JOHE
Journal of Occupational Hygiene Engineering
J Occup Hyg Eng, 2025; 11(4): 298-310 Doi: 10.32592/joohe.11.4.298
https://johe.umsha.ac.ir
UMSHA Press

Original Article

# Risk Modeling of a Gas Industry Distribution Process using Bayesian Networks

Kambiz MohammadPour[1], Mohadeseh Nadershahi[2*]

1. Department of Industrial Engineering, Kermanshah Jahad Daneshgahi Institute of Higher Education, Kermanshah, Iran
2. Department of Industrial Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran

**Article history:**
**Received:** 14 February 2025
**Revised:** 19 April 2025
**Accepted:** 21 April 2025
**ePublished:** 28 April 2025

***Corresponding author:** Mohadeseh Nadershahi, Department of Industrial Engineering, Payam Noor University, Tehran, Iran

E-mail: m.nadershi@pnu.ac.ir

## Abstract

**Background and Objective:** Safety issues of natural gas pipelines have become an important issue in recent years. In this regard, risk analysis of gas pipelines has received attention, and approaches related to the identification and determination of risks of natural gas pipelines, especially the assessment and quantitative analysis of gas pipeline risks, have become an important issue. Therefore, the present study aimed to model the risks of the gas industry distribution process using Bayesian networks.

**Materials and Methods:** This study was applied in terms of purpose and mixed-method in terms of data collection and analysis methods. The statistical population of the research consisted of experts and specialists of the Kermanshah Province Gas Company in Iran. Purposive sampling was used to select 30 participants. The required data were collected in the qualitative part using semi-structured individual interviews and in the quantitative part using a questionnaire. The thematic analysis method was used for qualitative data analysis and the Bayesian networks method was used for quantitative data analysis.

**Results:** Results of qualitative data analysis indicated that the risks in a gas industry distribution process can be classified and studied in three general categories, namely risks due to human error (consisting of 20 risks), organizational risks (including 11 risks), and technical risks (consisting of 4 risks). The results of sensitivity analysis also showed that gas pressure gauge, connections, quality of maintenance staff, filters, and maintenance strategy have the greatest impact on reliability, in that order.

**Conclusion:** Performance of a complex technological system depends on the interaction of technical, human, organizational, social, and environmental factors. The present study provided an integrated framework for the assessment of the potential reliability and risk in gas distribution units by considering technical, human, and organizational criteria.

**Keywords:** Bayesian networks, Gas industry, Modeling, Risk management

**Please cite this article as follows:** MohammadPour K, Nadershahi M. Risk modeling of a gas industry distribution process using Bayesian networks. J Occup Hyg Eng. 2025; 11(4): 298-310. DOI: 10.32592/joohe.11.4.298

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-06 ]

[ DOI: 10.53208/JOHE.11.4.298 ]

**Copyright** © 2024 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

## Extended Abstract

### Background and Objective

Natural gas pipeline transportation is one of the most common and important methods of energy transportation in the world. Although it offers advantages, it also faces serious safety challenges. Pipeline leaks can cause accidents, such as explosions, poisoning, and asphyxiation, which are caused by poor maintenance, management, and geological conditions. Therefore, risk analysis in this area is essential to prevent catastrophic consequences. With the increasing awareness of hazards, risk analysis has become one of the main concerns of managers in this industry. In engineering, risk is usually defined in probabilistic and numerical terms; however, in sociological approaches, perceptual and subjective aspects are also considered. Hanson has provided five main definitions of risk, which show its different dimensions in conditions of uncertainty. Since the 1960s, with the growth of technology, risk modeling and management have expanded. Risk analysis approaches include: risk acceptance, risk-benefit analysis, risk perception, risk communication, and public trust. In the energy sector, many studies have been conducted that focus on investment risk, power plant location, and quantitative risk assessment. Traditional risk assessment methods have limited effectiveness due to their static nature and inability to incorporate new information. In contrast, Bayesian networks are new tools that enable dynamic modeling, causal analysis, and the combination of quantitative and qualitative variables. This method can be very effective, especially in conditions of uncertainty. With this background in mind, this study aimed to provide a comprehensive model for risk analysis in the gas distribution process and simultaneously examine and manage technical, human, and organizational risks using Bayesian networks.

### Materials and Methods

This applied study utilized the mixed research approach. The statistical population includes experts from Kermanshah Gas Company, 30 of whom were selected through purposive sampling. The inclusion criteria were having a university degree, relevant experience, familiarity with gas distribution, and willingness to participate in the study. Qualitative data were collected through semi-structured interviews that lasted an average of 70 minutes. The interview questions had three parts: demographic characteristics, specialized questions about the risks of the gas distribution process, and supplementary questions for further understanding. Qualitative data analysis was performed using the content analysis method. Quantitative data were collected through a questionnaire based on the results of the qualitative section and analyzed using the Bayesian networks method. Bayesian networks include directed graphs and conditional probability distribution tables. These networks model conditional relationships among variables and provide dynamic analysis by updating probabilities based on new data. Building a Bayesian network has three stages: identifying variables and their states, determining relationships and graphical structure, and evaluating initial and conditional probabilities. Bayesian networks are considered effective tools in risk analysis due to their reduced computational complexity and ability to handle multi-state variables. This study aimed to present a comprehensive model for analyzing organizational, human, and technical risks of the gas distribution process using Bayesian networks.

### Results

From the interviews, phrases related to the research objective were extracted, coded, and initial themes were identified. Subsequently, by merging similar themes, a set of non-repetitive basic themes was extracted. These themes were categorized into three components of human, organizational, and technical risks. In order to build a Bayesian network, the relationships among variables were determined by examining technical maps, historical data, and interviews with experts. In nodes with a parent, the probability of each child state, given the parent states, was estimated using weighted functions (WMean, WMax, WMin, and MixMinMax) and the TNormal distribution, the mean and variance of the functions of which represent expert uncertainty. The proposed model was analyzed in the Agena Risk software. To evaluate the model, three scenarios were implemented: a) Considering the node to be appropriate for the task in the high state, which increased reliability by 4%; b) Available program in the high state, which improved reliability by 24%; and c) Silent connections in the high state, which increased reliability by 28%. Sensitivity analysis showed that gas pressure gauges, dead connections, quality of maintenance personnel, filters, and maintenance strategy have the greatest impact on reliability. This study, using Bayesian network modeling, enables quantitative analysis of human, organizational, and technical risks, as well as the assessment of scenarios for improving the gas distribution process.

### Discussion

The performance of a complex technological system depends on the interaction of technical, human, organizational, social, and environmental factors. In this study, an integrated framework for assessing the potential reliability and risk in gas distribution units was presented, taking into account technical, human, and organizational criteria. The findings of the study showed that the risks in the gas distribution process can be classified into three categories: human, organizational, and technical. Although some studies have examined technical risks, they have not paid attention to human risks, and some have analyzed only organizational risks. Most previous studies have had a quantitative approach and have not included the views of experts in the risk analysis. In this study, in addition to key distribution devices, human forces were considered to cover the main risk-causing factors, as well as human and organizational errors, and modeling was performed using Bayesian networks. A systematic research approach was adopted, and the relationships among variables were

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-06 ]

[ DOI: 10.53208/JOHE.11.4.298 ]

extracted from the views of experts. Bayesian networks, as a machine learning method, provide the ability to analyze the impact of uncertain variables and causal relationships, simultaneously examine qualitative and quantitative variables, and perform sensitivity analysis in conditions of insufficient data, and can analyze the uncertainty of repair and maintenance models.

## Conclusion

The introduced conceptual framework is considered an improvement, compared to common risk assessment methods since it covers different modules for a comprehensive definition of risk, including uncertainties, causes, historical data, and interactions of variables; enables integrated risk modeling at human, organizational, and technical layers; is easily combined with other models, such as fault trees; and provides quantitative and qualitative risk analysis and quantification of conditional probabilities along with the definition of continuous and discrete qualitative and quantitative variables.

