ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرآیندی: یک مطالعه مقطعی در پالایشگاه گازی فاز ۱۹ پارس جنوبی

حسین عموئی: دانشجوی دکتری مدیریت محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.
مهناز میرزاابراهیم تهرانی*: استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.
Email: tehrani.mah@gmail.com

سید علی جوزی: استاد، گروه محیط زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران.
احمد سلطان‌زاده: استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، مرکز تحقیقات آلاینده‌های محیطی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۰

چکیده
مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرآیندی در پالایشگاه فاز ۱۹ پارس جنوبی انجام شده و این مطالعه مقطعی و توصیفی-تحلیلی در بازه زمانی ۱۳۹۹-۱۳۹۷ انجام شده است. نمونه مورد مطالعه واحد شیرین‌سازی پالایشگاه گازی فاز ۱۹ پارس جنوبی بود که مبتنی بر ۳ مؤلفه اصلی احتمال، شدت و آمادگی از مدلی نیمه‌کمی برای ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرآیندی استفاده شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS v.۲۵ و AMOS v.۲۴ انجام و ۱۳۱ منبع خطر شناسایی شد. ۲۱/۴ درصد از عناصر خطر شناسایی‌شده در محدوده تهدید ضعیف، ۵۹/۵ درصد در محدوده تهدید متوسط(وضعیت هشدار) و ۱۹/۱درصد هم در محدوده تهدید شدید(وضعیت بحرانی) قرار دارند. بیشترین و کمترین مقدار شاخص تاب‌آوری طی مطالعه حاضر به‌ترتیب مقدار ۵۰۰ و ۱۰ بوده و مربوط به عنصر خطر قطع یوتیلیتی و قطع هوای ابزار دقیق است. نتایج نشان داد شاخص تاب‌آوری به‌صورت کلی تا ۹۱ درصد قابل پیش‌بینی بوده و ۳ مؤلفه احتمال، شدت و آمادگی هر کدام به‌ترتیب با مقادیر ۰/۳۹، ۰/۷۸ و ۰/۳۷ قادر به پیش‌بینی و تخمین شاخص تاب‌آوری هستند. یافته‌ها بیانگر این بود که شاخص پیامد با توجه به ماهیت فرآیند و عوامل بحرانی موجود در پالایشگاه¬ها بارزترین مؤلفه در تعیین پارامتر آسیب‌پذیری و تاب‌آوری سامانه است. از این‌رو ارزیابی تاب‌آوری، توجه به شدت پیامدهای احتمالی و استقرار لایه‌های حفاظتی مختلف برای کاهش دامنه و شدت آسیب ناشی از حوادث فاجعه‌بار بارزترین اصل افزایش سطوح تاب‌آوری سامانه‌های فرآیندی محسوب می‌شود.

واژگان کلیدی: تاب‌آوری، آسیب‌پذیری، ایمنی، صنعت فرآیندی، پالایشگاه.

Evaluation of safety resilience in process industries: A cross-sectional study in gas refinery of South Pars Phase ۱۹

Hossein Amouei[۱]; Mahnaz Mirza Ebrahim Tehrani[۲]*; Seyed Ali Jozi[۳]; Ahmad Soltanzadeh[٤]

Abstarct
This study aimed to evaluate the safety resilience in process industries with a passive defense approach in South Pars Phase ۱۹ refinery. This descriptive-analytical study was conducted in the period ۲۰۱۸ to ۲۰۲۰. The study sample included sweetening unit of South Pars Phase ۱۹ gas refinery. Based on the three main components of probability, severity, and preparedness, a semi-quantitative model used for evaluating safety resilience in process industries. Data analysis performed using SPSS v.۲۵ and AMOS v.۲٤ software. ۱۳۱ sources of danger were identified. ٪۲۱,٤ of the identified hazard elements are in the weak threat range, ٪۵۹,۵ are in the moderate threat range, and ٪۱۹,۱ are in the severe threat range. The maximum and minimum values of the present study›s resilience index were ۵۰۰ and ۱۰, respectively, and are related to the risk element of utility cut-off and instrument cut-off. The results showed that the resilience index is generally predictable up to ٪۹۱. The three components of probability, severity, and preparedness predicted the resilience indicators with values of ۰,۷۸ ,۰,۳۹, and ۰,۳۷, respectively. The findings indicated that severity index is the most crucial component in determining the vulnerability and resilience parameters of the system due to the nature of the process and critical parameters in refineries. Therefore, resilience assessment, attention to the severity of possible consequences, and the establishment of different protective layers to reduce the amplitude and severity of damage caused by catastrophic events is the most vital principle to increase process systems› resilience levels.

Keywords: *Resilience, Vulnerability, Safety, Process Industry, Refinery.*

۱ PhD Candidate, Management of Environment, Department of Environment, Faculty of Marine Science and Technology, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
۲ Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Marine Science and Technology, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*
۳ Professor, Department of Environment, Faculty of Marine Science and Technology, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
٤ Assistant Professor, Department of Occupational Health & Safety Engineering, Research Center for Environmental Pollutants, Faculty of Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran.

۱- مقدمه

بر اساس نظریه تعادل در بحران هرگاه تعادل نیازمندی ها و توانمندی های سامانه‌ای زنده و پویا به‌هم بخورد، سامانه دچار بحران می‌شود. فرآیندهای جاری در پالایشگاه‌های گازی دارای مخاطرات گسترده بوده و در صورت بروز نقص و برهم‌خوردن تعادل سامانه وقوع بحران با شدت بالا بسیار محتمل خواهد بود. برای آمادگی در برابر شرایط اضطراری باید سامانه‌های حفاظتی متناسب برای آنها تعبیه و جهت کنترل و حفظ تولید پایدار با استقرار مدل تاب‌آوری مناسب از توقف فرآیندها و آسیب‌های احتمالی جلوگیری کرد[۱, ۲].

رویکرد مدیریت پیامد و روش‌های ارائه و کاربرد آن مانند تحلیل و ارزیابی تاب‌آوری به‌عنوان یکی از بارزترین ساختارها در موضوع ایمنی با مورد توجه قرار دادن ۲ رویکرد واکنشی و کنشی به دنبال پر کردن نقایص این ۲ رویکرد و تقویت آن بوده و با استفاده از الگوریتمی قوی و کارآمد می‌کوشد تا با واکاوی میزان آسیب‌پذیری و ارزیابی تاب‌آوری در برابر انواع مخاطراتی که ایمنی و حتی بقای صنعت یا سامانه‌ای را تهدید می‌کند، ارزیابی درست و دقیقی از میزان و وضعیت ایمنی و تاب‌آوری به‌دست آورده و در نهایت میزان آمادگی را در برابر این تهدیدات افزایش دهد. بر این اساس ارائه الگو و قالبی ساختارمند برای ارزیابی تاب‌آوری ایمنی سامانه و همچنین توجه ویژه به فناوری یا به عبارت دیگر تحلیل سیستماتیک تاب‌آوری با رویکرد شناخت و تحلیل نظام‌مند فناوری می‌تواند به‌عنوان گامی مهم در این عرصه به شمار رود[۳, ۴].

