پژوهش نفت شماره ۱۳۶، مرداد و شهریور ۱۴۰۳، صفحه ۱۳۷-۱۱۸

ارائه رویکردی جهت ارزیابی و رتبه‌بندی روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخازن: مطالعه موردی

علیرضا روستایی[1*] و محمدعلی هاتفی[2]

۱- مدیریت مخازن هیدروکربوری، دانشکده صنعت نفت تهران، ایران

۲- گروه اقتصاد و مدیریت انرژی، دانشکده صنعت نفت تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی و رتبه‌بندی روش‌های بالقوه ازدیاد برداشت نفت (EOR) در یکی از مخازن نفتی ایران (مخزن آسماری) نگارش یافته است. در این راستا، دو مرحله اصلی شامل غربال‌سازی روش‌های ازدیاد برداشت نفت و تحلیل ریسک انجام گرفت. نخست، چهار روش ازدیاد برداشت نفت شامل تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن، تزریق پلیمر، تزریق نیتروژن و تزریق متناوب گاز و آب (WAG) با رویکرد سیستم استنتاج عصبی-فازیِ سازگار غربال‌سازی‌شده و دو روش تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن و تزریق پلیمر به‌عنوان روش‌های کاندید مناسب ازدیاد برداشت نفت برای مخزن مورد مطالعه تعیین شدند. سپس برای ارزیابی دقیق‌تر آن‌ها، ریسک‌های این دو روش در فرآیند ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه، با استفاده از روش‌های دلفی و تحلیل حالات و آثار خرابی (FMEA)، شناسایی و ارزیابی شدند. نتایج ارزیابی ریسک نشان داد که دو ریسک «آسیب شدید ناشی از رسوب آسفالتین» و «کاهش نفوذپذیری» به‌ترتیب به‌عنوان مهم‌ترین ریسک‌های به‌کارگیری روش‌های تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن و تزریق پلیمر در ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه بودند. به‌علاوه امتیاز تجمیعی عامل برداشت و عدد اولویت ریسک کلی برای دو روش مذکور نشان داد که اجرای روش تزریق پلیمر دارای ریسک کمتری بوده و در مجموع، بهترین روش در ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه محسوب می‌شود.

کلمات کلیدی: مخازن نفتی، روش‌های ازدیاد برداشت نفت، سیستم استنتاج عصبی-فازیِ سازگار، تجزیه و تحلیل ریسک، تحلیل حالات و آثار خرابی

مقدمه

مدیریت مخازن نفتی به منظور افزایش طول عمر آن‌ها، همواره از نگرانی‌های کشورهای دارنده نفت به‌شمار می‌رود. امروزه برای غلبه بر حجم بالای تقاضای صنایع مختلف به نفت خام و فرآورده‌های آن از یک سو و محدودیت اکتشاف، تولید و بهره‌برداری از مخازن از سوی دیگر، روش‌های نوینی در صنایع نفت برای افزایش نرخ تولید نفت توسعه و پیشنهاد داده شده است [۲ و ۱].

*مسؤول مکاتبات
آدرس الکترونیکی roustaei@put.ac.ir
شناسه دیجیتال: (DOI:10.22078/pr.2024.5174.3300)

به زعم مهندسان این حوزه، میادین نفتی یک مخزن طبیعی هستند که بخشی از آن‌ها و چاه‌های حفرشده می‌توانند با کاهش ضریب بازیافت و افت تولید مواجه شوند. براساس آمارهای آژانس بین‌المللی انرژی[1] (IEA)، در دوره زمانی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ میلادی، میزان تولید کشور سالانه با ۵٪ کاهش مواجه‌شده و در مقابل روزانه ۱/۱ میلیون بشکه افزایش تقاضا در جهان وجود خواهد داشت [۳]. به منظور پاسخ به روند فزاینده تقاضای جهانی جهت تأمین منابع نفت و گاز، یا باید منابع جدید هیدروکربنی کشف‌شده و بهره‌برداری شوند و یا با استفاده از فن‌آوری‌های گوناگون، نفت و گاز بدون استفاده درون مخازن تحت فرآیندهای ازدیاد برداشت قرار گیرند. در این حال و با توجه به شرایط سخت اکتشاف و نیز صیانت از منابع هیدروکربوری موجود، استفاده از روش دوم منطقی‌تر و اصولی‌تر است [۴]. ازدیاد برداشت و بهبود ضریب بازیافت از مخازن نفتی، یکی از مؤثرترین راه ها برای کاهش شکاف تولید و تقاضاست. اغلب پژوهشگران بر این باورند که در مناطق نفت‌خیز جهان، بدون روش‌های ازدیاد برداشت تنها یک سوم از کل نفت موجود را می‌توان به‌صورت تجاری استخراج کرد [۳]. ازدیاد برداشت نفت[2] (EOR) به مجموعه روش‌ها و فرآیندهایی اطلاق می‌شود که طی آن سعی می‌شود با استفاده از انرژی یا مواد خارج از میدان نفتی، میزان نفت خامی را که استخراج آن‌ها با روش معمولی امکان پذیر نبوده یا تولید آن از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست، استخراج و مورد بهره‌برداری قرار داد [۴]. با افزایش تعداد میادین نفتی بالغ، پدیده‌ای که منجربه توسعه فن‌آوری‌های پیشرفته‌تر ازدیاد برداشت نفت می‌شود به‌طور بالقوه‌ای برای اصلاح مشخصات مخزن مؤثر هستند [۵]. در دنیا سالانه مبالغ زیادی صرف پروژه‌های تحقیقاتی برروی روش‌های ازدیاد برداشت از مخازن نفتی می‌شود و همواره کشورهای دارای مخازن نفتی سعی دارند تا با ارائه مناسب‌ترین روش از منابع خود هر چه بیشتر بهره‌مند شوند. با در نظر گرفتن این موضوع که ایران یکی از دارندگان این مخازن است باید مطالعات بیشتری در زمینه ازدیاد برداشت در کشور انجام گیرد [۶]. در این میان، بحث غربال‌سازی روش‌های ازدیاد برداشت نفت به منظور انتخاب روش بهینه که مناسب شرایط خاص هر مخزن باشد در سالیان اخیر مورد توجه بسیار قرار گرفته است. مهندسان مخزن، اغلب از ابزارهای غربال‌سازی و شبیه‌سازی مخزن برای ساخت مدل‌های قابل اتکاء مخزن جهت پیش بینی تولید استفاده می‌کنند. با این حال، این ابزارها قادر به درنظر گرفتن و ارزیابی ریسک‌های بالقوه مرتبط با پروژه‌های ازدیاد برداشت نفت نیستند. گرچه دقت بالای ابزارهای غربال‌سازی و شبیه‌سازی را نمی‌توان انکار کرد اما برای رتبه‌بندی دقیق‌تر روش‌های ازدیاد برداشت نفت از یک مخزن باید از روش‌های ارزیابی ریسک (جهت ارزیابی ریسک‌های بالقوه روش‌های ازدیاد برداشت نفت) به‌عنوان ابزاری مکمل در کنار غربال‌سازی و شبیه‌سازی، بهره گرفت. گزینش روش مناسب ازدیاد برداشت نفت از مخزن می‌تواند علاوه‌بر افزایش راندمان استخراج و حصول منافع اقتصادی، در حفاظت از محیط زیست و ممانعت از بروز مخاطرات طبیعی نیز نقش‌آفرینی کرده و توسعه پایدار انرژی را برای کشور به ارمغان آورد. هدف پژوهش حاضر ارائه رویکردی تلفیقی جهت غربال‌سازی، ارزیابی ریسک و اولویت‌بندی روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخزن آسماری است. در این راستا در ابتدا مبانی نظری پیرامون روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخازن و مدیریت ریسک ارائه می‌شود. سپس مروری بر مهم‌ترین و مرتبط‌ترین پژوهش‌های پیشین انجام خواهد گرفت. درادامه، روش‌شناسی تحقیق تبیین‌شده و رویکرد تلفیقی پیشنهادی ارائه می‌شود.

1. International Energy Agency
2. Enhanced Oil Recovery

پژوهش نفت شماره ۱۳۶، مرداد و شهریور ۱۴۰۳، صفحه ۱۳۷-۱۱۸

سپس، داده‌های گردآوری‌شده از مخزن مورد مطالعه، تجزیه و تحلیل قرار گرفته و یافته‌های پژوهش تفسیر می‌شود. بخش پایانی مقاله به بحث و نتیجه‌گیری اختصاص یافته است.