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-06 ]

[ DOI: 10.53208/JOHE.11.4.298 ]

JOHE
مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای
دوره ۱۱، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، صفحات: ۳۱۰-۲۹۸
https://johe.umsha.ac.ir
UMSHA Press

مقاله اصلی

# مدل‌سازی ریسک‌های یک فرایند توزیع صنعت گاز با استفاده از شبکه‌های بیزین

کامبیز محمدپور[۱]، محدثه نادرشاهی[۲*]

۱. گروه مهندسی صنایع، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
۲. گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

**تاریخ دریافت مقاله:** ۱۴۰۳/۱۰/۲۵
**تاریخ ویرایش مقاله:** ۱۴۰۴/۰۱/۳۰
**تاریخ پذیرش مقاله:** ۱۴۰۴/۰۲/۰۱
**تاریخ انتشار مقاله:** ۱۴۰۴/۰۲/۰۸

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* **نویسنده مسئول:** محدثه نادرشاهی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

ایمیل: m.nadershi@pnu.ac.ir

## چکیده

**سابقه و هدف:** مسائل ایمنی خطوط لوله انتقال گاز طبیعی در سال‌های اخیر به موضوعی مهم تبدیل شده است. به همین دلیل، تجزیه‌وتحلیل ریسک خطوط لوله گاز مورد توجه قرار گرفته و رویکردهای مربوط به شناسایی و تعیین ریسک‌های خطوط لوله گاز طبیعی به‌ویژه ارزیابی و تجزیه‌وتحلیل کمّی ریسک خطوط لوله گاز، به موضوعی مهم تبدیل شده است. ازاین‌رو، این مطالعه با هدف مدل‌سازی ریسک‌های فرایند توزیع صنعت گاز با استفاده از شبکه‌های بیزین انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** این مطالعه، به لحاظ هدف کاربردی است و با توجه به روش گردآوری و تحلیل داده‌ها در دسته مطالعات آمیخته قرار می‌گیرد. جامعه آماری پژوهش را خبرگان و کارشناسان شرکت گاز استان کرمانشاه تشکیل می‌دهند که در این میان، سی نفر به روش نمونه‌گیری هدفمند برای مشارکت در پژوهش انتخاب شدند. داده‌های موردنیاز در بخش کیفی با استفاده از مصاحبه انفرادی نیمه‌ساختاریافته و در بخش کمّی با استفاده از پرسش‌نامه گردآوری شد. برای تحلیل داده‌ها در بخش کیفی روش تحلیل مضمون و در بخش کمّی روش شبکه‌های بیزین استفاده شده است.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از تحلیل داده‌های کیفی گویای این است که ریسک‌های موجود در فرایند توزیع صنعت گاز می‌توانند در قالب سه دسته کلی یعنی ریسک‌های ناشی از خطای انسانی (متشکل از بیست ریسک)، ریسک‌های سازمانی (شامل یازده ریسک) و ریسک‌های فنی (متشکل از چهار ریسک) دسته‌بندی و مطالعه شوند. همچنین نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که فشارسنج گاز، اتصالات، کیفیت کارکنان تعمیر و نگه‌داری، فیلترها و استراتژی تعمیرات، به‌ترتیب بیشترین تأثیر را بر قابلیت اطمینان دارند.

**نتیجه‌گیری:** عملکرد یک سیستم پیچیده تکنولوژیک وابسته به تعامل عوامل فنی، انسانی، سازمانی، اجتماعی و محیطی است. در این تحقیق، چهارچوبی یک‌پارچه برای ارزیابی قابلیت اطمینان احتمالی و ریسک در واحدهای توزیع گاز با در نظر گرفتن معیارهای فنی، انسانی و سازمانی فراهم شد.

**واژگان کلیدی:** مدل‌سازی، شبکه‌های بیزین، ریسک، مدیریت ریسک، صنعت گاز

**استناد:** محمدپور، کامبیز؛ نادرشاهی، محدثه. مدل‌سازی ریسک‌های یک فرایند توزیع صنعت گاز با استفاده از شبکه‌های بیزین. مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای، زمستان ۱۴۰۳؛۱۱(۴): ۳۱۰-۲۹۸

## مقدمه

حمل‌ونقل با خط لوله یکی از روش‌های مهم انتقال گاز طبیعی در سراسر جهان است. خطوط لوله گاز طبیعی، حمل‌ونقل انرژی بین‌المللی و داخلی را ارتقا می‌دهد و موجب توسعه صنعتی می‌شود. بااین‌حال، مسائل ایمنی مرتبط با خطوط لوله گاز طبیعی همچنان چالش‌برانگیز است و توجه بسیاری را در سال‌های گذشته به خود جلب کرده است [۱].

اگرچه حمل‌ونقل خط لوله در مقایسه با حمل‌ونقل جاده‌ای دارای نرخ کمتری از تصادفات نشتی است، حوادث نشت خط لوله باعث تلفات بیشتری نسبت به حمل‌ونقل جاده‌ای می‌شود [۲]. به‌دلیل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی گاز طبیعی و نیز ویژگی‌های خطوط لوله، وقتی خطوط لوله دچار نقص و شکستگی می‌شوند، حوادث و خرابی‌های زیادی به وجود

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-06 ]

[ DOI: 10.53208/JOHE.11.4.298 ]

می‌آیند. بازرسی و نگه‌داری ناکافی تجهیزات حمل‌ونقل، مدیریت ضعیف پرسنل و تأثیر مخاطرات زمین‌شناسی شهری منجر به نشت خط لوله گاز طبیعی می‌شود و ممکن است باعث بروز حوادث ثانویه (مسمومیت، خفگی، آتش‌سوزی و انفجار) شود و درنتیجه عواقب فاجعه‌باری ایجاد کند [۳].

ازاین‌رو، مطالعه و تحلیل ریسک‌های موجود در فرایند توزیع و انتقال گاز از طریق خطوط لوله، یکی از اقدامات مهم در راستای کاهش مخاطرات موجود دراین‌باره است [۴]. بررسی‌ها نیز نشان داده است در سال‌های اخیر، مسئولان بیش‌ازپیش به مسائل ایمنی خطوط لوله انتقال گاز طبیعی آگاه شده‌اند. به همین دلیل، آنان به تجزیه‌وتحلیل ریسک خطوط لوله گاز پرداخته‌اند و شناسایی و تحلیل ریسک‌های خطوط لوله گاز طبیعی، به یکی از مشغولیت‌های مهم ذهنی آنان تبدیل شده است [۵].

تعریف ریسک در شاخه‌های مختلف مهندسی متفاوت است و این موضوع، بیانگر اولویت‌ها و دغدغه‌های متفاوت در مدیریت آن است [۶]. تعریف کلاسیک ریسک در نظریه تصمیم، به تغییرات در تابع توزیع احتمالی پیامدها، شانس وقوع آن‌ها و ارزش ذهنی این پیامدها اشاره دارد. این تعریف از ریسک تعریفی خنثی است؛ چراکه ریسک را به توزیع احتمالی دستاوردها در دو بعد سود و زیان مرتبط می‌سازد [۷]. رویکرد مهندسی و مدیریتی به ریسک با تکیه‌بر نظریه تصمیم نیز بر اندازه‌گیری ریسک از طریق تابع توزیع احتمالات تمرکز دارد؛ درحالی‌که رویکرد جامعه‌شناسی و انسان‌شناسی به مقوله ریسک به‌دنبال به چالش کشیدن نگاه ریاضی به ریسک است [۸]. هانسون [۶] پس از مرور معانی ریسک در حوزه‌های مختلف، پنج دسته اصلی از این تعاریف را از یکدیگر متمایز می‌کند که عبارت‌اند از: رخدادی ناخواسته که ممکن است به وقوع بپیوندد یا نپیوندد؛ علت رخدادی ناخواسته که ممکن است به وقوع بپیوندد یا نپیوندد؛ احتمال رخدادی ناخواسته که به وقوع بپیوندد یا نپیوندد؛ ارزش انتظاری آماری رخدادهای ناخواسته که ممکن است به وقوع بپیوندند یا نپیوندند؛ و یک تصمیم در شرایط احتمالی شناخته‌شده؛ به این معنا که احتمالات مربوط به حالات مختلف شناخته‌شده است.

