Journal of Health and Safety at Work 2025; 15(1): 174-200

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Identifying and Modeling the Causes of Gas Pipeline Excavation and Piping Operation Accidents Using Bayesian Network (BN) and Fuzzy DEMATEL: Case Study on Trench Collapse

Aida Naghshbandi, Omran Ahmadi*

Department of Occupational Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 8-11-2024 Accepted: 9-2-2025

ABSTRACT

Introduction: Identifying and modeling the root causes of accidents can play an important role in preventing them. The purpose of this study is to identify and model the causes of gas pipeline excavation and piping operation accidents using the Bayesian network (BN) and fuzzy DEMATEL.

Material and Methods: In this study, industrial accidents during gas pipeline excavation and piping operations were analyzed using the Bowtie method. The fuzzy DEMATEL method was employed to determine relationships between accident root causes, and the fuzzy AHP method was used to compare pairs of causes and determine their weight. Finally, Bowtie and DEMATEL outputs were mapped in Bayesian networks to determine the important risk factors for accidents.

Results: The most important risk factors for trench collapse accidents were as follows: risk management (16% impact weight), competency assessment (14.2% impact weight), supervision (13.8% impact weight), work permit system (13.7% impact weight), compliance with requirements and guidelines (13.4% impact weight), training (11.4% impact weight), HSE system (9.5% impact weight), and contractor management (8% impact weight).

Conclusion: Based on the results, it was demonstrated that risk management and competency assessment, having the highest weight percentages, play the most significant roles in the occurrence of trench collapse accidents. The findings of this study can inform the prioritization of corrective measures to prevent trench collapse accidents in gas pipeline excavation and piping operations.

Keywords: *Bayesian network, Excavation, Fuzzy DEMATEL, Gas pipelines, Piping operation*

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Naghshbandi A, Ahmadi O. Identifying and Modeling the Causes of Gas Pipeline Excavation and Piping Operation Accidents Using Bayesian Network (BN) and Fuzzy DEMATEL: Case Study on Trench Collapse. J Health Saf Work. 2025; 15(1): 174-200.

1. INTRODUCTION

One of the most vital issues in any industry is the occurrence of accidents. Approximately 33% of work-related deaths result from work-related accidents. Most injuries and deaths in the oil and gas industry are attributed to such incidents. Of the 263 work-related deaths in the oil and gas industry from 2013 to 2017, nearly 217 were due to occupational accidents. Although complete and accurate records of the actual number of deaths from excavation accidents are unavailable, it is estimated that excavation accidents and related incidents kill approximately 100 people and injure 7,000 each year.

According to compensation claims in the Bureau of Labor Statistics (BLS) Supplemental Data System, approximately 1,000 work-related injuries occur annually as a result of excavation activities, of which about 140 result in permanent disability and 75 result in death. Statistics from the Occupational Safety and Health Administration (2002) indicate

* Corresponding Author Email: *o.ahmadi@modares.ac.ir*

Copyright © 2025 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 journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

that the death rate in excavation work is 112% higher than in conventional construction work. Workers in the underground construction industry, particularly in water, sewer, and pipeline companies, have traditionally experienced higher rates of accidents and injuries compared to other workers in the heavy construction industry.

Accident modeling is a systematic method for identifying and prioritizing various variables in the evolution of an accident. Such modeling provides a foundation for increasing risk awareness. Based on the quantitative results of accident modeling, potential measures to control or mitigate risks can be implemented and evaluated. A Bayesian network (BN) can be used to illustrate the relationships between variables and common unique probability distributions. Digging tunnels is recognized as a leading cause of death in excavation operations. Workers are also at risk when working at height, operating heavy equipment, handling materials, or working near existing utility sources such as power and gas lines.

Accordingly, the objective of this study is to identify and model the causes of trench collapse accidents using BN and fuzzy DEMATEL.

2. MATERIAL AND METHODS

This study utilizes both qualitative and quantitative methods to identify and model the causes of trench collapse during excavation and piping operations. In this study, trench collapse accidents with detailed reports were analyzed. First, the Bowtie method was employed to examine the causes of trench collapse accidents. Bowtie is a graphical method used to illustrate the cause and effect of an accident. This method combines fault tree and event tree approaches to help understand the causes, effects, and safety barriers that can prevent accidents, as well as the escalation factors that influence the performance of safety barriers.

Next, the Fuzzy DEMATEL questionnaire was developed and distributed to specialists and experts with sufficient experience and knowledge in the field of safety. This aimed to determine the relationships between risk factors. Experts were weighted based on their knowledge, experience, and access to relevant information. To calculate the weight of risk influence factors, the Fuzzy AHP method was employed. The outputs of the Fuzzy DEMATEL and Bowtie methods were directly mapped into a Bayesian network (BN). Additionally, the weight percentage for each cause was calculated using the Fuzzy AHP output. The BN updated prior probabilities based on new evidence.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Risk factors affecting barriers including supervision (X_1), HSE system (X_2), competency assessment (X_3), contractor management (X_4), work permit system (X_5), compliance with rules and guidelines (X_6), training (X_7) and risk management (X_8) were identified as the 8 root causes of excavated trench collapse. Based on the D-R values, the most effective factor was supervision and the most impressive one was the work permit system. Based on the D+R values, the HSE system was more important. Finally, the relationship between the risk factors in the Fuzzy DEMATEL method was obtained as follows. If two risk factors are related, the number is one and if not, the number is zero.

The results of the AHP analysis were consistent with Table 2.

The output of the Fuzzy DEMATEL and Fuzzy AHP methods was imported into the Bayesian network (BN) using Netica software. The relevant

Table 1: The relationship between the risk factors

Risk Factors	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X_1	0	1	1	1	1	1	1	1
X_2	1	0	1	1	1	1	1	1
X_3	0	0	0	0	1	1	0	0
X_4	0	0	0	0	1	0	0	0
X_5	0	0	0	0	0	0	0	0
X_6	0	0	0	0	1	0	0	0
X_7	0	1	0	1	1	1	0	1
X_8	0	0	0	1	1	1	0	0

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

Table 2: The weights of risk factors based on the Fuzzy AHP consequence

Criterion	Weights	RK
X_1	13.8 %	3
X_2	9.5 %	7
X_3	14.2 %	2
X_4	8.0 %	8
X_5	13.7 %	4
X_6	13.4 %	5
X_7	11.4 %	6
X_8	16.0 %	1

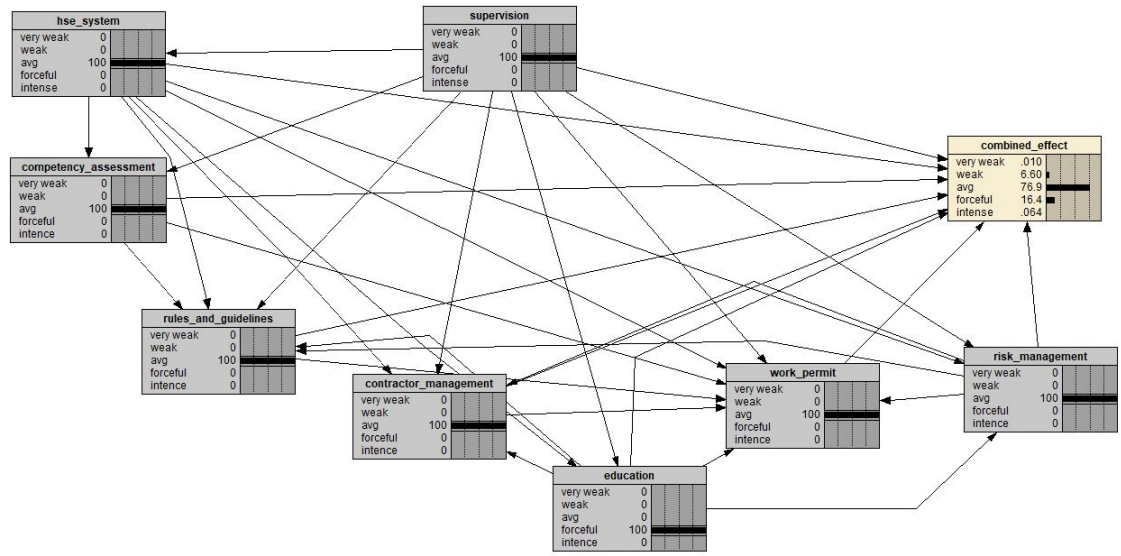


Fig. 1: BN created for the combined effect node.

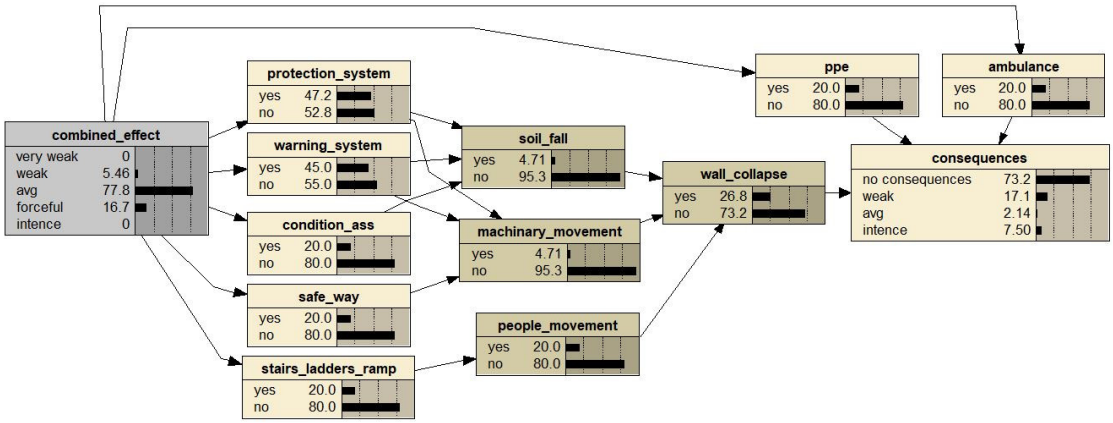


Fig. 2: BN created for the results node.

risk factors in the BN were connected to the combined effect node (CE), and the combined effect node was incorporated into the second Netica network. Figures 1 and 2 illustrate the generated BN for the combined effect node and the result. Conditional probability tables and relationships between nodes were created using formula writing.

Root nodes were categorized into five states:

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

very weak, weak, average, forceful, and intense. The barriers, outcome, and intermediate cause nodes were defined as two states: "Yes" (happens) and "No" (does not happen).

4. CONCLUSIONS

The results of the present study demonstrated that accidents caused by collapsing trenches during excavation and piping operations have severe consequences. A Bayesian network (BN) model was developed to analyze trench collapse accidents during excavation and piping operations. This model can be utilized to predict and prevent related issues, determine the level of remediation required, and prioritize key factors for remediation and review. The factors identified in this study can serve as a valuable resource for assessing the risks associated with the activities involved.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

شناسایی و مدل‌سازی علل حوادث گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز با استفاده از شبکه بیزین (Bayesian Network) و دیمتل فازی (Fuzzy DEMATEL): مطالعه موردی ریزش دیواره کانال

آیدا نقشبندی، عمران احمدی*

گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۱

چکیده

مقدمه: شناسایی و مدل‌سازی علل اصلی حوادث، می‌تواند نقش مهمی در پیشگیری از آن‌ها داشته باشد. هدف این مطالعه، شناسایی و مدل‌سازی علل حوادث گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز با استفاده از شبکه بیزین و دیمتل فازی می‌باشد.

روش کار: در این مطالعه، حوادث شغلی حین عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز، با استفاده از روش Bowtie ، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. روش دیمتل فازی، برای تعیین روابط بین علل ریشه‌ای حوادث و روش AHP فازی برای مقایسه زوجی علل و تعیین وزن آن‌ها، استفاده شد. در نهایت خروجی‌های Bowtie و Dematel، در شبکه‌های بیزی ترسیم و ریسک فاکتورهای مهم دخیل در حادثه تعیین شدند.

یافته ها: مهم‌ترین ریسک فاکتورهای دخیل در حوادث ریزش دیواره کانال، شامل مدیریت ریسک (با وزن ۱۶ درصد)، ارزیابی صلاحیت (با وزن ۱۴/۲ درصد)، نظارت (با وزن ۱۳/۸ درصد)، سیستم مجوز کاری (با وزن ۱۳/۷ درصد)، رعایت قوانین و دستورالعمل‌ها (با وزن ۱۳/۴ درصد)، آموزش (با وزن ۱۱/۴ درصد)، سیستم HSE (با وزن ۹/۵ درصد) و مدیریت پیمانکار (با وزن ۸ درصد)، شناسایی شدند.

نتیجه گیری: با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه، می‌توان گفت که مدیریت ریسک و ارزیابی صلاحیت، با درصد وزنی بالاتر، نقش مهم‌تری در وقوع حادثه ریزش دیواره کانال دارند. از نتایج این مطالعه، می‌توان برای اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی جهت جلوگیری از حوادث ناشی از ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز استفاده کرد.