مدیریت ریسک و فرآیند کلی آن

ریسک یک مفهوم چندوجهی است. ریسک‌ها، عدم قطعیت‌ها یا رویدادهایی هستند که می‌توانند تأثیر مثبت یا منفی بر نتایج یک پدیده داشته و تأثیر منفی آن ها منجر به زیان شود [۸]. به‌طور کلی ریسک‌ها به‌عنوان انحرافات احتمالی از اهداف برنامه‌ریزی‌شده تعریف می‌شوند. بنابراین، تصمیمات در محیطی با اطلاعات ناقص یا غیرقطعی، مخاطره آمیز تلقی می‌شوند. طبق این تعریف، ریسک‌ها می‌توانند فرصت هایی را نیز در بر داشته باشند. در یک رویکرد کل نگر، ریسک‌های بالقوه متعددی باید درنظر گرفته شوند. برای این که بتوان آن‌ها را به‌طور نظام مند ساختار داد، لازم است منابع مختلف ریسک و دسته‌بندی‌های مختلف روش‌های ارزیابی ریسک در نظر گرفته شوند [۹]. ریسک‌ها باید نظارت و درک شوند و مدیران و تحلیل‌گران باید از آن‌ها آگاه بوده، به اندازه کافی به آن‌ها واکنش نشان داده، آن‌ها را مدیریت کرده و به‌طور مثبت با آن‌ها برخورد کنند [۱۰]. هدف مدیریت ریسک، افزایش احتمال و دست‌یابی به رویدادهای مثبت بالقوه است. مدیریت موثر ریسک نه تنها ریسک‌ها را از بین می‌برد بلکه فرآیند و رویه استانداردی برای مقابله با آن‌ها ارائه می‌نماید [۱۱]. مدیریت ریسک جایی معنا می‌گیرد که اثرات منفی ریسک را با استفاده از شناسایی دقیق و طبقه‌بندی ریسک که منجر به یک تحلیل جامع می‌شود اندازه‌گیری نماید. مدیریت ریسک باید به گونه‌ای باشد که بیشترین سود از شرایط پیش آمده و تصمیمات اتخاذشده کسب شود [۱۲]. باتوجه به محدودیت ظرفیت شناختی انسان و پیچیدگی دنیای واقعی، بروز ریسک برای پروژه‌های ازدیاد برداشت نفت از مخزن غیرقابل اغماض است. اگر نتوان این ریسک‌ها را به‌طور موثر کنترل کرد، قابلیت اطمینان نتیجه ارزیابی ریسک، کاهش می‌یابد. بنابراین توسعه یک مدل ارزیابی منطقی برای مدیریت ریسک‌ها، ضروری است [۱۳]. به‌طور کلی مدیریت ریسک متشکل از چهار مرحله شناسایی ریسک، ارزیابی ریسک، تصمیم‌گیری (در اجرا) و نظارت بر ریسک است [۹]. در فرآیند شناسایی ریسک، ریسک‌های محتمل و نیز شرایط و پیامدهای ناشی از ریسک تعیین می‌شود [۱۱]. روش‌های متعددی برای شناسایی ریسک استفاده می‌شود که از آن جمله می‌توان به طوفان فکری، گروه‌های دلفی، پرسشنامه و مصاحبه، تحلیل سناریو، روش درخت خطا و گروه کانونی اشاره کرد. مرحله بعدی شامل تجزیه و تحلیل و ارزیابی ریسک‌های بالقوه می‌شود. در فرآیند تحلیل ریسک، علت یا علل اصلی بروز ریسک‌ها تحلیل می‌شوند. روش‌های تحلیل ریسک‌ها به دو رویکرد کیفی و کمی تقسیم می‌شوند. در رویکرد تحلیل کیفی ریسک، احتمال وقوع ریسک‌ها و تأثیر آن‌ها ارزیابی‌شده و اهمیت نسبی آن‌ها تعیین می‌شود. از سوی دیگر، رویکرد تحلیل کمی ریسک به‌صورت عددی، تأثیر ریسک‌های شناسایی‌شده را بر هدف یک پروژه مورد بررسی قرار می‌دهد [۸]. فرآیند تحلیل کمی ریسک شامل تدوین مدلی است که پروژه مورد مطالعه و عدم قطعیت‌های کلی را نشان می‌دهد [۱۱]. آخرین مرحله شامل تدوین راهبردهایی برای کاهش ریسک‌ها و تهدیدهای موثر بر هدف پروژه و تصمیم‌گیری در مورد اقدامات کاهشی است [۸].

پیشینه پژوهش

به‌طور کلی در حوزه مطالعاتی ازدیاد برداشت نفت از مخازن، پژوهش‌های متنوعی انجام پذیرفته است اما سهم پژوهش‌هایی که بررسی و اولویت‌بندی روش‌های ازدیاد برداشت نفت را در دستور کار قرار داده‌اند ناچیز بوده و سنجش توأمان این روش‌ها

با شبیه‌سازی و غربال‌سازی و ارزیابی ریسک مغفول مانده است. در ادامه، مهم‌ترین پژوهش‌های داخلی و خارجی مرتبط معرفی می‌شوند. پیری‌زاده و همکاران [۱۴] اذعان داشتند که با توجه به تعدد پارامترهای مرتبط و ریسک‌های مالی، رتبه‌بندی روش‌های ازدیاد برداشت نفت برای مشخصه‌های خاصی از میدان نفتی، دشوار است. با این حال، به زعم آن‌ها، در اختیار داشتن ابزار رتبه‌بندی هوشمند می‌تواند اتخاذ تصمیمات مهم درخصوص راهبردهای بالقوه ازدیاد برداشت نفت را با استفاده از تجربیات مخازن قبلی، تسهیل نماید. در این راستا، نخست، نرخ تولید جدیدی را پیشنهاد کردند که متشکل از تولید طبیعی و تولید از طریق ازدیاد برداشت نفت تحت عنوان EOR-PR بود. سپس برای رتبه‌بندی روش‌های ازدیاد برداشت نفت براساس پیش‌بینی مقادیر EOR-PR، رویکرد یادگیری ماشینی جدیدی را پیشنهاد دادند. در این رویکرد، کارایی روش‌های ازدیاد برداشت نفت در شرایط خاص یک مخزن شامل مشخصات سنگ و سیال به‌صورت عددی محاسبه و مقایسه شدند. سپس روش برنامه‌ریزی ژنتیکی چند ژنی را برای پیش‌بینی مقادیر EOR-PR استفاده کرده و عملکرد آن را با روش شبکه عصبی مصنوعی مقایسه نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که رویکرد پیشنهادی، عملکرد مناسب و قابل توجهی در این موضوع داشته و برخلاف روش‌های متداول یادگیری ماشینی، عملگر مشخصی را به‌عنوان خروجی ارائه می‌کرد که امکان تحلیل بیشتر را برای کارشناسان مخزن فراهم می‌ساخت. ورا و همکاران [۷] بر دستورالعمل‌های ارزیابی ریسک زیست‌محیطی/ اکولوژیکی بالقوه و ارائه چارچوبی برای درک آثار زیست‌محیطی ناشی از راه حل‌های ازدیاد برداشت نفت تمرکز داشتند. آن‌ها نخست، فهرستی از مولفه‌های مهم موردنیاز برای اجرای ارزیابی ریسک زیست‌محیطی/اکولوژیکیِ راه حل‌های ازدیاد برداشت نفت را از دستورالعمل‌های منتخب، تهیه کردند. سپس از این مولفه‌ها برای تدوین چارچوب پیشنهادی جهت تخلیه آب‌های تولیدشده، تخلیه حفاری و انتشار آلاینده‌ها به هوا که ناشی از راه حل‌های ازدیاد برداشت نفت بودند، استفاده کردند. پس از آن، به تبیین شکاف‌های دانش در این حوزه مطالعاتی پرداختند. آن‌ها برای پیوند بخشیدن میان چارچوب مذکور با بهترین شیوه‌های زیست‌محیطی، سیاست‌های زیست محیطیِ قابل اجرا برای محیط دریایی سراسر اتحادیه اروپا را بررسی کردند. در انتها، برخی از چالش‌های عمده در کاربرد روش‌های ارزیابی ریسک زیست‌محیطی/اکولوژیکی برای فن‌آوری‌های ازدیاد برداشت نفت مانند عدم قطعیت در ارزیابی ریسک به‌دلیل کمبود داده و تجمیع مخاطرات ناشی از آثار مختلف زیست‌محیطی، را به بحث گذاشتند. وی و همکاران [۱۵] برای انتخاب روش‌های بهینه ازدیاد برداشت نفت، معیارهایی چون ناهمگنی مخزن، فشار مخزن، دمای مخزن، نوع نفت خام و شوری آب نمک را مدنظر قرار دادند. آن‌ها روش‌های ازدیاد برداشت نفت از جمله سیلاب، سیل شیمیایی، تزریق نانوسیال، تزریق دی‌اکسیدکربن، زهکشی گاز به کمک سورفاکتانت، تزریق متناوب گاز و آب و تزریق ترکیبی را مطالعه کرده و از روش‌های تصمیم‌گیری تاپسیس فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی برای انتخاب روش بهینه ازدیاد برداشت نفت بهره گرفتند. یافته‌های پژوهش آن‌ها نشان داد که روش تزریق ترکیبی در هر دو روش تاپسیس فازی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به‌عنوان بهترین روش ازدیاد برداشت نفت انتخاب شدند. بیلسیو و همکاران [۱۶] نمایی کلی از تولید و ذخایر هیدروکربنی و وضعیت صنعت نفت در کشور قزاقستان با تمرکز بر پروژه‌ها و روش‌های ازدیاد برداشت نفت ارائه نمودند. سپس گزیده‌ای از روش‌های خاص ازدیاد برداشت نفت که در حال استفاده بود را تهیه کرده و پروژه‌های ازدیاد برداشت کشور قزاقستان را بررسی و موفقیت‌ها و چالش‌های آن‌ها را واکاوی نمودند.