مهندسی تاب‌آوری جایگزینی برای تمام روش‌های ایمنی موجود نیست؛ بلکه رویکرد و دیدگاهی متفاوت است و می‌تواند مکملی برای پر کردن خلأهای موجود باشد. از دیدگاه فعلی رویدادها، حوادث و تهدیدها عموماً ترکیبی خطی از علّت‌ها و خطر ناشی از انسان و سامانه است؛ بنابراین بر اساس این دیدگاه عموماً پویایی سامانه و مواردی مثل فشار تولید، تغییرات زمانی، تهدیدهای مبتنی بر تغییرات فناوری و تعاملات ویژه انسان-فناوری در نظر گرفته نمی‌شوند. در حالی که مهندسی تاب‌آوری به‌جای تأکید بر این مسائل علت و معلولی بر روی توانایی سامانه در حفظ قابلیت‌هایش قبل، هنگام و بعد از تغییرات نامطلوب متمرکز است[۵, ۶]. از این‌رو محاسبه و ارزیابی میزان تاب‌آوری در برابر تهدیدات در واقع شناخت نحوه تأثیرگذاری عوامل خطر مختلف بر میزان تاب‌آوری و شناسایی ابعاد مختلف تاب‌آوری است. در این میان، نوع نگرش به موضوع تاب‌آوری و نحوه تحلیل آن از طرفی در چگونگی شناخت تاب‌آوری وضع موجود و علل آن نقش کلیدی دارد و از طرف دیگر سیاست‌ها، اقدامات کاهش تهدید مخاطرات و نحوه رویارویی با آن را تحت تأثیر اساسی قرار می‌دهد. از این‌روست که تبیین رابطه تاب‌آوری در برابر تهدیدات و کاهش اثرات آن با توجه به نتایجی که در بر خواهد داشت و تأکیدی که این تحلیل بر بُعد تاب‌آوری دارد، از اهمیت بالایی برخوردار است[۷, ۸].

یکی از راهکارهای افزایش ضریب ایمنی از طریق ارتقای تاب‌آوری می‌تواند تکیه بر ارزیابی ابعاد و پارامترهای مرتبط با آسیب‌پذیری بر مبنای عوامل خطر سخت‌افزاری(مانند ایمنی تجهیزات، تأسیسات و مواد)، نرم‌افزار موجود در سامانه و همچنین نیروی انسانی، رویه‌ها و روش‌های کاری باشد. بنابراین توسعه مدلی برای ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در سامانه‌ها و صنایع فرآیندی با رویکرد پدافند غیرعامل می‌تواند با شناخت درست و ارزیابی دقیق منابع آسیب‌زا به‌عنوان بارزترین گام در کاهش آسیب‌زایی و خسارت‌زایی رویدادهای مرتبط با هر یک از تهدیدها، کاهش آسیب‌پذیری و افزایش میزان تاب‌آوری یک سامانه و همچنین به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای تصمیم‌های کلان و ارائه ساختار مناسب در ارتقای سطح تاب‌آوری و قابلیت اعتماد سامانه‌ها در این صنایع مورد توجه و استفاده قرار گیرد[۹].

دلایل بروز حوادث در صنعت مورد مطالعه گوناگونی زیادی نداشته و بیشتر این حوادث از نوع نشت گازهای سمی، ایجاد ابر بخار گازی، ایجاد اشتعال و انفجار است. حال سئوال اینجاست که با توجه به تشابه بالای حوادث رخ داده، چرا نمی‌توان از وقوع آن ها جلوگیری کرد؟ واقعیت این است که بخش اعظم این حوادث نه‌تنها قابل پیشگیری بوده، بلکه شدت آنها هم با استفاده از تحلیل های مختلف انجام‌شده در زمینه مقادیر آسیب‌پذیری و تاب‌آوری قابل پیش‌بینی است. مشروط بر اینکه تجزیه‌وتحلیل حوادث به موقع انجام شده و بر مبنای آن الگوریتم اجرایی تحلیل آسیب‌پذیری ایجاد شده و اقدامات اصلاحی لازم انجام، تدابیر ایمنی مربوطه اتخاذ و فرآیند مدیریت دانش به خوبی جاری شود[۲, ۳]. در واقع تحلیل آسیب‌پذیری و تاب‌آوری فرآیندی است که منجر به افزایش ظرفیت پذیرش پیامدهای مختلف احتمالی در صورت به‌فعل درآمدن مخاطرات می‌شود[۱۰, ۱۱]. مطالعه انجام‌شده توسط Jainو همکاران برای ایجاد الگوریتم آنالیز مخاطرات در صنایع با رویکرد تاب‌آوری هم نشان داد که پارامترهای لایه‌های حفاظتی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، نیروی انسانی، مخاطرات مربوط به فرآیند و تجهیزات، بازرسی فنی فرآیند و پارامترهای فرآیندی بحرانی از جمله بارزترین عوامل مؤثر در شناسایی و آنالیز مخاطرات با رویکرد تبیین تاب‌آوری در صنایع فرآیندی است[۱۲]. Mannan و همکاران هم طی مطالعه خود در راستای ارائه یک مدل تاب‌آوری فرآیندی نشان دادند که عوامل کشف خطر، طراحی میزان تحمل خطا، بازیابی، آمادگی و در نهایت انعطاف‌پذیری و پویایی سامانه از جمله عوامل مهم در تعیین میزان تاب‌آوری یک سامانه فرآیندی از دیدگاه مدیریت ریسک است [۱۳].

بنابراین توجه به این چالش‌ها نیازمند رویکردهای نوین و فنی در علم ایمنی برای کاهش بروز تهدیدها یا به عبارتی خنثی کردن آن و همچنین ارائه رویکردی

برای کاهش آسیب‌پذیری و یا به عبارت دیگر افزایش میزان تاب‌آوری است. مدیریت و کنترل خطرهای مرتبط با ایمنی و شرایط اضطراری می‌تواند بقا یا بهره‌وری سازمان یا مجموعه‌ای را تهدید کند. با توجه به مجموعه‌های غیرقابل پیش‌بینی مانند نقص در ساختارهای فنی و تجهیزاتی، وجود انواع خطرات برون‌سازمانی و همچنین بروز خطا در عملکردهای انسانی در سطوح مختلف سازمانی، سطح ریسک و آسیب در صنایع و سازمان‌ها به مقدار زیادی بالا بوده و شرایط غیرمعمول می‌تواند ایجاد شرایط اضطراری و بحران کرده و یا فجایعی را بیافریند[۱۴-۱۶]. گفتنی است که تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرآیندی معلول پارامترهایی است که بتواند در ابتدا پیشگیری از بروز و بالفعل شدن انواع تهدیدات کرده، سپس با درنظرگرفتن محدودیت‌های سامانه‌های پیشگیرانه بتواند با طراحی و ارائه پلنی محدودکننده میزان و شدت آسیب و خسارت‌های ناشی از بروز رویدادها و حوادث را در کمترین زمان ممکن به حداقل برساند. از این‌رو توجه به پارامتری مانند آمادگی در برابر بالفعل شدن تهدیدات با هدف کاهش خسارت‌ها و آسیب‌های ناشی از بروز رویدادها و همچنین سرعت عمل در بهبود شرایط جهت کاهش میزان توقف سامانه و بازیابی آن برای بازگشت به روند طبیعی سامانه بسیار مهم است[۱۷, ۱۸]. بر این اساس و با توجه به اینکه مطالعات و تحقیقات اندکی در زمینه شاخص‌سازی و همچنین ارزیابی تاب‌آوری مبتنی بر مخاطرات تهدیدکننده ایمنی در صنایع فرآیندی انجام شده، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرآیندی طراحی و انجام شده است.

۲- روش کار

این مطالعه مقطعی و توصیفی-تحلیلی بررسی و تحلیلی نظام مند بود که در بازه زمانی ۱۳۹۹-۱۳۹۷ انجام شده است.

جامعه و نمونه مورد مطالعه

جامعه مورد مطالعه در این پژوهش پالایشگاه گازی فاز ۱۹ پارس جنوبی در منطقه اقتصادی پارس جنوبی بود و نمونه مورد مطالعه شامل یکی از بارزترین واحدهای این پالایشگاه تحت عنوان واحد شیرین‌سازی (Unit ۱۰۱) بود. هدف اصلی از ایجاد این واحد زدودن گاز سولفید هیدروژن (H_2S) از گاز ترش و نم‌دار توسط آمین MDEA است. گاز طبیعی شامل ترکیباتی نظیر H_2S، CO_2 و مرکاپتان بوده که قبل از صدور باید از گاز اصلی زدوده شوند. در این واحد توسط نوعی آمین به نام MDEA متیل-دی-اتانول-آمین برای زدودن گاز H_2S استفاده می‌شود.

