

## Identification and ranking of technology risks in the field of natural gas energy distribution by the integrative approach of FMEA and TOPSIS The Case of Chaharmahal and Bakhtiari Province Gas Company

(Document Type: Research Paper)

**Mahdi Nakhaeinejad**\*

Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Yazd University, Yazd, Iran,  
m.nakhaeinejad@yazd.ac.ir

**Maesoomeh Safari**

Industrial Engineering Department, Science and Arts University, Yazd, Iran,  
samani.m1371@gmail.com

**Purpose:** One of the most important risks of organizations is technology risk. In gas companies, due to the expansion of activities, increase in the number of subscribers, and increase share of gas in energy basket, technology has a very important role in delivering appropriate service. Risk assessment in gas technology development projects is very vital. In fact, the existence of numerous risks in the gas industry is one of the main obstacles to the technology development in the country's gas industry. In other words, the implementation of plans and projects of the gas industry are highly risky due to the uncertainty of the specific elements of this industry. The purpose of this study is to provide a suitable framework for identifying and ranking the risks of gas companies using the integrative technique of FMEA and TOPSIS. The distinguished aspect of this paper compared to previous studies is the new method developed based on failure modes and effects analysis (FMEA), Shannon Entropy approach, and Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) for ranking technological risks of the gas company.

**Design/methodology/approach:** In this paper, technology risks in gas distribution have been determined based on literature and expert's viewpoints. Then, the identified risks were sent to 33 of the company's experts via the FMEA worksheet. After rating the risks by the experts in the FMEA worksheet, instead of obtaining the Risk Priority Number (RPN) number for each risk, the risks were prioritized using the TOPSIS technique. The FMEA method considers three kinds of attributes, namely, occurrence, detection rate, and severity. Occurrence is the probability of the risk, detection rate is the ability of detecting risk, and severity is applied as severity of the effect of risk. The judgment about determination of indicators has been proposed by experts. In this paper, TOPSIS has been used instead of applying an RPN to assess potential failure modes by multiplying indicators of occurrence, detection rate, and severity. TOPSIS is a ranking method with the aim of selecting alternatives that simultaneously have the shortest and farthest distances from the positive and negative ideal solutions, respectively.

---

\* Corresponding author

Copyright © 2020, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

**Findings:** Findings indicated that the most important technology risks in gas distribution are i) variation in macroeconomics index (exchange and inflation rate) in country; ii) inability to access required equipment and machinery; iii) inability to access manufacturing technologies; and iv) limited financing for technology development.

**Research limitations/implications:** One of the limitations of this study was separate access to the projects of this industry. In this study, the gas distribution project was defined generally and included all projects in the gas distribution industry. In fact, it was not possible to individually access the gas distribution projects. Analyzing and presenting solutions for each risk separately was another limitation of this study. In other words, considering each risk separately according to the structure of the industry was another limitation of this study.

**Practical implications:** The results were valid based on the reasonable method and experts' confirmation and could be suitable for this industry. The technique presented in this study was based on information obtained from the Chaharmahal and Bakhtiari Province Gas Company, while due to the similar structure of provincial gas companies in gas technology and distribution, the method and results obtained in this study can be applied in all gas companies in the field of gas distribution.

**Social implications:** The results of this study could decrease the cost of gas distribution industry by determining the most important technological risks of the gas company.

**Originality/value:** The aim of this study was to propose a new method of FMEA for ranking technological risks of the gas company by integrating Shannon Entropy approach and TOPSIS. The contribution of this study was the investigation of the technological risks of the gas company. In addition, in this paper, a new method was applied by the integration of FMEA and TOPSIS.

**Keywords:** Ranking, Gas energy, Technology risks, FMEA, TOPSIS

مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۰، پیاپی ۱۹، شماره ۲، پاییز زمستان ۱۳۹۸

دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۱ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۳

صص: ۱۴۳-۱۵۹ (نوع مقاله: پژوهشی)

## شناسایی و رتبه‌بندی ریسک‌های تکنولوژی در حوزه توزیع انرژی گاز طبیعی با رویکرد تلفیقی FMEA و TOPSIS مطالعه موردی: شرکت گاز استان چهارمحال و بختیاری

مهدی نخعی نژاد<sup>۱\*</sup>، معصومه صفاری<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران، m.nakhaeinejad@yazd.ac.ir

۲- کارشناس ارشد گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علم و هنر، یزد، ایران، samani.m1371@gmail.com

**چکیده:** از مهم‌ترین ریسک‌های هر سازمان، خطرهای تکنولوژی است. در شرکت‌های گاز به‌علت گسترش فعالیت‌ها، افزایش تعداد مشترکین و افزایش سهم گاز در سبد انرژی، تکنولوژی، نقش مهمی در عرضه خدمات مطلوب دارد. هدف از انجام این پژوهش، معرفی چارچوب مناسبی برای شناسایی ریسک‌های تکنولوژی شرکت‌های گاز و اولویت‌بندی آنها با استفاده از تکنیک تلفیقی FMEA-TOPSIS است. از جمله تفاوت‌های این پژوهش با سایر پژوهش‌ها، تمرکز بر ریسک‌های تکنولوژی شرکت گاز است. نوآوری دیگر این پژوهش، روش به‌کاررفته در آن، مخصوصاً ترکیب دو تکنیک FMEA و TOPSIS است. در این مقاله، شاخص‌های شناسایی شده در قالب کاربرد FMEA قرار داده شد و به ۳۳ نفر از خبرگان و پیمانکاران صنعت گاز ارسال شد. پس از امتیازدهی به ریسک‌ها در قالب کاربرد FMEA، به جای محاسبه عدد RPN، تکنیک TOPSIS برای رتبه‌بندی ریسک‌ها استفاده شده است. یافته‌های به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان می‌دهد مهم‌ترین ریسک‌های تکنولوژی در توزیع انرژی گاز به ترتیب، تغییرات شاخص اقتصاد کلان (نرخ ارز و تورم) در کشور، ناتوانی در دستیابی به تجهیزات و ماشین‌آلات لازم، ناتوانی در دستیابی به تکنولوژی‌های ساخت و تولید و تأمین مالی محدود برای توسعه تکنولوژی است. رتبه‌بندی سایر ریسک‌های تکنولوژی توزیع انرژی گاز در جدول ۶ آورده شده است. نتایج به‌دست‌آمده با توجه به رویکرد جدید و منطقی و همچنین تأیید کارشناسان این صنعت، از اعتبار کافی برخوردار است و قابلیت به‌کارگیری در این صنعت را دارد.

**واژه‌های کلیدی:** رتبه‌بندی، انرژی گاز، ریسک‌های تکنولوژی، تجزیه و تحلیل آثار خطا، تاپسیس

## ۱- مقدمه

مهم‌ترین ویژگی دنیای امروز را سرعت تحولات تکنولوژی دانسته‌اند. این موضوع با تغییر در قلمرو به‌کارگیری تکنولوژی همراه است. همچنین با افزایش متقاضیان استفاده از گاز طبیعی و با توجه به سیاست جایگزینی گاز طبیعی به‌جای سوخت‌های فسیلی، توسعه و اجرای پروژه‌های گازرسانی، رشد زیادی داشته است (صفاریان و همکاران، ۱۳۹۷)؛ به‌گونه‌ای که در حال حاضر، تعداد پروژه‌ها در شرکت‌های گاز استانی به صدها مورد رسیده است. علاوه بر موارد مذکور، شرایط خاص ایران در صحنه بین‌المللی، تهدیدهای جهانی در دسترسی به تکنولوژی‌های پیشرفته، راهبردی بودن صنعت گاز از بعد سیاسی و اقتصادی و دلایل متعدد دیگر، بومی‌سازی فناوری تجهیزات در این صنعت را به الزامی اساسی تبدیل کرده است. این الزام با توجه به ریسک‌ها و نبود قطعیت‌هایی که ممکن است در پروژه‌های توسعه تکنولوژی وجود داشته باشد، نیاز به ارزیابی و مدیریت ریسک‌ها را آشکار می‌کند. وجود ریسک‌های متعدد و عوامل محیطی متزلزل تحمیل‌شده بر صنعت گاز از موانع اصلی تحقق توسعه تکنولوژی در بخش صنعت گاز کشور به شمار می‌آید (نقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). صنعت گاز با توجه به گستردگی و حجم فعالیت و همچنین پتانسیل ایجاد خطر، جزء صنایع با ریسک زیاد محسوب می‌شود (قاسمیان صاحبی و همکاران، ۱۳۹۶). پیاده‌سازی و اجرای طرح‌ها و پروژه‌های صنعت گاز به‌علت حاکمیت عناصر نامطمئن و نامعین و پیچیدگی‌های خاص این صنعت، ریسک زیادی دارد و باید با استفاده از ابزارهای مدیریت ریسک نسبت به پیش‌بینی و انجام اقدامات پیشگیرانه برای مدیریت شرایط آن کوشید (بحرانی و دهقانی، ۱۳۸۹).

تکنولوژی، مجموعه‌ای متشکل از اطلاعات، ابزارها و تکنیک‌هایی است که از علم و تجربه عملی ریشه گرفته‌اند و از آن در توسعه، طراحی، تولید و به‌کارگیری محصولات، فرایندها، سیستم‌ها و خدمات استفاده می‌شود (کیم<sup>۱</sup> و ونورتاس<sup>۲</sup>، ۲۰۱۴). ریسک را می‌توان تغییرپذیری یا بی‌ثباتی نتایج غیرمنتظره تعریف کرد و مدیریت ریسک، فرایند شناسایی، ارزیابی و کنترل ریسک‌های بالقوه است (لیو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۹).

