Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 8, Issue 1, Spring 2021, Pages: 19-25

Original Article

doi: 10.52547/johe.8.1.19

Vulnerability Assessment in Technology-Based Systems: A Case Study in Tehran Gas Supply Network

Esmaeil Shoja[1], Mohammad Hassan Cheraghali[2,*], Alireza Rezghi Rostami[3], Alireza Derakhshani[2]

[1] *PhD Candidate, Department of Technology Management, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[2] *Associate Professor, Department of Industrial Management, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*
[3] *Assistant Professor, Department of Industrial Management, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran*

**** Corresponding Author:*** *Mohammad Hassan Cheraghali, Department of Industrial Management, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: mhcheraghali6@gmail.com*

Received: 27/10/2020
Accepted: 12/12/2020

How to Cite this Article:
Shoja E, Cheraghali MH, Rezghi Rostami A, Derakhshan A. Vulnerability Assessment in Technology-Based Systems: A Case Study in Tehran Gas Supply Network. *J Occup Hyg Eng*. 2021; 8(1): 19-25. DOI: 10.52547/johe.8.1.19

Abstract

Background and Objective: A variety of natural, man-made, and technological hazards threaten the resilience of a system and make it vulnerable. Therefore, the present study aimed to assess the vulnerability of the gas distribution network in the city of Tehran.

Materials and Methods: This cross-sectional study was performed in town board stations (TBSs) in one of the gas distribution areas of Tehran during 2019-2020. This study was conducted based on the approach of identifying hazard and threat centers and vulnerability assessment. The vulnerability assessment was performed using a three-dimensional matrix consisting of three factors, including the probability of occurrence, the severity of the damage, and the extent of preparedness for the threat.

Results: In total, six hazard or threat sources were identified in the studied TBSs, including insulating joints, shut-off valves, station pipelines, sensors, regulators, and filters. The vulnerability caused by these six sources was estimated at 36, 30, 120, 112, 40, and 140, respectively. Based on the results, insulating joints, shut-off valves, and regulators presented threats of level two (medium), and station pipelines, sensors, and filters were level three threats (severe). The vulnerability index was in the range of 101-215.

Conclusion: The results indicated that the resilience of TBSs in this area are threatened by six major sources. Furthermore, the results of the vulnerability assessment of these TBSs revealed that the resilience to these threats is relatively low. Therefore, special attention should be paid to the reduction of vulnerability in this area of the gas distribution network.

Keywords: Gas Distribution Network; Resilience; Town Board Stations; Vulnerability Assessment

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-06-16]

[DOI: 10.52547/johe.8.1.19]

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.8.1.19

ارزیابی آسیب‌پذیری در سیستم‌های تکنولوژی‌محور: یک مطالعه موردی در شبکه گازرسانی شهر تهران

اسماعیل شجاع [۱]، محمد حسن چراغعلی [۲،*]، علیرضا رزقی رستمی [۳]، علیرضا درخشانی [۲]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه مدیریت تکنولوژی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[۲] دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[۳] استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

* **نویسنده مسئول:** محمدحسن چراغعلی، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
ایمیل: mhcheraghali6@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۸/۰۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۲۲

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

سابقه و هدف: انواع خطرات طبیعی، انسان‌ساز و تکنولوژیک می‌تواند تاب‌آوری یک سیستم را تهدید نموده و باعث آسیب‌پذیری آن شود. در این راستا، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری در شبکه گازرسانی شهر تهران انجام شد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه مقطعی در ایستگاه‌های تقلیل فشار درون شهری در یکی از مناطق گازرسانی شهر تهران در سال ۱۳۹۸ انجام شد. این مطالعه مبتنی بر رویکرد شناسایی کانون‌های خطر، تهدید و ارزیابی آسیب‌پذیری انجام شد. ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از ماتریس سه بعدی و متشکل از سه فاکتور احتمال وقوع، شدت آسیب و میزان آمادگی در برابر تهدید صورت گرفت.

یافته‌ها: در ایستگاه‌های تقلیل فشار مورد مطالعه، شش منبع خطر یا تهدید شامل: اتصال عایقی، شیرهای قطع‌کننده، لوله‌های خطوط ایستگاه، سنسینگ‌ها، رگولاتور و فیلتر شناسایی گردید. آسیب‌پذیری ناشی از این شش منبع خطر به ترتیب ۳۶، ۳۰، ۱۲۰، ۱۱۲، ۴۰ و ۱۴۰ برآورد شد. نتایج نشان دادند که تهدید سه منبع خطر اتصال عایقی، شیرهای قطع‌کننده و رگولاتور در سطح دو و متوسط و آسیب‌پذیری ناشی از سه منبع تهدید لوله‌های خطوط ایستگاه، سنسینگ‌ها و فیلتر در سطح سه و شدید بوده و شاخص آسیب‌پذیری در محدوده ۲۱۵-۱۰۱ می‌باشد.