کلمات کلیدی: *خطوط لوله گاز، دیمتل فازی، شبکه بیزین، گودبرداری، لوله‌گذاری*

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبه: *o.ahmadi@modares.ac.ir*

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

مقدمه

یکی از مسائل مهم در صنایع، وقوع حوادث و بیماری‌های شغلی است. میزان مرگ‌ومیر سالیانه در جهان بر اثر حوادث ناشی از کار، مطابق با آمار منتشر شده در سال ۲۰۱۴، ۲/۳۳ میلیون مرگ بوده که این آمار در سال ۲۰۱۷، به عدد ۲/۷۸ مرگ در هر سال رسیده است (۱). طبق آمار سازمان بین‌المللی کار، سالیانه ۲۷۰ میلیون حادثه شغلی در جهان رخ می‌دهد که ۲۶۰ میلیون از آن، باعث از دست رفتن بیش از ۳ روز کاری می‌شود و همچنین ۱۶۰ میلیون بیماری ناشی از کار در جهان اتفاق می‌افتد. این آمار، نشان‌دهنده بروز تعداد زیادی حادثه شغلی، به خصوص در صنایع بوده که با گذشت زمان، روند افزایشی داشته است (۲). حدود ۳۳٪ از مرگ‌های ناشی از کار، به‌دلیل حادثه شغلی است (۳). سومین عامل مرگ‌ومیر در جهان و دومین عامل مرگ‌ومیر در ایران بعد از تصادفات رانندگی، حوادث ناشی از کار هستند و یکی از فاکتورهای مهم و اساسی در بحث ایمنی، بهداشت و اقتصاد جوامع در حال توسعه است (۴). مطابق با آمار جمع‌آوری‌شده، در ایران در هر سال حدود ۱۴ هزار حادثه شغلی رخ می‌دهد که اکثر این حوادث، در صنایع می‌باشند (۵). بیشترین آسیب‌دیدگی و مرگ در صنایع نفتی، ناشی از حوادث شغلی می‌باشد (۶). از میان ۲۶۳ مورد مرگ‌ومیر مربوط به کار در صنایع نفت و گاز از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۷، نزدیک به ۲۱۷ مورد مرگ‌ومیر ناشی از حوادث شغلی است (۷). اگرچه سوابق کامل و دقیقی از تعداد واقعی مرگ و میر ناشی از حوادث گودبرداری وجود ندارد، اما تخمین زده می‌شود که حوادث گودبرداری و سایر حوادث حفاری، هر ساله جان ۱۰۰ نفر را گرفته و ۷۰۰۰ نفر را مجروح می‌کنند (۸). عملیات گودبرداری، عمدتا توسط شرکت‌های آب، فاضلاب، خطوط لوله‌کشی و شرکت‌های ساختمانی سنگین انجام می‌شود. ارزش کار ساختمانی که توسط این شرکت‌ها انجام شده است، ۲/۶ درصد از کل حجم ساخت و سازها در ایالات متحده را شامل می‌شود. در مجموع، در طول سال ۲۰۰۰، این شرکت‌ها، ۱۶۶ مورد مرگ‌ومیر، از جمله قربانیان عملیات گودبرداری داشته‌اند. بر اساس تجزیه و تحلیل مطالبات غرامت کارگران در سیستم داده‌های تکمیلی دفتر آمار کار (BLS)، سالانه تقریباً ۱۰۰۰ آسیب ناشی از کار به دلیل حفاری رخ می‌دهد. از این تعداد، حدود ۱۴۰ مورد به معلولیت دائمی و ۷۵ مورد، به مرگ منجر می‌شود. با توجه به آمار اداره ایمنی و بهداشت شغلی (۲۰۰۲)، میزان مرگ‌ومیر برای کارهای حفاری ۱۱۲٪ بیشتر از میزان ساخت و ساز عمومی است. تونل‌های حفاری‌شده، عامل اصلی مرگ‌ومیر در عملیات گودبرداری شناخته شده است. این کارگران، همچنین با خطرات ناشی از کار در ارتفاع، کار با ماشین‌آلات سنگین، دست زدن به مواد و کار در نزدیکی منابع تأسیسات موجود مانند خطوط برق یا خطوط لوله گاز، مواجه هستند. کارگران در صنعت ساخت و سازهای زیرزمینی، به ویژه شرکت‌های آب، فاضلاب و خطوط لوله‌کشی، به طور معمول، میزان تصادف و آسیب بیشتری نسبت به سایر کارگران در صنعت ساختمان‌سازی سنگین داشته‌اند. در سال ۲۰۰۰، ۹۸ مورد در پروژه‌های آب، فاضلاب و خطوط لوله‌کشی رخ داد، در حالی که ۸۲ مورد در بزرگراه‌ها و خیابان‌سازی، یا ۳۳ نفر در ساخت پل، تونل و بزرگراه‌ها کشته شدند. با توجه به اطلاعات بدست آمده از OSHA، تعداد کشته‌شدگان در عملیات گودبرداری در سال، در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۷، برابر با۶۹، ۷۲، ۸۳، ۸۲ مورد می‌باشد (۹). انفجار و آتش‌سوزی، عدم آگاهی ایمنی کارگر، نقص تجهیزات، وجود مواد قابل اشتعال در محل کار، عدم برنامه‌ریزی برای شرایط اضطراری، عملکرد نامنظم کارگران، نشتی، آلودگی محیطی، عدم استفاده از علائم و تابلوهای هشداردهنده و نظارت ناکافی، به عنوان علل ریشه‌ای خطرات خطوط لوله گاز و نفت معرفی شده‌اند (۱۰). همچنین نشت، خوردگی، ساییدگی و نازک شدن بدنه لوله‌ها، از خطرات مهم موجود خطوط لوله گاز شناسایی شده‌اند (۱۱). در مطالعه Lu و همکاران، خرابی مواد و تجهیزات و خوردگی، از علل ریشه‌ای حوادث خطوط لوله گاز معرفی شده‌اند (۱۲). عدم اشتیاق در انجام کار، برنامه‌ریزی نامنظم و غیردقیق، عدم تخصص در به کارگیری ماشین‌آلات، کمبود نیروی

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

انسانی ماهر و آموزش دیده، ضعف اقتصادی، بلایای طبیعی، ضعف در ایمنی و به روز نبودن اطلاعات به عنوان عوامل مهم خطر در خطوط لوله گاز نام برده شده‌اند (۱۳). شانون و همکاران در سال ۱۹۹۷، در مطالعه خود، به بررسی ارتباط بین فاکتورهای سازمانی و محیط کار و میزان تأثیر آن‌ها در ایجاد حوادث شغلی پرداخته‌اند. آن‌ها در این مطالعه، به این نتیجه رسیده‌اند که اختیار و اراده نیروی کار و واگذاری فعالیت‌های ایمنی و نقش فعال مدیریت ارشد ایمنی و بهداشت با نرخ پایین کاهش حوادث و صدمات و همچنین مرگ‌ومیر، ارتباط معناداری دارد (۱۴). ارزیابی کمی ریسک، یک روش سیستماتیک برای شناسایی و اولویت‌بندی متغیرهای مختلف در یک حادثه است. ارزیابی کمی ریسک، می‌تواند مبنایی برای افزایش آگاهی از ریسک فراهم کند. بر اساس نتایج کمی ارزیابی ریسک، اقدامات بالقوه برای کنترل یا کاهش ریسک را می‌توان اجرا و ارزیابی کرد (۱۵). برای رسیدگی به ریسک، در محیطی که به‌طور مداوم در حال تکامل است و غلبه بر محدودیت روش‌های متداول، روش‌های ارزیابی ریسک اخیر، به‌طور پویا تکامل یافته‌اند که به‌طور مداوم، اطلاعات دقیق را در خود جای داده و آن‌ها را تصحیح می‌کنند تا دید بهتری نسبت به ریسک ارائه دهند (۱۶). از این رو، نیاز به ابزارها و روش‌های جدید در توسعه مدیریت ایمنی و استفاده از روش‌های نوین در تحلیل حوادث و شاخص‌های پیشرو حس می‌شود (۱۷). از شبکه بیزین، می‌توان برای نشان دادن ارتباط میان متغیرها و نشان دادن توزیع احتمال خاص توأم، استفاده نمود. از جمله مزایای این مدل، قابلیت به‌روزرسانی آن با ثبت مشاهدات جدید می‌باشد (۱۸). از شبکه بیزین، می‌توان برای پیش‌بینی وقوع حادثه، تجزیه‌وتحلیل فاکتورهای تأثیرگذار بر رخ دادن یک حادثه و تعیین چگونگی ارتباط بین فاکتورهای مؤثر در ایجاد یک حادثه بهره برد. همچنین این شبکه، برای انجام مطالعات حساسیت نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (۱۹). تونل‌های حفاری‌شده، عامل اصلی مرگ‌ومیر در عملیات گودبرداری شناخته شده است. این کارگران، همچنین با خطرات ناشی از کار در ارتفاع، کار با ماشین‌آلات سنگین، دست زدن به مواد و کار در نزدیکی منابع تأسیسات موجود مانند خطوط برق یا خطوط لوله گاز مواجه هستند (۹). هدف این مطالعه، شناسایی و مدل‌سازی علل حوادث گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز، با استفاده از شبکه بیزین و دیمتل فازی، مطالعه موردی برای حوادث ریزش دیواره کانال، می‌باشد.

روش کار

در این مطالعه، از دو رویکرد کیفی و کمی جهت شناسایی و مدل‌سازی علل حوادث عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز استفاده شد. شکل ۱، فلوچارت انجام پژوهش را نشان می‌دهد.

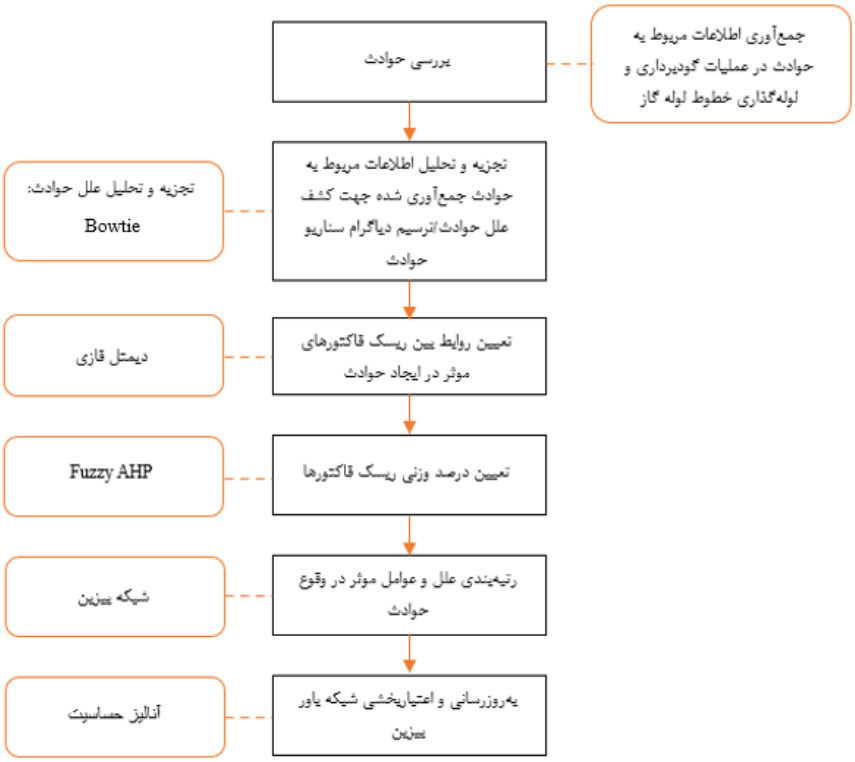
اطلاعات جمع‌آوری شده مرتبط با حوادث گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

در این مطالعه، ابتدا به‌منظور شناسایی علل حوادث، آمار حوادث شغلی در حین گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز، از سطوح مختلف برای این شرکت جمع‌آوری گردید. منطق انتخاب این دو نوع حادثه برای بررسی علل، فراوانی و شدت زیاد این دو نوع حادثه در خطوط لوله گاز بود. سپس این حوادث با استفاده از روشBowtie به‌منظور شناسایی علل، تحلیل شدند.

روش Bowtie

روش Bowtie (BT)، یک روش گرافیکی است که سناریو حادثه را از شروع علت‌ها تا پیامدهای آن نشان می‌دهد. این روش، ترکیبی از روش درخت خطا و درخت علت است و درک بهتری از رابطه بین علت‌های حادثه، پیامدها و همچنین موانعی که می‌توانستند از وقوع حادثه جلوگیری کنند، نشان می‌دهد. یک BT معمولی، شامل اجزای مختلف مانند رویدادهای اولیه، رویدادهای میانی، رویداد اصلی، موانع ایمنی و پیامدهای حادثه است و به شناسایی رویدادهای اولیه مهم در وقوع رویداد اصلی و افزایش پیامدهای رویداد در اثر نقص عملکرد ایمنی،

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]



شکل ۱: فلوچارت انجام پژوهش

کمک می‌کند (۲۰).

در این مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار Bowtiexp ورژن ۱۱. ۰. ۸، حادثه در دو مرحله «قبل از وقوع حادثه» و «بعد از وقوع حادثه»، بررسی شد. در مرحله اول (سمت چپ نمودار)، واژه‌هایی نظیر خطر، مانع، عامل تشدید[1] و کنترل عامل تشدید مورد بررسی قرار گرفتند. منطق این قسمت از نمودار، بر این اساس استوار است که هرگونه فعالیت یا عملیات، دارای خطر بالقوه و پتانسیل آسیب‌رسانی است و در صورت رها شدن این خطرات، تهدیداتی ایجاد می‌شود؛ لذا برای جلوگیری از بروز تهدیدها، باید موانع مناسب پیش‌بینی شده و در مسیر این خطرات قرار گیرد تا از رها شدن ناخواسته خطرات جلوگیری کند. برای اطمینان از اثر بخشی موانع پیش‌بینی‌شده، عوامل تشدیدی که روی موانع اثر سوء داشتند، مشخص و کنترل‌های عامل تشدید برای آن‌ها در نظر گرفته شد. تمامی کنترل‌های عامل تشدید، توسط بخش HSE، پیشتیبانی شدند تا از صحت و اثربخشی عملکرد آن‌ها اطمینان حاصل شود (۲۱).

در سمت راست نمودار، اقدامات بازیابی[2]، عوامل تشدید، کنترل عوامل تشدید و پیامد مورد بررسی قرار گرفتند. منطق این قسمت از نمودار، بر این اساس استوار است که پس از بروز اتفاق ناخواسته، باید با استفاده از اقدامات بازیابی، زنجیره پیامدهای ناشی از آن را به حداقل رساند و در کمترین زمان ممکن شرایط را به حالت طبیعی بازگرداند.

دیمتل فازی

بعد از استخراج عوامل و فاکتورهای مؤثر در حوادث شغلی در حین گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز در مرحله قبل، پرسشنامه دیمتل فازی تهیه و در اختیار خبرگان و متخصصین دارای تجربه و دانش کافی در زمینه ایمنی، قرار داده شد. متخصصین با توجه به دانش، تجربه و میزان دسترسی به اطلاعات، وزن داده شدند. برای وزن

1. Escalation factor

2. Recovery measures

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

جدول ۱: تعیین شاخص‌های میانگین وزنی

شاخص‌ها	رتبه‌بندی	نمره
پست سازمانی	مدیرعامل	۴
	رئیس/سرپرست	۳
	کارشناس	۲
	افسر	۱
تجربه	بیشتر از ۳۰ سال	۴
	۲۰ تا ۳۰	۳
	۱۰ تا ۲۰	۲
	۵ تا ۱۰	۱
تحصیلات	دکتری	۵
	فوق‌لیسانس	۴
	لیسانس	۳
	فوق‌دیپلم	۲
	دیپلم	۱
سن	بالای ۵۰ سال	۴
	۴۰ تا ۵۰	۳
	۳۰ تا ۴۰	۲
	کمتر از ۳۰ سال	۱

جدول ۲: مقیاس زبانی برای مقایسات زوجی

متغیر زبانی	معادل قطعی	معادل فازی
بدون اثر	۰	(۱،۱،۱)
تأثیر کم	۱	(۲،۳،۴)
تأثیر متوسط	۲	(۴،۵،۶)
تأثیر زیاد	۳	(۶،۷،۸)
تأثیر خیلی زیاد	۴	(۸،۹،۹)

دادن به این متخصصین، از جدول شاخص‌های رنجیس و همکارانش (جدول ۱) استفاده شد. (۲۲).

