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

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.

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.

* 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.

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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۰، پیاپی ۱۹، شماره ۲، پاییز زمستان ۱۳۹۸
دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۱ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۳
صص: ۱۴۳-۱۵۹

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

مهدی نخعی نژاد [۱*]، معصومه صفاری [۲]

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 عرضهٔ 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. ازجمله 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 شناسایی‌شده در قالب کاربرگ FMEA قرار داده شد و به ۳۳ نفر از خبرگان و پیمانکاران صنعت گاز ارسال شد. پس از امتیازدهی به ریسک‌ها در قالب کاربرگ FMEA، به جای محاسبهٔ عدد RPN، تکنیک TOPSIS برای رتبه‌بندی ریسک‌ها استفاده شده است. یافته‌های به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان می‌دهد مهم‌ترین ریسک‌های تکنولوژی در توزیع انرژی گاز به‌ترتیب، 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 توسعهٔ 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

---

*نویسنده مسؤول

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)؛ به‌گونه‌ای‌که در حال حاضر، تعداد پروژه‌ها در شرکت‌های گاز استانی به صدها مورد رسیده است.

علاوه بر موارد مذکور، شرایط خاص ایران در صحنهٔ 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 توسعهٔ 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 توسعهٔ 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 نامعیّن 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 تجربهٔ عملی ریشه گرفته‌اند و از آن در توسعه، طراحی، تولید و به‌کارگیری محصولات، فرایندها، سیستم‌ها و خدمات استفاده می‌شود (کیم[۱] و ونورتاس[۲]، ۲۰۱۴). ریسک را می‌توان تغییرپذیری یا بی‌ثباتی نتایج غیرمنتظره تعریف کرد و مدیریت ریسک، فرایند شناسایی، ارزیابی و کنترل ریسک‌های بالقوه است (لیو[۳] و همکاران، ۲۰۱۹).

از مهم‌ترین ریسک‌های شرکت گاز، ریسک‌های تکنولوژی است که طی سال‌های اخیر در قالب بودجه‌های سنواتی نسبت به سرمایه‌گذاری در بخش توسعهٔ گازرسانی اقدام کرده‌اند. با توجه به ریسک‌های تکنولوژی زیاد این سرمایه‌گذاری عظیم، شناسایی‌نکردن 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.

ادارهٔ 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، مطرح‌کردن چارچوبی برای اولویت‌بندی ریسک‌های تکنولوژی این شرکت است که با توجه به ساختار مشابه شرکت‌های گاز استان‌ها، چارچوب مطرح‌شده در این مقاله برای همهٔ شرکت‌های توزیع گاز استان‌ها معتبر است. برای دستیابی به این هدف، این مقاله، تکنیک جدیدی برپایهٔ ترکیب روش‌های FMEA، آنتروپی شانون[۴] و تاپسیس مطرح کرده است.

در ادامهٔ این مقاله، در بخش دوم، پیشینهٔ پژوهش؛ در بخش سوم، مبانی نظری پژوهش شامل روش‌های FMEA، آنتروپی شانون و تاپسیس؛ در بخش چهارم، روش‌شناسی پژوهش؛ در بخش پنجم، مطالعهٔ موردی و یافته‌های پژوهش؛ در بخش ششم، بحث دربارهٔ موضوع و درنهایت، در بخش هفتم، نتیجه‌گیری مطرح می‌شود.