از مهم‌ترین ریسک‌های شرکت گاز، ریسک‌های تکنولوژی است که طی سال‌های اخیر در قالب بودجه‌های سنواتی نسبت به سرمایه‌گذاری در بخش توسعه گازرسانی اقدام کرده‌اند. با توجه به ریسک‌های تکنولوژی زیاد این سرمایه‌گذاری عظیم، شناسایی نکردن هریک از آنها پتانسیل تهدیدهای سازمانی را افزایش می‌دهد. شناسایی و ارزیابی این ریسک‌ها باعث می‌شود میزان سطح خطرپذیری کاهش یابد. برای بهبود اجرای این پروژه‌ها، شناسایی و رتبه‌بندی صحیح ریسک‌ها و عوامل مؤثر در آنها ضروری به نظر می‌رسد.

اداره گاز استان چهارمحال و بختیاری به‌عنوان متولی توزیع گاز در سطح استان، به‌لحاظ تکنولوژی، با توجه به توضیحات ارائه‌شده، با ریسک‌های مختلفی روبروست.

هدف این مقاله، مطرح کردن چارچوبی برای اولویت‌بندی ریسک‌های تکنولوژی این شرکت است که با توجه به ساختار مشابه شرکت‌های گاز استان‌ها، چارچوب مطرح‌شده در این مقاله برای همه شرکت‌های توزیع گاز استان‌ها معتبر است. برای دستیابی به این هدف، این مقاله، تکنیک جدیدی برپایه ترکیب روش‌های FMEA، آنالیز شانون<sup>۴</sup> و تاپسیس مطرح کرده است.

در ادامه این مقاله، در بخش دوم، پیشینه پژوهش؛ در بخش سوم، مبانی نظری پژوهش شامل روش‌های FMEA، آنالیز شانون و تاپسیس؛ در بخش چهارم، روش‌شناسی پژوهش؛ در بخش پنجم، مطالعه موردی و یافته‌های پژوهش؛ در بخش ششم، بحث درباره موضوع و درنهایت، در بخش هفتم، نتیجه‌گیری مطرح می‌شود.

## ۲- پیشینه پژوهش

در این مقاله، رتبه‌بندی ریسک‌های تکنولوژی شرکت گاز با رویکرد تلفیقی FMEA، آنتروپی شانون و تاپسیس انجام می‌شود. در ادامه، به نمونه‌هایی از پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه اشاره می‌شود.

تفضلی و اورک (۱۳۹۷) ریسک‌های زیست‌محیطی ایستگاه‌های تقویت فشار گاز بنگستان و آسماری را به روش هازان در مجتمع بهره‌برداری نفت و گاز مارون ۳ بررسی کردند. ایستگاه تقویت فشار گاز مدنظر در فاصله ۶۵ کیلومتری شهرستان اهواز- امیدیه قرار دارد. آنها پس از بررسی فعالیت و فرایندهای مختلف در هر دو ایستگاه، خطرات و عوامل بالقوه آسیب‌رسان را شناسایی و در ادامه، از دو روش پی‌اچ‌ای<sup>۵</sup> و هازان<sup>۶</sup> به ترتیب برای ارزیابی مقدماتی و ارزیابی تفصیلی ریسک استفاده کردند. در هر دو ایستگاه پس از ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی مشخص شد شدیدترین ریسک‌ها مربوط به ریسک آلاینده‌گی سوزاندن گاز در مشعل‌ها و ریسک آلودگی صوتی مربوط به سروصدای توربین‌ها و کمپرسورها پس از راه‌اندازی است. آنها در ادامه، برای کاهش و کنترل ریسک‌های شناسایی‌شده، راهکارهایی مطرح کردند.

زارعی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با نام «ارزیابی پویای ریسک در سیستم‌های فرایندی شیمیایی با شبکه بیزین» از رویکردی پویا و کمی برای ارزیابی ریسک ایمنی ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز شهری استفاده کردند. آنها ابتدا براساس استاندارد شرکت توتال، سناریوی رویداد مرجع تعیین کردند و سپس با استفاده از الگوسازی کیفی و کمی پویا، الگوی علت-پیامد سناریو با استفاده از شبکه بیزین مطرح کردند. آنها در ادامه از توانایی استدلال استقرایی و قیاسی این شبکه‌ها استفاده و در پایان، ریسک پیامدهای سناریو را محاسبه، به‌روزرسانی و ارزشیابی کردند. آنها ۴۳ رویداد ریشه‌ای را در وقوع سناریوی رویداد مرجع ایستگاه‌های مدنظر شناسایی کردند که از مجموع علل شناسایی‌شده به ترتیب، بیشترین سهم را شکست‌های انسانی (۸۵٪)، شکست‌های فرایندی (۱۰٪) و شکست‌های مکانیکی (۵٪) در وقوع سناریوی حادثه داشتند.

صفاریان و همکاران (۱۳۹۷) ریسک محیط زیستی واحد بهره‌برداری نیروگاه گازی آبادان را با استفاده از روش EFMEA بررسی کردند. آنها پس از بررسی فعالیت‌ها و فرایندهای مختلف نیروگاه، خطرات و عوامل بالقوه آسیب‌رسان را شناسایی کردند. آنها از مقایسه اعداد ریسک محاسبه‌شده در واحد مدنظر نتیجه گرفتند که سطح ریسک در فعالیت راه‌اندازی واحد برای تولید برق (خروج آلاینده‌ها از اگزوز) با امتیاز ۱۰۰ بیشترین سطح ریسک و فعالیت‌هایی مانند تحویل سوخت گاز (ایستگاه گاز) و راه‌اندازی واحد با سوخت گاز با امتیاز ۵۰ سطح ریسک متوسط و فعالیت راه‌اندازی و آزمایش تجهیزات سیستم خنک‌کاری، کمترین سطح ریسک را دارند.

وزدانی و همکاران (۱۳۹۷) ریسک‌های زیست‌محیطی، ایمنی و بهداشتی را در مخازن ذخیره‌سازی میعانات گازی شرکت پالایش گاز پارسین بررسی کردند. آنها مخاطرات زیست‌محیطی، ایمنی و بهداشتی حاصل از تأسیسات و فعالیت‌های انسانی موجود در مخازن ذخیره‌سازی میعانات گازی را با استفاده از تکنیک دلفی شناسایی کردند؛ سپس با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی و تجزیه و تحلیل حالات شکست ریسک‌های شناسایی‌شده را بررسی و اولویت‌بندی کردند. آنها در این مطالعه، ۱۷ ریسک را شناسایی کردند که ۱۲ مورد آن، زیست‌محیطی و ۵ مورد، ایمنی و بهداشتی است. آنها در نهایت، بیشترین میزان ریسک زیست‌محیطی و ایمنی بهداشتی در مخازن را به ترتیب، آتش‌سوزی در اثر عوامل تروریستی و عمدی و استنشاق بخار حین تعمیرات معرفی کردند.

مرادی و همکاران (۱۳۹۶) ریسک شبکه توزیع گاز شهری را در شهرک بهاران واقع در شهر سنندج ارزیابی کردند. آنها از تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای مدیریت ریسک شبکه توزیع گاز شهری استفاده کردند. آنها از بین شاخص‌های مدنظر نشان دادند شاخص دخالت اشخاص حقیقی از زیرمجموعه شاخص علتی و شاخص خطر ماده از زیرمجموعه شاخص پیامد به ترتیب، بیشترین وزن (۰/۱۶۵ و ۰/۱۵) و شاخص فشار خط لوله، کمترین وزن (۰/۰۳۱) را به خود اختصاص می‌دهند.

لئو و همکاران (۲۰۱۹) با الگوی ابری و روش تاپسیس سلسله‌مراتبی، بهبود ریسک در FMEA را ارزیابی کردند. آنها الگوی FMEA یکپارچه مبتنی بر نظریه الگوی ابری و تکنیک سلسله‌مراتبی را برای ترتیب اولویت با شباهت به روش ایدئال برای ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک حالت‌های شکست طراحی کردند. به همین منظور، ابتدا ارزیابی‌های زبان‌شناختی فردی از حالت‌های شکست به ابرهای معمول تبدیل؛ سپس وزن اعضای گروه FMEA براساس اطلاعات وزن ذهنی، محاسبه و درنهایت، اولویت ریسک حالت‌های شکست با استفاده از توابع تاپسیس سلسله‌مراتبی ابری تعریف شده است.

جو<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۹) روش تجزیه و تحلیل FMEA بهبودیافته‌ای را براساس نظریه QFD و تاپسیس معرفی کردند. آنها یک الگوی تحلیل تلفیقی مبتنی بر FMEA و استقرار تابع کیفیت (QFD) برای تعامل کامل بین حالت‌های شکست مختلف و میزان رضایت مشتری با عملکرد محصول، اقتصاد و خدمات پیشنهاد داده‌اند. آنها اهمیت الزامات مشتری را با استفاده از فرایند تحلیلی سلسله‌مراتبی و اهمیت مشخصات فنی را با استفاده از الگوریتم میانگین هندسی وزنی به دست آوردند؛ سپس اهمیت ویژگی‌های فنی به ضریب اصلاح برای ارزیابی FMEA تبدیل شده است تا بدین ترتیب، خطرناک بودن نسبی هر الگوی شکست به دست آید.