در اواخر دهه ۱۹۶۰ با رشد سریع فناوری، مطالعات درباره ریسک شدت گرفت و سبب شکل‌گیری حوزه‌های مدل‌سازی، ارزیابی، تحلیل و مدیریت ریسک شد. هدف از مدیریت ریسک، حصول اطمینان از به حداقل رسیدن صدمات ناشی از فعالیت‌ها به انسان، محیط‌زیست و دارایی‌هاست. مدیریت ریسک، ایجاد توازن میان درک فرصت‌های سودآور و کمینه‌سازی ضررهاست. فرایند تحلیل ریسک، بخش اصلی مدیریت ریسک محسوب می‌شود و عنصر اصلی آن، ارزیابی ریسک و پاسخ‌گویی به ریسک است [۷].

سابقه تحلیل ریسک در قالب پنج رویکرد عمده خلاصه می‌شود: اولین رویکرد، ریسک پذیرفتنی است. اولین مطالعات درباره تحلیل ریسک به تعیین حدی از ریسک اختصاص داشت که پذیرفتنی باشد و رویه‌ای معمول دراین‌باره، مقایسه ریسک‌های جدید تکنولوژی با ریسک‌های پذیرفتنی در زندگی روزمره بود؛ رویکرد بعدی که حاصل ورود اقتصاددانان به عرصه تحلیل ریسک است، تحلیل ریسک-فایده است. در این رویکرد، ریسک‌ها و فواید فناوری با هم مقایسه می‌شوند. روش استاندارد در این رویکرد، تخصیص ارزش مالی به ریسک‌ها و فواید فناوری به‌منظور فراهم‌سازی امکان مقایسه محاسباتی آن‌هاست [۹]؛ سومین رویکرد در تعامل و ورود روان‌شناسان به عرصه تحلیل ریسک و در اوایل دهه ۱۹۸۰ شکل گرفت و سیر مطالعات آن به ادراک از ریسک اختصاص دارد. در این رویکرد، ریسک‌های حاصل از نظرسنجی از طریق پرسش‌نامه‌ها را ریسک ذهنی، و در مقابل ریسک مبتنی بر احتمالات استخراج‌شده از داده‌های تاریخی را ریسک عینی می‌نامند. تفاوت میان این دو به‌عنوان سوءبرداشت در تخمین ریسک تعریف می‌شود [۷]؛ رویکرد بعدی ارتباطات ریسک نام دارد که هدف آن فراهم کردن اطلاعات برای افراد و کمک به آن‌ها در تحلیل ریسک است. ارتباطات ریسک زمانی موفق است که موجب تنظیم ریسک ذهنی و مطابقت آن با ریسک عینی در افراد شود؛ رویکرد پنجم به مطالعات اعتماد اختصاص دارد و بیانگر تلاش شرکت‌ها و بدنه‌های عمومی برای تغییر دیدگاه عموم به ریسک از طریق معیارهای مختلف ارتباطات ریسک است [۹].

مطالعات بسیاری درباره بررسی و مدیریت ریسک در حوزه انرژی انجام شده است: گاتزرت و مارتین [۱۰]، ریسک‌های رایج و راه‌حل‌های پاسخ به ریسک را در پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر با تمرکز بر پارک‌های بادی خشکی و فراساحلی در بازار اروپا مطالعه کرده‌اند؛ خادم و همکاران [۱۱]، یک تحلیل کمّی ریسک توسط شبیه‌سازی مونت کارلو در یک پروژه تزریق گاز در عمان را ارائه کرده‌اند؛ آنجلوپولوس و همکاران [۱۲] روی عناصر اصلی ریسک سرمایه‌گذاری‌های انرژی تجدیدپذیر در یونان مطالعه، و تأثیر آن‌ها را بر میانگین موزون هزینه سرمایه ارزیابی کرده‌اند؛ وانگ و همکاران [۱۳] یک رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی ترکیبی برای اولویت‌بندی عوامل ریسک پروژه‌های پیمانکاری عملکرد انرژی ارائه کرده‌اند. رویکرد پیشنهادی آنان، هم رابطه متقابل

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-06 ]

[ DOI: 10.53208/JOHE.11.4.298 ]

بین معیارها و هم عقلانیت محدود و روان‌شناسی رفتاری تصمیم‌گیرنده را در نظر می‌گیرد؛ ژو و یانگ [۱۴] عوامل ریسک اصلی در میدان انرژی باد توزیع‌شده را شناسایی، و خطرها را براساس دیدگاه‌های کارشناسان با روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP رتبه‌بندی کرده‌اند؛ کاسیم و همکاران [۱۵] آثار عوامل ریسک خارجی را بر موفقیت پروژه‌های ساخت‌وساز بزرگ نفت و گاز در یمن مطالعه کرده‌اند؛ ایگلی [۱۶] با مطالعه داده‌های قبلی و مصاحبه با چهل سرمایه‌گذار در آلمان، ایتالیا و بریتانیا بر مدیریت ریسک‌های سرمایه‌گذاری برای فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر متمرکز شد. این پژوهشگر پنج نوع مهم ریسک سرمایه‌گذاری (کاهش، قیمت، سیاست، فناوری و منبع) را شناسایی کرد؛ مکرم و ساتیامورتی [۱۷] روش تحلیل سلسله‌مراتبی را برای انتخاب مکان بهینه برای احداث نیروگاه‌های گازی در مناطق نیمه‌خشک توسعه دادند.

از طرفی، چندین روش برای تجزیه‌وتحلیل احتمال رویدادهای ناخواسته و ریسک پروژه شناخته شده است؛ ازجمله آمار کلاسیک، قضاوت متخصص و روش‌های بیزی. در این میان، تکنیک‌های متداول ارزیابی کمّی ریسک به‌دلیل ماهیت ایستا و ناتوانی در ترکیب اطلاعات جدید و شرایط در حال تغییر، که از ویژگی‌های محیطی پویا هستند، از اثربخشی لازم دراین‌باره برخوردار نیستند و کاربرد محدودی دارند؛ درحالی‌که امروزه شبکه‌های بیزی به‌عنوان ابزاری مؤثر برای انجام دادن ارزیابی‌های ریسک به‌صورت پویا از طریق به‌روزرسانی مقادیر احتمال خطای قبلی برای تطبیق اطلاعات جدید در حال ظهورند. شبکه‌های بیزی دارای مزیت اضافی توانایی کنترل متغیرهای چندحالتی و توانایی نشان دادن وابستگی شرطی بین رویدادها هستند [۱۸]. این روش قابلیت فراوانی در بررسی تأثیر متغیرهای نادقیق روی سیستم، تحلیل حساسیت‌های پیچیده روی این متغیرها و تحلیل روابط علّی بین آن‌ها دارد. همچنین امکان بررسی توأم متغیرهای کیفی و کمّی و نیز متغیرهای پیوسته و گسسته در کنار یکدیگر در شرایط عدم وجود داده‌های کافی، از دیگر مزایای این روش است [۴]. بااین‌حال، بررسی پیشینه موضوع نشان می‌دهد در تحقیقات قبلی به جنبه‌های مختلف ریسک به‌طور هم‌زمان پرداخته نشده و عموماً از تکنیک‌های سنتی برای مدل‌سازی ریسک استفاده شده است؛ درحالی‌که روش‌های سنتی ارزیابی ریسک در یک‌پارچه‌سازی ابعاد فردی، سازمانی و اجتماعی در تحلیل ریسک دچار ضعف‌اند و در فرایند ارزیابی و مدل‌سازی ریسک بیشتر به مطالعه ماهیت، علل و احتمال خطای انسانی می‌پردازند و تأثیر سایر عوامل را در نظر نمی‌گیرند [۱۹].

