Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 8, Issue 2, Summer 2021, Pages: 35-43

Original Article

doi: 10.52547/johe.8.2.35

Development of a Semi-quantitative Model for the Assessment of Safety Resilience in Process Industries: A Cross-sectional Study Based on the Delphi Method with a Passive Defense Approach

Hossein Amouei[1], Mahnaz Mirza Ebrahim Tehrani[2,*], Seyed Ali Jozi[3], Ahmad Soltanzadeh[4]

[1] *PhD Candidate of Management of Environment, Department of Environment, Faculty of Marine Science and Technology, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[2] *Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Marine Science and Technology, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[3] *Professor, Department of Environment, Faculty of Marine Science and Technology, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[4] *Assistant Professor, Department of Occupational Safety and Hygiene Engineering, Research Center for Environmental Pollutants, Faculty of Health, Qom University of Medical Sciences, Qom, Iran*

**** Corresponding Author:*** *Mahnaz Mirza Ebrahim Tehrani, Department of Environment, Faculty of Marine Science and Technology, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email:tehrani.mah@gmail.com*

Received: 23/12/2020
Accepted: 31/01/2021

How to Cite this Article:
Amouei H, Mirza Ebrahim Tehrani M, Jozi SA, Soltanzadeh A. Development of a semi-quantitative model for the assessment of safety resilience in process industries: A cross-sectional study based on the Delphi method with a passive defense approach. J Occup Hyg Eng. 2021; 8(2): 35-43. DOI: 10.52547/johe.8.2.35

Abstract

Background and Objective: The analysis of system resilience is one of the ways to increase the factor of safety. The present study aimed to develop a model for the assessment of safety resilience in process industries with a passive defense approach based on the Delphi method.

Materials and Methods: This cross-sectional study was conducted in Phase 19 of the South Pars Gas Field Development Project in 2018-2020. This three-round Delphi study was performed in three rounds stages with the participation of 18 experts in the fields of chemical and process engineering, safety, occupational health, and environment.

Results: After three rounds of the Delphi study, the safety resilience assessment model was developed based on the three components of preparedness, the likelihood of occurrence, and consequence. Based on the results, the preparedness component included the variables of hardware, software, and defensive preparedness, as well as access to external resources. The findings showed that experimental data, technical inspection, and the professional competence of individuals were among effective parameters in the likelihood component. Moreover, the parameters of human damage, property damage, process damage, environmental damage, and strategic and defense damage were among the effective parameters in the consequence component. In this Delphi study, all members of the expert panel confirmed the items in the algorithm, including resilience components and the variables of each component with a 75% acceptance level.

Conclusion: Based on the opinions of the expert panel, the results of this Delphi study indicated that this semi-quantitative model has good reliability for the assessment of safety resilience in process industries. Therefore, the use of this model can be of great in the provision of an acceptable estimate of safety resilience in the process industry.

Keywords: Delphi Method; Process Industry; Resilience; Safety; Semi-quantitative Model

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.32]

Copyright © 2021 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

مقاله پژوهشی

doi: 10.52547/johe.8.2.35

توسعه مدل نیمه‌کمّی ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرایندی: یک مطالعه مقطعی مبتنی بر روش دلفی و با رویکرد پدافند غیرعامل

حسین عموئی[۱]، مهناز میرزا ابراهیم تهرانی[۲*]، سید علی جوزی[۳]، احمد سلطان‌زاده[۴]

[۱] دانشجوی دکتری مدیریت محیط‌زیست، گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[۲] استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[۳] استاد، گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[۴] استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، مرکز تحقیقات آلاینده‌های محیطی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

* **نویسنده مسئول:** مهناز میرزا ابراهیم تهرانی، گروه محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون دریایی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
ایمیل: tehrani.mah@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۰۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۲

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

سابقه و هدف: یکی از راهکارهای افزایش ضریب ایمنی، تکیه بر ارزیابی و تحلیل تاب‌آوری سیستم است. مطالعه حاضر با هدف توسعه مدل ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرایندی با رویکرد پدافند غیرعامل بر اساس روش دلفی طراحی و انجام شده است.

مواد و روش‌ها: مطالعه حاضر یک بررسی مقطعی بود که در فاز ۱۹ پارس جنوبی در سال ۹۹-۱۳۹۷ انجام شده است. این مطالعه دلفی طی سه دور و با مشارکت ۱۸ نفر از متخصصان در زمینه‌های مهندسی شیمی و فرایند، ایمنی، بهداشت حرفه‌ای و محیط‌زیست انجام شده است.

یافته‌ها: پس از سه دور مطاله دلفی، مدل ارزیابی تاب‌آوری ایمنی بر اساس سه مؤلفه آمادگی، احتمال وقوع و پیامد رویداد توسعه یافت. بر اساس این نتایج، مؤلفه آمادگی شامل متغیرهای آمادگی سخت‌افزاری، آمادگی نرم‌افزاری، آمادگی پدافندی و دسترسی به منابع بیرونی بود. مؤلفه احتمال وقوع شامل چهار متغیر تواتر وقوع رویداد، داده‌های تجربی، داده‌های بازرسی فنی و صلاحیت حرفه‌ای افراد و مؤلفه پیامد رویداد شامل پنج متغیر آسیب انسانی، آسیب دارایی، آسیب فرایند، آسیب زیست‌محیطی و آسیب استراتژیک بود. در این مطالعه دلفی، همه افراد تیم خبرگان مدل ارزیابی تاب‌آوری شامل مؤلفه‌های تاب‌آوری و متغیرهای هر یک از مؤلفه‌ها را با حداقل ۷۵ درصد سطح پذیرش تأیید کردند.

نتیجه‌گیری: مبتنی بر نظرات پنل خبرگان، نتایج این مطالعه دلفی بیانگر این بود که این مدل نیمه‌کمّی توسعه‌یافته قابلیت اطمینان مناسبی برای ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرایندی دارد؛ بنابراین، استفاده از این مدل می‌تواند به برآورد قابل قبولی از میزان تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرایندی کمک کند.