پارک<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش FMEA وزن‌دار اقلیدسی فازی و تجزیه و تحلیل نمودارهای بلوکه‌ای، خطرات ساختاری را ارزیابی کرده‌اند. آنها روش ارزیابی ریسک جدیدی را با استفاده از شماره اولویت خطر (IRPN) مطرح کردند و با مقایسه تکنیک ارائه‌شده با روش‌های قبلی FMEA نشان دادند روش پیشنهادی نه تنها کمبودهای روش‌های قبلی FMEA مانند تحریف RPN را برطرف می‌کند، بلکه برای ارزیابی خطرات ساختاری، که شامل تأثیر عملکردی بین خطرات است، نیز مفید است. علاوه بر این، آنها نشان دادند روش آنها، رویکردی سه‌بعدی بر مبنای منطق فازی، تحلیلی و اجرایی از روش‌های قبلی است.

کولیوس<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۱۷) حساسیت خطا و آثار آن را با استفاده از روش تاپسیس فازی تحلیل کرده‌اند. آنها برای بررسی حالات خطا و ارزیابی آثار آنها بر یک ماژول کنترل زیردریایی با استفاده از روش تاپسیس فازی تأکید کردند. بدین منظور، ابتدا حالت‌ها و خطاهای بالقوه ماژول را براساس نظرات و تجربه کارشناسان صنعت مشخص کردند؛ سپس از روش شناسایی چندمعیاره مبتنی بر تاپسیس فازی برای تحلیل و اولویت‌بندی مهم‌ترین حالت‌های کشف‌شده در FMEA استفاده کردند. آنها نشان دادند الگوی تاپسیس پیشنهادی تا حد زیادی، عملکرد و کاربرد روش FMEA معمولی در صنعت نفت و گاز ساحلی را بهبود بخشد.

ایزدی و شفیع (۱۳۹۷) سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری‌ای را برای ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک واردات کالا معرفی کردند. آنها برای نخستین بار، سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر الگوهای کمی تصمیم‌گیری را برای ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های واردات کالا در شرکت داروسازی فارابی مطرح کردند. آنها نشان دادند از میان ده ریسک شناخته‌شده، ریسک‌های مرتبط با پرداخت‌نکردن به موقع ارز به شرکت‌های تأمین‌کننده خارجی، مسیرهای نامطمئن

انتقال ارز و حمل‌ونقل، اهمیت بیشتری دارند. آنها در نهایت، در پژوهش خود، استراتژی‌های مواجهه با ریسک‌های شناسایی شده را نیز ارائه کردند.

حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) با بهره‌گیری از الگوی کوزو و رویکرد تحلیل شبکه‌های اجتماعی (SNA) ریسک‌های زنجیره تأمین در شرکت خودروسازی سایپا را شناسایی و تحلیل کردند. هدف آنها تعیین ریسک‌های بحرانی و اتخاذ تصمیم مناسب برای هر یک از دسته‌های تعیین شده بود. آنها با توجه به نتایج تحلیل در پژوهش خود نشان دادند ۲۱ درصد از کل ریسک‌ها در دسته‌های مالی - اقتصادی، تأمین‌کنندگان، اطلاعاتی و حمل‌ونقل قرار دارند. بررسی مقالات نشان می‌دهد تاکنون پژوهشی درباره ریسک‌های توزیع انرژی گاز با تأکید بر ریسک‌های تکنولوژی انجام نشده است. ضمن اینکه تلفیق روش FMEA، تاپسیس و آنتروپی شانون برای این منظور و با روش اشاره شده در این مقاله، از دیگر نوآوری‌های این پژوهش است. مطالعه انجام شده برای اعتبارسنجی در شرکت گاز چهارمحال و بختیاری انجام شده است.

### ۳- مبانی نظری پژوهش

این مقاله، ریسک‌های تکنولوژی در توزیع انرژی گاز را رتبه‌بندی می‌کند. تکنیک به‌کاررفته، ترکیبی از روش‌های FMEA، آنتروپی شانون و تاپسیس است. در این قسمت، مبانی نظری این سه تکنیک به‌اختصار شرح داده می‌شود.

#### ۳-۱- روش FMEA

FMEA روشی است که تا حد ممکن، خطرات بالقوه موجود در محدوده‌ای که در آن ارزیابی ریسک انجام می‌شود و علل و آثار مرتبط با آن را شناسایی و رتبه‌بندی می‌کند. در این تکنیک، پس از شناسایی ریسک‌ها برای هر ریسک، سه شاخص در نظر گرفته می‌شود. این شاخص‌ها به شرح ذیل است (جو و همکاران، ۲۰۱۹):

• شدت اثر<sup>۱۰</sup> (S)

این شاخص، شدت خطر یا میزان جدی بودن اثر خطر بالقوه است. شدت یا وخامت خطر فقط درباره اثر آن در نظر گرفته می‌شود. کاهش وخامت خطر فقط با اعمال تغییرات در فرایند و چگونگی انجام فعالیت‌ها امکان‌پذیر است. برای شدت اثر، شاخص‌های کمی وجود دارد که برحسب مقیاس ۱ تا ۱۰ بیان می‌شود.

• احتمال وقوع<sup>۱۱</sup> (O)

احتمال وقوع مشخص می‌کند که یک علت یا سازوکار بالقوه خطر با چه تواتری رخ می‌دهد. تنها با از بین بردن یا کاهش علل یا سازوکار هر خطر می‌توان به کاهش عدد رخداد امیدوار بود. احتمال رخداد بر مبنای ۱ تا ۱۰ سنجیده می‌شود. بررسی فرایندهای کنترلی، استانداردها، الزام‌ها و قوانین کار و چگونگی اعمال آنها برای دست‌یافتن به این عدد بسیار مفید است.

• احتمال کشف<sup>۱۲</sup> (D)

احتمال کشف نوعی ارزیابی از میزان توانایی است که برای شناسایی علت یا سازوکار وقوع خطر وجود دارد؛ به عبارت دیگر، احتمال کشف توانایی پی‌بردن به خطر قبل از رخداد آن است. به این شاخص نیز مانند دو مورد قبلی، امتیازی بین ۱ تا ۱۰ داده می‌شود.

در نهایت، بعد از تعیین عدد مربوط به سه شاخص شدت اثر، احتمال وقوع و احتمال کشف، عدد RPN محاسبه می‌شود. عدد RPN یا به عبارتی، عدد اولویت ریسک، حاصل ضرب سه عدد شدت اثر (S)، احتمال وقوع (O) و احتمال کشف (D) است. عدد اولویت ریسک، عددی بین ۱ تا ۱۰۰۰ است. برای ریسک‌ها با عدد RPN زیاد، کارگروهی باید برای کاهش این عدد با اقدام اصلاحی انجام شود.

### ۳-۲- تکنیک آنتروپی شانون

روش آنتروپی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای محاسبه وزن معیارهاست. مزیت این تکنیک این است که براساس ماتریس تصمیم‌گیری و پراکندگی داده‌ها می‌توان درجه اهمیت شاخص‌ها را محاسبه کرد. این تکنیک بدین صورت است که ابتدا امید ریاضی مربوط به هر یک از شاخص‌ها ( $E_j$ ) با استفاده از فرمول (۱) محاسبه می‌شود (کولیوس و همکاران، ۲۰۱۷).

$$E_j = \frac{-1}{Lnm} \times \sum_{i=1}^m [P_{ij} \times \ln P_{ij}]; j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

در فرمول مذکور،  $p_{ij}$  امتیاز نرمال شده گزینه  $i$ ام در شاخص  $j$ ام است. بعد از محاسبه  $E_j$ ، پارامتر فاصله هر یک از معیارها با استفاده از فرمول (۲) به‌ازای تمام‌ها یا معیارها محاسبه می‌شود.

$$d_j = 1 - E_j; j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

در نهایت، وزن هر یک از معیارها ( $w_j$ ) با استفاده از فرمول (۳) محاسبه می‌شود که جمع کل  $w_j$ ها برابر با یک است.

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}; j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

### ۳-۳- تکنیک تاپسیس

روش تاپسیس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخص‌هاست که گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌کند. اساس این روش بر پایه شباهت به ایدئال مثبت و فاصله از ایدئال منفی است. در این روش، ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری با فرمول (۴) نرمال می‌شود (کولیوس و همکاران، ۲۰۱۷).

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

سپس با استفاده از رابطه (۵) ماتریس وزین ( $V$ ) محاسبه می‌شود.

$$V_{ij} = w_j \times P_{ij}; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

رابطه (۵) وزن هر یک از شاخص‌هاست که با تکنیک‌های مختلفی به دست می‌آید. تکنیک استفاده شده در این مقاله برای محاسبه  $w_j$ ها آنتروپی شانون است. در مرحله بعد، مقادیر گزینه‌های فرضی ایدئال مثبت<sup>۱۳</sup> ( $A^+$ ) و ایدئال منفی<sup>۱۴</sup> ( $A^-$ ) تعیین می‌شود. برای تشکیل گزینه ایدئال مثبت باید در هر یک از ستون‌های ماتریس  $V$  بهترین مقدار انتخاب شود. با توجه به شاخص‌های موجود در این پژوهش برای تعیین ایدئال مثبت، بزرگ‌ترین عدد در هر ستون و برای تعیین ایدئال منفی، کوچک‌ترین عدد در هر ستون در نظر گرفته می‌شود. رابطه‌های (۶) و (۷) چگونگی محاسبه ایدئال مثبت و ایدئال منفی را در هر شاخص نشان می‌دهد.



$$A^+ = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_n^+\} = \{(\max_i v_{ij} \mid j \in J^+), (\min_i v_{ij} \mid j \in J^-) \mid i = 1, 2, \dots, m\} \quad (6)$$

$$A^- = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_n^-\} = \{(\min_i v_{ij} \mid j \in J^+), (\max_i v_{ij} \mid j \in J^-) \mid i = 1, 2, \dots, m\} \quad (7)$$

منظور از  $V_j^+$  و  $V_j^-$  به ترتیب، ایدئال مثبت و ایدئال منفی در شاخص  $z_m$  است. در مرحله بعد، فاصله گزینه‌ها با مقادیر ایدئال مثبت و منفی با استفاده از رابطه‌های (۸) و (۹) محاسبه می‌شود (بیسواس<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۶).