جهت اجماع نظر متخصصین، از روش نظرسنجی خطی پیشنهاد شده توسط کلمن و وینکر استفاده گردید (۲۳).

$$M_i = \sum W_i A_i j \ (i = ۱، ۲، ۳، \ldots، m) \qquad (۱)$$

که در آن، W_i وزن متخصصان A_i تعداد متخصصان دارای وزن $W_i، j$ اصطلاحات زبانی نظر خبره i و M_i اجماع نظر متخصصان است.

نظر متخصصین، طبق متغیرهای زبانی ارائه شده در جدول ۲، با استفاده از پنج عبارت کلامی از «بدون اثر» تا «تأثیر خیلی زیاد» تعیین شد که اعداد فازی معادل آن $(l_{ij}، m_{ij}، u_{ij})$ نیز در ستون آخر جدول آورده شده است.

برای بررسی ارتباط بین عوامل مؤثر در ایجاد حوادث شغلی در حین گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز، از متخصصین درخواست شد تا مقایسه‌های جفتی بین عوامل مؤثر را از نظر میزان تأثیر عامل i در سطر بر عامل

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

j در ستون انجام دهند. سپس با استفاده از میانگین فازی برای تجمیع دیدگاه متخصصین، ماتریس ارتباط مستقیم فازی $\tilde{A}$ ایجاد گردید:

$$\tilde{A} = \left[\tilde{x}_{ij}\right]_{n\times n} \quad (۲)$$

چنانچه n کارشناس وجود داشته باشد و هر درایه ماتریس مستقیم فازی با $\tilde{x}_{ij}$ نمایش داده شود، $\tilde{x}_{ij}$ به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\tilde{x}_{ij} = \left(\frac{\sum l_{ij}}{n}, \frac{\sum m_{ij}}{n}, \frac{\sum u_{ij}}{n}\right) \quad (۳)$$

برای عادی‌سازی مقادیر باید $\sum u_{ij}$ هر سطر محاسبه شود و با تقسیم درایه‌های ماتریس $\tilde{X}$ بر بیشینه‌ی مقادیر $\sum u_{ij}$، ماتریس نرمال فازی $\tilde{N}$ به دست بیاید:

$$k = \left(\sum_{j=1}^{n} u_{ij}\right) \quad (۴)$$

$$\tilde{N} = \frac{1}{k} \times \tilde{X} \quad (۵)$$

$$\tilde{N} = \left[\tilde{e}_{ij}\right]_{n\times n} \quad (۶)$$

$$\tilde{e}_{ij} = \left(e_{ij}^{l}, e_{ij}^{m}, e_{ij}^{u}\right) \quad (۷)$$

برای به‌دست آوردن ماتریس ارتباط کامل فازی $\tilde{T}$، ابتدا یک ماتریس همانی $n\times n$ تشکیل و سپس برای به‌دست آوردن ماتریس معکوس، ماتریس نرمال از ماتریس همانی کم شد. بعد از انجام این کار، ماتریس نرمال در ماتریس حاصل، ضرب شد. هر درایه آن عدد فازی به‌صورت زیر است:

$$\tilde{T} = \left[\tilde{t}_{ij}\right]_{n\times n}, \quad \tilde{t}_{ij} = (t_{ij}^{l}, t_{ij}^{m}, t_{ij}^{u}) \quad (۸)$$

$$T^{l} = N^{L} \times \left(I - N^{l}\right)^{-1} \quad (۹)$$

$$T^{m} = N^{m} \times \left(I - N^{m}\right)^{-1} \quad (۱۰)$$

$$T^{u} = N^{u} \times \left(I - N^{u}\right)^{-1} \quad (۱۱)$$

در این مرحله، با توجه به فرمول زیر، اعداد فازی حاصل شده در مرحله قبل، دی‌فاز شده $\tilde{T} = \left[\tilde{t}_{ij}\right]_{n\times n}$ و در ماتریس ارتباط کامل با اعداد قطعی $T = \left[t_{ij}\right]_{n\times n}$ وارد شدند.

$$B = \frac{l_{ij}^{t} + 2\times m_{ij}^{t} + u_{ij}^{t}}{4} \quad (۱۲)$$

B، دی فازی شده عدد فازی مثلثی $\tilde{t}_{ij} = \left(l_{ij}^{t}, m_{ij}^{t}, u_{ij}^{t}\right)$ ماتریس $\tilde{T}$ می‌باشد.

در مرحله بعد، مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس $\tilde{T}$ را به دست آوردیم. مجموع سطرها و ستون‌ها با توجه به فرمول‌های زیر به‌دست می‌آیند:

$$\tilde{D} = \left(\tilde{D}_{i}\right)_{n\times 1} = \left[\sum_{j=1}^{n} \tilde{T}_{ij}\right]_{n\times 1} \quad (۱۳)$$

$$\tilde{R} = \left(\tilde{R}_{i}\right)_{n\times 1} = \left[\sum_{i=1}^{n} \tilde{T}_{ij}\right]_{1\times n} \quad (۱۴)$$

که $\tilde{D}$ و $\tilde{R}$ به ترتیب ماتریس $n\times 1$ و $1\times n$ هستند.

درمرحله بعد، درجه اهمیت شاخص‌ها $(\tilde{D}+\tilde{R})$ و رابطه بین شاخص‌ها $(\tilde{D}-\tilde{R})$ که مبنای تصمیم‌گیری هستند، تعیین شدند. اگر $\tilde{D}-\tilde{R}>0$ باشد، معیار مربوطه اثرگذار و اگر $\tilde{D}-\tilde{R}<0$ باشد، معیار مربوطه اثرپذیر است

با توجه به فرمول زیر، روابطی علّی که مقادیر ارتباط کامل آن‌ها از میانگین ماتریس کامل، کمتر باشد، در نظر گرفته نشدند.

$$TS = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} V_{ij}}{m\times n} \quad (۱۵)$$

$$\mathrm{U}_{ij} = \begin{cases} V_{ij} \; V_{ij} \geq TS \\ 0 \; Others \end{cases} \quad (۱۶)$$

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

جدول ۳: معادل فازی برای مقایسات زوجی

طیف لیکرتی	عبارت زبانی	اعداد فازی ذوزنقه‌ای
۱	خیلی کم	(۰، ۰، ۰/۲۵)
۲	کم	(۰، ۰/۲۵، ۰/۵)
۳	متوسط	(۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵)
۴	زیاد	(۰/۵، ۰/۷۵، ۱)
۵	خیلی زیاد	(۰/۷۵، ۱، ۱)

AHP فازی

در این مطالعه، با توجه به ارتباط تعیین شده بین عوامل با استفاده از دیمتل فازی، پرسشنامه مقایسات زوجی AHP فازی با استفاده از جدول ۳، طراحی و در اختیار متخصصین قرار داده شد. در این پرسشنامه، معیارها دو به دو روبه‌روی هم قرار گرفته و توسط متخصصین از نظر اهمیت مقایسه شدند. با استفاده از جدول ۱، متخصصین وزن‌دهی شدند. نتایج پرسشنامه، وارد اکسل AHP فازی شد. در این اکسل، نظرات متخصصین و وزن آن‌ها وارد و معیارها مقایسه شده و درصد وزنی آن‌ها مشخص شدند.

شبکه بیزین (BN)

خروجی‌های روش دیمتل فازی، به صورت مستقیم به شبکه باور بیزین تبدیل شد. با توجه به خروجی‌های روش دیمتل فازی، بین دو معیار که با هم ارتباط داشتند، عدد یک و بین دو معیار غیر مرتبط، عدد صفر قرار گرفت. با استفاده از نرم‌افزار Netica و ارتباطات شناسایی شده بین عوامل ریشه‌ای، گره‌های مربوط به عواملی که با هم ارتباط داشتند، با استفاده از فلش به هم وصل شدند و شکل کلی شبکه به دست آمد. با استفاده از نتایج AHP فازی، در جدول مربوط به هر کدام از گره‌های ریشه‌ای، با استفاده از توزیع نرمال، فرمول‌نویسی انجام شد. برای ترسیم سایر گره‌ها مانند سیستم‌های حفاظتی، موانع و نتایج، از دروازه‌های «و» و «یا» در شبکه بیزین، با استفاده از دستور ارائه شده در شکل ۲ استفاده شد (۲۴).

زمانی که روش جدیدی معرفی می‌شود، برای اطمینان از قدرت آن، باید اعتبارسنجی دقیقی صورت گیرد (۲۵)

شبکه بیزین، به منظور به‌روزرسانی احتمال پیشین، مطابق با شواهد جدید از قضیه بیز[1] مطابق با فرمول زیر استفاده کرد. P(H) احتمال پیشین و P(H|E)، احتمال پسین وقوع حادثه و عاملی که این دو را مرتبط می‌کند، $\frac{P(E|H)}{P(E)}$ نسبت احتمال نامیده شدند.

$$P(H \mid E) = \frac{P(E \mid H)P(H)}{P(E)} \qquad (۱۷)$$

این شواهد، می‌تواند به شکل وقوع شبه حوادث، حوادث ناگوار یا مشاهده پیامدهای حادثه‌ای باشد که در طول چرخه عمر یک فرآیند در دسترس قرار می‌گیرد (۲۶).

جهت اعتبارسنجی مدل، داده‌های پنج حادثه ریزش دیواره کانال، وارد شبکه بیزین شدند.

یافته ها

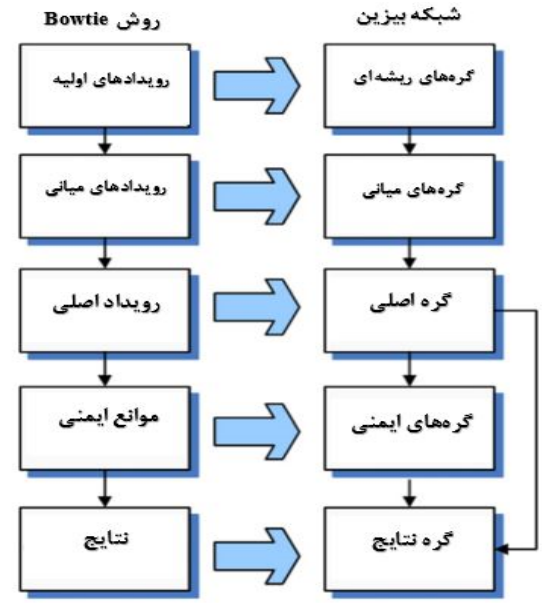
در جدول ۴، خلاصه‌ای از آمار جمع‌آوری شده در مورد حوادث ریزش دیواره کانال در حین عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز، نشان داده شده است.

نمودار Bowtie برای حوادث ریزش دیواره کانال، ابتدا به صورت کیفی (شکل ۳ تا۱۸)، سپس با استفاده از دروازه‌های "و" و "یا" به صورت کمی، ترسیم شد (شکل۱۷).

ریسک فاکتورهای موثر پایه شامل نظارت (X_1)، سیستم HSE (X_2)، ارزیابی صلاحیت (X_3)، مدیریت پیمانکار (X_4)، سیستم مجوز کاری (X_5)، رعایت قوانین و دستورالعمل‌ها (X_6)، آموزش (X_7) و مدیریت ریسک

1. Bayes theory

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]



شکل ۲: نحوه ترسیم دروازه «و» و «یا» در شبکه بیزین (۲۴).

جدول ۴: آمار جمع‌آوری شده‌ی حوادث ریزش دیواره کانال حین عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

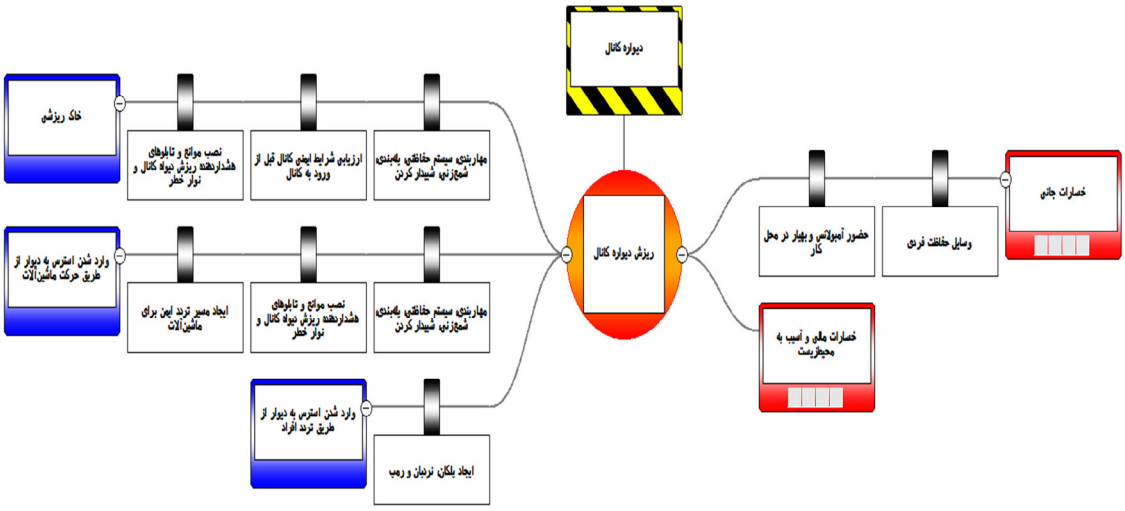
ردیف	فعالیت	عنوان حادثه	پیامد حادثه
۱	آماده‌سازی سر لوله برای عملیات لوله‌گذاری و فیت‌آپ	ریزش دیواره کانال و مدفون شدن کارگر	فوت نیروی پیمانکار
۲	عملیات حفاری و آماده‌سازی کانال برای لوله گاز	ریزش دیواره کانال و مدفون شدن کارگر	فوت نیروی پیمانکار
۳	عملیات حفاری و آماده‌سازی کانال برای ساخت سازه محافظ لوله گاز	ریزش دیواره کانال و مدفون شدن کارگر	فوت نیروی پیمانکار
۴	تسطیح خاک زیر لوله داخل کانال جهت انجام جوشکاری	ریزش دیواره کانال	فوت نیروی پیمانکار
۵	عملیات حذف کابل‌های برق قدیمی داخل کانال	ریزش دیواره کانال	فوت نیروی پیمانکار
۶	عملیات جوشکاری روی لوله داخل کانال/ عبور دستگاه سایدبوم از کنار کانال	ریزش دیواره کانال	فوت نیروی پیمانکار
۷	عملیات لوله‌گذاری داخل کانال	ریزش دیواره کانال	فوت نیروی پیمانکار

(X_8)، به عنوان ۸ علل ریشه‌ای حوادث ریزش دیواره کانال، شناسایی شدند. این فاکتورها، در بر دارنده مفاهیمی هستند که در جدول ۵، نشان داده شده است.