۲- پیشینهٔ پژوهش

در این مقاله، رتبه‌بندی ریسک‌های تکنولوژی شرکت گاز با رویکرد تلفیقی FMEA، آنتروپی شانون و تاپسیس انجام می‌شود. درادامه، 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 فاصلهٔ ۶۵ کیلومتری شهرستان اهواز- امیدیه قرار دارد. آنها پس از بررسی فعالیت و فرایندهای مختلف در هر دو ایستگاه، خطرات و عوامل بالقوهٔ آسیب‌رسان را شناسایی و درادامه، از دو روش پی اچ ای[۵] و هازان[۶] به‌ترتیب 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 آلایندگی سوزاندن گاز در مشعل‌ها و ریسک آلودگی صوتی مربوط به سروصدای توربین‌ها و کمپرسورها پس از راه‌اندازی است. آنها درادامه، 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 شبکهٔ بیزین» از رویکردی پویا و کمّی 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 کمّی پویا، الگوی علت–پیامد سناریو با استفاده از شبکهٔ بیزین مطرح کردند. آنها درادامه از توانایی استدلال استقرایی و قیاسی این شبکه‌ها استفاده و درپایان، 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 به‌ترتیب، 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 بالقوهٔ آسیب‌رسان را شناسایی کردند. آنها از مقایسهٔ 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 پارسیان 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 تجزیه‌وتحلیل حالات شکست ریسک‌های شناسایی‌شده را بررسی و اولویت‌بندی کردند. آنها در این مطالعه، ۱۷ریسک را شناسایی کردند که ۱۲ مورد آن، زیست‌محیطی و ۵ مورد، ایمنی و بهداشتی است. آنها درنهایت، بیشترین میزان ریسک زیست‌محیطی و ایمنی بهداشتی در مخازن را به‌ترتیب، آتش‌سوزی در اثر عوامل تروریستی و عمدی و استنشاق بخار حین تعمیرات معرفی کردند.

مرادی و همکاران (۱۳۹۶) ریسک شبکهٔ توزیع گاز شهری را در شهرک بهاران واقع در شهر سنندج ارزیابی کردند. آنها از تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) برای مدیریت ریسک شبکهٔ توزیع گاز شهری استفاده کردند. آنها از بین شاخص‌های مدنظر نشان دادند شاخص دخالت اشخاص حقیقی از زیرمجموعهٔ شاخص علیتی و شاخص خطر ماده از زیرمجموعهٔ شاخص پیامد به‌ترتیب، بیشترین وزن (۰/۱۶۵ و ۰/۱۵) و شاخص فشار خط لوله، کمترین وزن (۰/۰۰۳۱) 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 نظریهٔ 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[۷] و همکاران(۲۰۱۹) روش تجزیه و تحلیل FMEA بهبودیافته‌ای را براساس نظریهٔ 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 بدین‌ترتیب، خطرناک بودن نسبی هر الگوی شکست به دست آید.

پارک[۸] و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش FMEA وزن‌دار اقلیدسی فازی و تجزیه و تحلیل نمودارهای بلوکه‌ای، خطرات ساختاری ر ارزیابی کرده‌اند. آنها روش ارزیابی ریسک جدیدی را با استفاده از شمارهٔ اولویت خطر (IRPN) مطرح کردند و با مقایسهٔ تکنیک ارائه‌شده با روش‌های قبلی FMEA نشان دادند روش پیشنهادی نه‌تنها 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 اجراشدنی از روش‌های قبلی است.

کولیوس[۹] 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. بدین‌منظور، ابتدا حالت‌ها و خطاهای بالقوهٔ ماژول را براساس نظرات و تجربهٔ 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 شفیعی (۱۳۹۷) سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری‌ای را برای ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک واردات کالا معرفی کردند. آنها برای نخستین‌بار، سیستم پشتیبان تصمیم مبتنی بر الگوهای کمّی 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 به‌موقع ارز به شرکت‌های تأمین‌کنندهٔ خارجی، مسیرهای نامطمئن

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

حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) با بهره‌گیری از الگوی کوزو و رویکرد تحلیل شبکه‌های اجتماعی (SNA) ریسک‌های زنجیرهٔ تأمین در شرکت خودروسازی سایپا را شناسایی و تحلیل کردند. هدف آنها تعیین ریسک‌های بحرانی و اتخاذ تصمیم مناسب برای هریک از دسته‌های تعیین‌شده 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 دربارهٔ 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 اشاره‌شده در این مقاله، از دیگر نوآوری‌های این پژوهش است. مطالعهٔ انجام‌شده 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 بالقوهٔ 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 به‌شرح ذیل است (جو و همکاران، ۲۰۱۹):