ابزار و روش گردآوری داده‌ها

فاز اوّل: تشریح سامانه

در این فاز ابتدا سامانه و محدوده مورد مطالعه انتخاب شده و بر مبنای پارامترهای قابلیت اعتماد سامانه تشریح سامانه و فرآیند انجام شد. در این فاز تمام تجهیزات و فرآیندهای موجود در سامانه به‌وسیله تحلیل نقشه های کردار جریان فرآیند(PFD) و کردار خطوط لوله و ابزار دقیق(P&ID) بررسی شد. تشریح سامانه شامل تشکیل تیم مطالعه و انتخاب گره‌های مطالعاتی بود.

تیم مطالعه که با هدف جمع‌آوری و تحلیل داده‌های مطالعه تشکیل شد، شامل کننده همه واحدهای فنی و مهندسی بود. آشنایی کامل با PFD و P&ID جز لازمه‌های ورود افراد به تیم مطالعه بود. تیم مطالعه شامل ۱۸ نفر بوده و اعضای این تیم متشکل از مسئول شیفت، مهندسین فرآیند، تعمیرات و نگهداری، ایمنی، بهداشت و محیط زیست(HSE)، بازرسی فنی و همچنین مدیریت بحران و پدافند غیرعامل بودند. انتخاب افراد بر اساس دانش، تجربه، تخصص و همچنین علاقه‌مندی به مشارکت در این مطالعه بود. در تشکیل تیم این مطالعه از راهنمای جامع مدیریت و ارزیابی ریسک استفاده شده است[۱۹].

در گام انتخاب گره‌های مطالعاتی ابتدا مرز و محدوده بخش مورد تحلیل مشخص شد. بخش مورد تحلیل در این مطالعه شامل مشخص کردن جریان فرآیند، تأسیسات، مناطق حساس بخش یا واحد مورد تحلیل است. جریان مواد اولیه، محصول و جانمایی واحدها هم مشخص شد. نکته مهم در تعیین جغرافیای مطالعه شناسایی نقاط حساس و کانون‌های مهم خطر در بیرون از جغرافیای مطالعه بود که احتمال تأثیرگذاری بر جغرافیای مطالعه از لحاظ آسیب های ایمنی و پدافندی خواهد داشت. گره‌های مطالعاتی در این تحقیق بر اساس پارامترهای فرآیندی در واحد مورد مطالعه انتخاب شدند. دما، فشار، جریان، حجم و سطح به‌عنوان چهار پارامتر بحرانی انتخاب شد. گفتنی است که این چهار پارامتر بحرانی در همه گره‌ها وجود داشته و مورد ارزیابی قرار گرفتند. نحوه انتخاب این پارامترهای بحرانی بر اساس دستورالعمل مطالعه HAZOP[۱] در صنایع فرآیندی بود[۲۰-۲۲]. در این گام سخت‌افزار موجود در سامانه(تأسیسات، تجهیزات، ابزار و مواد بر اساس عمر و مدت زمان استفاده، نقص و قابلیت اعتماد)، فرآیندهای اجرایی و فعالیت‌های موجود(فرآیند و شرح مشاغل یا فعالیت‌های عملیاتی موجود در واحد فرآیندی) به‌طور کامل تشریح و تحلیل شدند.

فاز دوّم: شناسایی مخاطرات

HAZID[۲] روشی نظام‌مند جهت شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک آن ها در مراحل مختلف برای ارائه اقدامات کنترلی مناسب است. در این روش خطرات و تهدیدات موجود و بالقوه به ۲ روش کلی و جزئی بررسی می‌شود. در واقع در این روش بر خلاف روش HAZOP خطراتی که از محیط بر فرآیند(مانند سیل، زلزله، سقوط اجسام و غیره) و یا از فرآیند بر محیط(مانند نشت گاز، تماس با سطوح داغ، شرایط کاری نامناسب و غیره) تحمیل می شود هم بررسی می‌شوند. شناسایی مخاطرات گام مهمی در ایمن‌سازی فرآیندها در صنایع نفت و گاز است؛ از این‌رو طراحی و اجرای

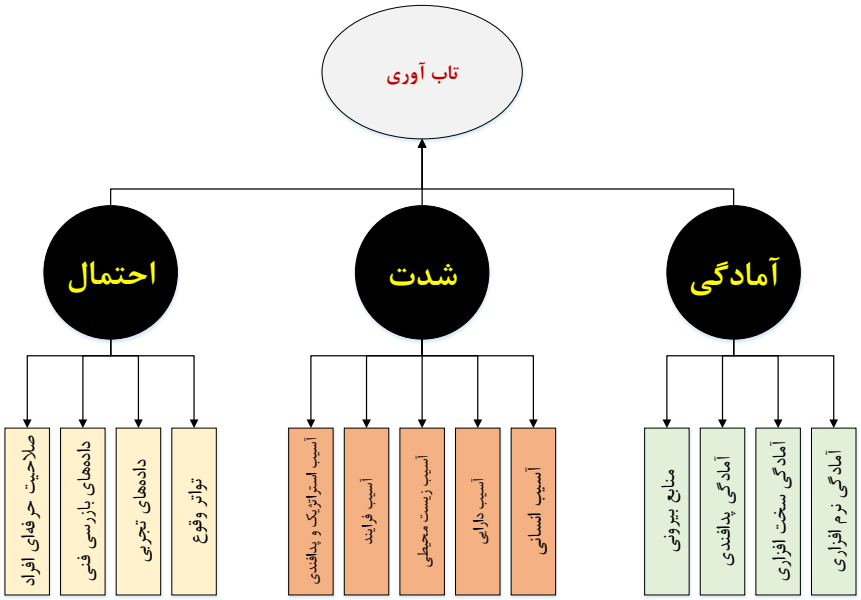
۱ hazard and operability study (HAZOP)

۲ Hazard Identification

مجموعه فعالیت‌هایی که به شناسایی خطرات بینجامد، می‌تواند بسیار مؤثر باشد. در این فاز بر اساس روش مثلث خطر-تهدید [۳] و با ۲ رویکرد گذشته‌نگر و آینده‌نگر خطرات و رویدادهای احتمالی و انواع تهدیدهای مرتبط با آن شناسایی شدند[۲۳, ۲۴].

فاز سوم: الگوریتم محاسباتی تاب‌آوری سامانه

در این مطالعه از مدلی نیمه‌کمّی برای محاسبه و ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرآیندی مبتنی بر ۳ مؤلفه و ۱۳ پارامتر استفاده شد(شکل ۱ و جداول ۳-۱) [۲۵]. محاسبه و برآورد تاب‌آوری بر اساس معادله ۱ تا ۴ ارائه‌شده است.