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2}; i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2}; i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

در نهایت، مقادیر نزدیکی نسبی به ایدئال با استفاده از رابطه (۱۰) به دست می‌آید (بیسواس و همکاران، ۲۰۱۶).

$$CL_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}; i = 1, 2, \dots, m; 0 \leq CL_i \leq 1 \quad (10)$$

همانگونه که از رابطه ۱۰ مشخص است، مقدار  $CL_i$  بین صفر و یک است. برای ایدئال مثبت با توجه به اینکه  $d_i^+ = 0$  است، برابر با یک و برای ایدئال منفی با توجه به اینکه  $d_i^- = 0$  است، برابر با صفر می‌شود؛ بنابراین، هرچه مقدار  $CL_i$  به یک نزدیک‌تر باشد؛ راهکار به جواب ایدئال مثبت نزدیک‌تر است و در نتیجه، راهکار بهتری محسوب می‌شود. در حقیقت، رابطه (۱۰) ملاک رتبه‌بندی گزینه‌های پیش رو و تعیین بهترین گزینه قرار می‌گیرد. برای این منظور، کافی است فاصله نسبی گزینه‌ها که به کمک رابطه ۱۰ محاسبه می‌شوند، به ترتیب بزرگ به کوچک مرتب شوند. هرچه فاصله نسبی یک گزینه ( $CL_i$ ) بزرگ‌تر باشد، رتبه بهتری را به خود اختصاص خواهد داد.

#### ۴- روش شناسایی

این پژوهش در شرکت گاز استان چهارمحال و بختیاری با هماهنگی واحدهای مالی، قراردادهای، برنامه‌ریزی، کالا، آموزش نیروی انسانی و فناوری اطلاعات، حالات خرابی را با استفاده از روش نظرسنجی بررسی کرده است. کارکنان این واحدها، جامعه آماری این پژوهش هستند. تعداد ۲۶ نفر از کارکنان شرکت در واحدهای مذکور برای شناسایی ریسک‌های عملیاتی و ۷ نفر از مدیران و خبرگان شرکت برای ارزیابی ریسک‌های استراتژیک انتخاب شدند. در این پژوهش، ضریب آلفای کرونباخ برابر ۰/۹۳ برآورد شد که نشان می‌دهد پرسش‌نامه پژوهش از پایایی خوبی برخوردار است. گام‌های این پژوهش به صورت خلاصه به شرح ذیل است:

گام اول: شناسایی ریسک‌های تکنولوژی شرکت گاز

در این پژوهش، ابتدا ریسک‌های تکنولوژی صنعت گاز با توجه به محیط مدنظر، نظرات خبرگان و مبانی نظری استخراج شده است. این ریسک‌ها در چهار لایه شامل لایه چرایی، چستی، چگونگی و توانمندسازی (این چهار لایه، لایه‌های لازم برای تکنولوژی هستند) دسته‌بندی شده‌اند.

گام دوم: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری براساس روش FMEA

در این گام، ماتریس رتبه‌بندی ریسک‌ها تشکیل می‌شود. در این ماتریس، همانگونه که در ادامه نشان داده شده است، گزینه‌ها، ریسک‌های شناسایی شده و شاخص‌ها براساس تکنیک FMEA شامل شدت اثر، احتمال وقوع و احتمال کشف هر ریسک است.

شاخص‌ها گزینه‌ها	$X_1$	$X_2$	$X_3$
$A_1$	$r_{11}$	$r_{12}$	$r_{13}$
$A_2$	$r_{21}$	$r_{22}$	$r_{23}$
$A_m$	$r_{m1}$	$r_{m2}$	$r_{m3}$

در ماتریس مذکور،  $A_i$  نشان‌دهنده ریسک  $i$ ام،  $X_1$  شدت اثر،  $X_2$  احتمال وقوع و  $X_3$  احتمال کشف ریسک است و  $r_{ij}$  نشان‌دهنده امتیازی است که هر ریسک در هر شاخص به دست می‌آورد.  $r_{ij}$  میانگین نظرات افراد خبره در این صنعت است که نشان می‌دهد هر ریسک در هر شاخص چه امتیازی دارد. براساس تکنیک FMEA هر کدام از شاخص‌ها امتیازی بین ۱ تا ۱۰ می‌توانند داشته باشند؛ بنابراین، هرچه  $r_{ij}$ ها به ۱ نزدیک‌تر باشند، در آن شاخص، ضعیف و هرچه به ۱۰ نزدیک باشند، در آن شاخص، قوی هستند. درحقیقت، براساس تکنیک به‌کاررفته در این مقاله، تمامی سه شاخص S، O و D شاخص‌های مثبت در نظر گرفته شده‌اند؛ بدین صورت که در شاخص S (شدت اثر) هرچه امتیاز یک ریسک به ۱۰ نزدیک‌تر باشد، شدت اثر آن ریسک، بیشتر و هرچه امتیاز آن ریسک در این شاخص به ۱ نزدیک‌تر باشد، شدت اثر آن کمتر است. در شاخص O (احتمال وقوع)، هرچه امتیاز یک ریسک به ۱۰ نزدیک‌تر باشد، احتمال وقوع آن بیشتر و هرچه امتیاز آن ریسک در این شاخص به ۱ نزدیک‌تر باشد، احتمال وقوع آن کمتر است و درنهایت، در شاخص D (احتمال کشف) هرچه امتیاز یک ریسک به ۱۰ نزدیک‌تر باشد، احتمال کشف، کمتر و هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد، احتمال کشف آن ریسک، بیشتر است.

با استفاده از FMEA شدت اثر، احتمال وقوع و احتمال کشف هر ریسک بررسی می‌شود. در تکنیک FMEA عدد اولویت ریسک (RPN) محاسبه می‌شود که از حاصل ضرب سه عامل شدت، وقوع و احتمال کشف به دست می‌آید. تکنیک ارائه‌شده در این مقاله بدین صورت است که به جای ضرب ساده این سه معیار و به دست آوردن عدد RPN و ملاک قراردادن آن برای رتبه‌بندی ریسک‌ها از تکنیک تاپسیس استفاده می‌شود. درحقیقت، تکنیک ترکیبی FMEA و تاپسیس در این مقاله بدین صورت است که به جای ضرب ساده سه معیار S، O و D و محاسبه عدد RPN، برای هر کدام از این سه معیار به کمک تکنیک آنتروپی شانون، درجه اهمیت محاسبه می‌شود و سپس با تکنیک تاپسیس، رتبه‌بندی ریسک‌ها انجام می‌گیرد.

گام سوم: محاسبه وزن شاخص‌ها با تکنیک آنتروپی شانون

در این مرحله، برای سه شاخص تعیین شده، یعنی S، O و D درجه اهمیت محاسبه می‌شود. درحقیقت، برخلاف تکنیک FMEA، که برای همه شاخص‌ها ارزش یکسانی در نظر می‌گیرد، تکنیک ارائه‌شده در این مقاله برای هر کدام از معیارها درجه اهمیت متفاوتی قائل است که با تکنیک آنتروپی شانون محاسبه می‌شود.

تکنیک آنتروپی، همانگونه که قبلاً نیز تشریح شد، بدین صورت است که ابتدا امید ریاضی مربوط به هریک از شاخص‌ها ( $E_i$ ) با استفاده از رابطه (۱) و سپس پارامتر فاصله هریک از معیارها با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود. درنهایت، وزن هریک از معیارها با استفاده از رابطه (۳) نرمال می‌شود.

گام چهارم: رتبه‌بندی ریسک‌ها با تکنیک تاپسیس

در این مرحله با توجه به ماتریس تصمیم‌گیری پایه‌ریزی‌شده براساس تکنیک FMEA (گام دوم) از روش تاپسیس استفاده می‌شود تا رتبه‌بندی نهایی ریسک‌های تکنولوژی توزیع گاز تعیین شود. مراحل استفاده از تکنیک

تاپسیس، همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، بدین صورت است که ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری با رابطه (۴) نرمال و سپس با استفاده از رابطه (۵) ماتریس  $V$  (ماتریس وزین) محاسبه می‌شود. گفتنی است، در این مقاله، مقادیر  $w_j$  با استفاده از روش آنتروپی محاسبه شده است. در مرحله بعد، مقادیر گزینه‌های فرضی ایدئال مثبت ( $A^+$ ) و ایدئال منفی ( $A^-$ ) با استفاده از رابطه‌های (۶) و (۷) محاسبه می‌شود. با توجه به مثبت در نظر گرفتن همه شاخص‌های ماتریس تاپسیس در این مقاله (D و O، S،  $V_j^+$  (ایدئال مثبت در شاخص زام) نشان‌دهنده بزرگ‌ترین امتیاز ریسک در شاخص زام و  $V_j^-$  (ایدئال منفی در شاخص زام) نشان‌دهنده کوچک‌ترین امتیاز ریسک در شاخص زام است؛ سپس فاصله گزینه‌ها با مقادیر ایدئال مثبت و منفی با استفاده از رابطه‌های (۸) و (۹) محاسبه می‌شود. در نهایت، مقادیر نزدیکی نسبی به ایدئال با استفاده از رابطه (۱۰) به دست می‌آید. سرانجام، ریسک‌ها با توجه به مقدار  $CL_i$  رتبه‌بندی می‌شوند. هرچه مقدار  $CL_i$  بیشتر باشد، ریسک مدنظر از اولویت بیشتری برخوردار است.