پژوهش نفت شماره ۱۳۶، مرداد و شهریور ۱۴۰۳، صفحه ۱۳۷-۱۱۸

در ادامه، عملکرد این پروژه‌ها در زمینه شاخص‌های عملکردی ازدیاد برداشت نفت و نیز مسائل عملیاتی و زیست‌محیطی را بررسی کردند. در انتها، پیشنهادهایی پیرامون کاربردهای فعلی و بالقوه روش‌های ازدیاد برداشت نفت در قزاقستان مطرح کردند. آن‌ها نشان دادند که کاربرد وسیع روش‌های حرارتی ازدیاد برداشت نفت که طی دهه‌ها در میادین نفتی قدیمی قزاقستان استفاده می‌شد، موفقیت‌آمیز بودند. اما روش‌های امتزاج‌پذیر ازدیاد برداشت نفت در این کشور موفقیت کمتری را به ارمغان آورده و به‌دلیل غلظت بالای سولفید هیدروژن در گاز تزریق‌شده، با چالش‌های مهمی مواجه بودند. در دیگر پژوهش‌ها، پیروکس و همکاران [۱۷] خطر تولید سولفید هیدروژن را در پروژه‌های حرارتی ازدیاد برداشت نفت پیش‌بینی کردند. آن‌ها جریان کاری ترکیب ترمولیز آزمایشی آب با تعادل گوگرد و نیز مدل‌سازی عددی مخزن را ارائه نمودند. جیا و همکاران [۱۸] یک رویکرد ارزیابی احتمالی ریسک برای سازوکارهای به دام انداختن گاز دی‌اکسیدکربن در یک میدان CO_2-EOR ماسه‌سنگی پیشنهاد کردند. هارتونو و همکاران [۱۹] ریسک‌های پروژه‌های ازدیاد برداشت نفت در کشور اندونزی را واکاوی کردند. آن‌ها در این پژوهش، یک ابزار تحلیل عمیق را برای ارزیابی اولیه پروژه‌های ازدیاد برداشت نفت پیشنهاد کردند که شامل بخش‌هایی چون غربال‌سازی ازدیاد برداشت نفت، پیش بینی، اقتصادی، تحلیل ریسک و بهینه‌سازی بود. نظریان و رینگروس [۲۰] ریسک‌های بالقوه مرتبط با پروژه‌های CO_2-EOR را بررسی کردند. آن‌ها، شبیه‌سازی‌های عددی مخزن را با استفاده از مدل‌های واقعی برای بررسی رفتار چاه‌های قدیمی در ایجاد ریسک‌های بالقوه در پروژه‌های CO_2-EOR انجام دادند. سلیمانوف و همکاران [۲۱] رویکردی مبتنی بر منطق فازی، نظریه امکان و مدل‌های استنتاج بیزی برای رتبه‌بندی روش‌های ازدیاد برداشت نفت پیشنهاد کردند. در پژوهش‌های داخلی، قجاوند و شفیعی [۲۲] با در نظر گرفتن اسناد بالادستی و اهداف وزارت نفت برای مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی ازدیاد برداشت از مخازن نفت و گاز، یک مدل مناسب زنجیره ارزش را پیشنهاد کردند. آن‌ها همچنین با بهره‌گیری از نظر نخبگان دانشگاهی و افراد صاحب‌نظر در سطوح وزارت نفت، شرکت ملی نفت ایران و شرکت‌های فرعی و تابعه آن و تحلیل نتایج، مدل انتخاب شرکای خارجی در توسعه فن‌آوری‌های بالادستی صنعت نفت را طراحی و ارائه نمودند. بلیله‌وند و همکاران [۲۳] با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و با تکیه بر داده‌های مرتبط با تجربیات موفقیت‌آمیز اجرای روش‌های ازدیاد برداشت در سراسر جهان طی سالیان گذشته، مدلی طراحی نمودند که بتواند با توجه به خصوصیات هر مخزن، بهترین روش ازدیاد برداشت را پیشنهاد کند. به همین منظور، پس از تبیین مفهوم ازدیاد برداشت و سیستم‌های هوشمند مبتنی بر شبکه‌های عصبی، با مرور تحقیقات گذشته، مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار برای مدل‌سازی را تعیین نموده و سپس مدل مناسب را طراحی کردند. آن‌ها از میان سه دسته کلی روش‌های ازدیاد برداشت (شیمیایی، تزریق گاز و گرمایی)، ۶ روش ازدیاد برداشت و ۷ پارامتر مخزن شامل اشباع نفت اولیه، تخلخل، نفوذپذیری، ویسکوزیته، درجه API، دما و عمق مخزن را مدنظر قرار دادند. سپس به‌کمک شبکه‌های عصبی، مدلی طراحی کردند که می‌توانست با کمک ۷ پارامتر ورودی، روش بهینه ازدیاد برداشت برای هر مخزن با خصوصیات مشخص را حدس بزند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که مدل طراحی‌شده در ۲۵۳ مورد از ۲۷۵ مورد مطالعه به‌صورت موفق عمل کرده است. کیارسی‌حیدر و همکاران [۴] به بررسی رفتار پویای مدل تدوین نقشه راه فن‌آوری‌های ازدیاد برداشت نفت با هدف کاهش هزینه‌های تحقیق و توسعه داخلی با روش پویایی سیستم‌ها پرداختند.

آن‌ها براساس داده‌ها و نظرات خبرگان، متغیرهای کلیدی شناسایی و روابط علی-حلقوی میان این متغیرها را ترسیم نموده و سپس روابط ریاضی میان این متغیرها را براساس روابط موجود در پیشینه تعیین و بر این اساس، سیستم مورد نظر را به‌صورت مدلی ریاضی با شبیه‌سازی کامپیوتری به‌وسیله نرم‌افزار ونسیم در دوره زمانی تقریبا دوساله اجرا نمودند. نتایج پژوهش آن‌ها، دو نوع رفتار پویای نوسانی و هدف جو را برای متغیرهای مدل نشان داد. همچنین نتایج حاصل از آزمون فرضیه‌های پویا بیان داشت که افزایش بلوغ فناوری و آموزش سبب کاهش هزینه‌ها و افزایش در پیچیدگی فناوری سبب افزایش در هزینه‌ها می‌شود. از طرفی، فناوری بسیار بالغ، پیچیدگی بالا و سطح بالای آموزش به‌عنوان بهترین سناریو انتخاب شد چرا که این مجموعه پارامترها، کم‌ترین هزینه را در پی داشتند. قربانی و همکاران [۶] در پژوهشی در تلاش بودند تا با بررسی روش‌های مختلف ازدیاد برداشت و بیان مزایا و معایب هر یک از روش‌ها در نهایت مناسب‌ترین روش را با توجه به ویژگی‌های سنگ و سیال در مخازن کشور انتخاب نمایند. آن‌ها نشان دادند که از بین تمامی روش‌های ازدیاد برداشت، روش تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن، مناسب‌ترین روش است، چون نه تنها برای محیط زیست خطرناک نبوده بلکه به کاهش آلودگی‌های هوا نیز کمک می‌کند. در این روش، دی‌اکسیدکربن موجود در هوا جذب و به مخزن تزریق می‌شود، بنابراین می‌توان گفت انتخاب این روش برای افزایش بهره‌وری از مخازن کشور مناسب‌تر است. دباغی و همکاران [۲۴] با بهره‌گیری از روش تجزیه تحلیل حالات خطا و اثرات ناشی از آن، رویکردی جامع در این زمینه ارائه و نتایج به‌کارگیری آن را در یکی از میادین نفتی جنوب غربی ایران برای ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌های ازدیاد برداشت آب‌پایه نمایش دادند. بدین منظور آن‌ها با استفاده از نظرات خبرگان، ۳۳ عنوان ریسک بالقوه از منظر فنی (داده‌ها، مدل‌سازی و تحلیل)، عملیاتی، اقتصادی، سیاسی و سازمانی شناسایی کردند. سپس براساس طرح مطالعاتی میدان، ضمن بررسی خواص استاتیک و دینامیک مخزن و همچنین خواص و پراکندگی شکاف، سه ناحیه را تحت عنوان سکتور۱(غربی) و سکتور۲(مرکزی) و سکتور ۳(شرقی) مشخص نموده و ریسک‌های شناسایی‌شده را براساس سه پارامتر احتمال رخداد، شدت تاثیر و قابلیت تشخیص امتیازدهی کردند. بر این اساس، چهار ریسک اعم از: «عدم کفایت تعداد داده‌های معتبر آزمایشگاهی در ارتباط با خواص فیزیکی و رفتار فازی سیال در رابطه با نمونه‌های گرفته شده»، «ضعف مدل پیش‌بینی رفتار فازی سیال»، «ضعف تطبیق تاریخچه شبیه‌سازی مدل پایه مخازن» و «ضعف تحلیل داده‌ها و اطلاعات حاصل از پایش عملکرد روش ازدیاد برداشت» به‌عنوان ریسک‌های بحرانی در همه سکتورها شناسایی شدند که درپایان اقدامات کنترلی متناسب با ریسک‌های دارای اولویت را ارائه کردند. خیرالهی و همکاران [۲۵] با تلفیق روش‌های هوش مصنوعی اعم از: سیستم‌های منطق فازی (مبتنی بر دانش انسانی) و شبکه عصبی مصنوعی (داده‌محور)، رویکردی را برای کاهش عدم‌قطعیت و غربال‌گری روش‌های ازدیادبرداشتی استفاده کردند. آن‌ها از داده‌های تاریخچه ازدیاد برداشت مخازن مختلف در سطح دنیا برای تعریف مجموعه‌های فازی و تعیین قوانین فازی بین متغیرهای ورودی و خروجی استفاده نموده و در نهایت یک مدل فازی ارائه کردند. با توجه به عدم توازن در فراوانی و تعداد برچسب برخی از کلاس‌ها، آن‌ها از طراحی آزمایش و روش سطح پاسخ به‌عنوان یک راهکار برای آماده‌سازی داده‌های ورودی برای مدل شبکه عصبی تک لایه استفاده نمودند. در ادامه، از مدل شبکه عصبی پیش‌خور با معماری ۲۰ نرون، تابع فعال‌سازی سیگموئیدی در لایه مخفی و عملکرد مدل با ضریب همبستگی ۹۵٪ و ۹۲٪ به‌ترتیب برای داده آموزش و صحت‌سنجی، برای تعیین و غربال‌گری روش‌های ازدیادبرداشت میادین نفتی استفاده کردند.

پژوهش نفت شماره ۱۳۶، مرداد و شهریور ۱۴۰۳، صفحه ۱۳۷-۱۱۸

در نهایت با استفاده از استراتژی الویت‌بندی و تلفیق نتایج روش‌های مختلف، الویت کاندیدهای مناسب ازدیادبرداشت را تعیین نمودند.