شکل ۱: مدل توسعه‌یافته ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرآیندی

معادله (۱)
$$\text{Re}\,siliency = \left(\frac{P}{L \times S}\right) \times 100$$

معادله (۲)
$$P = \frac{\sum p_i}{4}$$

معادله (۳)
$$L = \frac{\sum l_i}{4}$$

معادله (۴)
$$S = \frac{\sum S_i}{4}$$

Resiliency: شاخص تاب‌آوری (۴۰۰-۵)
P/Preparedness: شاخص آمادگی (۴-۱)
L/Likelihood: شاخص احتمال وقوع (۴-۱)
S/Severity: شاخص شدت (۵-۱)
p_i: پارامترهای مؤلفه آمادگی(آمادگی نرم‌افزاری، آمادگی سخت‌افزاری، آمادگی پدافندی و منابع بیرونی)
l_i: پارامترهای مؤلفه احتمال وقوع(تواتر وقوع، داده‌های تجربی، داده‌های بازرسی فنی و صلاحیت حرفه‌ای افراد)
S_i: پارامترهای مؤلفه شدت(آسیب انسانی، آسیب دارایی، آسیب زیست‌محیطی، آسیب فرآیند و آسیب راهبردی و پدافندی)

۳ Hazard-Threat Triangle

جدول ۱: راهنمای تعیین پارامترهای مؤلفه آمادگی در برابر تهدیدات(P)

شاخص	آمادگی سخت‌افزاری	آمادگی نرم‌افزاری	آمادگی پدافندی	منابع بیرون
۱	سطح آمادگی بسیارپایین برای محدودسازی (۰-۱۰ درصد)	سطح آمادگی بسیارپایین برای محدودسازی (۰-۱۰ درصد)	سطح آمادگی پدافندی بسیارپایین برای محدودسازی (۰-۱۰ درصد)	منابع ناموجود یا عدم دسترسی (۱۰-۰ درصد)
۲	سطح آمادگی پایین برای محدودسازی (۱۰-۳۰ درصد)	سطح آمادگی پایین برای محدودسازی (۱۰-۳۰ درصد)	سطح آمادگی پدافندی پایین برای محدودسازی (۱۰-۳۰ درصد)	دسترسی به منابع زیر ۱۰-۲۵ درصد
۳	سطح آمادگی متوسط برای محدودسازی (۳۰-۵۰ درصد)	سطح آمادگی متوسط برای محدودسازی (۳۰-۵۰ درصد)	سطح آمادگی پدافندی متوسط برای محدودسازی (۳۰-۵۰ درصد)	دسترسی به منابع کم (۲۵-۵۰ درصد)
۴	سطح آمادگی نسبتاً بالا برای محدودسازی (۵۰-۷۵ درصد)	سطح آمادگی نسبتاً بالا برای محدودسازی (۵۰-۷۵ درصد)	سطح آمادگی پدافندی نسبتاً بالا برای محدودسازی (۵۰-۷۵ درصد)	منابع نسبتاً در دسترس (۵۰-۷۵ درصد)
۵	سطح آمادگی بالا برای پیشگیری و محدودسازی (۷۵-۱۰۰ درصد)	سطح آمادگی بالا برای پیشگیری و محدودسازی (۷۵-۱۰۰ درصد)	سطح آمادگی پدافندی بالا برای پیشگیری و محدودسازی (۷۵-۱۰۰ درصد)	منابع کاملاً در دسترس (۷۵-۱۰۰ درصد)

۱ سطوح آمادگی مربوط به تجهیزات سخت‌افزاری سازمان در برابر وقوع تهدیدات در راستای پیشگیری و محدودسازی حوادث
۲ سطوح آمادگی مربوط به تجهیزات نرم‌افزاری سازمان(شامل سامانه‌های کنترل) در برابر وقوع تهدیدات در راستای پیشگیری و محدودسازی حوادث
۳ سطوح آمادگی پدافندی سازمان در برابر وقوع تهدیدات در راستای پیشگیری و محدودسازی حوادث
۴ سطوح آمادگی منابع خارج از سازمان و محدوده پالایشگاه در برابر وقوع تهدیدات در راستای پیشگیری و محدودسازی حوادث

جدول ۲: راهنمای تعیین پارامترهای مؤلفه سطح احتمال وقوع(L)

شاخص	تواتر وقوع	داده‌های تجربی	داده‌های بازرسی فنی	صلاحیت حرفه¬ای افراد
۱	هر ۵ سال یک‌بار	وقوع موارد مشابه در صنایع و پالایشگاه‌های دیگر در دنیا	بازرسی هفتگی	استفاده از نیرو و تیم پشتیبان ماهر
۲	هر ۲ سال یک‌بار	وقوع در صنایع و پالایشگاه‌های مشابه در کشور	بازرسی ماهیانه	استفاده از نیرو و تیم پشتیبان ماهر
۳	هر سال یک‌بار	وقوع در صنایع و پالایشگاه‌های مشابه در کشور	بازرسی هر ۶ ماه یک‌بار	استفاده از نیروی ماهر و تیم پشتیبان غیرماهر
۴	یک‌بار در سال	وقوع در صنایع و پالایشگاه‌های مشابه در پارس جنوبی	بازرسی سالیانه	استفاده از نیروی غیرماهر و تیم پشتیبان ماهر
۵	بسیار محتمل	وقوع در پالایشگاه فاز ۱۹ و در تأسیسات و پالایشگاه‌های مشابه	بازرسی صرفاً در زمان تعمیر اساسی	استفاده از نیرو و تیم پشتیبان غیرماهر

۱ احتمال فرکانس وقوع هر یک از رویدادهای مورد مطالعه است که مبتنی بر نظرات خبرگان صنعت تعیین می‌شود.
۲ اطلاعات موجود در زمینه وقوع رویدادهای مشابه در صنایع و پالایشگاه‌های مشابه در ایران و جهان است.
۳ اطلاعات حاصل از بازرسی‌های انجام‌شده و تواتر بازرسی‌های انجام‌شده است.
۴ میزان سطح تخصص، تحصیلات و توانمندی نیرو¬های عملیاتی، مهندسی، مدیریتی و پشتیبانی است(منظور از تیم پشتیبان مشاغل و وظایفی همچون کادر حراست، آتش‌نشانی، واکنش در شرایط اضطراری، ایمنی و بهداشت، پزشکی و بهیاران و موارد از این دست است).

جدول ۳: راهنمای تعیین پارامترهای مؤلفه شدت (S)

شاخص	آسیب انسانی	آسیب دارایی	آسیب زیست محیطی	آسیب فرآیند	آسیب راهبردی و پدافندی
۱	آسیب‌های بسیارجزئی و منجر به بستری کوتاه‌مدت	بین ۲۰ تا ۱۰۰میلیون	عدم آسیب	اختلال فرآیند تا یک روز	عدم آسیب
۲	آسیب‌های منجر به بستری طولانی‌مدت	۱۰۰ تا ۵۰۰ میلیون	آسیب جزئی	اختلال فرآیند ۳-۱ روز	آسیب جزئی مراکز مهم / آسیب بسیارجزئی مراکز حساس
۳	آسیب‌های منجر به نقص عضو جزئی	۵۰۰ میلیون تا یک میلیارد	آسیب متوسط	اختلال فرآیند تا یک هفته	آسیب متوسط مراکز مهم/ آسیب جزئی مراکز حساس
۴	آسیب‌های منجر به نقص عضو کلی و از کار افتادگی	یک تا ۵ میلیارد	آسیب شدید و تهدید اکوسامانه	اختلال فرآیند تا یک‌ماه	آسیب متوسط مراکز حساس/ آسیب جزئی/ متوسط مراکز حیاتی
۵	مرگ افراد	بالای ۵ میلیارد	آسیب بحرانی و نابودی اکوسامانه	اختلال فرآیند بیش از یک‌ماه	آسیب شدید مراکز حیاتی

۱ آسیب های وارده بر نیروی انسانی(از آسیب های بسیارجزئی تا مرگ‌ومیر افراد)
۲ آسیب های وارده بر سامانه مالی سازمان بر حسب میلیون تومان
۳ آسیب های وارده بر محیط زیست(از آسیب های جزئی تا نابودی اکوسامانه)
۴ آسیب های وارده بر فرآیند پالایشگاه بر حسب تعداد روزهای توقف فرآیند
۵ آسیب های پدافندی وارده بر سازمان(از آسیب های جزئی تا آسیب های بحرانی مراکز حیاتی و راهبردی)