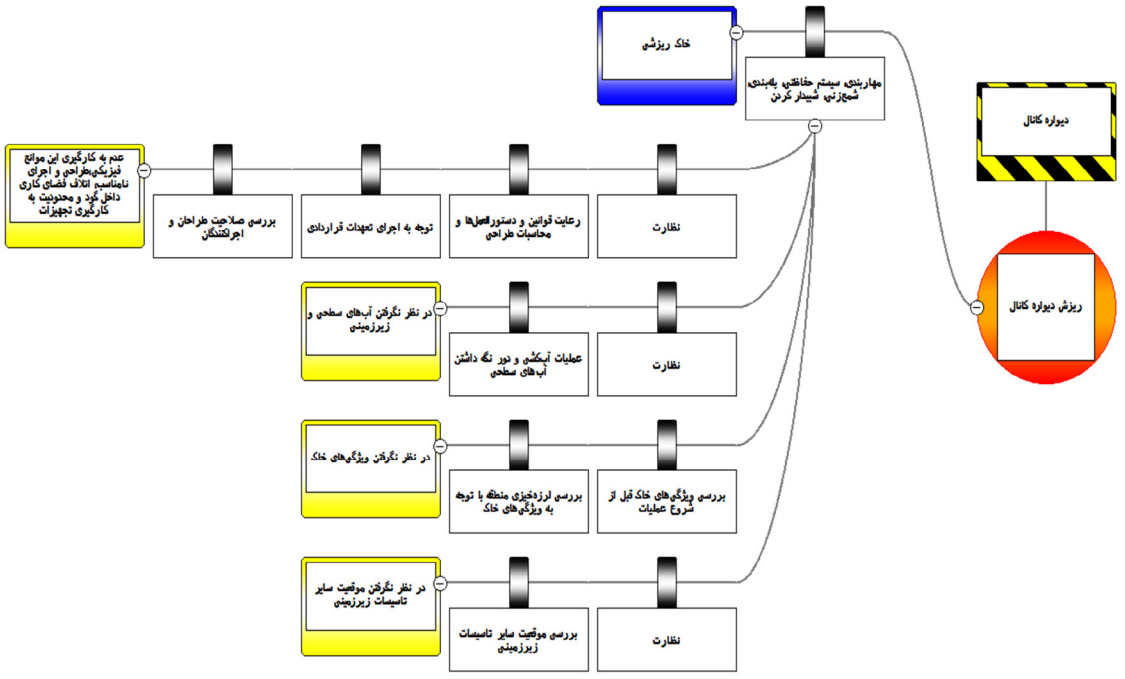
بر اساس ریسک‌فاکتورهای اصلی به دست آمده، جهت تعیین ارتباط بین ریسک‌فاکتورها، پرسشنامه دیمتل فازی طراحی و در اختیار خبرگان قرار داده شد. شکل ۱۹، نمودار تاثیرگذاری و تاثیرپذیری و میزان اهمیت ریسک فاکتورهای شناسایی شده بر اساس مقادیر D+R و D-R را نشان می‌دهد.

بر اساس مقادیر D-R، اثرگذارترین فاکتور، نظارت

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

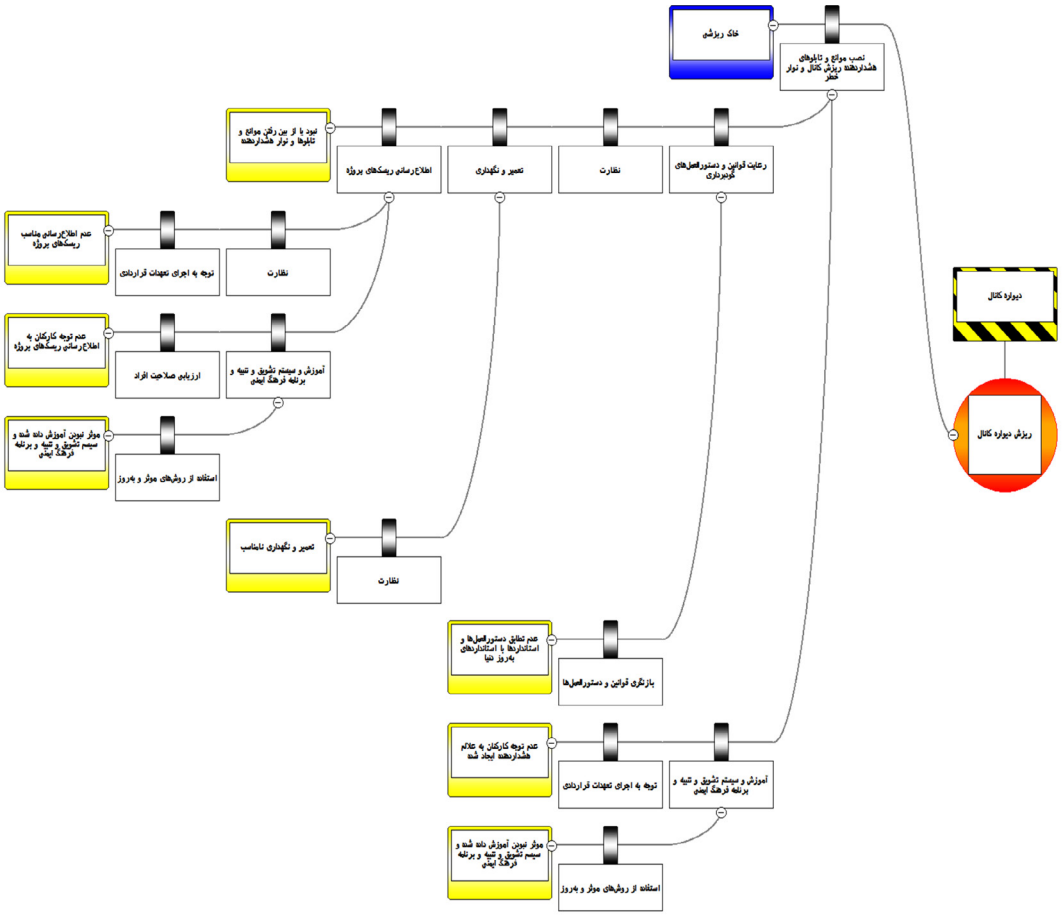


شکل ۳: نمودار Bowtie برای حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

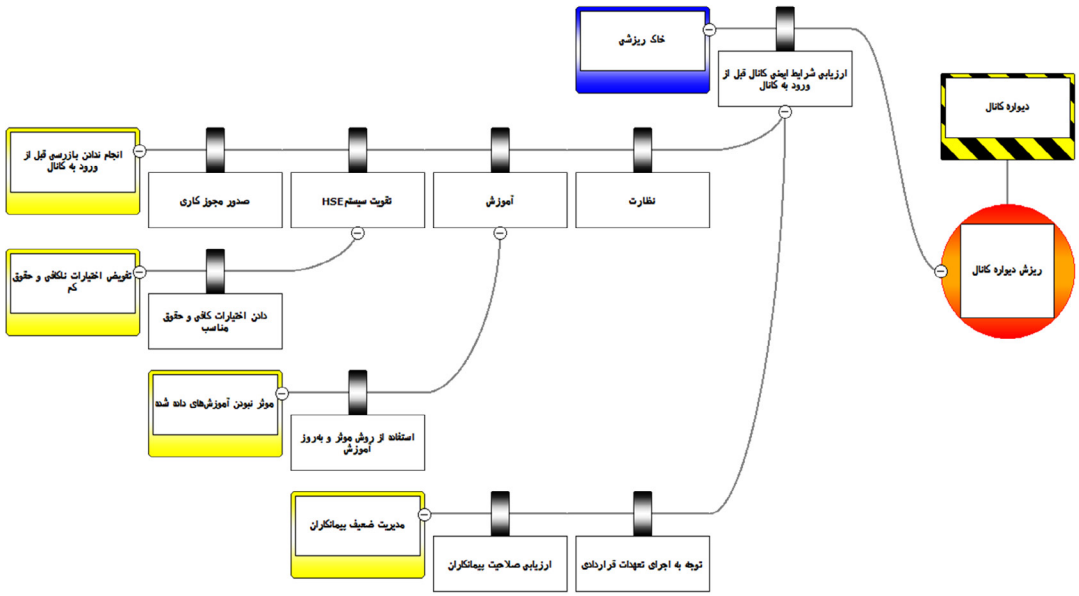


شکل ۴: نمودار Bowtie برای فاکتورهای تشدید کننده سیستم‌های حفاظتی در حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

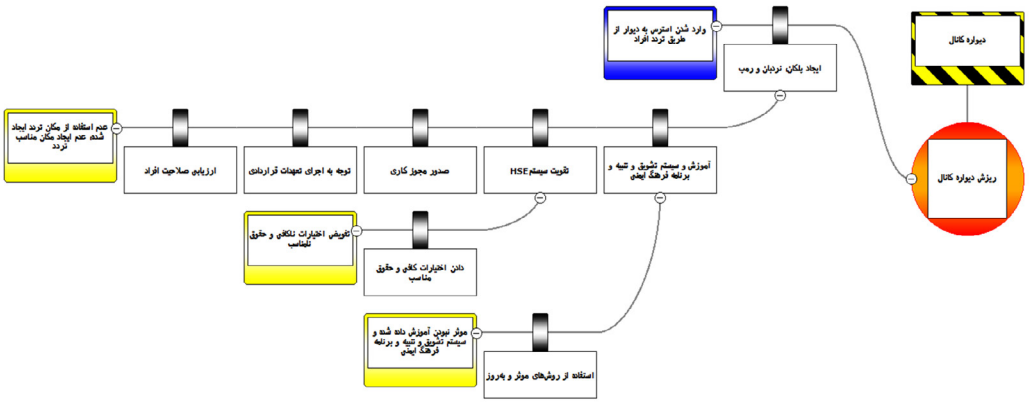


شکل ۵: نمودار Bowtie برای فاکتورهای تشدید کننده نصب علائم و تابلوهای هشداردهنده در حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

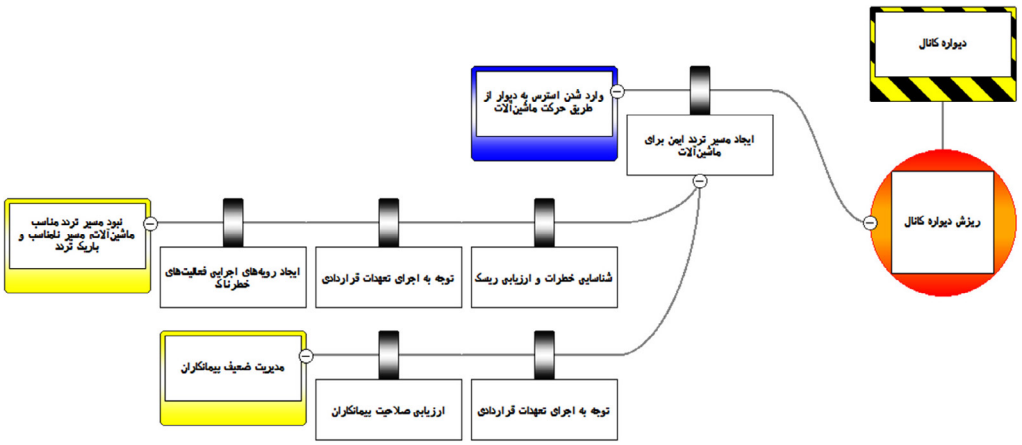


شکل ۶: نمودار Bowtie برای فاکتورهای تشدید کننده ارزیابی شرایط ایمنی کانال قبل از ورود به کانال در حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

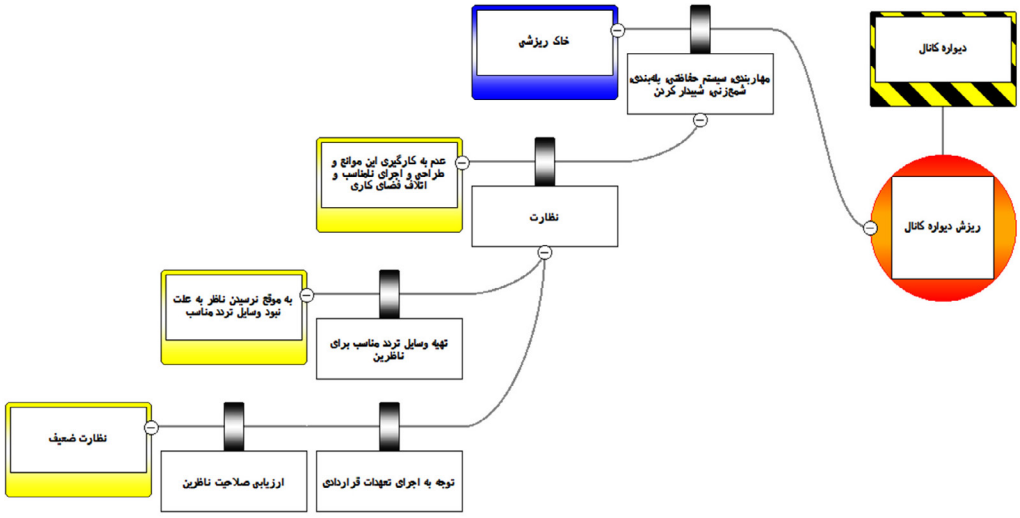
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]