## ۵- مطالعه موردی و یافته‌ها

در مبانی مربوط به تکنولوژی، چهار لایه «چرای»، «چیستی»، «چگونگی» و «توانمندسازی» وجود دارد. با توجه به مدنظر بودن ریسک‌های تکنولوژی در این مقاله، این چهار لایه، ملاک طبقه‌بندی و شناسایی ریسک‌ها قرار گرفته است. لایه «چرای»، ریسک‌ها و نبود قطعیت‌های مربوط به محیط خارجی؛ لایه «چیستی»، نبود قطعیت‌های موجود در تصمیم‌گیری ارزش پیشنهادی؛ لایه «چگونگی»، ریسک‌ها و نبود قطعیت‌ها در محیط داخلی و لایه «توانمندسازی»، ریسک‌های مربوط به زیرساخت‌ها و بسترهای موجود را در خود جای می‌دهد؛ بنابراین در این مقاله، ابتدا ریسک‌های صنعت توزیع انرژی گاز با مرور مبانی نظری و نظر خبرگان این صنعت شناسایی شد و در این چهار دسته به صورت ذیل قرار گرفت.

نبود قطعیت‌ها در لایه دانش «چرای» شامل دانش ناقص از بازار و آینده آن، دانش ناکافی درباره پیشرفت‌های تکنولوژی، نبود شفافیت اطلاعات، تغییر دولت‌ها و مدیران، نبود توانایی پیش‌بینی آینده (اجتماعی، سیاسی و...)، نامشخص بودن تعاملات، پراکندگی تعاملات و دانش ناقص نسبت به رقباست.

نبود قطعیت‌ها در لایه دانش «چیستی» شامل نبود قطعیت در جست‌وجوی تکنولوژی مناسب، نبود قطعیت در انتخاب درست تکنولوژی و ابهام در تعاریف اهداف عملکردی است.

نبود قطعیت‌ها در لایه دانش «چگونگی» شامل نبود امکان تأمین منابع، پیش‌بینی نکردن تأمین مالی و نقدینگی، نبود امکان تأمین تجهیزات، پیش‌بینی نکردن دقیق تجهیزات، نبود امکان تأمین تکنولوژی‌ها یا انتقال نادرست و تأخیر در تأمین تکنولوژی‌های لازم است.

نبود قطعیت‌ها در لایه «توانمندسازی» شامل نبود بازارهای مناسب شکل‌یافته، نداشتن شناخت از محصول و تولیدکنندگان، نبود سیاست‌های مناسب برای راهبری و به‌کارگیری تکنولوژی، نبود هماهنگی و شبکه‌های نوآوری صنعتی، ناهمگرایی دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی و R&D است.

موارد تشریح‌شده مذکور در جدول ۱ خلاصه شده است. درحقیقت، این پژوهش با در نظر گرفتن چهار لایه اصلی ریسک برای تکنولوژی در جدول شماره ۱، ریسک‌های استخراج‌شده از طریق مرور مبانی و مصاحبه با خبرگان، در هر مرحله و هر لایه از نقشه راه تکنولوژی را نشان می‌دهد.

جدول ۱: ریسک‌های نهایی شناسایی شده در حوزه تکنولوژی اداره گاز استان چهارمحال و بختیاری

دسته‌بندی ریسک	شماره ریسک	توضیح ریسک	منابع
چرایی تکنولوژی	۱	تغییر شرایط و نیازهای شرکت گاز	(کیزر <sup>۱۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۲)
	۲	چرخه عمر تکنولوژی مورد استفاده شرکت گاز	(مرادی و همکاران، ۱۳۹۶)
	۳	شفاف نبودن میزان بازگشت سرمایه شرکت گاز	(نقی زاده و همکاران، ۱۳۹۳)
	۴	تغییر مکرر قوانین و سیاست‌های کلان کشور	(تفضلی و اورک، ۱۳۹۷)
	۵	بروز تحریم‌ها و محدودیت‌های بین‌المللی علیه کشور	(امامی و هادی، ۱۳۹۶)
	۶	شناخت نداشتن دقیق شرکت گاز از توانمندی‌های موجود در کشور	(تفضلی و اورک، ۱۳۹۷)
	۷	تغییرات شاخص اقتصاد کلان (نرخ ارز و تورم) در کشور	(کیزر و همکاران، ۲۰۰۲)
چستی تکنولوژی	۸	شناسایی نکردن تکنولوژی‌ها/ محصولات جایگزین	(لیو و همکاران، ۲۰۱۹)
	۹	ارزیابی و انتخاب اشتباه گزینه‌های ممکن تکنولوژی	(لیو و همکاران، ۲۰۱۹)
	۱۰	تناسب نداشتن تکنولوژی با شرایط جوی استان	(صفاریان و همکاران، ۱۳۹۷)
	۱۱	ریسک ناشی از انتخاب نادرست اقلام جانبی و دارایی‌های مکمل	(کیزر و همکاران، ۲۰۰۲)
چگونگی تکنولوژی	۱۲	نبود زیرساخت‌های مکمل و مناسب	(نقی زاده و همکاران، ۱۳۹۳)
	۱۳	تأمین مالی محدود برای توسعه تکنولوژی	(کیم و ونورتاس، ۲۰۱۴)
	۱۴	ناتوانی در دستیابی به تجهیزات و ماشین‌آلات لازم	(وزدانی و همکاران، ۱۳۹۷)
	۱۵	ناتوانی در دستیابی به تکنولوژی‌های ساخت و تولید	(وزدانی و همکاران، ۱۳۹۷)
	۱۶	کمبود نیروی انسانی ماهر و متخصص	(کیم و ونورتاس، ۲۰۱۴)
	۱۷	جداشدن کارشناسان شرکت گاز و واردشدن به شرکت‌های گازی خصوصی	(زارعی و همکاران، ۱۳۹۷)
	۱۸	نبود سازوکار مناسب در نگهداری و حفظ تکنولوژی	(زارعی و همکاران، ۱۳۹۷)
	۱۹	نبود زیرساخت‌های پایه	(مرادی و همکاران، ۱۳۹۶)
	۲۰	انحصاری بودن تکنولوژی مدنظر در داخل کشور	(اکانایاکی <sup>۱۷</sup> و سویرامانیام <sup>۱۸</sup> ، ۲۰۱۲)
	۲۱	کمبود تجربیات عملیاتی در پروژه‌های مشابه	(اکانایاکی و سویرامانیام، ۲۰۱۲)
توانمندسازی تکنولوژی	۲۲	انتخاب نامناسب شرکت‌های پیمان‌کاری دارای تکنولوژی	(کیزر و همکاران، ۲۰۰۲)
	۲۳	آگاهی نداشتن مدیر از ریسک‌های احتمالی پروژه‌های شرکت گاز	(لیو و همکاران، ۲۰۱۹)
	۲۴	انتقال ندادن دانش تکنولوژی به کارشناسان شرکت گاز	(وزدانی و همکاران، ۱۳۹۷)
	۲۵	کاهش توانایی‌های شرکت گاز با رشد و تأسیس شرکت‌های خصوصی	(نقی زاده و همکاران، ۱۳۹۳)
	۲۶	لزوم ارائه ضمانت‌نامه‌هایی با مبالغ زیاد برای حضور در مناقصات و انعقاد قرارداد با سازمان‌های بهره‌بردار	(امامی و هادی، ۱۳۹۶)
	۲۷	شکل نگرفتن یا شکل‌گیری دیر هنگام قواعد بازار در حوزه تکنولوژی	(نقی زاده و همکاران، ۱۳۹۳)
	۲۸	مخالفت شرکت‌های بهره‌بردار با آزمودن آزمایشی تکنولوژی داخلی	(تفضلی و اورک، ۱۳۹۷)
	۲۹	قدرت پژوهشی اندک شرکت گاز	(امامی و هادی، ۱۳۹۶)

همانگونه که قبلاً اشاره شد، برای ارزیابی ریسک‌های شناسایی شده در این مقاله از روش ترکیبی FMEA و تاپسیس استفاده شده است؛ بدین صورت که در ماتریس تصمیم‌گیری براساس تکنیک تاپسیس، شاخص‌های FMEA به کار رفته است. جدول ۲ ماتریس تشکیل شده براساس میانگین نظرات خبرگان درباره امتیاز هر ریسک در هر شاخص یا به عبارت دیگر، ماتریس تصمیم‌گیری تاپسیس را نشان می‌دهد.