جدول ۴: سطوح میزان مطلوبیت تاب‌آوری

سطح تاب‌آوری	نوع تهدید	تعاریف
سطح ۱	تهدید ضعیف/ وضعیت ایمن	تهدیدی که پیامدهای احتمالی آن می‌تواند نهایتاً در محدوده بروز رویداد باشد. (تهدید در محدوده‌ای از صنعت)(Resiliency=۱۰۱-۴۰۰)
سطح ۲	تهدید متوسط/ وضعیت هشدار	تهدیدی که پیامدهای احتمالی آن می‌تواند در دامنه گسترده‌تری نسبت به محدوده بروز رویداد باشد.(گسترش تهدید در محدوده وسیعی از صنعت) (Resiliency=۴۱-۱۰۰)
سطح ۳	تهدید شدید / وضعیت بحرانی	تهدیدی که پیامدهای احتمالی آن می‌تواند دامنه بسیارگسترده شامل گسترش تهدید در کل صنعت یا تهدید بسیار مهمی برای بقای آن باشد. (Resiliency=۵-۴۰)

نکته: اگر شاخص تاب‌آوری بالای ۱۰۰ برآورد شد، ولی یکی از شروط P=۱ یا L=۵ و یا C=۵ وجود داشت، تاب‌آوری در سطح ۳/ وضعیت بحرانی طبقه‌بندی می‌شود.

روش‌ها و ابزار تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه‌وتحلیل داده‌های مطالعه بر اساس ماتریس سه‌بعدی ارزیابی و برآورد تاب‌آوری و محاسبه براساس الگوریتم ارائه‌شده در روش ارزیابی و برآورد تاب‌آوری و تقسیم‌بندی به ۳ سطح تهدید انجام شد. سپس برای تعیین اثر و وزن هر یک از شاخص¬ها و مؤلفه‌ها در محاسبه ارزیابی و برآورد تاب‌آوری سامانه از مدل رگرسیون چندگانه و مدل معادله‌های ساختاری استفاده شد. بدین منظور بر مبنای تعیین روابط علّی بر اساس رویکرد تحلیل عاملی و مدل‌سازی معادله ساختاری SEM و با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS AMOS نسخه ۲۴ انجام شد. برای برازش مدل رگرسیون چندگانه هم از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ استفاده شد. مدل‌یابی معادله ساختاری یک فن تحلیل چندمتغیری بسیارکلی و نیرومند از خانواده رگرسیون چندمتغیری و به بیان دقیق‌تر بسط مدل خطی کلی است که امکان می‌دهد، مجموعه‌ای از معادلات رگرسیون به‌صورت همزمان مورد آزمون قرار گیرد. مدل‌یابی معادله ساختاری رویکرد آماری جامعی برای آزمون فرضیه‌هایی درباره روابط بین متغیرهای مشاهده‌ای و پنهان است که گاه تحلیل ساختاری کوواریانس، مدل‌یابی علی یا مدل‌یابی معادله‌های ساختاری نامیده می‌شود [۲۶-

۲۸].

۳- یافته ها

شناسایی مخاطرات و تهدیدها

طی مطالعه حاضر تعداد ۱۳۱ منبع خطر یا تهدید شناسایی شد(پیوست ۱). این نتایج نشان داد بارزترین مخاطرات و تهدیدها شامل افزایش بیش از حد دما و فشار، مجموعه اقدامات تعمیر و نگهداری، جریان معکوس، خوردگی، نشت محتویات درام‌ها و و سل‌ها، وجود منبع جرقه، نشست گاز، آب‌گرفتگی پالایشگاه، بروز بلایای طبیعی مانند زمین‌لرزه، از سرویس خارج شدن سامانه آب آتش‌نشانی، پخش شدن موارد سمی و قابل اشتعال در هوا، جریان بیشتر، نشت گاز و محتویات فرآیندی، اعمال خرابکارانه، نشت مایعات هیدروکربنی و خطای انسانی اشاره کرد. مشخص شد که علی‌رغم وجود لایه‌های حفاظتی در برخی از منابع خطر/تهدید همچون نصب انواعی از PSV، Check Valve، نظارت، بازرسی و غیره باز هم دامنه تلفات و خسارات ایجادشده در صورت بالفعل شدن مخاطرات بالقوه بسیارشدید و فاجعه‌بار خواهد بود.

تجزیه‌وتحلیل تاب‌آوری

نتایج تجزیه‌وتحلیل تاب‌آوری در سامانه فرآیندی تحت مطالعه مبتنی بر ۲ گام محاسبه شاخص تاب‌آوری برای هر یک از عناصر خطر شناسایی شده و همچنین مدل‌سازی ارتباط مؤلفه‌ها با شاخص نهایی تاب‌آوری و همچنین تعیین وزن و اثر هر یک از زیرشاخص‌ها بر هر یک از مؤلفه‌ها و تأثیر هر یک از مؤلفه‌های سه‌گانه احتمال وقوع، شدت پیامد و سطح آمادگی در برابر تهدیدات بر تاب‌آوری بود.

نتایج نشان داد بیشترین و کمترین مقدار شاخص تاب‌آوری طی مطالعه حاضر به‌ترتیب مقدار ۵۰۰ و ۱۰ بوده و مربوط به عنصر خطر قطع یوتیلیتی و قطع هوای ابزار دقیق است. ۱۰ تهدیدی که سامانه مورد مطالعه در مقابل آن دارای بیشترین و کمترین میزان تاب‌آوری بود، در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵: میزان شاخص تاب‌آوری ۲۰ تهدید منتخب دارای کمترین و بیشترین میزان تاب‌آوری

ردیف	سناریو یا عنصر خطر/تهدید	احتمال	شدت	آمادگی	شاخص تاب‌آوری
۱	قطع یوتیلیتی	۱	۱	۵	۵۰۰
۲	کاهش دما	۲	۱	۵	۲۵۰
۳	نقص در سامانه یوتیلیتی	۲	۱	۵	۲۵۰
۴	افزایش سطح	۲	۱	۵	۲۵۰
۵	تغییر در ترکیبات خوراک	۳	۱	۵	۱۶۷
۶	جریان مخالف	۳	۱	۵	۱۶۷
۷	کمبود و یا قطع نیتروژن	۳	۱	۵	۱۶۷
۸	قطع گاز مورد استفاده در سوخت	۳	۱	۵	۱۶۷
۹	برگشت جریان	۳	۱	۵	۱۶۷
۱۰	افزایش/کاهش فشار	۱	۳	۵	۱۶۷
۱۱	قطع هوای ابزار دقیق	۴	۵	۲	۱۰
۱۲	خطای انسانی	۵	۵	۴	۱۶
۱۳	اختلال در سامانه کنترل و DCS	۳	۴	۲	۱۷
۱۴	تهدید تعمیر و نگهداری	۴	۴	۳	۱۹
۱۵	نقص در تامین هوای یوتیلیتی	۴	۴	۳	۱۹
۱۶	نشت محتویات درام‌ها و وسل‌ها	۴	۵	۴	۲۰
۱۷	آب‌گرفتگی و سیل	۴	۵	۴	۲۰
۱۸	زمین‌لرزه	۴	۵	۴	۲۰
۱۹	پخش شدن مواد سمی و قابل اشتعال در هوا	۴	۵	۴	۲۰
۲۰	افزایش فشار	۳	۴	۳	۲۵

همان‌گونه که نتایج جدول ۵ نشان داد، سامانه مورد مطالعه در برابر ۱۰ تهدید شامل قطع یوتیلیتی(شاخص تاب‌آوری=۵۰۰)، افزایش سطح، کاهش دما و نقص در سامانه یوتیلیتی(شاخص تاب‌آوری=۲۵۰)، تغییر در ترکیبات خوراک، جریان مخالف، کمبود و یا قطع نیتروژن، قطع گاز مورد استفاده در سوخت، برگشت جریان و افزایش/ کاهش فشار(شاخص تاب‌آوری=۱۶۷) دارای بالاترین میزان تاب‌آوری بوده است. به‌علاوه میزان تاب‌آوری این سامانه در برابر ۱۰ تهدید شامل قطع هوای ابزار دقیق(شاخص تاب‌آوری=۱۰)، تهدید خطای انسانی(شاخص تاب‌آوری=۱۶)، اختلال در سامانه کنترل و DCS (شاخص تاب‌آوری=۱۷)، تهدید تعمیر و نگهداری و نقص در تامین هوای یوتیلیتی(شاخص تاب‌آوری=۱۹)، نشت محتویات درام‌ها، تهدید وسل‌ها و تهدید آب‌گرفتگی و سیل، زمین‌لرزه و پخش شدن موارد سمی و قابل اشتعال در هوا(شاخص تاب‌آوری=۲۰) و تهدید افزایش فشار(شاخص تاب‌آوری=۲۵) بسیارپایین بود.