شکل ۷: نمودار Bowtie برای فاکتورهای تشدید کننده ایجاد پلکان، نردبان و رمپ در حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

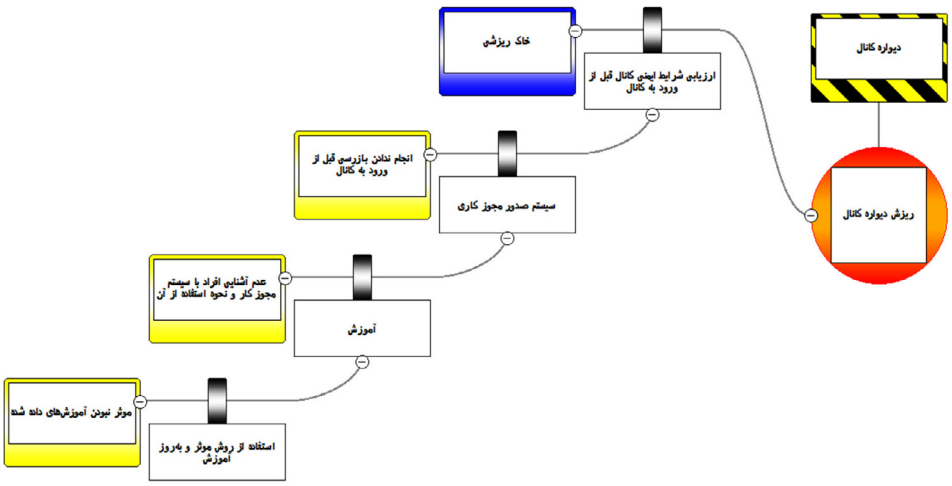


شکل ۸: نمودار Bowtie برای فاکتورهای تشدید کننده ایجاد مسیر تردد ایمن برای ماشین‌آلات در حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

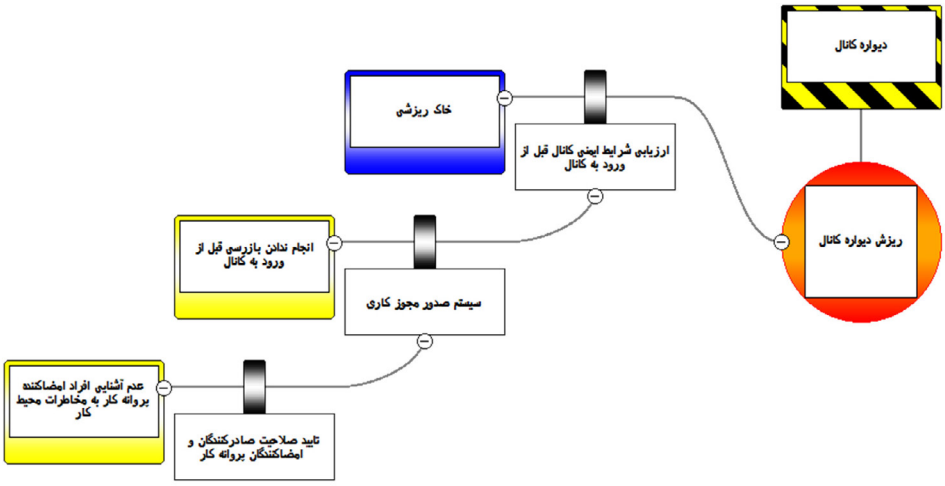


شکل ۹: نمودار Bowtie برای فاکتورهای تشدید کننده نظارت در حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

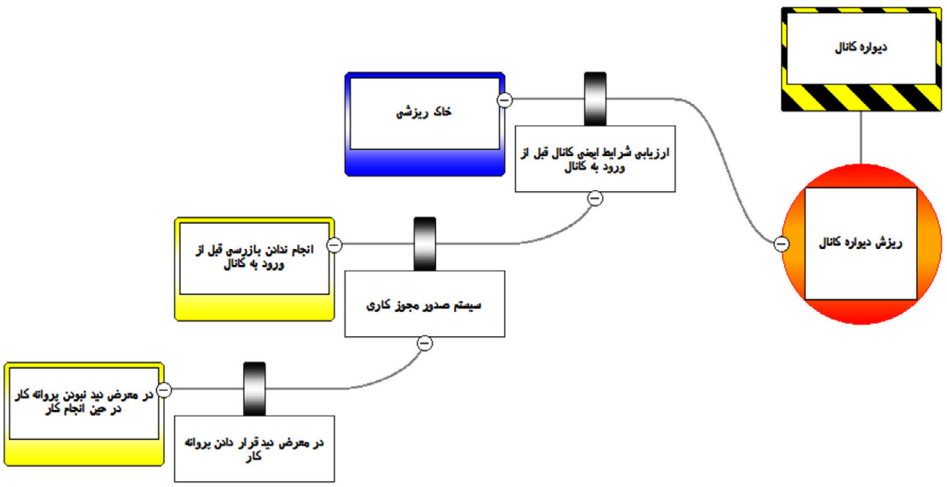
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]



شکل ۱۰: نمودار Bowtie برای فاکتور تشدید کننده سیستم صدور مجوز کاری در حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

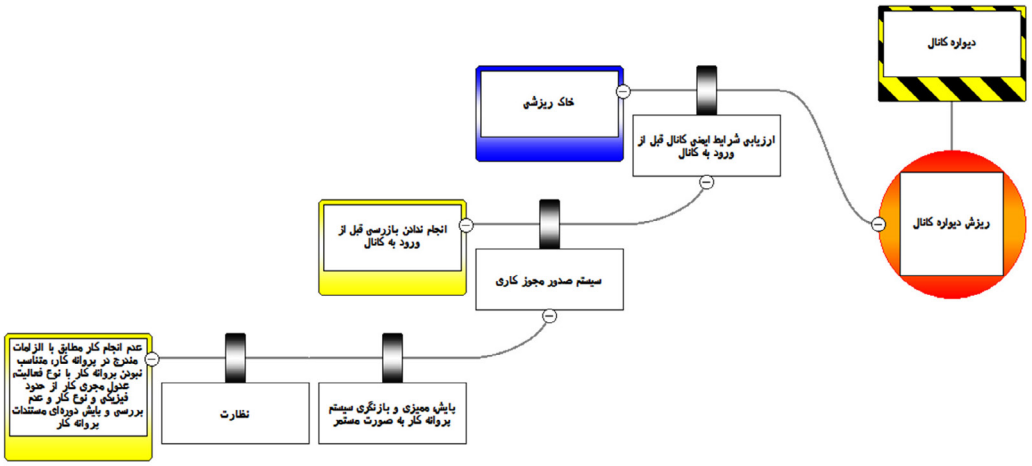


شکل ۱۱: نمودار Bowtie برای فاکتور تشدید کننده سیستم صدور مجوز کاری در حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

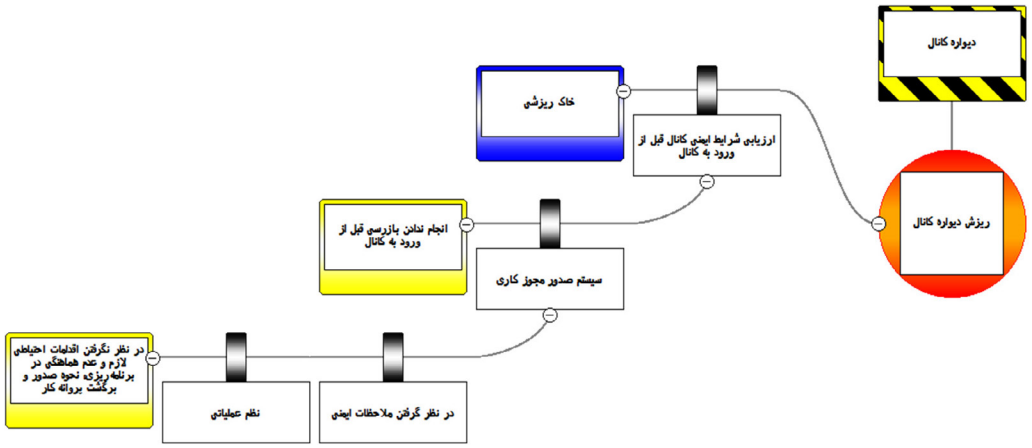


شکل ۱۲: نمودار Bowtie برای فاکتور تشدید کننده سیستم صدور مجوز کاری در حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

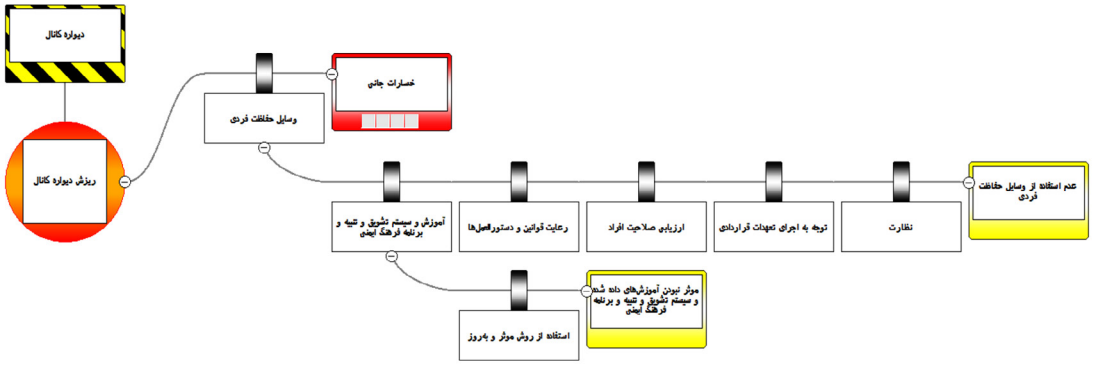
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]



شکل ۱۳: نمودار Bowtie برای فاکتور تشدید کننده سیستم صدور مجوز کاری در حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

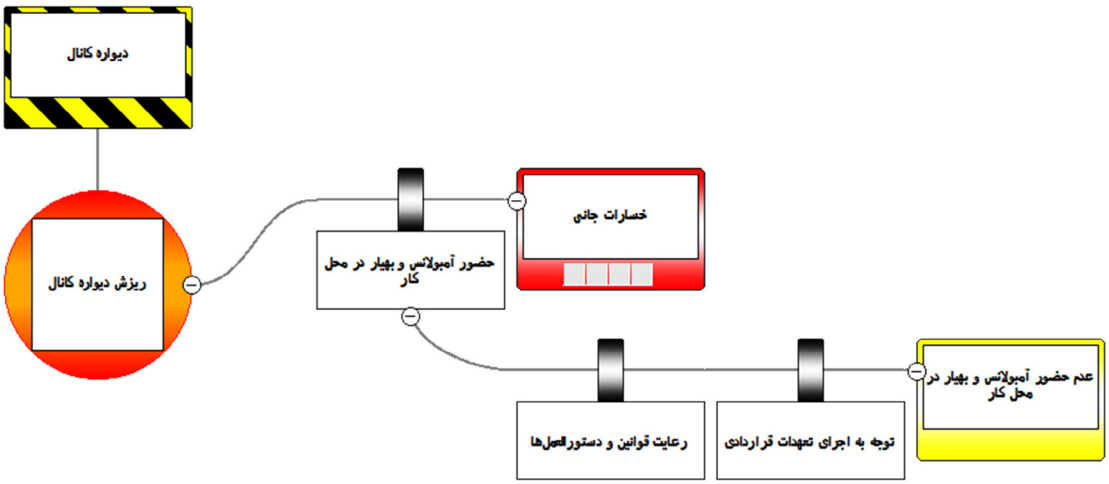


شکل ۱۴: نمودار Bowtie برای فاکتور تشدید کننده سیستم صدور مجوز کاری در حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

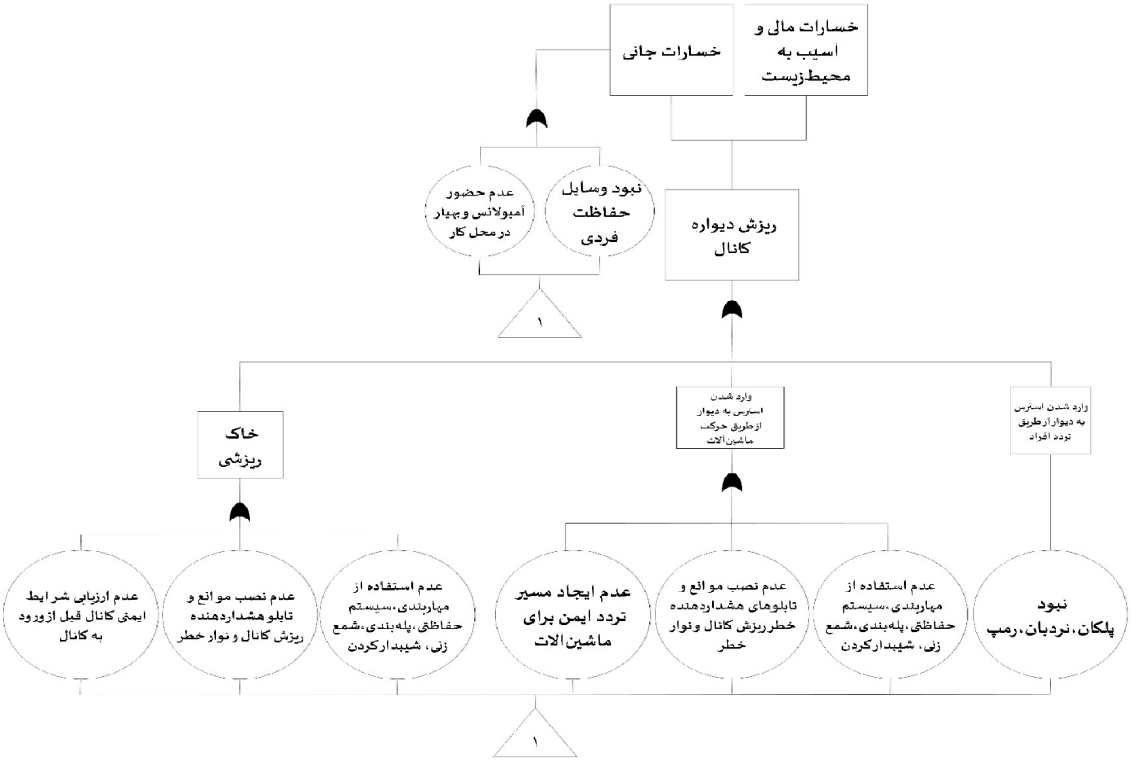


شکل ۱۵: نمودار Bowtie برای فاکتور تشدید کننده وسایل حفاظت فردی در حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

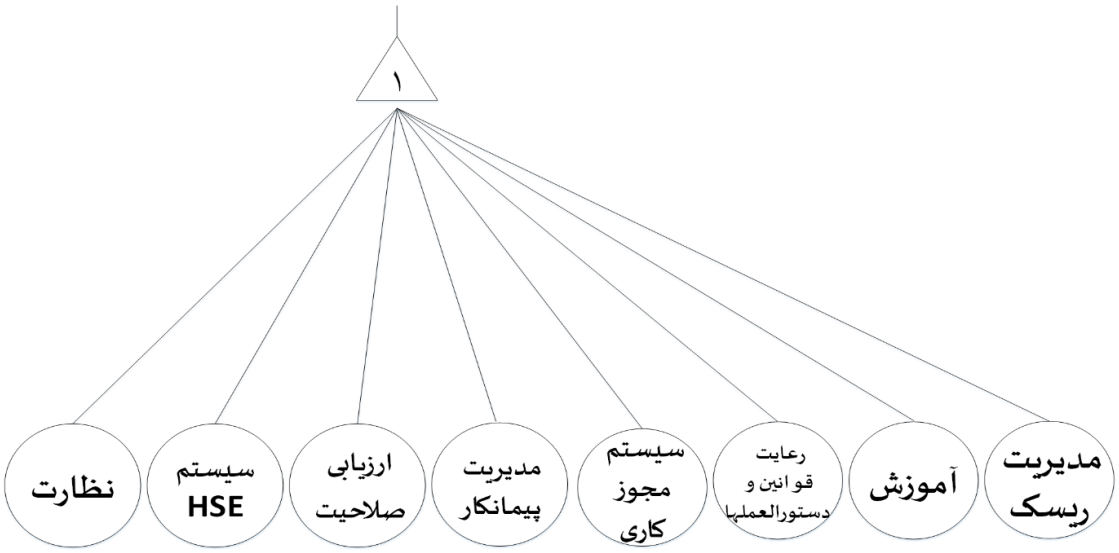


شکل ۱۶: نمودار Bowtie برای فاکتور تشدید کننده حضور آمبولانس و بهیار در محل کار در حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز



شکل ۱۷: نمودار Bowtie کمی شده با استفاده از دروازه "و" و "یا" برای حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]



شکل ۱۸: ریسک فاکتورهای موثر پایه در وقوع حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

و اثرپذیرترین فاکتور، سیستم مجوز کاری و بر اساس مقادیر D+R، مهم‌ترین فاکتور موثر، سیستم HSE می‌باشد. ارتباط بین ریسک فاکتورها در روش دیمتل فازی، مطابق جدول ۶، به دست آمد.

بر اساس نتایج به دست‌آمده از روش دیمتل فازی، جهت مقایسه زوجی ریسک‌فاکتورها، پرسشنامه AHP فازی، طراحی شد. ۲۰ نفر خبره به پرسشنامه‌ها پاسخ دادند. نظرات خبرگانی که نرخ ناسازگاری[1] بالای ۱۰٪ داشتند، حذف و در نهایت ۱۵ پرسشنامه AHP به دست آمد. اکسل آنالیز AHP، برای کل ریسک‌فاکتورها و تک‌تک آن‌ها، تشکیل شد. نتایج آنالیز AHP، مطابق جدول ۷ می‌باشد.

مطابق با جدول ۷، در بین کل ریسک‌فاکتورهای موثر در حوادث ریزش دیواره کانال، مدیریت ریسک با وزن ۱۶٪، دارای بیشترین وزن و مدیریت پیمانکار با وزن ۸٪، دارای کمترین وزن می‌باشد. میزان نرخ ناسازگاری برای کل ریسک‌فاکتورها، برابر با ۱/۱ ٪ می‌باشد. خروجی روش‌های دیمتل فازی و AHP فازی، وارد شبکه بیزین شد. نرم‌افزار Netica، به این منظور استفاده شد. ریسک‌فاکتورهای مربوطه در شبکه بیزین، به گره Combined effect متصل شده و گره Combined effect، وارد شبکه Neticaی دوم شده و به بقیه گره‌ها متصل گردید. شکل ۲۰ و ۲۱، شبکه بیزین ایجادشده برای گره Combined effect و نتایج را نشان می‌دهد. جهت ایجاد جداول احتمال شرطی و ارتباط بین گره‌ها، از فرمول‌نویسی استفاده شد. گره‌های ریشه‌ای، به صورت ۵ حالت (State)، شامل حالت‌های خیلی ضعیف (Very weak)، ضعیف (Weak)، متوسط (Avg)، خوب (Forceful) و خیلی خوب (Intense)، تعریف شدند. گره‌های موانع، نتایج و علل میانی، به صورت ۲ حالته، شامل حالت Yes (برای رخ دادن) و حالتNo (برای رخ ندادن)، تعریف شدند.

جهت اعتبارسنجی مدل ایجادشده، ۵ حادثه‌ی ریزش دیواره کانال، وارد شبکه نتیکای به دست آمده شدند. جدول ۸، نتایج اعتبارسنجی مدل را برای ۵ حادثه ریزش دیواره کانال، نشان می‌دهد. جهت افزایش دقت در مقادیر به‌دست‌آمده برای گره نتایج و ریزش دیواره کانال، جداول احتمال شرطی ریسک‌فاکتورها، با سه مقدار انحراف معیار ۰/۵، ۰/۸ و ۱۰ تعریف شدند (۲۷).

1. Consistency ratio

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

جدول ۵: علل ریشه‌ای حوادث ریزش دیواره کانال و مفاهیم دربرگیرنده آن‌ها

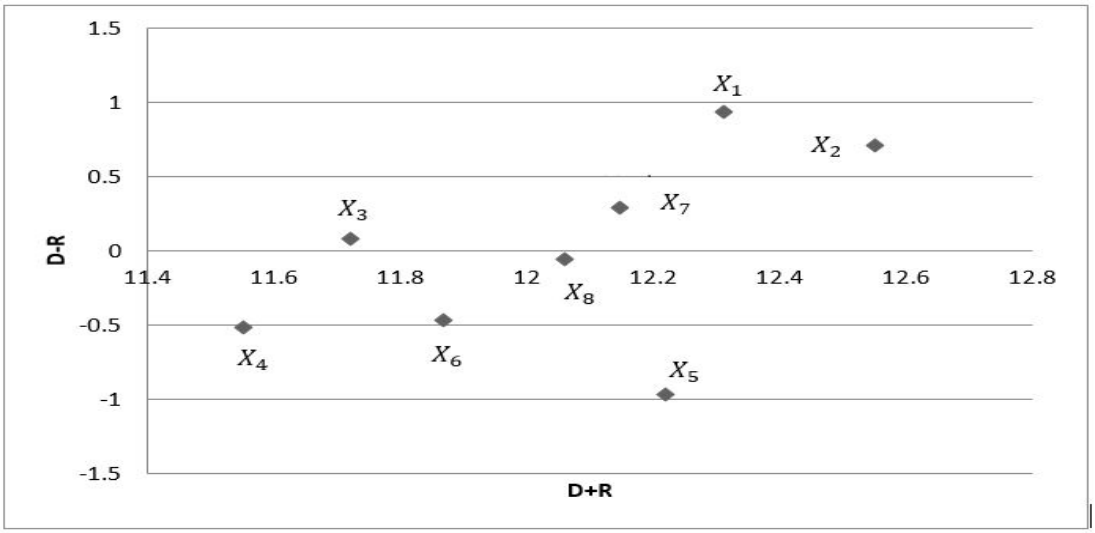
علل ریشه‌ای	مفاهیم دربرگیرنده
نظارت	• وجود وسایل تردد مناسب برای ناظرین • نظارت کافی و موثر • ارزیابی صلاحیت ناظرین • اصلاح انحرافات قابل ملاحظه و تعیین میزان اهمیت آن‌ها • شناسایی و ریشه‌یابی دقیق مشکلات و موانع • تعیین استانداردهای عملکرد برای اهداف برنامه‌ریزی شده • طراحی سیستم بازخور نمودن اطلاعات • مقایسه عملکرد واقعی با استانداردهای از پیش تعیین شده • اطمینان از این که همه‌ی منابع سازمان به شیوه‌ای موثر و با حداکثر کارایی ممکن در جهت دستیابی به اهداف، مورد استفاده قرار می‌گیرند. • بازدید و مراقبت از طرز پیشرفت عملیات در مقایسه با وضع مطلوب • افزایش انگیزش افراد در فعالیت‌ها • کنترل موثر هزینه‌ها • تلاش برای بالا بردن سطح کارآیی • کنترل مسائل با در نظر گرفتن نقاط ضعف و نقاط قوت • تعیین معیارهای دقیق و عینی برای نظارت توسط سازمان‌های نظارتی • تلاش برای ایجاد فرهنگ خودکنترلی (هدف از خودکنترلی ایجاد حالتی در درون فرد است که او را بدون اعمال نظارت خارجی، به انجام درست وظایف متمایل می‌سازد)
سیستم HSE	• درک خط‌مشی و اهداف صنعت، اطلاع‌رسانی خط‌مشی و اهداف ایمنی و بهداشت شغلی و زیست‌محیطی به کارگران، اطلاع‌رسانی و افزایش آگاهی به کارکنان در خصوص مسائل ایمنی و بهداشت شغلی و محیط‌زیست، طرح‌ریزی و اجرای اقدامات لازم جهت رعایت الزامات ایمنی، بهداشت شغلی و محیط‌زیست مشخص‌شده توسط کارفرما در پروژه. • به‌روزآوری الزامات ایمنی، بهداشت شغلی و محیط‌زیست و اطلاع‌رسانی الزامات قانونی ایمنی و زیست‌محیطی به کلیه کارکنان. • صدور Work Permitبرای فعالیت‌های مخاطره‌آمیز. • همکاری در شناسایی ریسک‌ها و جنبه‌های زیست‌محیطی فعالیت‌های سازمان با همکاری سایر بخش‌ها • ارزیابی ریسک‌ها و جنبه‌های زیست‌محیطی قبل از اجرای تغییرات در سازمان. • همکاری در ارزیابی اولیه و انتخاب پیمانکاران از نظر مسائل ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست • همکاری در تدوین مسئولیت‌ها و اختیارات کارکنان با مدیریت ارشد جهت لحاظ نمودن موضوعات ایمنی، بهداشت شغلی و محیط زیست. • آماده‌سازی مستندات ایمنی، بهداشت شغلی و محیط زیست برای فعالیت‌های پیمانکاران و اعلام به آن‌ها. • نظارت بر اجرای بازدیدهای ادواری ایمنی و بهداشت شغلی و زیست‌محیطی مسئولین HSE از واحدهای مختلف. • ثبت عدم انطباق‌های شناسایی‌شده در قالب اقدام اصلاحی یا اقدام پیشگیرانه و پیگیری انجام اقدامات مشخص‌شده. • تعیین تکلیف عدم انطباق‌های شناسایی‌شده با نظرات مدیریت ارشد • شناسایی و تعیین مکان‌های امن با همکاری مدیریت ساختمان / نگهداری و تعمیرات. • همکاری در تدوین نقشه‌های جانمایی خروج اضطراری و محل‌های امن. • ثبت حوادث و شبه حوادث و گزارش حوادث / شبه حوادث و تحلیل آن‌ها. • شناسایی شرایط بالقوه واکنش در شرایط اضطراری و طرح‌ریزی سناریو برای واکنش با شرایط بالقوه اضطراری. • برنامه‌ریزی برگزاری مانورهای واکنش در شرایط اضطراری با هماهنگی با مدیریت ارشد. • ارزیابی مانور واکنش در شرایط اضطراری و بازنگری طرح‌های واکنش در شرایط اضطراری با توجه نتایج ارزیابی‌ها. • برنامه‌ریزی جهت مستندسازی مانورهای واکنش در شرایط اضطراری. • طرح‌ریزی واکنش در شرایط اضطراری و راه‌های خروج در شرایط اضطراری و اطلاع‌رسانی آن به کلیه ذی‌نفعان. • برخوردهای انضباطی با کارکنان و پیمانکاران در صورت عدم رعایت مسائل ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست • تهیه تجهیزات اطفاء حریق به تعداد کافی و برنامه‌ریزی جهت شارژ مجدد آن‌ها در صورت نیاز • برنامه‌ریزی جهت اخذ تأییدیه‌های ایمنی برای ماشین‌آلات از شرکت‌های بازرسی یا مراکز ذی‌صلاح.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

