Journal of Health and Safety at Work 2023; 13(2): 345-367

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Application of the Fuzzy Inference System in Risk Assessment of Sour Gas Pipelines

Hamidreza Raeihagh, Azita Behbahaninia *, Mina Macki Aleagha

Department of Environment, Faculty of Agriculture, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

Received: 2022-07-04 Accepted: 2023-05-02

ABSTRACT

Introduction: Pipelines are widely used to transport large volumes of oil and gas over long distances. Risk assessment can help identify risk factors and create an appropriate action plan and strategy to reduce or eliminate them. The main goal of this research is to provide a method for assessing the risk of pipelines based on the Fuzzy Inference System (FIS), creating a systematic format that is expected to be a more effective, accurate, and reliable model for controlling risks related to oil and gas pipelines.

Material and Methods: In this article, fuzzy logic is used to model uncertainty and present a model for assessing pipeline risk. The Muhlbauer method, one of the most common risk assessment methods for oil and gas pipelines, has been employed to determine critical factors affecting the lines. This method has been implemented using the Mamdani algorithm and based on expert knowledge in the fuzzy logic toolbox of MATLAB software. To validate the results of the proposed model, data from the interphase pipelines of the fifth refinery of the South Pars Gas Field have been used as a study sample.

Results: The findings from the implementation of the model created in South Pars Phases 9-10 pipelines (on shore) show that the studied pipelines are divided into three parts (A, B, and C) based on indicators such as population density and equipment deployment. Part C of the pipeline has the highest risk, with third-party damage and design being the most important factors affecting it. Part B has the lowest level of risk and results in the fewest consequences for human accidents. It was also observed that corrosion is essential in increasing leakage and risk in all three pipeline parts.

Conclusion: To verify the developed model, the inter-phase shore pipe of phase 9-10 refinery in the South Pars Gas Field was considered as a case study. The findings indicate that the proposed method provides more accurate and reliable results than traditional methods. Factors such as improper operation, dispersion, receptors, leakage volume, and product risk, which are other factors affecting pipeline risk, were not considered in traditional methods. Therefore, the risk level of oil and gas pipelines can be calculated using this model as a comprehensive and intelligent tool.

Keywords: *Quantitative risk assessment, Fuzzy inference system, Pipeline*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Raeihagh H, Behbahaninia A, Macki Aleagha M. Application of the Fuzzy Inference System in Risk Assessment of Sour Gas Pipelines. Journal of Health and Safety at Work. 2023; 13(2): 345-367.

1. INTRODUCTION

Today, pipelines are widely used to transport large volumes of gas over long distances. In sour gas transmission lines, due to certain combinations and operating conditions such as a high concentration of H2S gas, the impact of destructive factors increases, making accidents more likely and hazardous. Therefore, quantitative risk assessment can significantly help determine risk factors and create an appropriate action plan and strategy to reduce or eliminate them. Achieving this goal requires a suitable method to comprehensively, accurately, and reliably evaluate existing risks. In Iran's oil and

* Corresponding Author Email: *behbahani@riau.ac.ir*

Copyright © 2023 The Authors.
Published by Tehran University of Medical Sciences

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]

gas industry, the lack of a "comprehensive system for recording information in the fields of processes, repairs, technical inspection, safety, and accidents" has led to case studies on pipeline risk assessment in oil and gas companies being questioned in the past. In such a situation where there is no clear boundary between available information and the health status of the lines, fuzzy logic can be used as a powerful tool to address doubts, solve problems, and reduce personal judgments in decisions.

The main goal of this research is to provide a method for assessing pipeline risk based on the Fuzzy Inference System (FIS), creating a systematic model that could serve as a more effective, accurate, and reliable model for controlling risks related to oil and gas pipelines. To prove the capability and usefulness of the proposed model, its results were compared with those of the traditional method based on the opinions of a group of experts.

2. MATERIAL AND METHODS

This research was carried out in two phases. In the first phase, among all pipeline risk assessment methods, risk assessment patterns were selected and factors affecting pipeline risk value were identified and quantified. In the second phase, by fuzzifying each factor, probability and consequence values were calculated; subsequently, a specific pipeline risk value was modeled based on a FIS. According to the types of possible failures in pipelines, the review of standards, technical reports, studies conducted in this field, and the opinions of a team of experts from subsidiary companies of the National Iranian Oil Company with relevant experience and university education, Kent Muhlbauer's risk assessment method was selected as the basis for this research and was modeled with the help of a FIS. Probability and consequence values were then calculated by fuzzifying each identified factor. After fuzzifying these two factors, a pipeline risk assessment model based on the FIS was created. Finally, to validate the proposed model, functional results and outputs of both pipeline risk assessment models based on a FIS and a classic system were compared with experts' overview. The onshore pipelines of phases 9 and 10 of the South Pars Gas Field include two 32-inch multi-phase pipelines (gas, hydrocarbon, and water) made of carbon steel. Since risks are not permanent across the pipeline, dividing the line into manageable sections with permanent risk characteristics is necessary. The studied pipelines are classified based on population density, climatic conditions of the region, construction machinery, and equipment establishment.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of the obtained probability and consequences were entered into the model created in MATLAB software, and the results of the fuzzy model were calculated. The coefficient of determination (R^2), which expresses the model's accuracy in predicting outputs, was equal to 0.95274. Moreover, a mean square error (MSE) equal to 0.001729 was obtained. In other words, the presented model has high reliability for predicting pipeline risks. Factors affecting probability and outcomes were calculated for each section of the pipeline using the fuzzy model.

Due to the intersection between the pipeline in section C and the inter-refinery road, machinery, and personnel traffic (refinery personnel and indigenous people), the probability of incidents is higher than in other parts (i.e., A and B). The comparison between sections A and C also indicates that traffic congestion in section C is much higher due to the nature of road access. Additionally, since section B is in a desert and non-residential area, it will have the least consequences (human casualties) and therefore has lower risk compared to section A due to the presence of GOVs and the possibility of indigenous peoples crossing the pipeline in section A.

What distinguishes the results of this model from those of the traditional model is the identification and determination of the importance of each effective factor and sub-factor on pipeline risk level. Moreover, model outputs showed that incorrect operation (IO), dispersion, receptors, leak volume, and product hazard, in that order, are other practical factors in pipeline risk. Additionally, the roles of dispersion and design factors in section C were highlighted in the model since sub-factors affecting them could include area of affected region, level of pollutant potential, and amount of leakage reduction or distribution of pipe outlet materials after leakage.

El-Abbasy et al. conducted research on developing and applying models to evaluate and predict offshore oil and gas pipeline conditions using the FIS method in Qatar. In their research, 20 factors affecting pipelines were identified according to periodic inspections and accident statistics, of which 11 were used to prepare the presented model. In contrast, in this research's proposed model, 30 factors affecting pipeline health are

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]

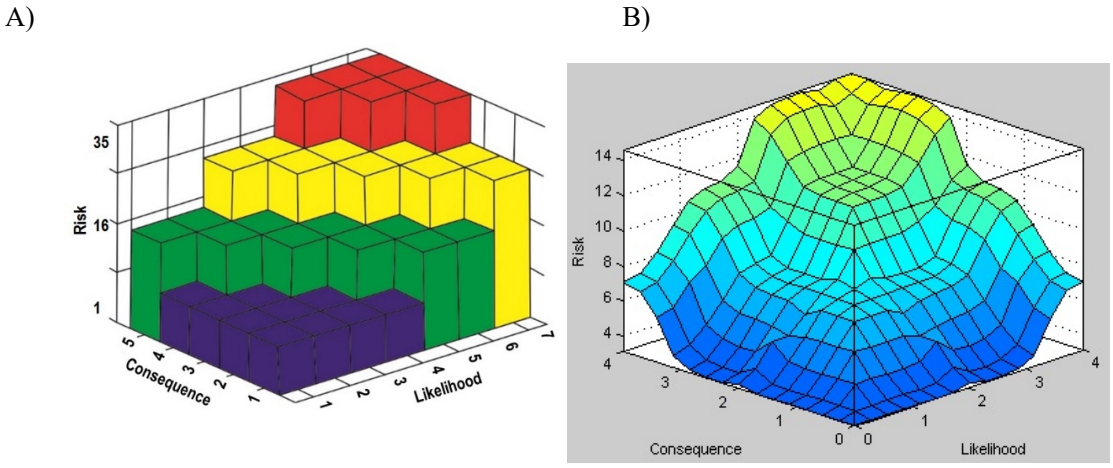


Fig. 1: Three-dimensional comparison of A) the fuzzy logic model and B) the classical model

considered. Moreover, different variables' impact on pipelines was investigated, revealing that corrosion is the most critical factor affecting studied pipelines' safety status. Therefore, cathodic protection and coating have the most significant effect. After corrosion factor, third-party damage and malfunction have the most significant effect on studied pipelines in order of appearance. The results obtained in this study are similar to those of this research. Thus, applying fuzzy logic methods increases accuracy and precision while reducing costs, time consumption, and human resources for pipeline control and maintenance.

4. CONCLUSIONS

1. The risk assessment matrices presented in Fig. 1 for the fuzzy logic method and the traditional (classical) method indicate that the former considers a wider range of risk assessments, leading to higher accuracy. Moreover, the boundary between different levels of risk in the traditional method has a larger interval than in the fuzzy method, so risk assessment in this method will be less accurate. The results obtained from the fuzzy model are much more accurate for all pipeline sections (A, B, and C). This higher accuracy can be explained by the fact that the relationship between input and output data in the proposed fuzzy system is expressed by linguistic variables and is more realistic and versatile in terms of conditions. It can also consider the importance of parameters' correlation with the risk index. Therefore, the proposed model can eliminate traditional methods' drawbacks and provide outputs with higher accuracy, comprehensibility, and reliability.

2. The results show that based on actual information and data available from examined lines as well as opinions of different experts, the fuzzy model yields more accurate results than the classical or traditional model. Another advantage of the presented fuzzy model over the classic model is using opinions of different experts according to available data records, which has led to this model's use for similar lines in the Iranian oil industry where sufficient information is not available. Furthermore, the accuracy and precision of obtained results lead to a reduction in cost, time consumption, and human resources for controlling and maintaining pipelines.

3. Since in the proposed model, compared to the traditional method, the relative importance of parameters affecting the risk index is also considered, it is more likely for results obtained from the presented model to achieve accurate outputs.

4. According to results obtained from investigated pipelines in this research, it can be concluded that corrosion, damage caused by a third party, and improper operation are three factors with the most significant impact on studied lines. The obtained results increase protection, control, and management measures' sensitivity in terms of certainty and accuracy, and risk assessment results can be used in controlling risk decisions.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]

به‌کارگیری سیستم استنتاج فازی در ارزیابی ریسک خطوط لوله ی گازترش

حمیدرضا رائی حق، آزیتا بهبهانی نیا*، مینا مکی آل آقا

گروه مدیریت محیط زیست، دانشکده مهندسی کشاوزری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، رودهن، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۳، تاریخ پذیرش:: ۱۴۰۲/۰۲/۱۲

چکیده

مقدمه: امروزه، استفاده از خطوط لوله به‌منظور انتقال حجم‌های بالای نفت و گاز در مسافت‌های طولانی، به‌طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. ارزیابی ریسک می‌تواند به تعیین عوامل مخاطره‌آمیز و ایجاد یک اقدام و استراتژی مناسب در کاهش و یا حتی حذف آن‌ها در حوزه‌ی مذکور، کمک شایانی نماید. هدف اصلی این تحقیق، ارائه ی روشی برای ارزیابی ریسک خطوط لوله بر اساس سیستم استنتاج فازی است تا بتوان قالبی سیستماتیک ایجاد نمود؛ که انتظار می‌رود این قالب، مدلی قدرتمندتر، دقیق‌تر و مطمئن‌تر برای کنترل ریسک‌ها و خطرات مربوط به خطوط لوله‌ی نفت و گاز باشد.

روش کار: در این مقاله، از منطق فازی برای مدل‌سازی عدم قطعیت و ارائه‌ی مدلی جهت ارزیابی ریسک خطوط لوله استفاده شده است. برای نیل به این مقصود، روش مالبایر که یکی از متداول‌ترین روش‌های ارزیابی ریسک خطوط لوله ی نفت و گاز می‌باشد، جهت تعیین فاکتورهای مهم و تأثیرگذار بر خطوط استفاده شده است. این روش، با استفاده از الگوریتم میدانی و بر اساس دانش خبرگان، در تولباکس منطق فازی نرم‌افزار متلب اجرا شده است. جهت صحت‌سنجی نتایج حاصل از مدل پیشنهادی، از اطلاعات خطوط لوله ی بین فازی پالایشگاه پنجم میدان گازی پارس جنوبی به‌عنوان نمونه ی مطالعاتی استفاده شده است.