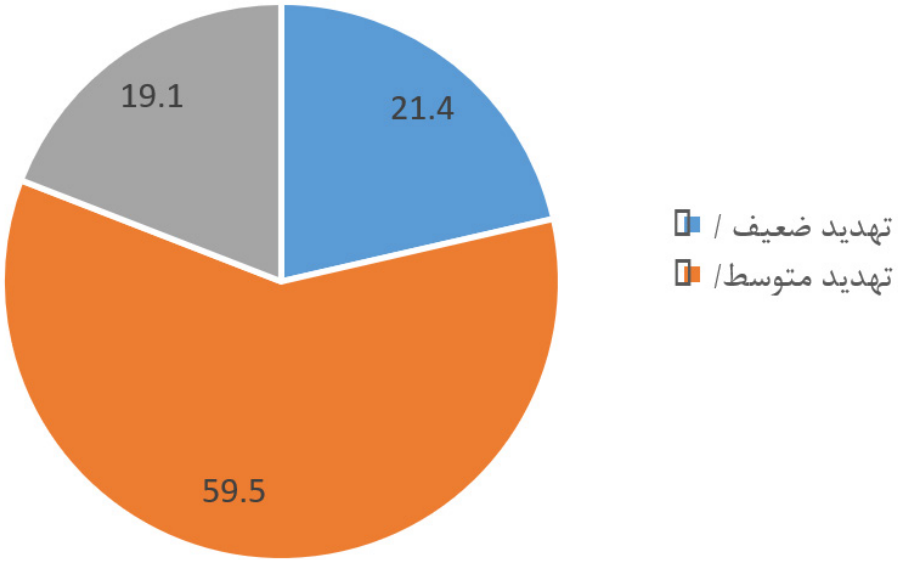
سطوح تاب‌آوری در این سامانه به شرح ذیل برآورد شده است:

سطح ۱ تهدید ضعیف / وضعیت ایمن (شاخص نهایی تاب‌آوری بین ۱۰۰ تا ۵۰۰): ۲۸ تهدید.

سطح ۲ تهدید متوسط / وضعیت هشدار (شاخص نهایی تاب‌آوری بین ۴۰ تا ۱۰۰): ۷۸ تهدید.

سطح ۳ تهدید شدید / وضعیت بحرانی(شاخص نهایی تاب‌آوری بین ۴ تا ۴۰): ۲۵ تهدید.

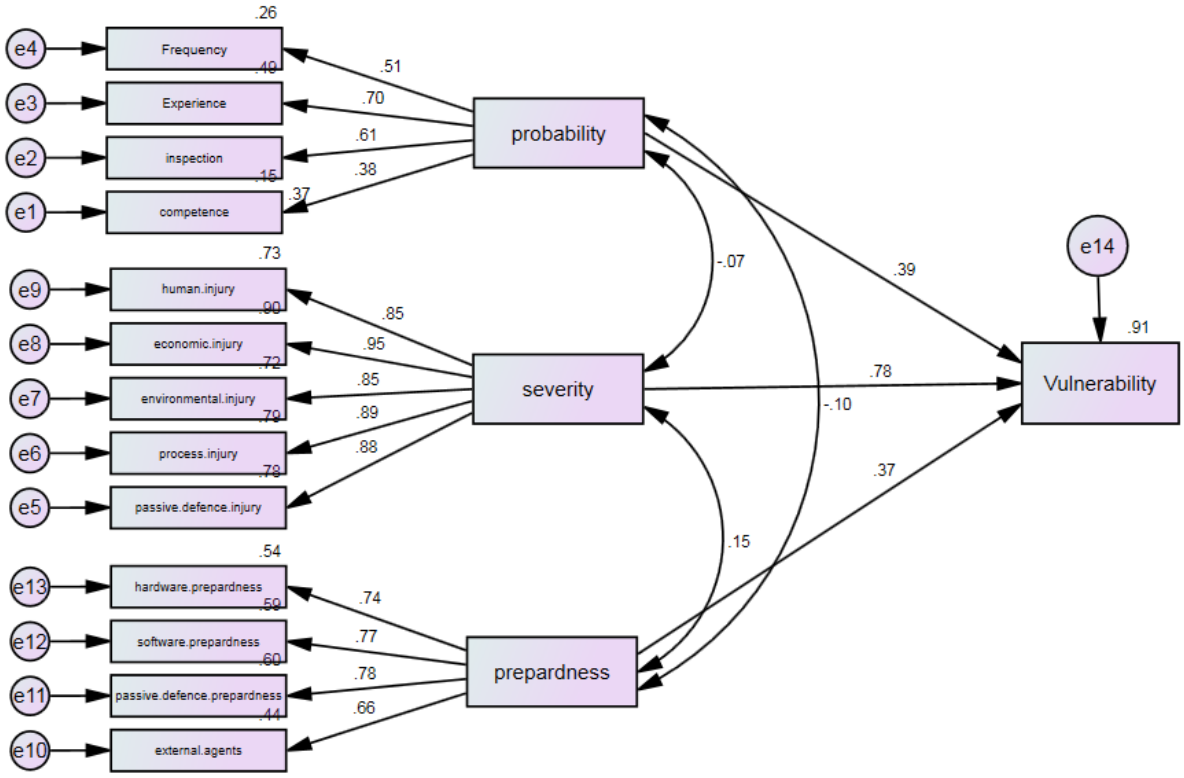
مشخص شد ۲۱/۴ درصد از عناصر خطر شناسایی‌شده در محدوده تهدید ضعیف(ایمن/نسبتاً ایمن)، ۵۹/۵ درصد در محدوده تهدید متوسط(وضعیت هشدار) و ۱۹/۱درصد هم در محدوده تهدید شدید(وضعیت بحرانی) قرار دارند(شکل ۲).



شکل ۲: مقادیر درصد فراوانی سطوح تاب‌آوری

نتایج به‌کارگیری تحلیل عاملی و مدل‌سازی معادله‌های ساختاری برای تعیین اثر و وزن مؤلفه‌ها نشان داد که شاخص آسیب‌پذیری تا ۹۱ درصد قابل پیش‌بینی بوده و ۳ مؤلفه احتمال، شدت و آمادگی هر کدام به‌ترتیب با مقادیر ۰/۳۹، ۰/۷۸ و ۰/۳۷ قادر به پیش‌بینی و تخمین شاخص تاب‌آوری هستند(شکل ۳). مدل نهایی هم نشان داد که کلیه مقادیر شاخص‌های نیکویی برازش در محدوده بهینه و قابل قبول قرار داشته و به‌طور کلی شاخص نهایی تاب‌آوری به مقدار ۹۱ درصد طی مطالعه حاضر توسط مؤلفه‌های احتمال، شدت و آمادگی پیش‌بینی می‌شود.