- شدت اثر[۱۰] (S)

این شاخص، شدت خطر یا میزان جدی بودن اثر خطر بالقوه است. شدت یا وخامت خطر فقط دربارهٔ 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[۱۱] (O)

احتمال وقوع مشخص می‌کند که یک علت یا سازوکار بالقوهٔ 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[۱۲] (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.

درنهایت، 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، حاصل‌ضرب 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 محاسبهٔ وزن معیارهاست. مزیت این تکنیک این است که براساس ماتریس تصمیم‌گیری و پراکندگی داده‌ها می‌توان درجهٔ اهمیت شاخص‌ها را محاسبه کرد. این تکنیک بدین‌صورت است که ابتدا امید ریاضی مربوط به هریک از شاخص‌ها (E_j) با استفاده از فرمول (۱) محاسبه می‌شود (کولیوس و همکاران، ۲۰۱۷).

$$E_j = \frac{-1}{Lnm} \times \sum_{i=1}^{m} [P_{ij} \times LnP_{ij}]; j = 1,2,...,n \quad (۱)$$

در فرمول مذکور، p_{ij} امتیاز نرمال‌شدهٔ گزینه iام در شاخص jام است. بعد از محاسبهٔ E_j، پارامتر فاصلهٔ هریک از معیارها با استفاده از فرمول (۲) به‌ازای تمام jها یا معیارها محاسبه می‌شود.

$$d_j = 1 - E_j; j = 1,2,...,n \quad (۲)$$

درنهایت، وزن هریک از معیارها (w_j) با استفاده از فرمول (۳) محاسبه می‌شود که جمع کل w_jها برابر با یک است.

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^{n} d_j}; j = 1,2,...,n \quad (۳)$$

۳-۳- تکنیک تاپسیس

روش تاپسیس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخص‌هاست که گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌کند. اساس این روش برپایهٔ 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).

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} r_{ij}}; i = 1,2,...,m; j = 1,2,...,n \quad (۴)$$

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

$$V_{ij} = w_j \times P_{ij}; i = 1,2,...,m; j = 1,2,...n \quad (۵)$$

رابطهٔ (۵) w_j وزن هریک از شاخص‌هاست که با تکنیک‌های مختلفی به دست می‌آید. تکنیک استفاده‌شده در این مقاله برای محاسبهٔ w_jها آنتروپی شانون است. در مرحلهٔ بعد، مقادیر گزینه‌های فرضی ایدئال مثبت[۱۳] (A^+) و ایدئال منفی[۱۴] (A^-) تعیین می‌شود. برای تشکیل گزینهٔ ایدئال مثبت باید در هریک 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 محاسبهٔ ایدئال مثبت و ایدئال منفی را در هر شاخص نشان می‌دهد.

$$A^+ = \{V_1^+, V_2^+, ..., V_n^+\} = \{(\max_i v_{ij} \mid j \in J^+), (\min_i v_{ij} \mid j \in J^-) \mid i = 1,2,...,m)\} \quad (۶)$$

$$A^- = \{V_1^-, V_2^-, ..., V_n^-\} = \{(\min_i v_{ij} \mid j \in J^+), (\max_i v_{ij} \mid j \in J^-) \mid i = 1,2,...,m)\} \quad (۷)$$

منظور از V_j^+ و V_j^- به‌ترتیب، ایدئال مثبت و ایدئال منفی در شاخص jام است. در مرحلهٔ بعد، فاصلهٔ گزینه‌ها با مقادیر ایدئال مثبت و منفی با استفاده از رابطه‌های (۸) و (۹) محاسبه می‌شود (بیسواس[۱۵] و همکاران، ۲۰۱۶).

