶۷۰۰۰	۰/۱۲	۰/۲۳
Feed HP Separator	۱۲۸۸۲	۱۲۶۰۰۰	۶۷۰۰۰	۵/۲۰	۹/۷۸
LP REFR. Circulation Drum	۱۲۷۹۱۰	۱۲۶۰۰۰	۶۷۰۰۰	۰/۵۲	۰/۹۹

و هرکدام که مقدار کمتری را به خود اختصاص دهد، از نظر اقتصادی توجیه‌پذیری بیشتری دارد.

بحث

دلیل پایین بودن شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه برای برج متانزدا استفاده از یک برج بزرگ با حجم ۱۱۳۷ مترمکعب است. همچنین فشار فرآیندی آن برابر با bar ۳۳,۵ است که این فشار بالا همراه با موجودی زیاد در صورت وقوع حادثه می‌تواند پیامدهای شدیدی به همراه داشته باشد. به همین دلیل شاخص آسیب (DI) برای ۵۰٪ مرگ‌ومیر و درنهایت شاخص خطر (HI) برای برج متانزدا بالا می‌باشد (به ترتیب ۲۰۰ و ۴). همین موضوع ایمنی ذاتی این تجهیز را تحت تاثیر قرار داده و درنهایت شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه برای آن پایین محاسبه شده است.

دلیل بالاتر بودن ایمنی ذاتی و MP REFR Circulation Drum، کمتر بودن فشار عملیاتی این دو درام نسبت به باقی تجهیزات است(به ترتیب bar ۱/۲ و bar ۳/۵). همچنین حجم این دو درام به ترتیب برابر با ۵۴/۴ و ۴۹/۱ مترمکعب است که بسیار کمتر از برج متانزدا همچنین کمتر از Feed HP Separator است. همین موضوع باعث شده است تا شاخص آسیب برای این دو تجهیز ۶۵ محاسبه شود که تقریبا ۶۷٪ پایین‌تر از شاخص آسیب به دست آمده برای برج متانزدا است. همین موضوع باعث شده است شاخص خطر برای این دو تجهیز کمتر از باقی تجهیزات باشد. علاوه بر این، شاخص پتانسیل ایمنی ذاتی (ISPI) برای این دو تجهیز بالاتر از برج متانزدا و Feed HP Separator است زیرا فراهم کردن ایمنی ذاتی برای این دو درام راحت‌تر از باقی تجهیزات است. همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود شاخص کنترل فرآیند برای برج متانزدا قبل و بعد از فرض اجرای اصول ایمنی ذاتی بالاتر از باقی تجهیزات است. همین نیاز به تجهیزات و تمهیدات کنترلی و اقدامات ایمنی سنتی برای ارتقاء سطح ایمنی برج متانزدا یکی دیگر از دلایل پایین بودن شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه برای این تجهیز است. به عبارت دیگر برج متانزدا مورد استفاده در این فرآیند از ایمنی ذاتی پایینی برخوردار است و برای ارتقاء ایمنی ذاتی آن باید شرایط عملیاتی و حجم آن به سمت ذاتا ایمن‌تر تغییر کند. نتایج به دست آمده از آنالیز حساسیت انجام شده برای برج متانزدا توسط نرم‌افزار PHAST نشان می‌دهد که اگر دمای آن کمتر (منفی‌تر) شود و فشار آن به فشار جو نزدیک شود، ایمنی ذاتی این تجهیز ارتقاء می‌یابد یا به عبارت دیگر برج متانزدا ذاتا ایمن‌تر

می‌شود. دلیل آن این است که در صورت وقوع نشتی در برج، کاهش دمای برج متانزدا باعث کاهش نرخ خروج ماده می‌شود و شدت پیامدهای ناشی از آن مانند انواع حریق و انتشار ابر گازی را کاهش می‌دهد. همچنین کم شدن فشار می‌تواند تاثیری مشابه را بر پیامد ناشی از سناریوهای احتمالی داشته باشد. همچنین می‌توان با افزایش دمای جریان ۲۶-۲۲ (شکل۲)، جریان جرمی پروپان سردکننده را کاهش داد. این جریان به عنوان جریان گرم کننده برج متانزدا عمل می‌کند در نتیجه افزایش دمای آن میزان سرما ساز (پروپان) مورد نیاز را کاهش می‌دهد. با کاهش فشار برج متانزدا نیز می‌توان دبی جریان پروپان سردکننده را کاهش داد. همچنین با کاهش boil up ratio می‌توان میزان جریان گازی برج متانزدا و در نتیجه دبی جریان‌های جانبی آن را کاهش داد که این کار باعث کاهش دبی جریان وارد شده به Cold box شده و درنهایت میزان سرما ساز مورد نیاز کاهش می‌یابد. اقدامات مطرح شده باعث بهینه شدن شرایط عملیاتی برج متانزدا و به عبارت دیگر اجرای اصل تعدیل می‌شود. همینطور بهینه‌سازی شرایط عملیاتی می‌تواند باعث کم شدن حجم مخازن، بخصوص برج متانزدا شود و از این لحاظ باعث اجرای اصل کوچک‌سازی می‌شود. نکته مهم در مورد این تغییرات این است که این تغییرات باید در محدوده‌ای باشد که میزان تولید کاهش نیابد. همینطور اصل تعدیل می‌تواند در فاز بهره‌برداری بدون هیچ هزینه اضافی اجرا شود اما اجرای اصل کوچک‌سازی در فاز طراحی توجیه‌پذیرتر است. اجرای این اصول باعث کاهش نیاز به تمهیدات کنترلی جهت ارتقاء سطح ایمنی برج متانزدا به روش سنتی می‌شود و با افزایش پتانسیل ایمنی ذاتی و کاهش شاخص خطر، شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه را برای این تجهیز افزایش می‌دهد. اقدامات مشابه می‌تواند برای افزایش ایمنی ذاتی باقی تجهیزات انجام شود.

نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که شاخص $I2SI$ برای فرآیند مورد مطالعه ۰,۴۱ است (جدول ۷) که نشان دهنده پایین بوده وضعیت ایمنی ذاتی این فرآیند است. دلیل این موضوع می‌تواند عدم آگاهی یا بی‌توجهی طراحان و مهندسان فرآیند به اصول ایمنی ذاتی در طراحی و راه‌اندازی فرآیند باشد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد، هرچند بهترین زمان جهت اجرای اصول ایمنی ذاتی فاز طراحی از چرخه عمر سیستم است اما در فاز بهره‌برداری نیز می‌توان با توجیه اقتصادی برخی از اصول ایمنی ذاتی را اجرا کرد. بر اساس نظر طراحان و مهندسین فرآیند اصل تعدیل را می‌توان بدون هیچ هزینه اضافه‌ای در فاز بهره‌برداری اجرا کرد که علاوه بر افزایش ایمنی ذاتی فرآیند هزینه نگهداری تجهیزات را نیز کاهش می‌دهد. همینطور توجه به اصل کوچک‌سازی در فاز طراحی می‌توانست باعث بهبود وضعیت ایمنی ذاتی و کاهش هزینه ساخت و نگهداری تجهیزات گردد. مزیت بهبود وضعیت ایمنی فرآیندها به روش ذاتی نسبت به روش سنتی این است که بعد از اجرای اصول ایمنی ذاتی در فرآیند، دیگر نیازی به تعمیر و نگهداری ابزارهای ایمنی نیست و مشکلاتی از قبیل خطا در عملکرد تجهیزات ایمنی وجود ندارد. زیرا در روش‌های ایمنی ذاتی، خطر و ریسک وقوع آن به کلی از سیستم حذف می‌شود و فرآیند تا لحظه توقف نهایی با همان سطح ایمنی و قابلیت اطمینان اولیه به فعالیت خود ادامه می‌دهد.

همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود شاخص هزینه‌ایمنی ذاتی (ISCI) برای برج متانزدا بیشتر از شاخص هزینه‌ایمنی سنتی (CSCI) است (به ترتیب ۳/۵۸ و ۳/۱۱). این شاخص‌ها به این معنا هستند که برای حفظ یک دلار سرمایه از طریق افزایش ایمنی ذاتی برج متانزدا باید ۳/۵۸دلار هزینه شود همچنین برای حفظ یک دلار سرمایه از طریق افزایش ایمنی برج متانزدا به روش‌های سنتی باید ۳/۱۱ دلار هزینه گردد. به عبارت دیگر اجرای اصول ایمنی سنتی در بهبود وضعیت ایمنی این تجهیز به صرفه‌تر است. دلیل این موضوع این است که شرایط عملیاتی برج متانزدا خطرناک است همچنین موجودی آن بسیار زیاد می‌باشد. به همین دلیل ایمنی ذاتی برج متانزدا بسیار پایین است (جدول ۷) و فراهم کردن اصول ایمنی ذاتی برای این تجهیز هزینه‌بر است. با این حال تفاوت هزینه‌های اجرای اصول ایمنی سنتی و ذاتی کمتر از ۰/۵ دلار است. این امر بیانگر این موضوع است که اگر اصل تعدیل برای شرایط عملیاتی برج اجرا گردد و ایمنی ذاتی آن افزایش یابد، شاخص هزینه‌ایمنی ذاتی آن کاهش پیدا می‌کند. همچنین اگر در طراحی برج متانزدا اصول ایمنی ذاتی رعایت شده بود، اجرای اصول ایمنی ذاتی در فاز بهره‌برداری توجیه‌پذیری بیشتری

داشت.