جدول ۲: ریسک‌های توزیع انرژی گازی در ماتریس FMEA

دسته‌بندی ریسک	شماره ریسک	شدت اثر	احتمال وقوع	احتمال کشف
چرایی تکنولوژی	۱	۵/۵۷	۳/۶۱	۴/۵
	۲	۳	۵/۰۵	۶/۲۲
	۳	۳/۱۵	۴/۰۵	۳/۳۸
	۴	۳/۴۲	۷/۹۴	۷/۵۵
	۵	۳/۷۳	۶/۵۵	۷/۷۲
	۶	۲/۶۳	۳/۰۵	۲/۶۶
	۷	۴/۲۶	۵/۹۴	۸/۵
چیستی تکنولوژی	۸	۳/۲۱	۳/۹۴	۴/۵۵
	۹	۵/۸۴	۳/۲۲	۴/۶۱
	۱۰	۳/۰۵	۴/۷۲	۳/۱۱
	۱۱	۶/۶۳	۴/۳۳	۵
چگونگی تکنولوژی	۱۲	۳/۸۴	۳/۶۶	۶
	۱۳	۳/۸۹	۵/۷۲	۸/۳۳
	۱۴	۳/۰۵	۶	۹/۴۴
	۱۵	۴/۳۱	۵	۸/۷۲
	۱۶	۲/۰۵	۴/۷۷	۳/۴۴
	۱۷	۴/۷۸	۵/۴۴	۷/۶۱
	۱۸	۵/۲۶	۵/۱۶	۷/۰۵
	۱۹	۶/۴۷	۴/۰۵	۶/۵
	۲۰	۳/۷۶	۵/۷	۷/۳
	۲۱	۳/۴۸	۲/۰۵	۴/۳۹
توانمندسازی تکنولوژی	۲۲	۵/۴۷	۳/۷۲	۷/۸۸
	۲۳	۴/۱	۳/۲۷	۳/۴۴
	۲۴	۶/۱	۵/۲۲	۷/۰۵
	۲۵	۶/۴۷	۴/۲۷	۲/۷۷
	۲۶	۴	۶/۷۲	۶/۲۲
	۲۷	۶/۳۴	۲/۰۴	۳/۲
	۲۸	۴/۷۸	۳/۳۸	۳/۸۳
	۲۹	۳/۱۵	۳/۲۲	۲/۵۵

جدول ۲ ماتریس تصمیم‌گیری برای رتبه‌بندی ریسک‌های تکنولوژی است. با توجه به این ماتریس، همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، با استفاده از تکنیک آنتروپی شانون، وزن شاخص‌ها تعیین می‌شود. جدول شماره ۳ نتایج محاسباتی مربوط به این تکنیک را نشان می‌دهد.

جدول ۳: محاسبه وزن شاخص‌ها با استفاده از تکنیک آنتروپی شانون

شاخص	شدت اثر	احتمال وقوع	احتمال کشف
$E_j$	۰/۹۸۷۰۲۵	۰/۹۸۶۵۲۶	۰/۹۷۸۸۹۴
$d_j$	۰/۰۱۲۹۷۵	۰/۱۳۴۷۴	۰/۰۲۱۱۰۶
$W_j$	۰/۲۷۲۸۳۳	۰/۲۸۳۳۳۶	۰/۴۴۳۸۳۱

با نرمال کردن ماتریس تصمیم‌گیری موجود در جدول ۲ به کمک رابطه (۴)، ماتریس نرمال به دست می‌آید. با ضرب کردن وزن‌های محاسبه‌شده از طریق تکنیک آنتروپی شانون، که در جدول ۳ به دست آمد، در ماتریس نرمال از طریق رابطه (۵)، ماتریس موزون به صورت جدول ۴ به دست می‌آید.

جدول ۴: ماتریس موزون برای رتبه‌بندی ریسک‌های توزیع انرژی گاز

دسته‌بندی ریسک	شماره ریسک	شدت اثر	احتمال وقوع	احتمال کشف
چرایی تکنولوژی	۱	۰/۰۱۲۰۸۱	۰/۰۰۷۷۶	۰/۰۱۲۲۱
	۲	۰/۰۰۶۵۰۷	۰/۰۱۰۸۶	۰/۰۱۶۸۸
	۳	۰/۰۰۶۸۳۲	۰/۰۰۸۷۱	۰/۰۰۹۱۷
	۴	۰/۰۰۷۴۱۸	۰/۰۱۷۰۷	۰/۰۲۰۴۹
	۵	۰/۰۰۸۰۹	۰/۰۱۴۰۸	۰/۰۲۰۹۵
	۶	۰/۰۰۵۷۰۴	۰/۰۰۶۵۶	۰/۰۰۷۲۲
	۷	۰/۰۰۹۲۴	۰/۰۱۲۷۷	۰/۰۲۳۰۷
چیستی تکنولوژی	۸	۰/۰۰۶۹۶۲	۰/۰۰۸۴۷	۰/۰۱۲۳۵
	۹	۰/۰۱۲۶۶۷	۰/۰۰۶۹۲	۰/۰۱۲۵۱
	۱۰	۰/۰۰۶۶۱۵	۰/۰۱۰۱۵	۰/۰۰۸۴۴
	۱۱	۰/۰۱۴۳۸	۰/۰۰۹۳۱	۰/۰۱۳۵۷
چگونگی تکنولوژی	۱۲	۰/۰۰۸۳۲۹	۰/۰۰۷۸۷	۰/۰۱۶۲۹
	۱۳	۰/۰۰۸۴۳۷	۰/۰۱۲۳	۰/۰۲۲۶۱
	۱۴	۰/۰۰۶۶۱۵	۰/۰۱۲۹	۰/۰۲۵۶۲
	۱۵	۰/۰۰۹۳۴۸	۰/۰۱۰۷۵	۰/۰۲۳۶۷
	۱۶	۰/۰۰۴۴۴۶	۰/۰۱۰۲۶	۰/۰۰۹۳۴
	۱۷	۰/۰۱۰۳۶۸	۰/۰۱۱۷	۰/۰۲۰۶۶
	۱۸	۰/۰۱۱۴۰۹	۰/۰۱۱۰۹	۰/۰۱۹۱۴
	۱۹	۰/۰۱۴۰۳۳	۰/۰۰۸۷۱	۰/۰۱۷۶۴
	۲۰	۰/۰۰۸۱۵۵	۰/۰۱۲۲۵	۰/۰۱۹۸۱
	۲۱	۰/۰۰۷۵۴۸	۰/۰۰۴۴۱	۰/۰۱۱۹۲
	۲۲	۰/۰۱۱۸۶۴	۰/۰۰۸	۰/۰۲۱۳۹
	توانمندسازی تکنولوژی	۲۳	۰/۰۰۸۸۹۳	۰/۰۰۷۰۳
۲۴		۰/۰۱۳۲۳۱	۰/۰۱۱۲۲	۰/۰۱۹۱۴
۲۵		۰/۰۱۴۰۳۳	۰/۰۰۹۱۸	۰/۰۰۷۵۲
۲۶		۰/۰۰۸۶۷۶	۰/۰۱۴۴۵	۰/۰۱۶۸۸
۲۷		۰/۰۱۳۷۵۱	۰/۰۰۴۳۹	۰/۰۰۸۶۹
۲۸		۰/۰۱۰۳۶۸	۰/۰۰۷۲۷	۰/۰۱۰۴
۲۹		۰/۰۰۶۸۳۲	۰/۰۰۶۹۲	۰/۰۰۶۹۲

حال با توجه به ماتریس موزون در جدول ۴ از تکنیک تاپسیس برای محاسبه رتبه ریسک‌ها استفاده می‌شود. برای این منظور، ابتدا ایدئال مثبت و ایدئال منفی در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵: ایدئال مثبت و ایدئال منفی در شاخص‌ها

احتمال وقوع	احتمال کشف	شدت اثر	
۰/۰۱۷۰۷	۰/۰۲۵۶۲	۰/۰۱۴۳۸	ایدئال مثبت
۰/۰۰۴۳۹	۰/۰۰۶۹۲	۰/۰۰۴۴۴۶	ایدئال منفی

با توجه به اینکه در این مقاله، هر سه شاخص (شدت اثر، احتمال وقوع و احتمال کشف) مثبت در نظر گرفته شده‌اند؛ یعنی هرچه عدد ریسک در آن شاخص بزرگ‌تر باشد، از رتبه بهتری برخوردار است، ایدئال مثبت، بزرگ‌ترین عدد در هر ستون و ایدئال منفی، کوچک‌ترین عدد در هر ستون است که در جدول ۵ نشان داده شده است. در نهایت، جدول شماره ۶ نتایج محاسباتی مربوط به روش تاپسیس را نشان می‌دهد.