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^+)^2}; i = 1,2,..., m \quad (۸)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^-)^2}; i = 1,2,..., m \quad (۹)$$

درنهایت، مقادیر نزدیکی نسبی به ایدئال با استفاده از رابطهٔ (۱۰) به دست می‌آید (بیسواس و همکاران، ۲۰۱۶).

$$CL_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}; i = 1,2,...,m; 0 \le CL_i \le 1 \quad (۱۰)$$

همانگونه که از رابطهٔ ۱۰ مشخص است، مقدار CL_i بین صفر و یک است. CL_i 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 درنتیجه، راهکار بهتری محسوب می‌شود. درحقیقت، رابطهٔ (۱۰) ملاک رتبه‌بندی گزینه‌های پیش رو و تعیین بهترین گزینه قرار می‌گیرد. برای این منظور، کافی است فاصلهٔ نسبی گزینه‌ها که به کمک رابطهٔ ۱۰ محاسبه می‌شوند، به‌ترتیب بزرگ به کوچک مرتب شوند. هرچه فاصلهٔ نسبی یک گزینه (CL_i) بزرگ‌تر باشد، رتبهٔ بهتری را به خود اختصاص خواهد داد.

۴- روش‌شناسی

این پژوهش در شرکت گاز استان چهارمحال و بختیاری با هماهنگی واحدهای مالی، قراردادها، برنامه‌ریزی، کالا، آموزش نیروی انسانی و فناوری اطلاعات، حالات خرابی را با استفاده از روش نظرسنجی بررسی کرده است. کارکنان این واحدها، جامعهٔ 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 پرسش‌نامهٔ پژوهش از پایایی خوبی برخوردار است. گام‌های این پژوهش به‌صورت خلاصه به‌شرح 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 لایهٔ چرایی، چیستی، 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 درادامه نشان داده شده است، گزینه‌ها، ریسک‌های شناسایی‌شده 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 نشان‌دهندهٔ ریسک iام، X_1 شدت اثر، X_2 احتمال وقوع و X_3 احتمال کشف ریسک است و r_{ij}ها نشان‌دهندهٔ 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؛ بدین‌صورت 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 حاصل‌ضرب سه عامل شدت، وقوع و احتمال کشف به دست می‌آید. تکنیک ارائه‌شده در این مقاله بدین‌صورت است که به‌جای ضرب سادهٔ 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 بدین‌صورت است که به‌جای ضرب سادهٔ سه معیار S، O و D و محاسبهٔ عدد RPN، برای هرکدام از این سه معیار به کمک تکنیک آنتروپی شانون، درجهٔ اهمیت محاسبه می‌شود و سپس با تکنیک تاپسیس، رتبه‌بندی ریسک‌ها انجام می‌گیرد.

گام سوم: محاسبهٔ وزن شاخص‌ها با تکنیک آنتروپی شانون

در این مرحله، برای سه شاخص تعیین‌شده، یعنی S، O و D درجهٔ اهمیت محاسبه می‌شود. درحقیقت، برخلاف تکنیک FMEA، که برای همهٔ شاخص‌ها ارزش یکسانی در نظر می‌گیرد، تکنیک ارائه‌شده در این مقاله برای هرکدام از معیارها درجهٔ اهمیت متفاوتی قائل است که با تکنیک آنتروپی شانون محاسبه می‌شود.