شاخص هزینه‌ایمنی ذاتی برای Feed HP Separator تقریبا نصف شاخص هزینه‌ایمنی سنتی است (به ترتیب ۵/۲۰ و ۹/۷۸). به عبارت دیگر جهت ارتقاء ایمنی این تجهیز و حفظ سرمایه از طریق بهبود ایمنی Feed HP Separator، روش‌های ایمنی ذاتی به صرفه‌تر از روش‌های ایمنی سنتی می‌باشد. با توجه به شاخص هزینه‌ها برای دو درام دیگر نیز اجرای اصول ایمنی ذاتی به صرفه‌تر از اجرای اصول ایمنی سنتی است. خسارات قابل انتظار برای برج متانزدا و Feed HP Separator کمتر از دو درام دیگر است. دلیل این موضوع این است که شاخص درجه خطر سلامت در لوزی خطر برای متان صفر و برای پروپان ۲ است. به همین دلیل هزینه پاک‌سازی پروپان از هوا در محاسبات لحاظ گردید. این موضوع باعث افزایش هزینه‌های ناشی از خسارات برای دو تجهیز MP REFR Circulation Drum و LP REFR. Circulation Drum شد.

نتیجه‌گیری

ارزیابی وضعیت ایمنی ذاتی با استفاده از شاخص ایمنی ذاتی یکپارچه (I2SI) می‌تواند در تمام مراحل چرخه عمر سیستم، از جمله فاز بهره‌برداری و طراحی انجام شود. نتایج نشان داد توجه به اصول ایمنی ذاتی به ویژه در فاز طراحی می‌تواند علاوه بر کاهش هزینه‌های راهبردی فرآیند و تجهیزات، سطح ایمنی آن‌ها را بدون کاهش در میزان تولید، افزایش دهد.

تقدیر و تشکر

این مقاله از پایان‌نامه ابوالفضل مقدسی دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت حرفه‌ای در دانشگاه علوم پزشکی شیراز استخراج شده است. این پایان‌نامه با حمایت‌های مالی دانشگاه علوم پزشکی شیراز طبق طرح مصوب در تاریخ ۱۳۹۶/۳/۱۷ با شماره ۱۳۸۹۰-۰۱-۰۴-۱۳۹۵ انجام شده است.

References

1. Abidin MZ, Rusli R, Sharif AM, Khan FI. Three-Stage ISD Matrix (TIM) Tool to Review the Impact of Inherently Safer Design Implementation. Process Saf Environl Protect/ 2016;99:30-42.

2. Kletz TA. Inherently safer design: the growth of an idea. Process Saf Progress. 1996;15(1):5-8.

3. Tugnoli A, Khan F, Amyotte P, Cozzani V. Safety assessment in plant layout design using indexing approach: Implementing inherent safety perspective: Part 1–Guideword applicability and method description. J Hazard Mat. 2008;160(1):100-109.

4. Heidari M, Salmani H, Nazari Y. Usage of Failure Mode & EffectAnalysis Method (FMEA) forsafety assessment in a drug manufacture. Iran Occup Health. 2006;3(1):70-75.

5. Falaki F. Chemical safety (Editorial). Iran Occup Health J. 2009;6(2):13-18.

6. Motamedzadeh M, Mohamadfam I, Hamidi Y. Health, safety and environment risk assessment in gas pipelines by indexing method:case of Kermanshah Sanandaj oil pipeline. Iran Occup Health J. 2009; 6(3):58-66.

7. Shamsi M, Shams M, Nilipour Tabatabaei A. Attitude and behaviors related to using personal protective equipments: Audience analysis to design a behavior change intervention for employees in constructing underground stations in Esfahan. Iran Occup Health J. 2013;10(3):20-28.

8. Shariff AM, Wahab NA. Inherent fire consequence estimation tool (IFCET) for preliminary design of process plant. Fire Saf J. 2013;59:47-54.

9. Jahangiri M, Noorozi MA. Risk assessment & management. 1th ed. Vol 3. Tehran. Fanavaran. 2010.

10. Khan FI. Amyotte PR. I2SI: a comprehensive quantitative tool for inherent safety and cost evaluation. J Loss Prev Process Indust. 2005;18(4):310-326.

11. Rusli R, Mohd Shariff A. Qualitative Assessment for Inherently Safer Design (QAISD) at preliminary design stage. J Loss Prev Process Indust. 2010;23(1):157-165.

12. Rathnayaka S, Khan F, Amyotte P. Risk-based process plant design considering inherent safety. Saf Sci. 2014;70:438-464.

13. Jahangiri M, Noorozi MA. Risk assessment & management. 1th ed. Vol 2. Tehran. Fanavaran 2013.

14. Jang WH, Hahn J, Hall KR. Genetic/quadratic search algorithm for plant economic optimizations using a process simulator. Comput Chem Engin. 2005;30(2):285-294.

15. Shariff AM, Leong CT. Inherent risk assessment—A new concept to evaluate risk in preliminary design stage. Process Saf Environ Protect. 2009;87(6):371-376.

16. Khan FI, Amyotte PR. Integrated inherent safety index (I2SI): a tool for inherent safety evaluation. Process Saf Progress. 2004;23(2):136-148.

17. Tugnoli A, et al. Safety assessment in plant layout design using indexing approach: Implementing inherent safety perspective: Part 2—Domino Hazard Index and case study. J Hazard Mat. 2008;160(1):110-121.