جدول ۶: نتایج محاسباتی مربوط به تکنیک تاپسیس

رتبه‌بندی ریسک‌ها	$CL_i$	$d_i$	$d_i^+$	شماره ریسک
۱۸	۰/۴۳۷	۰/۰۱۲۸	۰/۰۱۶۴۸	۱
۱۴	۰/۵۳۶۹۶	۰/۰۱۵۴۳	۰/۰۱۳۳	۲
۲۳	۰/۴۲۱۲۰	۰/۰۱۴۵۱	۰/۰۱۹۹۴	۳
۵	۰/۷۰۳۶۸	۰/۰۲۰۵۴	۰/۰۰۸۶۵	۴
۶	۰/۶۹۶۳۰	۰/۰۱۹۲۲	۰/۰۰۸۳۸	۵
۲۵	۰/۴۱۶۷۸	۰/۰۱۶۳۷	۰/۰۲۲۹۰	۶
۱	۰/۷۴۰۴۵	۰/۰۲۰۴۶	۰/۰۰۷۱۷	۷
۱۷	۰/۴۴۱۶۱	۰/۰۱۳۸۲	۰/۰۱۷۴۷	۸
۱۹	۰/۴۳۶۸۵	۰/۰۱۲۹۳	۰/۰۱۶۶۷	۹
۲۲	۰/۴۲۶۰۲	۰/۰۱۴۹۱	۰/۰۲۰۰۸	۱۰
۱۶	۰/۴۷۱۰۷	۰/۰۱۲۷۷	۰/۰۱۴۳۳	۱۱
۱۵	۰/۵۰۰۸۱	۰/۰۱۴۴۹	۰/۰۱۴۴۴	۱۲
۴	۰/۷۰۸۱۲	۰/۰۱۹۸۸	۰/۰۰۸۲۰	۱۳
۲	۰/۷۲۲۳۸	۰/۰۲۲۹۴	۰/۰۰۸۸۱	۱۴
۳	۰/۷۰۹۸۳	۰/۰۲۰۳۳	۰/۰۰۸۳۱	۱۵
۲۰	۰/۴۳۱۳۴	۰/۰۱۵۳۷	۰/۰۲۰۲۶	۱۶
۷	۰/۶۸۱۶۲	۰/۰۱۷۸۷	۰/۰۰۸۳۵	۱۷
۱۰	۰/۶۳۷۲۸	۰/۰۱۶۳۵	۰/۰۰۹۳۱	۱۸
۱۳	۰/۵۵۹۳۳	۰/۰۱۴۶۸	۰/۰۱۱۵۶	۱۹
۹	۰/۶۴۱۸۰	۰/۰۱۷۵۳	۰/۰۰۹۷۸	۲۰
۲۱	۰/۴۲۹۸۳	۰/۰۱۴۹۸	۰/۰۱۹۸۷	۲۱
۱۱	۰/۶۳۱۶۱	۰/۰۱۷۷۰	۰/۰۱۰۳۲	۲۲
۲۸	۰/۴۱۵۲۲	۰/۰۱۴۱۳	۰/۰۱۹۹۰	۲۳
۸	۰/۶۴۹۷۴	۰/۰۱۶۳۴	۰/۰۰۸۸۱	۲۴
۲۷	۰/۴۱۵۳۱	۰/۰۱۴۰۳	۰/۰۱۹۷۵	۲۵
۱۲	۰/۶۰۶۴۸	۰/۰۱۶۴۶	۰/۰۱۰۷۶	۲۶
۲۹	۰/۴۱۲۸۱	۰/۰۱۴۸۸	۰/۰۲۱۱۷	۲۷
۲۴	۰/۴۱۹۲۲	۰/۰۱۳۳۹	۰/۰۱۸۵۵	۲۸
۲۶	۰/۴۱۵۵۴	۰/۰۱۶۰۵	۰/۰۲۲۵۸	۲۹

جدول مذکور، رتبه نهایی ریسک‌ها را نشان می‌دهد. تغییرات شاخص اقتصاد کلان (نرخ ارز و تورم) در کشور در رتبه اول؛ ناتوانی در دستیابی به تجهیزات و ماشین‌آلات ضروری در رتبه دوم؛ ناتوانی در دستیابی به تکنولوژی‌های ساخت و تولید در رتبه سوم و تأمین مالی محدود برای توسعه تکنولوژی در رتبه چهارم قرار گرفته است. سایر رتبه‌بندی ریسک‌های توزیع انرژی گاز نیز در جدول ۶ مشخص شده است. شرکت گاز با تمرکز بر ریسک‌های استخراج‌شده در این مقاله و توجه به این ریسک‌ها به ترتیب اهمیت تعیین شده بر آنها می‌تواند در تصمیم‌گیری‌ها و چگونگی صحیح انجام پروژه‌های خود گام بردارد. گفتنی است، روند منطقی و علمی به‌کاررفته در این مقاله و تأیید نتایج به‌دست‌آمده توسط خبرگان این صنعت، نشان‌دهنده اعتبار این پژوهش است.

## ۶- بحث

در این مقاله با فهمی کامل و جامع از پروژه‌های گازرسانی، ریسک‌های مربوط به این پروژه‌ها تعیین شد؛ سپس فهرست ریسک‌های شناسایی‌شده براساس قلمرو و تحقیق، درجه اهمیت و موضوعیت، بازنگری و پرسشنامه طراحی شد. درنهایت، برای اعتبارسنجی این پرسشنامه و نهایی‌سازی فهرست ریسک‌ها با کارشناسان از ارکان مختلف پروژه (کارفرما، مشاور، ناظر و پیمانکار)، که اطلاعات جامع‌تری داشتند، مصاحبه نیمه‌ساختاریافته انجام شد. پس از اعتبارسنجی پرسشنامه و نهایی‌سازی فهرست ریسک‌های شناسایی‌شده، توزیع پرسشنامه برای شناسایی احتمال وقوع، شدت اثر و شدت شناسایی آنها و درنهایت، با استفاده از روش تلفیقی FMEA و تاپسیس، رتبه‌بندی ریسک‌ها انجام شد؛ بدین صورت که ماتریس تصمیم‌گیری بر مبنای تکنیک FMEA شکل گرفت. درحقیقت، شاخص‌های ماتریس تصمیم‌گیری، براساس تکنیک FMEA شامل احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف در نظر گرفته شد؛ سپس با تکنیک آنتروپی شانون، وزن شاخص‌ها تعیین و سرانجام با تکنیک تاپسیس، رتبه‌بندی ریسک‌ها محاسبه شد.

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد تغییرات شاخص اقتصاد کلان (نرخ ارز و تورم) در کشور در رتبه اول؛ ناتوانی در دستیابی به تجهیزات و ماشین‌آلات ضروری در رتبه دوم؛ ناتوانی در دستیابی به تکنولوژی‌های ساخت و تولید در رتبه سوم و تأمین مالی محدود برای توسعه تکنولوژی در رتبه چهارم ریسک‌های تکنولوژی توزیع گاز طبیعی قرار می‌گیرد. رتبه‌بندی سایر ریسک‌های شناسایی‌شده در جدول ۶ نشان داده شده است.

تفسیر نتایج این پژوهش نشان می‌دهد شرکت‌های توزیع گاز استان‌ها چه ریسک‌هایی و با چه اولویتی در توزیع گاز طبیعی دارند؛ بنابراین برای انجام درست این وظیفه با کمترین ریسک باید برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری‌های خود را مطابق ریسک‌ها و رتبه‌بندی‌های به‌دست‌آمده در این مقاله تنظیم کنند.

مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با پژوهش‌های پیشین، نتایج منطقی‌تر و علمی‌تری را نشان می‌دهد. شباهت عمده این پژوهش با پژوهش‌های موجود، در ریسک‌های شناسایی‌شده است؛ اما تفاوت عمده آنها در تکنیک به‌کاررفته است که نتایج آن را کاربردی‌تر می‌کند. در پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه ریسک معمولاً از تکنیک FMEA استفاده شده است. در تکنیک FMEA سه شاخص شدت اثر، احتمال وقوع و احتمال کشف وجود دارد که هر سه با یک درجه اهمیت لحاظ می‌شود؛ در حالی که قاعده‌تاً این سه مورد در رتبه‌بندی ریسک‌ها نباید تأثیر یکسان داشته باشند؛ از این رو، این مقاله با ترکیب روش‌های آنتروپی شانون و تاپسیس با تکنیک FMEA در



مقایسه با پژوهش‌های موجود، رتبه‌بندی صحیح‌تر و کاربردی‌تری را در عمل نشان می‌دهد که تأیید خبرگان این صنعت، این موضوع را تصدیق می‌کند. تفاوت دیگر میان این پژوهش با پژوهش‌های موجود، این است که پژوهش‌های دیگر، استخراج ریسک‌ها در این صنعت را به‌طور کلی مدنظر قرار داده‌اند؛ در حالی که این پژوهش با تأکید و تمرکز بر حوزه تکنولوژی، به استخراج ریسک‌ها توجه کرده است.

ریسک‌ها و نبود قطعیت‌هایی که ممکن است در پروژه‌های توسعه تکنولوژی گاز همراه شود، نیاز به ارزیابی و مدیریت ریسک را در این صنعت آشکار می‌کند. درحقیقت، وجود ریسک‌های متعدد و عوامل محیطی متزلزل، که بر صنعت گاز تحمیل می‌شود، از موانع اصلی تحقق توسعه تکنولوژی در بخش صنعت گاز کشور به شمار می‌آید؛ به عبارت دیگر، پیاده‌سازی و اجرای طرح‌ها و پروژه‌های صنعت گاز به‌علت حاکمیت عناصر نامطمئن و نامعین و پیچیدگی‌های خاص این صنعت، ریسک زیادی دارد. تکنیک ارائه‌شده در این پژوهش براساس اطلاعات به‌دست‌آمده از شرکت گاز استان چهارمحال و بختیاری است؛ اما با توجه به ساختار مشابه شرکت‌های گاز استان‌ها در تکنولوژی و توزیع گاز، روش و نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش برای تمامی شرکت‌های گاز در زمینه توزیع گاز معتبر است. درحقیقت، مخاطبان اصلی این پژوهش، شرکت‌های توزیع گاز استان‌ها هستند که با رویکرد پیشنهادی می‌توانند کاهش ریسک در تکنولوژی توزیع گاز را دنبال کنند و در نتیجه آن، خدمت‌رسانی بهتر به مردم را در برنامه کاری خود قرار دهند. با توجه به همانندی ماهیت پروژه‌ها در شرکت‌های گاز استانی سراسر کشور، ساختار الگوی پیشنهادی و نتایج آن در این مقاله، تعمیم دادنی به شرکت گاز استانی و ملی گاز سراسر کشور است.