ازاین‌رو، این پژوهش با هدف مدل‌سازی ریسک‌های فرایند توزیع صنعت گاز با استفاده از شبکه‌های بیزین انجام شده است. دراین‌باره به بررسی ریسک‌های سازمانی، انسانی و فنی به‌طور هم‌زمان پرداخته، و از شبکه‌های بیزین برای مدل‌سازی استفاده می‌شود. درنتیجه هدف این پژوهش، ارائه چهارچوبی جامع است که بتواند با استفاده از شبکه‌های بیزین به تحلیل ریسک واحدهای توزیع گاز با در نظر گرفتن ریسک‌های فنی، انسانی و سازمانی بپردازد و بر عدم قطعیت‌ها غلبه کند و درنهایت ادبیات موجود در تحلیل ریسک واحدهای توزیع گاز را بهبود بخشد.

## روش کار

این پژوهش ازنظر هدف، کاربردی است و به لحاظ روش اجرا در دسته پژوهش‌های آمیخته قرار می‌گیرد. جامعه آماری را خبرگان و کارشناسان شرکت گاز کرمانشاه تشکیل می‌دهند، که دراین‌بین، سی نفر با استفاده از روش نمونه‌گیری هدفمند برای مشارکت در پژوهش انتخاب شدند. برای انتخاب مشارکت‌کنندگان در پژوهش نیز معیارهایی مانند برخورداری از تحصیلات دانشگاهی، سابقه فعالیت در صنعت در حوزه مرتبط با موضوع پژوهش، آشنایی با فرایند توزیع گاز و ریسک‌های موجود در این فرایند، علاقه به مشارکت در پژوهش و توانایی انتقال ایده‌ها و تجربه‌ها را در نظر گرفتیم. داده‌های موردنیاز در بخش کیفی نیز از طریق مصاحبه انفرادی نیمه‌ساختاریافته گردآوری شدند و هریک از مصاحبه‌ها به‌صورت میانگین هفتاد دقیقه به طول انجامید. به‌منظور اطمینان از حفظ تمام داده‌ها نیز پس از کسب موافقت شرکت‌کنندگان، تمام مصاحبه‌ها ضبط شد. سؤالات مصاحبه از سه بخش اصلی تشکیل شده است: بخش اول سؤالات شامل اطلاعات جمعیت‌شناختی مشارکت‌کنندکان (سن، میزان تحصیلات، سوابق و تجربیات و رشته تحصیلی) است؛ بخش دوم سؤالاتی را شامل می‌شود که با توجه به موضوع و هدف پژوهش و نیز بررسی ادبیات تدوین شده‌اند. برخی از این پرسش‌ها عبارت‌اند از: در فرایند توزیع گاز چه ریسک‌هایی وجود دارد؟ آیا اقدامات (خطاها و سهل‌انگاری‌های) انسانی نیز می‌تواند به‌عنوان ریسک در این فرایند مورد توجه قرار گیرند؟ چه ریسک‌های فنی در این حوزه بررسی و ارزیابی می‌شوند؟ آیا سازمان‌های مجری توزیع گاز نیز می‌توانند ریسک‌های موجود در این فرایند را افزایش

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-06 ]

[ DOI: 10.53208/JOHE.11.4.298 ]

دهند؟ این سازمان‌ها چه ریسک‌هایی را می‌توانند ایجاد کنند؟ بخش سوم سؤالات نیز پرسش‌هایی را شامل می‌شود که به اقتضای شرایط مصاحبه و گفت‌وگوهای فی‌مابین طرفین و برای درک و فهم بیشتر گفت‌وگو مطرح شده‌اند. برای مثال، مصاحبه‌شونده تلاش کرده است از طریق جمله‌هایی مانند «آیا نظر شما را درست متوجه شدم؟ ممکن است بیشتر توضیح بدهید؟ منظور شما از این عبارت چیست؟» منظور را بهتر برساند. برای تحلیل داده‌های کیفی حاصل از مصاحبه‌ها نیز روش تحلیل مضمون استفاده شده است. این روش که نوعی بازشناسی الگوی درون‌داده‌ها به شمار می‌رود، فرایندی برای تحلیل داده‌های پراکنده و متنوع و تبدیل آن‌ها به داده‌هایی غنی و تفصیلی در راستای پاسخ به سؤال پژوهش یا گفت‌وگو درباره یک مسئله است [۲۰].

داده‌های موردنیاز در بخش کمّی نیز از طریق پرسش‌نامه گردآوری شد؛ به این صورت که نتایج نهایی بخش کیفی (جدول ۱) در قالب پرسش‌نامه‌ای تنظیم و در بین مشارکت‌کنندگان توزیع شد. برای تحلیل داده‌ها در بخش کمّی نیز روش شبکه‌های بیزین استفاده شد. قضیه بیز ابتدا در دهه ۱۹۷۰ ایجاد شد که احتمالات را براساس اطلاعات جدید و مطابق با رابطه ۱ به‌روزرسانی می‌کند که در آن، $P(A)$ احتمال رخداد پیشامد A، $P(B)$ احتمال رخداد پیشامد B، $P(B|A)$ احتمال شرطی پیشامد B با فرض احتمال رخداد پیشامد A و $P(A|B)$ احتمال شرطی رخداد پیشامد A با شرط رخداد پیشامد B است. برای پیشامد B، $P(B)$ احتمال پیشین و $P(B|A)$ پیشامد پسین است که هریک شواهدی دارند. درنتیجه تحلیل بیز رابطه‌ای بین احتمال پیشین و احتمال پسین را با استفاده از قضیه بیز توصیف می‌کند [۲۱].

**جدول ۱:** ریسک‌های فرایند توزیع صنعت گازمؤلفه‌ها

| | مضامین پایه |
|---|---|
| ریسک‌های ناشی از خطای انسانی | بی‌توجهی |
| | فراموش‌کاری |
| | خطاهای ناشی از درک اشتباه |
| | خطاهای شناسایی |
| | خطاهای ناشی از بی‌تجربگی |
| | خطاهای ناشی از خودسری |
| | خطای غیرعمد |
| | خطای ناشی از کندی |
| | خطای ناشی از نبود استاندارد |
| | خطاهای غیرمنتظره |
| | ارتباط نامناسب طرفین محیط کار |
| | عدم تکمیل فرم اجازه کار روی شبکه |
| | عدم حضور سرپرست حین انجام دادن کار |
| | صحبت کردن با موبایل و مشغول شدن به وسایل الکترونیکی هنگام کار |
| | عدم دانش کافی |
| | عدم انگیزه کافی |
| | پاداش کارکنان |
| | همکاری بین کارکنان |
| | متناسب نبودن فرد برای شغل موردنظر |
| | ریسک استخدام |
| ریسک‌های سازمانی | مشکلات فنی و کیفی تجهیزات |
| | عدم تأمین بموقع تجهیزات و کمبود تجهیزات |
| | در دسترس بودن برنامه |
| | هماهنگی و ارتباطات نامناسب و اطلاع‌رسانی و ابلاغ‌های نادرست و اشتباه همراه با تأخیر بین عوامل |
| | تغییرات قیمت |
| | محدودیت‌های اطلاعات و مستندات |
| | محدودیت‌های بودجه‌ای |
| | فرهنگ ایمنی سازمان |
| | استراتژی تعمیرات و نگه‌داری |

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-06 ]

[ DOI: 10.53208/JOHE.11.4.298 ]

| | |
|---|---|
| ریسک‌های فنی | کفایت سازمان<br>ریسک‌های مالی<br>فشارسنج گاز<br>اتصالات<br>رگلاتور<br>فیلترها |