بررسی زیرشاخص‌های مختلف مورد بررسی در هر یک از ۳ مؤلفه اصلی تعیین شاخص تاب‌آوری نشان داد که پارامترهای تجربه وقوع حوادث مشابه و بازرسی فنی به‌ترتیب با ضرایب ۰/۷۰ و ۰/۶۱ بارزترین پارامترهای تعیین‌کننده مؤلفه احتمال، پارامترهای آسیب دارایی، آسیب فرآیندی و آسیب پدافندی به‌ترتیب با ضرایب ۰/۹۵، ۰/۸۹ و ۰/۸۸ بارزترین پارامترهای تعیین‌کننده مؤلفه شدت و پارامترهای آمادگی پدافندی و راهبردی و آمادگی نرم‌افزاری با ضرایب ۰/۷۸ و ۰/۷۷ بارزترین پارامترهای تعیین‌کننده مؤلفه آمادگی است(شکل ۳). مقادیر شاخص‌های نیکویی برازش مدل نهایی به‌دست‌آمده هم محاسبه شده و در جدول ۶ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهند که مبتنی بر شاخص‌های محاسبه‌شده مدل ارائه‌شده مدلی مناسب و خوب است.



شکل ۳: معادله مدل ساختاری نهایی ارتباط بین شاخص تاب‌آوری، مؤلفه‌ها و زیر مؤلفه‌های آن

جدول ۶: مقادیر شاخص‌های نیکویی برازش مدل نهایی تحصیل‌شده

شاخص	مقدار
GFI	۰/۹۶۷
χ^2	۹۳/۴۶
/df χ^2	۲/۱۶
RMSEA	۰/۰۴۹
CFI	۰/۹۹۱
NFI	۰/۹۷۱

۴- بحث

یافته‌های مرتبط با ۱۳۱ منبع خطر شناسایی‌شده(پیوست ۱) نشان داد پیامد بسیاری از منابع خطر و تهدید یادشده در نهایت اشتعال، انفجار، رهایش مواد سمی، آسیب به نیروی انسانی، تجهیزات و محیط زیست خواهد بود که هر کدام از این پیامدها در نهایت می‌توانند ابعاد مختلف سازمان و جامعه را تحت تأثیر قرار دهد. مشخص شد که علی‌رغم وجود لایه‌های حفاظتی باز هم دامنه تلفات و خسارات ایجادشده در صورت بالفعل شدن مخاطرات بالقوه بسیارشدید و فاجعه‌بار خواهد بود.

مشخص شد که کمترین میزان تاب‌آوری و بیشترین میزان آسیب‌پذیری هم به‌ترتیب مربوط به تهدید قطع هوای ابزار دقیق با میزان تاب‌آوری ۱۰، تهدید اختلال در سامانه کنترل و DCS با میزان تاب‌آوری ۱۳، تهدید خطای انسانی با میزان تاب‌آوری ۱۶، تهدید تعمیر و نگهداری با میزان تاب‌آوری ۱۹، تهدید نقص در تامین هوای یوتیلیتی با میزان تاب‌آوری ۱۹، تهدید نشت محتویات درام‌ها و وسل‌ها با میزان تاب‌آوری ۲۰، تهدید آب‌گرفتگی و سیل با میزان تاب‌آوری ۲۰، تهدید زمین‌لرزه با میزان تاب‌آوری ۲۰، تهدید پخش شدن موارد سمی و قابل اشتعال در هوا با میزان تاب‌آوری ۲۰ و تهدید افزایش فشار با میزان تاب‌آوری ۲۵ است. مشخص شد که کلیه موارد فوق از جمله عناصری بوده‌اند که لایه‌های حفاظتی کافی برای آنها در نظر گرفته نشده و یا لایه‌های موجود کافی نبوده است. به‌علاوه ۲۱/۴ درصد از عناصر خطر شناسایی‌شده در محدوده تهدید ضعیف(ایمن/نسبتاً ایمن)، ۵۹/۵ درصد در محدوده تهدید متوسط(وضعیت هشدار) و ۱۹/۱درصد هم در محدوده تهدید شدید(وضعیت بحرانی) قرار دارند. این موضوع نشان می‌دهد که پالایشگاه مورد مطالعه از دیدگاه تاب‌آوری در وضعیت نسبتاً مطلوبی قرار دارد.

با این وجود شدت پیامدها می‌تواند در موارد خاص بالا بوده و میزان تاب‌آوری سامانه را تحت تأثیر قرار دهد. مدل نهایی به‌دست‌آمده طی مطالعه حاضر نشان داد که مقدار شاخص تاب‌آوری تا ۹۱ درصد توسط ۳ مؤلفه مورد مطالعه پیش‌بینی شده و هر یک از مؤلفه‌های احتمال، شدت و آمادگی به‌ترتیب تا ۳۹، ۷۸ و ۳۷ درصد میزان شاخص تاب‌آوری را پیش‌بینی می کنند.

مطالعه حاضر برای نخستین بار و برای تعیین سطوح آسیب‌پذیری و تاب‌آوری صنایع فرآیندی از دیدگاه مدیریتی و با رویکرد سنجش عوامل خطر سازمانی، فردی، فرآیندی، زیست‌محیطی، راهبردی و پدافندی انجام شد. با توجه به نتایج پرواضح است که شاخص شدت با توجه به ماهیت فرآیند و پارامترهای بحرانی موجود در پالایشگاه ها بارزترین مؤلفه در تعیین پارامتر آسیب‌پذیری و تاب‌آوری سامانه است. از این‌رو توجه به پیامدهای احتمالی و استقرار لایه‌های حفاظتی مختلف برای کاهش دامنه و شدت آسیب ناشی از حوادث فاجعه‌بار بارزترین اصل افزایش سطوح تاب‌آوری سامانه‌های فرآیندی محسوب می‌شود.

بررسی پارامترهای مختلف مورد بررسی در هر یک از ۳ مؤلفه اصلی تعیین شاخص تاب‌آوری با استفاده از مدل ارتقای تاب‌آوری ایمنی پالایشگاهی نشان داد که پارامترهای تجربه وقوع حوادث مشابه و بازرسی فنی بارزترین پارامترهای تعیین‌کننده احتمال، پارامترهای آسیب دارایی، آسیب فرآیندی و آسیب پدافندی بارزترین پارامترهای تعیین‌کننده مؤلفه شدت و پارامترهای آمادگی پدافندی و راهبردی و آمادگی نرم‌افزاری بارزترین پارامترهای تعیین‌کننده مؤلفه آمادگی است. این موضوع نشان می دهد که استفاده از تجربه وقوع حوادث گذشته در پالایشگاه ها و تأسیسات مشابه، انجام بازرسی‌های فنی منظم و برنامه‌ریزی‌شده در فواصل زمانی معین، انجام اقدامات کنترلی نظیر طرح‌ریزی واکنش در شرایط اضطراری، تهیه نقشه نقاط حساس و پرمخاطره پالایشگاه و منطقه مورد مطالعه از دیدگاه پدافندی و همچنین تهیه تجهیزات نرم‌افزاری مناسب و اثر بخش برای کاهش شدت و پیامد حوادث گامی مؤثر در راستای کاهش آسیب های وارده به ابعاد مختلف اقتصادی، فرآیندی، پدافندی و انسانی سامانه‌های فرآیندی است[۱, ۲۹].

از جمله محدودیت های پژوهش حاضر می‌توان به عدم امکان ارزیابی سایر صنایع فرآیندی و همچنین عدم امکان انجام مطالعات مداخله‌ای در این زمینه به دلیل محدودیت های زمانی و اقتصادی اشاره کرد. از این‌رو توصیه می‌شود محققان در آینده اقدام به توسعه روش موجود در سایر صنایع فرآیندی کرده و در حد امکان بر مبنای اقدامات کنترلی پیشنهادشده اقدام به انجام مطالعات مداخله‌ای در این زمینه کنند.