## ۷- نتیجه‌گیری

تکنولوژی به‌طور کلی سهم بسیار بزرگی در ارائه خدمات مطلوب در شرکت‌های گاز دارد. دلایل زیادی برای این مهم وجود دارد که از جمله می‌توان به مواردی چون گسترش تعداد مشترکین، افزایش سهم گاز در سبد انرژی، شرایط خاص ایران در صحنه بین‌المللی، تهدیدهای جهانی در دسترسی به تکنولوژی‌های پیشرفته، راهبردی بودن صنعت گاز از بعد سیاسی و اقتصادی اشاره کرد؛ از این‌رو، این مقاله، ریسک‌های تکنولوژی توزیع انرژی گاز را شناسایی و رتبه‌بندی کرده است. بدین منظور، پس از شناسایی ریسک‌های این صنعت با توجه به مبانی موضوع و نظر خبرگان، رتبه‌بندی آنها با تکنیک ترکیبی FMEA با آنتروپی شانون و تاپسیس انجام شده است.

وجه نوآوری این مقاله در شناسایی ریسک‌های تکنولوژیکی در توزیع انرژی گاز طبیعی است که تاکنون در این زمینه، پژوهشی انجام نشده است. نوآوری دیگر این مقاله در تکنیک به کار گرفته شده است که در آن، تکنیک‌های FMEA، آنتروپی شانون و TOPSIS به‌صورت کاملاً جدید و نوآورانه به شیوه‌ای که در مقاله شرح داده شد، با هم ترکیب شده‌اند. در تکنیک FMEA عدد RPN با ضرب ساده احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف به دست می‌آید و ملاک رتبه‌بندی قرار می‌گیرد؛ اما در این مقاله برای هرکدام از موارد احتمال وقوع، شدت اثر و احتمال کشف از طریق تکنیک آنتروپی شانون وزن (درجه اهمیت) محاسبه و سپس به کمک تکنیک تاپسیس، رتبه‌بندی ریسک‌ها انجام شده است. تکنیک منطقی و علمی به‌کاررفته برای رتبه‌بندی در این مقاله در مقایسه با رتبه‌بندی ساده به کمک عدد RPN، رتبه‌بندی منطقی‌تر و کاربردی‌تری را در عمل پیشنهاد می‌دهد.

از جمله محدودیت‌های این پژوهش، دسترسی به پروژه‌های این صنعت به صورت مجزاست. در این پژوهش، پروژه توزیع گاز به صورت کلی تعریف شد که کلیه پروژه‌های این صنعت را، که در حوزه توزیع باشد، شامل می‌شود. درحقیقت، دسترسی به صورت مجزا به هر کدام از پروژه‌های توزیع گاز امکان‌پذیر نبود. همچنین تحلیل و معرفی راهکار برای کاهش هر کدام از ریسک‌ها از دیگر محدودیت‌های این پژوهش است؛ به عبارت دیگر، بررسی هر کدام از ریسک‌ها به صورت جداگانه با توجه به ساختار این صنعت از محدودیت‌های این پژوهش است. در ادامه این پژوهش پیشنهاد می‌شود تکنیک ارائه‌شده برای یک پروژه خاص در صنعت گاز انجام و با نتایج این پژوهش مقایسه شود. همچنین در نظر گرفتن پارامترها به صورت فازی و استفاده از دیگر تکنیک‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه و مقایسه آن با نتایج این پژوهش نیز مفید است. تجزیه و تحلیل و ارائه راهکارهایی برای کاهش هر کدام از ریسک‌های شناسایی و رتبه‌بندی شده در این مقاله نیز بسیار مفید است که در این صنعت از آن استقبال خواهد شد.

## References

- Bahrani, R., & Dehghani, M. (2010). "Risk Analysis Based on TOPSIS Algorithm and Correlation Coefficient Analysis (Case Study: Gas Distribution Industry)". 6th International Project Management Conference.
- Biswas, P., Pramanik, S., & Giri, B. C. (2016). "TOPSIS method for multi-attribute group decision-making under single-valued neutrosophic environment". *Neural computing and Applications*, 27, 727-737.
- Ekanayake, S., & Subramaniam, N. (2012). "Nature, extent and antecedents of risk management in accounting, law and biotechnology firms in Australia Accounting", *Accountability & Performance*, 17(1/2), 23- 47.
- Emami Meibodi, A., and Hadi, A. (2017). "Analysis of the Transferring Technology Barriers in Buy Back Contracts and Evaluation of the risk of Transferring Technology in New oil Contracts (IPC) in Iran: Application of "FMEA" Method". *Journal of Iranian Energy Economics*, 6 (22), 1- 44.
- Ghasemi Sahebi, E., Modaresi, M., Arab, A., and Ajali, M. (2017). "Safety Risk Assessment by Developing a Crash Analysis Approach and Its Effects". The First International Conference on Management Patterns in the Age of Progress.
- Gu, Y. K., Cheng, Z. X., and Qiu, G. Q. (2019). "An improved FMEA analysis method based on QFD and TOPSIS theory". *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 13 (2), 617-626.
- Hosseinzadeh, M., Mehregan, M. R., and Ghomi, M. (2019). "Identifying and Analyzing Supply Chain Risks of Saipa Automobile Company using the Coso Model and Social Network Analysis (SNA)". *Production and Operations Management*, 10 (1), 111-132.
- Izadi, B., and Shafie, M. (2018). "A Decision Support System for evaluation and prioritization, the import risks to manage the effects of sanctions on Iran (Case Study: Farabi Pharmaceutical Company)". *Production and Operations Management*, 9 (1), 79- 106.
- Keizer, J. A., Halman, J. I., and Song, M. (2002). "From experience: applying the risk diagnosing methodology". *Journal of product innovation management*, 19 (3), 213- 232.
- Kim, Y., and Vonortas, N. S. (2014). "Managing risk in the formative years: Evidence from young enterprises in Europe". *Technovation*, 34 (8), 454-465.

- Kolios, A. J., Umofia, A., and Shafiee, M. (2017). "Failure mode and effects analysis using a fuzzy-TOPSIS method: a case study of subsea control module". *International Journal of Multicriteria Decision Making*, 7 (1), 29- 53.
- Liu, H. C., Wang, L. E., Li, Z., & Hu, Y. P. (2019). "Improving risk evaluation in FMEA with cloud model and hierarchical TOPSIS method". *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 27 (1), 84- 95.
- Moradi, A., Najafi Kani, E., and Parvini, M. (2017). "Risk assessment of municipal natural gas pipeline networks using Analytic Hierarchy Process (AHP) for Sanandaj city". *Iran Occupational Health*; 14 (4), 1-12.
- Naghizadeh, M., Bamdadsoofi, J., and Mirafshar, M. (2014). "Identifying and Prioritizing Risks of Technology Collaboration Projects (Biotechnology)" *Journal of Technology Development Management*, DOI: 10.22104/JTDM.2014.214
- Park, J., Park, C., and Ahn, S. (2018). "Assessment of structural risks using the fuzzy weighted Euclidean FMEA and block diagram analysis". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 99 (9-12), 2071- 2080.
- Safarian, S., Salamatnia, A., Kazemi, A., and Shafiei, M, (2018). "Assessment and Management of Environmental aspects of Abadan Gas Power Plant exploitation unit by using EFMEA", *Journal of Environmental Science and Technology*, DOI: 10.22034/JEST.2018.11365.2010.
- Tafazoli, L., and Orak., N. (2018). "Environmental risk assessment Bangestan gas compressor stations and Asmar HAZAN method of operation in the oil and gas complex Maroon 3". *Journal of Environmental Science and Technology*, DOI: 10.22034/JEST.2018.20976.3002.
- Vazdani, S., Sabzghabaei, G., Dashti, S., Cheraghi, M., Alizadeh, R., and Hemmati, A. (2018). "Application of FMEA Model for Environmental, Safety and Health Risks Assessment of Gas Condensates Storage Tanks of Parsian Gas Refining Company in 2016". *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, 17 (4), 345-358.
- Zarei., E, Mohammadfam, I., Azadeh, A., Khakzad, N., and Mirzai, M. (2018). "Dynamic risk assessment of chemical process systems using Bayesian Network". *Iran Occupational Health*, 15 (3), 103- 117

---

<sup>1</sup>- Kim

<sup>2</sup>- Vonortas

<sup>3</sup>- Liu

<sup>4</sup>- Shannon Entropy

<sup>5</sup>- PHA

<sup>6</sup>- HAZAN

<sup>7</sup>- Gu

<sup>8</sup>- Park

<sup>9</sup>- Kolios

<sup>10</sup>- Severity

<sup>11</sup>- Occurrence

<sup>12</sup>- Detection

<sup>13</sup>- PIS: Positive Ideal Solution

<sup>14</sup>- NIS: Negative Ideal Solution

<sup>15</sup>- Biswas

<sup>16</sup>- Keizer

<sup>17</sup>- Ekanayake

<sup>18</sup>- Subramaniam