رابطه ۱:
$$P(B|A) = \frac{P(A|B)P(B)}{P(A)}$$

شبکه‌های بیزین از دو بخش تشکیل شده‌اند: بخش اول گراف مارپیچی هدایت‌شده است. در این گراف مارپیچی هدایت‌شده هر گره، یک متغیر تصادفی و کمان‌ها وابستگی‌های شرطی را نشان می‌دهند. برای مثال، اگر کمانی از گره A تا گره B باشد، درنتیجه A متغیر والد B است؛ بخش دوم در هر گره، توزیع احتمالی شرطی است. اگر متغیرها به شکل کمان در کنار هم (در امتداد هم) قرار نداشته باشند و به‌صورت مجزا از هم قرار گیرند و درنتیجه تعیین گره‌های والد و فرزند به‌صورتی آشکار ممکن نباشد، این روش، گره‌های فرزند را به همراه گره‌های والد مربوط به آن در قالب جدول ارائه می‌کند [۲۲]. براساس قانون زنجیر، زمانی که وابستگی‌های شرطی در نظر گرفته نشود، احتمال پیوست همه گره‌ها در گراف مارپیچی به‌صورت این رابطه است:

$$P(C,S,R,W) = P(C)P(S|C)P(R|S,C)P(W|C,S,R)$$

با استفاده از روابط مستقل شرطی، این معادله را می‌توان به‌صورت این رابطه ساده کرد:

$$P(C,S,R,W) = P(C)P(S|C)P(R|C)P(W|S,R)$$

برای یک مدل تعمیم‌داده‌شده با n مؤلفه $X_1, X_2, \ldots, X_i, \ldots, X_n$، زمانی که به گره $X_i$ گره والد $pa(X_i)$ داده شود، $X_i$ به‌صورت شرطی به‌استثنای گره‌های فرزند $X_i$ از سایر گروه‌ها مستقل است. براساس مستقل شرطی، احتمال پیوستگی به این صورت است:

$$P(X_1, X_2, \ldots, X_n) = \prod_{i=1}^{n} P(X_i \mid \mathrm{pa}(X_i))$$

در این معادله، $pa(X_i)$ مجموعه همه گره‌های والد متعلق به $X_i$ است.

اما اگر هیچ استقلال شرطی بین گره‌ها وجود نداشته باشد، احتمال پیوستگی به‌صورت این رابطه ارائه می‌شود:

$$P(X_1, X_2, \ldots, X_n) = P(X_1)P(X_2|X_1)P(X_3|X_1, X_2) \ldots P(X_n|X_1, X_2, \ldots, X_{n-1}) = \prod_{i=1}^{n} P(X_i \mid X_1, X_2, \ldots, X_{n-1})$$

تعداد پارامترهای مستقل موردنیاز در قانون این زنجیر $2^n$-1 است. زمانی که فرض بر این باشد که m پارامتر در مجموعه والد $pa(X_i)$ وجود دارد، تعداد ماکسیمم پارامترهای مستقل برای احتمال پیوستگی شبکه‌های بیزی $2^m$ است. در بیشتر سیستم‌های نرمال، m بسیار کوچک‌تر از n است. بنابراین، پیچیدگی محاسباتی شبکه‌های بیزی به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. ساخت یک شبکه بیزی نیازمند انجام دادن این سه مرحله است: شناسایی متغیرهای مهم و حالات ممکن آن‌ها؛ شناسایی ارتباط بین متغیرها و بیان آن در ساختاری گرافیکی؛ و ارزیابی احتمالات اولیه و شرطی [۲۳].

## نتایج

پس از انجام دادن هر مصاحبه، عبارت‌های متناسب با هدف پژوهش از دل مصاحبه‌ها استخراج شد. سپس به کدگذاری عبارت‌های استخراج‌شده پرداخته شد و مضامین اولیه شناسایی شدند. همچنین از طریق بررسی مضامین اولیه و ادغام مضامین مرتبط با هم ازنظر معنایی، مجموعه‌ای از مضامین پایه متمایز و غیرتکراری شناسایی شد. در ادامه فرایند تحلیل و دسته‌بندی یافته‌های کیفی، مضامین پایه شناسایی، و با توجه به اشتراک معنایی و مفهومی در قالب سه مؤلفه مشخص یعنی ریسک‌های ناشی از خطای انسانی، ریسک‌های سازمانی و ریسک‌های فنی دسته‌بندی شدند. نتایج این مرحله در جدول ۱ ارائه شده است.

### ساختار شبکه بیزی برای مدل‌سازی ریسک‌های فرایند توزیع صنعت گاز

به‌منظور تکمیل شبکه بیزی، ضروری است روابط میان متغیرهای شناسایی و تعریف‌شده تعیین شود. درباره سطح فنی و محیطی، از شناخت سیستم و شرایط عملیاتی و فنی آن به‌منظور شناخت روابط میان گره‌ها استفاده شد. به این منظور، نقشه‌های فنی، گزارش‌های تحلیلی و داده‌های تاریخی موجود بررسی شدند و چندین مصاحبه حضوری با خبرگان حوزه صنعت گاز و تکنسین‌ها انجام شد.

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-06 ]

[ DOI: 10.53208/JOHE.11.4.298 ]

### کمّی‌سازی متغیرهای دارای والد در شبکه‌های بیزی

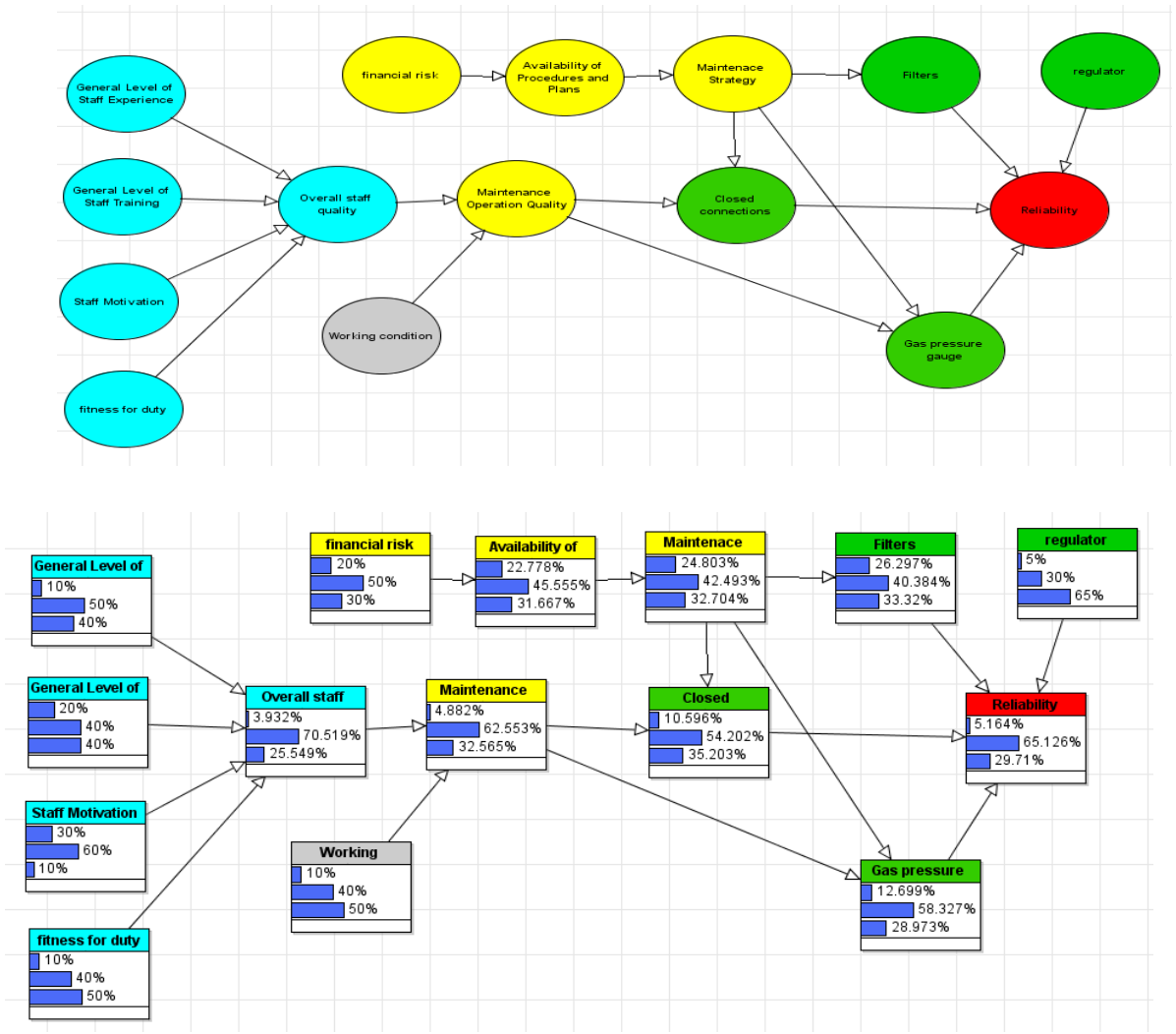
در گره‌های دارای والد، احتمال هر حالت گره به شرط هر حالت از والدین ارزیابی می‌شود. بنابراین، NPT این گره‌ها شامل مقادیر احتمال برای تمام ترکیبات ممکن از حالت‌های والدین آن‌ها خواهد بود. در این گره‌ها لازم است رویکردی متفاوت با ریسک‌های بدون والد در پیش گرفته شود. با فرض اینکه سه گره والد و یک گره فرزند داشته باشیم، NPT برای گره فرزند ۸۱ حالت متفاوت خواهد داشت که تخصیص احتمال به هریک از این گره‌ها بسیار وقت‌گیر خواهد بود. برای مواجهه با این مشکل، از توابع موزون استفاده می‌شود که با توجه به نوع اظهارنظر خبره تعیین می‌شود. برای این کار، از توابع رتبه‌ای با عنوان WMean، WMax، Wmin و MixMinMax با توزیع TNormal که توزیع نرمال در بازه ۰-۱ است، استفاده می‌شود. توزیع TNormal میانگینی برابر توابع موزون مذکور و واریانسی معادل عدم قطعیت خبره به صحت تخمین دارد. در شکل ۱ مدل پیشنهادی و حل آن با داده‌های اولیه توسط نرم‌افزار آجینا ریسک آورده شده است.

### سناریوهای مختلف برای ارزیابی مدل

در ادامه سه سناریو برای ارزیابی مدل در نظر گرفته شده است که پس از اجرای مدل، نتایج به‌دست‌آمده از سناریوها گزارش می‌شود.

### الف) در نظر گرفتن گره متناسب بودن با وظیفه در حالت زیاد و تأثیر آن بر گره هدف (قابلیت اطمینان)

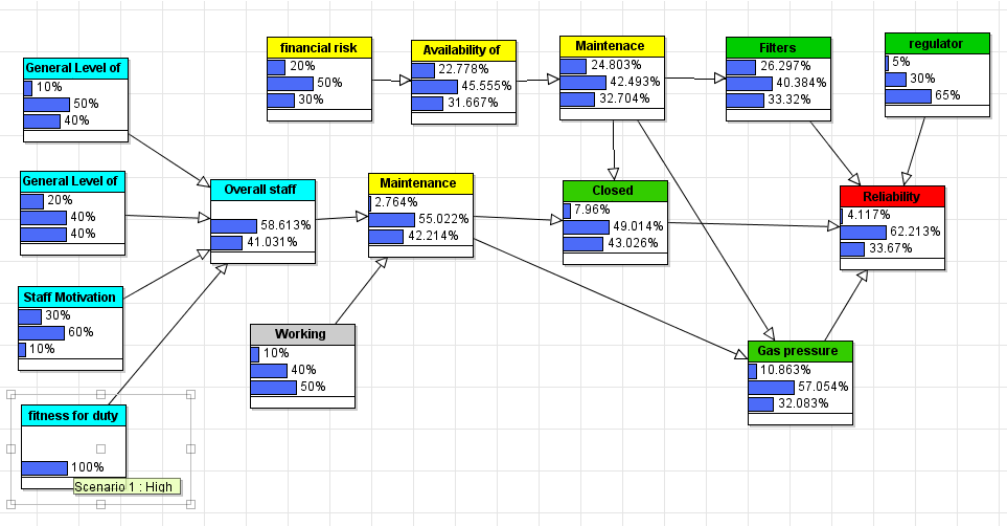
پس از در نظر گرفتن گره متناسب بودن با وظیفه در حالت زیاد، ملاحظه شد که قابلیت اطمینان به میزان تقریبی چهار درصد افزایش داشته است. شکل ۲ اجرای این سناریو در مدل را نشان می‌دهد.




**شکل ۱.** حل مدل پیشنهادی توسط نرم‌افزار آجینا ریسک

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-06 ]

[ DOI: 10.53208/JOHE.11.4.298 ]




**شکل ۲:** اجرای مدل در حالت زیاد گره متناسب بودن با وظیفه

### در نظر گرفتن گره برنامه در دسترس در حالت زیاد و تأثیر آن بر گره هدف (قابلیت اطمینان)

پس از در نظر گرفتن گره برنامه در دسترس در حالت زیاد، ملاحظه شد که قابلیت اطمینان به میزان تقریبی ۲۴ درصد افزایش داشته است. شکل ۳ اجرای این سناریو در مدل را نشان می‌دهد.

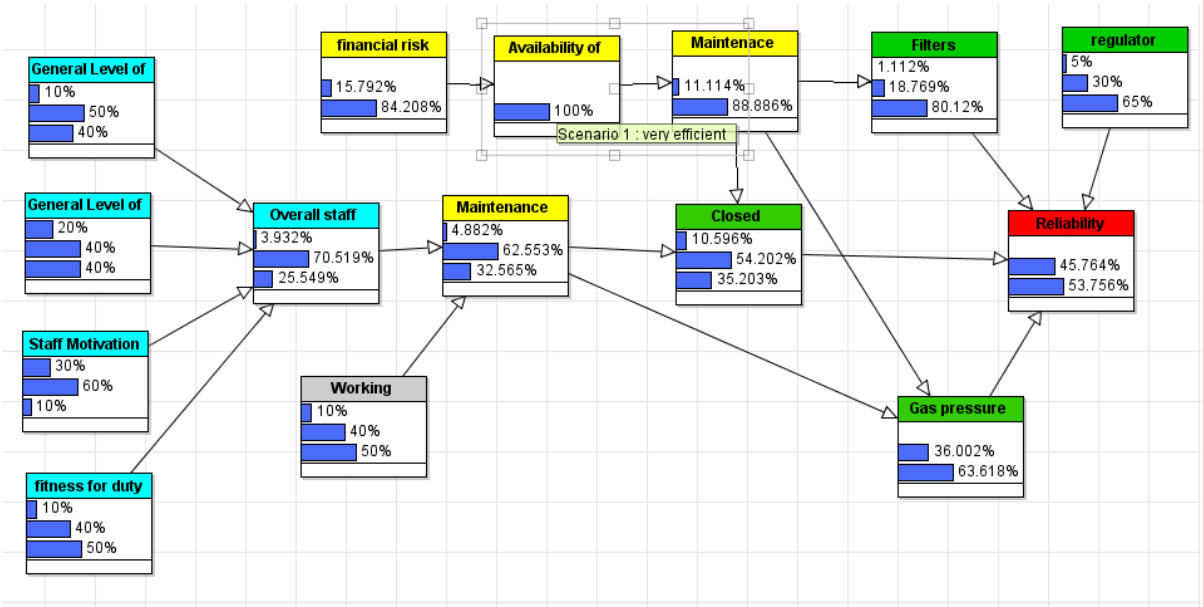
### در نظر گرفتن گره اتصالات خاموش در حالت زیاد و تأثیر آن بر گره هدف (قابلیت اطمینان)

پس از اینکه گره اتصالات خاموش در حالت زیاد در نظر گرفته شد، ملاحظه شد که قابلیت اطمینان به میزان تقریبی ۲۸ درصد افزایش داشته است. شکل ۴ اجرای این سناریو در مدل را نشان می‌دهد.