۵- نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر برای نخستین بار و برای تعیین مقادیر شاخص تاب‌آوری و آسیب‌پذیری سامانه‌های فرآیندی با استفاده از ۳ مؤلفه احتمال، شدت و آمادگی ایجاد شد. نتایج حاصل از مطالعه حاضر می‌تواند باعث ایجاد دیدگاهی جدید در حوزه سطوح آسیب‌پذیری و تاب‌آوری موجود در صنایع پالایشگاهی کشور شده و گامی مؤثر در راستای افزایش سطوح تاب‌آوری در صنایع حساس در ایران و دنیا باشد. استفاده از الگوریتم حاضر می‌تواند میزان آمادگی در برابر تهدیدها را افزایش داده و تاب‌آوری سامانه را در عین کاهش میزان و احتمال آسیب‌پذیری ارتقا دهد. همچنین مبتنی بر یافته‌های به‌دست‌آمده در این مطالعه که نشان دهنده این بود که شاخص تاب‌آوری بیش از ۹۰ درصد به‌ترتیب با استفاده از ۳ مؤلفه شدت، احتمال و آمادگی قابل پیش‌بینی است؛ از این‌رو نتیجه‌گیری می‌شود که ارزیابی تاب‌آوری، توجه به شدت پیامدهای احتمالی و استقرار لایه‌های حفاظتی مختلف برای کاهش دامنه و شدت آسیب ناشی از حوادث فاجعه‌بار می‌تواند به‌عنوان بارزترین اصل در افزایش تاب‌آوری در سامانه‌های فرآیندی مورد توجه قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب قدردانی خود را از کلیه افراد شرکت‌کننده در مطالعه حاضر اعلام می‌دارند. این مقاله برگرفته از پایان‌نامه مقطع دکتری محیط زیست با شماره ۱۵۷۲۱۲۱۴۹۷۲۰۰۹ مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال است.

منابع

۱. Pramoth, R., S. Sudha, and S. Kalaiselvam, Resilience-based Integrated Process System Hazard Analysis (RIPSHA) approach: Application to a chemical storage area in an edible oil refinery. Process Safety and Environmental Protection, ۱۴۱ .۲۰۲۰: p. -۲۴۶ ۲۵۸.

۲. Fomenko, G., et al., Risk-oriented approach to ecological safety management at oil refinery. Strategic decisions and risk management, ۲)۲۰۱۸): p. ۱۰۹-۱۰۲.

۳. Jain, P., R. Mentzer, and M.S. Mannan, Resilience metrics for improved process-risk decision making: Survey, analysis and application. Safety science, ۱۰۸ .۲۰۱۸: p. ۲۸-۱۳.

۴. Li, W., et al., A proactive process risk assessment approach based on job hazard analysis and resilient engineering. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, .۲۰۱۹ ۵۹: p. ۶۲-۵۴.

۵. Hollnagel, E., D.D. Woods, and N. Leveson, Resilience engineering: Concepts and precepts. ۲۰۰۷: Ashgate Publishing, Ltd.

۶. Woods, D.D., Essential characteristics of resilience, in Resilience engineering. ۲۰۱۷, CRC Press. p. ۴۶-۳۳.

۷. Mitchell, T. and K. Harris, Resilience: A risk management approach. ODI Background Note. Overseas Development Institute: London, ۲۰۱۲.
۸. O›Brien, K., et al., Toward a sustainable and resilient future. ۲۰۱۲, Cambridge University Press.
۹. Khakzad, N., et al., Vulnerability analysis of process plants subject to domino effects. Reliability Engineering & System Safety, ۲۰۱۶. ۱۵۴: p. ۱۳۶-۱۲۷.
۱۰. Goldbeck, N., P. Angeloudis, and W. Ochieng, Optimal supply chain resilience with consideration of failure propagation and repair logistics. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, ۲۰۲۰. ۱۳۳: p. ۱۰۱۸۳۰.
۱۱. Barbour, J.B., et al., Communicating/organizing for reliability, resilience, and safety: special issue introduction. Corporate Communications: An International Journal, ۲۰۱۸.
۱۲. Jain, P., et al., A resilience-based integrated process systems hazard analysis (RIPSHA) approach: Part II management system layer. Process Safety and Environmental Protection, ۱۱۸ .۲۰۱۸: p. ۱۲۴-۱۱۵.
۱۳. Jain, P., et al., Process Resilience Analysis Framework (PRAF): A systems approach for improved risk and safety management. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, ۵۳ .۲۰۱۸: p. ۷۳-۶۱.
۱۴. Ryan, J., Accident and Emergency. Bailey and Love›s Short Practice of Surgery ۲۳rd Ed. London, ۲۰۰۰: p. ۲۸۰-۲۷۰.
۱۵. Shao, H. and G. Duan, Risk quantitative calculation and ALOHA simulation on the leakage accident of natural gas power plant. Procedia Engineering, ۴۵ .۲۰۱۲: p. ۳۵۹-۳۵۲.
۱۶. Jing, Y., C. Jianming, and Z. Hong, The Classification of Emergency in Incident Management [J]. Management Review, ۴ .۲۰۰۵: p. ۴۱-۳۷.
۱۷. Nowakowski, T., et al., Sustainable supply chains versus safety and resilience, in Sustainable Logistics and Production in Industry ۲۰۲۰ .۴,۰, Springer. p. ۸۷-۶۵.
۱۸. Castillo-Borja, F., et al., A resilience index for process safety analysis. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, ۵۰ .۲۰۱۷: p. ۱۸۹-۱۸۴.
۱۹. Pritchard, C.L. and P.-R. PMP, Risk management: concepts and guidance. ۲۰۱۴: Auerbach Publications.
۲۰. Dunjó, J., et al., Conducting HAZOPs in continuous chemical processes: Part I. Criteria, tools and guidelines for selecting nodes. Process safety and environmental protection, ۴)۸۹ .۲۰۱۱): p. ۲۲۳-۲۱۴.
۲۱. Khan, F.I. and S. Abbasi, OptHAZOP—an effective and optimum approach for HAZOP study. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, ۳)۱۰ .۱۹۹۷): p. ۲۰۴-۱۹۱.
۲۲. Kotek, L. and M. Tabas, HAZOP study with qualitative risk analysis for prioritization of corrective and preventive actions. Procedia Engineering, ۴۲ .۲۰۱۲: p. ۸۱۵-۸۰۸.
۲۳. Ericson, C.A., Hazard analysis techniques for system safety. ۲۰۱۵: John Wiley & Sons.
۲۴. Popović, V. and B. Vasić, Review of hazard analysis methods and their basic characteristics. FME Transactions, ۴)۳۶ .۲۰۰۸): p. ۱۸۷-۱۸۱.
۲۵. Frazier, T.G., C.M. Thompson, and R.J. Dezzani, A framework for the development of the SERV model: A Spatially Explicit Resilience-Vulnerability model. Applied Geography, ۵۱ .۲۰۱۴: p. ۱۷۲-۱۵۸.
۲۶. Choi, Y. and J.-H. Chung, Multilevel and multivariate structural equation models for activity participation and travel behavior. Journal of Korean Society of Transportation, ۴)۲۱ .۲۰۰۳): p. ۱۵۴-۱۴۵.
۲۷. Chung, J.-H. and D. Lee, Structural model of automobile demand in Korea. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, ۱)۱۸۰۷ .۲۰۰۲): p. ۹۱-۸۷.
۲۸. Golob, T.F., Structural equation modeling for travel behavior research. Transportation Research Part B: Methodological, ۱)۳۷ .۲۰۰۳): p. ۲۵-۱.
۲۹. Zou, H., et al., Quantitative assessment of adaptive measures on optimal water resources allocation by using reliability, resilience, vulnerability indicators. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, ۱)۳۴ .۲۰۲۰): p. ۱۱۹-۱۰۳.