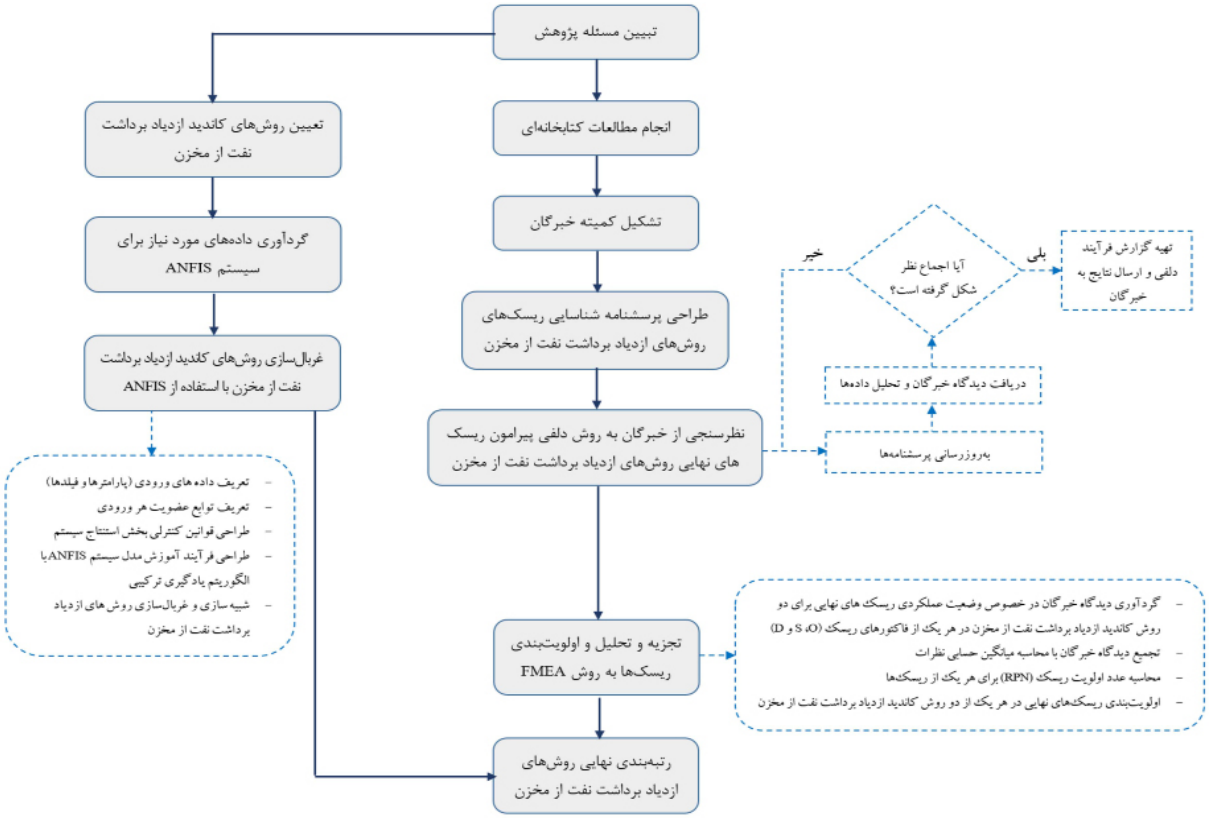
مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نظر هدف در زمره تحقیقات توصیفی-مطالعه موردی قرار گرفته و براساس روش گردآوری داده‌ها از نوع تحقیقات کاربردی است. این پژوهش از نظر رویکرد تحلیل و نوع داده، یک تحقیق کمی است. علاوه‌براین، از نظر زمانی مقطعی بوده و داده‌های مورد نیاز آن در بازه زمانی پاییز و زمستان جمع‌آوری‌شده است. در این پژوهش از مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی برای جمع‌آوری داده‌های موردنیاز استفاده می‌شود. بدین صورت که نخست، شناسایی ریسک‌های اولیه روش‌های ازدیاد برداشت از مخازن نفتی از طریق مطالعات کتابخانه‌ای انجام می‌پذیرد. سپس داده‌های موردنیاز برای غربال‌سازی ریسک‌های اولیه و تعیین امتیاز و درجه اهمیت آن‌ها از خبرگان به‌روش مطالعه میدانی انجام می‌پذیرد. مورد مطالعه این پژوهش (قلمرو مکانی) مخزن آسماری واقع در یکی از میدان‌های نفتی در ایران است. مخزن آسماری از جمله شناخته‌شده‌ترین مخازن نفت ایران و از غنی‌ترین مخازن کربناته جهان است که در ۶۰ km جنوب اهواز قرار دارد. این مخزن به ۱۰ منطقه اصلی تقسیم‌شده و شامل دو مخزن فوقانی و تحتانی است. سازند آسماری، ذخایر نفت و گاز ۶۲ میدان نفتی از جمله ۱۴ میدان بزرگ و ۱۲ میدان نفتی عظیم را شامل می‌شود. بیشتر تخلخل و نفوذپذیری این سازه ناشی از شکستگی است. این مخزن متعلق به شرکت ملی نفت ایران است و توسط شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب ایران مدیریت می‌شود. این سازند به‌سمت جنوب غربی و به‌طرف دهانه خلیج‌فارس، کمی ماسه‌ای می‌شود که به آن ماسه‌های اهواز گویند؛ به‌طوری‌که در میادینی مانند پازنان، اهواز، مارون و منصوری، بخش ماسه‌ای اهواز حدود یک سوم، تا یک چهارم ضخامت کل سازند را در بر می‌گیرد. بخش ماسه‌سنگی اهواز در مخازن آسماری موجب افزایش کیفیت مخزن و بهبود ضریب بازیافت می‌شود. این مخزن در شمال غربی لرستان از بخش رسوبات تبخیری کلهر تشکیل شده است. بخش اعظم تخلخل و تراوایی این سازند مربوط به تخلخل حاصل از شکستگی است. جامعه آماری این پژوهش را مدیران ارشد، معاونان و کارشناسان ارشد مخازن نفتی در شرکت مورد مطالعه تشکیل می‌دهند. از آنجا که تصمیم‌گیری پیرامون شناسایی و ارزیابی ریسک‌های اتخاذشده در اختیار تعداد کمی از مدیران و کارشناسان این شرکت است، لذا نمونه‌گیری از آن‌ها به شیوه غیرتصادفی هدف‌مند انجام گرفته و ۳۸ نفر به‌عنوان نمونه خبرگی پژوهش انتخاب شدند. رویکرد تلفیقی پیشنهادی این پژوهش از چهار مرحله به‌صورت شکل ۱ تشکیل‌شده است.

ابزار گردآوری داده‌ها شامل دو دسته پرسشنامه محقق ساخته است. در این پژوهش برای سنجش روایی پرسشنامه‌ها، ابتدا از روش روایی صوری و سپس از شاخص نسبت روایی محتوا[1] (CVR) پیشنهادی از سوی لاوشه[2] استفاده شد. با ارائه پرسشنامه‌ها به تعدادی از اساتید دانشگاه و صاحب نظران شرکت مورد مطالعه، اجزا و ساختار پرسشنامه‌ها تأیید و روایی محتوای صوری محقق شد. به‌علاوه، برای محاسبه شاخص نسبت روایی محتوا، دیدگاه ۳۸ خبره پیرامون محتوای پرسشنامه براساس طیف لیکرت پنج بخشی جمع‌آوری شد. سپس مقدار شاخص نسبت روایی محتوا با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$CVR = \frac{N_e - \frac{N}{2}}{\frac{N}{2}} \quad (۱)$$

1. Content Validity Ratio
2. Lawshe



شکل ۱ رویکرد تلفیقی پیشنهادی پژوهش

در این رابطه، N، معرف تعداد کل خبرگان و N_e بیانگر تعدادی از خبرگان بود که گزینه ضروری بودن گویه را انتخاب کردند. با توجه به مشارکت ۳۸ خبره در فرآیند سنجش روایی پرسشنامه، حداقل مقدار قابل قبول برای شاخص نسبت روایی محتوا برای هریک از گویه‌ها، مطابق با جدول استاندارد لاوشه حدود ۰/۳ می‌باشد. به‌عبارت دیگر گویه‌هایی که مقدار شاخص نسبت روایی محتوا محاسبه‌شده برای آن‌ها کمتر از مقدار مطروحه باشد، بایستی از آزمون کنار گذاشته شوند.

همچنین برای سنجش پایایی پرسشنامه‌ها از ضریب آلفای کرونباخ استفاده شد. این روش برای محاسبه هماهنگی درونی ابزار اندازه‌گیری از جمله پرسشنامه‌ها یا آزمون‌هایی که خصیصه‌های مختلف را اندازه‌گیری می‌کند، به‌کار می‌رود. در این گونه ابزارها، پاسخ هر سوال می‌تواند مقادیر عددی مختلف را اختیار کند. برای محاسبه ضریب آلفای کرونباخ ابتدا باید واریانس نمره‌های هر زیر مجموعه سوال‌های پرسشنامه (یا زیر آزمون) و واریانس کل را محاسبه کرد. سپس با استفاده از رابطه ۲ مقدار ضریب آلفا را محاسبه نمود. مقدار صفر این ضریب نشان دهنده عدم قابلیت اعتماد و ۱+ نشان دهنده قابلیت اعتماد کامل است. مقادیر بزرگتر از ۰/۷ برای این ضریب، بیانگر پایایی پرسشنامه می‌باشد.

$$\propto = \frac{K}{K-1}\left[\frac{1-\sum S_i^2}{\sum S_T^2}\right] \qquad (۲)$$

در این رابطه، K بیانگر تعداد سوالات (گویه‌های) پرسشنامه یا آزمون، S_i معرف واریانس زیرآزمون iام و S_T بیانگر واریانس کل آزمون است.

روش دلفی

در این پژوهش برای بومی‌سازی ریسک‌های شناسایی‌شده از ادبیات تحقیق برای روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخزن، از روش دلفی استفاده می‌شود.

پژوهش نفت شماره ۱۳۶، مرداد و شهریور ۱۴۰۳، صفحه ۱۳۷-۱۱۸

هدف اصلی روش دلفی دستیابی به یک اجماع نظر میان گروهی از خبرگان درخصوص یک مسئله مشخص است. در این روش، پس از نظرسنجی و جمع‌آوری داده‌ها از خبرگان، روش آماری ضریب کندال برای اندازه‌گیری سطح اجماع نظر خبرگان با استفاده از مقیاس ترتیبی، استفاده می‌شود. گرچه ضریب کندال در برخی موارد برای سنجش میزان اجماع درونی استفاده می‌شود اما در این پژوهش برای ارزیابی میزان توافق خبرگان در پذیرش هر یک از ریسک‌ها در دورهای مختلف و نیز سنجش میزان حصول به اجماع نظر طی دورها استفاده می‌شود. ضریب تطابق کندال را می‌توان برای مجموعه‌ای از داده‌ها به‌دست آورد. چنانچه مقدار حاصله برای این ضریب نزدیک به ۱ باشد، نشان می‌دهد که ارزیاب‌ها تقریبا به اجماع نظر رسیده اند. از سوی دیگر نزدیکی این ضریب به مقدار صفر بیانگر عدم حصول اجماع نظر میان اعضای پنل خبرگان است. اگر تعداد n ریسک از سوی m خبره مورد ارزیابی قرار گیرد طوری‌که امتیاز تخصیص‌یافته به ریسک iام توسط خبره jام با r_{ij} نشان داده شود در این صورت رتبه ریسک iام یعنی (R_i) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$R_i = \sum_{j=1}^{m} r_{ij} \qquad (۳)$$

همچنین مقدار میانگین رتبه‌ها با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$\bar{R} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} R_i \qquad (۴)$$

در این صورت، مجموع مربعات انحرافات (S) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$S = \sum_{i=1}^{n}\left(R_i - \bar{R}\right)^2 \qquad (۵)$$

در نهایت، ضریب تطابق کندال از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$W = \frac{12S}{m^2\left(n^3 - n\right)} \qquad (۶)$$

براساس اظهارات گارسیا کرسپو [۲۶] پیرامون تفسیر نتایج ضریب کندال W، چنانچه مقدار این ضریب برابر یا بیشتر از ۰/۷ باشد، اجماع قوی روی مسئله شکل گرفته است. مقدار ۰/۵ برای این ضریب بیانگر اجماع متوسط و مقدار کمتر از ۰/۳ به معنای اجماع نظر ضعیف است. در این پژوهش با ارائه فهرست ریسک‌های مستخرج از ادبیات تحقیق به خبرگان، مواردی که نقش بسزایی در انتخاب بهترین روش ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه دارند با استفاده از روش دلفی طبق سازوکار فوق، شناسایی می‌شوند.