ادامه جدول ۵: علل ریشه‌ای حوادث ریزش دیواره کانال و مفاهیم دربرگیرنده آن‌ها

علل ریشه‌ای	مفاهیم دربرگیرنده
	• شناسایی مواد شیمیایی مورداستفاده در سازمان و تهیه برگه اطلاعات مواد شیمیاییMSDS • بررسی وضعیت موجودی جعبه کمک اولیه و هماهنگی جهت به‌روز نمودن وسایل جعبه کمک‌های اولیه. • شناسایی منابع موردنیاز جهت اجرای پروژه با رعایت مسائل ایمنی، بهداشت شغلی و محیط‌زیست شامل تجهیزات ایمنی و بهداشت شغلی، نیروی انسانی و.... • تدوین اطلاعات خرید تجهیزات ایمنی و بهداشت شغلی شامل PPE، تابلوهای ایمنی و.... • درخواست خرید تجهیزات ایمنی و بهداشت شغلی و محیط زیست. • برنامه‌ریزی جهت انجام معاینات ادواری پزشکی کارکنان. • برنامه‌ریزی جهت تفکیک زباله از مبدأ در واحدهای اداری و عملیاتی. • نظارت بر فعالیت‌های پیمانکاران در خصوص موضوعات ایمنی، بهداشت شغلی و محیط زیستی. • برنامه‌ریزی و برگزاری جلسات آموزشی ایمنی و بهداشت شغلی برای کارکنان و پیمانکاران با هماهنگی واحد آموزش. • تدوین برنامه برای شناسایی عوامل زیان‌آور محیط کار (عوامل فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی، بیولوژیکی ارگونومیکی) • برنامه‌ریزی جهت اندازه‌گیری آلاینده‌های محیط کار و ثبت و نگهداری نتایج. • اندازه‌گیری شاخص‌های عملکردی سیستم مدیریت HSE به‌صورت دوره‌ای و گزارش به مدیریت. • پایش و اندازه‌گیری عملکرد سیستم مدیریت HSE از طریق چک‌لیست‌های پایش و اندازه‌گیری فعالیت‌ها. • ارتباط با سازمان‌های ذی‌صلاح در خصوص مسائل ایمنی، بهداشت شغلی و محیط‌زیست. • همکاری با سایر مدیران جهت جمع‌آوری ورودی بازنگری مدیریت سیستم مدیریتHSE • پیگیری مصوبات بازنگری مدیریت سیستم مدیریت HSE • تهیه گزارش از مسائل ایمنی، بهداشت شغلی و محیط‌زیست و ارائه به مدیریت ارشد. • درخواست تغییر / ایجاد مستندات و ارسال آن به بخش کنترل مدارک یا تضمین کیفیت. • نگهداری سوابق ایمنی، بهداشت شغلی و محیط‌زیست • تعیین نیازهای آموزشی و اعلام به مسئول مافوق. • انجام سایر وظایف محوله از سوی مدیرعامل.
سیستم مجوز کاری	• توافق در خصوص نحوه ایمن انجام کار (قبل از شروع کار) • انجام پیش‌نیازهای توافق شده (قبل از شروع کار) • تایید انجام پیش‌نیازها و صدور مجوز (قبل از شروع کار) • نظارت بر انجام کار و تکمیل فرم مجوز (در حین انجام کار) • بستن مجوز (پس از پایان کار)
ارزیابی صلاحیت	• ارزیابی صلاحیت همه کارکنان • ارزیابی پیمانکاران
مدیریت ریسک	• تحلیل، ارزیابی و کنترل ریسک • مستندسازی تصمیمات نهایی اتخاذ شده • شناسایی و به‌کارگیری معیارهایی جهت رساندن ریسک به سطح قابل‌قبول
مدیریت پیمانکار	• کنترل و نظارت بر قراردادهای پیمانکاری • درخواست اولیه ومذاکره و تهیه و تصویب و اجرای قرارداد • مدیریت تعهدات • اصلاحات در پروژه • حسابرسی و گزارش‌های دوره‌ای و ارسال آن برای کارفرما
رعایت قوانین و دستورالعمل‌ها	• به‌روز بودن قوانین و دستورالعمل‌ها • اطمینان از رعایت کامل قوانین و مقررات
آموزش	• آموزش همه مفاهیم ایمنی و دستورالعمل‌های لازم به صورت دوره‌ای • اطمینان از موثر و کافی بودن آموزش‌های داده شده

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]



شکل ۱۹: تاثیرگذاری و تاثیرپذیری و میزان اهمیت ریسک فاکتورهای شناسایی شده بر اساس مقادیر D+R و D-R

جدول ۶: ارتباط بین ریسک فاکتورهای شناسایی شده برای حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

ریسک فاکتورها	نظارت	سیستم HSE	ارزیابی صلاحیت	مدیریت پیمانکار	سیستم مجوز کاری	رعایت قوانین و دستورالعمل‌ها	آموزش	مدیریت ریسک
نظارت	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
سیستم HSE	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
ارزیابی صلاحیت	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰
مدیریت پیمانکار	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰
سیستم مجوز کاری	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
رعایت قوانین و دستورالعمل‌ها	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰
آموزش	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱
مدیریت ریسک	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰

انحراف معیار ۰/۵، اثر مداخلات را بهتر و محسوس‌تر نشان می‌دهد و به عنوان انحراف معیار مطالعه انتخاب شد.

اعتبارسنجی مدل، نشان داد که مدل از اعتبار خوبی برخوردار بوده و برای شناسایی علل و مدل‌سازی حوادث ریزش دیواره کانال، مناسب است.

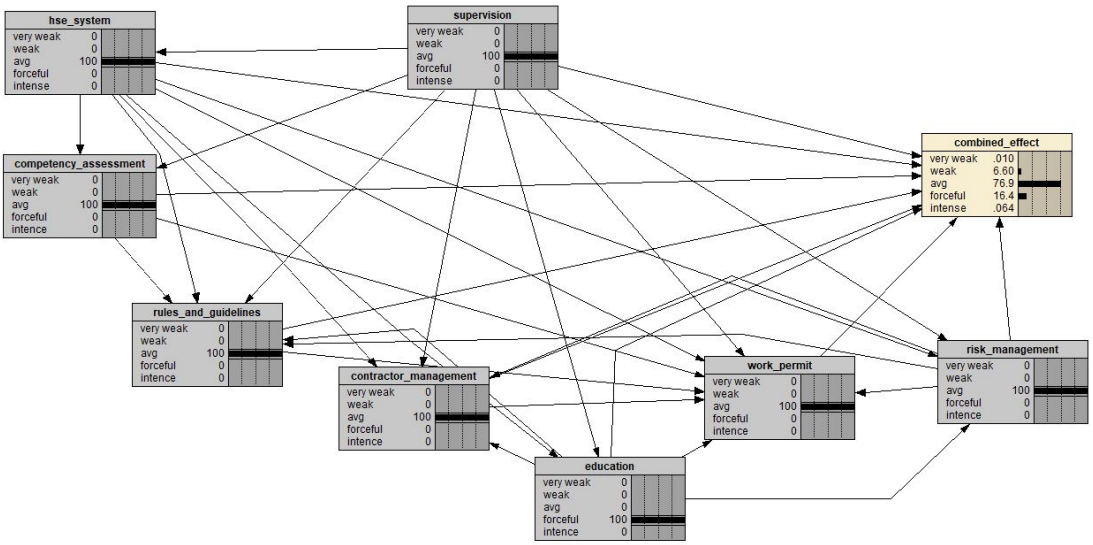
بحث

مدیریت و ارزیابی ریسک در صنایع نفت و گاز، با توجه به ماهیت خطرآفرین این صنایع و ارزش‌های بالای

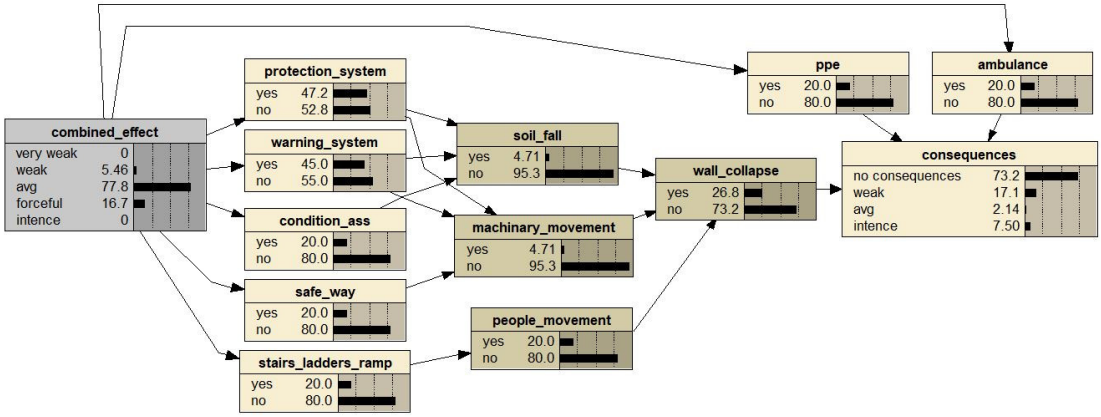
[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

جدول ۷: نتایج آنالیز AHP فازی برای ریسک فاکتورهای موثر بر حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز

ریسک فاکتورها	درصد وزنی	رتبه‌بندی
نظارت	۱۳/۸	۳
سیستم HSE	۹/۵	۷
ارزیابی صلاحیت	۱۴/۲	۲
مدیریت پیمانکار	۸	۸
سیستم مجوز کاری	۱۳/۷	۴
رعایت قوانین و دستورالعمل‌ها	۱۳/۴	۵
آموزش	۱۱/۴	۶
مدیریت ریسک	۱۶	۱



شکل ۲۰: شبکه بیزین ایجاد شده برای گره Combined effect



شکل ۲۱: شبکه بیزین ایجاد شده برای گره نتایج

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

جدول ۸: نتایج اعتبارسنجی مدل برای ۵ حادثه ریزش دیواره کانال

حوادث	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	CE					ریزش دیواره کانال		نتایج			
									Vw	W	Avg	F	I	Yes	No	No	W	Avg	I
۱	vw	vw	avg	vw	vw	vw	vw	vw	۷۰/۲	۲۹/۶	۰/۲۳	۰	۰	۹۹/۸	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۱	۹۸/۷
۲	vw	vw	f	vw	vw	vw	avg	vw	۳۰/۲	۶۷/۱	۲/۷۴	۰	۰	۹۸/۴	۱/۵۶	۱/۵۶	۰/۶۳	۲/۱۵	۹۵/۷
۳	w	w	vw	vw	vw	vw	f	vw	۳۵/۲	۶۲/۷	۲/۰۴	۰	۰	۹۸/۵	۱/۵	۱/۵۱	۰/۶۱	۲/۰۴	۹۵/۸
۴	vw	f	vw	vw	vw	vw	w	vw	۵۷/۴	۴۲	۰/۵۶	۰	۰	۹۹/۷	۰/۳	۰/۳۱	۰/۱۵	۱/۳۴	۹۸/۲
۵	vw	vw	vw	vw	vw	vw	vw	vw	۸۸/۱	۱۱/۹	۰	۰	۰	۹۹/۹	۰/۱	۰/۰۸۶	۰/۰۴۳	۰/۵۴	۹۹/۳

سرمایه‌ای موجود در آن‌ها، از اهمیت بالایی برخوردار است. از آن‌جایی که وقوع حوادث در این صنایع، موجب ایجاد آسیب و خسارت به تولید، نیروی انسانی، تجهیزات و مواد و محیط‌زیست و در نتیجه از بین رفتن بخش بزرگی از سرمایه‌های ملی می‌شود، شناسایی و ارزیابی ریسک، اولین گام در توسعه ایمنی و بهداشت در صنایع فرآیندی خواهد بود. مطالعه حاضر، به منظور شناسایی و مدل‌سازی علل حوادث ریزش دیواره کانال در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز، با استفاده از شبکه بیزین و دیمتل فازی، انجام شد. فاکتورهای موثر ریسک شناخته شده به صورت جامع در هشت فاکتور اصلی نظارت، سیستم HSE، ارزیابی صلاحیت، مدیریت پیمانکار، سیستم مجوز کاری، رعایت قوانین و دستورالعمل‌ها، آموزش و مدیریت ریسک خلاصه شدند. بر اساس نتایج روش AHP فازی، بیشترین وزن، مربوط به فاکتور مدیریت ریسک و کمترین وزن، مربوط به فاکتور مدیریت پیمانکار می‌باشد. بر اساس مقادیر D+R و D-R، اثرگذارترین فاکتور، فاکتور نظارت و اثرپذیرترین فاکتور، فاکتور سیستم مجوز کاری می‌باشد و فاکتور سیستم HSE، دارای اهمیت بالاتری می‌باشد. نتایج روش‌های دیمتل فازی و AHP فازی، وارد ساختار شبکه بیزین شده و مدل نهایی بیزین شکل گرفت. بر اساس فرضیات مطالعه، فاکتورهای موثر ریسک دسته‌بندی شده و نتایج این دسته‌بندی نشان می‌دهد که عوامل اصلی ریسک، بیشتر در گروه عوامل سازمانی و آموزش قرار می‌گیرند. بنابراین جهت پیشگیری از وقوع حوادث در عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز، توجه به این دسته عوامل دارای اهمیت بیشتری می‌باشد. بسیاری از خطرات مرتبط با گودبرداری و حفاری شامل افتادن افراد در اطراف یا داخل یا کانال گودبرداری شده، ریزش مواد یا خاک بر روی افرادی که در ناحیه گودبرداری یا داخل کانال کار می‌کنند، تجهیزات زیرزمینی مانند سیم‌های برق و لوله‌های آب، گاز سمی یا قابل اشتعال، احتراق و انفجار، آسیب یا فروریختن احتمالی سازه‌های مجاور، سطوح ناهموار یا جابجایی نادرست مواد در ناحیه گودبرداری، و لغزش روی تجهیزات یا سایر منابع می‌باشد (۲۸).

احمدی و همکاران نیز در مقاله خود برای تجزیه و تحلیل حوادث صنایع نفت و گاز (۲۰۱۶-۲۰۰۵)، از روش Tripod Beta استفاده کرده و با استفاده از مدل پنیر سوئیسی و تجزیه و تحلیل نتایج حوادث، آن را اصلاح کردند. حوادث انفجار، حوادثی که به علت محدود بودن فضا رخ دادند، حوادث گودبرداری، آتش‌سوزی، برخورد با تجهیزات، سقوط از ارتفاع، حوادث مربوط به جریان برق، آزاد شدن فشار، پارگی خط لوله و گرفتار شدن در زیر یا مابین تجهیزات، مورد بررسی قرار گرفتند. علل ریشه‌ای این حوادث، در دو گروه عوامل فردی (نداشتن تجربه و مهارت (۴۳/۲٪)، آموزش و دانش ناکافی (۳۹/۲٪)، خطا و اشتباه و وقفه در کار (۱۷/۶٪) و فاکتورهای نظارتی (نظارت ناکافی (۳۷/۶٪))، ارائه شدند (۲۹).

در صنایع آهن و فولاد میزان شیوع صدمات ناشی از کار، ۳۳/۳٪ در سال بود و علل رایج این صدمات، شکستن و پرتاب شدن اشیاء و تجهیزات (۱۶/۴٪)، ضربه بر اثر سقوط اشیاء و تجهیزات (۱۳/۷٪)، ماشین‌آلات (۱۲/۶٪)،

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

ابزار دستی (۱۰/۹٪)، تماس با فلز داغ (۱۰/۹٪)، برخورد با تجهیزات (۹/۳٪)، مواد شیمیایی (۸/۲٪)، لغزیدن و سقوط نوارها (۸/۲٪)، بلند کردن اجسام سنگین و کار تکراری (۵/۵٪)، جریان برق (۲/۷٪) و آتش‌سوزی و انفجار (۱/۶٪)، تشخیص داده شد (۳۰).