واژگان کلیدی: ایمنی؛ تاب‌آوری؛ روش دلفی؛ صنعت فرایندی؛ مدل نیمه‌کمّی

مقدمه

امروزه مهم‌ترین چالش برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار در صنایع فرایندی و شیمیایی مانند پالایشگاه‌ها را می‌توان به تهدیدهای مرتبط با ایمنی شامل انواع رویدادهای ناشی از خطای لایه‌های حفاظتی فناوری‌محور و سخت‌افزاری، خطای انسانی که در تعامل با فناوری‌های روزآمد به وقوع می‌پیوندند و فرسودگی زیرساخت‌ها یا به عبارتی کاهش یا ازبین‌رفتن قابلیت اعتماد فناوری استفاده‌شده فنی، تجهیزاتی و زیرساختی نسبت داد. نکته حائز اهمیت درباره این چالش‌ها و تهدیدها، روزافزون‌شدن آن و افزایش میزان خطر این تهدیدها به‌ازای گذشت زمان است [۱-۴].

رویکرد مدیریت پیامد و روش‌های ارائه و کاربرد آن مانند تحلیل و ارزیابی تاب‌آوری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ساختارها در موضوع ایمنی با مورد توجه قراردادن دو رویکرد واکنشی و کنشی در این عرصه به دنبال پرکردن نقایص این دو رویکرد و تقویت آن بوده است و با استفاده از یک الگوریتم قوی و کارآمد می‌کوشد با واکاوی میزان آسیب‌پذیری و ارزیابی تاب‌آوری در برابر انواع مخاطراتی که ایمنی و حتی بقای یک صنعت یا سیستم را تهدید می‌کند، ارزیابی صحیح و دقیقی از میزان و وضعیت ایمنی و تاب‌آوری به‌دست آورد و درنهایت میزان آمادگی در برابر این

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.32]

تهدیدات را افزایش دهد [۵-۷]. بر این اساس، ارائه یک الگو و قالب ساختارمند برای ارزیابی تاب‌آوری ایمنی سیستم و همچنین توجه ویژه به فناوری یا به عبارت دیگر تحلیل سیستمیک تاب‌آوری با رویکرد شناخت و تحلیل نظام‌مند فناوری به‌ویژه مبتنی بر رویکردهای ایمنی منفعل شامل توجه به الزامات و متغیرهای پدافند غیرعامل در یک صنعت فرایندی به عنوان یک گام مهم در این عرصه به شمار می‌رود [۸-۱۱].

مهندسی تاب‌آوری جایگزینی برای تمام روش‌های ایمنی موجود نیست، بلکه یک رویکرد و دیدگاهی متفاوت است و می‌تواند مکملی برای پرکردن خلأهای موجود باشد. از دیدگاه فعلی، رویدادها، حوادث و تهدیدها عموماً ترکیبی خطی از علت‌ها و ریسک ناشی از انسان و سیستم است؛ بنابراین، بر اساس این دیدگاه عموماً پویایی سیستم و مواردی مثل فشار تولید و تغییرات زمانی، تهدیدهای مبتنی بر تغییرات فناوری و تعاملات ویژه انسان- فناوری در نظر گرفته نمی‌شوند [۱۲-۱۴]. درحالی که مهندسی تاب‌آوری به‌جای تأکید بر این مسائل علت و معلولی، بر توانایی سیستم در حفظ قابلیت‌هایش قبل، حین و بعد از تغییرات نامطلوب متمرکز است [۱۵-۱۷]. لذا، 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 یک طرف در چگونگی شناخت تاب‌آوری وضع موجود و علل آن نقش کلیدی دارد و از طرف دیگر سیاست‌ها و اقدامات کاهش تهدید مخاطرات و نحوه رویارویی با آن را تحت تأثیر اساسی قرار می‌دهد. از این رو تبیین رابطه تاب‌آوری در برابر تهدیدات و کاهش اثرات آن با توجه به نتایجی که دربر خواهد داشت و تأکیدی که این تحلیل بر بُعد تاب‌آوری دارد، اهمیت بسیاری دارد [۱۸،۱۹].

یکی از راهکارهای افزایش ضریب ایمنی از طریق ارتقای تاب‌آوری، تکیه بر ارزیابی ابعاد و متغیرهای مرتبط با آسیب‌پذیری بر مبنای عوامل خطر سخت‌افزاری (مانند ایمنی تجهیزات، تأسیسات و مواد)، نرم‌افزار موجود در سیستم و همچنین نیروی انسانی، رویه‌ها و روش‌های کاری است [۲۰-۲۲]. بنابراین، توسعه یک مدل برای ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در سیستم‌ها و صنایع فرایندی با رویکرد پدافند غیرعامل با شناخت صحیح و ارزیابی دقیق منابع آسیب‌زا به‌عنوان مهم‌ترین گام در کاهش آسیب‌زایی و خسارت‌زایی رویدادهای مرتبط با هر یک از تهدیدها، کاهش آسیب‌پذیری و افزایش میزان تاب‌آوری یک سیستم و همچنین به عنوان یک ابزار قدرتمند برای تصمیم‌های کلان و ارائه ساختار مناسب در ارتقای سطح تاب‌آوری و قابلیت اعتماد سیستم‌ها در این صنایع مورد توجه و استفاده قرار می‌گیرد [۲۳].

با توجه به نبود چنین ابزار و مدلی برای ارزیابی تاب‌آوری مبتنی بر مخاطرات تهدیدکننده ایمنی، مطالعه حاضر با هدف توسعه یک مدل نیمه‌کمّی برای ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرایندی مبتنی بر رویکرد پدافند غیرعامل و با استفاده از روش دلفی طراحی و انجام شده است.

روش کار

این مطالعه مقطعی مبتنی بر روش دلفی و نظرات خبرگان و با هدف توسعه مدل ارزیابی تاب‌آوری ایمنی با رویکرد پدافند غیرعامل در فاز ۱۹ پارس جنوبی در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۹ انجام شده است.