یافته ها: یافته‌ها از اجرای مدل ایجادشده در خطوط لوله ی فازهای ۱۰-۹ پارس جنوبی (بخش خشکی)، نشان می‌دهد که خطوط لوله ی مورد مطالعه بر اساس شاخص‌هایی از قبیل تراکم جمعیت و استقرار تجهیزات و غیره به سه قسمت A-B-C تقسیم‌بندی شده است. قسمت C خط لوله، دارای بیشترین میزان ریسک بوده که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر آن آسیب‌های شخص ثالث و طراحی بوده است. قسمت B، دارای کمترین میزان ریسک بوده و کمترین پیامد را برای بروز حوادث انسانی در بر خواهد داشت. همچنین مشاهده گردید که خوردگی، به‌عنوان عاملی مهم در افزایش نشتی و میزان ریسک هر سه قسمت خط لوله است.

نتیجه گیری: نتایج، نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، نتایج دقیق‌تر، صحیح‌تر و مطمئن‌تری را نسبت به روش‌های سنتی و کلاسیک ارائه می‌دهد. عواملی از قبیل عملکرد نادرست ، پراکندگی ، گیرنده‌ها ، حجم نشت و خطر محصول که از دیگر عوامل مؤثر بر ریسک خطوط لوله هستند، در روش‌های سنتی و کلاسیک در نظر گرفته نشده بودند؛ لذا می‌توان بیان نمود که از این مدل به‌عنوان ابزاری جامع و هوشمند، میزان ریسک خطوط لوله ی نفت و گاز را محاسبه نمود.

کلمات کلیدی: *ارزیابی ریسک، منطق فازی، خطوط لوله گاز ترش*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *behbahani@riau.ac.ir*

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]

مقدمه

امروزه استفاده از خطوط لوله به‌منظور انتقال حجم‌های بالای گاز در مسافت‌های طولانی، به‌طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. انتقال کارآمد و مؤثر فرآورده‌های نفت و گاز از نواحی تولیدی به نواحی مصرف، نیازمند یک سیستم حمل‌ونقل گسترده، وسیع و مفصل است. اهمیت وجود و کارکرد صحیح عملیاتی این سیستم، از آنجایی است که در بسیاری موارد، فرآورده‌های نفت و گاز استخراج‌شده از یک چاه معین، باید مسافت زیادی منتقل شوند تا به دست مصرف‌کننده برسند. سیستم حمل‌ونقل فرآورده‌های نفت و گاز، شامل یک شبکه ی پیچیده از خطوط لوله است که برای انتقال سریع و مؤثر طراحی شده‌اند. از لحاظ الزامات ایمنی و محیط زیستی، می‌توان بیان نمود که خطوط انتقال فرآورده‌های نفت و گاز برحسب مکان استقرار، دارای پتانسیل آسیب و ایجاد پیامدهای مهمی بر انسان، تجهیزات، بافت شهری، اجتماعی، محیط زیست مانند اثر بر قبایل و عشایر، تنوع زیستی، پوشش گیاهی، آبخیزها، زیستگاه‌های حیات‌وحش و مناطق بکر و دست‌نخورده را دارند؛ لذا وجود یک سیستم پیشگیرانه به‌منظور اطمینان از سلامت خطوط لوله، بسیار مهم و حیاتی است. خطوط لوله، در مقایسه با روش‌های دیگر حمل‌ونقل همچون انتقال زمینی و یا راه‌آهن، معمولاً به‌عنوان ایمن‌ترین و اقتصادی‌ترین روش انتقال مواد قابل اشتعال نفتی شناخته می‌شوند (۱، ۲).

از آنجایی که خطوط انتقال در صنایع نفت و گاز اغلب به‌صورت زیرزمینی هستند، عوامل مخرب بسیاری از قبیل خوردگی، خرابکاری عوامل خارجی، نقص طراحی، بهره‌برداری نامناسب، بلایای طبیعی و غیره، نقش بسزایی در وقوع حوادث مختلف دارند. در خطوط انتقال گازترش با توجه به ترکیبات و شرایط عملیاتی خاصی مانند وجود غلظت بالای گاز H_2S، تأثیر عوامل مخرب بیشتر شده و وقوع هرگونه حادثه، محتمل‌تر و وخیم‌تر است؛ بنابراین، ارزیابی ریسک کمی می‌تواند کمک شایانی به تعیین عوامل مخاطره‌آمیز و ایجاد یک اقدام و استراتژی مناسب در جهت کاهش و یا حتی حذف آن‌ها نماید. دستیابی به این هدف، مستلزم آن است که یک روش مناسب بتواند خطرات موجود را جامع، دقیق و مطمئن مورد ارزیابی قرار دهد. با توجه به تنوع و گستردگی عواملی که می‌توانند نشتی را ایجاد کنند و همچنین هزینه‌ها و مخاطراتی که این پدیده در بر دارد، نشت‌یابی و جلوگیری از تداوم نشت، مسئله ی بسیار مهمی است که با توجه به وسعت و گستردگی این پدیده، تشخیص نشتی به‌طور دقیق و سریع، کار بسیار مشکلی است (۳، ۴).

با توجه به اهمیت موضوع سلامت و یکپارچگی خطوط لوله، تحقیقات متعددی جهت شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک مربوط به آن‌ها انجام گرفته است که نتایج حاصل از آن‌ها، کمک شایانی جهت ارتقای سلامت خطوط لوله در صنایع نفت و گاز نموده است. Cango و همکاران، یک روش تلفیقی تحلیل کمی ریسک برای شبکه ی خط لوله ی گاز با استفاده از شبکه ی بیزین پیشنهاد داده‌اند. این روش، شامل تعیین احتمال وقوع حوادث، تحلیل نتایج و پیامدها با استفاده از مدل AHP برای خطوط لوله ی گاز است (۵). Shahriar و همکاران، با استفاده از روش bow-tie، الگویی را جهت جایگزینی روش‌های ارزیابی ریسک کلاسیک خطوط لوله ی فشار پایین در شبکه‌های توزیع نفت و گاز پیشنهاد دادند. در این روش، از منطق فازی جهت تعیین احتمال و پیامد به‌صورت فازی، استفاده کردند. در این تحقیق، همچنین ضمن بررسی عوامل مؤثر بر میزان احتمال و پیامد، به وابستگی متقابل میان عوامل مؤثر بر نتایج، پرداخته شد (۶). Han و همکاران، طی پژوهش‌هایی خصوصیات خطوط لوله و ترکیبات گاز طبیعی شهری را مورد تجزیه‌وتحلیل قرار دادند و میزان ریسک کمی سناریوهای محتمل را با توجه به عواملی از قبیل نقشه ی شبکه ی خطوط لوله، بافت شهری، تراکم جمعیتی، پوشش گیاهی و جانوری و غیره در مناطق شهری محاسبه کرده‌اند (۷، ۸). Li و همکاران، طی پژوهشی با استفاده از شبکه ی بیزین، به ارزیابی کمی ریسک نشتی از خطوط لوله ی نفت و گاز در دریا پرداختند. در این پژوهش، نشتی به‌عنوان مهم‌ترین سناریوی محتمل در انتقال نفت و گاز در خطوط لوله

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]

بر اساس سوابق حوادث و تعمیرات شناسایی گردید. در ادامه، عوامل مهم نشتی خطوط بر اساس مدل مولبایر شناسایی شده و با استفاده از شبکه ی بیزین، میزان ریسک کمی آن‌ها محاسبه گردید (۹). Lu و همکاران، پژوهشی با عنوان "ارائه ی یک روش ارزیابی ریسک جامع برای خطوط لوله ی گاز طبیعی با ترکیب ماتریس ریسک با مدل bow-tie" ارائه کردند. در این مقاله، با استفاده از مدل bow-tie به بررسی حالت‌های محتمل نشتی خطوط لوله ی گاز طبیعی و پیامدهای هر یک و تعیین میزان ریسک آن‌ها پرداخته شد (۱۰). Aljaroudi و همکاران، پژوهشی با عنوان "ارزیابی ریسک شکست خطوط لوله ی نفت خام فراساحل" ارائه کرده‌اند. در این مقاله، یک طرح ارزیابی پایه‌ای ریسک (Risk-based) یکپارچه برای پیش‌بینی شکست و پیامدهای آن در خطوط نفت خام فراساحل مطرح گردید (۱۱).

با توجه به بررسی نتایج مطالعات صورت‌گرفته در این حوزه، می‌توان نتیجه گرفت که اغلب مطالعات مذکور فقط از دو پارامتر اصلی احتمال و پیامد برای ارزیابی سطح ریسک‌های مربوط به خطوط لوله استفاده می‌کنند، در حالی که این دو عامل، به‌تنهایی نمی‌توانند تمام جوانب خطرات مربوط به خطوط لوله‌ی نفت و گاز را پوشش دهند. از سوی دیگر، عدم قطعیت، بخش جدایی‌ناپذیر در تعیین سطح ریسک است. بدین ترتیب، منطق ارسطویی قادر به مدیریت این عدم قطعیت‌ها و پیچیدگی ذاتی سیستم‌های فرآیندی نیست. معمولاً عدم قطعیت، ناشی از قضاوت‌های ذهنی (شخصی) و کمبود و یا نقصان اطلاعات است (۱۲). در صنایع نفت و گاز ایران، به علت نبود یک "سیستم جامع ثبت اطلاعات در حوزه‌های فرآیندی، تعمیراتی، بازرسی فنی، ایمنی و حوادث" باعث گردیده است مطالعاتی موردی را که درخصوص ارزیابی ریسک خطوط لوله در شرکت‌های نفت و گاز در گذشته صورت گرفته است، زیر سؤال ببرد؛ زیرا این مطالعات بعضاً بر اساس قضاوت‌های شخصی، نقصان و یا به‌روز نبودن داده‌ها و اطلاعات موجود بوده است؛ لذا در چنین وضعیتی که مرز مشخص و دقیقی بین اطلاعات موجود و وضعیت سلامت خطوط وجود ندارد و همچنین وجود و تعدد زیاد پارامترهای مختلف فرآیندی و غیرفرآیندی که بر سلامت خطوط لوله تأثیرگذار هستند، منجر به پیچیده‌تر شدن این سیستم می‌گردند. در این حالت، استفاده از روش‌های محاسبات ریاضی و مدل‌سازی کلاسیک، بسیار مشکل و زمان‌بر بوده و از انعطاف‌پذیری کمتری برخوردار هستند؛ لذا می‌توان از منطق فازی به‌عنوان ابزاری قدرتمند برای مقابله با تردید و حل مشکلات و کاهش قضاوت‌های شخصی در تصمیم‌گیری‌ها استفاده نمود. هدف اصلی این تحقیق، ارائه ی روشی برای ارزیابی ریسک خطوط لوله بر اساس سیستم استنتاج فازی است تا بتوان قالبی سیستماتیک ایجاد نمود که مدلی قدرتمندتر، دقیق‌تر و مطمئن‌تر برای کنترل ریسک‌ها و خطرات مربوط به خطوط لوله‌ی نفت و گاز باشد. چشم‌انداز اصلی این پژوهش، تضمین بهبودپذیری، ایمنی و سرعت در شناسایی خرابی و درنتیجه کاهش پیامدهای ناگوار است. برای اثبات قابلیت و سودمندی مدل پیشنهادی، نتایج این مدل و روش سنتی با یکدیگر و بر اساس گروهی از متخصصان مختلف، مقایسه شدند.

روش کار

در این مطالعه، با توجه به انواع خرابی‌های محتمل در خطوط لوله، بررسی استانداردها، گزارش‌های فنی و مطالعات صورت‌گرفته در این زمینه از قبیل استانداردهای ASME B31.8S، API 1160، API 521، IPS-C-SF-550، IGS-C-SF-015(4)، گزارش‌های منتشرشده از عملکرد شرکت‌های بزرگ نفت و گاز به‌عنوان Best Practice مانند UKOPA، Concawe، Egig، TOTAL GS EP SAF 253، TOTAL GS EP SAF 021 و سوابق تعمیرات، بازرسی فنی، حوادث در شرکت ملی نفت ایران و همچنین نظرات تیمی از متخصصین این حوزه، از بین کارشناسان با بیش از ۱۵ سال سابقه ی کار در زمینه‌های مختلف (شامل ایمنی، بازرسی فنی، تعمیرات و بهره‌برداری) از شرکت‌های زیرمجموعه ی شرکت ملی نفت ایران که دارای تجربه و تحصیلات دانشگاهی مرتبط بوده‌اند، روش ارزیابی ریسک

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]
[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]

کنت مولبایر، مبنای پژوهش حاضر انتخاب گردید که با کمک سیستم استنتاج فازی، مدل‌سازی شده است. در روش کنت مولبایر، به تمامی شرایط و فعالیت‌های مهمی که بر ایمنی و سلامت خط تأثیرگذار هستند، به‌صورت کمی پرداخته می‌شود. در این روش برای هر بخش از خط لوله ، تمامی پارامترها و متغیرهای مهم بر ایمنی و سلامت خط لوله در نظر گرفته شده و برای هر یک از آن‌ها ضریبی جهت وزن‌دهی در نظر گرفته شده است.