تکنیک آنتروپی، همانگونه که قبلاً نیز تشریح شد، بدین‌صورت است که ابتدا امید ریاضی مربوط به هریک از شاخص‌ها (E_j) با استفاده از رابطهٔ (۱) و سپس پارامتر فاصلهٔ هریک از معیارها با استفاده از رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شود. درنهایت، وزن هریک از معیارها با استفاده از رابطهٔ (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، بدین‌صورت است که ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری با رابطهٔ (۴) نرمال و سپس با استفاده از رابطهٔ (۵) ماتریس V (ماتریس وزین) محاسبه می‌شود. گفتنی است، در این مقاله، مقادیر w_j با استفاده از روش آنتروپی محاسبه شده است. در مرحلهٔ 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 همهٔ شاخص‌های ماتریس تاپسیس در این مقاله (S، O و D) V_j^+ (ایدئال مثبت در شاخص jام) نشان‌دهندهٔ بزرگ‌ترین امتیاز ریسک در شاخص jام و V_j^- (ایدئال منفی در شاخص jام) نشان‌دهندهٔ کوچک‌ترین امتیاز ریسک در شاخص jام است؛ سپس فاصلهٔ گزینه‌ها با مقادیر ایدئال مثبت و منفی با استفاده از رابطه‌های (۸) و (۹) محاسبه می‌شود. درنهایت، مقادیر نزدیکی نسبی به ایدئال با استفاده از رابطهٔ (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- مطالعهٔ موردی و یافته‌ها

در مبانی مربوط به تکنولوژی، چهار لایهٔ «چرایی»، «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. لایهٔ «چرایی»، ریسک‌ها و نبود قطعیت‌های مربوط به محیط خارجی؛ لایهٔ «چیستی»، نبود قطعیت‌های موجود در تصمیم‌گیری ارزش پیشنهادی؛ لایهٔ «چگونگی»، ریسک‌ها و نبود قطعیت‌ها در محیط داخلی و لایهٔ «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 به‌صورت ذیل قرار گرفت.

نبود قطعیت‌ها در لایهٔ دانش «چرایی» شامل دانش ناقص از بازار و آیندهٔ آن، دانش ناکافی دربارهٔ 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 لایهٔ 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 لایهٔ دانش «چگونگی» شامل نبود امکان تأمین منابع، پیش‌بینی‌نکردن تأمین مالی و نقدینگی، نبود امکان تأمین تجهیزات، پیش‌بینی‌نکردن دقیق تجهیزات، نبود امکان تأمین تکنولوژی‌ها یا انتقال نادرست و تأخیر در تأمین تکنولوژی‌های لازم است.

نبود قطعیت‌ها در لایهٔ «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 تشریح‌شدهٔ مذکور در جدول ۱ خلاصه شده است. درحقیقت، این پژوهش با در نظر گرفتن چهار لایهٔ اصلی ریسک برای تکنولوژی در جدول شمارهٔ ۱، ریسک‌های استخراج‌شده از طریق مرور مبانی و مصاحبه با خبرگان، در هر مرحله و هر لایه از نقشهٔ راه تکنولوژی را نشان می‌دهد.

جدول۱: ریسک‌های نهایی شناسایی‌شده در حوزهٔ تکنولوژی ادارهٔ گاز استان چهارمحال و بختیاری