طراحی مدل ارزیابی تاب‌آوری ایمنی

طی مطالعه حاضر و به‌منظور توسعه مدل نیمه‌کمّی برای محاسبه و ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرایندی، ابتدا محققان با استفاده از یک بررسی متون جامع در زمینه ارزیابی آسیب‌پذیری و تاب‌آوری و همچنین مطالعه مهم‌ترین مؤلفه‌ها و متغیرهای موثر بر و مرتبط با تاب‌آوری در صنایع [۲۴-۲۹]، مدل اولیه خود را مبتنی بر سه مؤلفه و پانزده متغیر تدوین و ارائه کردند. سپس، این مدل را با بهره‌گیری از نظرات متخصصان در سه دور مطالعه دلفی توسعه دادند. این سه مؤلفه، متغیرها و سطوح تعریف‌شده برای هر یک از متغیرها مبتنی بر الزامات و استانداردهای مرتبط، استراتژی‌های ایمنی در صنایع فرایندی و همچنین ویژگی‌ها و محدودیت‌های مرتبط با تاب‌آوری در این صنایع شامل متغیرهای تکنولوژیک، اقتصادی، مجموعه خطرات و تهدیدات زمینه‌ای که جزء ماهیت مشاغل و فعالیت‌ها در صنایع فرایندی هستند، منابع انسانی و استراتژیک تعیین شد.

در این مدل اولیه، مؤلفه آمادگی در برابر تهدید شامل پنج متغیر آمادگی سخت‌افزاری، آمادگی نرم‌افزاری، آمادگی پدافندی، ارتباطات و منابع بیرونی بود. مؤلفه احتمال وقوع شامل متغیرهای تواتر وقوع، داده‌های تجربی، داده‌های بازرسی فنی، پتانسیل خطرات طبیعی و صلاحیت حرفه‌ای افراد و مؤلفه پیامد رویداد شامل پنج متغیر آسیب انسانی، آسیب دارایی، آسیب زیست محیطی، آسیب به اعتبار و آسیب استراتژیک و پدافندی بود. برای هر یک از متغیرهای پانزده‌گانه، پنج سطح برای رتبه‌بندی آن‌ها در نظر گرفته شد.

توسعه مدل ارزیابی تاب‌آوری ایمنی مبتنی بر روش دلفی

روش دلفی فرایندی ساختاریافته برای جمع‌آوری و طبقه‌بندی دانش موجود در نزد گروهی از کارشناسان و خبرگان است. اساس روش دلفی بر این است که نظر متخصصان هر قلمرو علمی در مورد پیش‌بینی آینده صائب‌ترین نظر است. بنابراین، برخلاف روش‌های پژوهش پیمایشی، اعتبار روش دلفی نه به شمار شرکت‌کنندگان در پژوهش، بلکه به اعتبار علمی متخصصان شرکت‌کننده در آن مطالعه بستگی دارد.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.32]

شرکت‌کنندگان در تحقیق دلفی از ۵ تا ۲۰ نفر را شامل می‌شوند [۳۰]. طی مطالعه حاضر، نظرات ۱۸ متخصص با مدرک تحصیلی کارشناسی ارشد و دکترا در زمینه‌های مرتبط با مهندسی شیمی و فرایند، ایمنی، بهداشت حرفه‌ای و محیط‌زیست گرفته شد. در این مطالعه علاوه بر تخصص افراد، به تجربه آن‌ها در زمینه مورد مطالعه نیز توجه شده است. این مطالعه دلفی در سه دور انجام شده است:

دور اول دلفی

در این دور، ابتدا مدل اولیه محاسبه و ارزیابی تاب‌آوری تدوین‌شده توسط تیم تحقیق شامل سه مؤلفه احتمال وقوع، پیامد رویداد و آمادگی در برابر تهدید و متغیرهای پانزده‌گانه این سه مؤلفه و روابط حاکم بر آن‌ها در اختیار پنل خبرگان قرار گرفت. در این دور از ۱۸ متخصص در پنل خبرگان خواسته شد نظرات خود را درباره مطلوبیت مؤلفه‌ها و متغیرهای این مدل تاب‌آوری بر اساس طیف لیکرت پنج گزینه‌ای (خیلی کم تا خیلی زیاد) ارائه کنند. همچنین از آن‌ها خواسته شد اگر پیشنهادی مبنی بر اضافه‌شدن مؤلفه یا متغیری برای ارزیابی تاب‌آوری دارند، ارائه دهند. سپس نتایج دور اول مطالعه دلفی تجزیه‌وتحلیل شد.

دور دوم دلفی

پس از جمع‌آوری نظرات متخصصان و تحلیل نتایج دور اول دلفی، طی دور دوم تغییرات احتمالی در مدل طراحی‌شده انجام و برای اظهار نظر مجدد برای پنل خبرگان ارسال شد. در این دور نیز از متخصصان شرکت‌کننده خواسته شد درباره مطلوبیت مؤلفه‌ها و متغیرها مجدداً اظهار نظر کنند. همچنین مجدداً از آن ها خواسته شد اگر پیشنهادی مبنی بر اضافه‌شدن مؤلفه یا متغیری برای محاسبه و ارزیابی تاب‌آوری دارند، ارائه دهند. سپس نتایج دور دوم مطالعه دلفی تجزیه‌وتحلیل شد.

دور سوم دلفی

طی دور سوم و پس از تجزیه‌وتحلیل نتایج دور دوم این مطالعه و انجام تغییرات احتمالی، مدل ارزیابی تاب‌آوری ایمنی برای پنل خبرگان به‌منظور اظهار نظر مجدد مبنی بر مطلوبیت مؤلفه‌ها و متغیرها در این مدل ارسال شد. پس از جمع‌آوری نظرات خبرگان در دور سوم و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و با توجه به عدم تغییر نسبی شاخص پراکندگی ضریب تغییرات (CV) نسبت به دور دوم (<۲۰٪)، این مطالعه دلفی پس از سه دور پایان یافت و مبتنی بر نتایج آن مدل نیمه‌کمّی ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرایندی توسعه یافت. معیار پذیرش هر یک از مؤلفه‌ها و متغیرها برای این مطالعه دلفی میانگین ۴≤ در نظر گرفته شد [۳۱].