### تحلیل حساسیت

درباره مدل پژوهش نتایج تحلیل حساسیت برای گره هدف احتمال (قابلیت اطمینان) گزارش شده است. شکل ۵ میزان تأثیرگذاری هریک از عوامل را بر گره هدف در حالت زیاد در قالب یک گراف تورنادو نشان می‌دهد.

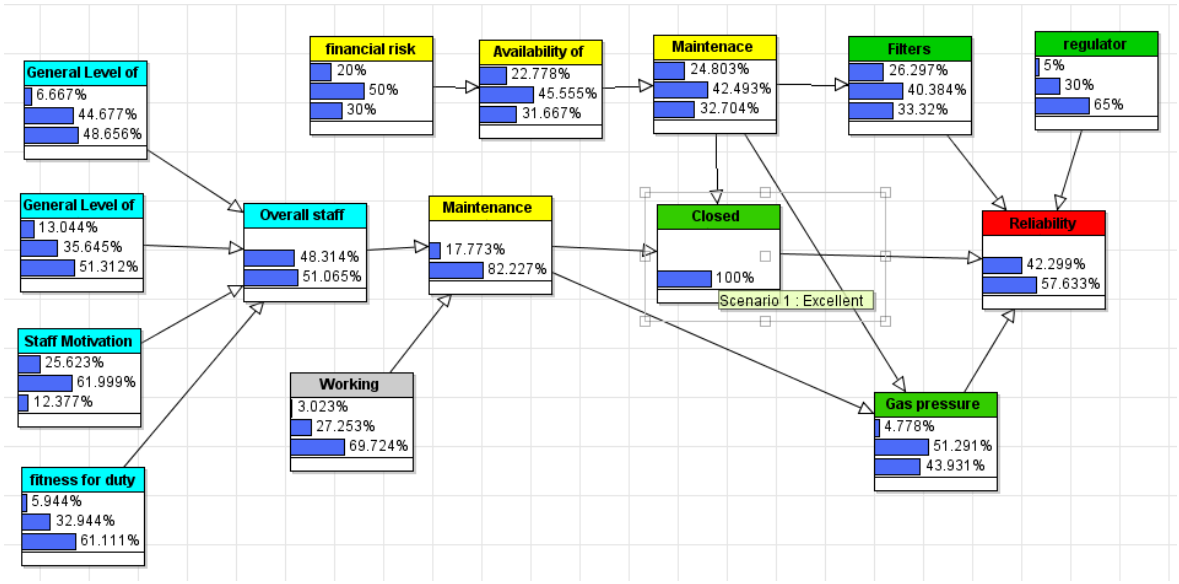
همان‌طور که در گراف تورنادو نشان داده شده است، فشارسنج گاز، اتصالات خاموش، کیفیت کارکنان تعمیر و نگه‌داری، فیلترها و استراتژی تعمیرات به‌ترتیب بیشترین تأثیر را بر قابلیت اطمینان دارند.



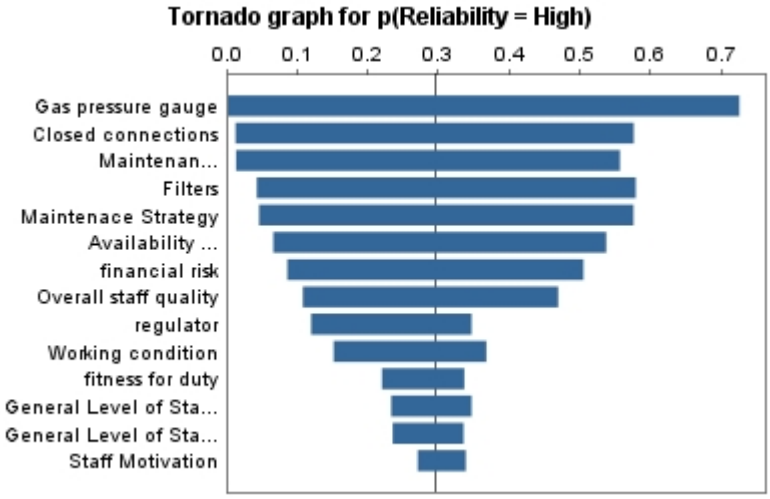

**شکل ۳:** اجرای مدل در حالت زیاد گره برنامه در دسترس

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-06 ]

[ DOI: 10.53208/JOHE.11.4.298 ]




**شکل ۴:** اجرای مدل در حالت زیاد گره اتصالات خاموش




**شکل ۵:** نمودار گراف تورنادو برای گره قابلیت اطمینان در حالت زیاد

## بحث و نتیجه گیری

عملکرد یک سیستم پیچیده تکنولوژیک وابسته به تعامل عوامل فنی، انسانی، سازمانی، اجتماعی و محیطی است. در این تحقیق، چهارچوبی یک‌پارچه برای ارزیابی قابلیت اطمینان احتمالی و ریسک در واحدهای توزیع گاز با در نظر گرفتن معیارهای فنی، انسانی و سازمانی فراهم شد.

یافته‌های حاصل از تحلیل داده‌ها در این مطالعه گویای این است که ریسک‌های موجود در فرایند توزیع گاز می‌توانند در سه دسته ریسک‌های ناشی از خطای انسانی، ریسک‌های سازمانی و ریسک‌های فنی دسته‌بندی شوند. هرچند برخی از یافته‌های این مطالعه از سوی سایر پژوهشگران نیز شناسایی و بررسی شده است، درباره تمام این عوامل تاکنون در قالب چهارچوبی جامع و منسجم بحث و بررسی نشده بود. برای مثال، برخی پژوهشگران در مطالعه خود به‌منظور ارزیابی ریسک‌های موجود در صنعت گاز، تنها درباره ریسک‌های فنی بحث کرده‌اند، ولی ریسک‌های ناشی از خطای انسانی را بررسی نکرده‌اند [۲، ۷، ۱۳]. همچنین بررسی و مقایسه نتایج با یافته‌های پیشین نشان می‌دهد برخی پژوهشگران ریسک‌های سازمانی موجود دراین‌باره را بررسی کرده‌اند، ولی ریسک‌های انسانی موجود را مورد تحلیل و ارزیابی قرار نداده‌اند [۱۲، ۱۶، ۱۷، ۲۲].

بررسی مطالعات پیشین همچنین نشان می‌دهد بیشتر مطالعات انجام‌شده در این حوزه، ریسک‌های موجود در فرایند توزیع گاز را به‌صورت کمّی ارزیابی کرده‌اند، ولی دیدگاه‌های خبرگان و کارشناسان این حوزه را بررسی و تحلیل نکرده‌اند [۷، ۱۱]. ازاین‌رو، بررسی دیدگاه‌ها و تجربه‌های افراد درگیر با

[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-06 ]

[ DOI: 10.53208/JOHE.11.4.298 ]

فرایندهای توزیع گاز، که به معنای آشکارسازی جنبه‌ها و ابعاد جدیدی از این موضوع است، می‌تواند به‌عنوان یکی دیگر از تفاوت‌های این پژوهش نسبت به مطالعات پیشین مطرح شود.

در این تحقیق، دستگاه کلیدی واحد توزیع و همچنین نیروهای انسانی موجود در واحدها به‌منظور پوشش عوامل عمده ایجادکننده ریسک و خطاهای انسانی و سازمانی در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از شبکه‌های بیزین مدل‌سازی انجام شد. رویکرد استفاده‌شده در این پژوهش، رویکردی سیستمی بود و روابط میان متغیرها با استفاده از دیدگاه‌های خبرگان بررسی شد.

شبکه‌های بیزین که در این پژوهش استفاده شد به‌عنوان یکی از روش‌های یادگیری ماشینی، قابلیت فراوانی در بررسی تأثیر متغیرهای نه‌چندان دقیق روی سیستم، تحلیل حساسیت‌های پیچیده روی این متغیرها و روابط علّی بین آن‌ها دارد. همچنین امکان بررسی توأم متغیرهای کیفی و کمّی و نیز متغیرهای پیوسته و گسسته در کنار یکدیگر در شرایط عدم وجود داده‌های کافی، از دیگر مزایای این روش نوین علمی است که می‌تواند راه‌گشای تحلیل بیشتر درباره عدم قطعیت موجود در مدل‌های تعمیرات و نگه‌داری باشد.

چهارچوب مفهومی ارائه‌شده و روش معرفی‌شده در این پژوهش در مقایسه با وضعیت موجود روش‌های متداول ارزیابی احتمالی ریسک، به این دلایل توسعه‌ای نیز محسوب می‌شود:

۱. این مدل شامل ماژول‌های مختلف برای ارائه تعریفی کامل و همه‌جانبه از ریسک است. به‌عبارت‌دیگر، مؤلفه‌های تعریف ریسک شامل عدم قطعیت‌ها، علل، دانش خبرگان، داده‌های تاریخی، احتمالات شرطی و تعاملات میان متغیرها در مدل استفاده‌شده قرار گرفته‌اند؛

۲. این چهارچوب، امکان مدل‌سازی یک‌پارچه ریسک را در لایه‌های مختلف انسانی، سازمانی و فنی فراهم می‌کند؛

۳. این چهارچوب به‌راحتی قابل ترکیب با سایر مدل‌های ارزیابی احتمالی ریسک نظیر درخت خطا برای بهبود قابلیت این نوع مدل‌هاست؛

۴. این چهارچوب به‌صورت یک مدل هیبریدی تحلیل کمّی و کیفی ریسک، تصویری ترکیبی از مؤلفه‌های ریسک و ارتباطات آن‌ها به همراه کمّی‌سازی احتمالات شرطی به نمایش می‌گذارد. همچنین امکان تعریف متغیرهای کیفی در کنار متغیرهای کمّی گسسته و پیوسته در مدل وجود دارد.


## تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی شرکت گاز استان کرمانشاه انجام شده است. ازاین‌رو، نویسندگان از مدیران و تمام کارکنان این شرکت، تشکر و قدردانی می‌کنند.


## تضاد منافع

در این پژوهش هیچ‌گونه تضاد منافع و تعارضی وجود ندارد.

## ملاحظات اخلاقی

در این پژوهش، همه ملاحظات اخلاقی رعایت شده است.

## سهم نویسندگان

هریک از نویسندگان سهم یک‌سانی در انجام دادن این پژوهش داشته‌اند.


## حمایت مالی

این مقاله با حمایت مالی و اطلاعاتی شرکت گاز استان کرمانشاه نگاشته شده است.


## REFERENCES


1. Hussain M, Zhang T, Chaudhry M, Jamil I, Kausar S, Hussain I. Review of prediction of stress corrosion cracking in gas pipelines using machine learning. *Machines*. 2024;**12**(1):42. DOI: 10.3390/machines12010042
2. Sharma VB, Tewari S, Biswas S, Sharma A. A comprehensive study of techniques utilized for structural health monitoring of oil and gas pipelines. *Struct Health Monit*. 2024; **23**(3):1816-41. DOI: 10.1177/14759217231183715
3. Chen C, Li C, Reniers G, Yang F. Safety and security of oil and gas pipeline transportation: A systematic analysis of research trends and future needs using WoS. *J Cleaner Prod*. 2021;**279**:123583. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123583
4. Sircar A, Yadav K, Rayavarapu K, Bist N, Oza H. Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry. *Pet Res*. 2021; **6**(4):379-91. DOI:10.1016/j.ptlrs.2021.05.009
5. Télessy K, Barner L, Holz F. Repurposing natural gas pipelines for hydrogen: Limits and options from a case study in Germany. *Int J Hydrogen Energy*. 2024;**80**:821-31. DOI:10.1016/j.ijhydene.2024.07.110
6. Hansson SO. Risk and safety in technology. In: Philosophy of technology and engineering sciences. North-Holland 2009 :pp. 1069-1102. DOI:10.1016/B978-0-444-51667-1.50043-4
7. Aven T. A semi-quantitative approach to risk analysis, as an alternative to QRAs. *Reliab Eng Syst Saf*. 2008; **93**(6):790-7. DOI: 10.1016/j.ress.2007.03.025
8. Aven T, Kristensen V. Perspectives on risk: review and discussion of the basis for establishing a unified and holistic approach. *Reliab Eng Syst Saf*. 2005; **90**(1):1-4. DOI: 10.1016/j.ress.2004.10.008
9. Aven T, Thekdi S. Risk science: An introduction. Routledge; 2021: 12. Link
10. Gatzert N, Martin M. Determinants and value of enterprise risk management: Empirical evidence from the literature. *Risk Manag Insur Rev*. 2015; **18**(1):29-53. DOI: **10.1111/rmir.12028**
11. Khadem MM, Piya S, Shamsuzzoha A. Quantitative risk management in gas injection project: a case study from Oman oil and gas industry. *J Industr Eng Int*. 2018; **14**(3):637-54. DOI: 10.1007/s40092-017-0237-3
12. Angelopoulos D, Doukas H, Psarras J, Stamtsis G. Risk-based analysis and policy implications for renewable energy investments in Greece. *Energy Policy*. 2017; **105**:512-23. DOI: 10.1016/j.enpol.2017.02.048


[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-06 ]

[ DOI: 10.53208/JOHE.11.4.298 ]

13. Wang L, Peng JJ, Wang JQ. A multi-criteria decision-making framework for risk ranking of energy performance contracting project under picture fuzzy environment. *J Clean Prod*. 2018; **191**:105-18. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.04.169
14. Zhou S, Yang P. Risk management in distributed wind energy implementing analytic hierarchy process. *Renewable Energy*. 2020; **150**:616-23. DOI: 10.1016/j.renene.2019.12.125
15. A Kassem M, Khoiry MA, Hamzah N. Assessment of the effect of external risk factors on the success of an oil and gas construction project. *Eng Const Arch Manag*. 2020; **27**(9):2767-93. DOI:10.1108/ECAM-10-2019-0573
16. Egli F. Renewable energy investment risk: An investigation of changes over time and the underlying drivers. *Energy Policy*. 2020; **140**:111428. DOI:10.1016/j.enpol.2020.111428
17. Mokarram M, Sathyamoorthy D. Determination of suitable locations for the construction of gas power plant using multicriteria decision and Dempster–Shafer model in GIS. *Energy Sources Part A*. 2023; **45**(1):2846-61. DOI:10.1080/15567036.2019.1666189
18. Kaikkonen L, Parviainen T, Rahikainen M, Uusitalo L, Lehikoinen A. Bayesian networks in environmental risk assessment: A review. *Integr Environ Assess Manage*. 2021; **17**(1):62-78. PMID: 32841493 DOI: 10.1002/ieam.4332
19. George PG, Renjith VR. Evolution of safety and security risk assessment methodologies towards the use of bayesian networks in process industries. *Process Saf Environ Prot.* 2021; **149**:758-75. DOI:10.1016/j.psep.2021.03.031
20. Mobasheri AA. Teimouri H. Designing a pattern of the causes and consequences of mobbing in organizations. *Strategy Res Social Probl.* 2023;**12**(1):123-45. DOI:10.22108/srspi.2023.135792.1862
21. Kitson NK, Constantinou AC, Guo Z, Liu Y, Chobtham K. A survey of Bayesian Network structure learning. *Artif Intell Rev*. 2023; **56**(8):8721-814. DOI:10.1007/s10462-022-10351-w
22. Scutari M, Denis JB. Bayesian networks: with examples in R (2nd ed). New York, Chapman and Hall/CRC; 2021. DOI:10.1201/9780429347436
23. Hosseini S, Ivanov D. Bayesian networks for supply chain risk, resilience and ripple effect analysis: A literature review. *Expert Syst Appl*. 2020; **161**:113649. PMID: 32834558 DOI: 10.1016/j.eswa.2020.113649


[ Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-07-06 ]

[ DOI: 10.53208/JOHE.11.4.298 ]