نتیجه‌گیری: یافته‌های این مطالعه بیانگر آن بودند که شش منبع خطر بزرگ تاب‌آوری ایستگاه‌های تقلیل فشار درون شهری در این منطقه، گازرسانی را تهدید می‌نماید. نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری این ایستگاه‌های تقلیل فشار نشان دادند که میزان تاب‌آوری در مقابل این تهدیدات به طور نسبی پایین بوده و نیازمند توجه ویژه در جهت کاهش آسیب‌پذیری در این بخش از شبکه گازرسانی می‌باشد.

واژگان کلیدی: ارزیابی آسیب‌پذیری؛ ایستگاه‌های تقلیل فشار درون شهری؛ تاب‌آوری؛ شبکه گازرسانی

مقدمه

یکی از مهم‌ترین چالش‌ها برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار در سیستم‌های تکنولوژی‌محور، تهدیداتی مانند سوانح طبیعی همچون سیل و زلزله، تهدیدات انسانی مانند انواع آسیب‌های عمدی و حوادث ناشی از خطای انسانی که در تعامل با تکنولوژی‌های روزآمد به وقوع می‌پیوندند و نیز فرسودگی تأسیسات و زیرساخت‌ها و یا به عبارت دیگر کاهش یا از بین رفتن قابلیت اعتماد تکنولوژی مورد استفاده می‌باشد. نکته حائز اهمیت در مورد این چالش‌ها و تهدیدات، روزافزون شدن آن و افزایش میزان ریسک این تهدیدات یا آسیب‌پذیری این سیستم‌ها به ازای گذشت زمان می‌باشد [۱-۴].

آسیب‌پذیری به معنای خدشه‌پذیر، خلل‌پذیر، صدمه‌پذیر و گزندپذیر بودن می‌باشد. بی‌دفاع بودن و عدم آمادگی لازم در مقابل خطرات آسیب‌رسان به دارایی و سرمایه سیستم را آسیب‌پذیری می‌نامند. با توجه به مجموعه‌های غیر قابل پیش‌بینی مانند نقص در ساختارهای تکنولوژیک فنی و تجهیزاتی و همچنین بروز خطا در عملکردهای انسانی در سطوح

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-06-16]

[DOI: 10.52547/johe.8.1.19]

مختلف سازمانی، سطح آسیب در صنایع و سازمان‌ها به مقدار زیادی بالا بوده و شرایط غیر معمول می‌تواند شرایط اضطراری و بحران را ایجاد نموده و یا منجر به فاجعه شود [۸-۵].

می‌توان اذعان داشت که توجه به این چالش‌ها نیازمند رویکردهای نوین و فنی برای کاهش بروز تهدیدات و یا به عبارت دیگر خنثی نمودن آن و همچنین ارائه رویکردهای علمی و فنی جدیدتر برای کاهش آسیب‌پذیری و یا افزایش میزان تاب‌آوری یک سیستم تکنولوژی‌محور می‌باشد [۹،۱۰]؛ در نتیجه، ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری و همچنین توجه ویژه به تکنولوژی و یا به عبارت دیگر تحلیل سیستمیک آسیب‌پذیری با رویکرد شناخت و تحلیل نظام‌مند تکنولوژی برای تحلیل و تشریح میزان تاب‌آوری یک سیستم می‌تواند به عنوان مهم‌ترین گام در این عرصه به شمار رود [۱۴-۱۱].

در واقع سیستم یا صنعت تاب‌آور، شبکه‌ای پایدار از سیستم‌های کالبدی و نیروی انسانی است. سیستم‌های کالبدی، مؤلفه‌های ساخته شده مانند سازه‌ها و تأسیسات هستند. در حین حوادث یا تهدیدات مختلف، سیستم‌های کالبدی باید باقی بمانند و در فشارهای شدید نیز به عملکرد خود ادامه دهند. ساختار بدون سیستم‌های کالبدی تاب‌آور در برابر حوادث بسیار آسیب‌پذیر خواهد بود. نیروی انسانی و تعامل آن با بخش تکنولوژی، مؤلفه‌های اجتماعی و نهادی یک سیستم یا ساختار می‌باشند [۹،۱۲،۱۳]؛ بنابراین یکی از راهکارهای افزایش ضریب ایمنی از طریق ارتقای تاب‌آوری می‌تواند تکیه بر ارزیابی آسیب‌پذیری بر مبنای ریسک‌فاکتورهای ایمنی تجهیزات، تأسیسات و مواد و در مجموع، سخت‌افزار و نرم‌افزار موجود در سیستم و همچنین نیروی انسانی و روش‌های کاری باشد [۱۷-۱۵]؛ بنابراین استفاده از یک الگو و ابزار برای شناسایی انواع تهدید، ارزیابی سطوح آن، بکارگیری آن در طراحی و بهینه نمودن الگوی تاب‌آوری می‌تواند به عنوان مهم‌ترین گام در کاهش آسیب‌زایی و خسارت‌زایی رویدادهای مرتبط با هریک از تهدیدات، افزایش میزان تاب‌آوری یک سیستم و همچنین به عنوان یک ابزار قدرتمند برای تصمیمات کلان و ارائه ساختار مناسب در راستای ارتقای سطح تاب‌آوری و قابلیت اعتماد سیستم‌ها در یک سیستم تکنولوژی‌محور مورد توجه و استفاده قرار گیرد [۱۸].