نتایج

نتایج داده‌های دموگرافیک پنل خبرگان نشان داد میانگین سن و سابقه کار این متخصصان به ترتیب ۸/۴۹±۳۹/۶ و ۶/۲۲±۹/۲ سال است. از بین پنل خبرگان ۱۰ نفر (۵۵/۶ درصد) متأهل و ۸ نفر (۴۴/۴ درصد) مجرد بودند. ۶ نفر (۳۳/۳ درصد) از پنل خبرگان تحصیلات کارشناسی ارشد و ۱۲ نفر (۶۷/۷ درصد) تحصیلات دکتری داشتند.

نتایج دور اول مطالعه دلفی نشان داد همه افراد پنل خبرگان پاسخ خود را مبنی بر مطلوبیت یا عدم مطلوبیت مؤلفه‌ها و متغیرهای مدل ارزیابی تاب‌آوری ایمنی ارائه داده‌اند (میزان مشارکت=۱۰۰ درصد). همچنین ۲ نفر از متخصصان یک متغیر جدید را برای مؤلفه پیامد رویداد با عنوان «آسیب به فرایند/توقف و اختلال در فرایند تولید صنعت» پیشنهاد داده بودند. پس از اعمال تغییرات در مدل اولیه مبتنی بر نظرات متخصصان در دور اول (اضافه‌کردن یک متغیر برای مؤلفه پیامد) و اجرای دور دوم این مطالعه دلفی، تجزیه‌وتحلیل نتایج این دور نشان داد هیچ متغیر یا مؤلفه‌ای به مدل اضافه نشده است.

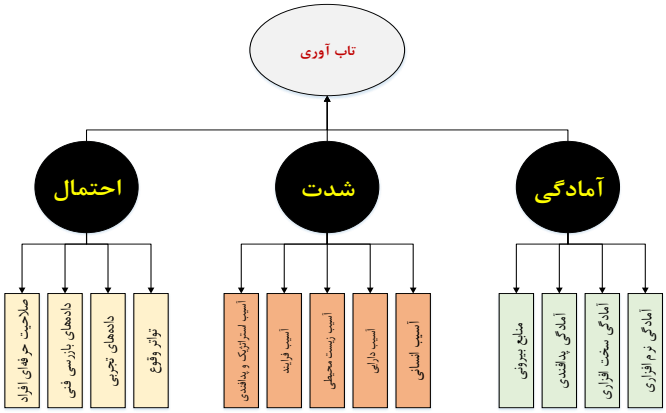
برای ارزیابی پایایی پاسخ‌های ارائه‌شده توسط پنل خبرگان در دور دوم، یک بار دیگر و طی دور سوم مطالعه دلفی از این افراد خواسته شد نظر خود را درباره اجزای مدل ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرایندی شامل مؤلفه‌ها، متغیرها و روش محاسبه و ارزیابی تاب‌آوری در این مطالعه ارائه کنند. نتایج این دور دلفی نشان داد شاخص CV نسبت به دور دوم ۰/۱۵ برآورد شده و این مقدار نسبت به مقدار معیار در نظر گرفته‌شده برای این مطالعه (<۲۰٪) بسیار کمتر است. درنهایت، با توجه به این شاخص پراکندگی (CV)، مطالعه دلفی در این مرحله به پایان رسید.

پس از اتمام دور سوم مطالعه دلفی و مبتنی بر معیار پذیرش در نظر گرفته‌شده برای هر یک از مؤلفه‌ها و متغیرها در این مدل (۴≤)، متغیرهای ارتباطات (میانگین=۲/۲۴)، پتانسیل خطرات طبیعی (میانگین=۲/۴۳) و آسیب به اعتبار (میانگین=۲/۳۵) به ترتیب از مؤلفه‌های آمادگی، احتمال وقوع و پیامد حذف شدند. لذا مدل نهایی برای ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرایندی مبتنی بر مؤلفه‌های آمادگی در برابر تهدید (چهار متغیر آمادگی سخت‌افزاری، آمادگی نرم‌افزاری، آمادگی پدافندی و دسترسی به منابع بیرونی)، احتمال وقوع رویداد (چهار متغیر تواتر وقوع رویداد، داده‌های تجربی، داده‌های بازرسی فنی و صلاحیت حرفه‌ای افراد) و پیامد رویداد (پنج متغیر آسیب انسانی، آسیب دارایی، آسیب فرایند، آسیب زیست‌محیطی و آسیب استراتژیک) توسعه یافت (شکل ۱). روش محاسبه و ارزیابی تاب‌آوری بر اساس معادله‌های ۱ تا ۴ و جداول ۱ تا ۳ ارائه شده است.

محاسبات مربوط به میزان یا شاخص تاب‌آوری و هر یک از مؤلفه‌های آمادگی، احتمال وقوع و پیامد در معادله‌های ۱ تا ۴ ارائه شده است. راهنمای انتخاب هر یک از متغیرهای مربوطه در

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.32]



شکل ۱: مدل توسعه‌یافته ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرایندی

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

شاخص	آمادگی سخت‌افزاری[۱]	آمادگی نرم‌افزاری[۲]	آمادگی پدافندی[۳]	منابع بیرون[۴]
۱	سطح آمادگی بسیار کم برای محدودسازی (۰-۱۰ درصد)	سطح آمادگی بسیار کم برای محدودسازی (۰-۱۰ درصد)	سطح آمادگی پدافندی بسیار کم برای محدودسازی (۰-۱۰ درصد)	منابع ناموجود یا عدم‌دسترسی (۰-۱۰ درصد)
۲	سطح آمادگی کم برای محدودسازی (۱۰-۳۰ درصد)	سطح آمادگی کم برای محدودسازی (۱۰-۳۰ درصد)	سطح آمادگی پدافندی کم 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 زیاد برای محدودسازی (۵۰-۷۵ درصد)	سطح آمادگی نسبتاً زیاد برای محدودسازی (۵۰-۷۵ درصد)	سطح آمادگی پدافندی نسبتاً زیاد برای محدودسازی (۵۰-۷۵ درصد)	منابع نسبتاً در دسترس (۵۰-۷۵ درصد)
۵	سطح آمادگی زیاد برای پیشگیری و محدودسازی (۷۵-۱۰۰ درصد)	سطح آمادگی زیاد برای پیشگیری و محدودسازی (۷۵-۱۰۰ درصد)	سطح آمادگی پدافندی زیاد 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 سیستم‌های 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

جدول‌های ۱ تا ۳ ارائه شده است. بر اساس دستورالعمل این مدل و برای رفع محدودیت ناشی از سوگیری‌ها در انتخاب و برآورد هر یک از این متغیرها، در صورتی که پاسخ هر یک از معادله‌های ۲ تا ۴ یک عدد اعشاری باشد، این عدد باید به بالا گرد (رُند) شود.

نتایج ارزیابی روایی این ابزار که با استفاده از نسبت روایی محتوایی (CVR) و شاخص روایی محتوایی (CVI) به‌دست آمده است، نشان داد دو شاخص CVR و CVI برای این ابزار به ترتیب ۰/۹۱۵ و ۰/۹۴ برآورد شده است. همچنین در این مطالعه میزان مطلوبیت تاب‌آوری در سه سطح شامل سطح ۱: وضعیت ایمن (۴۰۰-۱۰۱)، سطح ۲: وضعیت هشدار (۴۱-۱۰۰) و سطح ۳: وضعیت بحرانی (۴۰-۵) تقسیم‌بندی شده است (جدول ۴).

معادله (۱) $$Resiliency = (\frac{P}{L \times C}) \times 100$$

معادله (۲) $$P = \frac{\sum p_i}{4}$$

معادله (۳) $$L = \frac{\sum l_i}{4}$$

معادله (۴) $$C = \frac{\sum c_i}{5}$$

Resiliency: شاخص تاب‌آوری (۴۰۰-۵)

P/Preparedness: شاخص آمادگی (۴-۱)

L/Likelihood: شاخص احتمال وقوع (۴-۱)

C/Consequence: شاخص پیامد (۵-۱)

p_i: متغیرهای مؤلفه آمادگی (آمادگی نرم افزاری، آمادگی سخت افزاری، آمادگی پدافندی و منابع بیرونی)

l_i: متغیرهای مؤلفه احتمال وقوع (تواتر وقوع، داده‌های تجربی، داده‌های بازرسی فنی و صلاحیت حرفه‌ای افراد)

c_i: متغیرهای مؤلفه پیامد (آسیب انسانی، آسیب دارایی، آسیب زیست‌محیطی، آسیب فرایند و آسیب استراتژیک و پدافندی)

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]
[DOI: 10.52547/johe.8.2.32]

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

شاخص	تواتر وقوع[۱]	داده‌های تجربی[۲]	داده‌های بازرسی فنی[۳]	صلاحیت حرفه‌ای افراد[۴]
۱	هر ۵ سال یک بار	وقوع موارد مشابه در صنایع و پالایشگاه های دیگر در دنیا	بازرسی هفتگی	استفاده از نیرو و تیم پشتیبان ماهر
۲	هر ۲ سال یک بار	وقوع در صنایع و پالایشگاه‌های مشابه در کشور	بازرسی ماهیانه	استفاده از نیرو و تیم پشتیبان ماهر
۳	هر سال یک بار	وقوع در صنایع و پالایشگاه‌های مشابه در کشور	بازرسی هر ۶ ماه یک بار	استفاده از نیروی ماهر و تیم پشتیبان غیرماهر
۴	۱< بار 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 اورهال	استفاده از نیرو و تیم پشتیبان غیرماهر

[۱] احتمال فرکانس وقوع هر یک از رویدادهای مطالعه‌شده 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 نیروهای 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 مواردی از این دست است).

جدول ۳: راهنمای تعیین متغیرهای مؤلفه پیامد رویداد(C)

شاخص	آسیب انسانی[۱]	آسیب دارایی[۲]	آسیب زیست‌محیطی[۳]	آسیب فرایند[۴]	آسیب استراتژیک و پدافندی[۵]
۱	آسیب‌های بسیار جزئی و منجر به بستری کوتاه‌مدت	بین ۲۰ تا ۱۰۰میلیون	عدم آسیب	اختلال فرایند تا ۱ روز	عدم آسیب
۲	آسیب‌های منجر به بستری طولانی‌مدت	۱۰۰ تا ۵۰۰ میلیون	آسیب جزئی	اختلال فرایند ۱ تا ۳ روز	آسیب جزئی مراکز مهم/ آسیب بسیار جزئی مراکز حساس
۳	آسیب‌های منجر به نقص عضو جزئی	۵۰۰ میلیون تا ۱ میلیارد	آسیب متوسط	اختلال فرایند تا ۱ هفته	آسیب متوسط مراکز مهم/ آسیب جزئی مراکز حساس
۴	آسیب‌های منجر به نقص عضو کلی و ازکارافتادگی	۱ تا ۵ میلیارد	آسیب شدید و تهدید اکوسیستم	اختلال فرایند تا ۱ ماه	آسیب متوسط مراکز حساس/ آسیب جزئی/متوسط مراکز حیاتی
۵	مرگ افراد	بالای ۵ میلیارد	آسیب بحرانی و نابودی اکوسیستم	اختلال فرایند بیش از ۱ ماه	آسیب شدید مراکز حیاتی