در روش کنت مولبایر، هشت فاکتور و یا شاخص مهم و تأثیرگذار بر ارزیابی ریسک خطوط لوله که از مهم‌ترین علل نشتی به‌حساب می‌آیند، به شرح ذیل مطرح شده است (۱۳):

۱-خوردگی[1]، ۲- خرابی ناشی از شخص ثالث (TPD)[2]، ۳- طراحی[3]،۴- بهره‌برداری نامناسب (IO)[4]، ۵-خطرات محصول[5]، ۶- حجم نشتی[6]، ۷- محیط پذیرنده[7] و ۸- پراکنش[8].

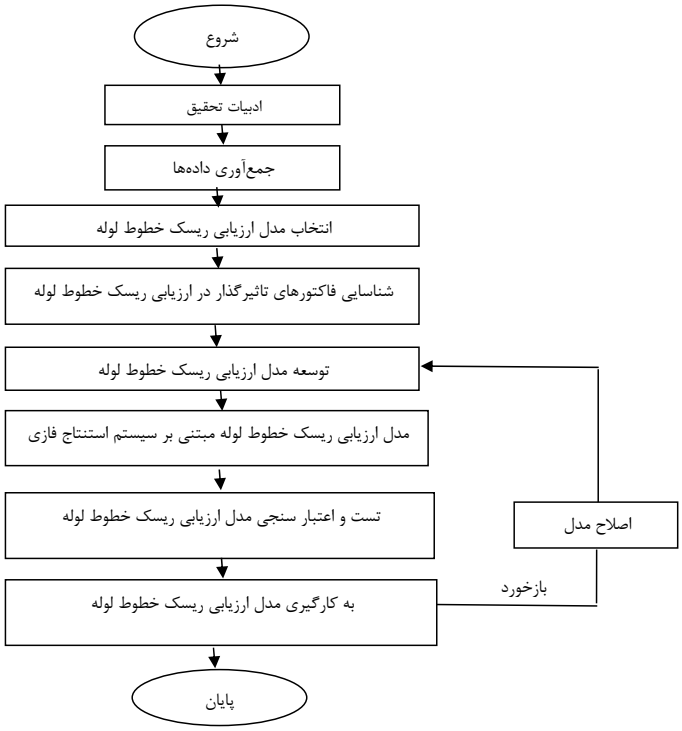
این شاخص‌ها، به‌طور کلی با انواع خرابی‌های محتمل در خطوط لوله منطبق هستند. هریک از شاخص‌های انتخابی، انعکاس‌دهنده‌ی اطلاعاتی درزمینه‌ی تاریخچه ی خط لوله و وقایع رخداده هستند. در این تحقیق، در فاز اول با مطالعه و بررسی روش‌ها و تکنیک‌های مختلف ارزیابی ریسک خطوط لوله، الگوی ارزیابی ریسک مولبایر انتخاب گردیده و فاکتورهای (شاخص‌های) مؤثر در میزان ریسک خطوط لوله، شناسایی و کمی‌سازی گردید. در فاز دوم تحقیق، با فازی کردن هر یک از فاکتورهای شناسایی‌شده، مقادیر احتمال و پیامد، محاسبه شده و سپس با فازی کردن این دو عامل، مقدار ریسک مشخص و مدل ارزیابی ریسک خطوط لوله مبتنی بر سیستم استنتاج فازی ایجاد گردید. همچنین در پایان، جهت اعتبارسنجی مدل ارائه‌شده، نتایج و خروجی‌های به‌دست‌آمده از مدل ارزیابی ریسک خطوط لوله ی مبتنی بر سیستم استنتاج فازی را با کمک تیمی از متخصصان شرکت نفت و گاز پارس بر اساس داده‌ها و اطلاعات موجود از مطالعه ی موردی تعیین‌شده، بررسی گردید. در شکل (۱)، روش تحقیق در این پروژه نشان داده شده است. در این مقاله، از روش ممدانی[9] برای ایجاد سیستم استنتاج فازی ارزیابی ریسک (FIS[10]) استفاده شده است. علت استفاده از روش ممدانی، این است که مقادیر خروجی مدل به‌صورت مجموعه‌های فازی است، در حالی که در سایر روش‌ها مانند مدل فازی سوگنو[11] (TSK) و سیستم استنتاج فازی تسوکاموتو[12]، مقادیر خروجی مدل ثابت یا خطی هستند. همچنین در این تحقیق، از روش دیفازی‌سازی مرکز ثقل (COA[13]) که یکی از متداول‌ترین روش‌های دیفازی کردن بوده، استفاده شده است. مزیت آن، این است که تمام عملیات عضویتی فعال در نتایج (تمام قواعد فعال)، در فرآیند دیفازی‌سازی شرکت داده می‌شود (۱۴-۱۶).

با توجه به ساختار کلی مدل ارزیابی ریسک سیستم استنتاج فازی (شکل ۲)، مدل سیستم استنتاج فازی احتمال، دارای ۱۹ زیرشاخص است که عبارت‌اند از: خوردگی اتمسفری، خوردگی داخلی، خوردگی فلزی مدفون (خارجی)، حداقل عمق پوشش، سطح فعالیت، تأسیسات روی زمین، موقعیت خط، آموزش همگانی، شرایط حریم خط لوله، تعداد دفعات گشت‌زنی، فاکتور ایمنی، خستگی، پتانسیل سرج (پتانسیل فشار سرج یا اثر ضربه ی قوچ که مکانیزم حاکم در آن تبدیل انرژی جنبشی به انرژی پتانسیل است)، تست هیدرواستاتیک، جابه‌جایی خاک، طراحی، ساخت‌وساز، عملیات، تعمیر و نگهداری؛ به عبارت دیگر، زیرشاخص‌های قیدشده، همگی بر میزان وقوع احتمال یک رویداد ناخواسته (نشتی، انفجار، پخش گاز و غیره) مؤثر هستند. همچنین مدل سیستم استنتاج فازی پیامد، دارای ۱۱ زیرشاخص است که عبارت‌اند: از خطرات حاد، خطرات مزمن، مواد،

1. Corrosion
2. Third-Party damage
3. Design
4. Incorrect operation
5. Product hazards
6. Leak volume
7. Receptor
8. Dispersion
9. Mamdani approach
10. Fuzzy inference system
11. Sugeno
12. Tsukamoto
13. Centroid of area

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]



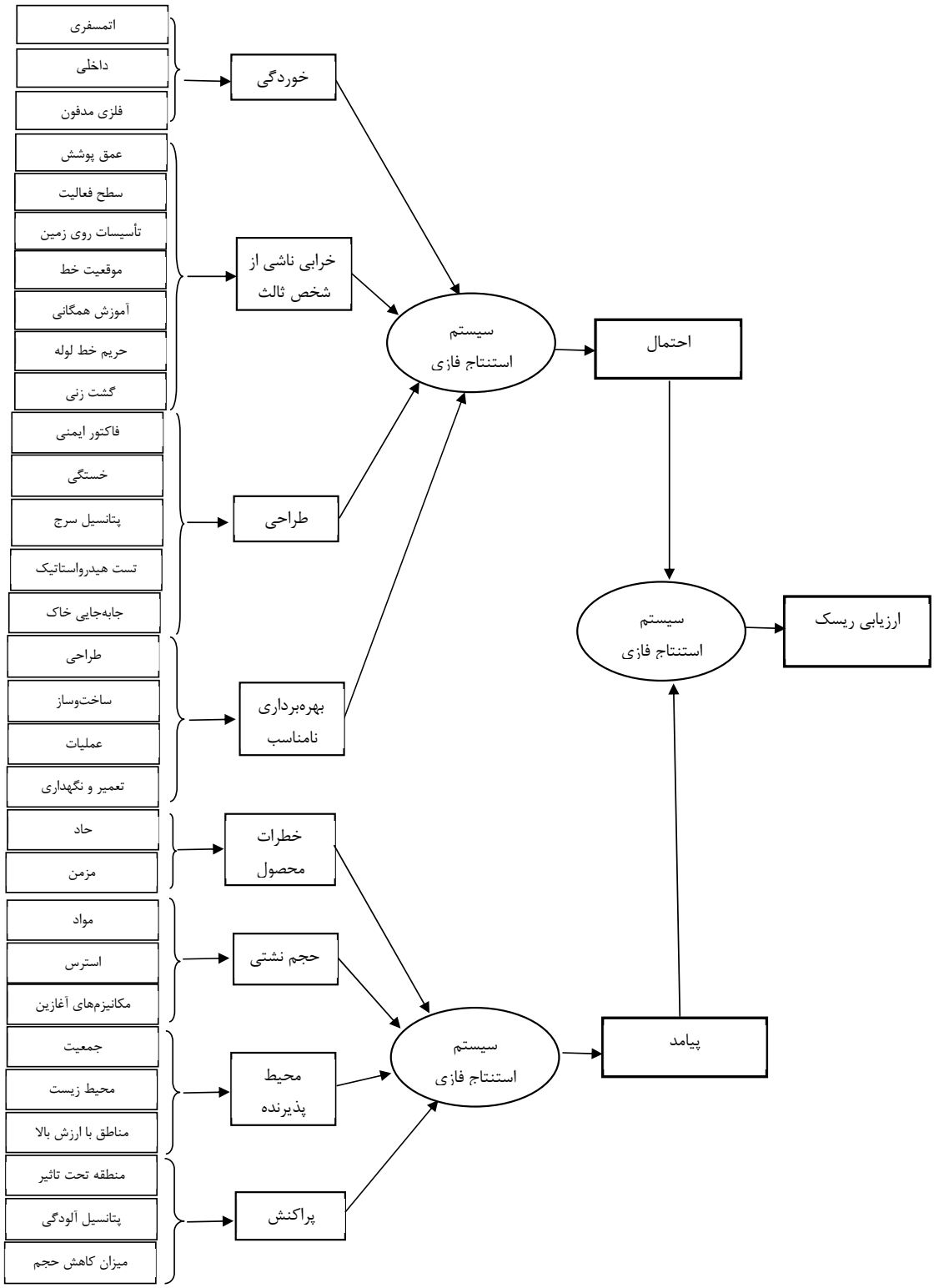
شکل ۱: روش تحقیق

میزان استرس، مکانیزم‌های آغازین، میزان جمعیت، محیط زیست، مناطق با ارزش بالا، اندازه ی مساحت منطقه ی تحت تأثیر، پتانسیل آلودگی و میزان کاهش حجم نشتی؛ به عبارت دیگر، این ۱۱ زیرشاخص، بر میزان پیامد تأثیرگذار هستند. در این پژوهش، جهت تعیین میزان کمی ریسک خط لوله، به تمامی زیرشاخص‌هایی که بر دو فاکتور اصلی، یعنی احتمال و پیامد مؤثر هستند، به‌صورت کمی پرداخته شد. از آنجایی که رویکرد منطق فازیِ مبتنی بر مجموعه ی قواعد "اگر-پس" است؛ بنابراین در این مقاله، جهت ایجاد این مجموعه قواعد، از نظرات متخصصین و کارشناس‌های خط‌لوله استفاده شده است. با توجه به تعداد ۳۰ شاخص مهم و تأثیرگذار بر میزان ریسک خطوط لوله شناسایی شده و مقادیر وزنی هر یک از شاخص‌ها بر اساس الگوی مولبایر در نظر گرفته شد. در ادامه، از هر یک از متخصصان و کارشناس‌ها خواسته شد تا بر اساس میزان آگاهی، تجربه و دانش خود، میزان اهمیت و تأثیرگذاری هر یک از زیر شاخص‌ها، بر میزان ریسک خطوط لوله ی مورد مطالعه را با اعداد ۱ تا ۴ بیان کنند؛ به‌طوری که عدد ۱، بیان‌کننده ی کمترین اهمیت و عدد ۴، بیان‌کننده ی بیشترین اهمیت باشد. درنهایت، مطابق با فرمول (۱)، مقادیر ۸ شاخص اصلی محاسبه می‌گردد. سپس با فازی کردن هرکدام از شاخص‌های تأثیرگذار بر روی احتمال و پیامد، با استفاده از نرم‌افزار متلب، مقادیر این دو عامل اصلی در ارزیابی ریسک مشخص گردید. پس از پردازش و تعیین مقادیر احتمال و پیامد، نتایج به‌دست‌آمده بر اساس الگوی FIS تجمیع و سطح ریسک تعیین می‌گردد. فرمول (۱): $X_{IO} = \Sigma (X_{i1} \times W_{i2})$

گستره ی امتیازی هر فاکتور و امتیازات فازی مربوط به آن‌ها، جهت ایجاد سیستم استنتاج فازی در جداول (۱)، (۲)، (۳) ارائه شده است. ساختار و ترتیب هر یک از مدل‌های FIS ممدانی، بر اساس خروجی نرم‌افزار MATLAB در زیر تشریح می‌شود:

جهت تعیین مقادیر احتمال و پیامد، بر اساس پارامترهای تعریف‌شده در جعبه‌ابزار (Toolbox) فازی

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]
[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]



شکل ۲: مدل ارزیابی ریسک سیستم استنتاج فازی

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]

جدول ۱: دامنه ی عددی فاکتورهای موثر بر احتمال و فازی سازی آنها

فاکتورها	اصطلاح کیفی	امتیاز عددی	امتیاز فازی	تعریف مجموعه
خوردگی (Corrosion)	محتمل	۴	[۰.۵ ۳ ۴]	$X_C \in (1, 4)$
	ممکن	۳	[۰.۵ ۳ ۳]	
	غیرمحتمل	۲	[۰.۵ ۳ ۲]	
	بعید	۱	[۰.۵ ۳ ۱]	
خرابی ناشی از شخص ثالث (TPD)	محتمل	۴	[۰.۵ ۳ ۴]	$X_{TPD} \in (1, 4)$
	ممکن	۳	[۰.۵ ۳ ۳]	
	غیرمحتمل	۲	[۰.۵ ۳ ۲]	
	بعید	۱	[۰.۵ ۳ ۱]	
بهره‌برداری نامناسب Incorrect) (Operation	محتمل	۴	[۰.۵ ۳ ۴]	$X_{IO} \in (1, 4)$
	ممکن	۳	[۰.۵ ۳ ۳]	
	غیرمحتمل	۲	[۰.۵ ۳ ۲]	
	بعید	۱	[۰.۵ ۳ ۱]	
طراحی (Design)	محتمل	۴	[۰.۵ ۳ ۴]	$X_D \in (1, 4)$
	ممکن	۳	[۰.۵ ۳ ۳]	
	غیرمحتمل	۲	[۰.۵ ۳ ۲]	
	بعید	۱	[۰.۵ ۳ ۱]	
احتمال (Probability)	محتمل	۴ (۱۳ – ۱۶)	[۰.۶۲۵ ۳ ۴]	X_P (numerical) $\in (1, 4)$ X_P (fuzzy) $\in (0, 4)$
	ممکن	۳ (۹ – ۱۳)	[۰.۶۲۵ ۳ ۲.۷۵]	
	غیرمحتمل	۲ (۵ – ۹)	[۰.۶۲۵ ۳ ۱.۲۵]	
	بعید	۱ (۱ – ۵)	[۰.۶۲۵ ۳ ۰.۲۵]	

جدول ۲: دامنه ی عددی فاکتورهای موثر بر پیامد و فازی سازی آنها

فاکتورها	اصطلاح کیفی	امتیاز عددی	امتیاز فازی	تعریف مجموعه
خطرات محصول (Product Hazard)	فاجعه بار	۴	[۰.۵ ۳ ۴]	$X_{PH} \in (1, 4)$
	مهم	۳	[۰.۵ ۳ ۳]	
	متوسط	۲	[۰.۵ ۳ ۲]	
	جزئی	۱	[۰.۵ ۳ ۱]	
حجم نشتی (Leak Volume)	فاجعه بار	۴	[۰.۵ ۳ ۴]	$X_{LV} \in (1, 4)$
	مهم	۳	[۰.۵ ۳ ۳]	
	متوسط	۲	[۰.۵ ۳ ۲]	
	جزئی	۱	[۰.۵ ۳ ۱]	
محیط پذیرنده (Receptor)	فاجعه بار	۴	[۰.۵ ۳ ۴]	$X_R \in (1, 4)$
	مهم	۳	[۰.۵ ۳ ۳]	
	متوسط	۲	[۰.۵ ۳ ۲]	
	جزئی	۱	[۰.۵ ۳ ۱]	
پراکنش (Dispersion)	فاجعه بار	۴	[۰.۵ ۳ ۴]	$X_{Di} \in (1, 4)$
	مهم	۳	[۰.۵ ۳ ۳]	
	متوسط	۲	[۰.۵ ۳ ۲]	
	جزئی	۱	[۰.۵ ۳ ۱]	
پیامد (Consequence)	فاجعه بار	۴ (۱۴۴ – ۲۵۶)	[۰.۶۲۵ ۳ ۴]	XL_C (numerical) $\in (1, 4)$ XL_C (fuzzy) $\in (0, 4)$
	مهم	۳ (۳۶ – ۱۴۳)	[۰.۶۲۵ ۳ ۲.۷۵]	
	متوسط	۲ (۵ – ۳۵)	[۰.۶۲۵ ۳ ۱.۲۵]	
	جزئی	۱ (۱ – ۴)	[۰.۶۲۵ ۳ ۰.۲۵]	

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]

جدول ۳: دامنه ی عددی فاکتورهای موثر بر ریسک و فازی سازی آنها

فاکتورها	اصطلاح کیفی	امتیاز عددی	امتیاز فازی	تعریف مجموعه
احتمال (Probability)	محتمل	۴ (۱۳ – ۱۶)	[۰.۶۲۵ ۳ ۴]	X_P (numerical) € (1 , 4) X_P (fuzzy) € (0 , 4)
	ممکن	۳ (۹ – ۱۲)	[۰.۶۲۵ ۳ ۲.۷۵]	
	غیرمحتمل	۲ (۵ – ۸)	[۰.۶۲۵ ۳ ۱.۲۵]	
	بعید	۱ (۱ – ۴)	[۰.۶۲۵ ۳ ۰.۲۵]	
پیامد (Consequence)	فاجعه بار	۴ (۱۴۴ – ۲۵۶)	[۰.۶۲۵ ۳ ۴]	XL_C (numerical) € (1 , 4) XL_C (fuzzy) € (0 , 4)
	مهم	۳ (۳۶ – ۱۴۳)	[۰.۶۲۵ ۳ ۲.۷۵]	
	متوسط	۲ (۵ – ۳۵)	[۰.۶۲۵ ۳ ۱.۲۵]	
	جزئی	۱ (۱ – ۴)	[۰.۶۲۵ ۳ ۰.۲۵]	
ریسک Pipeline Risk) (Score	زیاد	(۱۳ – ۱۶)	[۲.۲۵ ۳ ۱۶]	XPRS (numerical) € (1 , 16) XPRS (fuzzy) € (0 , 16)
	متوسط	(۹– ۱۲)	[۲.۲۵ ۳ ۱۱]	
	کم	(۵ – ۸)	[۲.۲۵ ۳ ۷]	
	جزئی/ ناچیز	(۱ – ۴)	[۲.۲۵ ۳ ۳]	

برنامه ی Matlab، رابطه‌ی بین هرکدام از شاخص‌ها در هنگام تعیین مجموعه قواعد "اگر-پس" از نوع "و"[1] در نظر گرفته شد. با توجه به این طبقه‌بندی، مقادیر احتمال در چهار سطح بعید، نامحتمل، ممکن و محتمل[2] و مقادیر پیامد در چهار سطح جزئی، متوسط، مهم و فاجعه‌بار[3] طبقه‌بندی شدند. درمجموع برای هرکدام یک از عوامل احتمال و پیامد، به‌صورت جداگانه تعداد ۵۹۶ قاعده‌ی فازی تولید گردید. در نرم‌افزار Matlab، از توابع مختلف برای نمایش نتایج می‌توان استفاده نمود. در این تحقیق، جهت درک بهتر نتایج و سادگی آن‌ها، از تابع عضویت جی‌زنگوله‌ای (gbell MF) به‌عنوان تابع عضویت استفاده گردید (شکل‌های (۳)-(۴)). بعضی از نقش‌های "اگر-پس" در ادامه ارائه شده‌اند (جداول (۴)-(۵)-(۶)). خروجی مدل سیستم استنتاج فازی احتمال، در شکل (۵) نشان داده شده است؛ که به کمک آن، مقادیر مختلف احتمال را با وارد کردن داده‌های مختلف در قسمت input نرم‌افزار می‌توان تعیین نمود.

درنهایت خروجی مدل سیستم استنتاج فازی ریسک، در شکل (۷) نشان داده شده است؛ که به کمک آن مقادیر مختلف ریسک را با وارد کردن داده‌های مختلف در قسمت input نرم‌افزار می‌توان تعیین نمود.

اعتبارسنجی مدل[4]

در این تحقیق، برای تعیین عملکرد مدل و یافتن ساختار بهینه، از ضریب تعیین[5] (R^2) که بیان‌کننده ی دقت مدل در پیش‌بینی خروجی‌های مدل است و همچنین میانگین مربعات خطا MSE[6]، مورد استفاده قرار گرفت. بهترین نتیجه ی عملکرد برای زمانی است که مدل پیشنهادی دارای کمترین میزان خطا (MSE) و بیشترین ضریب تعیین (R^2) باشد.

داده‌های واقعی از بررسی گزارش‌های بازرسی و نگهداری، حوادث و شبه‌حوادث گذشته (داده‌های اعتبارسنجی) در مدل FIS استفاده شد. نتایج، از طریق ۳۰ معیار (در شکل ۲ نشان داده شده است) در MATLAB با دقت و حساسیت ویژه ارزیابی شدند.

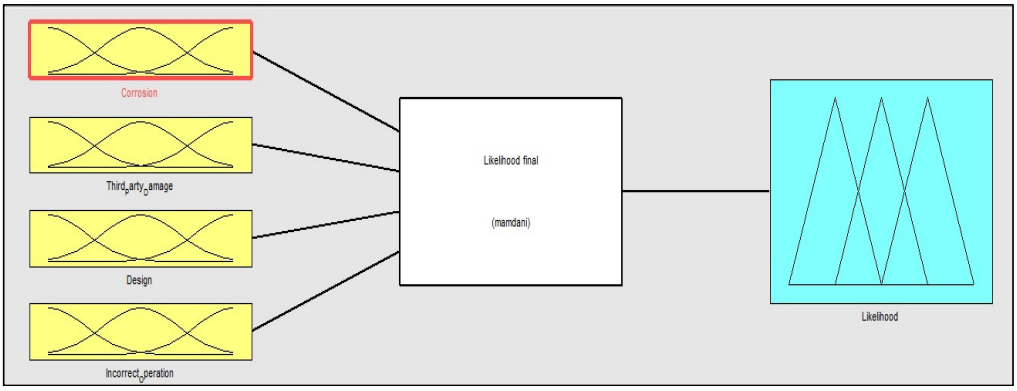
معرفی مطالعه ی موردی

تولید پارس جنوبی از سکوهای فازهای ۹ و ۱۰ توسط

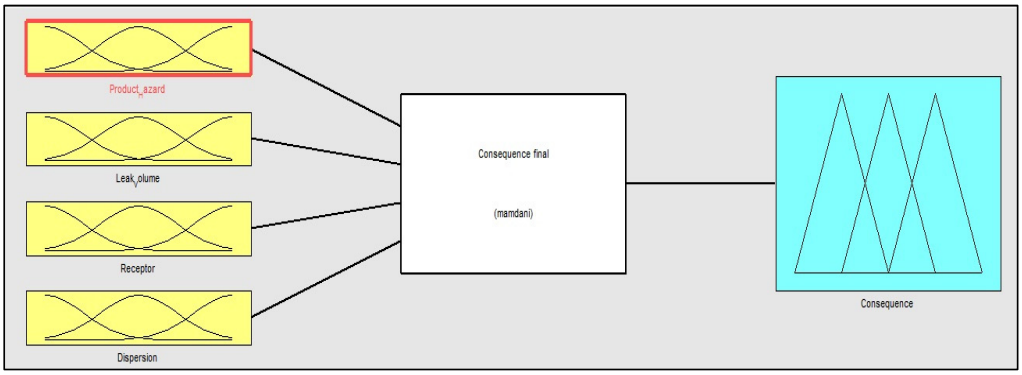
1. And
2. Remote, Unlikely, Possible and likely
3. Minor, Moderate, Major and extreme
4. Model validation
5. Coefficient of determination (R^2)
6. Mean square error

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]



شکل ۳: نمودارهای مدل سیستم استنتاج فازی بر اساس a) خوردگی b) آسیب ناشی از شخص ثالث c) طراحی d) عملیات نامناسب

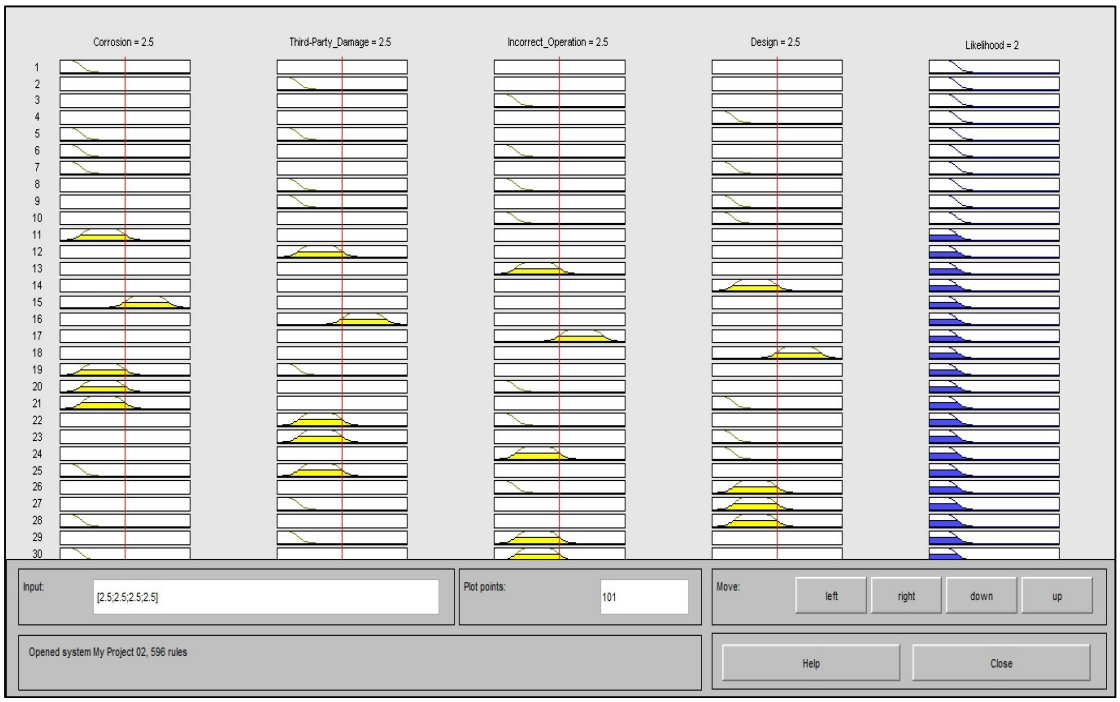


شکل ۴: نمودارهای مدل سیستم استنتاج فازی بر اساس a) خطرات محصول b) حجم نشتی c) پراکنش d) محیط پذیرنده

جدول ۴: نمونه ای از قواعد "اگر- پس" مدل سیستم استنتاج فازی احتمال

1. If (Corrosion is Remote) or (TPD is Remote) or (Design is Remote) or (IO is Remote) then (IS (Likelihood) is Remote) (1)
2. If (Corrosion is Unlikely) or (TPD is Unlikely) or (Design is Unlikely) or (IO is Unlikely) then (IS (Likelihood) is Unlikely) (1)
3. If (Corrosion is Possible) or (TPD is Possible) or (Design is Possible) or (IO is Possible) then (IS (Likelihood) is Possible) (1)
4. If (Corrosion is Likely) or (TPD is Likely) or (Design is Likely) or (IO is Likely) then (IS (Likelihood) is Likely) (1)
5. If (Corrosion is Remote) or (TPD is Remote) or (Design is Unlikely) or (IO is Remote) then (IS (Likelihood) is Remote) (1)
6. If (Corrosion is Remote) or (TPD is Remote) or (Design is Possible) or (IO is Remote) then (IS (Likelihood) is Unlikely) (1)
7. If (Corrosion is Remote) or (TPD is Remote) or (Design is Likely) or (IO is Remote) then (IS (Likelihood) is Unlikely) (1)
8. If (Corrosion is Remote) or (TPD is Remote) or (Design is Remote) or (IO is Unlikely) then (IS (Likelihood) is Remote) (1)
9. If (Corrosion is Remote) or (TPD is Remote) or (Design is Remote) or (IO is Possible) then (IS (Likelihood) is Unlikely) (1)
10. If (Corrosion is Remote) or (TPD is Remote) or (Design is Remote) or (IO is Remote) then (IS (Likelihood) is Unlikely) (1)

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]
[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]



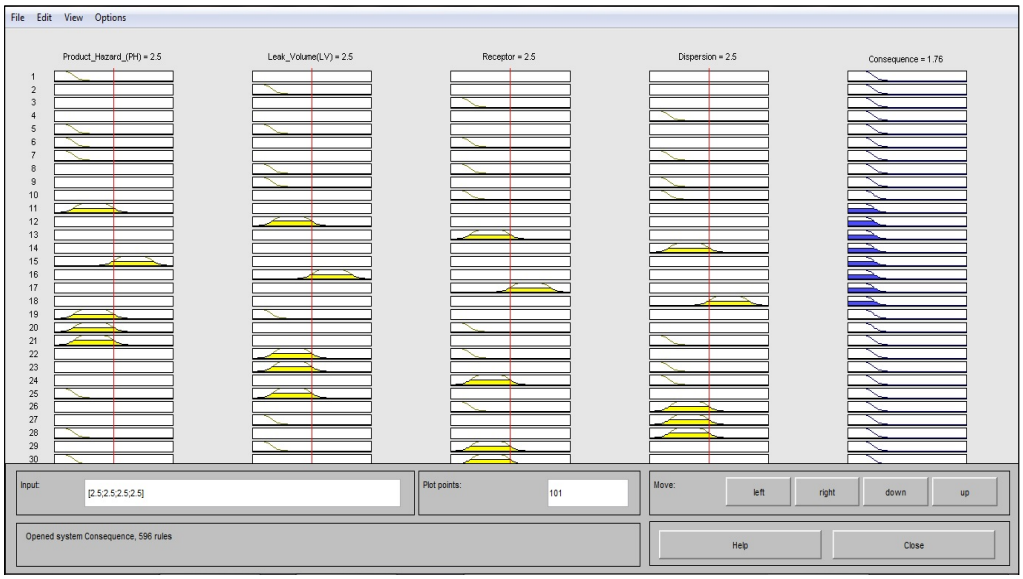
شکل ۵: نمایش تصویر خروجی مدل سیستم استنتاج فازی احتمال

جدول ۵: نمونه ای از قواعد "اگر- پس" مدل سیستم استنتاج فازی پیامد

1. If (PH is Minor) and (LV is Minor) and (Receptor is Minor) and (Dispersion is Moderate) then (LIF (Consequence) is Minor) (1)
2. If (PH is Minor) and (LV is Minor) and (Receptor is Minor) and (Dispersion is Major) then (LIF (Consequence) is Moderate) (1)
3. If (PH is Minor) and (LV is Minor) and (Receptor is Minor) and (Dispersion is Minor) then (LIF (Consequence) is Moderate) (1)
4. If (PH is Moderate) and (LV is Minor) and (Receptor is Minor) and (Dispersion is Minor) then (LIF (Consequence) is Minor) (1)
5. If (PH is Major) and (LV is Minor) and (Receptor is Minor) and (Dispersion is Minor) then (LIF (Consequence) is Moderate) (1)
6. If (PH is Extreme) and (LV is Minor) and (Receptor is Minor) and (Dispersion is Minor) then (LIF (Consequence) is Moderate) (1)
7. If (PH is Minor) and (LV is Moderate) and (Receptor is Minor) and (Dispersion is Minor) then (LIF (Consequence) is Minor) (1)
8. If (PH is Minor) and (LV is Major) and (Receptor is Minor) and (Dispersion is Minor) then (LIF (Consequence) is Moderate) (1)
9. If (PH is Minor) and (LV is Extreme) and (Receptor is Minor) and (Dispersion is Minor) then (LIF (Consequence) is Moderate) (1)
10. If (PH is Minor) and (LV is Minor) and (Receptor is Moderate) and (Dispersion is Moderate) then (LIF (Consequence) is Moderate) (1)

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]



شکل ۶: نمایش تصویر خروجی مدل سیستم استنتاج فازی پیامد

جدول ۶: نمونه ای از قواعد "اگر- پس" مدل سیستم استنتاج فازی ریسک

1. If (Likelihood is Remote) and (Consequence is Minor) then (Risk is Very_low) (1)
2. If (Likelihood is Remote) and (Consequence is Moderate) then (Risk is Very_low) (1)
3. If (Likelihood is Remote) and (Consequence is Major) then (Risk is Very_low) (1)
4. If (Likelihood is Remote) and (Consequence is Extreme) then (Risk is Very_low) (1)
5. If (Likelihood is Unlikely) and (Consequence is Minor) then (Risk is Very_low) (1)
6. If (Likelihood is Unlikely) and (Consequence is Moderate) then (Risk is Very_low) (1)
7. If (Likelihood is Unlikely) and (Consequence is Major) then (Risk is Low) (1)
8. If (Likelihood is Unlikely) and (Consequence is Extreme) then (Risk is Low) (1)
9. If (Likelihood is Possible) and (Consequence is Minor) then (Risk is Very_low) (1)
10. If (Likelihood is Possible) and (Consequence is Moderate) then (Risk is Low) (1)

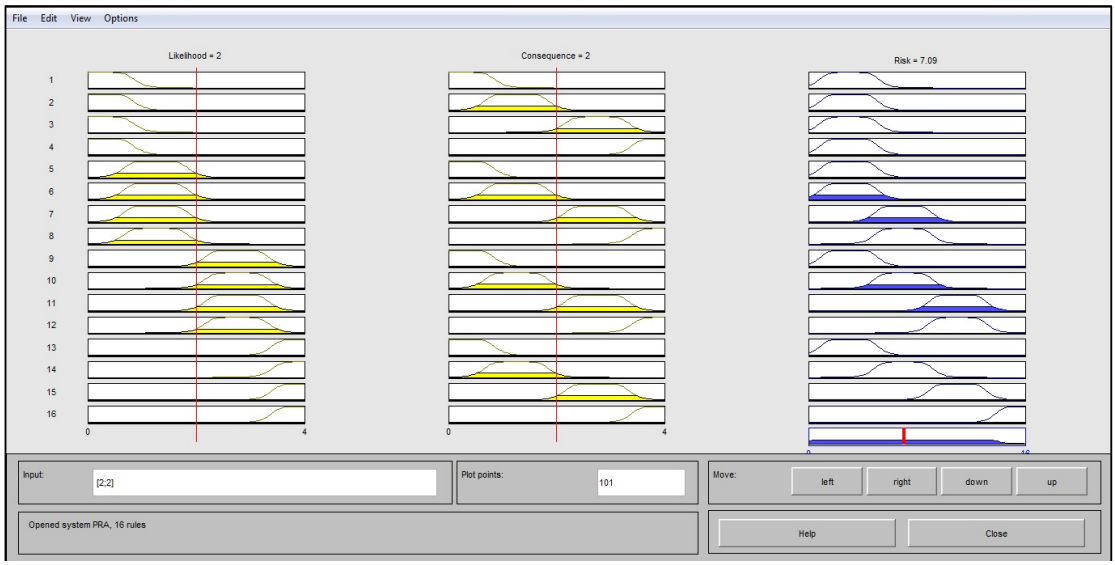
دو خط ۳۲ اینچی چندفازی (گاز، هیدروکربن و آب) در زیر دریا با طول کل ۸۴ و ۹۳ کیلومتر حمل می‌شوند. هرکدام از این خطوط (با ظرفیت ۱۰۰۰ MMscfd[1])، برای حمل فرآورده‌ی دریایی خام از سکوهای سرچاهی تا واحد تصفیه‌ی گاز در خشکی، نصب و راه‌اندازی شده‌اند. از آنجایی که خطرات در سراسر خط لوله دائمی نیست، تقسیم خط به بخش‌های قابل کنترل با مشخصه‌های ریسک دائمی ضروری است. در بخش ساحل (دامنه‌ی کار این تحقیق)، دو خط ۳۲ اینچی با طول کل ۴۹ و ۵۰ کیلومتر جهت حمل فرآورده‌ی دریایی خام از GOV[2] (دریچه‌ی عملیاتی گاز) تا پالایشگاه گاز، نصب و راه‌اندازی شده‌اند. هر خط لوله‌ی خروجی دریایی برای جریان ثابت

1. Million metric standard cubic feet per Day-واحدی برای سرعت جریان گاز در شرایط دما و فشار استاندارد است

2. Gas operating valve

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]



شکل ۷: نمایش تصویر قواعد "اگر- پس" مدل سیستم استنتاج فازی ریسک

MMscfd ۱۰۰۰ تنظیم شده است (۱۷-۱۹).

بر اساس تراکم جمعیت، وضعیت اقلیمی منطقه و استقرار ماشین‌آلات و تجهیزات ساخت، خطوط لوله ی مورد مطالعه به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۸):

- ورودی خط دریا (GOV) به بلوار عسلویه (بخش A)
- محدوده‌ی بین بلوار عسلویه تا بلوار سیراف (بخش B)
- در امتداد بلوار سیراف و جاده‌ی بوشهر تا ورودی پالایشگاه (بخش C)

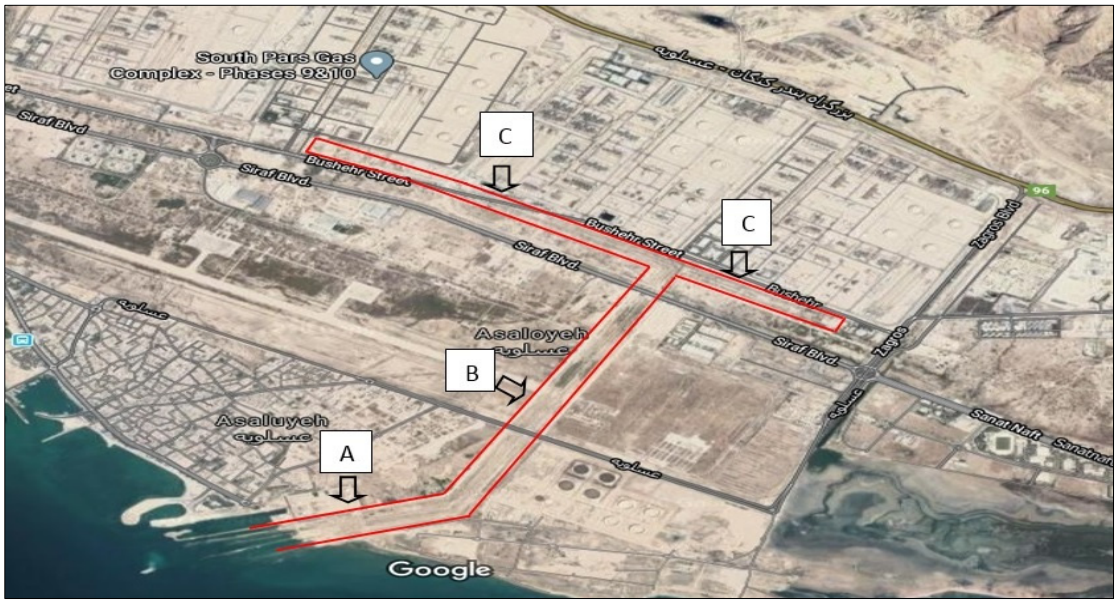
در قسمت A که ورودی خط دریا به خشکی است، مهم‌ترین چالش‌های موجود در این قسمت، مربوط به ساخت‌وساز و عملیات پیمانکاران خط لوله، تردد و وجود ساکنان بومی شهر عسلویه است. ازجمله ی فعالیت‌های احتمالی موجود در این بخش، شامل جابه‌جایی ماشین‌آلات سنگین، دستگاه‌های صنعتی، حضور و فعالیت کارگران در بخش شرقی عسلویه است که ممکن است خسارت جبران‌ناپذیری به خط لوله وارد کنند. در قسمت B، خطوط گاز اسیدی، از بیابان‌ها و مناطق غیرمسکونی عبور می‌کنند؛ اما در بعضی نقاط، پیمانکاران در حال کار هستند. در قسمت C، خطوط لوله‌ی گاز اسیدی در امتداد جاده‌ی سیراف به غرب (فازهای ۹ و ۱۰، ۱۷ و ۱۸) و شرق (فازهای ۱۵ و ۱۶) عبور می‌کنند.

اجرای مدل

فرآیند ارزیابی ریسک با استفاده از مدل پیشنهادی برای هر سه بخش (A,B,C) از خطوط لوله ی مورد مطالعه با روش ارائه‌شده اجرا گردید و قسمتی که بیشترین میزان عددی را دارد، به‌عنوان پرخطرترین قسمت تعیین گردید. این فرآیند، به مسئولان کمک می‌کند تا مناسب‌ترین استراتژی‌ها را جهت کاهش سطح ریسک در هر بخش در نظر بگیرند. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، مدل پیشنهادی، ترکیبی از دانش کارشناسی، تابع ریاضی و روش‌های هوشمند است؛ بنابراین اولین مرحله، شامل گردآوری داده‌های تخصصی است. در بخش اول، اطلاعات استخراجی درزمینه‌ی حوادث خطوط لوله در سرتاسر جهان، ازجمله EGIG (گروه داده‌های حوادث خطوط لوله‌ی گازی اروپا[1]) بررسی می‌شوند؛ سپس نتایج اولویت‌بندی و ضریب خرابی خط لوله توسط کارشناس‌ها و متخصصان تعیین می‌شود

1. Ninth report of the european gas pipeline incident data Group-(period 1970 – 2013) - Doc. Number EGIG 14.R.0403 -February 2015.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]
[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]



شکل ۸: موقعیت جغرافیایی و تقسیم بندی صورت گرفته از خطوط لوله مورد مطالعه

(۲۰). در پایگاه داده‌ی EGIG، ۱۳۰۹ حادثه‌ی خط لوله طی دوره‌ی ۲۰۱۳-۱۹۷۰ ثبت شده است. تاریخچه‌ی حوادث گردآوری‌شده در این پایگاه داده، یک فراوانی معتبری از خرابی و نواقص پیش‌آمده را فراهم می‌کند. فراوانی کل حوادث، برابر است با ۰.۳۳ حادثه در سال در هر ۱۰۰۰ کیلومتر طی دوره‌ی ۲۰۱۳-۱۹۷۰. طبق گزارش‌های ده سال گذشته، عامل خارجی، خوردگی، ساخت‌وساز، حرکت زمین، به ترتیب به ۳۵، ۲۴، ۱۶ و ۱۳ درصد از حوادث خط لوله منجر می‌شوند؛ بنابراین با توجه به درست‌نمایی، ضریب خرابی به ترتیب زیر اولویت‌بندی می‌شود: اولویت اول: خوردگی؛ اولویت دوم: خسارت شخص ثالث؛ اولویت سوم: عملیات نادرست. دومین مرحله، شامل اولویت‌بندی و وزن‌دار کردن ضریب خرابی خط لوله است. از بین کارشناسان با بیش از ۱۵ سال سابقه در زمینه‌های مختلف (شامل ایمنی، بازرسی فنی، تعمیرات و بهره‌برداری)، حداقل ۱۰ نفر بر اساس تجربه و تحصیلات دانشگاهی انتخاب شدند و از آن‌ها خواسته شد مقدار ورودی هر بخش را بین اعداد ۱ تا ۴ انتخاب کنند. بعد از دریافت نظرات کارشناس‌های مختلف و نرمالایز کردن آن‌ها، مقادیر هر یک از زیرشاخص‌ها و شاخص‌ها تعیین گردید.

تعداد داده‌های واقعی که از بررسی گزارش‌های بازرسی و نگهداری، حوادث و شبه‌حوادث گذشته (داده‌های اعتبارسنجی) در مدل FIS استفاده شد، برابر با ۱۰۰ مورد است. نظرات کارشناسان، از طریق پرسشنامه ی طراحی‌شده جمع‌آوری گردید. در مرحله ی بعد، از ضریب همبستگی درون کلاسی (ICC)، روش هم‌ترازی درونی (آلفای کرونباخ) و آزمون مجدد برای بررسی پایایی داده‌های جمع‌آوری‌شده استفاده شد. همچنین از نسبت اعتبار محتوا (CVR) و شاخص اعتبار محتوا (CVI) برای ارزیابی روایی روش استفاده شد. در ادامه، از فهرست عوامل اصلی و عوامل فرعی مؤثر بر خطوط لوله در این تحقیق استفاده شد. ۹۳ درصد (۲۸ مورد) از ۳۰ عامل فرعی، پس از ارزیابی CVR باقی ماندند. نهایتاً CVI برابر با ۰,۹۷ که بالای ۰,۷۹ است که تأییدکننده ی اعتبار محتوا ثبت شده است. قابلیت اطمینان فهرست اولیه با آلفای کرونباخ، ۰,۹۴۱ نشان داده شده است. تکرارپذیری بسیار قوی فهرست اولیه با مجموع ICC 0.966 ($p<0.005$) نشان داده شده است.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]
[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]

جدول ۷: مقادیر فاکتورهای پیامد و احتمال

فاکتورهای موثر بر پیامد				فاکتورهای موثر بر احتمال				پارامترهای ریسک
پراکنش	محیط پذیرنده	حجم نشتی	خطرات محصول	بهره‌برداری نامناسب	طراحی	خرابی ناشی از شخص ثالث	خوردگی	بخش‌های خط لوله
۳/۲۷۵	۳/۴۳	۳/۱۳۵	۳/۲۱۵	۳/۱۲	۲/۸۲۱	۳/۰۵۶	۳/۱۵۵	قسمت A
۲/۲۰۵	۱/۹۸	۲/۶۳۵	۲/۱۶	۲/۶۹	۲/۳۲۵	۲/۱	۲/۸۵	قسمت B
۳/۵۹	۳/۴۱	۳/۵۲۵	۳/۱۳	۳/۴	۳/۴۷۵	۳/۴۱۵	۳/۱۸	قسمت C

جدول ۸: نتایج الگوی فازی

سطح ریسک	میزان عددی ریسک	احتمال	پیامد	بخش‌های خط لوله
بالا	۹/۰۵	۲/۰۱	۲/۰۳	قسمت A
متوسط	۷/۸۴	۱/۹۱	۱/۸۷	قسمت B
بالا	۹/۸۸	۲/۰۹	۲/۲۷	قسمت C

جدول ۹: نتایج عملکرد الگوی فازی

۰/۹۷۶۰۸	رگرسیون
۰/۹۵۲۷۴	**ضریب تعیین**
۰/۰۰۱۷۲۹	**میانگین مربعات خطا**
۱۰۰	**تعداد نمونه**

یافته ها

مقادیر هر شاخص با توجه به نظرات کارشناس‌ها بعد از نرمالایز کردن با هم جمع شدند. مقادیر فاکتورهای احتمال و پیامد برای هر بخش از خط لوله، به‌صورت جداگانه در جدول (۷) ارائه شده است.

نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۷)، وارد الگوی ایجادشده در نرم‌افزار MATLAB گردیده و نتایج الگوی فازی مطابق جدول (۸) به دست آمد. نتایج، نشان می‌دهد که مدل فازی ارائه‌شده در ۱۰۰ مورد از حالت‌های مختلف برای هر یک از زیرشاخص‌های احتمال و پیامد که توسط نرم‌افزار به‌صورت تصادفی انتخاب گردید، دارای مقدار ضریب تعیین (R^2) برابر با ۰/۹۵ است که بیان‌کننده ی دقت بالای مدل در پیش‌بینی خروجی‌ها است؛ به عبارت دیگر، مدل ارائه‌شده، دارای قابلیت اطمینان بالایی برای پیش‌بینی خطرات خطوط لوله است (مطابق با جدول (۹)).

با توجه به نتایج مدل فازی ارائه‌شده در این تحقیق (جدول (۹))، مقدار ضریب تعیین (R^2) که بیان‌کننده ی دقت مدل در پیش‌بینی خروجی‌ها بوده، برابر است با عددی برابر با ۰/۹۵۲۷۴ و همچنین میانگین مربعات خطا MSE[1] برابر با ۰/۰۰۱۷۲۹ است. همچنین نتایج ارزیابی ریسک سنتی برای خطوط لوله ی مورد مطالعه و مقایسه ی آن با نتایج ارزیابی ریسک فازی، در جداول ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.

خط لوله ی مورد بررسی بر اساس میزان ریسک به‌دست‌آمده از مدل فازی ارائه‌شده، برای هر قسمت به ترتیب زیر اولویت‌بندی می‌گردد:

Seg. C > Seg. A > Seg. B

با توجه به نتایج کمی ارزیابی ریسک خط لوله‌ی گاز مورد مطالعه، نشان می‌دهد بخش C دارای ریسک بالایی است.

1. Mean square error

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

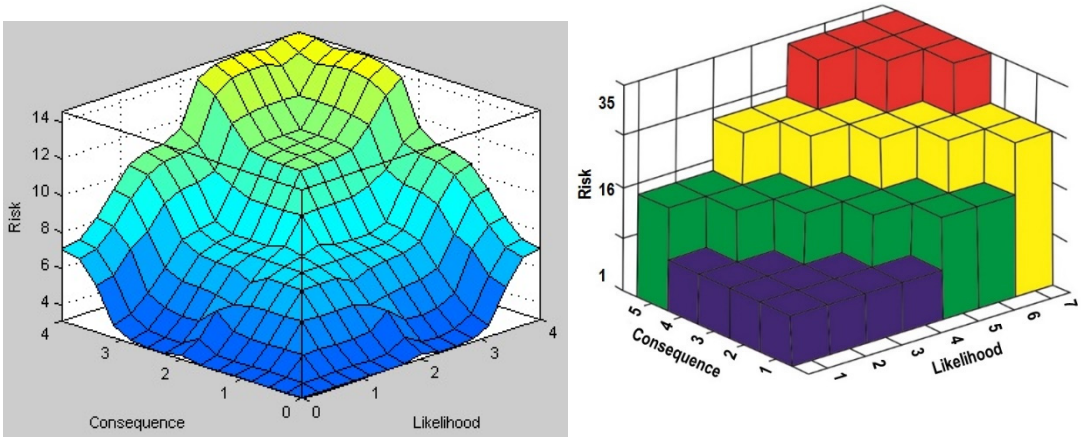
[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]

جدول ۱۰: نتایج مدل کلاسیک (سنتی)

سطح ریسک	میزان عددی ریسک	احتمال	پیامد	بخش‌های خط لوله
متوسط	۸	۲	۴	قسمت A
کم	۴	۲	۲	قسمت B
بالا	۱۶	۴	۴	قسمت C

جدول ۱۱: نتایج و مقایسه دو مدل

نتایج ارزیابی ریسک فازی		نتایج ارزیابی ریسک سنتی		بخش های خط لوله
ریسک زیاد	۹/۰۵	ریسک متوسط	۸	قسمت A
ریسک متوسط	۷/۸۴	ریسک کم	۴	قسمت B
ریسک زیاد	۹/۸۸	ریسک زیاد	۱۶	قسمت C



الف) نتایج ارزیابی ریسک سنتی

ب) نتایج ارزیابی ریسک فازی

شکل ۹: مقایسه سه بعدی مدل منطق فازی و مدل کلاسیک(سنتی)

بحث

همان‌طور که در بالا توضیح داده شد، بررسی‌ها نشان می‌دهد که وجود تقاطع فی‌مابین خط لوله ی مورد مطالعاتی در قسمت C با جاده بین پالایشگاهی و تردد ماشین‌آلات و نفرات (پرسنل پالایشگاه و افراد بومی منطقه) احتمال بروز پیامد نسبت به سایر قسمت‌ها (A, B) افزایش می‌دهد. از طرف دیگر با توجه به اینکه قسمت B در منطقه ی بیابانی و غیرمسکونی است، کمترین پیامد را برای بروز حوادث انسانی در بر خواهد داشت؛ بنابراین، نسبت به قسمت A که دربردارنده ی GOVها بوده و همچنین امکان تردد نفرات بومی منطقه را در بر خواهد داشت، کمترین ریسک را دارد. نکته ی قابل تأمل در نتایج به‌دست‌آمده در میزان تردد نفرات در قسمت‌های A و C است که با توجه به ماهیت محل دسترسی جاده در قسمت C، میزان تردد نفرات نسبت به قسمت A بسیار بیشتر خواهد بود. آنچه این مدل را

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]

از مدل سنتی متمایز می‌کند، شناسایی و تعیین اهمیت هر یک از عوامل و عوامل فرعی مؤثر در سطح ریسک خط لوله است. با بررسی پایگاه‌های اطلاعاتی موجود ازجمله حوادث، بازرسی‌های دوره‌ای، بازرسی‌های فنی و سوابق تعمیر و نگهداری (طی ۱۵ سال گذشته از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۹)، مشخص شد که خوردگی[1]، آسیب‌های شخص ثالث[2] و طراحی، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر ریسک خطوط لوله در این زمینه هستند. علاوه بر این، در مطالعه ی موردی، خروجی‌های مدل، نشان داد که عملکرد نادرست[3]، پراکندگی[4]، گیرنده‌ها[5]، حجم نشت[6] و خطر محصول[7] از دیگر عوامل مؤثر بر ریسک خطوط لوله هستند؛ به‌عنوان مثال، بر اساس نظرات کارشناسان و بررسی سوابق و اطلاعات موجود در Seg. A، فقط عوامل خوردگی، شخص ثالث و آسیب مورد بررسی قرار گرفتند؛ در حالی که عملکرد نادرست و گیرنده‌ها در نظر گرفته نشده بودند. همچنین نقش عوامل پراکندگی و طراحی در Seg. C در مدل ارائه‌شده برجسته‌تر شده است؛ زیرا عواملی از قبیل مساحت منطقه ی تحت تأثیر، میزان پتانسیل آلودگی و توزیع مواد خروجی لوله پس از نشت ازجمله عوامل فرعی مؤثر بر پراکندگی و طراحی هستند که در حوادث گذشته و گسترش وقوع پیامدهای حادثه، نقشی مهمی داشتند.

El-Abbasy و همکاران، پژوهشی تحت عنوان ارائه و به‌کارگیری مدل‌هایی جهت ارزیابی و پیش‌بینی وضعیت خطوط لوله ی نفت و گاز فراساحل با استفاده از روش سیستم استنتاج فازی در کشور قطر ارائه نموده‌اند. در تحقیق آن‌ها، ۲۰ فاکتور تأثیرگذار بر خطوط لولهبا توجه به بازرسی‌های دوره‌ای و آمار حوادث صورت‌گرفته شناسایی گردید که تعداد ۱۱ فاکتور از آن‌ها جهت تهیه ی الگوی ارائه‌شده استفاده گردید؛ در حالی که در الگوی ارائه‌شده در این تحقیق، ۳۰ فاکتور مؤثر بر سلامت خط لوله در نظر گرفته شده است. همچنین تأثیر متغیرهای مختلف روی خط لوله، بررسی شده و مشاهده گردید که مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار بر وضعیت ایمنی خطوط لوله ی مورد مطالعه، عامل خوردگی بوده و درنتیجه، حفاظت کاتدی و پوشش، بیشترین تأثیر را دارند. بعد از عامل خوردگی، آسیب شخص ثالث و عملکرد نادرست، بیشترین تأثیر را بر روی خطوط لوله ی مورد مطالعه به ترتیب ظاهر دارند. نتایج به‌دست‌آمده در مطالعه ی حاضر، مشابه نتایج این پژوهش است. به‌کارگیری روش منطق فازی، باعث افزایش صحت و دقت نتایج شده که منجر به کاهش هزینه‌ها، زمان و نیروی انسانی جهت کنترل و نگهداری خطوط لوله می‌گردد که این موضوع در سیستم استنتاج فازی، نمود بیشتری خواهد داشت.

Markowski و همکاران، پژوهشی تحت عنوان منطق فازی برای ارزیابی ریسک خطوط لوله ارائه نموده‌اند. در تحقیق آن‌ها، نتیجه گرفته شده است که نتایج حاصل از بررسی داده‌ها به‌منظور تعیین میزان ریسک خطوط لوله با استفاده از تکنیک LOPA در منطق فازی، دارای دقت بیشتری نسبت به نتایج مدل کلاسیک است. همچنین بیان شده است که مهم‌ترین سناریوی احتمالی، نشت و سوراخ شدن خطوط لوله است که اهمیت وجود یک سیستم نظارتی قابل اطمینان در خطوط لوله را بیان می‌کند (۲۲). در این تحقیق، ضمن تأیید و هم‌پوشانی نتایج حاصل با پژوهش Markowski و همکاران، به شناسایی، بررسی و وزن‌دهی علل مؤثر بر وقوع هر یک از زیرشاخص‌ها و یا شاخص‌های اصلی (درمجموع ۳۰ زیرشاخص) مؤثر بر نشتی خطوط لوله به کمک نظرات گروهی از متخصصان مرتبط در صنایع نفت و گاز پرداخته شده است (که در پژوهش Markowski و همکاران، پرداخته نشده است).

Jamshidi و همکاران نیز در پژوهش خود که تلفیقی از منطق فازی و امتیاز ریسک نسبی بر اساس مدل مالبایر ارائه کرده‌اند، به بررسی و تعیین میزان ریسک خطرات مرتبط با خطوط لوله‌ی گاز پرداخته اند. نتایج تحقیق آنان، نشان می‌دهد مدل پیشنهادی، قادر به

1. Corrosion
2. Third party damage
3. Incorrect operation
4. Dispersion
5. Receptors
6. Leak volume
7. Product hazard

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]

حذف نقاط ضعف روش‌های متداول ارزیابی ریسک بوده و دارای خروجی دقیق، جامع و مطمئن است. همچنین ارتباط میان اطلاعات ورودی و خروجی در سیستم فازی پیشنهادی، تحت عنوان متغیرهای زبانی توصیف می‌شوند و در نمایش شرایط، واقعی‌تر و تغییرپذیرتر بوده و قادر است اهمیت نسبی میان پارامترهای تحت تأثیر شاخص ریسک را در نظر بگیرد (۲۳). از آنجایی که چارچوب و ساختار کلی این تحقیق با پژوهش Jamshidi و همکاران یکسان است؛ اما در ایجاد و اجرای مدل پیشنهادشده دارای تفاوت هایی اساسی است که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: ۱- استفاده از داده‌های واقعی موجود ناشی از بررسی گزارش‌های بازرسی و نگهداری، حوادث و شبه‌حوادث گذشته (مستندات و داده‌های فنی و عملیاتی شرکت نفت و گاز پارس به‌منظور اعتبارسنجی مدل ارائه‌شده) که در ایجاد مدل FIS استفاده شد. ۲- درمجموع برای هرکدام یک از شاخص‌های اصلی احتمال و پیامد، به‌صورت جداگانه تعداد ۵۹۶ قاعده‌ی فازی تولید گردید. همچنین برای تعیین میزان ریسک، ۱۰ قاعده‌ی فازی در نرم‌افزار متلب ایجاد گردید؛ در حالی که در پژوهش Jamshidi و همکاران درمجموع ۲۱ قاعده‌ی فازی ایجاد شده است. ۳- در این تحقیق، برای تعیین عملکرد مدل و یافتن ساختار بهینه، از ضریب تعیین[1] (R^2) که بیان‌کننده ی دقت مدل در پیش‌بینی خروجی‌های مدل است و همچنین میانگین مربعات خطا[2] MSE، استفاده شده است. درمجموع این عوامل، نشان از دقت و حساسیت بیشتر مدل ارائه‌شده نسبت به سایر پژوهش‌ها و تحقیقات مشابه در گذشته است.

Din و همکاران، طی پژوهشی به پیش‌بینی انواع نشتی شبکه ی خطوط لوله ی گازترش در شرایط واقعی بر اساس داده‌ها و اطلاعات خوردگی خطوط موجود و ارزیابی این اطلاعات پرداختند. در این پژوهش، عامل خوردگی داخلی، مهم‌ترین عامل در نشتی خطوط لوله شناسایی گردید (۲۴). از آنجایی که خطوط لوله ی مورد مطالعه در این تحقیق (خطوط لوله ی گازترش فازهای ۹-۱۰ پارس جنوبی) حاوی H_2S به میزان غلظت برابر با ۵۳۰۰ ppm است، مهم‌ترین عامل مؤثر بر نشتی خطوط لوله ی مورد مطالعه، عامل خوردگی داخلی است. با توجه به فاکتورهای عملیاتی خطوط لوله ی مورد مطالعه از قبیل فشار عملیاتی (۷۸ بار)، دما (۲۷ درجه سلسیوس) و همچنین ضخامت خط لوله (۲۹ mm)، نوع جنس خط لوله (STEEL X65) و ضریب طراحی ۰،۵ و سایر عوامل مؤثر، بر اساس محاسبات مهندسی و اصول بازرسی فنی می‌توان بیان نمود که میزان خوردگی داخلی مجاز، mm ۳ است. به‌منظور رسیدن به این هدف، ضرورت وجود یک برنامه ی جامع عملیات پیگ رانی در خطوط لوله ی مورد مطالعه، لازم و ضروری است (۱۷-۱۹).

مطالعات پیشین درزمینه‌ی ارزیابی ریسک، نشان می‌دهد که قضاوت کارشناسان، در نتیجه ی ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک، تأثیر زیادی دارد؛ به‌طوری که Nouri و همکاران، در مقاله‌ای که در سال ۲۰۱۰ ارائه نمودند، این موضوع را یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در فرایند ارزیابی ریسک معرفی کردند و جهت مرتفع شدن این موضوع، تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری مانندAHP با روش‌های ارزیابی ریسک را توصیه کردند (۲۵). در مطالعه ی حاضر، برای وزن‌دهی بین عوامل مؤثر بر میزان ریسک خطوط لوله، از مقادیر وزنی پیشنهادشده در الگوی مالبایر استفاده شده است. همچنین جهت در نظر گرفتن عدم قطعیت در نظر کارشناسان نیز در مقایسات زوجی بین عوامل مؤثر بر میزان احتمال وقوع و پیامد و هم‌چنین در تعیین میزان ریسک خط لوله، از تئوری فازی بهره گرفته شده است. از محدودیت‌های این پژوهش، می‌توان به عدم به‌کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ازجمله تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای تعیین مقادیر وزنی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مؤثر بر میزان ریسک خطوط لوله نام برد که دلیل این امر را می‌توان به نبود یک پایگاه داده ی جامع و قابل استناد درخصوص خطوط لوله در صنعت نفت ایران بیان کرد. بدیهی است با وجود یک پایگاه داده ی جامع و قابل استناد درخصوص خطوط انتقال فرآورده‌های نفت و گاز در ایران، می‌توان

1. Coefficient of determination (R^2)
2. Mean square error

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]

از روش‌های مهندسی و سیستمی جهت ارزیابی ریسک خطوط موجود و تعیین اقدامات کنترلی مناسب در راستای ارتقای سلامت خطوط، کاهش حوادث انسانی و مدیریت منابع مالی استفاده نمود.

به‌منظور نشان دادن برتری روش پیشنهادی نسبت به روش‌های کلاسیک، میزان ریسک خطوط لوله ی فازهای ۹-۱۰ پارس جنوبی توسط روش کلاسیک و روش پیشنهادی، مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج (جداول (۱۰) و (۱۱))، نشان داد که جهت به حداقل رساندن محدودیت‌های روش کلاسیک، ازجمله حساسیت به قضاوت‌های شخصی، در نظر گرفتن تأثیر زیرشاخص‌ها و همچنین نظرات فنی متخصصان، روش ارزیابی ریسک پیشنهادی مناسب‌تر است. اگرچه انجام محاسبات این مدل نسبت به روش‌های کلاسیک به زمان بیشتری نیاز دارد؛ اما قادر است مقدار عوامل اصلی و فرعی مؤثر بر نشتی‌های خطوط لوله را تعیین کند.

برای مطالعات آتی، می‌توان با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، تأثیر هرکدام از اقدامات بازرسی و حفاظت فنی تعریف‌شده جهت سلامت خطوط را از لحاظ قطعیت و دقت بررسی نمود و می‌توان از نتایج آن در تهیه ی سیستم مدیریت یکپارچه ی خطوط (PIMS) بهره برد.

نتیجه گیری

از آنجایی که هدف از استفاده ی ارزیابی ریسک بر اساس سیستم استنتاج فازی در این تحقیق، غلبه بر مشکلات، پیچیدگی‌ها و یا عدم قطعیت ناشی از کمبود اطلاعات در تصمیم‌گیری‌ها است (که تکنیک‌های سنتی ارزیابی ریسک نمی‌توانند آن‌ها را برطرف کنند)، نتایج حاصل از خطوط لوله ی مورد مطالعه (به شرح ذیل)، نشان از تحقق اهداف در نظر گرفته‌شده می‌باشد.

۱- با توجه به ماتریس‌های ارزیابی ریسک ارائه‌شده در شکل (۹)، می‌توان دریافت که در منطق فازی، طیف گسترده‌تری برای سنجش ریسک در نظر گرفته شده است که به نسبت روش سنتی (کلاسیک)، شانس ارزیابی ریسک دقیق‌تری را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، در روش سنتی، مرز بین سطوح مختلف ریسک، بازه‌ی بیشتری نسبت به روش فازی دارد؛ بنابراین، ارزیابی ریسک در این روش، دقت کمتری خواهد داشت. نتایج جداول (۱۰) و (۱۱) نیز این موضوع را تأیید می‌کنند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نتایج به‌دست‌آمده از مدل فازی برای تمام بخش‌های خط لوله (A، B و C) بسیار دقیق‌تر است. این دقت بالاتر را می‌توان با این واقعیت توضیح داد که رابطه ی بین داده‌های ورودی و خروجی در سیستم فازی پیشنهادشده، به‌عنوان متغیرهای زبانی توصیف می‌شوند که در بازتاب شرایط واقعی، انعطاف‌پذیرتر و واقع‌گرایانه‌تر هستند؛ بنابراین، مدل پیشنهادی، می‌تواند نقاط ضعف روش‌های سنتی را برطرف کند و درنتیجه، خروجی‌هایی با دقت، قابل درک و اطمینان بالاتر ارائه دهد.

۲- نتایج، نشان می‌دهد بر اساس اطلاعات و داده‌های واقعی موجود از خطوط مورد بررسی و همچنین نظرات متخصصان مختلف، مدل فازی، دارای نتایج دقیق‌تری نسبت به نتایج مدل کلاسیک یا سنتی است. از دیگر مزایای مدل فازی ارائه‌شده نسبت به مدل کلاسیک، استفاده از نظرات متخصصان مختلف با توجه به سوابق داده‌های موجود است که باعث گردیده از این مدل برای خطوط مشابه در صنعت نفت ایران در خطوطی که اطلاعاتی کافی در دسترس نیست، استفاده شود. همچنین صحت و دقت نتایج به‌دست‌آمده، منجر به کاهش هزینه، زمان و نیروی انسانی جهت کنترل و نگهداری خطوط لوله می‌گردد.

۳- از آنجایی که در مدل پیشنهادی در مقایسه با روش سنتی، اهمیت نسبی بین پارامترهای تأثیرگذار بر شاخص ریسک نیز در نظر گرفته می‌شود، می‌توان بیان کرد که نتایج به‌دست‌آمده از مدل ارائه‌شده، برای دستیابی به خروجی‌های دقیق مناسب‌تر است.

۴- همچنین با توجه به نتایج حاصل از خط لوله ی مورد بررسی در این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که سه عامل خوردگی، خسارت ناشی از شخص ثالث و عملیات نادرست، به ترتیب بیشترین تأثیر را بر خطوط مورد مطالعه دارند. با توجه به اینکه خوردگی مهم‌ترین

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]

علل در نشت گاز در خطوط لوله ی مورد مطالعه است و از آنجایی که سیال موجود در خطوط لوله ی مورد مطالعه ی چندفازی (گاز، هیدروکربن و آب) است، می‌بایست جهت انتقال گازترش و کاهش میزان ریسک نشتی ناشی از خوردگی (داخلی/خارجی)، اقدامات مناسب از قبیل استفاده از لوله‌هایی از جنس فولاد کربن، پوشش داخلی خط، تزریق ممانعت‌کننده‌های مناسب با توجه به ترکیبات شیمیایی سیال، برقراری سیستم‌های حفاظت کاتدی[1] و پوشش خطوط اطمینان از عملکرد مناسب آن‌ها و همچنین ایجاد سیستم‌های مختلف مانیتورینگ خطوط لوله جهت پایش و اطمینان از سلامت خطوط لوله، صورت گیرد.

بدیهی است که نتایج به‌دست‌آمده، حساسیت اقدامات حفاظتی، کنترلی و مدیریتی را از لحاظ قطعیت و دقت افزایش می‌دهند و این نتایج را می‌توان در کنترل ریسک و اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، به کار گرفت.

1. Cathodic protection

REFERENCES

1. De Masi G, Vichi R, Gentile M, Bruschi R, Gabetta G, editors. A neural network predictive model of pipeline internal corrosion profile. Proceedings of the 1st International Conference on Systems Informatics, Modeling and Simulation. 2014.
2. Markowski AS, Mannan MS, Bigoszewska A. Fuzzy logic for process safety analysis. J Loss Prev Process Ind. 2009;22(6):695-702.
3. Tian D, Deng J, Vinod G, Santhosh T, Tawfik H. A constraint-based genetic algorithm for optimizing neural network architectures for detection of loss of coolant accidents of nuclear power plants. Neurocomputing. 2018;322:102-19.
4. Yuhua D, Datao Y. Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis. J Loss Prev Process Ind. 2005;18(2):83-8.
5. Cagno E, Caron F, Mancini M, Ruggeri F. Using AHP in determining the prior distributions on gas pipeline failures in a robust Bayesian approach. Reliab Eng Syst Saf. 2000;67(3):275-84.
6. Shahriar A, Sadiq R, Tesfamariam S. Risk analysis for oil & gas pipelines: A sustainability assessment approach using fuzzy based bow-tie analysis. J Loss Prev Process Ind. 2012;25(3):505-23.
7. Han Z, Weng W. An integrated quantitative risk analysis method for natural gas pipeline network. J Loss Prev Process Ind. 2010;23(3):428-36.
8. Han ZY, Weng WG. Comparison study on qualitative and quantitative risk assessment methods for urban natural gas pipeline network. J Hazard Mater. 2011;189(1-2):509-18.
9. Li X, Chen G, Zhu H. Quantitative risk analysis on leakage failure of submarine oil and gas pipelines using Bayesian network. Process Saf Environ Prot. 2016;103:163-73.
10. Lu L, Liang W, Zhang L, Zhang H, Lu Z, Shan J. A comprehensive risk evaluation method for natural gas pipelines by combining a risk matrix with a bow-tie model. J Nat Gas Sci Eng. 2015;25:124-33.
11. Aljaroudi A, Khan F, Akinturk A, Haddara M, Thodi P. Risk assessment of offshore crude oil pipeline failure. J Loss Prev Process Ind. 2015;37:101-9.
12. Elsayed T. Fuzzy inference system for the risk assessment of liquefied natural gas carriers during loading/offloading at terminals. Applied Ocean Research. 2009;31(3):179-85.
13. Muhlbauer K. Pipeline risk management manual 2004.
14. Biezma MV, Agudo D, Barron G. A Fuzzy Logic method: Predicting pipeline external corrosion rate. International Journal of Pressure Vessels and Piping. 2018;163:55-62.
15. Dziubiński M, Frątczak M, Markowski A. Aspects of risk analysis associated with major failures of fuel pipelines. J Loss Prev Process Ind. 2006;19(5):399-408.
16. Kim DY, Yoo KH, Choi GP, Back JH, Na MG. Reactor vessel water level estimation during severe accidents using cascaded fuzzy neural networks. Nuclear Engineering and Technology. 2016;48(3):702-10.
17. Pogc. Feed ga pipeline data sheets Asaluyeh-Iran: Pars Oil Gas Company(POGC); 2006.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]

18. Pogc. Pipeline basis of design. Asaluyeh-Iran: Pars Oil Gas Company(POGC); 2006.
19. Pogc. Pipeline opetating philosophy Asaluyeh-Iran: Pars Oil Gas Company(POGC); 2006.
20. (EGIG) EGPIDG. 9th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970–2013). 2014.
21. El-Abbasy MS, Senouci A, Zayed T, Mirahadi F, Parvizsedghy L. Artificial neural network models for predicting condition of offshore oil and gas pipelines. Autom Constr. 2014;45:50-65.
22. Markowski AS, Mannan MS. Fuzzy logic for piping risk assessment (pfLOPA). J Loss Prev Process Ind. 2009;22(6):695-702.
23. Jamshidi A, Yazdani-Chamzini A, Yakhchali SH, Khaleghi S. Developing a new fuzzy inference system for pipeline risk assessment. J Loss Prev Process Ind. 2013;26(1):197-208.
24. Din MM. Computational Based Automated Pipeline Corrosion Data Assessment. Univ Technol Malaysia. 2015.
25. Nouri J, Omidvari M, S T. Risk Assessment and Crisis Management in Gas Stations. Int J Environ Res. 2010;4(1):143-52.

[Downloaded from jhsw.tums.ac.ir on 2024-07-22]

[DOR: 20.1001.1.2251807.1402.13.2.9.8]