گازرسانی به عنوان یکی از نیازهای حیاتی، شریان اصلی یک جامعه تلقی شده و آسیب به این موضوع خدماتی می‌تواند پیامدهای مختلفی از دیدگاه سیاسی، اجتماعی و اقتصادی را در پی داشته باشد؛ بنابراین توجه به تهدیدات مختلف طبیعی و مصنوعی در این زمینه که می‌تواند ناشی از بروز یک سانحه طبیعی و یا تهدیدات انسان‌ساز عمدی و سهوی و همچنین کاهش قابلیت اعتماد سیستم به لحاظ تکنولوژی رخ دهد، بسیار حائز اهمیت خواهد بود. بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری در سیستم‌های تکنولوژی‌محور براساس یک مطالعه موردی در شبکه گازرسانی شهر تهران طراحی و انجام شد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر یک بررسی مقطعی و تحلیل نظام‌مند بود که با رویکرد شناسایی کانون‌های خطر، تهدید و ارزیابی آسیب‌پذیری در سال ۱۳۹۸ انجام شد. جامعه مورد مطالعه در این پژوهش، یکی از مناطق گازرسانی شهر تهران و نمونه مورد مطالعه، ایستگاه‌های تقلیل فشار درون شهری (TBS: Town Board Station) در این منطقه گازرسانی بود.

ایستگاه تقلیل فشار درون شهری (TBS)، ایستگاهی می‌باشد که در حاشیه و داخل شهرها به منظور تقلیل فشار گاز خطوط تغذیه از فشار متوسط به فشار ضعیف نصب گردیده است. گاز خروجی از ایستگاه (CGS: City Gas Station) توسط خطوط تغذیه به ایستگاه‌های TBS هدایت شده و طی مراحل مختلف فشار آن شکسته شده و تقلیل می‌یابد. فشار ورودی به ایستگاه TBS به مقدار ۲۵۰ پوند بر اینچ مربع و فشار خروجی از ایستگاه، ۶۰ پوند بر اینچ مربع می‌باشد. گاز با این فشار توسط شبکه‌های شهری به درب منازل و مکان‌های مصرف هدایت شده و با توجه به نیاز توسط رگلاتورهای نصب شده روی علمک‌ها، فشار گاز برای منازل در حدود ۱/۴ پوند بر اینچ مربع تقلیل می‌یابد. در ایستگاه تقلیل فشار درون شهری، دو فرایند مهم فیلتر و تمیز کردن گاز و همچنین شکستن یا تقلیل فشار گاز انجام می‌شود.

مراحل اجرای مطالعه

این مطالعه در سه گام اجرا شده است (شکل ۱).

شکل ۱: مراحل اجرای مطالعه

ارزیابی آسیب‌پذیری

ارزیابی آسیب‌پذیری در این مطالعه با استفاده از سه فاکتور احتمال وقوع، شدت آسیب و میزان آمادگی در برابر تهدید انجام شد. هدف از تحلیل آسیب‌پذیری، تعیین سطح آسیب‌پذیری در برابر انواع تهدیدات و اولویت‌بندی سناریوهای شناسایی شده برای انجام اقدامات پیشگیرانه و محدودکننده یا همان ارتقای تاب‌آوری سیستم می‌باشد؛ بنابراین، در این مطالعه سطح سه فاکتور شدت، احتمال و میزان آمادگی براساس سطوح تهدید و آسیب قابل تحمل توسط سازمان مورد مطالعه (شرگت گاز استان

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-06-16]
[DOI: 10.52547/johe.8.1.19]

تهران) و نظرات گروهی متشکل از ۲۲ نفر از خبرگان و مدیران این سازمان تعیین گردید (جدول ۱). شایان ذکر

جدول ۱: تعیین سطوح فاکتورهای فاکتور شدت، احتمال وقوع و میزان آمادگی

سطح	شدت (آسیب انسانی و اقتصادی)	احتمال	آمادگی (درصد)
۱	بسیار جزئی؛ <۲۰ میلیون تومان	احتمال بروز کمتر از ۵ درصد می‌باشد	۹۰<
۲	جزئی و عدم بستری؛ ۵۰-۲۰ میلیون تومان	احتمال بروز کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد	۸۰-۹۰
۳	بستری ≥۳ روز؛ ۱۰۰-۵۰ میلیون تومان	احتمال بروز کمتر از ۲۰ درصد می‌باشد	۷۰-۸۰
۴	بستری ۷-۳ روز؛ ۲۵۰-۱۰۰ میلیون تومان	احتمال بروز کمتر از ۲۵ درصد می‌باشد	۵۰-۷۰
۵	بستری ۱۴-۷ روز؛ ۵۰۰-۲۵۰ میلیون تومان	احتمال بروز کمتر از ۳۰ درصد می‌باشد	۴۰-۵۰
۶	بستری بیش از دو هفته؛ ۷۵۰-۵۰۰ میلیون تومان	احتمال بروز کمتر از ۴۰ درصد می‌باشد	۳۰-۴۰
۷	منجر به نقص عضو جزئی؛ ۱/۰-۰/۷۵ میلیارد تومان	احتمال بروز کمتر از ۵۰ درصد می‌باشد	۲۰-۳۰
۸	منجر به نقص عضو حیاتی؛ ۱/۵-۱/۰ میلیارد تومان	احتمال بروز کمتر از ۶۰ درصد می‌باشد	۱۰-۲۰
۹	مرگ ۱ نفر؛ ۲/۰-۱/۵ میلیارد تومان	احتمال بروز کمتر از ۷۵ درصد می‌باشد	۵-۱۰
۱۰	مرگ >۱ نفر؛ >۲ میلیارد تومان	احتمال بروز بالاتر از ۷۵ درصد می‌باشد	۵>

است که انتخاب عدد برای هریک از فاکتورهای احتمال، شدت و آمادگی در حین اجرای ارزیابی آسیب‌پذیری به گونه‌ای بود که می‌بایست به اجماع بیش از ۷۰ درصد از اعضای این تیم ارزیابی رسیده باشد.

در این مطالعه ارزیابی آسیب‌پذیری مبتنی بر چهار سطح تهدید شامل: سطوح تهدید ضعیف، متوسط، شدید و بحرانی صورت گرفت که سطح یک (تهدید ضعیف) شامل تهدید و آسیبی بود که پیامدهای احتمالی آن در نهایت در محدوده بروز آسیب مانند تهدید در محدوده‌ای از منطقه گازرسانی مورد مطالعه برآورد شده است (شاخص آسیب‌پذیری≥۶۴)؛ سطح دو (تهدید متوسط) شامل تهدیدی بود که در دامنه گسترده‌تر مانند گسترش تهدید از محدوده بروز آسیب؛ اما در داخل منطقه گازرسانی مورد نظر بود (شاخص آسیب‌پذیری= ۲۱۶-۶۴)؛ سطح سه (تهدید شدید) شامل تهدیدی بود که می‌تواند تقریباً کل شبکه گازرسانی مورد مطالعه را دچار چالش نماید (شاخص آسیب‌پذیری= ۳۴۳-۲۱۶)؛ سطح چهار (تهدید بحرانی) شامل تهدیدی بود که نتایج احتمالی آن می‌تواند دیگر مناطق گازرسانی را تهدید نماید (شاخص آسیب‌پذیری>۳۴۳).

یافته‌ها

نتایج این مطالعه در دو بخش شناسایی منابع خطر و تهدید و همچنین ارزیابی آسیب‌پذیری این تهدیدات ارائه شده است. براساس این یافته‌ها، در ایستگاه‌های تقلیل فشار مورد مطالعه، شش منبع خطر یا تهدید شامل: اتصال عایقی، شیرهای قطع‌کننده، لوله‌های خطوط ایستگاه، سنسینگ‌ها، رگولاتور و فیلتر شناسایی گردید. در جدول ۲، نوع منبع خطر یا تهدیدی که می‌تواند بروز یابد، مجموعه دلایل مشارکت‌کننده در بروز یا بالفعل شدن این تهدیدات و همچنین پیامد ناشی از بروز و بالفعل شدن تهدید ارائه شده است.

نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری منابع خطر و تهدید شناسایی شده مرتبط با گازرسانی در ایستگاه‌های تقلیل فشار در جدول ۳ قابل مشاهده می‌باشد. این یافته‌ها براساس نتایج مربوط به تشریح سیستم، شناسایی منابع خطر و تهدید و همچنین کارکرد لایه‌های حفاظتی با بهره‌گیری از روش

جدول ۲: شناسایی منابع خطر و تهدید در ایستگاه‌های تقلیل فشار مورد مطالعه

منبع خطر/تهدید	علل بروز تهدید	پیامد و آسیب
اتصال عایقی	قرار داشتن روی گسل، خطای انسانی، عمر بالای تجهیزات، عدم نگهداری مناسب، مصرف بالای گاز و سرعت گاز در لوله	تخریب، نشت گاز، آتش‌سوزی، انفجار، خوردگی و فرسودگی و آسیب‌های انسانی، اقتصادی و استراتژیک
شیرهای قطع‌کننده	قرار داشتن روی گسل، خطای انسانی، عمر بالای تجهیزات، عدم نگهداری مناسب، مصرف بالای گاز و سرعت گاز در لوله	
لوله‌های خطوط ایستگاه	مصرف بالای گاز و سرعت آن در لوله و لرزش شدید خطوط	
سنسینگ‌ها	قرار داشتن روی گسل، خطای انسانی، عدم بازرسی مداوم، مسدود شدن سنسینگ با عمر بالا، عدم نگهداری مناسب تجهیزات و مصرف بالای گاز	
رگولاتور	قرار داشتن روی گسل، خطای انسانی، عمر بالای تجهیزات، عدم بازرسی و نگهداری و قطع گاز	

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-06-16]

[DOI: 10.52547/johe.8.1.19]

فیلتر	عمر بالای تجهیزات، عدم تعویض به موقع المنت، وجود ناخالصی در گاز، مصرف بالای گاز، سرعت گاز در لوله، عدم مانیتورینگ برخط و مسدود شدن مسیر عبور گاز

جدول ۳: یافته‌های ارزیابی آسیب‌پذیری در ایستگاه‌های تقلیل فشار مورد مطالعه

منبع خطر/تهدید	شدت	احتمال	آمادگی	آسیب‌پذیری
اتصال عایقی	۳	۴	۳	۳۶
شیرهای قطع‌کننده	۲	۵	۳	۳۰
لوله‌های خطوط ایستگاه	۶	۴	۵	۱۲۰
سنسینگ‌ها	۷	۴	۴	۱۱۲
رگولاتور	۲	۵	۴	۴۰
فیلتر	۷	۵	۴	۱۴۰

ارزیابی آسیب‌پذیری در این مطالعه ارائه شده‌اند. نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری مربوط به منابع خطر و تهدید در ایستگاه‌های تقلیل فشار نشان دادند که آسیب‌پذیری ناشی از سه منبع خطر و یا تهدید اتصال عایقی، شیرهای قطع‌کننده و رگولاتور در تهدید، در سطح دو و متوسط بوده است. این سه نوع تهدید شامل تهدید و آسیبی می‌باشد که تبعات و نتایج احتمالی آن می‌تواند دامنه گسترده‌تری نسبت به محدوده بروز آسیب داشته باشد. بر مبنای نتایج، آسیب‌پذیری ناشی از سه منبع تهدید لوله‌های خطوط ایستگاه، سنسینگ‌ها و فیلتر در تهدید، در سطح سه و شدید بودند و شاخص نهایی آسیب‌پذیری در محدوده ۲۱۵-۱۰۱ بود. این نوع تهدید شامل تهدید و آسیبی است که تبعات و نتایج احتمالی آن می‌تواند دامنه بسیار گسترده‌ای را درگیر نماید و تقریباً کل منطقه گازرسانی مورد مطالعه را تهدید کند.

بحث

آسیب‌پذیری در سیستم‌های تکنولوژی‌محور تحت تأثیر ارزیابی عملکرد لایه‌های حفاظتی مؤثر در رویدادها و حوادث می‌باشد. ارزیابی و بررسی جامع سناریوهای حوادث و تهدیدات بالفعل شده نشان داده است که آسیب‌پذیری ناشی از عوامل مختلف مانند عوامل بروز یک رویداد، پارامترهای مؤثر در دامنه پیامدهای آسیب و همچنین میزان آمادگی یک سیستم یا سازمان در برابر تهدیدات می‌باشد [۱۹]. بر این اساس، قوانین مربوط به کنترل حوادث بزرگ در اتحادیه اروپا شامل اقداماتی برای ارزیابی، کنترل و جلوگیری از ریسک‌فاکتورهای کاهش تاب‌آوری و افزایش سطح آسیب‌پذیری می‌باشد. علاوه‌براین، استانداردهای فنی متعددی کاربرد سیستم‌ها یا لایه‌های حفاظتی را به منظور کاهش احتمال رویدادهای آسیب‌زا و فاجعه‌بار و همچنین کنترل پیامدهای ناشی از آن معرفی نموده‌اند. در سیستم‌های تکنولوژی‌محور مانند ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز که چنین خطری در آن‌ها وجود دارد، حفاظت از زیرسیستم‌ها و همچنین تکنولوژی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری معمولاً با بکارگیری لایه‌های ایمنی و حفاظتی چندگانه به دست می‌آید که می‌تواند شامل: سیستم کنترل فرایند اصلی، سیستم‌های مجهز به ایمنی، دستگاه‌های فعال و غیر فعال، سیستم‌های توقف ایمنی، سیستم‌های حفاظتی و برنامه‌های پاسخ شرایط اضطراری باشد [۲۰].