[۱] آسیب‌های وارده بر نیروی انسانی (از آسیب‌های بسیار جزئی تا مرگ افراد)

[۲] آسیب‌های وارده بر سیستم مالی سازمان بر حسب میلیون تومان

[۳] آسیب‌های وارده بر محیط زیست (از آسیب‌های جزئی تا نابودی اکوسیستم)

[۴] آسیب‌های وارده بر فرایند پالایشگاه بر حسب تعداد روزهای توقف فرایند

[۵] آسیب‌های پدافندی وارده بر سازمان (از آسیب‌های جزئی تا آسیب‌های بحرانی مراکز حیاتی و استراتژیک)

جدول ۴: سطوح میزان مطلوبیت تاب‌آوری

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

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

بحث

تاب‌آوری به مشخصات و ویژگی‌هایی گفته می‌شود که تعیین می‌کند یک سازمان در برابر یک تهدید تا چه حد

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.32]

می‌تواند آماده باشد و دچار آسیب نشود و کمترین حد چالش را متحمل شود. تاب‌آوری مفهوم نسبتاً جدیدی است که در اواخر قرن گذشته مطرح شده است. این مفهوم در طول دهه‌ها و در زمینه‌های مختلفی از علوم مثل ایمنی و بهداشت، انرژی اتمی، هوانوردی، جامعه‌شناسی، انسان‌شناسی و همچنین از نظریه‌های افرادی مثل چارلز پرال، دونالد نورمن، اسکات ساگان، جیمز ریزن و جونز راسموسن الهام گرفته است [۱۵،۱۶،۳۲]. بنابراین، مجموعه‌ای از برنامه‌ریزی‌ها، فرایندها و فعالیت‌هایی که به کاهش وقوع انواع رویدادها و پیامدهای احتمالی آن‌ها منجر می‌شود و به افزایش سطح آمادگی در برابر هر گونه رویدادی کمک می‌کند، موجب افزایش تاب‌آوری ایمنی در یک صنعت یا سازمان می‌شود [۲۶،۲۷]. همچنین صنایع فرایندی با توجه با ویژگی‌های منحصربه‌فرد و ذات فرایندهای آن‌ها که متغیرهای فرایندی بحرانی دارند، همیشه در معرض تهدید بروز انواع رویداد و آسیب‌پذیری زیاد هستند. لذا طراحی، توسعه و به‌کارگیری الگوریتم یا مدلی که بتواند سطح یا شاخص تاب‌آوری را در این صنایع ارزیابی کند و برآوردی از میزان تاب‌آوری به‌ویژه تاب‌آوری ایمنی در برابر تهدیدات ناشی از انواع مخاطرات مختلف را در این صنایع ارئه دهد، کمک فراوانی در ارائه تصمیم‌های خرد و کلان برای مقابله با این تهدیدات، کاهش سطح آسیب‌پذیری و درنهایت افزایش سطح تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرایندی و شیمیایی می‌کند [۱۷].

بنابراین، در این مطالعه با بررسی متون جامع و به‌کارگیری روش دلفی سه مرحله‌ای، یک مدل نیمه‌کمّی برای محاسبه و ارزیابی تاب‌آوری ایمنی در صنایع فرایندی با توجه به رویکرد پدافند غیرعامل توسعه یافت. طی مطالعه حاضر از سه مؤلفه آمادگی در برابر تهدیدات، احتمال وقوع و پیامد ناشی از وقوع رویدادهای احتمالی به‌منظور محاسبه شاخص تاب‌آوری استفاده شد. سه مؤلفه مذکور ازجمله مهم‌ترین مؤلفه‌های تعیین میزان تاب‌آوری یک سیستم در برابر انواع مخاطراتی است که یک سیستم، سازمان یا صنعت را تهدید می‌کند [۳۳،۳۴]. بر اساس نتایج این مطالعه دلفی، مشخص شد آمادگی سخت‌افزاری، نرم افزاری، پدافندی و منابع خارجی و برون‌سازمانی چهار متغیری هستند که در برآورد شاخص آمادگی در برابر تهدیدات اهمیت فراوانی دارند. همچنین مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در برآورد مؤلفه احتمال وقوع شامل تواتر وقوع، داده‌های تجربی و سوابق حوادث گذشته، داده‌های بازرسی فنی و میزان صلاحیت و مهارت افراد در انجام وظایف شغلی و درنهایت پنج متغیر آسیب‌های انسانی، دارایی، فرایندی، زیست‌محیطی و پدافندی/استراتژیک تأثیرگذارترین عوامل بر محاسبه مؤلفه پیامد بوده است.

مطالعه Jain و همکاران (۲۰۱۸) به‌منظور ایجاد الگوریتم تحلیل مخاطرات در صنایع با رویکرد تاب‌آوری نشان داد متغیرهای لایه‌های حفاظتی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، نیروی انسانی، مخاطرات مربوط به فرایند و تجهیزات، بازرسی فنی فرایند و متغیرهای فرایندی بحرانی ازجمله مهم‌ترین عوامل مؤثر در شناسایی و تحلیل مخاطرات با رویکرد تبیین تاب‌آوری در صنایع فرایندی است [۳۴]. Mannan و همکاران نیز طی مطالعه خود در راستای ارائه یک مدل تاب‌آوری فرایندی نشان دادند فاکتورهای کشف خطر، طراحی میزان تحمل خطا، بازیابی و آمادگی و درنهایت انعطاف‌پذیری و پویایی سیستم ازجمله عوامل مهم در تعیین میزان تاب‌آوری یک سیستم فرایندی از دیدگاه مدیریت خطر هستند [۳۵].