دسته‌بندی ریسک	شمارهٔ ریسک	توضیح ریسک	منابع
چرایی تکنولوژی	۱	تغییر شرایط و نیازهای شرکت گاز	(کیزر[۱۶] و همکاران، ۲۰۰۲)
	۲	چرخهٔ عمر تکنولوژی مورد استفادهٔ شرکت گاز	(مرادی و همکاران، ۱۳۹۶)
	۳	شفاف‌نبودن میزان بازگشت سرمایهٔ شرکت گاز	(نقی‌زاده 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	شناخت‌نداشتن 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)
چیستی تکنولوژی	۸	شناسایی‌نکردن تکنولوژی‌ها/ محصولات جایگزین	(لیو و همکاران، ۲۰۱۹)
	۹	ارزیابی و انتخاب اشتباه گزینه‌های ممکن تکنولوژی	(لیو و همکاران، ۲۰۱۹)
	۱۰	تناسب‌نداشتن 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	(نقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳)
	۱۳	تأمین مالی محدود برای توسعهٔ 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	انحصاری‌بودن تکنولوژی مدنظر در داخل کشور	(اکانایاکی[۱۷] و سوبرامانیام[۱۸]، ۲۰۱۲)
	۲۱	کمبود تجربیات عملیاتی در پروژه‌های مشابه	(اکانایاکی و سوبرامانیام، ۲۰۱۲)
توانمندسازی تکنولوژی	۲۲	انتخاب نامناسب شرکت‌های پیمانکاری دارای تکنولوژی	(کیزر و همکاران، ۲۰۰۲)
	۲۳	آگاهی‌نداشتن مدیر از ریسک‌های احتمالی پروژه‌های شرکت گاز	(لیو و همکاران، ۲۰۱۹)
	۲۴	انتقال‌ندادن دانش تکنولوژی به کارشناسان شرکت گاز	(وزدانی و همکاران، ۱۳۹۷)
	۲۵	کاهش توانایی‌های شرکت گاز با رشد و تأسیس شرکت‌های خصوصی	(نقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳)
	۲۶	لزوم ارائهٔ ضمانت‌نامه‌هایی با مبالغ زیاد برای حضور در مناقصات و انعقاد قرارداد با سازمان‌های بهره‌بردار	(امامی و هادی، ۱۳۹۶)
	۲۷	شکل‌نگرفتن یا شکل‌گیری دیرهنگام قواعد بازار در حوزهٔ تکنولوژی	(نقی‌زاده 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 شناسایی‌شده در این مقاله از روش ترکیبی FMEA و تاپسیس استفاده شده است؛ بدین‌صورت که در ماتریس تصمیم‌گیری براساس تکنیک تاپسیس، شاخص‌های FMEA به کار رفته است. جدول ۲ ماتریس تشکیل‌شده براساس میانگین نظرات خبرگان دربارهٔ 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 شمارهٔ ۳ نتایج محاسباتی مربوط به این تکنیک را نشان می‌دهد.

جدول ۳: محاسبهٔ 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 نرمال‌کردن ماتریس تصمیم‌گیری موجود در جدول ۲ به کمک رابطهٔ (۴)، ماتریس نرمال به دست می‌آید. با ضرب‌کردن وزن‌های محاسبه‌شده از طریق تکنیک آنتروپی شانون، که در جدول ۳ به دست آمد، در ماتریس نرمال از طریق رابطهٔ (۵)، ماتریس موزون به‌صورت 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	۰/۰.۰۰۸۴۳۷	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
توانمندسازی تکنولوژی	۲۲	۰/۰۱۱۸۶۴	۰/۰۰۸	۰/۰۲۱۳۹
	۲۳	۰/۰۰۸۸۹۳	۰/۰۰۷۰۳	۰/۰۰۹۳۴
	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 محاسبهٔ رتبهٔ 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

	شدت اثر	احتمال وقوع	احتمال کشف
ایده‌آل مثبت	۰/۰۱۴۳۸	۰/۰۱۷۰۷	۰/۰۲۵۶۲
ایده‌آل منفی	۰/۰۰۴۴۶	۰/۰۰۴۳۹	۰/۰۰۶۹۲

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 رتبهٔ 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. درنهایت، جدول شماره ۶ نتایج محاسباتی مربوط به روش تاپسیس را نشان می‌دهد.