در مطالعه کیم و همکاران نیز، جهت تعیین کمیت خطر عملیات گودبرداری، فاکتورهای انسانی، شرایط محیط کار و عملکرد تجهیزات و مواد، وزن‌دهی شدند. فاکتورهای انسانی شامل نگرش افراد به مسائل ایمنی (با وزن۰/۱۸۶)، مهارت و آموزش (با وزن ۰/۱۰۷) و ارتباطات (با وزن ۰/۰۴۵)، در مجموع وزن ۰/۳۳۹ را به خود اختصاص دادند. شرایط محیط کار شامل عملیات مرتبط با خاک (با وزن ۰/۲۸) و تسهیلات و سازه‌های مجاور (با وزن ۰/۱)، در مجموع وزن ۰/۳۷۹را به خود اختصاص دادند. عملکرد تجهیزات و مواد نیز وزن ۰/۲۸۲ را به خود اختصاص دادند (۳۱).

شهریار و همکاران، در مقاله خود با استفاده از روش کمی Bowtie، به بررسی علل حوادث خطوط لوله گاز و نفت پرداخته‌اند. شکستگی و سوراخ شدن، دو علل شناخته شده در نمودار Bowtie بودند که با دروازه "یا" به هم مرتبط شدند (۳۲).

مدیریت ریسک، باید معیارها و عواملی را که می‌تواند برای کاهش ریسک به سطوح قابل قبول مورد استفاده قرار گیرد، شناسایی کند. در مطالعات دیگر، مدیریت ریسک به عنوان یک عامل مهم در ارزیابی ریسک ذکر شده است. به عنوان مثال، در مطالعه سودا و همکاران، مدیریت ریسک به عنوان یک عامل مهم در انجام پروژه‌ها ذکر شده است (۳۳). یکی دیگر از عوامل شناسایی شده در این مطالعه، ارزیابی صلاحیت است. در مطالعات دیگر مانند مطالعه اقبال و همکاران، نبود مسئولین یا پیمانکاران باتجربه از نظر کیفیت و مهارت‌های مدیریتی و همچنین عدم تعریف روشنی از اختیارات و نظم و انضباط، مدیریت ناکارآمد پروژه و مسئولیت‌های مدیریتی، عوامل کلیدی در نتایج پروژه هستند (۳۴). نظارت، از عوامل مهم دیگر در وقوع حوادث خطوط لوله گاز است. در مطالعات دیگر نیز مدیریت و نظارت در شرکت‌های تولیدی بسیار پیچیده است و نیروی انسانی به عنوان دارایی‌های مهم سازمان‌ها شناخته شده است. در درون سازمان‌ها، نیاز به نظارت وجود دارد (۳۵). در مطالعات دیگر، مانند مطالعه Reddy و همکاران، سیستم مجوز کاری به عنوان یک عامل مهم در ارزیابی ریسک صنایع ارائه شده است. سیستم مجوز کاری، به طور گسترده‌ای برای اطمینان از ایمنی در طول فعالیت‌های تعمیر و نگهداری و یا ساخت و ساز در اکثر صنایع در سراسر جهان ایجاد می‌شود (۳۶). رعایت قوانین و دستورالعمل‌ها، به عنوان یکی دیگر از عوامل مهم خطر در این مطالعه شناسایی شد. در مطالعات دیگری مانند مطالعه هاپکینز و همکاران، مدیریت ریسک و رعایت قوانین ذکر شده، به عنوان عوامل مهمی برای ارتقای ایمنی در صنایع خطرناک در نظر گرفته شده‌اند (۳۷). سیستم HSE، به عنوان عامل مهم ارتقای ایمنی در صنایع، باید الزامات و سیاست‌های سازمان مسئول اجرای فرآیند مناقصه را در نظر بگیرد (۳۸). در مطالعه‌ای که توسط L Kraidi و همکاران انجام شد، سیستم HSE و انطباق با قوانین و دستورالعمل‌ها، به عنوان سومین و چهارمین عامل خطر بحرانی مرتبط با پروژه‌های خط لوله نفت و گاز در عراق شناسایی شدند (۳۹). همان‌گونه که آموزش به عنوان یک عامل مهم در ارزیابی ریسک خطوط لوله گاز در این مطالعه معرفی شد، در بسیاری از مطالعات دیگر نیز این موضوع ذکر شده است. مطالعه‌ای که توسط Guo و همکارانش انجام شد، آموزش را به عنوان یک عامل مهم در حمل و نقل خط لوله نفت و گاز شناسایی کرد (۴۰). وانگ و دوان نیز از این عامل به عنوان عاملی مؤثر در ارزیابی خطوط لوله نفت و گاز یاد می‌کنند (۴۱). سریواستاوا و گوپتا، آموزش را به عنوان یکی از عوامل موثر در ارزیابی ریسک صنایع گاز و نفت بررسی کردند (۴۲). در مطالعات دیگر، مانند مطالعه Schramm و همکاران، برای بهبود ایمنی و حفظ محیط زیست، مدیریت پیمانکاران/تامین‌کنندگان مورد نیاز است (۴۳).

از محدودیت‌های این مطالعه، می‌توان گزارش ناقص

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

برخی از حوادث و نبود اطلاعات کافی درباره آن‌ها را نام برد.

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این مطالعه، حوادث ناشی از ریزش دیواره کانال در حین گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز، پیامدهای جدی به همراه دارد. در این مطالعه، یک مدل بیزی برای تحلیل حوادث ریزش دیواره کانال در حین عملیات گودبرداری و لوله‌گذاری خطوط لوله گاز توسعه داده شده است که می‌توان از آن برای پیش‌بینی و پیشگیری از مسائل مرتبط و همچنین تعیین سطح اقدامات اصلاحی موردنیاز و اولویت‌بندی عوامل مورد نظر برای اصلاح و بررسی استفاده کرد. از ریسک فاکتورهای شناسایی شده در این مطالعه، می‌توان برای ارزیابی ریسک فعالیت‌های مرتبط استفاده کرد.

REFERENCES

1. Hämäläinen P, Takala J, Kiat TB. Global estimates of occupational accidents and work-related illnesses 2017. World. 2017 Sep;2017:3-4.
2. Hämäläinen P, Takala J, Saarela KL. Global estimates of occupational accidents. Saf Sci. 2006 Feb 1;44(2):137-56.
3. Wadsworth EJ, Simpson SA, Moss SC, Smith AP. The Bristol Stress and Health Study: accidents, minor injuries and cognitive failures at work. Occup Med. 2003 Sep 1;53(6):392-7.
4. Flin R, Mearns K, O'Connor P, Bryden R. Measuring safety climate: identifying the common features. Saf Sci. 2000 Feb 1;34(1-3):177-92.
5. Akbari ME, Naghavi M, Soori H. Epidemiology of deaths from injuries in the Islamic Republic of Iran. EMHJ-East Mediterr Health J. 2006. 12 (3-4), 382-390.
6. Attwood D, Khan F, Veitch B. Can we predict occupational accident frequency?. Process Saf Environ Prot. 2006 May. 1;84(3):208-21.
7. Naghavi-Konjin Z, Mortazavi SB, Asilian-Mahabadi H, Hajizadeh E. Ranking the occupational incident contributory factors: A Bayesian network model for the petroleum industry. Process Saf Environ Prot. 2020 May. 1;137:352-7.
8. Irizarry J, Abraham DM, Wirahadikusumah RD, Arboleda C. Analysis of Safety Issues in Trenching Operations. In10th Annual Symposium on Construction Innovation and Global Competitiveness 2002 Sep 9.
9. Arboleda CA, Abraham DM. Fatalities in trenching operations—analysis using models of accident causation. J Constr Eng Manag. 2004 Apr;130(2):273-80.
10. He S, Xu H, Zhang J, Xue P. Risk assessment of oil and gas pipelines hot work based on AHP-FCE. Petroleum. 2023 Mar 1;9(1):94-100.
11. Majid ZA, Mohsin R, Yaacob Z, Hassan Z. Failure analysis of natural gas pipes. Eng Fail Anal. 2010 Jun 1;17(4):818-37.
12. Lu H, Xi D, Qin G. Environmental risk of oil pipeline accidents. Sci Total Environ. 2023 May 20;874:162386.
13. Karmaker CL, Al Aziz R, Palit T, Bari AM. Analyzing supply chain risk factors in the small and medium enterprises under fuzzy environment: Implications towards sustainability for emerging economies. Sustainable Technology and Entrepreneurship. 2023 Jan 1;2(1):100032.
14. Shannon HS, Mayr J, Haines T. Overview of the relationship between organizational and workplace factors and injury rates. Saf Sci. 1997;26(3):201-17.
15. Ahmadi O, Mortazavi SB, Mahabadi HA, Hosseinpouri M. Development of a dynamic quantitative risk assessment methodology using fuzzy DEMATEL-BN and leading indicators. Process Saf Environ Prot. 2020;142:15-44.
16. Pasman H, Rogers W. Bayesian networks make LOPA more effective, QRA more transparent and flexible, and thus safety more definable!. J Loss Prev Process Ind. 2013;26(3):434-42.
17. Hovden J, Albrechtsen E, Herrera IA. Is there a need for new theories, models and approaches to occupational accident prevention?. Saf Sci. 2010;48(8):950-6.
18. Mohaghegh Z, Kazemi R, Mosleh A. Incorporating organizational factors into Probabilistic Risk Assessment (PRA) of complex socio-technical systems: A hybrid technique formalization. Reliab Eng Syst Saf.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]

2009;94(5):1000-18.
19. Weber P, Medina-Oliva G, Simon C, Iung B. Overview on Bayesian networks applications for dependability, risk analysis and maintenance areas. Eng Appl Artif Intell. 2012;25(4):671-82.
20. Khakzad N, Khan F, Amyotte P. Dynamic safety analysis of process systems by mapping bow-tie into Bayesian network. Process Saf Environ Prot. 2013 Jan 1;91(1-2):46-53.
21. Yu Q, Hou L, Li Y, Chai C, Yang K, Liu J. Pipeline failure assessment based on fuzzy Bayesian network and AHP. J Pipeline Syst Eng Pract. 2023 Feb 1;14(1):04022059.
22. Renjith VR, Madhu G, Nayagam VL, Bhasi AB. Two-dimensional fuzzy fault tree analysis for chlorine release from a chlor-alkali industry using expert elicitation. J Hazard Mater. 2010 Nov 15;183(1-3):103-10.
23. Clemen RT, Winkler RL. Combining probability distributions from experts in risk analysis. Risk Anal. 1999 Apr;19:187-203.
24. Wang W, He X, Li Y, Shuai J. Risk analysis on corrosion of submarine oil and gas pipelines based on hybrid Bayesian network. Ocean Eng. 2022 Sep 15;260:111957.
25. Rodriguez JD, Perez A, Lozano JA. Sensitivity analysis of k-fold cross validation in prediction error estimation. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell. 2009 Dec 1;32(3):569-75.
26. Zarei E, Azadeh A, Khakzad N, Aliabadi MM, Mohammadfam I. Dynamic safety assessment of natural gas stations using Bayesian network. J Hazard Mater. 2017 Jan 5;321:830-40.
27. Røed W, Mosleh A, Vinnem JE, Aven T. On the use of the hybrid causal logic method in offshore risk analysis. Reliab Eng Syst Saf. 2009 Feb 1;94(2):445-55.
28. Rampuri S. Excavation & Trenching work Safety: A Review. International Journal of Institution of Safety. 2019;2(2):6-9.
29. Ahmadi O, Mortazavi SB, Asilian Mahabadi H. Application and modification of the Tripod Beta method for analyzing the causes of oil and gas industry accidents. Int J of Occup Saf Ergon. 2021 Jul 3;27(3):928-37.
30. Kifle M, Engdaw D, Alemu K, Sharma HR, Amsalu S, Feleke A, Worku W. Work related injuries and associated risk factors among iron and steel industries workers in Addis Ababa, Ethiopia. Saf Sci. 2014 Mar 1;63:211-6.
31. Kim DI, Yoo WS, Cho H, Kang KI. A fuzzy AHP-based decision support model for quantifying failure risk of excavation work. KSCE Journal of Civil Engineering. 2014 Nov;18:1966-76.
32. 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 May 1;25(3):505-23.
33. Suda KA, Rani NS, Rahman HA, Chen W. A review on risks and project risks management: oil and gas industry. Int J Sci Eng Res. 2015;6(8):938-43.
34. Iqbal MI, Isaac O, Al Rajawy I, Khuthbuddin S, Ameen A. Hazard identification and risk assessment with controls (Hirac) in oil industry–A proposed approach. Materials Today: Proceedings. 2021 Jan 1;44:4898-902.
35. Jamshidi MH, Rasli A, Yusof R. Essential competencies for the supervisors of oil and gas industrial companies. Procedia Soc and Behav Sci. 2012 Jan 1;40:368-74.
36. Reddy V, Reddy I. Study of electronic work permit system in oil and gas industry–Kuwait. IJISET–Int J Innov Sci Eng Technol. 2015 Apr;2(4).
37. Hopkins A. Risk-management and rule-compliance: Decision-making in hazardous industries. Saf Sci. 2011 Feb 1;49(2):110-20.
38. Haddad AN, da Costa BB, de Andrade LS, Hammad A, Soares CA. Application of fuzzy-TOPSIS method in supporting supplier selection with focus on HSE criteria: A case study in the oil and gas industry. Infrastructures. 2021 Jul 28;6(8):105.
39. Kraidi L, Shah R, Matipa W, Borthwick F. Analyzing the critical risk factors associated with oil and gas pipeline projects in Iraq. International Journal of Critical Infrastructure Protection. 2019 Mar 1;24:14-22.
40. Guo Y, Meng X, Wang D, Meng T, Liu S, He R. Comprehensive risk evaluation of long-distance oil and gas transportation pipelines using a fuzzy Petri net model. J Nat Gas Sci Eng. 2016 Jul 1;33:18-29.
41. Wang X, Duan Q. Improved AHP–TOPSIS model for the comprehensive risk evaluation of oil and gas pipelines. Pet Sci. 2019 Dec;16(6):1479-92.
42. Srivastava A, Gupta JP. New methodologies for security risk assessment of oil and gas industry. Process Saf Environ Prot. 2010 Nov 1;88(6):407-12.
43. Schramm C, Meißner A, Weidinger G. Contracting strategies in the oil and gas industry. Pipeline Technology. 2010;2010(Special Edition):33-6.

[Downloaded from journals.tums.ac.ir on 2026-03-27]