از سوی دیگر، ویژگی خاص تشدید بروز انواع حوادث فاجعه‌بار در سیستم‌های تکنولوژی‌محور مانند بروز حریق و انفجار در خطوط گازرسانی و همچنین ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز نشان می‌دهد که در سناریوهایی که به تشدید پیامد می‌انجامند، نقش قابلیت اطمینان این تجهیزات و همچنین تاب‌آور بودن سیستم، بسیار حائز اهمیت و ویژه خواهد بود. یک نکته کلیدی در ارزیابی احتمال تشدید در سناریوهای بروز حوادث شدید در این نوع سیستم‌ها این است که در بیشتر موارد، فاکتورهای بروز و تشدید حوادث (هر دو) ممکن است توسط نصب لایه‌های حفاظتی و اقدامات اضطراری مناسب اصلاح شود؛ بنابراین، یک ارزیابی دقیق از احتمال تشدید باید شامل آنالیز سیستم‌های حفاظتی موجود باشد؛ هرچند همچنان فقدان یک راهبرد جامع برای ارزیابی کمی لایه‌های حفاظتی مربوط به کاهش یا پیشگیری از آسیب‌پذیری و ارتقای تاب‌آوری وجود دارد. شایان ذکر می‌باشد که عدم وجود یک راهبرد جامع برای ارزیابی عملکرد تمامی طبقه‌های لایه‌های حفاظتی فعال و غیر فعال در کاهش احتمال بروز و تشدید آسیب‌پذیری، نشان‌دهنده یک چالش بزرگ حل نشده است [۲۱-۲۴].

نتایج تحلیل و ارزیابی آسیب‌پذیری منابع خطر و تهدید شناسایی شده مرتبط با حیطه‌های مورد مطالعه در ایستگاه‌های تقلیل فشار بیانگر آن بودند که از شش تهدید شناسایی شده در این بخش، آسیب‌پذیری در سه منبع خطر و یا تهدید شامل: اتصال عایقی، شیرهای قطع‌کننده و رگولاتور در تهدید، در سطح دو و متوسط شاخص نهایی آسیب‌پذیری، ۱۰۰-۲۸ بوده است. این سه نوع تهدید شامل تهدید و آسیبی است که تبعات و نتایج احتمالی آن می‌تواند دامنه گسترده‌تری نسبت به محدوده بروز آسیب داشته باشد. همچنین آسیب‌پذیری ناشی از سه منبع خطر و یا تهدید لوله‌های خطوط ایستگاه، سنسینگ‌ها و فیلتر در سطح سه و شدید با شاخص آسیب‌پذیری ۲۱۵-۱۰۱ برآورد گردید. این نوع تهدید شامل تهدید و آسیبی است که تبعات و نتایج احتمالی آن می‌تواند

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-06-16]

[DOI: 10.52547/johe.8.1.19]

دامنه بسیار گسترده‌ای را درگیر نماید و تقریباً کل منطقه گازرسانی مورد نظر را درگیر تهدید و دچار چالش نماید؛ بنابراین می‌توان اذعان داشت که هر شش تهدید شناسایی شده، نیازمند یک الگوریتم جامع برای بهبود تاب‌آوری و کاهش آسیب‌پذیری می‌باشند. نتایج این مطالعه نشان دادند که انواع خطراتی که تاب‌آوری یک سیستم تکنولوژی‌محور مانند شبکه گازرسانی را تهدید می‌کنند، می‌توانند ناشی از بروز انواع نقص یا کاهش عملکرد در اتصال عایقی، شیرهای قطع‌کننده، لوله‌های خطوط ایستگاه، سنسینگ‌ها، رگولاتور و فیلتر رخ دهند. این نتایج همراستا با یافته‌های دیگر پژوهشگران حاکی از آن هستند که تهدیداتی مانند آتش‌سوزی، انفجار، آسیب‌های انسانی، اقتصادی، فرایندی و همچنین تهدیدات استراتژیک می‌توانند ناشی از دلایل مختلف مانند مخاطرات طبیعی، خوردگی و فرسودگی، تخریب، نشت گاز و غیره باشند. در دیگر مطالعات نیز بیان شده است که یکی از مهم‌ترین چالش‌ها برای دستیابی به توسعه و بهبود مداوم در انواع مختلف سیستم‌های تکنولوژی‌محور مانند شبکه‌های گازرسانی، نیازمند عملکرد مناسب نیروی انسانی، انواع بخش‌های تکنولوژی مورد استفاده در این سیستم‌ها و توجه به مخاطرات و تهدیدات بیرونی مانند زلزله و دیگر تهدیدات وابسته و مرتبط با نوع و سطح تکنولوژی مورد استفاده در سطوح مختلف می‌باشد [۱-۴]. یکی از نکته‌های بسیار مهمی که در این مطالعه در ارتباط با موضوع شناسایی انواع تهدیدات در سیستم‌های تکنولوژی‌محور مورد توجه قرار گرفت، موضوع زمان بود. همان‌طور که در برخی دیگر از مطالعات تاب‌آوری نیز نشان داده شده است، رشد روزافزون تهدیدات ناشی از گذشت زمان می‌باشد [۲۵،۲۶].

در برخی از مطالعات به عوامل دیگری در زمینه میزان آسیب‌پذیری یک سیستم تکنولوژی‌محور اشاره شده است. برخی از این دلایل و عوامل عبارت هستند از: مخاطرات طبیعی مانند قرار داشتن روی گسل و احتمال بروز زلزله و دیگر سوانح طبیعی، خطای انسانی ناشی از بروز انواع تعاملات با تکنولوژی در شرایط طبیعی سیستم، شرایط غیر روتین و در موقعیت‌های اضطراری، عمر بالای تجهیزات، گذشت زمان و کاهش قابلیت اطمینان نسبت به سیستم به دلایل تکنولوژیک، عدم نگهداری مناسب و بروز نقص‌های عملیاتی در فعالیت‌های تعمیرات و نگهداری، مصرف بالای گاز و سرعت آن در لوله به دلیل انواع شرایط عملیاتی و نیازهای متفاوت طی فصول مختلف، انواع نقص‌های کمی و کیفی مرتبط با شیر اطمینان و شتاب‌نگار جهت قطع اضطراری [۲۷-۲۹]. یافته‌های این مطالعه بیانگر آن بودند که برخی از این دلایل در مطالعه حاضر به وفور در منابع خطر و تهدید شناسایی شده وجود دارند؛ بنابراین می‌توان اذعان داشت که توجه به این چالش‌ها نیازمند رویکردهای نوین و فنی در علم ایمنی برای کاهش بروز تهدیدات و یا به عبارت دیگر خنثی نمودن آن و همچنین ارائه رویکردهای علمی و فنی برای کاهش آسیب‌پذیری و یا افزایش میزان تاب‌آوری یک سیستم تکنولوژی‌محور می‌باشد؛ در نتیجه، ارائه یک الگو و قالب ساختارمند برای ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری بر مبنای الزامات تاب‌آوری سیستم و همچنین توجه ویژه به تکنولوژی یا تحلیل سیستمیک آسیب‌پذیری با رویکرد شناخت و تحلیل نظام‌مند تکنولوژی برای تحلیل و تشریح میزان تاب‌آوری یک سیستم می‌تواند به عنوان مهم‌ترین گام در این عرصه به شمار رود [۱۱-۱۴].

اگرچه سعی شده است در این مطالعه یک تحلیل تاب‌آوری مبتنی بر ارزیابی آسیب‌پذیری و منطبق بر تهدیدات مختلف در یک شبکه گازرسانی طراحی و اجرا شود؛ اما این مطالعه همانند سایر پژوهش‌ها دارای برخی از محدودیت‌ها از جمله بررسی ایستگاه‌های تقلیل فشار بیشتر برای افزایش میزان نمونه مورد مطالعه بود. پیشنهاد می‌گردد پژوهش‌هایی در زمینه طراحی مطالعات پیچیده‌تر برای ارزیابی کمی و دقیق تاب‌آوری و آسیب‌پذیری و همچنین مقایسه تاب‌آوری در بخش‌های مختلف چنین سیستم‌های پیچیده تکنولوژی‌محوری انجام شود.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این مطالعه شامل شناسایی تهدیدات و تعیین نقاط آسیب‌پذیر در ایستگاه‌های تقلیل فشار شبکه گازرسانی در یکی از مهم‌ترین و حساس‌ترین مناطق گازی شهر تهران بیانگر آن بودند که شش منبع خطر بزرگ، تاب‌آوری شبکه گازرسانی در این منطقه را تهدید می‌نماید. از سوی دیگر، نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری این ایستگاه‌های تقلیل فشار حاکی از آن بودند که میزان تاب‌آوری در مقابل این تهدیدات به طور نسبی پایین بوده و نیازمند توجه ویژه در جهت کاهش آسیب‌پذیری در این بخش مهم از شبکه گازرسانی در شهر تهران می‌باشد.

علاوه براین، نتایج این مطالعه بیانگر آن بودند که ارتقای تاب‌آوری و کاهش آسیب‌پذیری، معلول توجه به فاکتورهای متفاوت، پارامترهای مختلف و همچنین توجه فنی و مدیریتی به لایه‌های حفاظتی با عملکردهای گوناگون می‌باشد؛ بنابراین بر مبنای یافته‌های این مطالعه، تاب‌آوری در شبکه گازرسانی می‌بایست با مدل‌هایی مانند آنچه در این مطالعه مورد ارزیابی و تأیید قرار گرفته است، تحلیل شده و ارتقای تاب‌آوری سیستم شبکه گازرسانی با در نظر گرفتن نتایج حاصل از به‌کارگیری این نوع روش‌های ارزیابی و توجه به چالش‌های مطرح شده در این نوع تحلیل‌ها ارتقا و بهبود یابد.

تشکر و قدردانی

این مطالعه برگرفته از رساله دکتری مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب می‌باشد. بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله از همکاری مدیریت و همچنین متخصصین شرکت گاز استان تهران برای مشارکت فعال در این مطالعه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-06-16]

[DOI: 10.52547/johe.8.1.19]

تعارض منافع

نویسندگان در این مطالعه تعارض منافعی نداشته‌اند.

ملاحظات اخلاقی

در این مطالعه هیچ داده انسانی جمع آوری نشده است. بعلاوه، اطلاعات فردی افراد شرکت کننده با رعایت محرمانگی حفظ شده است.

سهم نویسندگان

اسماعیل شجاع: گردآوری پایان نامه و تهیه کننده مقاله

محمد حسن چراغعلی: استاد راهنما در تهیه پایان نامه و مقاله

علیرضا رزقی رستمی و علیرضا درخشانی: استاد مشاور در تهیه پایان نامه و مقاله

حمایت مالی

این مطالعه برگرفته از رساله دکتری مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب میباشد.

REFERENCES

1. Haimes YY. On the definition of resilience in systems. *Risk Anal*. 2009;**29**(4):498-501. PMID: 19335545 DOI: 10.1111/j.1539-6924.2009.01216.x
2. Barker K, Haimes YY. Assessing uncertainty in extreme events: applications to risk-based decision making in interdependent infrastructure sectors. *Reliabil Eng Syst Saf*. 2009;**94**(4):819-29. DOI: 10.1016/j.ress.2008.09.008
3. 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
4. Knegtering B, Pasman H. Safety of the process industries in the 21st century: a changing need of process safety management for a changing industry. *J Loss Prev Proc Ind*. 2009;**22**(2):162-8. DOI: 10.1016/j.jlp.2008.11.005
5. Jing Y, Jianming C, Hong Z. The classification of emergency in incident management [J]. *Manag Rev*. 2005;**4**:37-41.
6. Fuchs S, Heiss K, Hübl J. Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. *Natl Hazards Earth Syst Sci*. 2007;**7**(5):495-506. DOI: 10.5194/nhess-7-495-2007
7. Lees F. Lees' Loss prevention in the process industries: Hazard identification, assessment and control. Oxford: Butterworth-Heinemann; 2012.
8. 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
9. Mohammadfam I, Shokouhipour A, Zamanparvar A. A framework for assessment of intentional fires. *J Occup Hyg Eng*. 2014;**1**(1):16-25.
10. Maddah S, Bidehendi GN, 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 Volume*. 2020;**6**(4):50-8. DOI: 10.29252/johe.6.4.50
11. 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
12. 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
13. Paton D, Johnston D. Disasters and communities: vulnerability, resilience and preparedness. *Disaster Prev Manag*. 2001; **10**(4):270-7. DOI: 10.1108/EUM0000000005930
14. Adger WN. Vulnerability. *Global Environ Change*. 2006;**16**(3):268-81. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006
15. 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
16. Coburn A, Spence R, Pomonis A. Guide to vulnerability and risk assessment. Disaster management training programme (DMTP). Cambridge: Cambridge Architectural Research Limited; 1994.
17. Sarewitz D, Pielke R Jr, Keykhah M. Vulnerability and risk: some thoughts from a political and policy perspective. *Risk Anal*. 2003;**23**(4):805-10. PMID: 12926572 DOI: 10.1111/1539-6924.00357
18. 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
19. Zhao R, Liu S, Liu Y, Zhang L, Li Y. A safety vulnerability assessment for chemical enterprises: a hybrid of a data envelopment analysis and fuzzy decision-making. *J Loss Prev Proc Ind*. 2018;**56**:95-103. DOI: 10.1016/j.jlp.2018.08.018
20. Tie-min LI. Recognition of disaster causes-study of the vulnerability. *J Saf Sci Technol*. 2010;**7**:5.
21. Sklet S. Safety barriers: definition, classification, and performance. *J Loss Prev Proc Ind*. 2006;**19**(5):494-506. DOI: 10.1016/j.jlp.2005.12.004
22. Tanabe M, Miyake A. Approach enhancing inherent safety application in onshore LNG plant design. *J Loss Prev Proc Ind*. 2012;**25**(5):809-19. DOI: 10.1016/j.jlp.2012.04.005
23. Rausand M. Reliability of safety-critical systems. Hoboken: John Wiley & Sons; 2014.
24. Shahedi Ali Abadi S, Assari MJ, Kalatpour O, Zarei E, Mohammadfam I. Consequence modeling of fire on Methane storage tanks in a gas refinery. *J Occup Hyg Eng*. 2016;**3**(1):51-9. DOI: 10.21859/johe-03017
25. Patterson M, Deutsch ES. Safety-I, safety-II and resilience engineering. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care*. 2015; **45**(12):382-9. PMID: 26549146 DOI: 10.1016/j.cppeds.2015.10.001
26. Gaitanidou E, Tsami M, Bekiaris E. A review of resilience management application tools in the transport sector. *Transport Res Proc*. 2017;**24**:235-40. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.05.113
27. Pariès J. Complexity, emergence, resilience. Resilience engineering. Florida: CRC Press; 2017. P. 43-53.
28. Hollnagel E, Nemeth CP, Dekker S. Resilience engineering perspectives: remaining sensitive to the possibility of failure. Farnham: Ashgate Publishing, Ltd.; 2008.
29. Leveson N, Dulac N, Zipkin D, Cutcher-Gershenfeld J, Carroll J, Barrett B. Engineering resilience into safety-critical systems. Resilience engineering: concepts and precepts. Farnham: Ashgate Publishing, Ltd.; 2006. P. 95-123.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-06-16]

[DOI: 10.52547/johe.8.1.19]