جدول ۶: نتایج محاسباتی مربوط به تکنیک تاپسیس

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

جدول مذکور، رتبهٔ نهایی ریسک‌ها را نشان می‌دهد. تغییرات شاخص اقتصاد کلان (نرخ ارز و تورم) در کشور در رتبهٔ اول؛ ناتوانی در دستیابی به تجهیزات و ماشین‌آلات ضروری در رتبهٔ دوم؛ ناتوانی در دستیابی به تکنولوژی‌های ساخت و تولید در رتبهٔ سوم و تأمین مالی محدود برای توسعهٔ تکنولوژی در رتبهٔ 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 به‌ترتیب اهمیت تعیین‌شده 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، نشان‌دهندهٔ 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 تحقیق، درجهٔ 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، مصاحبهٔ 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؛ بدین‌صورت که ماتریس تصمیم‌گیری برمبنای 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 رتبهٔ اول؛ ناتوانی در دستیابی به تجهیزات و ماشین‌آلات ضروری در رتبهٔ دوم؛ ناتوانی در دستیابی به تکنولوژی‌های ساخت و تولید در رتبهٔ سوم و تأمین مالی محدود برای توسعهٔ تکنولوژی در رتبهٔ 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.

مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با پژوهش‌های پیشین، نتایج منطقی‌تر و علمی‌تری را نشان می‌دهد. شباهت عمدهٔ این پژوهش با پژوهش‌های موجود، در ریسک‌های شناسایی‌شده است؛ اما تفاوت عمدهٔ آنها در تکنیک به‌کاررفته است که نتایج آن را کاربردی‌تر می‌کند. در پژوهش‌های انجام‌شده در حوزهٔ 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 درجهٔ اهمیت لحاظ می‌شود؛ در حالی که قاعدتاً این سه مورد در رتبه‌بندی ریسک‌ها نباید تأثیر یکسان داشته باشند؛ از این‌رو، 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 حوزهٔ تکنولوژی، به استخراج ریسک‌ها توجه کرده است.

ریسک‌ها و نبود قطعیت‌هایی که ممکن است در پروژه‌های توسعهٔ 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 توسعهٔ 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 نامعیّن 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 زمینهٔ 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 درنتیجهٔ آن، خدمت‌رسانی بهتر به مردم را در برنامهٔ 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 ارائهٔ خدمات مطلوب در شرکت‌های گاز دارد. دلایل زیادی برای این مهم وجود دارد که ازجمله می‌توان به مواردی چون گسترش تعداد مشترکین، افزایش سهم گاز در سبد انرژی، شرایط خاص ایران در صحنهٔ 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. بدین‌منظور، 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 سادهٔ 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.

ازجمله محدودیت‌های این پژوهش، دسترسی به پروژه‌های این صنعت به‌صورت مجزاست. در این پژوهش، پروژهٔ توزیع گاز به‌صورت کلی تعریف شد که کلیّهٔ پروژه‌های این صنعت را، که در حوزهٔ توزیع باشد، شامل می‌شود. درحقیقت، دسترسی به‌صورت مجزا به هرکدام از پروژه‌های توزیع گاز امکان‌پذیر نبود. همچنین تحلیل و معرفی راهکار برای کاهش هرکدام از ریسک‌ها از دیگر محدودیت‌های این پژوهش است؛ به عبارت دیگر، بررسی هرکدام از ریسک‌ها به‌صورت جداگانه با توجه به ساختار این صنعت از محدودیت‌های این پژوهش است.

در ادامهٔ این پژوهش پیشنهاد می‌شود تکنیک ارائه‌شده برای یک پروژهٔ خاص در صنعت گاز انجام و با نتایج این پژوهش مقایسه شود. همچنین در نظر گرفتن پارامترها به‌صورت فازی و استفاده از دیگر تکنیک‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه و مقایسهٔ آن با نتایج این پژوهش نیز مفید است. تجزیه و تحلیل و ارائهٔ راهکارهایی برای کاهش هرکدام 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 neutronsophic 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: Aplication 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

[1]- Kim
[2]- Vonortas
[3]- Liu
[4]- Shannon Entropy
[5]- PHA
[6]- HAZAN
[7]- Gu
[8]- Park
[9]- Kolios
[10]- Severity
[11]- Occurrence
[12]- Detection
[13]- PIS: Positive Ideal Solution
[14]- NIS: Negative Ideal Solution
[15]- Biswas
[16]- Keizer
[17]- Ekanayake
[18]- Subramaniam

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی