MODIRIAT-E-FRDA JOURNAL
ISSN ۲۲۲۸-۶۰۴۷

Designing an expert system for risk assessment in exploration & development oil and gas fields

HamidReza Vazirigohar[۱*] | **Javad Akhlaghi**[۲]

۱. Assistant Professor of Department of Management, Payame Noor University, P.O. Box ۱۹۳۹۵-۴۶۹۷, Tehran, Iran *E-mail: vazirigohar@pnu.ac.ir*
۲. Master of Management student, Payame Noor University *E-mail: jakhlaghii@gmail.com*

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: ۰۰۰۰/۰۰/۰۰
Revised: ۰۰۰۰/۰۰/۰۰
Accepted: ۰۰۰۰/۰۰/۰۰

Keywords:
Expert system,
Fuzzy inference system,
Risk assessment,
Oil and gas exploration and development projects.

ABSTRACT

Objective: The present study has been designed to evaluate the risk of exploration and development of oil and gas fields, which is one of the most important determining parameters in the economic development of oil-rich countries, an expert system using the fuzzy inference system approach.

Methodology: The present study is descriptive-analytical in terms of orientation, use and in terms of data collection strategy. In order to create a knowledge base as the core of the expert system, which has a structure of if - then rules, the opinions of experts in the upstream oil and gas industry have been used. Also, by using the fuzzy inference system to quantify opinions, it is possible to simulate the human reasoning and logic approach in conditions of uncertainty. Finally, after designing the system using MATLAB software, in order to validate the system, Mean Squares Error (MSE) index was used to measure the similarity between the opinions of the system and experts.

Conclusion: According to the findings related to the validity and efficiency of the designed fuzzy expert system, Experts' predictions about the risk of an oil field in the south of the country were similar to those of expert system. Therefore, this expert system is efficient and has the capability to explore and develop oil and gas fields. As a result, given the amount of investment required in such projects, it is suggested that such approaches replace the classical decision-making models in conditions of uncertainty.

Originality: Due to the limitations of the classical models of decision making in conditions of uncertainty, in this study, by designing a fuzzy expert system, a new and integrated approach to risk assessment of oil and gas exploration and development projects is presented.

Cite this article: Vazirigohar, HamidReza, & Akhlaghi, Javad. (۲۰۲۲). Designing an expert system for risk assessment in exploration & development oil and gas fields. DOI: ۰۰۰۰-۰۰۰۱-۷۴۶۷-۲۶۱۷

HamidReza Vazirigohar
DOI: ۰۰۰۰-۰۰۰۱-۷۴۶۷-۲۶۱۷
Javad Akhlaghi
DOI: ۰۰۰۰-۰۰۰۰-۰۰۰۰-۰۰۰۰

نشریه مدیریت فردا
ISSN ۲۲۲۸-۶۰۴۷

طراحی سیستم خبره برای ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز

حمیدرضا وزیری‌گهر*[۱] | جواد اخلاقی[۲]

چکیده

هدف: پژوهش حاضر به منظور ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعهٔ میادین نفت و گاز که به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای تعیین‌کننده در توسعهٔ اقتصادی کشورهای نفت‌خیز مطرح می‌باشد، یک سیستم خبره با استفاده از رویکرد سیستم استنتاج فازی طراحی گردیده است.

ضرورت: از خصایص بارز پروژه‌های اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز، علاوه بر سرمایه‌گذاری، سودآوری و پیچیدگی بالا، سطح بالای ریسک می‌باشد، چرا که منافع اقتصادی حاصل از چنین پروژه‌هایی در معرض تعدادی از عوامل نامشخص مانند شرایط زمین‌شناسی، فنی و اقتصادی و غیره خواهد بود. لذا، با توجه به محدودیت-های موجود در مدل‌های سنتی تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت، ضرورت دارد شرکت‌های فعال در این حوزه به منظور اتخاذ تصمیمات آگاهانه و انسجام‌یافته از یک رویکرد نوین در تصمیم‌گیری، از جمله، سیستم خبره فازی بهره‌مند گردند.

روش شناسی: پژوهش حاضر از حیث جهت‌گیری، کاربری و به لحاظ راهبرد جمع‌آوری داده‌ها توصیفی- تحلیلی می‌باشد. به منظور ایجاد پایگاه دانش به عنوان هستهٔ مرکزی سیستم خبره، که دارای ساختاری از قواعد اگر-آنگاه بوده، از نظرات خبرگان بخش بالادستی صنعت نفت و گاز استفاده شده است. همچنین، با بهره جستن از سیستم استنتاج فازی جهت کمّی‌سازی نظرات، امکان شبیه‌سازی رویکرد استدلال و منطق انسانی در شرایط عدم قطعیت فراهم گردیده است. و در نهایت، پس از طراحی سیستم مذکور با استفاده از نرم‌افزار متلب، به منظور اعتبارسنجی سیستم از شاخص میانگین مجذورات خطاها جهت سنجش میزان شباهت نظرات سیستم و خبرگان استفاده شده است.

یافته‌ها: بر مبنای پیشینهٔ موضوع و مدل‌های توسعه‌یافتهٔ موجود، هفت دسته ریسک در پروژه‌های اکتشاف و توسعهٔ میادین نفت و گاز شناسایی گردید، که مشتمل بر ۴۸ شاخص ارزیابی نیز می‌باشند. پس از اعتبارسنجی اولیه، اثرگذاری ۴۲ شاخص تأیید و به عنوان داده‌های ورودی در سیستم مورد استفاده قرار گرفتند. سیستم طراحی شده دارای هفت سیستم استنتاج فازی فرعی و یک سیستم استنتاج فازی کلی است که طبق نظرسنجی از خبرگان تعداد ۴۹۳۲ قاعده برای هشت سیستم تدوین گردیده است. در مرحلهٔ اعتبارسنجی نیز، داده‌های مربوط به یکی از میادین نفتی در جنوب کشور وارد سیستم شد، که طبق مقدار شاخص میانگین مجذورات خطا (۰/۰۰۴۶۷)، اختلاف بسیار ناچیزی مشاهده گردیده است.

نتیجه‌گیری: طبق یافته‌های مربوط به اعتبار و کارایی سیستم خبره فازی طراحی شده، پیش‌بینی ذهنی خبرگان در خصوص میزان ریسک یک میدان نفتی در جنوب کشور، بسیار نزدیک به پیش‌بینی سیستم خبره فازی بود. بنابراین، این سیستم خبره کارایی مناسبی داشته و دارای قابلیت اجراء در انواع پروژه‌های اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز نیز می‌باشد. لذا، با توجه به میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز در چنین پروژه‌هایی پیشنهاد می‌گردد که چنین رویکردهایی جایگزین مدل‌های سنتی تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت شود.

کلیدواژه‌ها:
سیستم خبره، سیستم استنتاج فازی، ارزیابی ریسک، پروژه‌های اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز

استناد: وزیری‌گهر، حمیدرضا؛ اخلاقی، جواد. (۱۴۰۱). طراحی سیستم خبره برای ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز.

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

[۱] استادیار گروه مدیریت، دانشگاه پیام نور، ص.پ. ۱۹۳۹۵-۴۶۹۷، تهران، ایران (نویسنده مسؤل)
آدرس پست الکترونیکی: vazirigohar@pnu.ac.ir

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت، دانشگاه پیام نور

مقدمه

اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز هسته اصلی و راهبر کل صنعت نفت (ژای و همکاران[۱]، ۲۰۱۸)، به عنوان مهمترین منابع راهبردی در کشور محسوب می‌شوند، چرا که درآمدهای نفتی سهم بسزایی در توسعهٔ اقتصاد ایران داشته (هاتفی و وهابی، ۱۳۹۷)، و در حال حاضر نیز بیش از ٦٠٪ منابع انرژی در کل جهان را نفت و گاز تشکیل می‌دهند (شمس‌کیا و قویدل دارستانی، ۱۳۹۹). البته، علاوه بر سرمایه‌گذاری، سودآوری و پیچیدگی بالا، سطح ریسک بالا نیز از خصایص بارز پروژه‌های اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز است، زیرا منافع اقتصادی حاصل از پروژه در معرض تعدادی از عوامل نامشخص مانند شرایط زمین‌شناسی، فنی و اقتصادی و غیره خواهد بود (ژای و همکاران، ۲۰۱۸). بنابر این، به علت وجود چنین عوامل نامشخصی است که فرآیند اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز با ریسک بالایی همراه است (ژانگ[۲]، ۲۰۱۲).

تحلیل ریسک پروژه‌های نفت و گاز همواره با محدودیت‌ها و چالش‌های متعددی مواجه است (منصوریان، ١٣٩٤)، که این چالش‌ها عمدتاً ناشی از شرایط قراردادهای بالادستی[۳] (عسکری و همکاران، ۱۳۹۵؛ منظور و نیاکان، ۱۳۹۱)، وضعیت دسترسی به اطلاعات (نیکجو، ١٣٨٤)، امکان ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی (یانتینگ و لیون[٤]، ۲۰۱۱)، پیش‌بینی رفتار مخزن (اسکوزر و لیگوره[٥]، ٢٠٠٤)، و عدم قطعیت در پیشبینی مؤلفه‌های اقتصادی مانند، قیمت نفت و گاز و هزینه‌های اکتشاف و توسعه است (منصوریان، ١٣٩٤). به طور کلی، عوامل متعددی اجرای پروژه‌های نفت و گاز را با ریسک‌های مختلفی مواجه می‌نمایند که ضرورت دارد شرکت‌های فعال در این حوزه با نوع و شدت اثرگذاری هر یک آنها در روند پروژه‌ها آشنایی مناسبی داشته باشند (ابطحی‌فروشانی و نیکبختی، ۱۳۹۳). لذا، مدیریت ریسک[٦] به عنوان رویکردی منطقی و نظام‌مند جهت تحلیل، ارزیابی و طرز برخورد با ریسک‌های ناشی از عملیات نفتی، شرکت‌های فعال در این حوزه را قادر می‌سازد تا از طریق تصمیم‌گیری آگاهانه، برنامه‌ریزی منسجم و استفاده بهتر از منابع، بهره‌مندی از مزایای فرصت‌ها را افزایش و خسارت‌ها را به حداقل برسانند (فتحی‌بیرانوند، ١٣٩٦). البته، تعیین میزان عدم قطعیت‌ها و ریسک فعالیت‌های اکتشافی و توسعه‌ای میادین نفت و گاز کاری پیچیده و کمتر ساختار یافته است که صرفاً توسط یک تیم از مدیران با تخصص‌ها و پس‌زمینه‌های مختلف از واحدهای فعال در این زمینه قابل انجام است (عسگری و همکاران، ۱۳۹۵).

پروژه‌های اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز به عنوان یک فعالیت اقتصادی، سالانه مستلزم میلیاردها دلار سرمایه‌گذاری بوده، که علی‌رغم چنین سرمایه‌گذاری‌های عظیم، هنوز هم از مدل‌های سنتی تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت استفاده می‌شود (رویزنبرگ و همکاران[۷]، ۲۰۰۹). لذا، با توجه به کارایی محدود چنین مدل‌هایی، ضرورت طراحی یک سیستم خبره[۳] که با لحاظ نمودن پارامترهای مؤثر در شناسایی و ارزیابی دقیق ریسک‌های موجود در حوزهٔ اکتشاف و توسعهٔ میادین نفت و گاز راهگشا باشد، بیش از سایر بخش‌ها در صنعت نفت و گاز احساس می‌گردد (اوکو و نواچوکو[۸]، ۲۰۱۹). سیستم‌های خبره، به عنوان یکی از زیر شاخه‌های هوش مصنوعی[۹]، برنامه‌های رایانه‌ای هستند که نحوهٔ تفکر یک متخصص در یک زمینهٔ خاص را شبیه‌سازی می‌کنند (خدیور و همکاران، ۱۳۹۳). فرموله کردن ارزیابی ریسک در حوزهٔ مذکور نیز یک فرآیند دانش‌محور محسوب می‌گردد که می‌تواند همچون سایر فرآیندهای مبتنی بر دانش تحت عنوان یک سیستم خبره طراحی شود. لذا، هدف اصلی

---

[۱] Zhai, *et al*.
[۲] Zhang
[۳] Upstream Contracts
[٤] Yanting & Liyun
[٥] Schiozer & Ligero
[٦] Expert System
[۷] Roisenberg, *et al*.
[۸] Okwu & Nwachukwu
[۹] Artificial Intelligence

مطالعهٔ حاضر طراحی سیستم خبره‌ای است که با استفاده از پارامترهای مؤثر در فعالیت‌های مرتبط با اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز، ریسک موجود در این زمینه را شناسایی و ارزیابی نماید.

۱. مرورادبیات

در مطالعهٔ حاضر سعی شده تا ضمن مروری بر مفاهیم اساسی و پایه در حوزهٔ مدیریت ریسک، انواع ریسک‌های موجود در پروژه‌های اکتشاف و توسعهٔ میادین نفت و گاز نیز معرفی و دسته‌بندی شوند، تا شناختی کلی نسبت به وجود چنین ریسک‌هایی در صنعت نفت حاصل شود، چرا که به دلیل هزینهٔ بالای سرمایه‌گذاری در این حوزه، عدم شناخت و مدیریت مؤثر ریسک‌های موجود می‌تواند صدمات جبران‌ناپذیری برای سرمایه‌گذاران در پی داشته باشد.

۱-۱. فرآیند شناسایی و ارزیابی ریسک

واژه ریسک از کلمهٔ ایتالیایی"Riscare" معادل کلمهٔ انگلیسی "To venture" گرفته شده است (شمس مجد و مرتهب، ۱۳۸٦). هانسل و کوهن[۱] (۱۹٥٦) معتقدند که ریسک زمانی مفهوم پیدا می‌کند که فرد تصمیم به انجام کاری گرفته، ولی نسبت به حصول نتیجهٔ مطلوب اطمینان کامل نداشته باشد (ابطحی‌فروشانی و نیکبختی، ۱۳۹۳). البته، هیچ تعریف واحدی از ریسک وجود ندارد، به طوری که اقتصاددانان، دانشمندان علوم رفتاری، نظریه‌پردازان حوزهٔ ریسک، و مورّخان هر کدام مفهوم خاص خود را از ریسک دارند (رجدا و همکاران[۲]، ۲۰۲۲). استاندارد پیکره دانش مدیریت پروژه[۳] در آمریکا، ریسک در پروژه‌ها را رویدادها یا وضعیت‌های ممکن الوقوع نامعلومی تعریف می‌نماید که در صورت وقوع دارای پیامدهای منفی یا مثبت برای اهداف پروژه خواهد بود (فتحی‌بیرانوند، ۱۳۹٦).

هدف از شناسایی ریسک، آشکارسازی و ثبت جزئیات مربوط به بیشترین تعداد اتفاقات نامعین، پیش از حادث شدن آنهاست، که این امر باعث می‌شود فضای مدیریتی لازم جهت برخورد با ریسک‌های شناسایی شده قبل از وقوع احتمالی آنها فراهم گردد (عسگری و همکاران، ۱۳۹٥). شناسایی ریسک احتمالاً مهم‌ترین و حساس‌ترین گام در فرآیند مدیریت ریسک محسوب می‌گردد، چرا که عدم شناسایی هر ریسکی به نادیده‌گرفتن و نداشتن تدبیر جهت برخورد با آن منجر خواهد شد (شمس‌مجد و مرتهب، ۱۳۸٦). البته، هیچ‌گاه امکان شناسایی تمامی ریسک‌های محتمل در یک پروژه وجود ندارد (عسگری و همکاران، ۱۳۹٥)، در نتیجه، دلیل اصلی عدم موفقیت پروژه‌ها در قالب زمان، کیفیت و بودجهٔ تخصیص‌یافته، عدم شناخت و مدیریت نامناسب ریسک‌ها در پروژه است (باقری و لطفی، ۱۳۹٥).

جهت شناسایی ریسک‌های یک پروژه، ابزارها و رویکردهای متنوعی، همچون؛ مطالعات سیستماتیک کتابخانه‌ای، بررسی اسناد و مدارک، فن دلفی، طوفان مغزی، مصاحبه، شناسایی ریشه‌ای دلایل، تحلیل چک‌لیست‌ها، تحلیل مفروضات و استفاده از نمودار علت و معلول و نمودار جریان، وجود دارند (چانگ و همکاران[٤]، ۲۰۰٦). همچنین، با استفاده از ماتریس ریسک، ریسک‌های پروژه بر مبنای دو مؤلفهٔ احتمال وقوع[٥] (یا فراوانی) و شدت[٦] (یا تأثیر) قابل ارزیابی و تحلیل می‌باشند. منظور از احتمال وقوع، میزان انتظاری است که می‌توان برای وقوع آن رویداد توقع داشت. همچنین، شدت ریسک میزان خسارت یا سودی است که در صورت وقوع ریسک حاصل خواهد شد (عسگری و همکاران، ۱۳۹٥).

---

[۱] Hansel & Cohen
[۲] Rejda, *et al*.
[۳] Project Management Body of Knowledge (PMBOK)
[٤] Chang, *et al*.
[٥] Probability of occurrence
[٦] Severity

۱-۲. ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز

هدف از ارزیابی ریسک در اکتشاف و توسعه ذخایر هیدروکربنی، تخمین احتمال دستیابی به یک ذخیره اقتصادی هیدروکربن قبل از حفاری است که بخش مهمی از ارزیابی ذخایر هیدروکربنی محسوب می‌شود (نیکجو،۱۳۸٤). با مروری بر ادبیات مدیریت ریسک در حوزهٔ اکتشاف و توسعهٔ میادین نفت و گاز، عوامل دارای عدم‌قطعیت متعددی مشاهده می‌شوند که تاحدودی برای تمامی پروژه‌های اکتشاف و توسعهٔ میادین نفت و گاز مشترک هستند (ابطحی‌فروشانی و نیکبختی، ۱۳۹۳).

طبقه‌بندی ریسک‌ها می‌تواند ساختاری فراهم نماید که شناسایی ریسک‌های پروژه به صورت ضابطه‌مندی میسر گردد، و موجب ارتقای کیفیت فرآیند شناسایی ریسک شود (عسگری و همکاران، ۱۳۹۵). در مجامع و اظهارات صاحب‌نظران حوزهٔ مدیریت ریسک، دیدگاه‌های مختلفی در خصوص نحوهٔ طبقه‌بندی ریسک‌ها ارائه گردیده، که ریسک‌های یک پروژه را بر مبنای منشأ، مسؤل مربوطه، داخلی یا خارجی بودن، و غیره دسته‌بندی نموده‌اند (رجدا و همکاران، ۲۰۲۲).

در جدول-۱، برخی از طبقه‌بندی‌های انجام شده در خصوص ریسک‌های موجود در مراحل مختلف اکتشاف و توسعهٔ یک میدان هیدروکربنی معرفی شده‌اند. طبق جدول مذکور، تمامی طبقه‌بندی‌های موجود دارای ماهیت یکسانی بوده، و صرفاً به صُور متفاوتی مطرح گردیده‌اند. به طوری که ریسک‌های محیطی، خارجی یا برون‌سازمانی دارای محتوایی مشابه بوده، و عمدتاً شامل ریسک‌های بازار و شرکاء، ریسک‌های اقتصادی و تجاری، ریسک‌های سیاسی و ریسک‌های شرایط جوی هستند. منظور از ریسک‌های بیرونی، ریسک‌های خارج از پروژه و عملیات آن بوده، که منشأ آن نوسانات غیرمنتظره در عوامل محیطی است (حرمتی و رشیدی، ۱۳۹٦). همچنین، ریسک‌های سازمانی، داخلی یا درون‌سازمانی هم دارای وضعیت مشابهی هستند، و اساساً دربرگیرندهٔ ریسک‌های فنی و زمین‌شناسی و ریسک‌های مدیریتی و سازمانی می‌باشند. منظور از ریسک‌های درونی هم، ریسک‌هایی است که در بطن خود پروژه و عملیات مربوط به آن رخ می‌دهند (مؤمنی‌راد و مداحی‌نسب، ۱۳۹۵). لذا، طبق بررسی‌های محقق و نظر خبرگان راجع به نحوهٔ طبقه‌بندی، ریسک‌های موجود در مراحل مختلف اکتشاف و توسعهٔ یک میدان هیدروکربنی از کشف میدان تا تولیدی شدن آن و انتقال نفت و گاز تولیدی به مبادی مصرف در هفت دستهٔ کلی قابل تقسیم‌بندی می‌باشند:

جدول-۱: انواع طبقه‌بندی‌های موجود در خصوص ریسک‌های موجود در پروژه‌های نفت و گاز

ردیف	محققان	طبقه‌بندی انجام شده
۱	لنکووا[۱] (۲۰۱۸)	۱) ریسک‌های خارجی (ریسک‌های سیاسی، ریسک‌های اجتماعی-اقتصادی[۲]، ریسک‌های زیست محیطی[۳]، ریسک‌های علمی و فنی[۴]، ۲) ریسک‌های داخلی (ریسک‌های فعالیت تولیدی[۵]، ریسک‌های فعالیت حمایتی شرکت[۶]، ریسک‌های حوزهٔ فراوری[۷]، ریسک‌های حوزهٔ گردش[۸]، ریسک‌های حوزهٔ مدیریت[۹]
۲	حرمتی و رشیدی (۱۳۹۶)؛ مؤمنی‌راد و مداحی‌نسب (۱۳۹۵)	۱) ریسک‌های درونی (ریسک تحقیق و اکتشاف، ریسک حفاری تا بهره‌برداری، ریسک تولید و بهره‌برداری)، ۲) ریسک‌های بیرونی (ریسک سیاسی، ریسک قانون‌گذاری، ریسک تجاری و اقتصادی)
۳	عسگری و همکاران (۱۳۹۵)	۱) ریسک‌های محیطی (ریسک‌های سیاسی و حقوقی، ریسک‌های اقتصادی، ریسک‌های اجتماعی، ریسک‌های فن‌آوری)، ۲) ریسک‌های داخلی (ریسک‌های فنی، ریسک‌های مدیریتی/سازمانی)
٤	باقری و لطفی (۱۳۹۵)	۱) ریسک‌های فنی، ۲) ریسک‌های مدیریتی، ۳) ریسک‌های تجاری، ٤) ریسک‌های خارجی (برون‌سازمانی)
٥	منصوریان (۱۳۹٤)	۱) ریسک‌های زمین‌شناسی و فنی (ریسک در فاز اکتشاف، ریسک در فاز ارزیابی و توسعه)، ۲) ریسک‌های اقتصادی، ۳) ریسک‌های سیاسی و حقوقی
٦	ابطحی‌فروشانی و نیکبختی (۱۳۹۳)	۱) ریسک زمین‌شناسی (مرحلهٔ اکتشاف، مرحلهٔ ارزیابی، توسعهٔ میدان)، ۲) ریسک تأسیسات سطح‌الارضی، ۳) ریسک تغییر در مقررات دولتی، ٤) ریسک متغیرهای اقتصادی، ٥) ریسک ناشی از شرکاء
۷	منظور و نیاکان (۱۳۹۱)	۱) ریسک بازار، ۲) ریسک اعتباری، ۳) ریسک عملیاتی، ٤) ریسک نقدینگی، ٥) ریسک سیاسی
۸	عالم تبریز و حمزه‌ای (۱۳۹۰)؛ پیکره دانش مدیریت پروژه (۲۰۰۰)	۱) ریسک فنی، کیفی و عملکرد، ۲) ریسک مدیریت پروژه، ۳) ریسک درون‌سازمانی، ٤) ریسک برون‌سازمانی
۹	چانگ و همکاران (۲۰۰٦)	۱) ریسک محیط اجتماعی[۱۰]، ۲) ریسک محیط طبیعی و منابع[۱۱]، ۳) ریسک فنی و مدیریت[۱۲]
۱۰	یانتینگ و لیبون[۱۳] (۲۰۱۱)	۱) ریسک‌های محیط طبیعی (ریسک شرایط جوی[۱٤]، ریسک زمین‌شناسی[۱٥])، ۲) ریسک‌های مهندسی (ریسک اکتشاف[۱٦]، ریسک توسعه[۱۷]، ریسک ساخت‌وساز[۱۸])، ۳) ریسک‌های مدیریتی (ریسک منابع انسانی[۱۹]، ریسک سازمانی[۲۰]، ریسک تجهیزات عملیاتی[۲۱]، ریسک مناقشات[۲۲]، ریسک حفاظت محیطی[۲۳])، ٤) ریسک‌های اقتصادی (ریسک مالی[۲٤]، ریسک بازار[۲٥]، ریسک سیاست اقتصادی[۲٦])

[۱] Lenkova
[۲] Socio-economic risks
[۳] Environmental risks
[٤] Scientific and technical risks
[٥] Risks of production activity
[٦] Risks of the enterprise's support activity
[۷] Risks of the reproductive sphere
[۸] Risks in the sphere of circulation
[۹] Risks in the management sphere
[۱۰] Social environment risk
[۱۱] Natural environment and Resources risk
[۱۲] Technology and Management risk
[۱۳] Yanting & Liyun
[۱٤] Climatic risk
[۱٥] Geologic risk
[۱٦] Exploration risk
[۱۷] Development risk
[۱۸] Construction risk
[۱۹] Human resource risk
[۲۰] Organization risk
[۲۱] Operating equipment risk
[۲۲] Dispute risk
[۲۳] Environmental protection risk
[۲٤] Financial risk
[۲٥] Market risk
[۲٦] Economic policy risk

۱-۲-۱. مرحلهٔ اکتشاف[۱]

اکتشاف هموار به عنوان پُرریسک‌ترین مرحله در پروژه‌های اکتشاف و توسعهٔ میادین نفت و گاز در نظر گرفته می‌شود (منصوریان، ۱۳۹٤)، چرا که نفت یک منبع زیرزمینی محسوب می‌شود (حرمتی و رشیدی، ۱۳۹٦)، و در این مرحله هنوز هیچ شناختی راجع به وضعیت مخزن موجود نیست (ابطحی‌فروشانی و نیکبختی، ۱۳۹۳). به عبارتی در این مرحله، سطح عوامل عدم اطمینان بیش از سایر مراحل پروژه‌ها بوده، و لذا، ریسک در بالاترین حد ممکن خواهد بود (منصوریان، ۱۳۹٤). دو روش رایج اکتشاف عبارتند از؛ ۱) ژئوفیزیکی و ۲) ژئوشیمیایی، که در روش اول تنها ٦۰ درصد و در روش دوم تنها ۷۰ درصد امکان برآورد صحیح وجود دارد (حرمتی و رشیدی، ۱۳۹٦). به علاوه، هزینهٔ حفاری بسته به موقعیت جغرافیایی و عمق چاه ممکن است بین مبالغی حدود ده تا صد میلیون دلار متغیر باشد. گذشته از موارد مذکور، برای آنکه به طور قطعی بتوان پروژهٔ توسعهٔ یک میدان نفتی یا گازی موفقیت‌آمیز قلمداد نمود، معمولاً زمانی بین ۱۵ تا ۲۰ لازم است، که در طی این مدت طولانی نیز امکان بروز ریسک‌ها جدید هم اجرای پروژه را تهدید خواهد نمود (ابطحی‌فروشانی و نیکبختی، ۱۳۹۳). پایگاه اطلاعاتی مورد استفاده در مرحلهٔ اکتشاف عبارت است از؛ داده‌های لرزه‌نگاری، داده‌های چاه، داده‌های زمین‌شناسی سطح‌الارضی، ثقل‌سنجی و مغناطیس‌سنجی (نیکجو،۱۳۸٤). البته، با عبور از مرحلهٔ اکتشاف و حرکت به سوی مراحل توسعه و تولید، به علت شناخت بهتر و افزایش اطلاعات راجع به مخزن، سطح ریسک‌های مذکور کاهش خواهند یافت (منصوریان، ۱۳۹٤).

۱-۲-۲. مرحلهٔ ارزیابی[۲]

مرحلهٔ ارزیابی، در واقع مرحلهٔ گذر از موفقیت زمین‌شناسی و رسیدن به موفقیت اقتصادی محسوب می‌شود. به عبارتی دیگر، در این مرحله مهم‌ترین تصمیم پروژه، پس از کسب اطلاعات لازم بایستی اتخاذ گردد؛ یعنی آیا سرمایه‌گذاری انجام پذیرد یا میدان به حال خود رها شود (ابطحی‌فروشانی و نیکبختی، ۱۳۹۳). فعالیت‌های مربوط به مرحلهٔ اکتشاف، اطلاعاتی راجع به شکل و اندازهٔ ذخیرهٔ حقیقی میدان و یا قابلیت تولیدی انباشتهٔ هیدروکربن ارائه نمی‌دهد، لذا، ریسک مربوط به این مرحله آنست که امکان دارد یک میدان بیشتر یا کمتر از آن چیزی که انتظار می‌رود، تولید نماید و لذا، تسهیلات مورد نیاز میدان نیز کمتر یا بیشتر در نظر گرفته شود، و نهایتاً سوددهی پروژه با مشکل مواجه گردد (رضایی، ۱۳۹۰). معمولاً، اندکی بیش از ۵۰ درصدِ مواردِ موفق در مرحلهٔ زمین‌شناسی به موفقیت در مرحلهٔ اقتصادی نیز منجر می‌شوند. بنابراین، با توجه به اهمیت مرحلهٔ ارزیابی، موارد متعددی بایستی در نظر گرفته شوند، از جمله؛ حجم اطلاعات موجود، حجم نفت در جای میدان، پیچیدگی‌های زمین‌شناسی، تعداد چاه مورد نیاز جهت حفاری و محدودیت زمانی امتیاز ارزیابی (ابطحی‌فروشانی و نیکبختی، ۱۳۹۳).

۱-۲-۳. مرحلهٔ توسعه[۳]

با اکتشاف مخازن، نخستین موضوعی که پس از ارزیابی سیال در جای میدان، اهمیت می‌یابد، نحوهٔ تولید و طرح توسعهٔ میدان است (متاله و همکاران، ۱۳۹۱). به عبارتی، طبق نتایج حاصل از مراحل اکتشاف و ارزیابی و همچنین، بررسی امکانات موجود می‌توان یک برنامه بهره‌برداری از میدان تدوین و به طور متوالی اجرا نمود (رضایی، ۱۳۹۰). البته، در صورتی که مرحلهٔ ارزیابی دارای صحت و دقت کافی باشد، مدل زمین‌شناسی صحیحی جهت استفاده در مرحلهٔ توسعهٔ میدان ایجاد خواهد شد. مدل توسعه‌یافته بایستی شامل اطلاعات نسبتاً دقیقی راجع به ساختار و حجم

---

[۱] Exploration Phase
[۲] Evaluation Phase
[۳] Development Phase

مخزن، خصوصیات سیال مخزن و چگونگی توزیع آن در مخزن باشد (ابطحی‌فروشانی و نیکبختی، ۱۳۹۳). همچنین، نتایج حاصل از مطالعات انجام شده در ریسک مرحلهٔ توسعه نشانگر آنست که با کسب پیوستهٔ اطلاعات از میدان، امکان کاهش ریسک زمین‌شناسی، و با اعمال انعطاف‌پذیری، امکان کاهش عدم اطمینان در کل پروژه نیز فراهم خواهد بود (منصوریان، ۱۳۹٤).

۱-۲-٤. تاسیسات سطح‌الارضی[۱]

نفت تولیدی از چاه‌های میدان به واسطهٔ خطوط لوله جریانی وارد چندراهه‌ها شده، و از آنجا به واحدهای فرآورش انتقال یافته، و سپس، نفت فرآوری شده از طریق لوله انتقال به پالایشگاه یا مبادی صادراتی منتقل خواهد شد. در نتیجه، نفت اکتشافی از اعماق زمین تا نقطهٔ پایانی، یک مسیر طولانی را طی نموده، و از تأسیسات مختلف و متعددی نیز عبور خواهد کرد، که وجود چنین مسیری، موجب بروز ریسک‌های متعددی، مانند؛ عدم تکمیل تأسیسات مطابق با زمانبندی پروژه، احتمال بروز آلودگی‌های زیست‌محیطی و خطای انسانی خواهد شد (ابطحی‌فروشانی و نیکبختی، ۱۳۹۳).

۱-۲-۵. ساختار سیاسی و مقررات دولتی[۲]

نفت به عنوان یکی از مهم‌ترین حامل‌های انرژی از زمان کشف تجاری آن، در کمترین زمان ممکن به یک کالای مهم و با ارزش اقتصادی مبدل گردید، و به دلیل اثرات بی‌بدیل آن در صنایع و تأمین انرژی، جنبه سیاسی یافته و دیرزمانی است که به عنوان یک کالای راهبردی و امنیتی مورد توجه سیاستمداران قرار گرفته است (کاشانی، ۱۳۸۷). لذا، یکی از مهمترین عواملی که شرکت‌های نفتی بین‌المللی در ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها مورد توجه قرار می‌دهند، ریسک سیاسی کشور هدف جهت سرمایه‌گذاری می‌باشد (منصوریان، ۱۳۹٤). ریسک‌های سیاسی، عمدتاً از تحولاتی نشأت می‌گیرند که توسط تصمیمات دولتی پدید آمده‌اند، و به صُور مختلفی سرمایه‌گذاری را با مشکل روبرو می‌نمایند (حرمتی و رشیدی، ۱۳۹٦). به عنوان نمونه، دولت‌ها عمدتاً برای فعالیت در صنعت نفت و گاز چارچوب‌ها و مقرراتی را تدوین و پیمانکاران را ملزم به رعایت این چارچوب‌ها می‌نماید، و پس از اتخاذ تصمیم سرمایه‌گذاری، هر گونه تغییری در این چارچوب‌ها و مقرارت متضمن ریسک خواهد شد (ابطحی‌فروشانی و نیکبختی، ۱۳۹۳). به علاوه، ثبات سیاسی، تأمین زیرساخت‌های مورد نیاز، تضامین لازم جهت سهولت انتقال اصل و سود سرمایه‌گذاری، مسائل مربوط به مصادره و ملی‌سازی نیز به عنوان ریسک‌های سیاسی در پروژه‌های اکتشاف و توسعه مورد توجه می‌باشند. حتی، شرکت‌های نفتی بایستی ریسک‌های حقوقی و قانونی حاکم بر پروژه‌های بالادستی نفت و گاز را نیز در تحلیل‌های تصمیم‌گیری مورد توجه و ارزیابی قرار دهند (منصوریان، ۱۳۹٤).

۱-۲-٦. متغیرهای اقتصادی[۳]

سرمایه‌گذاری‌های نفتی همواره در یک نظام اقتصادی اتفاق می‌افتد که احتمالاً اکثر متغیرهای اصلی آن در طول زمان تغییر خواهند کرد (ابطحی-فروشانی و نیکبختی، ۱۳۹۳). همچنین، با توجه به طولانی مدت بودن قراردادهای بالادستی، میزان نوسان عوامل اقتصادی دخیل در سودآوری پروژه‌ها به شدت بالاست (منصوریان، ۱۳۹٤). به عنوان نمونه، تورم فزاینده در نظام اقتصادی موجب افزایش ریسک سرمایه‌گذاری خواهد شد، چرا که افزایش هزینه‌های شرکت سرمایه‌گذار را در پی خواهد داشت (حرمتی و رشیدی، ۱۳۹٦). به طور کلی، مهم‌ترین عوامل اقتصادی عبارتند

[۱] Surface Facilities
[۲] Political Structure and Government Regulations
[۳] Economic Variables

از؛ نرخ تورم، نرخ تسعیر ارز، ارزش جهانی دلار، قیمت نفت و گاز و غیره (منصوریان، ۱۳۹٤). البته، در میان عوامل مذکور، قیمت نفت مهمترین و تأثیرگذارترین و در عین حال غیرقابل پیش‌بینی‌ترین متغیر در اقتصاد یک پروژه نفتی محسوب می‌شود (ابطحی‌فروشانی و نیکبختی، ۱۳۹۳).

۱-۲-۷. شرکاء[۱]

دلایل متعددی برای مشارکت شرکت‌های نفتی جهت توسعهٔ یک میدان وجود دارد، دلایلی همچون، کاهش ریسک سرمایه‌گذاری، عدم استطاعت مالی یک شرکت، عدم دسترسی به فن‌آوری یا تجهیزات کافی، و قرار گرفتن مخزن در دو یا چند بلوک اکتشافی که هر بلوک به یک پیمانکار واگذار شده است. در چنین شرایطی، مشارکت جهت توسعهٔ یک میدان نفتی امر اجتناب‌ناپذیری می‌باشد. لذا، برخی از ریسک‌های پیش روی شرکاء عبارتند از؛ تداخل در اولویت‌های فنی و علایق مدیران، تفاوت در نظرات و دیدگاه، و عدم تعامل کاری شرکاء (ابطحی‌فروشانی و نیکبختی، ۱۳۹۳).

۲. پیشینهٔ پژوهش

علی‌رغم رشد فزایندهٔ تکنیک‌های هوش مصنوعی، از جمله؛ سیستم‌های خبره در تحقیقات حوزهٔ نفت و گاز (اقبالی و همکاران، ۲۰۱۵)، ولی تاکنون مطالعه‌ای در خصوص کارکردهای سیستم‌های خبره در حوزهٔ مدیریت ریسک پروژه‌های نفتی صورت نگرفته است. البته، تحقیقات معدودی در خصوص شناسایی و ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعهٔ میادین نفت و گاز صورت پذیرفته است. لذا، در بخش حاضر، علاوه بر این دست از تحقیقات، موارد که به لحاظ روش‌شناسی و موضوع نیز، نزدیک به موضوع پژوهش بوده و کارکردهای مشابهی دارند، معرفی می‌شوند.

شمس کیا و قویدل دارستانی (۱۳۹۹) با هدف تحلیل ریسک‌های زیست‌محیطی در پروژه‌های خطوط لوله انتقال گاز استان گیلان مطالعه‌ای انجام داده‌اند. بدین منظور، نخست پروژه را به ۱۵ فعالیت تفکیک و سپس، با روش دلفی ۲۹ ریسک در پروژه شناسایی و با دو روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات[۲] و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[۳]، ریسک‌ها را به لحاظ خطرپذیری رتبه‌بندی نموده‌اند. یافته‌ها نشان داد که ریسک‌های مربوط به فعالیت حفاری و لوله‌گذاری، تخریب زمین‌های کشاورزی و بستر رودخانه‌ها، آلودگی صوتی، آلایندگی ناشی از تردد وسایل نقلیه سنگین و همچنین، فعالیت تقلیل فشار در ایستگاه دارای اولویت هستند. مقادیر مربوط به عدد اولویت ریسک[٤] نیز بیانگر آنست ۲۸ درصد ریسک‌ها دارای عدد اولویت ریسک بیش از میانگین بوده، که محدوده خطر محسوب می‌شوند. و نهایتاً، محقیقن توانستند با ارائهٔ روش‌هایی جهت کنترل فعالیت‌های پرُخطر، ۹۰ درصد خطر زیست‌محیطی مربوط به ریسک‌های پرخطر را کاهش دهند.

جعفری اسکندی و بهرامی (۱۳۹۵) هم، به منظور تعیین هزینهٔ اقتضایی پروژه‌های ساخت و ساز، یک سیستم خبره فازی را طراحی نموده‌اند. در این مطالعه پس از شناسایی عوامل ریسکی اثرگذار، ضمن ترکیب منطق فازی و رگرسیون، سیستمی جهت تحلیل ریسک طراحی گردید که قادر است با انعطاف و اطمینان لازم و کافی تأثیر عوامل مذکور را بر مقدار هزینهٔ اقتضایی پروژه برآورد نماید. لذا، با افزودن این هزینه به سایر هزینه‌های پروژه، می‌توان در مناقصات، فرآیند قیمت‌گذاری و یا ارائهٔ قیمت پیشنهادی را از طرف کارفرمایان و یا پیمانکاری با دقت و صحت بیشتری انجام نمود.

---

[۱] Partners
[۲] Failure Mode And Effects Analysis (FMEA)
[۳] Analytical Hierarchy Process (AHP)
[٤] Risk Priority Number (RPN)

باقری و لطفی (۱۳۹۵) هم، الگویی جهت اجرای فرآیند مدیریت ریسک در پروژه‌های نفتی ارائه نموده‌اند. در این تحقیق، با بهره‌گیری از استاندارد پیکرهٔ دانش مدیریت پروژه و استاندارد عملی مدیریت ریسک پروژه[۱]، یک شبکهٔ تصمیم‌گیری مناسب جهت مدیریت ریسک‌های پروژه در صنایع نفتی ارائه گردید. همچنین، نتایج حاصله به هر سازمان امکان می‌دهد که با توجه به آستانه پذیرش ریسک خود در سطوح مدل پیشنهادی ورود نموده، و ضمن شفاف‌سازی نقشهٔ راه مدیریت ریسک پروژه در چرخهٔ عمر پروژه، هزینه و زمان مورد نیاز برای برنامه‌ریزی مدیریت ریسک در پروژه‌ها را کاهش دهند.

کریمی (۱۳۹۵) طرح توسعهٔ یک میدان نفتی را مبتنی بر راهبرد فن‌آورانه ارائه نموده است. طبق مطالعهٔ انجام شده، زمانی می‌توان به اهداف کلان تولید حداکثری با رویکرد صیانتی از مخزن دست یافت که مدل توسعه بر مبنای راهبردی فن‌آورانه تهیه و تدوین گردد. دامنهٔ تحقیق شامل دو بخش؛ یعنی، کلان بالادستی صنعت نفت و توسعهٔ یک میدان نفتی است. همچنین، یافته‌های تحقیق توانسته ابزار مناسبی جهت ارتقای توانمندی در بخش تدوین و اجرای راهبرد فن‌آوری برای مدیران و سیاستگذاران حوزهٔ بالادستی صنعت ارائه نماید.

منصوریان (۱۳۹٤) به ارزیابی ریسک در تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری در پروژه‌های بالادستی نفت و گاز پرداخته است. در این تحقیق، ضمن طبقه‌بندی کلی ریسک‌ها در پروژه‌های اکتشاف و تولید، و معرفی مدل‌های تصمیم‌گیری از طریق ارزیابی و تحلیل ریسک، لزوم شناسایی عوامل کلیدی عدم اطمینان در تمامی پروژه‌های نفت و گاز مورد تأکید قرار می‌گیرند. چرا که این امر به تصمیم‌گیران و مدیران شرکت‌های نفتی کمک می‌نماید، تا علاوه بر اتخاذ تصمیمات بهینه با ایجاد تعادل بین ریسک و بازده، به عوامل اصلی مؤثر بر سودآوری پروژه، توجه بیشتری کرده و همچنین، راهکارهای مناسبی هم در راستای کاهش ریسک ارائه نمایند.

ابطحی فروشانی و نیکبختی (۱۳۹۳) هم در مطالعه‌ای به طبقه‌بندی انواع ریسک‌های مراحل مختلف توسعه میادین نفت و گاز پرداخته‌اند. در این مطالعه بدون استفاده از روشی خاص، ریسک‌های موجود در مراحل مختلف توسعهٔ یک میدان هیدروکربنی به پنج دستهٔ کلی، شامل؛ ریسک زمین‌شناسی (اکتشاف، ارزیابی و توسعه)، ریسک تأسیسات سطح الارضی، ریسک تغییر در مقررات دولتی، ریسک متغیرهای اقتصادی و ریسک ناشی از شرکاء قابل تقسیم می‌باشند. همچنین در این مطالعه، ملزم کردن شرکت‌ها به انجام تحلیل ریسک به عنوان بخشی ضروری از انجام طرح جامع توسعهٔ[۲] میدان، به عنوان یک راهکار مهم در خصوص مدیریت ریسک پروژه معرفی گردید. به علاوه، الزام شرکت‌ها به انجام مطالعهٔ امکان‌سنجی برای پروژه‌های نفتی نیز می‌تواند به میزان قابل ملاحظه‌ای ریسک‌های پروژه را کاهش دهد.

اوکو و نواچوکو[۳] (۲۰۱۹)، ضمن مروری بر کاربردهای منطق فازی در عملیات اکتشاف، تولید و توزیع نفت، اظهار دارند که متأسفانه روش‌های سنتی تصمیم‌گیری در خصوص مدیریت بهینه بهره‌بردای از مخازن شکست خواهند. لذا، گسترش تکنیک‌های هوش مصنوعی، خصوصاً منطق فازی، به عنوان ابزاری بالقوه جهت مقابله با عدم قطعیت‌های موجود در اکثر عملیات اکتشاف و تولید مورد توجه روزافزونی قرار گرفته‌اند. طبق نتایج حاصله، مهم‌ترین کاربردهای منطق فازی در تعیین مشخصات مخزن، حفاری و تکمیل، عملیات شبیه‌سازی و عملیات توزیع در محیط‌های غیرقطعی یا تصادفی می‌باشد. همچنین، عدم قطعیت‌ها نیز از مشکلات جمع‌آوری داده‌ها، خطاهای اندازه‌گیری، و عدم دقت یا ابهام در فرآیند ناشی می‌شود. و در نهایت، منطق فازی برای رسیدگی به مشکلات در سیسم با عدم قطعیت، همچون؛ پروژه‌های اکتشاف و تولید نفت، به شدت توصیه می‌شود.

ژای و همکاران (۲۰۱۸) هم، به تحلیل ریسک اکتشاف و توسعه در منطقه غنی‌سازی نفت و گاز بر مبنای تحلیل سود اقتصادی پرداخته‌اند. این محققین معتقدند فرآیند اکتشاف و توسعهٔ نفت و گاز بسیار پیچیده بود، لذا مدیریت مؤثر ریسک و اجتناب منطقی از زیان‌های ناشی از آن می‌تواند

---

[۱] Practice Standard For Project Risk Management
[۲] Master Development Plan (MDP)
[۳] Okwu & Nwachukwu

به توسعهٔ پایدار صنعت نفت و گاز کمک شایانی نماید. همچنین، یافته‌های نشان می‌دهد که هزینه دارای بیشترین تأثیر بر بازدهٔ اکتشاف و توسعهٔ نفت و گاز است، لذا، بایستی با اتخاذ تصمیمات مؤثر، هزینهٔ کشف را کاهش و در نتیجه نرخ بازده پروژه را افزایش داد.

لنکووا[۱] (۲۰۱۸)، به مطالعهٔ مدیریت ریسک شرکت‌های نفت و گاز از منظر تحولات راهبردی پرداخته است. در این مطالعه، نگارنده با هدف سازماندهی انواع ریسک، ریسک‌های عمدهٔ صنعت نفت و گاز طبقه‌بندی کرده، و بر اساس یافته‌ها، توصیه‌هایی جهت انجام اقدامات پیشگیرانه مطرح نموده است، از جمله؛ برگزاری مناقصه برای خرید تجهیزات، انعقاد قراردادهای مستقیم با سازندگان و امضای قراردادهای بلندمدت با تأمین‌کنندگان، به منظور کاهش سطح خطرات صنعت، و در نهایت، پیاده‌سازی سامانه تحلیل یکپارچه ریسک می‌تواند شرکت را در مدیریت بهینهٔ ریسک، کشف ذخایر، و امکان واکنش سریع به شرایط متلاطم صنعت مورد حمایت قرار دهد.

اقبالی و همکاران[۲] (۲۰۱۵) با هدف غربالگری روش‌های ازدیاد برداشت نفت[۳] در مخازن نفتی فاقد شکستگی، سیستم خبره جدیدی را ارائه نمودند، چرا که معتقدند تولید نفت از مخازن معمول نفتی در حال کاهش بوده، و قرار هست تولید از طریق روش‌های ازدیاد برداشت نفت، علاوه بر کاهش تولید نفت در مخازن بالغ، افزایش قابل ملاحظهٔ تقاضای نفت در سرتاسر جهان را نیز جبران نماید. در این مطالعه، ضمن معرفی روش‌های مناسب ازدیاد برداشت نفت و استفاده از مطالعات میدانی، نتایج آزمایشگاهی و مطالعات شبیه‌سازی، با استفاده از روش منطق فازی در طراحی سیستم‌های خبره، نتایج قابل قبولی در خصوص روش‌های مناسب برداشت از مخازن نفتی و افزایش طول عمر آن‌ها ارائه گردید.

یانولوویچیوس و چنیس[۴] (۲۰۱٤)، یک مدلی جهت ارزیابی ریسک در سیستم خبره خودارزیابی ریسک فناوری اطلاعات برای شرکت‌های کوچک و متوسط ارائه داده‌اند. از نظر این محققین، روند فزاینده گسترش کاربردهای فن‌آوری اطلاعات تقریباً در تمامی موقعیت‌های ممکن، ضرورت تدوین یک روش مدیریت یکپارچهٔ ریسک در این حوزه را دوچندان نموده است. سیستم خبره طراحی شده با هدف اطمینان از استفاده غیرتخصصی دارای رویکردی ساده جهت کسب اطلاعات از کاربر بوده، و از نقشه ارزیابی ریسک با دو مؤلفه احتمال وقوع و میزان تأثیر استفاده می‌نماید.

قلاب و همکاران[۵] (۲۰۱۳)، یک سیستم خبره فازی به منظور پیش‌بینی نفت ارائه نموده‌اند. در این تحقیق، داده‌های مورد نیاز جهت طراحی سیستم از منابع مجزا انتخاب گردیده‌اند. پنج مؤلفهٔ لحاظ شده جهت پیش‌بینی نفت عبارتند از؛ دما، فشار، چگالی نفت خام، گراویتی و چگالی گاز. سپس، سیستم خبره طراحی شده به منظور تخمین نفت در ۳۰ چاه یک میدان نفتی مورد استفاده قرار گرفت، که با اعمال توابع فازی مختلف در این سیستم، نتایج خیره‌کننده‌ای به دست آمد.

یانتینگ و لییون[۶] (۲۰۱۱) در تحقیقی با هدف مدیریت ریسک عملیات نفتی، معتقدند ریسک بالای عملیاتی نفتی، نه تنها ناشی از خسارات عمده اقتصادی بوده، بلکه امکان ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی جدی هم دخیل می‌باشند. لذا، مدیریت ریسک برای شرکت‌های نفتی از اهمیت فوق-العاده‌ای برخوردار است. بدین منظور، ریسک‌های عملیات نفتی در چهار بخش اصلی محیط طبیعی، مهندسی، مدیریتی و اقتصادی تفکیک گردید. همچنین، طبق نظر محققین گرچه ریسک‌های عملیات نفتی بسیار پیچیده بوده، ولی تا زمانی که شرکت‌های نفتی قادر به شناسایی علل، خصایص و ماهیت ریسک‌ها باشند، می‌توانند تا حد معقولی از خطرات پیشگیری و آنها را کنترل نمایند.

---

[۱] Lenkova
[۲] Eghbali, *et al.*
[۳] Enhanced Oil Recovery (EOR)
[۴] Janulevičius & Čenys
[۵] Ghallab, *et al.*
[۶] Yanting & Liyun

ساسلیک و همکاران[۱] (۲۰۰۹) هم، به تحلیل ریسک و عدم قطعیت در اکتشاف و تولید نفت پرداخته است. طبق نظر این محققین، تصمیمات مربوط به اکتشاف و تولید نفت خام به دلیل تعداد و تنوع زیاد مسائل درگیر در این فرآیند، هنوز بسیار پیچیده هستند. ولی پیشرفت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری نوین توانسته‌اند به درک و فهم بهتر این مسائل کمک شایانی نمایند.

رویزنبرگ و همکاران[۲] (۲۰۰۹) یک سیستم ترکیبی فازی- احتمالی برای تحلیل ریسک از منظر اکتشاف نفت ارائهٔ نموده‌اند. در این تحقیق با پیشنهاد یک روش جدید ترکیبی (فازی - احتمالی) در یک بستر نرم‌افزاری، به ارزیابی ریسک از منظر پروژه‌های نفتی پرداخته می‌شود. روش پیشنهادی مبتنی بر نمایش احتمالی فازی از دانش نامعین زمین‌شناسی بوده که در آن ریسک می‌تواند به عنوان یک متغیر تصادفی دیده شود که توزیع احتمال آن مبتنی بر استدلال‌های مدون زمین‌شناسی است. یافته‌های تحقیق نشانگر آنست که این روش می‌تواند در ساماندهی استدلال و اندازه‌گیری احتمال موفقیت کشف یک مخزن نفت مؤثر واقع گردد.

چانگ و همکاران[۳] (۲۰۰۶) یک روش ابتکاری جهت ارزیابی ریسک برای اکتشاف و توسعهٔ نفت و گاز ارائه نموده‌اند. در این تحقیق، یک روش و نمودار جریان جدید از ارزیابی ریسک برای صنعت بالادستی نفت و گاز معرفی گردیده، که چندین تکنیک رایج شناسایی ریسک، شامل تحلیل درخت خطا، طوفان مغزی، فن دلفی و تحلیل درخت رویداد را ترکیب می‌نماید. روش جدید ارزیابی ریسک در این تحقیق، یک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی است، که در آن وزن تأثیر و پیامد عوامل ریسک به طور جامعی لحاظ شده‌اند. همچنین، محققین مذکور معتقدند این روش یک مرجع مفید برای تصمیم‌گیرندگان صنعت بالادستی نفت و گاز است و حتی، به برخی از پروژه‌های ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه در میادین نفتی کشور چنین هم توصیه شده است.

قربی[٤] (۲۰۰۵) هم، به بررسی کاربرد یک سیستم خبره برای بهینه‌سازی عملکرد مخزن پرداخته است. در این تحقیق، با ترکیب پارامترهای اقتصادی و شبیه‌سازهای عددی مخزن، بهینه‌سازی فرآیند انتخابی ازدیاد برداشت نفت با استفاده از تحلیل حساسیت به صورت خودکار صورت گرفته است. کاربرد سیستم خبره طراحی شده در دو مورد از فرآیندهای ازدیاد برداشت نفت مورد بررسی قرار گرفته‌اند، که این فرآیندها با استفاده از سیستم خبره انتخاب، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی شده‌اند. طبق یافته‌های تحقیق، شرایطی پیدا شد که تحت آن، فرآیندهای انتخابی برای مخازن سودآور می‌باشند.

۳. مدل نظری تحقیق

با طبقه‌بندی ریسک‌ها، امکان شناسایی نظام‌مند ریسک‌های پروژه فراهم شده، و موجبات ارتقای کیفیت فرآیند شناسایی ریسک نیز مهیا می‌گردد (عسگری و همکاران، ۱۳۹۵). طبق بررسی جامع و تلخیص یافته‌ها در جدول-۱ در مورد ریسک‌های موجود در حوزهٔ اکتشاف، توسعه و تولید میادین نفت و گاز، ابعاد و شاخص‌های مرتبط و مؤثر شناسایی و با دسته‌بندی آنها مدل نظری تحقیق مطابق با شکل-۱ تدوین گردیده است. مدل پیشنهادی، پس از اعتبارسنجی از طریق خبرگان صنعت نفت و گاز، مبنای طراحی سیستم خبره فازی قرار گرفته است.

[۱] Suslick, *et al*.
[۲] Roisenberg, *et al*.
[۳] Chang, *et al*.
[٤] Gharbi

شکل-۱: مدل نظری توسعه‌یافته ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعهٔ میاین نفت و گاز

٤. روش‌شناسی

در طی سال‌های اخیر، استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی مانند؛ سیستم‌های خبره و شبکه‌های عصبی مصنوعی در مطالعات صنعت نفت رشد فزاینده‌ای داشته است (اقبالی و همکاران، ۲۰۱۵). سیستم‌های خبره، برنامه‌هایی هستند از یک پایگاه دانش و مجموعه‌ای از قوانین تولید برای استنتاج حقایق جدید از دانش و داده‌های ورودی استفاده می‌کنند. تجربه و دانش انسانی به عنوان منابع اصلی جهت تدوین اصول به کار رفته در پایگاه‌های دانش این سیستم‌های مبتنی بر قانون در نظر گرفته می‌شوند (قربی و منصوری[۱]، ۲۰۰۵).

یک سیستم خبره، اساساً از سه مؤلفه اصلی تشکیل شده است؛ ۱) پایگاه دانش[۲]، ۲) موتور استنتاج[۳]، و ۳) رابط کاربری[٤]. پایگاه دانش، هستهٔ مرکزی یک سیستم خبره محسوب می‌گردد، که شامل تمام دانش و تخصص مربوطه به صورت مجموعه‌ای از قواعد و حقایق تولید می‌باشد. این

[۱] Gharbi & Mansoori
[۲] Knowledgebase
[۳] Inference engine
[٤] User interface

قواعد بر اساس مجموعه‌ای از ساز و کارهای اجرایی کمّی و/یا کیفی موجود در سیستم فیزیکی طراحی شده‌اند. پس، قواعد تولید حاصله با استفاده از زبان نمایش دانش بایگانی می‌شوند. موتور استنتاج هم، شامل الگوریتم‌های مختلفی است که برای جستجوهای هدفمند و بازیابی قواعد مورد نیاز مورد قرار می‌گیرند. و در نهایت، پیامد چنین رویه‌ای نتایج خروجی سیستم خبره می‌باشد. به طور کلی، قواعد تولید ذخیره شده در پایگاه دانش یک سیستم خبر دارای دو بخش است؛ یعنی مقدمه[۱] (بخش "اگر") و حکم[۲] (بخش "آنگاه") (اقبالی و همکاران، ۲۰۱۵). البته، یک سیستم خبره می‌تواند از سیستم استنتاج فازی در طراحی قواعد تولید در پایگاه دانش استفاده نماید، تا امکان شبیه‌سازی رویکرد استدلال و منطق انسانی در شرایط عدم قطعیت فراهم گردد. رویکردی که اغلب در سایر روش‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد (رئیسی وانانی و همکاران، ۱۳۹۷). همچنین، با توجه به نظرسنجی از خبرگان که با استفاده از متغیرهای زبانی صورت گرفته، و خصایص متفاوت ارزیابان می‌تواند بر تعابیر ذهنی آنان نسبت به متغیرهای کیفی اثرگذار باشد، لذا، با تعریف متغیرهای زبانی و فازی‌سازی آنها تلاش گردیده است تا خبرگان با ذهنیت نسبتاً یکسانی به سؤالات پاسخ دهند. به عبارتی بهتر، استفاده از مجموعه‌های فازی، سازگاری بیشتری با توضیحات زبانی و بعضاً مبهم انسانی دارد.

٤-١. روش تحقیق

پژوهش حاضر از حیث جهت‌گیری، پژوهشی کاربری محسوب می‌گردد، چرا که طراحی یک سیستم خبره به توسعهٔ کاربردهای دانش فن‌آوری اطلاعات در حوزهٔ ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز می‌پردازد. همچنین، به لحاظ راهبرد جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز از نوع توصیفی- تحلیلی محسوب می‌شود. از حیث قلمرو نیز به شرح زیر می‌باشد:

- **قلمرو زمانی**؛ پژوهش حاضر به طور مقطعی در بازهٔ بهمن ۱۳۹۸ تا شهریور ۱۳۹۹ اجرایی گشته است.
- **قلمرو مکانی**؛ مجموعه شرکت‌های دولتی و خصوصی فعال در بخش بالادستی صنعت نفت و گاز می‌باشند.
- **قلمرو موضوعی**؛ تحقیق حاضر در حوزهٔ طراحی سامانه ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز با استفاده از کاربردهای هوش مصنوعی می‌باشد.

جامعه آماری تحقیق را نیز، کارشناسان‌ارشد و متخصصان خُبره فعال در بخش بالادستی صنعت نفت و گاز تشکیل می‌دهند، که با روش نمونه‌گیری هدفمند ١٤ خبره در این حوزه شناسایی و به منظور ایجاد پایگاه دانش در سیستم خبره با ایشان مصاحبه‌های عمیق صورت پذیرفت. همچنین، در گام‌های اعتبارسنجی شاخص‌ها و سیستم خبره فازی طراحی شده نیز، از نظرات این خبرگان مجدد استفاده گردید.

ابزارهای گردآوری اطلاعات در تحقیق حاضر با توجه به نوع داده‌های مورد نیاز، به دو بخش قابل تفکیک می‌باشد؛ الف) بررسی اسناد و مدارک موجود؛ به منظور شناسایی ابعاد و شاخص‌های مرتبط و مؤثر در ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعهٔ میاین نفت و گاز جهت توسعهٔ مدل نظری تحقیق از منابع موجود در حوزهٔ ادبیات موضوع استفاده شده است، ب) مصاحبه ساختاریافته و نیمه‌ساختاریافته؛ به منظور تولید قواعد استنتاج برای طراحی سیستم خبره، و همچنین اعتبارسنجی شاخص‌ها و سیستم خبره با خبرگان صنعت مصاحبه‌های عمیقی توسط محقق صورت گرفته است.

٤-٢. مراحل اجرایی تحقیق

مراحل اجرای این پژوهش بدین شرح می‌باشند؛

---

[۱] Antecedent
[۲] Precedent

۱. مروری بر مبنای نظری و پیشینهٔ موضوع در حوزهٔ ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز، و همچنین، کاربردهای هوش مصنوعی در حوزهٔ مذکور
۲. شناسایی و دسته‌بندی ابعاد و شاخص‌های ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز در ۷ بُعد و ٤٨ شاخص از مطالعهٔ منابع معتبر علمی و مدل‌های توسعه‌یافتهٔ موجود مطابق با جدول-۱
۳. مصاحبه نیمه ساختاریافته با خبرگان صنعت نفت و گاز در حوزهٔ مطالعات بالادستی، به منظور اعتبارسنجی ابعاد و شاخص‌های شناسایی شده، با توجه به میزان کاربرد آن‌ها در ارزیابی ریسک‌های صنعت نفت و گاز
٤. انجام آزمون آماری تی استیودنت، به منظور تعیین اعتبار شاخص‌ها و همچنین، قابلیت تعمیم‌پذیری نظرات خبرگان
٥. مصاحبه ساختاریافته با خبرگان به منظور اکتساف دانش و قواعد تولید اگر- آنگاه در خصوص ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعهٔ میادین نفتی
٦. ایجاد یک پایگاه دانش بر مبنای اطلاعات جمع‌آوری شده از خبرگان صنعت و تعیین توابع عضویت فازی و تعریف قواعد اگر- آنگاه جهت ورود به نرم‌افزار متلب[۱]
۷. ورود دانش حاصله به نرم‌افزار متلب و کدنویسی سیستم خبره فازی
۸. اعتبارسنجی سیستم خبره طراحی شده از طریق ورود داده‌های یکی از میادین نفتی انتخابی به سیستم خبره و دریافت نتیجه حاصله و مقایسه آن با نظرات خبرگان

۵. یافته‌های پژوهش

در این پژوهش دلیل انتخاب منطق فازی جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، وجود قضاوت‌های ذهنی بر مبنای متغیرهای زبانی[۲] در تمامی معیارهای ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز است. همچنین، دلیل به کار گیری سیستم استنتاج فازی در طراحی سیستم خبره برای ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز، خصلت هوشمندی این روش است. علت هوشمندی سیستم استنتاج فازی به آن دلیل است که رفتاری مشابه انسان داشته، و تمامی قواعد تعریف شده برای آن سیستم را به صورت همزمان لحاظ می‌نماید، و این عمل دقیقاً همان کاری است که انسان در فعالیت‌های روزمره به دفعات مد نظر قرار می‌دهد (رئیسی وانانی و همکاران، ۱۳۹۷). در پژوهش حاضر، به منظور تحلیل داده‌ها و طراحی سیستم استنتاج فازی از نرم‌افزار متلب استفاده شده است. ورودی سیستم، شاخص‌های کلیدی ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعهٔ میادین نفت و گاز است، که به عنوان مهمترین عوامل ارزیابی در تحقیق حاضر با مطالعهٔ ادبیات و پیشینهٔ تحقیق و بررسی نظرات متخصصین و خبرگان در حوزهٔ مطالعات بالادستی صنعت نفت و گاز شناسایی و انتخاب شده‌اند.

۵-۱. اعتبارسنجی شاخص‌های کلیدی

پیش از طراحی و پیاده‌سازی سیستم خبره، میزان اعتبار ٤٨ شاخص اولیه ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز بر مبنای استانداردهای رسمی شرکت ملی نفت در مدیریت برنامه‌ریزی تلفیقی شرکت ملی نفت و نظرات خبرگان صنعت نفت و گاز مورد ارزیابی قرار

[۱] MATLAB
[۲] Linguistic Variable

گرفته است. مقیاس نظرسنجی از خبرگان مبتنی بر طیف ۵ گزینه‌ای لیکرت (۱: خیلی‌کم، ۲: کم، ۳: متوسط، ٤: زیاد، ٥: خیلی‌زیاد) بوده، که به منظور اعتبارسنجی شاخص‌ها و بررسی تعمیم‌پذیری نظرات خبرگان نیز، آزمون آماری تی استیودنت[۱] با استفاده از نرم‌افزار اس.پی.اس.اس[۲] مورد استفاده قرار گرفته است.

طبق نتایج حاصله، از مجموع ٤٨ شاخص اولیه، شش شاخص"حرارت"، "خطای انسانی در کلیه مراحل"، "مقررات سلامت، ایمنی و محیط زیست"، "تغییر در مقررات دولتی"، "تغییر در استانداردهای محیطی" و "تداخل علایق" دارای میزان تأثیرگذاری کمتر از متوسط بوده و سایر شاخص‌ها به لحاظ درجهٔ معنی‌داری در وضعیت مطلوب بوده و بیش از حد متوسط تأثیرگذار تشخیص داده شده‌اند. به عبارتی دقیق‌تر، مقدار میانگین در هر ٤٢ شاخص باقی‌مانده بیش از ۳ بوده و مقدار آمارهٔ آزمون بیش از ۲/۵۷ در سطح خطای ۱٪ می‌باشد. بنابراین، طبق نظرسنجی از خبرگان، ٤٢ شاخص دارای تأثیرگذاری قابل‌ملاحظه‌ای بوده، و به عنوان داده‌های ورودی در طراحی سیستم خبره فازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. البته، علاوه بر آزمون آماری تی استیودنت، با استفاده از متغیرهای زبانی و اعداد فازی مثلثی هم، اعتبار شاخص‌ها مورد ارزیابی مجدد قرار گرفته است. جدول-۲، مقیاس لحاظ شده برای تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد فازی مثلثی را نشان می‌دهد.

جدول-۲: ارتباط متغیرهای زبانی و اعداد فازی مربوطه

خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
(۰ , ۰ , ۰/۲۵)	(۰/۱ , ۰/۲۵ , ۰/۴)	(۰/۲۵ , ۰/۵ , ۰/۷۵)	(۰/۶ , ۰/۷۵ , ۰/۹)	(۰/۷۵ , ۰/۱ , ۰/۱)

نتایج حاصل از بررسی فازی نظرات خبرگان در جدول-۳ ارائه شده است. در این جدول، علاوه بر توزیع متغیرهای زبانی، میانگین فازی هر یک از شاخص و عدد قطعی مربوط به آن محاسبه و شاخص‌های نهایی جهت طراحی سیسم خبره فازی مشخص شده‌اند. از آنجا که ورودی و خروجی عملیات فازی، اعدادی فازی هستند، و این نتایج به سادگی قابل فهم و تفسیر نبوده، لذا بایستی نتایج فازی حاصله به اعداد قطعی (معمولی) تبدیل شوند. عدد قطعی ارائهٔ شده در جدول-۳، با استفاده از معیار مینکوفسکی[۳] محاسبه شده، که مقدار آن نشانگر شدت موافقت خبرگان با هر یک از شاخص‌های برگزیده جهت طراحی مدل مفهومی می‌باشد. نتایج مربوط به جدول-۳ نشان می‌دهند که خبرگان با اکثریت شاخص درصد توافق بالایی (بیش از ۷۰٪) داشته‌اند. البته، از نظر خبرگان، تنها شش شاخص"حرارت" با ٤۹/۹ درصد، "خطای انسانی در مراحل طراحی، ساخت و نصب تأسیسات" با ٦۹/٥ درصد، "مقررات سلامت، ایمنی و محیط زیست" با ٦٦/۳ درصد، "تغییر در مقررات دولتی" با ٦۲/۸ درصد، "تغییر در استانداردهای محیطی" با ٦٦/۳ درصد و "تداخل علایق" با ٥٦/۸ درصد در مقایسه با سایر شاخص‌ها دارای اهمیت کافی به عنوان معیار ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز نمی‌باشند. بنابراین، مطابق با نتایج آزمون آماری و تحلیل فازی، شش شاخص مذکور در ارزیابی نهایی و طراحی سیستم استنتاج فازی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند.

[۱] T-Student
[۲] SPSS
[۳] Minkowski

جدول-۳: نتایج حاصل از تحلیل فازی پاسخ خبرگان نسبت به شاخص‌های شناسایی‌شده

مولفه	شاخص‌های شناسایی شده	میزان موافقت					میانگین فازی مثلثی	عدد قطعی
		خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد		
مرحله اکتشاف	وضعیت زمین‌شناسی	۰	۰	۱	۶	۷	(۰/۶۵ , ۰/۸۶ , ۰/۹۴)	۰/۹۲۹
	نوع تله نفتی یا گازی	۰	۲	۴	۵	۳	(۰/۴۶ , ۰/۶۶ , ۰/۸۱)	۰/۷۴۷
	ابعاد تله نفتی یا گازی	۰	۰	۴	۶	۴	(۰/۵۴ , ۰/۷۵ , ۰/۸۹)	۰/۸۳۶
	مقدار کلوژر ساختمانی	۰	۰	۶	۶	۲	(۰/۴۷ , ۰/۶۸ , ۰/۸۵)	۰/۷۷۳
	ارتفاع ستون نفت یا گاز	۰	۱	۵	۵	۳	(۰/۴۷ , ۰/۶۸ , ۰/۸۵)	۰/۷۶۹
	عمق دسترسی به هیدروکربور	۰	۱	۴	۵	۴	(۰/۵۱ , ۰/۷۱ , ۰/۸۵)	۰/۸۰۰
	دسترسی به تکنولوژی‌های نوین	۰	۰	۲	۴	۸	(۰/۶۴ , ۰/۸۶ , ۰/۹۴)	۰/۹۳۲

مولفه	شاخص‌های شناسایی شده	میزان موافقت					میانگین فازی مثلثی	عدد قطعی
		خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد		
مرحله ارزیابی	حجم اطلاعات در دسترس	۰	۰	۰	۱۲	۲	(۰/۶۲ , ۰/۷۹ , ۰/۹۱)	۰/۸۵۹
	حجم نفت درجا	۰	۱	۱	۷	۵	(۰/۵۹ , ۰/۷۹ , ۰/۸۹)	۰/۸۶۰
	حجم گاز درجا	۰	۱	۱	۷	۵	(۰/۵۹ , ۰/۷۹ , ۰/۸۹)	۰/۸۶۰
	تعداد چاه‌های مورد نیاز حفاری	۰	۰	۵	۴	۵	(۰/۵۳ , ۰/۷۵ , ۰/۸۸)	۰/۸۳۸
	محدودیت زمانی ارزیابی	۰	۱	۶	۷	۰	(۰/۴۱ , ۰/۶۱ , ۰/۸۰)	۰/۷۰۴
	پیچیدگی مدل زمین‌شناسی	۰	۰	۲	۸	۴	(۰/۵۹ , ۰/۷۹ , ۰/۹۱)	۰/۸۶۴
	ضریب بازیافت	۰	۱	۴	۳	۶	(۰/۵۳ , ۰/۷۵ , ۰/۸۶)	۰/۸۳۴
	میزان تخلخل سنگ	۰	۱	۳	۷	۳	(۰/۵۲ , ۰/۷۱ , ۰/۸۵)	۰/۷۹۷
	میزان اشباع نفت در سنگ	۰	۱	۳	۷	۳	(۰/۵۲ , ۰/۷۱ , ۰/۸۵)	۰/۷۹۷
	نسبت N/G	۰	۱	۵	۵	۳	(۰/۴۷ , ۰/۶۸ , ۰/۸۳)	۰/۷۶۹
	فشار مخزن	۰	۱	۱	۸	۴	(۰/۵۸ , ۰/۷۷ , ۰/۸۸)	۰/۸۴۳
	تراوایی	۰	۱	۲	۴	۷	(۰/۵۹ , ۰/۸۰ , ۰/۸۹)	۰/۸۷۹
	گرانروی	۰	۱	۵	۷	۱	(۰/۴۵ , ۰/۶۴ , ۰/۸۲)	۰/۷۳۵
	حرارت	۰	۸	۴	۱	۱	(۰/۲۳ , ۰/۴۱ , ۰/۵۸)	۰/۴۹۹
	گرادیتی	۰	۲	۴	۳	۵	(۰/۴۸ , ۰/۷۰ , ۰/۸۲)	۰/۷۸۱
	میزان اشباع آب	۰	۱	۲	۷	۴	(۰/۵۶ , ۰/۷۵ , ۰/۸۷)	۰/۸۲۹
مرحله توسعه	حجم نفت قابل برداشت	۰	۰	۳	۶	۵	(۰/۵۸ , ۰/۷۹ , ۰/۹۰)	۰/۸۶۷
	حجم گاز قابل برداشت	۰	۰	۳	۶	۵	(۰/۵۸ , ۰/۷۹ , ۰/۹۰)	۰/۸۶۷
	نمودار تولید میدان	۰	۲	۴	۵	۳	(۰/۴۶ , ۰/۶۶ , ۰/۸۱)	۰/۷۴۷
	آرایش چاه‌های مورد نیاز	۰	۱	۵	۷	۱	(۰/۴۵ , ۰/۶۴ , ۰/۸۲)	۰/۷۳۵
	زمان حفاری هر چاه	۰	۰	۷	۷	۰	(۰/۴۳ , ۰/۶۳ , ۰/۸۳)	۰/۷۲۵
	هزینه‌های عملیاتی	۰	۱	۰	۱۲	۱	(۰/۵۸ , ۰/۷۳ , ۰/۸۷)	۰/۸۰۶
	به روز رسانی مدل مخزنی	۰	۰	۳	۷	۴	(۰/۵۷ , ۰/۷۷ , ۰/۹۰)	۰/۸۵۰
	نگهداشت فشار مخزن	۰	۰	۱	۱۱	۲	(۰/۶۰ , ۰/۷۷ , ۰/۹۰)	۰/۸۴۵
تأسیسات سطح‌الارضی	آلودگی زیست محیطی	۰	۰	۴	۶	۴	(۰/۵۴ , ۰/۷۵ , ۰/۸۹)	۰/۸۳۶
	نشت گاز گوگرد و سیالات مضر	۰	۰	۳	۸	۳	(۰/۵۴ , ۰/۷۵ , ۰/۸۹)	۰/۸۳۶
	خطای انسانی در مراحل طراحی، ساخت و نصب تأسیسات	۰	۱	۹	۲	۲	(۰/۳۶ , ۰/۵۹ , ۰/۷۸)	۰/۶۹۵
	مقررات در خصوص مسایل سلامت، ایمنی و محیط زیست	۰	۱	۱۰	۲	۱	(۰/۳۳ , ۰/۵۵ , ۰/۷۶)	۰/۶۶۳
	تاخیر در اجرای طرح	۰	۰	۶	۶	۲	(۰/۴۷ , ۰/۶۸ , ۰/۸۵)	۰/۷۷۳
	توزیع خطوط لوله انتقال	۰	۱	۵	۶	۲	(۰/۴۶ , ۰/۶۶ , ۰/۸۳)	۰/۷۵۲

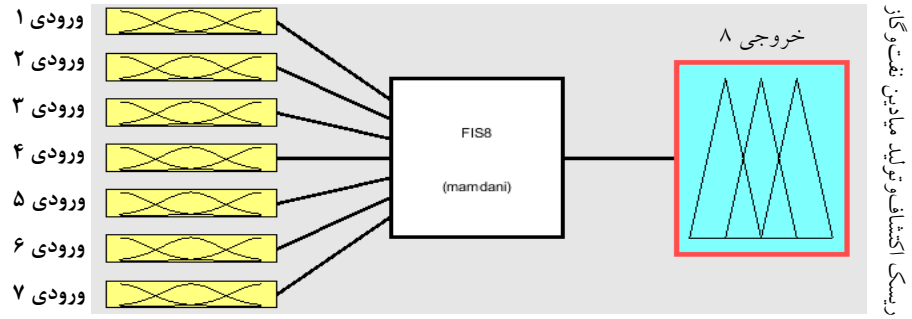
ادامهٔ جدول-۳: نتایج حاصل از تحلیل فازی پاسخ خبرگان نسبت به شاخص‌های شناسایی‌شده

شاخص‌ها	مؤلفه‌ها	میزان موافقت					میانگین فازی مثلثی	عدد قطعی
		خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد		
نظام سیاسی و مقررات دولتی	نظام سیاسی و امنیت	۰	۰	۳	۳	۸	(۰/۶۱ , ۰/۸۴ , ۰/۹۳)	۰/۹۱۸
	تغییر در مقررات دولتی	۰	۲	۱۰	۱	۱	(۰/۲۹ , ۰/۵۲ , ۰/۷۳)	۰/۶۲۸
	تغییردر استانداردهای محیطی	۰	۱	۱۰	۲	۱	(۰/۳۳ , ۰/۵۵ , ۰/۷۶)	۰/۶۶۳
	ساختار نظام مالیاتی	۰	۰	۲	۱۱	۱	(۰/۵۶ , ۰/۷۳ , ۰/۸۹)	۰/۸۱۳
متغیرهای اقتصادی	قیمت جهانی نفت و گاز	۰	۰	۳	۶	۵	(۰/۵۸ , ۰/۷۹ , ۰/۹۰)	۰/۸۶۷
	نرخ تسعیر	۰	۱	۲	۵	۶	(۰/۵۸ , ۰/۷۹ , ۰/۸۹)	۰/۸۶۳
	میزان تورم	۰	۰	۴	۸	۲	(۰/۵۲ , ۰/۷۱ , ۰/۸۷)	۰/۸۰۲
شرکاء	تداخل در اولویت‌های فنی شرکت	۰	۱	۲	۱۱	۰	(۰/۵۱ , ۰/۶۸ , ۰/۸۴)	۰/۷۶۱
	تداخل علایق	۰	۴	۸	۲	۰	(۰/۲۶ , ۰/۴۶ , ۰/۶۷)	۰/۵۶۸
	تفاوت در آراء و دیدگاه‌ها	۰	۱	۴	۷	۲	(۰/۴۹ , ۰/۶۸ , ۰/۸۴)	۰/۷۶۶
	عدم تعامل شرکاء	۰	۱	۰	۸	۵	(۰/۶۲ , ۰/۸۰ , ۰/۹۰)	۰/۸۷۴

۵-۲. طراحی مدل مفهومی

برای ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز، ناگزیر به طراحی و معماری هفت سیستم استنتاج فازی فرعی و یک سیستم استنتاج فازی کلی هستیم، که هر سیستم استنتاج فازی فرعی نشان‌دهنده یکی از شاخص‌های ارزیابی ریسک بوده و سیستم استنتاج فازی کلی نشان‌دهنده تجمیع هفت سیستم استنتاج فرعی جهت دستیابی به ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز می‌باشد. ورودی‌های این سیستم در نرم‌افزار متلب تعریف شده، که در شکل-۲ مدل شماتیک آن مشخص گردیده است:

- FIS۸ : خروجی ۸ : دارای هفت ورودی می‌باشد که عبارتند از:
  - FIS۱ : ورودی ۱: ریسک مرحلهٔ اکتشاف (دارای ۷ ورودی و ۱ خروجی)
  - FIS۲ : ورودی ۲ : ریسک مرحلهٔ ارزیابی (دارای ۱۵ ورودی و ۱ خروجی)
  - FIS۳ : ورودی ۳ : ریسک مرحلهٔ توسعه (دارای ۸ ورودی و ۱ خروجی)
  - FIS٤ : ورودی ٤ : ریسک تأسیسات سطح‌الارضی (دارای ٤ ورودی و ۱ خروجی)
  - FIS٥ : ورودی ٥ : ریسک نظام سیاسی و مقررات دولتی (دارای ۲ ورودی و ۱ خروجی)
  - FIS٦ : ورودی ٦ : ریسک متغیرهای اقتصادی (دارای ۳ ورودی و ۱ خروجی)
  - FIS۷ : ورودی ۷ : ریسک شرکاء (دارای ۳ ورودی و ۱ خروجی)



شکل-۲: مؤلفه‌های ورودی و خروجی در مدل ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعهٔ میاین نفت و گاز

۵-۳. فازی‌سازی متغیرهای ورودی و خروجی

متغیرهای ورودی در سیستم‌های استنتاج فازی فرعی، شاخص‌های کلیدی برگزیده ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز، و متغیرهای خروجی این سیستم‌ها، ارزیابی ریسک هر یک مؤلفه‌ها می‌باشد. همچنین، متغیرهای ورودی در سیستم استنتاج فازی کلی، مؤلفه‌های ریسک اکتشاف و توسعه، و متغیر خروجی، ارزیابی ریسک کلی اکتشاف و توسعهٔ میادین نفت و گاز می‌باشد. جهت افرازبندی متغیرهای کلامی جهت فازی‌سازی تمامی متغیرهای ورودی و خروجی در سیستم‌های استنتاج فرعی و اصلی از طیف ۳ گزینه‌ای و توابع فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای استفاده شده است. دلیل استفاده از این شکل از توابع به جای سایر توابع فازی، سادگی این توابع است که با توجه به تعداد زیاد معیارهای ارزیابی و به تبع آن افزایش بسیار زیاد تعداد قواعد منطقی سیستم، تحلیل داده‌ها با سرعت بیشتری انجام می‌شود، و انطباق مناسبی با طیف استفاده شده در نظرسنجی از خبرگان نیز دارد. در جدول-٤، فازی‌سازی و پارامترهای توابع عضویت برای تمامی متغیرهای ورودی و خروجی در سیستم‌های استنتاج فازی فرعی و اصلی مشخص گردیده است. همچنین، شکل-۳ توابع عضویت شاخص ورودی وضعیت زمین‌شناسی را نیز نشان می‌دهد.

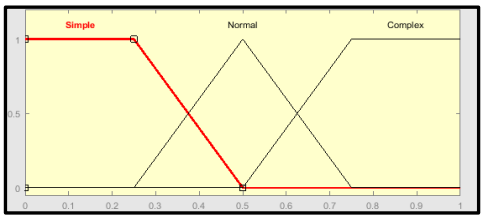
جدول-٤: فازی‌سازی تمامی متغیرهای ورودی و خروجی در سیستم‌های استنتاج فازی فرعی و اصلی

مؤلفه‌ها	شاخص‌های برگزیده	نوع شاخص	افرازبندی متغیرهای کلامی	اعداد فازی (شکل تابع عضویت: ذوزنقه‌ای، مثلثی، ذوزنقه‌ای)
متغیرهای ورودی در سیستم‌های استنتاج فازی فرعی				
مرحله اکتشاف	وضعیت زمین‌شناسی	کیفی	ساده؛ نرمال؛ پیچیده	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰)؛ (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰)؛ (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	نوع تله نفتی یا گازی	کیفی	ساختار چینه‌ای، ساختار ترکیبی، ساختار چین-خوردگی تاقدیسی	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰)؛ (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰)؛ (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	ابعاد تله نفتی یا گازی	کمی	کوچک، متوسط، بزرگ	(۹۰، ۷۰، ۰، ۰)؛ (۲۶۰، ۱۶۵، ۷۰)؛ (۵۰۰، ۵۰۰، ۲۶۰، ۲۴۰)
	مقدار کلوژر ساختمانی	کمی	کم، متوسط، بزرگ	(۲۰۰، ۱۰۰، ۰، ۰)؛ (۵۵۰، ۳۲۵، ۱۰۰)؛ (۱۰۰۰، ۱۰۰۰، ۵۵۰، ۴۵۰)
	ارتفاع ستون نفت یا گاز	کمی	کم، متوسط، بزرگ	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰)؛ (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰)؛ (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	عمق دسترسی به هیدروکربور	کمی	کم عمق، عمق متوسط، عمق زیاد	(۲۶۰۰، ۲۴۰۰، ۰، ۰)؛ (۵۱۰۰، ۳۷۵۰، ۲۴۰۰)؛ (۸۰۰۰، ۸۰۰۰، ۵۱۰۰، ۴۹۰۰)
	دسترسی به تکنولوژی‌های نوین	کیفی	کم، متوسط، زیاد	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰)؛ (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰)؛ (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
مؤلفه‌ها	شاخص‌های برگزیده	نوع شاخص	افرازبندی متغیرهای کلامی	اعداد فازی (شکل تابع عضویت: ذوزنقه‌ای، مثلثی، ذوزنقه‌ای)
مرحله ارزیابی	حجم اطلاعات در دسترس	کیفی	کم، متوسط، بزرگ	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰)؛ (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰)؛ (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	حجم نفت درجا	کمی	کم، متوسط، بزرگ	(۱۲، ۶، ۰، ۰)؛ (۳۰، ۱۸، ۶)؛ (۸۰، ۸۰، ۳۰، ۲۴)
	حجم گاز درجا	کمی	کم، متوسط، بزرگ	(۹۰، ۳، ۰، ۰)؛ (۲۱، ۱۲، ۳)؛ (۶۰، ۶۰، ۲۱، ۱۶)
	تعداد چاه‌های مورد نیاز حفاری	کیفی	کم، متوسط، زیاد	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰)؛ (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰)؛ (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)

	محدودیت زمانی ارزیابی	کیفی	کم، متوسط، زیاد	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	پیچیدگی مدل زمین‌شناسی	کیفی	کم، متوسط، زیاد	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	ضریب بازیافت	کمی	کم، متوسط، بزرگ	(۳۰، ۱۰، ۰، ۰): (۵۰، ۳۰، ۱۰): (۸۰، ۸۰، ۵۰، ۳۰)
	میزان تخلخل سنگ	کمی	کم، متوسط، بزرگ	(۹، ۷، ۰، ۰): (۱۶، ۱۱/۵، ۷): (۳۰، ۳۰، ۱۶، ۱۴)
	میزان اشباع نفت در سنگ	کیفی	کم، متوسط، زیاد	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	نسبت N/G	کیفی	کم، متوسط، زیاد	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	فشار مخزن	کمی	کم، متوسط، بزرگ	(۴۰۰۰، ۲۰۰۰، ۰، ۰): (۸۰۰۰، ۵۰۰۰، ۲۰۰۰): (۱۰۰۰، ۱۰۰۰، ۸۰۰۰، ۶۰۰۰)
	تراوایی	کمی	کم، متوسط، بزرگ	(۴۰، ۲۰، ۰، ۰): (۱۱۰، ۶۵، ۲۰): (۱۵۰، ۱۵۰، ۱۱۰، ۹۰)
	گرانروی	کمی	کم، متوسط، بزرگ	(۶، ۴، ۰، ۰): (۱۶، ۱۰، ۴): (۲۰، ۲۰، ۱۶، ۱۴)
	گراویتی	کمی	کم، متوسط، بزرگ	(۳۰، ۱۰، ۰، ۰): (۵۰، ۳۰، ۱۰): (۸۰، ۸۰، ۵۰، ۳۰)
	میزان اشباع آب	کمی	کم، متوسط، بزرگ	(۴۰، ۲۰، ۰، ۰): (۷۰، ۴۵، ۲۰): (۹۰، ۹۰، ۷۰، ۵۰)
مرحله توسعه	حجم نفت قابل برداشت	کمی	کم، متوسط، بزرگ	(۵، ۳، ۰، ۰): (۲۲، ۱۴، ۳): (۴۰، ۴۰، ۲۵، ۲۰)
	حجم گاز قابل برداشت	کمی	کم، متوسط، بزرگ	(۵، ۳، ۰، ۰): (۲۲، ۱۴، ۳): (۴۰، ۴۰، ۲۵، ۲۰)
	نمودار تولید میدان	کمی	کم، متوسط، بزرگ	(۶۰۰۰۰، ۳۰۰۰۰، ۰، ۰): (۱۷۵۰۰۰، ۱۰۲۵۰۰، ۳۰۰۰۰): (۸۰۰۰۰۰، ۸۰۰۰۰۰، ۱۷۵۰۰۰، ۱۵۵۰۰۰)
	آرایش چاه‌های مورد نیاز	کیفی	نامتناسب، قابل قبول، متناسب	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	زمان حفاری هر چاه	کیفی	نامتناسب، قابل قبول، متناسب	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	هزینه‌های عملیاتی	کیفی	نامتناسب، قابل قبول، متناسب	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	به‌روزرسانی مدل مخزنی	کیفی	تصادفی، دوره‌ای، پیوسته	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	نگهداشت فشار مخزن	کیفی	بدون تزریق، تزریق آب، تزریق گاز	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
تأسیسات سطح-الارضی	آلودگی زیست محیطی	کیفی	کم، متوسط، زیاد	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	نشت گاز کوگرد و سیالات مضر	کیفی	کم، متوسط، زیاد	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	تاخیر در اجرای طرح	کیفی	تأخیر کم، تأخیر قابل‌قبول، تأخیر زیاد	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	توزیع خطوط لوله انتقال	کیفی	توزیع کم، توزیع قابل‌قبول، توزیع گسترده	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
نظام سیاسی و مقررات دولتی	نظام سیاسی و امنیت	کیفی	نظام اقتدارگرا، نظام اقتدارگرا- دموکراسی ریاستی، نظام دموکراسی پارلمانی	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	ساختار نظام مالیاتی	کیفی	نظام مالیاتی با تغییر کم، نظام مالیاتی با تغییر قابل‌قبول، نظام مالیاتی با تغییر زیاد	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)

ادامهٔ جدول-٤: فازی‌سازی تمامی متغیرهای ورودی و خروجی در سیستم‌های استنتاج فازی فرعی و اصلی

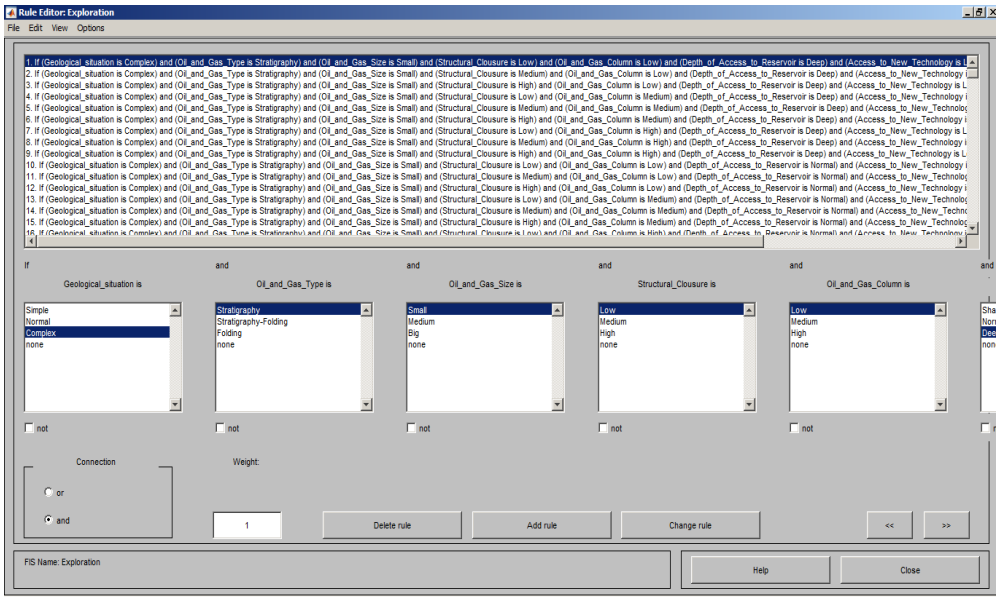
مؤلفه‌ها	شاخص‌های برگزیده	نوع شاخص	افرازبندی متغیرهای کلامی	اعداد فازی (شکل تابع عضویت؛ ذوزنقه‌ای، مثلثی، ذوزنقه‌ای)
متغیرهای اقتصادی	قیمت جهانی نفت و گاز	کمی	کم، متوسط، زیاد	(۴۰، ۲۰، ۰، ۰): (۹۰، ۵۵، ۲۰): (۱۲۰، ۱۲۰، ۹۰، ۷۰)
	نرخ تسعیر	کیفی	نوسان کم، نوسان قابل‌قبول، نوسان زیاد	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	میزان تورم	کیفی	کم، نرمال، زیاد	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
شرکاء	تداخل در اولویت‌های فنی شرکت	کیفی	کم، نرمال، زیاد	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	تفاوت در آراء و دیدگاه‌ها	کیفی	کم، نرمال، زیاد	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	عدم تعامل شرکاء	کیفی	کم، نرمال، زیاد	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
متغیرهای خروجی در سیستم‌های استنتاج فازی فرعی، و ورودی در سیستم استنتاج فازی کلی				
ریسک‌های اکتشاف و توسعهٔ میادین نفت و گاز	ریسک مرحلهٔ اکتشاف	کیفی	کم‌ریسک، ریسک متوسط، پُرریسک	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	ریسک مرحلهٔ ارزیابی	کیفی	کم‌ریسک، ریسک متوسط، پُرریسک	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	ریسک مرحلهٔ توسعه	کیفی	کم‌ریسک، ریسک متوسط، پُرریسک	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	ریسک تأسیسات سطح‌الارضی	کیفی	کم‌ریسک، ریسک متوسط، پُرریسک	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	ریسک نظام سیاسی و مقررات دولتی	کیفی	کم‌ریسک، ریسک متوسط، پُرریسک	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	ریسک متغیرهای اقتصادی	کیفی	کم‌ریسک، ریسک متوسط، پُرریسک	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
	ریسک شرکاء	کیفی	کم‌ریسک، ریسک متوسط، پُرریسک	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)
متغیر خروجی در سیستم استنتاج فازی کلی				
ریسک اکتشاف و توسعهٔ میادین نفت و گاز		کیفی	کم‌ریسک، ریسک متوسط، پُرریسک	(۰/۵، ۰/۲۵، ۰، ۰): (۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵): (۱، ۱، ۰/۷۵، ۰/۵)



شکل-۳: توابع عضویت زیر شاخص ورودی وضعیت زمین‌شناسی

٤-٥. تدوین قوانین استنتاج فازی

مهمترین بخش یک سیستم خبره، پایگاه دانش است که حاصل مجموعه‌ای از قواعد تولید می‌باشد. این پایگاه قواعد، دربرگیرندهٔ یک سری از قوانین منطقی اگر- آنگاه است که منجر به نگاشت متغیرهای ورودی به متغیر خروجی می‌گردد (اقبالی و همکاران، ۲۰۱۵). در این پژوهش جهت طراحی قوانین استنتاج از دانش خبرگان استفاده شده است. در این مرحله، با مراجعه به خبرگان در حوزه مطالعات بالادستی اکتشاف و تولید میادین نفت و گاز، از ایشان در خصوص میزان تأثیرگذاری شاخص‌های کلیدی برگزیده نظرسنجی شده، و از ایشان خواسته شده که به صورت قواعد اگر- آنگاه، درجه تأثیرات هر یک از شاخص‌ها را به عنوان ورودی در سه سطح افرازبندی شده، بر ارزیابی ریسک مؤلفه‌های اکتشاف و توسعهٔ میادین نفت و گاز، بیان نمایند. در این مرحله، جهت تدوین پایگاه دانش حاصل از نظر خبرگان، تعیین توابع عضویت مثلثی و ذوزنقه‌ای و همچنین، تعریف قواعد اگر- آنگاه از نرم‌افزار متلب استفاده شده است (شکل-٤). در پژوهش حاضر جهت استنتاج فازی از روش ممدانی، و در مرحلهٔ غیرفازی‌سازی نیز از روش مرکز جرم استفاده شده است. شکل-٤، شمایی از قواعد اگر- آنگاه که در مرحله اکتساب دانش از خبرگان اخذ گردیده، و وارد نرم‌افزار شده را نشان می‌دهد.



شکل-٤: شمایی از قواعد اگر- آنگاه سیستم خبره فازی در نرم‌افزار متلب

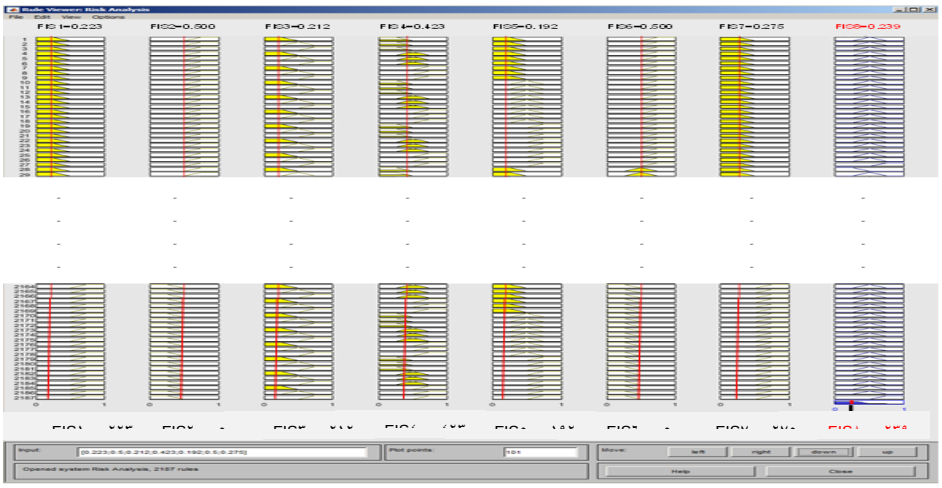
طبق نظرسنجی از خبرگان در مرحله اکتساب دانش و تعیین ترکیبات مختلف ورودی‌ها و میزان وزن و تأثیر آن‌ها بر خروجی، در مجموع تعداد ٤٩٣٢ قاعده اگر – آنگاه برای هشت سیستم فازی، تعیین گردید. جدول-٥، تعداد قواعد تعریف شده در سیستم‌های استنتاج فازی فرعی و کلی تعیین شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول-٥: تعداد قواعد فازی در سیستم‌های استنتاج فازی تعیین شده در این تحقیق

مؤلفه‌ها	تعداد شاخص	تعداد قواعد در مدل استنتاج فازی	
		سیستم‌های فرعی	سیستم کلی
مرحله اکتشاف	۷	FIS۱ : ۲۴۳	
مرحله ارزیابی	۱۵	FIS۲ : ۲۱۸۷	
مرحله توسعه	۸	FIS۳ : ۲۴۳	
تاسیسات سطح‌الارضی	۴	FIS٤ : ۲۷	FIS۸ : ۲۱۸۷
نظام سیاسی و مقررات دولتی	۲	FIS٥ : ۹	
متغیرهای اقتصادی	۳	FIS٦ : ۹	
شرکاء	۳	FIS۷ : ۲۷	

٥-٥. اعتباریابی سیستم خبره فازی طراحی شده

با توجه به هزینه‌های بالای حفر یک چاه اکتشافی یا تولیدی، لزوم طراحی یک سیستم خبره معتبر که با لحاظ نمودن پارامترهای مؤثر در شناسایی و ارزیابی دقیق ریسک‌های موجود از کارایی مطلوبی برخوردار باشد، کمک شایانی در صرفه‌جویی منابع و انجام برنامه‌زیری دقیق از ابتدای مطالعات اکتشاف، تولید و توسعهٔ میادین نفت و گاز خواهد داشت. بدین منظور جهت ارزیابی اعتبار سیستم طراحی شده، داده‌های مربوط به یکی از میادین نفتی در جنوب کشور به عنوان ورودی در سیستم استنتاج فازی مورد ارزیابی قرار گرفت. اطلاعات مربوط به شاخص‌های ارزیابی ریسک‌ها از طریق بررسی اسناد و مدارک موجود و نظرات متخصصان در جدول-٦ ارائه شده است. اطلاعات مربوط به شاخص‌ها وارد سیستم



شکل-٥: رابط نشاندهندهٔ قوانین نهایی سیستم استنتاج فازی مربوط به ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز

خبره طراحی شده در نرم‌افزار متلب گردید که شمایی از ورود داده‌ها و متغیر خروجی مربوط به ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعهٔ میادین نفت و گاز در شکل-۵ آمده است، که هر یک از سطوح نشاندهندهٔ یک قاعدهٔ فازی است. همچنین، هر ستون مربوط به یک مؤلفه ریسک است. ستون اول سمت چپ تا ستون ماقبل آخر نشان‌دهنـده توابع عضویت مربوط به ورودی‌هاست که قسمت آنگاه (فرض) قوانین را بیان می‌کند. ستون آخر، تابع عضویت متغیر خروجی که بیانگر قسمت آنگاه (نتیجه) قوانین است را نشان می‌دهد. بر اساس این داده‌ها و ۲۱۸۷ قاعده تعریف شده در سیستم کلی، ابتدا متغیر خروجی هر یک از سیستم‌های استنتاج فازی فرعی محاسبه، و در پایان متغیر خروجی سیستم استنتاج فازی کلی با مقدار ۰/۲۳۹ که همان ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز است، استخراج گردید. با توجه به دامنه تعریف شده برای متغیر خروجی در محدودهٔ کم‌ریسک تا پُرریسک (بازهٔ صفر تا یک)، سطح ریسک ارزیابی شده را می‌توان "کم" در نظر گرفت.

جدول-٦: داده‌های مربوط به شاخص‌های ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه یکی از میادین نفتی جنوب کشور

ردیف	مؤلفه‌ها	شاخص‌های برگزیده	میزان شاخص
۱	مرحله اکتشاف	وضعیت زمین شناسی	۰/۳
۲		نوع تله نفتی یا گازی	۰/۸
۳		ابعاد تله نفتی یا گازی	۴۰۰ Km^2
٤		مقدار بستگی ساختمانی	۶۰۰ متر
٥		ارتفاع ستون نفت یا گاز	۰/۵
٦		عمق دسترسی به هیدروکربور	۲۵۰۰ m
۷		دسترسی به تکنولوژی های نوین	۰/۶
۸	مرحله ارزیابی	حجم اطلاعات در دسترس	۰/۸۵
۹		حجم نفت درجا	۶۵ میلیارد بشکه
۱۰		حجم گاز درجا	---
۱۱		تعداد چاههای مورد نیاز حفاری	۰/۸۵
۱۲		محدودیت زمانی ارزیابی	۰/۵
۱۳		پیچیدگی مدل زمین شناسی	۰/۳
۱٤		ضریب بازیافت	٪۳۷
۱٥		میزان تخلخل سنگ	٪۱۸
۱٦		میزان اشباع نفت در سنگ	۰/۷۵
۱۷		نسبت N/G	۰/۷۵
۱۸		فشار مخزن	۵۹۰۰ psi
۱۹		تراوایی	۱۰۰ md
۲۰		گرانروی	۱/۵ cp
۲۱		گراویتی (API)	۳۳
۲۲		میزان اشباع آب	۲۵

ردیف	مؤلفه‌ها	شاخص‌های برگزیده	میزان شاخص
۲۳	مرحله توسعه	حجم نفت قابل برداشت	۳۷ میلیارد بشکه
۲۴		حجم گاز قابل برداشت	---
۲۵		نمودار تولید میدان	۷۵۰۰۰۰ بشکه
۲۶		آرایش چاه‌های مورد نیاز	۰/۸۵
۲۷		زمان حفاری هر چاه	۰/۸
۲۸		هزینه‌های عملیاتی	۰/۵
۲۹		به‌روزرسانی مدل مخزنی	۰/۸
۳۰		نگهداشت فشار مخزن	۰/۶۵
۳۱	تاسیسات سطح‌الارضی	آلودگی زیست محیطی	۰/۴۵
۳۲		نشت گاز گوگرد و سیالات مضر	۰/۴۵
۳۳		تاخیر در اجرای طرح	۰/۳۵
۳۴		توزیع خطوط لوله انتقال	۰/۶
۳۵	سیاسی/ دولتی	نظام سیاسی و امنیت	۰/۷۵
۳۶		ساختار نظام مالیاتی	۰/۵
۳۷	اقتصادی	قیمت جهانی نفت و گاز	۷۰ دلار
۳۸		نرخ تسعیر	۰/۷۵
۳۹		میزان تورم	۰/۷۵
۴۰	شرکاء	تداخل در اولویت های فنی شرکت	۰/۳
۴۱		تفاوت در آراء و دیدگاهها	۰/۶۵
۴۲		عدم تعامل شرکاء	۰/۳

در ادامه، به منظور اعتبارسنجی سیستم خبره طراحی شده، از خبرگان خواسته شد بر اساس ورودی‌های مربوط به میدان نفتی برگزیده در جنوب کشور، میزان ریسک اکتشاف و توسعهٔ این میدان نفتی را پیش‌بینی نمایند. سپس، در جدول-۷ با استفاده از شاخص میانگین مجذورات خطاها نسبت به مقایسه داده‌های حاصله و اعتباریابی سیستم اقدام گردید. طبق نتایج حاصله در جدول-۷، ریسک اکتشاف و توسعهٔ میدان نفتی انتخابی از منظر خبرگان در سطح کم ریسک (۰/۲۷٤۳) قرار دارد، که این مقدار بسیار نزدیک به پیش‌بینی انجام شده توسط خروجی سیستم خبره فازی کلی، یعنی، مقدار ۰/۲۳۹٤ می‌باشد. لذا، وجود تنها یک اختلاف ناچیز معادل ۰/۰۳٤۹ بین نتیجه ارزیابی توسط خبرگان و خروجی سیستم استنتاج فازی، نشانگر آنست که سیستم خبره طراحی شده جهت ارزیابی ریسک از دقت بالا و کارایی مطلوبی برخوردار است، چرا که نظرات سیستم و خبرگان بسیار به یکدیگر نزدیک بوده و این شباهت مبین اعتبار مناسب سیستم استنتاج فازی در ارزیابی ریسک می‌باشد. همچنین، مقدار شاخص میانگین مجذورات خطاها برابر ۰/۰۰٤٦۷ است، که با توجه به دامنهٔ اندازه‌گیری صفر تا یک برای ارزیابی ریسک، بسیار مطلوب می‌باشد. در نتیجه، طبق شاخص مذکور هم می‌توان نسبت به کارکرد سیستم خبره فازی طراحی شده در ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز اطمینان حاصل نمود.

جدول-۷: مقایسه خروجی سیستم خبره FIS[۸] با پیش‌بینی خبرگان و محاسبه خطا

شماره خبره	پیش‌بینی خبره از متغیر خروجی	خروجی سیستم خبره	خطا	مجذور خطا
۱	۰/۲۵۰۰	۰/۲۳۹۴	۰/۰۱۰۶	۰/۰۰۰۱۱
۲	۰/۲۸۰۰	۰/۲۳۹۴	۰/۰۴۰۶	۰/۰۰۱۶۵
۳	۰/۲۲۰۰	۰/۲۳۹۴	-۰/۰۱۹۴	۰/۰۰۰۳۸
۴	۰/۲۵۰۰	۰/۲۳۹۴	۰/۰۱۰۶	۰/۰۰۰۱۱
۵	۰/۲۲۰۰	۰/۲۳۹۴	-۰/۰۱۹۴	۰/۰۰۰۳۸
۶	۰/۲۵۰۰	۰/۲۳۹۴	۰/۰۱۰۶	۰/۰۰۰۱۱
۷	۰/۲۵۰۰	۰/۲۳۹۴	۰/۰۱۰۶	۰/۰۰۰۱۱
۸	۰/۲۵۰۰	۰/۲۳۹۴	۰/۰۱۰۶	۰/۰۰۰۱۱
۹	۰/۲۰۰۰	۰/۲۳۹۴	-۰/۰۳۹۴	۰/۰۰۱۵۵
۱۰	۰/۳۰۰۰	۰/۲۳۹۴	۰/۰۶۰۶	۰/۰۰۳۶۷
۱۱	۰/۲۵۰۰	۰/۲۳۹۴	۰/۰۱۰۶	۰/۰۰۰۱۱
۱۲	۰/۳۵۰۰	۰/۲۳۹۴	۰/۱۱۰۶	۰/۰۱۲۲۳
۱۳	۰/۴۲۰۰	۰/۲۳۹۴	۰/۱۸۰۶	۰/۰۳۲۶۲
۱۴	۰/۳۵۰۰	۰/۲۳۹۴	۰/۱۱۰۶	۰/۰۱۲۲۳
میانگین	**۰/۲۷۴۳**	**۰/۲۳۹۴**	--	--
۰/۰۰۴۶۷ = میانگین مجذور خطاها (MSE)		**۰/۰۶۵۳۸= مجموع مجذور خطاها (SSE)**		

٦. نتیجه‌گیری

فعالیت‌های اکتشاف و تولید نفت و گاز، یکی از پرُریسک‌ترین کسب‌وکارها به شمار می‌روند (منصوریان، ۱۳۹٤). به عبارتی، تصمیمات سرمایه-گذاری در این حوزه، نه صرفاً به علت میزان سرمایه‌گذاری بالا، بلکه به علت گستردگی و شدت نسبتاً بالای ریسک‌ها در فعالیت‌های اکتشاف و تولید نفت و گاز به راحتی امکان‌پذیر نبوده، و لزوم استفاده از کاربردهای فن‌آوری اطلاعات در این حوزه جهت مدیریت بهینهٔ ریسک‌های موجود، بیش از سایر حوزه‌ها احساس می‌گردد. لذا، پژوهش حاضر به الهام از علم هوش مصنوعی و با هدف طراحی یک سیستم خبره جهت ارزیابی

ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز بر پایه سیستم‌های مبتنی بر منطق فازی پایه‌ریزی گردیده است. برای تحقق این هدف، سعی گردید یک سیستم استنتاج فازی جهت ارزیابی شاخص‌های کلیدی در ارزیابی ریسک مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، به منظور شناسایی انواع ریسک‌ها و شاخص‌های مربوطه به مطالعهٔ گسترده ادبیات موضوع پرداخته و ورودی‌های سیستم که همان شاخص‌های ارزیابی ریسک بوده، استخراج گردید. طبقه‌بندی‌های متعددی در زمینهٔ ریسک اکتشاف و توسعهٔ میادین نفت و گاز معرفی شده‌اند، که از بین آنها مطابق با نظر خبرگان، یک دسته‌بندی ۷ طبقه‌ای جهت تفکیک ریسک‌ها انتخاب گردید، شامل؛ مرحله اکتشاف، مرحله ارزیابی، مرحله توسعه، تاسیسات سطح‌الارضی، نظام سیاسی و مقررات دولتی، متغیرهای اقتصادی و شرکاء. همچنین، طبق بررسی منابع و نظرات خبرگان، ٤٨ شاخص مرتبط با هر یک از این طبقات نیز استخراج گردید، که بر مبنای آزمون تی و عدد قطعی حاصل از معیار مینکوفسیکی که بیانگر شدت موافقت خبرگان با هر یک از شاخص‌هاست، از مجموع ٤٨ شاخص ابتدایی، شش زیر شاخص میزان حرارت، خطای انسانی در مراحل طراحی، ساخت و نصب تأسیسات، مقررات در خصوص مسایل سلامت، ایمنی و محیط زیست، تغییر در مقررات دولتی، تغییر در استانداردهای محیطی و تداخل علایق در مقایسه با سایر شاخص‌ها از اهمیت کافی برخوردار نبوده، و در ارزیابی نهایی و طراحی سیستم استنتاج فازی مورد استفاده قرار نگرفتند. پس از طراحی سیستم خبره در قالب هفت مؤلفهٔ کلی به عنوان ورودی و یک متغیر خروجی با نام ارزیابی ریسک اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز، قواعد تولید (اگر- آنگاه) مطابق نظر ١٤ نفر از خبرگان متخصص و فعال در بخش‌های مرتبط در شرکت ملی نفت ایران، تدوین و وارد پایگاه دانش سیستم گردید. در این پژوهش، در مجموع تعداد ٤٩٣٢ قاعده برای هشت سیستم استنتاج فازی (FIS۱ تا FIS۸) مورد استفاده قرار گرفته است.

پس از تکمیل فرآیند طراحی سیستم خبره فازی در نرم‌افزار، اعتبار و کارایی سیستم مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور با استفاده از شاخص میانگین مجذورات خطاها بر مبنای نظرات خبرگان، کارکرد سیستم خبره فازی طراحی شده مورد اعتبارسنجی قرار گرفت، که پیش‌بینی ذهنی خبرگان در این زمینه، بسیار نزدیک به پیش‌بینی سیستم خبره فازی بر اساس داده‌های ورودی یک میدان نفتی در جنوب کشور بود. بنابراین، این سیستم خبره کارایی مناسبی داشته و قابلیت اجراء در انواع پروژه‌های اکتشاف و توسعه میادین نفت و گاز را دارا می‌باشد.

با توجه به ریسک بالای پروژه‌های اکتشاف و توسعه منابع نفت و گاز، پیشنهاد می‌گردد تاسیس واحدی به نام مدیریت و ارزیابی ریسک در هر یک از مجموعه‌های مرتبط در این زمینه به عنوان پیش‌نیاز و اولویت اصلی انجام چنین قراردادهایی در سرلوحه کار مدیران قرار گیرد. همچنین برای تحقیقات آتی نیز، پیشنهاد می‌گردد ضمن توسعهٔ کمّی شاخص‌ها، و در صورت امکان انطباق آن‌ها با موارد عینی و ثبت شده در میادین نفت و گاز سایر کشورها، سیستم‌های خبره جامع‌تری در حوزهٔ میادین نفت و گاز طراحی گردند.

منابع

۱. ابطحی فروشانی، سیدتقی؛ نیکبختی، فاطمه. (۱۳۹۳). طبقه‌بندی انواع ریسک‌ها در توسعه‌ی میادین نفت و گاز. *ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز*، شمارهٔ ۱۱۲، صص ٤٠-٤٥.

۲. آذر، عادل؛ بختیاری، حسین. (۱۳۹۵). طراحی سیستم خبره فازی برای امکان‌سنجی سبز پروژه‌های صنعتی (مورد مطالعه: صنعت نفت). نشریهٔ بهبود مدیریت، دورهٔ ۱۰، شمارهٔ ۲، صص ٥-۳۲.

۳. باقری، سجاد؛ لطفی، محمدرضا. (۱۳۹۵). الگویی جهت اجرای فرآیند مدیریت ریسک در پروژه‌های نفتی با بهره‌گیری از استاندارد PMBOK. فصلنامه مدیریت استاندارد و کیفیت، دورهٔ ٦، شمارهٔ ۱۹، صص ٤١-٥٢.

٤. جعفری اسکندی، میثم؛ بهرامی، جواد. (۱۳۹۵). سیستم خبره‌ی فازی برای تعیین هزینه‌های اقتضایی (پیش آیندی) پروژه‌های نفت و گاز توسط رگرسیون خطی و منطق فازی (مطالعه‌ی موردی: ناحیه‌ی-C از پروژه‌ی توسعه‌ی فازهای ۱۷ و ۱۸ میدان گازی پارس جنوبی). *ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز*، شمارهٔ ۱۳٤، صص ۳۰-۲۱.

٥. حرمتی، علی؛ رشیدی، آیدین. (۱۳۹٦). شناسایی و ارزیابی ریسک‌های مهندسی پروژه‌های صنعت نفت و گاز. بیست و چهارمین همایش ملی بیمه و توسعه، تهران، ایران.

٦. خدیور، آمنه؛ نصری نصرآبادی، شهره؛ فلاح، الهام. (۱۳۹۳). طراحی سیستم خبره فازی جهت انتخاب استراتژی مدیریت دانش. *پژوهشنامهٔ پردازش و مدیریت اطلاعات*، دورهٔ ۳۰، شمارهٔ ۱، صص ۹۱-۱۱۹.

۷. رضایی، محمدرضا. (۱۳۹۰). زمین‌شناسی نفت. چاپ علوی، چاپ پنجم، تهران، ایران.

۸. شمس کیا، ناصر؛ قویدل دارستانی، آرش. (۱۳۹۹). تحلیل ریسک در پروژه‌های خطوط لوله انتقال گاز استان گیان با رویکرد حفاظت و اثرات زیست محیطی. دو فصلنامه مدیریت بحران، دورهٔ ۹، شمارهٔ ویژه نامه هفته پدافند غیرعامل، صص ٥۷-٦٦.

۹. شمس‌مجد، رضا؛ مرتهب، محمدمهدی. (۱۳۸٦). ارایه الگویی جهت بررسی و مدیریت ریسک در قراردادهای EPC. *فصلنامه مدیریت پروژه*، شمارهٔ ٥، صص ۲-۱٤.

۱۰. عالم تبریز، اکبر؛ حمزه‌ای، احسان. (۱۳۹۰). ارزیابی و تحلیل ریسک‌های پروژه با استفاده از رویکرد تلفیقی مدیریت ریسک استاندارد PMBOKو تکنیک RFMEA. مطالعات مدیریت صنعتی، دورهٔ ۹، شمارهٔ ۲۳، صص ۱-۱۹.

۱۱. عسکری، محمدمهدی؛ صادقی شاهدانی، مهدی؛ سیفلو، سجاد. (۱۳۹٥). شناسایی و اولویت‌بندی ریسک‌های پروژه‌های بالادستی نفت وگاز در ایران با استفاده از قالب ساختار شکست ریسک (RBS) و تکنیک تاپسیس (TOPSIS). *پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، دورهٔ ۲٤، شمارهٔ ۷۸، صص ٥۷-۹٦.

۱۲. فتحی بیرانوند، امین. (۱۳۹٦). مدیریت ریسک پروژ. سومین کنفرانس سالانه پژوهش های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری، شیراز، ایران.

۱۳. کاشانی، جواد. (۱۳۸۷). وضعیت حقوقی منابع نفت و گاز واقع در مرز بین کشورها. مجله حقوقی بین‌الملل، دورهٔ ۲٥، شمارهٔ ۳۹، صص ۱٦٥-۲۱۹.

۱٤. کریمی، مجتبی. (۱۳۹٥). طرح توسعه‌ی یک میدان نفتی مبتنی بر راهبرد فن‌آورانه. *ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز*، شمارهٔ ۱۳٦، صص ۱٥-۱۱.

۱٥. متاله، مهدی؛ محمدی‌فرد، محمد؛ موسوی، سیدجلال؛ کمالی، محمدهاشم. (۱۳۹۱). ساخت مدل استاتیک و دینامیک یکی از میادین نفتی خلیج فارس. *ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز*، شمارهٔ ۹٤، صص ٦۰-٦٥.

۱٦. منصوریان، تالین. (۱۳۹٤). ارزیابی ریسک در تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاری در پروژه‌های بالادستی نفت و گاز. *ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز*، شمارهٔ ۱۲۷، صص ۱۷-۲۳.

۱۷. منظور، داود؛ نیاکان، لیلی. (۱۳۹۱). مدیریت ریسک در صنعت نفت و گاز کشور؛ ضرورت‌ها و ابزارها. نشریهٔ انرژی ایران، دورهٔ ۱٥، شمارهٔ ۱، صص ۱۸-۱.

۱۸. مؤمنی‌راد، احمد؛ مداحی‌نسب، مصطفی. (۱۳۹٥). بیمه ریسک‌های موجود در پروژه‌های نفتی. مطالعات حقوق انرژی، ، دورهٔ ۲، شمارهٔ ۱، صص ۱٤٥-۱٦٦.

۱۹. نیکجو، محمود (مترجم). (۱۳۸٤). ارزیابی ریسک در اکتشاف ذخایر هیدروکربنی (قسمت اول و پایانی). *ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز*، شمارهٔ ۲٦ و ۲۷، صص ۲۲-۲٤، ۱٥-۱۷.

۲۰. هاتفی، محمدعلی؛ وهابی، محمدمهدی. (۱۳۹۷). استراتژی‌های راهبری پروژه‌های نفت و گاز، مبتنی بر حوزه‌های دانش مدیریت پروژه. پژوهش‌های مدیریت راهبردی، دورهٔ ۲٤، شمارهٔ ٦۹، صص ۳۵-۵۵.

۲۱. رئیسی وانانی، ایمان؛ تقوا، محمدرضا؛ امیرعشایری، دلنیا. (۱۳۹۷). طراحی سیستم استنتاج فازی برای ارزیابی عملرد سیستم مدیریت دانش در صنعت توسعهٔ نرم‌افزار. مطالعات مدیریت فناوری اطلاعات، دورهٔ ٦، شمارهٔ ۲٤، صص ۵-۳٦.

۲۲. Chang, Y., Dou, H., Chen, Ch., Wang, X., & Liu, K. (۲۰۰٦). An Innovative Method: Risk Assessment for Exploration and Development of Oil and Gas. SPE Eastern Regional Meeting, Canton, Ohio, USA.

۲۳. Eghbali, S., Ayatollahi, S., & BozorgmehryBoozarjomehry, R. (۲۰۱۵). New expert system for enhanced oil recovery screening in non-fractured oil reservoirs. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. ۲۹۳, Issue C, pp. ۸۰-۹٤.

۲٤. Gharbi, R.B.C. (۲۰۰۵). Application of an expert system to optimize reservoir performance. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Vol. ٤۹, Issue ۳-٤, pp. ۲٦۱-۲۷۳.

۲۵. Gharbi, R.B.C., & Mansoori, G.A. (۲۰۰۵). An introduction to artificial intelligence applications in petroleum exploration and production. Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. ٤۹, Issue ۳-٤, pp. ۹۳-۹٦.

۲٦. Janulevicius, J., & Cenys, A. (۲۰۱٤). Development of a Risk Assessment Model for IT Risk Self-Assessment Expert System for SMEs. *International Journal of Computer and Communication Engineering*, Vol. ۳, No. ٤, pp. ۳۰٦-۳۰۹.

۲۷. Lenkova, O.V. (۲۰۱۸). Risk management of Oil and Gas Company in terms of strategic transformations. *Revista ESPACIOS*, Vol. ۳۹, No. ٦, pp. ۳۰-٤۱.

۲۸. Okwu, M.O., Nwachukwu, A.N. (۲۰۱۹). A review of fuzzy logic applications in petroleum exploration, production and distribution operations. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, Vol. ۹, pp. ۱۵۵۵-۱۵٦۸.

۲۹. Roisenberg, M., Schoeninger, C., & Silva, R.R.D (۲۰۰۹). A hybrid fuzzy-probabilistic system for risk analysis in petroleum exploration prospects. *Expert Systems with Applications*, Vol. ۳٦, Issue ۳, Part ۲, pp. ٦۲۸۲-٦۲۹٤.

۳۰. Suslick, S.B., Schiozer, D.J., & Rodriguez, M.R. (۲۰۰۹). Uncertainty and Risk Analysis in Petroleum Exploration and Production. *TERRÆ*, Vol. ٦, No. ۱, pp. ۳۰-٤۱.

۳۱. Yanting, Z., & Liyun, X. (۲۰۱۱). Research on Risk Management of Petroleum Operations. *Energy Procedia*, Vol. ۵, pp. ۲۳۳۰-۲۳۳٤.

۳۲. Zhai Y., Shen L., & Yang L. (۲۰۱۸). Risk Analysis of Exploration and Development in Oil and Gas Enrichment Area Based on Economic Benefit Analysis. *Chemical Engineering Transactions*, Vol. ۷۱, pp. ٦۳۱-٦۳٦.

۳۳. Zhang, K. (۲۰۱۲). Strategic replacement situation and outlook of china oil-gas production area. *Petroleum Exploration and Development*, Vol. ۳۹, Issue ۵, pp. ۵٤۷-۵۵۹.

۳٤. Schiozer, D. J. & Ligero, E. L. (۲۰۰٤). Risk Assessment for Reservoir Development under Uncertainty. *ABCM*, Vol. XXVI, No. ۲, pp. ۲۱۳-۲۱۷.

۳۵. Rejda, G.E., McNamara, M.J., & Rabel, W.H. (۲۰۲۲). Principles of Risk Management and Insurance, ۱٤th Edition. Pearson Education, United States.

۳٦. Ghallab, S.A., Badr, N., Salem, A.B. & Tolba, M.F. (۲۰۱۳). A fuzzy expert system for petroleum prediction. *WSEAS, Croatia*, Vol. ۲, pp.۷۷-۸۲