با توجه به ماهیت سیستم‌های فرایندی و همچنین متغیرهای بحرانی در صنایع فرایندی و شیمیایی در صورت بالفعل درآمدن مخاطرات بالقوه، اثرات و تهدیدات تحمیل‌شده بر ابعاد مختلف سازمان و جامعه جبران‌ناپذیر است [۳۶]. بنابراین، توسعه و به‌کارگیری روش یا مدلی برای تحلیل و ارزیابی تاب‌آوری در برابر تهدیدات مختلف مانند مخاطراتی که ایمنی یک سیستم یا صنعت را تهدید می‌کنند، در قالب فلسفه و رویکرد مدیریت پیامد به ارزیابی صحیح و دقیقی از میزان و وضعیت ایمنی و تاب‌آوری آن منجر می‌شود و درنهایت با برنامه‌ریزی مناسب این فرایند می‌تواند به اجرای گام‌هایی برای کاهش تکرارپذیری رویدادها و پیامدهای احتمالی آن و همچنین افزایش سطح آمادگی در برابر این تهدیدها با استفاده از مجموعه‌ای از اقدامات اکتیو و پسیو مانند توجه و به‌کارگیری الزامات و اصول حاکم بر پدافند غیرعامل منجر می‌شود [۵-۷،۳۷].

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر برای اولین بار و به‌منظور تدوین و توسعه مدلی برای ارزیابی نیمه‌کمّی تاب‌آوری ایمنی در صنایع و سیستم‌های فرایندی با استفاده از سه مؤلفه آمادگی در برابر تهدید، احتمال وقوع و پیامد رویداد ایجاد شد. نتایج حاصل از مطالعه حاضر باعث ایجاد دیدگاه جدیدی در حوزه محاسبه و ارزیابی آسیب‌پذیری و تاب‌آوری ایمنی و دیگر حوزه‌های مربوطه در صنایع فرایندی و دیگر سازمان‌ها و سیستم‌ها شده است. همچنین به‌کارگیری این مدل توسعه‌یافته گام مؤثری در راستای برنامه جامع مدیریت پیامد و افزایش سطوح تاب‌آوری در صنایع ایران و حتی دنیا به شمار می‌رود. استفاده از این مدل نیمه‌کمّی تاب‌آوری سیستم را با تلفیقی از مکانیسم‌ها شامل افزایش میزان آمادگی در برابر تهدیدها و کاهش احتمال و سطح آسیب‌پذیری آن ارتقا می‌دهد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب قدردانی خود را از همکاری اعضای پنل دلفی و افراد شرکت‌کننده در مطالعه حاضر اعلام می‌دارند. این مقاله برگرفته از رساله مقطع دکتری محیط‌زیست مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال با کد ۱۵۷۲۱۲۱۴۹۷۲۰۰۹ است.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.32]

تضاد منافع

نویسندگان در مطالعه حاضر دارای تعارض منافع نبوده اند.

ملاحظات اخلاقی

در این مطالعه هیچ داده انسانی جمع آوری نشده است.

سهم نویسندگان

حسین عمویی، طراحی مطالعه، گردآوری پایان نامه و تهیه کننده مقاله است.

مهناز میرزا ابراهیم طهرانی، طراحی مطالعه، استاد راهنما در تهیه پایان نامه و مقاله می باشد.

همچنین سید علی جوزی، استاد مشاور در تهیه پایان نامه و مقاله و احمد سلطان زاده، طراحی مطالعه، استاد مشاور در تهیه پایان نامه و مقاله هستند.

حمایت مالی

مقاله حاضر بخشی از نتایج ارائه شده در رساله دکتری مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال می باشد.

REFERENCES

1. Aliabadi MM, Esmaeili R, Mohammadfam I, Ashrafi M. Application of a standardized plant analysis risk-human reliability method to pipeline inspection gauge operations. *J Occup Hyg Eng Volume*. 2019;**6**(3):34-43. DOI: 10.29252/johe.6.3.34
2. Farhadi S, Mohammadfam I, Kalatpour O. Comparative study of usability of two patterns for developing an emergency scenario recommended by international standard organization and homeland security exercise evaluation program. *J Occup Hyg Eng*. 2016;**3**(1):8-16. DOI: 10.21859/johe-03012
3. Shirali GA, Mosavian Asl Z, Jahani F, Siahi Ahangar A, Etemad S. Modeling the effect of ammonia leakage from ammonia reservoirs using ALOHA software and developing an emergency response program in one of process industries. *J Occup Hygiene Eng Volume*. 2018;**5**(2):12-9. DOI: 10.21859/johe.5.2.12
4. Dinh LT, Pasman H, Gao X, Mannan MS. Resilience engineering of industrial processes: principles and contributing factors. *J Loss Prev Proc Ind*. 2012;**25**(2):233-41. DOI: 10.1016/j.jlp.2011.09.003
5. Baranowski TM, LeBoeuf EJ. Consequence management utilizing optimization. *J Water Resour Plan Manage*. 2008; **134**(4):386-94. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2008)134:4(386)
6. Lindell MK, Perry RW, Prater C ,Nicholson WC. Fundamentals of emergency management. Washington, DC: FEMA; 2006.
7. Turner BL, Kasperson RE, Matson PA, McCarthy JJ, Corell RW, Christensen L, et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proc Natl Acad Sci*. 2003;**100**(14):8074-9. DOI: 10.1073/pnas.1231335100
8. Barker K, Ramirez-Marquez JE, Rocco CM. Resilience-based network component importance measures. *Reliabil Eng Syst Saf*. 2013;**117**:89-97. DOI: 10.1016/j.ress.2013.03.012
9. Béné C, Wood RG, Newsham A, Davies M. Resilience :new utopia or new tyranny? Reflection about the potentials and limits of the concept of resilience in relation to vulnerability reduction programmes. *IDS Work Papers*. 2012;**2012**(405):1-61. DOI: 10.1111/j.2040-0209.2012.00405.x
10. Paton D, Johnston D. Disasters and communities: vulnerability, resilience and preparedness. *Disaster Prev Manag Int J*. 2001;**10**(4):270-7. DOI: 10.1108/EUM0000000005930
11. Adger WN. Vulnerability. *Glob Environ Change*. 2006; **16**(3):268-81.
12. Hollnagel E. Resilience: the challenge of the unstable. Resilience engineering. Florida: CRC Press; 2017. P. 21-30.
13. Hollnagel E. Risk+ barriers= safety? *Saf Sci*. 2008;**46**(2):221-9. DOI: 10.1016/j.ssci.2007.06.028
14. Woods DD, Leveson N, Hollnagel E. Resilience engineering: concepts and precepts. Farnham: Ashgate Publishing, Ltd.; 2012.
15. Hollnagel E, Woods DD, Leveson N. Resilience engineering: Concepts and precepts. Farnham: Ashgate Publishing, Ltd.; 2007.
16. Woods DD. Essential characteristics of resilience. Resilience engineering. Florida: CRC Press; 2017. P. 33-46.
17. Maddah S, Nabi Bidehendi G, Taleizadeh AA, Hoveidi H. A framework to evaluate health, safety, and environmental performance using resilience engineering approach: a case study of automobile industry. *J Occup Hyg Eng*. 2020;**6**(4):50-8. DOI: 10.29252/johe.6.4.50
18. Mitchell T, Harris K. Resilience: a risk management approach. London: ODI Background Note Overseas Development Institute; 2012.
19. O'Brien K, Pelling M, Patwardhan A, Hallegatte S, Maskrey A, Oki T, et al. Toward a sustainable and resilient future. Cambridge: Cambridge University Press; 2012.
20. Zio E. Challenges in the vulnerability and risk analysis of critical infrastructures. *Reliabil Eng Syst Saf*. 2016;**152**:137-50. DOI: 10.1016/j.ress.2016.02.009
21. Coburn A, Spence R, Pomonis A. Guide to vulnerability and risk assessment. Disaster management training programme (DMTP). Cambridge: Cambridge Architectural Research Limited; 1994.
22. Sarewitz D, Pielke R Jr, Keykhah M. Vulnerability and risk: some thoughts from a political and policy perspective. *Risk Analysis Int J*. 2003;**23**(4):805-10. DOI: 10.1111/1539-6924.00357
23. Khakzad N, Reniers G, Abbassi R, Khan F. Vulnerability analysis of process plants subject to domino effects. *Reliabil Eng Syst Saf*. 2016;**154**:127-36. DOI: 10.1016/j.ress.2016.06.004
24. Maier HR, Lence BJ, Tolson BA, Foschi RO. First- order reliability method for estimating reliability, vulnerability, and resilience. *Water Resour Res*. 2001;**37**(3):779-90. DOI: 10.1029/2000WR900329
25. Frazier TG, Thompson CM, Dezzani RJ. A framework for the development of the SERV model: a spatially explicit resilience-vulnerability model. *Appl Geography*. 2014;**51**:158-72. DOI: 10.1016/j.apgeog.2014.04.004
26. McManus S, Seville E, Vargo J, Brunsdon D. Facilitated process for improving organizational resilience. *Natl Hazards Rev*. 2008;**9**(2):81-90. DOI: 10.1061/(ASCE)1527-6988(2008)9:2(81)
27. Menoni S, Molinari D, Parker D, Ballio F, Tapsell S. Assessing multifaceted vulnerability and resilience in order to design risk-mitigation strategies. *Natl Hazards*. 2012;**64**(3):2057-82. DOI: 10.1007/s11069-012-0134-4
28. Eriksson J, Juhl AK. Guide to risk and vulnerability analyses. Sweden: Swedish Civil Contingencies Agency (MSB); 2012.
29. Kaiser permanente hazard vulnerability analysis. U.S. Department of Health & Human Services. Available at: URL: https://asprtracie.hhs.gov/technical-resources/resource/250/kaiser-permanente-hazard-vulnerability-analysis-hva-tool; 2017.
30. de Villiers MR, de Villiers PJ, Kent AP. The Delphi technique in health sciences education research. *Med Teach*. 2005;**27**(7):639-43. PMID: 16332558 DOI: 10.1080/13611260500069947
31. Shi C, Zhang Y, Li C, Li P, Zhu H. Using the Delphi method to identify risk factors contributing to adverse events in residential aged care facilities. *Risk Manag Healthc Policy*. 2020;**13**:523-37. PMID: 32581615 DOI: 10.2147/RMHP.S243929
32. Schafer D, Abdelhamid T, Mitropoulos P, Mrozowski T.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.32]

Resilience engineering: a new approach for safety management. Construction Research Congress 2009: Building a Sustainable Future, Seattle, Washington, United States; 2009.
33. Rañeses MK, Chang-Richards A, Richards J, Bubb J. Measuring the level of disaster preparedness in Auckland. *Proc Eng*. 2018;**212**:419-26. DOI: 10.1016/j.proeng.2018.01.054
34. Jain P, Rogers WJ, Pasman HJ, Mannan MS. A resilience-based integrated process systems hazard analysis (RIPSHA) approach: part II management system layer. *Proc Saf Environ Protect*. 2018;**118**:115-24. DOI: 10.1016/j.psep.2018.06.037
35. Jain P, Pasman HJ, Waldram S, Pistikopoulos E, Mannan MS. Process resilience analysis framework (PRAF): a systems approach for improved risk and safety management. *J Loss Prev Proc Ind*. 2018;**53**:61-73. DOI: 10.1016/j.jlp.2017.08.006
36. Meng X, Chen G, Zhu G, Zhu Y. Dynamic quantitative risk assessment of accidents induced by leakage on offshore platforms using DEMATEL-BN. *Intl J Naval Archit Ocean Eng*. 2019;**11**(1):22-32. DOI: 10.1016/j.ijnaoe.2017.12.001
37. Gholamizadeh K, Kalatpour O, Mohammadfam I. Evaluation of health consequences in chemicals road transport accidents using a fuzzy approach. *J Occup Hyg Eng*. 2019;**6**(3):1-8. DOI: 10.29252/johe.6.3.1

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-12]

[DOI: 10.52547/johe.8.2.32]