روش تحلیل حالات و آثار خطا[1] (FMEA)

در میان روش‌های ارزیابی ریسک، تحلیل حالات و آثار خطا روش عمومی برای سنجش ریسک‌های پیشگیرانه است [۲۸ و ۲۷]. FMEA یک ابزار تحلیل نظام مند پرکاربرد برای تعیین و ارزیابی حالات بالقوه خطا و ریسک‌ها در محصولات، فرآیندها یا سیستم‌ها است. این روش در زمینه‌های مختلفی برای تجزیه و تحلیل علل و آثار ریسک‌ها، بهبود قابلیت اطمینان و ایمنی سیستم‌ها به کار گرفته‌شده و قادر به اتخاذ اقدامات پیشگیرانه مناسب است [۲۹]. این تکنیک براساس تجزیه و تحلیل کیفی، سیستم یا زیرسیستم‌ها را برای شناسایی ریسک‌های احتمالی بررسی کرده و تلاش می‌کند که آثار ریسک‌های احتمالی را روی سایر بخش‌های سیستم ارزیابی کند [۲۸]. بر خلاف سایر ابزارهای ارزیابی ریسک، رویکرد و فلسفه اصلی روش تحلیل حالات و آثار خطا، تأکید بر مقابله با مشکلات، مرتبط با حفاظت پیش‌فعالانه از سیستم است نه یافتن راه‌حل پس از رخ دادن خرابی. اصولاً پیاده‌سازی روش تحلیل حالات و آثار خطا نیازمند تیم‌های میان وظیفه‌ای است که در آن، مجموعه‌ای از متخصصان و کارشناسان با تخصص‌های مختلف از واحدهای گوناگونی چون طراحی، تولید، فرآیند و کیفیت گرد هم آمده باشند تا ارتباط میان ریسک‌ها، اثرات، دلایل، کنترل‌های جاری و اقدامات پیشنهادی را بررسی و مورد آزمون قرار دهند [۳۰].

1. Failure Modes and Effects Analysis

در این روش برای هر ریسک، عدد اولویت ریسک[1] (RPNs) محاسبه می‌شود که نشان‌دهندهٔ سطح خطرات مرتبط با ریسک بالقوه است. این عدد به‌طور کلی از حاصل ضرب تجربهٔ گذشته و قضاوت خبرگان و متخصصان این حوزه پیرامون سه معیار احتمال رخداد[2]، شدت اثر[3] (S) و قابلیت شناسایی[4] به‌دست می‌آید [۳۱]. فرض شود n ریسک به‌صورت $(FM_i; i= 1, 2, \ldots, n)$ وجود دارد که باید از سوی اعضاء کمیته خبرگان شرکت متشکل از p عضو میان‌وظیفه‌ای $(E_j; j= 1, 2, \ldots, m)$ ارزیابی شوند. به‌علاوه X_{ij}^{S} ،X_{ij}^{O} و X_{ij}^{D} به‌ترتیب بیانگر اعلام وضعیت ریسک iاُم در معیارهای احتمال رخداد، شدت اثر و قابلیت شناسایی از سوی خبره kاُم باشد. به‌منظور تعیین مقادیر X_{ij}^{S} ،X_{ij}^{O} و X_{ij}^{D}، از خبرگان درخواست می‌شود که نقطه نظرات خود را درخصوص وضعیت ریسک‌ها در هر یک از معیارهای O ،S و D به‌صورت عددی از ۱ تا ۱۰ مشخص نمایند. اصولا در این روش، ریسکی مخاطره‌آمیزترین است که بالاترین احتمال رخداد، بالاترین شدت اثر مخرب و کمترین قابلیت شناسایی را داشته باشد. با تعیین مقادیر فوق از سوی خبرگان، میانگین حسابی نظرات با روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$X_i^O = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} X_{ij}^O \quad ; i = 1, 2, \ldots, n \qquad (۷)$$

$$X_i^S = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} X_{ij}^S \quad ; i = 1, 2, \ldots, n \qquad (۸)$$

$$X_i^D = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} \frac{1}{X_{ij}^D} \quad ; i = 1, 2, \ldots, n \qquad (۹)$$

در روابط فوق X_i^S،X_i^O و X_i^D، به‌ترتیب معرف مقادیر تجمیعی نظرات خبرگان پیرامون وضعیت ریسک iاُم در معیارهای O ،S و D هستند. با ضرب نظیربه‌نظیر این مقادیر، عدد اولویت ریسک (RPN_i) برای هریک از ریسک‌ها به‌صورت ذیل محاسبه‌شده و ملاک اولویت‌بندی ریسک‌ها منظور می‌شوند.

$$RPN_i = X_i^O * X_i^S * X_i^D \quad ; i = 1, 2, \ldots, n \qquad (۱۰)$$

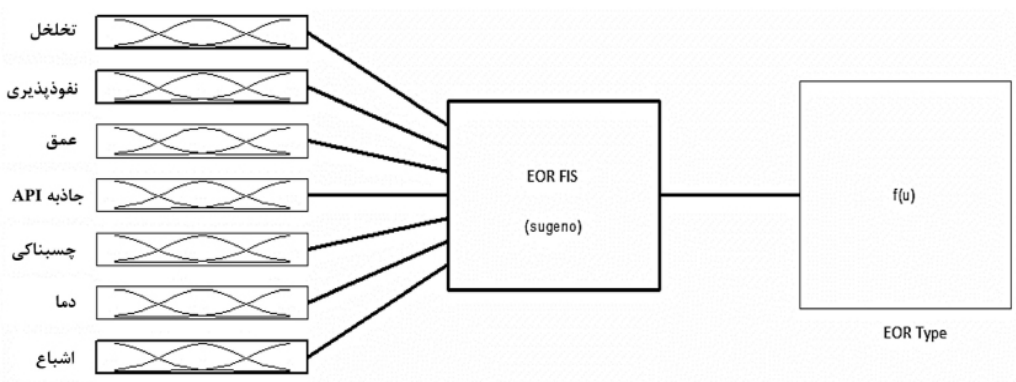
نتایج

غربال‌سازی روش‌های ازدیاد برداشت نفت با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازی سازگار

مطابق با رویکرد تلفیقی پیشنهادی پژوهش، در مرحله نخست، مدلی به‌عنوان ابزار غربال‌سازی روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخازن مبتنی بر سیستم استنتاج عصبی-فازی سازگار[5] (ANFIS) پیشنهاد شد این مدل فراتر از معیارهای غربال‌سازی مرسوم، بینش وسیعی را برای انتخاب روش‌های مناسب ازدیاد برداشت نفت از مخازن ارائه می‌کند. در این مدل با تحلیل جامع ۳۰۰ تجربه موفق از پیاده‌سازی روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخازن، یک سیستم استنتاج عصبی-فازی سازگار را برای غربال‌سازی روش‌های کاندی ازدیاد برداشت نفت برای مخزن مورد مطالعه، طراحی کرد. ایده اصلی کارکرد این مدل آن است که مشخصه‌های مخازن مختلف را تجزیه و تحلیل می‌کند تا مشخص کند که کدامیک از روش‌های بالقوه ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه، بهتر عمل می‌کنند. در این راستا، شش نوع تابع عضویت مختلف برای دست‌یابی به بهترین عملکرد غربال‌سازی، آزمون می‌شوند. همان‌طور که عنوان شد، مجموعه داده‌های ورودی این سیستم مربوط به ۳۰۰ مخزن می‌شود و ۷ فیلد ورودی (از جمله: تخلخل، نفوذپذیری، گرانش API، ویسکوزیته، دما، عمق و اشباع اولیه نفت) به‌عنوان پارامترهای مخزن و یک فیلد که مبیّن روش‌های موفق ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه است، در نظر گرفته می‌شود. با وارد کردن خصوصیات سیال و سنگ مخزن مانند: ویسکوزیته سیال، درصد ترکیب سیال، جرم ویژه سیال، نفوذپذیری سنگ و اطلاعات مخزن (مانند: دما، ضخامت، و جنس سازند مخزن) در نرم‌افزار مذکور، نمودار و چارت رنگی شامل مناسب‌ترین تا ضعیف‌ترین روش ازدیاد برداشت برروی مخزن مورد نظر پیشنهاد می‌شود.

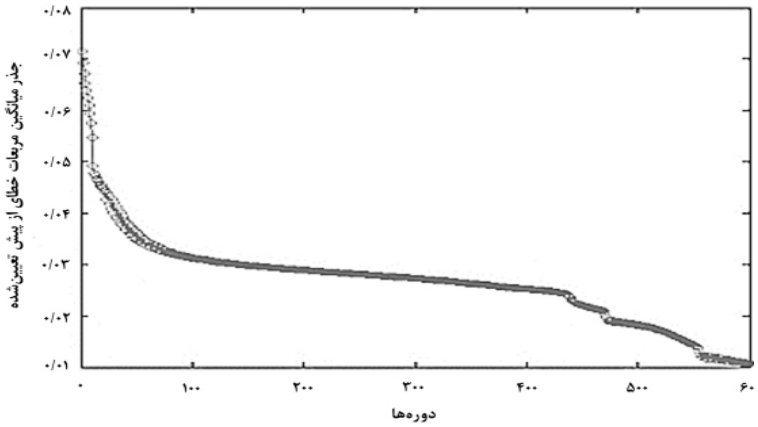
1. Risk Priority Numbers
2. Occurrence
3. Severity
4. Detectability
5. Adaptive Neuro Fuzzy Inference System

بدین ترتیب خروجی نرم‌افزار EORgui در مطالعه موردی این پژوهش جهت تایید نتایج غربال‌گری روش‌های ازدیاد برداشت به‌روش سیستم استنتاج عصبی-فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار خروجی این سیستم متشکل از شش کلاس {۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱} است که روش‌های موفق ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه را نشان می‌دهد. پیاده‌سازی سیستم استنتاج عصبی-فازیِ سازگار، در نرم‌افزار متلب انجام گرفت. در این راستا، نخست، یک مدل استنتاج فازی طراحی شد. مدل مذکور، یک مدل توسعه‌یافته از نوع Takagi-Sugeno بود که یک روش هوش مصنوعی برای غربال‌سازی روش‌های ازدیاد برداشت نفت محسوب می‌شد. سیستم استنتاج عصبی-فازیِ سازگارِ مدل توسعه‌یافته شامل سه بخش اصلی (ورودی‌ها، قوانین و خروجی‌ها) بود که در شکل ۲ نشان داده شده است. این سیستم متشکل از ۷ ورودی است که هر یک با تابع عضویتی نشان داده می‌شوند. تابع عضویت یک ورودی، تأثیر آن ورودی را بر هر روش ازدیاد برداشت نفت نشان می‌دهد. هر ورودی را می‌توان از طریق تابع عضویت مربوط به خود ارزیابی کرد. تابع عضویت مربوط به یک مجموعه فازی برای هر ورودی، مقدار عضویت مناسب هر ورودی را نشان می‌دهد. این بخش از سیستم استنتاج عصبی-فازیِ سازگار به کاربر اجازه می‌دهد تا هر ورودی و خروجی را از طریق توابع عضویت، رتبه‌بندی کند. با این توابع عضویت، هر ورودی می‌تواند براساس رابطه بین مقدار دقیق ویژگی سنگ یا سیال و مقادیر اصلی تابع عضویت، از صفر تا ۱ رتبه‌بندی شود. به‌طور کلی انواع مختلفی از توابع عضویت وجود دارند که با شکل و پارامترهای مختص به خود مشخص می‌شوند. بخش دوم این سیستم مربوط به قوانین است. اصولا یک سیستم استنتاج عصبی-فازیِ سازگار، با قوانین، کنترل می‌شود. این قوانین بین ورودی‌ها (ویژگی‌های سنگ و سیال مخزن موردمطالعه) و خروجی‌ها (روش‌های ازدیاد برداشت از نفت) ارتباط برقرار می‌کنند. در این پژوهش، ۲۶ قانون در این سیستم استنتاج عصبی-فازی سازگار طراحی شد که از طریق روابط ریاضی بین ورودی‌های مختلف و خروجی‌ها ارتباط برقرار می‌کنند. بخش سوم این سیستم مربوط به خروجی‌ها است که در این پژوهش، خروجی سیستم را روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخزن تشکیل می‌دهند. در این سیستم برای تولید مجموعه اولیه توابع عضویت، از روش Grid Partion استفاده شد. در مرحله نخست فرآیند یادگیری، فضای داده‌های روش مذکور با استفاده از پارتیشن‌های با محورهای موازی و براساس تعداد توابع عضویتِ از پیش تعریف‌شده و انواع آن‌ها در هر بُعد، به فضاهای فرعی مستطیلی تقسیم می‌شوند [۳۲]. در این پژوهش برای سیستم استنتاج عصبی-فازیِ سازگار پیشنهادی، مقدار خطای قابل قبول یادگیری، یک درصد درنظر گرفته‌شده و شش تابع عضویت برای هر متغیر ورودی تعیین گردید.

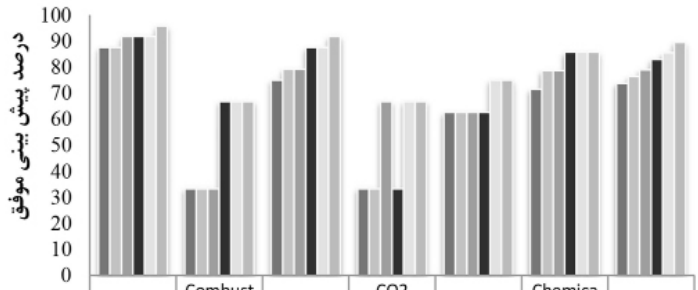


شکل ۲ سیستم استنتاج عصبی-فازی سازگار پیشنهادی

همچنین در ابزار غربال‌سازیِ توسعه‌یافته، شش نوع تابع عضویت (متشکل از: تابع عضویت S شکل، تابع عضویت Z شکل، تابع عضویت ذوزنقه‌ای، تابع عضویت گاوس و تابع عضویت سیگموئید) برای هر متغیر ورودی در نظر گرفته شد. به‌طور کلی ۷۵٪ از مجموعه داده‌های ازدیاد برداشت نفت (معادل ۲۲۵ نمونه) برای آموزش مدل سیستم استنتاج عصبی-فازیِ سازگار و ۲۵٪ از مجموعه داده‌های ازدیاد برداشت نفت (معادل ۷۵ نمونه) برای آزمون این مدل استفاده شد. در این مدل، الگوریتم یادگیریِ ترکیبی به‌عنوان الگوریتم آموزشی، انتخاب شده و نمودار همگراییِ طراحی‌شده پس از فرآیند آموزش در شکل ۳ ارائه شده است. شکل ۴ عملکرد پیش بینی توابع عضویت را برای ۷۵ مورد از مجموعه داده‌های آزمایشی نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که توابع عضویت گاوسی در مقایسه با سایر توابع عضویت، بهترین عملکرد را از خود نشان داده و مدل طراحی‌شده با استفاده از آن‌ها، دقیق‌ترین سیستم استنتاج عصبی-فازیِ سازگار برای غربال‌سازی روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه است. بدین ترتیب، براساس ابزار غربال‌سازی بهینه پیشنهادی، با وارد کردن ویژگی‌های مخزن مورد مطالعه، روش‌های کاندید ازدیاد برداشت نفت برای این مخزن شناسایی شدند. جدول ۱ نتایج غربال‌سازی روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه را با استفاده از ابزار EORgui و سیستم استنتاج عصبی-فازیِ سازگار نشان می‌دهد.



شکل ۳ نمودار همگرایی مدل پیشنهادی به مقدار جذر میانگین مربعات خطای از پیش تعیین‌شده



	Steam	Combustion	CO2 mis	CO2 imm	HC mis	Chemical	Total
Z MF	87/5	33/33	75	33/33	62/5	71/43	73/68
S MF	87/5	33/33	79/17	33/33	62/5	78/57	76/32
Triangular MF	91/67	33/33	79/17	66/67	62/5	78/57	78/95
Sigmoid MF	91/67	66/67	87/5	33/33	62/5	85/71	82/89
Trapezoidal MF	91/67	66/67	87/5	66/67	75	85/71	85/53
Gaussian MF	95/83	66/67	91/67	66/67	75	85/71	89/47

شکل ۴ مقایسه عملکرد توابع عضویت

پژوهش نفت شماره ۱۳۶، مرداد و شهریور ۱۴۰۳، صفحه ۱۳۷-۱۱۸

جدول ۱ غربال‌سازی روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه و گزینش روش‌های ارجح

رتبه‌بندی روش‌های ازدیاد برداشت نفت	روش‌های پیشنهادی ازدیاد برداشت نفت	
	سیستم استنتاج عصبی-فازیِ سازگار	EORgui
۱	تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن	تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن
۲	تزریق پلیمر	تزریق پلیمر
۳	تزریق نیتروژن	تزریق متناوب گاز و آب
۴	تزریق متناوب گاز و آب	تزریق نیتروژن

همان‌طورکه ملاحظه می‌شود چهار روش تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن، تزریق پلیمر، تزریق نیتروژن و تزریق متناوب گاز و آب توسط دو رویکرد مذکور پیشنهادشده که در میان آن‌ها، دو روش تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن و تزریق پلیمر به‌عنوان بهترین روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه تعیین شدند. جدول ۲ مقدار عامل نهایی برداشت نفت را برای هریک از این چهار روش پیشنهادی نشان می‌دهد.

جدول ۲ مقدار عامل نهایی برداشت نفت برای روش‌های پیشنهادی ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه

روش ازدیاد برداشت نفت	عامل برداشت (٪)
تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن	۷/۸۷
تزریق پلیمر	۷/۵۴
تزریق نیتروژن	۶/۶۶
تزریق متناوب گاز و آب	۶/۲۳

شناسایی و غربال‌سازی ریسک‌های احتمالی روش‌های ازدیاد برداشت نفت به‌روش دلفی همان‌طور که ملاحظه شد، با توجه به نتایج عامل برداشت، روش‌های تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن و تزریق پلیمر، بهترین روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه انتخاب شدند. گرچه تفاوت جزئی در عامل برداشت نهایی برای این دو روش وجود دارد اما به منظور بررسی دقیق‌تر آن‌ها و انتخاب بهترین روش، ارزیابی ریسک به‌کارگیری این دو روش در مخزن مورد مطالعه، انجام می‌پذیرد. طبق مطالعات کتابخانه‌ای و دیدگاه کارشناسان، ریسک‌های بالقوه دو روش مذکور در ازدیاد برداشت نفت از مخزن به‌صورت جدول ۳ فهرست گردید. برای غربال‌سازی ریسک‌های شناسایی‌شده برای مخزن مورد مطالعه، از روش دلفی استفاده شد. برای این منظور نخست، پرسشنامه محقق ساخته‌ای طراحی شد. سپس با توجه برای بررسی روایی این پرسشنامه، شاخص نسبت روایی محتوا برای هر گویه محاسبه شد (جدول ۴). مشاهده می‌شود که مقدار شاخص نسبت روایی محتوا برای تمامی گویه‌ها بیش از آستانه ۰/۳۵ است و روایی پرسشنامه تایید شده و ضرورت وجود تمامی گویه‌ها در اندازه‌گیری متغیرهای مدل تصدیق شد. همچنین برای سنجش پایایی پرسشنامه از ضریب آلفای کرونباخ که همسانی درونی ابزار اندازه‌گیری را نشان می‌داد استفاده شد. با جمع‌آوری ۳۸ پرسشنامه از خبرگان، آزمون پایایی پرسشنامه انجام شد و مقدار ضریب آلفای کرونباخ ۰/۸۲۵ حاصل گردید و پایایی پرسشنامه تأیید شد. با تأیید روایی و پایایی پرسشنامه و جمع‌آوری دیدگاه خبرگان پیرامون پذیرش ریسک‌های بالقوه، اجماع نظر خبرگان در دور چهارم نظرسنجی حاصل‌شده و مقدار ضریب کندال W به‌صورت جدول ۵ به‌دست آمد. با توجه به این جدول، ملاحظه می‌شود که مقدار معنی داری کمتر از ۰/۰۵ به‌دست آمد که بیانگر رد فرض صفر است. از سوی دیگر مقدار آماره آزمون ۰/۷۳۴ حاصل گردید که اجماع نظر مناسب خبرگان پیرامون ریسک‌های بالقوه را نشان می‌دهد.

جدول ۳ فهرست ریسک‌های روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخزن

روش ازدیاد برداشت نفت	نماگر ریسک	ریسک	نوع ریسک
تزریق امتزاجی گاز دی‌اکسیدکربن	R1	فقدان منابع کافی گاز دی‌اکسیدکربن	ریسک‌های فنی
	R2	تولید سفره‌های کم عمق	ریسک‌های زیست‌محیطی
	R3	آسیب شدید ناشی از رسوب آسفالتین	ریسک‌های فنی/اقتصادی
	R4	فقدان فناوری تزریق به‌روز و نیروی انسانی مجرب	ریسک‌های فنی
	R5	ریسک خرابی تجهیزات، چاه، نشت یا شکستگی	ریسک‌های فنی/بهداشتی
	R6	فوران چاه به‌علت تزریق گاز امتزاج پذیر و افزایش حجم نفت تولیدی	ریسک‌های فنی
	R7	خوردگی تجهیزات و افزایش خطر نشت	ریسک‌های فنی/بهداشتی
	R8	وقوع انفجار در مخزن نگه داری کربن دی اکسید مایع بر اثر افت فشار شدید ناگهانی (نشتی شدید یا سرریز شدن)	ریسک‌های فنی
تزریق پلیمر	R9	بیماری‌های ناشی از تماس انسان با مواد شیمیایی همراه پلیمر تزریقی	ریسک‌های بهداشتی
	R10	ازدست دادن کنترل گردش مایع تزریق‌شده	ریسک‌های فنی
	R11	جذب پلیمر روی سطح سنگ	ریسک‌های فنی/اقتصادی
	R12	کاهش نفوذپذیری	ریسک‌های فنی/اقتصادی
	R13	فقدان سیستم‌های نظارت زیرزمینی برای ردیابی سیال تزریق‌شده	ریسک‌های فنی
	R14	پیشرفت اولیه مایع تزریق‌شده	ریسک‌های فنی/اقتصادی
	R15	نشت پلیمر از اتصالات و شبکه انتقال و تزریق پلیمر به علت لازمه فشار بالای تزریق	ریسک‌های زیست‌محیطی/ فنی
	R16	مشکلات زیست محیطی ناشی از نشت مواد شیمیایی همراه پلیمر از شبکه انتقال و تزریق به سفره‌های آب زیرزمینی	ریسک‌های زیست‌محیطی
	R17	موانع دفع مناسب پساب حاوی مواد شیمیایی مضر تولیدشده همراه نفت از چاه تولیدی	ریسک‌های زیست‌محیطی

جدول ۴ شاخص نسبت روایی محتوا (CVR) برای گویه‌های پرسش‌نامه

شماره گویه	نسبت روایی محتوای لاوشه	شماره گویه	نسبت روایی محتوای لاوشه
۱	۰/۸۵۱	۱۰	۰/۸۵۱
۲	۱	۱۱	۰/۸۵۱
۳	۰/۷۰۳	۱۲	۰/۹۲۵
۴	۰/۸۵۱	۱۳	۱
۵	۰/۹۲۵	۱۴	۰/۷۰۳
۶	۰/۶۳	۱۵	۰/۸۵۱
۷	۱	۱۶	۰/۶۳
۸	۱	۱۷	۱
۹	۰/۸۵۱		

پژوهش نفت شماره ۱۳۶، مرداد و شهریور ۱۴۰۳، صفحه ۱۳۷-۱۱۸

جدول ۵ ضریب کندال W در دور چهارم نظرسنجی

N	۲۵
Kendall's W[a]	۰/۷۳۴
Chi-Square	۳۲۸/۹۸۷
df	۱۷
.Asymp. Sig	۰/۰۰۰
a. Kendall's Coefficient of Concordance	

از آنجا که میانگین نظر خبرگان برای هر ریسک بیشتر از حد آستانه ۵ بود، لذا تمامی ریسک‌های بالقوه به‌عنوان ریسک‌های نهایی موثر بر روش‌های ازدیاد برداشت نفت از مخزنِ مورد مطالعه شناسایی شدند.

تجزیه و تحلیل و اولویت‌بندی ریسک‌ها به‌روش تحلیل حالات و آثار خطا (FMEA)

در این مرحله، ضمن نظرسنجی از خبرگان شرکت مورد مطالعه، وضعیت دو روش ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه (یعنی تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن و تزریق پلیمر) در معیارهای ریسک (یعنی احتمال وقوع (O)، شدت اثر (S) و قابلیت شناسایی (D)) تعیین شد و عدد اولویت ریسک (RPN) محاسبه گردید (جدول‌های ۶ و ۷). نتایج نشان می‌دهد که دو ریسک آسیب شدید ناشی از رسوب آسفالتین (R3) و فقدان سیستم‌های نظارت زیرزمینی برای ردیابی سیال تزریق‌شده (R13) به‌ترتیب، بیشترین احتمال وقوع در این دو روش ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه دارند. به‌علاوه دو ریسک آتش‌سوزی و انفجار (R8) و خطرات بهداشتی ناشی از مواد شیمیایی (R9) به‌ترتیب، بیشترین امکان شناسایی را در دو روش ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه دارند. همچنین دو ریسک فقدان منابع کافی گاز دی‌اکسیدکربن (R1) و نشت زیرزمینی مواد شیمیایی به سفره‌های کم عمق (R16) به‌ترتیب بیشترین شدت اثر را در دو روش ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه دارند. با محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN) برای هریک از ریسک‌های دو روش ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه ملاحظه شد که ریسک‌های آسیب شدید ناشی از رسوب آسفالتین (R3) و کاهش نفوذپذیری (R12) به‌عنوان مهم‌ترین ریسک‌های به‌کارگیری روش‌های تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن و تزریق پلیمر در ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه بودند.

رتبه‌بندی نهایی روش‌های ازدیاد برداشت نفت در مخزن موردمطالعه

با توجه به وضعیت روش‌های تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن و تزریق پلیمر برای ازدیاد برداشت نفت در مخزن مورد مطالعه براساس شاخص عامل برداشت در رویکرد سیستم استنتاج عصبی-فازیِ سازگار و نیز معکوس شاخص سطح کلی بروز ریسک (عدد اولویت ریسک تجمیعی) در روش تحلیل حالات و آثار خطا، به منظور تعیین رتبه نهایی روش‌های مذکور، لازم است نخست مقادیر حاصل از این دو رویکرد نرمال‌سازی شوند تا با همسان‌سازی یکای مقادیر، شرایط مقایسه دو روش مذکور فراهم شود. به منظور نرمال‌سازی داده‌ها، از روش نرمال‌سازی خطی با استفاده از رابطه ذیل بهره گرفته شد. در این رابطه، $(i= 1, 2, \ldots, n)$ بیانگر رویکردهای ارزیابی و $(j= 1, 2, \ldots, m)$ بیانگر روش‌های منتخب ازدیاد برداشت نفت در مخزن مورد مطالعه است. در نرمال‌سازی داده‌ها به‌روش خطی، کافی است امتیاز حاصله هر یک از رویکردها برای هر یک از روش‌ها (X_{ij}) بر مجموع امتیازات آن رویکرد تقسیم شود.(

جدول ۶ عدد اولویت ریسک برای ریسک‌های بالقوه روش تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن

نماگر ریسک	احتمال وقوع (O)		قابلیت شناسایی (D)		شدت اثر (S)		RPN	رتبه نهایی
	میانگین	رتبه	معکوس میانگین	رتبه	میانگین	رتبه		
R1	۴/۳	۴	۰/۱۳۵	۸	۸/۱	۱	۴/۷۱	۵
R2	۲/۸	۷	۰/۳۷۰	۳	۷/۹	۲	۸/۱۹	۴
R3	۷/۹	۱	۰/۲۳۸	۴	۷/۵	۴	۱۴/۱۱	۱
R4	۵/۹	۲	۰/۱۳۹	۷	۵/۷	۶	۴/۶۷	۶
R5	۵/۶	۳	۰/۱۴۵	۶	۳/۹	۸	۳/۱۷	۸
R6	۳/۱	۶	۰/۴۵۵	۲	۷/۶	۳	۱۰/۷۱	۲
R7	۴/۱	۵	۰/۲۰۴	۵	۵/۱	۷	۴/۲۷	۷
R8	۲/۶	۸	۰/۴۷۶	۱	۷/۱	۵	۸/۷۹	۳
سطح کلی بروز ریسک در روش تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن							۵۸/۶۲	

جدول ۷ عدد اولویت ریسک برای ریسک‌های بالقوه روش تزریق پلیمر

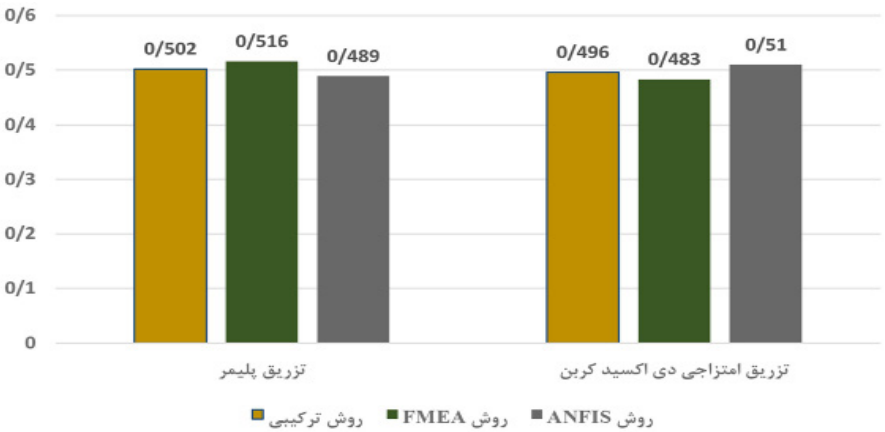
نماگر ریسک	احتمال وقوع (O)		قابلیت شناسایی (D)		شدت اثر (S)		RPN	رتبه نهایی
	میانگین	رتبه	میانگین	رتبه	میانگین	رتبه		
R9	۲/۸	۸	۰/۱۶۴	۹	۷/۳	۳	۳/۳۵	۸
R10	۲/۹	۷	۰/۱۷۵	۸	۴/۶	۶	۲/۳۳	۹
R11	۴/۱	۴	۰/۱۹۲	۷	۴/۳	۷	۳/۳۸	۷
R12	۷/۶	۱	۰/۲۷۹	۵	۷/۵	۲	۱۵/۹۰	۱
R13	۶/۱	۲	۰/۴۷۶	۱	۴/۲	۸	۱۲/۲۰	۲
R14	۳/۱	۶	۰/۳۸۵	۲	۶/۲	۴	۴۰/۷	۴
R15	۳/۲	۵	۰/۳۷	۳	۳/۱	۹	۶۷/۳	۶
R16	۲/۵	۹	۰/۲۵۶	۶	۷/۸	۱	۹۹/۴	۵
R17	۴/۷	۳	۰/۳۲۳	۴	۶/۱	۵	۲۶/۹	۳
سطح کلی بروز ریسک در روش تزریق پلیمر							۶۲/۴۹	

$$N_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{j=1}^{m} X_{ij}} \quad ; \quad (i = 1,2, \ldots, n) \qquad (۱۱)$$

جدول ۸ نتیجه امتیاز نهایی هریک از دو روش ازدیاد برداشت نفت (با محاسبه میانگین حسابی مقادیر نرمال) و رتبه‌بندی نهایی آن‌ها را نشان می‌دهد. به منظور نمایش بهتر عملکرد سه روش ANFIS ، FMEA و روش ترکیبی در ارزیابی دو روش ازدیاد برداشت نفت تزریق پلیمر و تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن، در شکل ۵ به مقایسه نتایج حاصله پرداخته شد. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که نتایج حاصل از دو روش FMEA و روش ترکیبی، حاکی از برتری روش تزریق پلیمر نسبت به‌روش تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن به‌عنوان روش مناسب ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه بود. اما اکتفاء صرف به‌روش ANFIS در ارزیابی روش‌های منتخب ازدیاد برداشت نفت، برتری روش تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن را نشان می‌دهند. استفاده از روش ترکیبی ANFIS-FMEA این فرصت را برای تحلیل‌گر فراهم می‌سازد.

جدول ۸ امتیاز و رتبه نهایی روش‌های کاندید ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه

روش ازدیاد برداشت نفت	شاخص عامل برداشت	عامل برداشت نرمال	شاخص معکوس عدد اولویت ریسک	معکوس عدد اولویت ریسک تجمیعی نرمال	امتیاز نهایی	رتبه نهایی
تزریق پلیمر	۰/۰۷۵۴	۰/۴۸۹	۰/۰۱۷۱	۰/۵۱۶	۰/۵۰۲	۱
تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن	۰/۰۷۸۷	۰/۵۱	۰/۰۱۶۰	۰/۴۸۳	۰/۴۹۶	۲



شکل ۵ مقایسه عملکرد سه روش ANFIS ، FMEA و روش ترکیبی در ارزیابی روش‌های منتخب ازدیاد برداشت نفت

که فرآیند ارزیابی را توأمان با درنظر داشتن پارامترهای شبیه‌سازی ازدیاد برداشت از مخزن در سیستم استنتاج فازی و نیز اعمال ریسک‌های ازدیاد برداشت انجام داده و نتایج جامع‌نگرتر و قابل اتکاتری را حاصل نماید.

نتیجه‌گیری

روش‌های ازدیاد برداشت از راندمان مناسبی در تولید نفت برخوردارند. این حقیقت، به وضوح اهمیت روش‌های ازدیاد برداشت و ضرورت سرمایه‌گذاری در این زمینه را خاطر نشان می‌کند. انتخاب روش مناسب ازدیاد برداشت مستلزم مطالعات شبیه‌سازی و آزمایشگاهی به‌صورت پایلوت است. بسیاری از پژوهش‌ها بر فرضیاتی استوار هستند که لزوماً بر واقعیات مخزن مورد مطالعه منطبق نبوده و بدین ترتیب تصمیم‌گیری درخصوص انتخاب روش مناسب ازدیاد برداشت نفت را با مشکل مواجه می‌ساختند. پژوهش حاضر با هدف ارائه رویکردی تلفیقی جهت غربال‌سازی و انتخاب روش ارجح ازدیاد برداشت نفت از مخزن نفت آسماری ایران نگارش یافت. با استفاده از ابزار طراحی‌شده برای غربال‌سازی بهینه و نرم‌افزار EORgui، پس از وارد کردن ویژگی‌های این مخزن، روش‌های کاندید ازدیاد برداشت نفت از این مخزن تعیین شدند که شامل: تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن، تزریق پلیمر، تزریق نیتروژن و تزریق متناوب گاز و آب بود. در میان روش‌های مذکور، دو روش تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن و تزریق پلیمر با اختلاف کمی در شاخص عامل برداشت، مناسب‌ترین روش‌ها برای ازدیاد برداشت نفت از مخزن مذکور انتخاب شدند. به‌منظور بررسی دقیق‌تر دو روش منتخب، ریسک‌های بالقوه ضمن به‌کارگیری این دو روش با استفاده از روش‌های دلفی و تحلیل حالات و آثار خطا، شناسایی و مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج ارزیابی ریسک‌های این دو روش نشان داد که آسیب شدید ناشی از رسوب آسفالتین با عدد اولویت ریسک ۱۴/۱۱، مهم‌ترین ریسک به‌کارگیری روش تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن و ریسک کاهش نفوذپذیری با عدد اولویت ریسک ۱۵/۹۰ مهم‌ترین

ریسک به‌کارگیری روش تزریق پلیمر در ازدیاد برداشت از مخزن نفت آسماری تعیین شدند که هر دوی آن‌ها در زمره ریسک‌های فنی/اقتصادی به شمار می‌رفتند. به عبارت دیگر مشخص شد که با توجه به ویژگی‌های نفت این مخزن، روش تزریق امتزاجی دی‌اکسیدکربن به احتمال زیاد منجر به ایجاد رسوب آسفالتین و اثرات منفی شدید در ازدیاد برداشت از این مخزن خواهد شد. همچنین به‌کارگیری روش تزریق پلیمر جهت ازدیاد برداشت نفت از این مخزن، می‌توانست ریسک کاهش نفوذپذیری را به‌همراه داشته باشد. علی‌ای‌حال انتخاب هر یک از روش‌های منتخب ازدیاد برداشت نفت از مخزن آسماری، ریسک‌هایی را با خود به‌همراه داشتند. به منظور تصمیم‌گیری نهایی درخصوص گزینش روش ارجح ازدیاد برداشت نفت، با تجمیع امتیازات این دو روش در هر دو مرحله غربال‌سازی با استفاده از سیستم استنتاج عصبی-فازیِ سازگار و ارزیابی ریسک به‌روش تحلیل حالات و آثار خطا، روش تزریق پلیمر از امتیاز بیشتری برخوردار بوده و به‌عنوان بهترین روش جهت ازدیاد برداشت نفت از مخزن مورد مطالعه انتخاب شد. به‌منظور بهبود عملکرد این روش پیشنهاد می‌شود مانیتورینگ و کنترل مستمر فشار مخزن را به‌عنوان اقدام پیشگیرانه در مواجهه با ریسک فنی/اقتصادی کاهش نفوذپذیری اتخاذ کرد. با توجه به آن که ریسک‌های روش‌های ازدیاد برداشت از مخازن نفت به‌صورت جزایر مستقل و مجزای از یکدیگر عمل نکرده و روابط علّی و معلولی میان آن‌ها حاکم است، لذا پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی به منظور ریشه‌یابی دقیق‌تر علت یا علل بروز هر ریسک و اهمیت‌سنجی دقیق‌تر ریسک‌ها به نگاشت روابط علّی میان آن‌ها پرداخته شود.

مراجع

[1]. Yang, S., Li, Z., Yan, K., Zhang, X., Xu, Z., Liu, W., ... & Liu, H. (2021). Removing and recycling mercury from scrubbing solution produced in wet nonferrous metal smelting flue gas purification process. Journal of Environmental Sciences, 103, 59-68. https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.10.013

[2]. Bai, B., Guo, Z., Zhou, C., Zhang, W., & Zhang, J. (2021). Application of adaptive reliability importance sampling-based extended domain PSO on single mode failure in reliability engineering. Information Sciences, 546, 42-59. https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.07.069

[۳]. خاک‌نژاد، س. و ابراهیم‌زاده رجایی، غ. ر. (۱۳۹۹). ،بررسی نقاط قوت و ضعف روش‌های ازدیاد برداشت نفت، کنفرانس ملی مهندسی شیمی و نانوفن‌آوری، دزفول.

[۴]. کیارسی‌حیدر، پ.، رادفر، ر.، البرزی، م. و طلوعی اشلقی، ع. (۱۳۹۷). تدوین نقشه راه فن‌آوری‌های ازدیاد برداشت نفت: رویکرد پویایی سیستمی. پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، ۴(۱۳)، ۱۲۲-۸۹.

[5]. Rozhkova, Y. A., Burin, D. A., Galkin, S. V., & Yang, H. (2022). Review of microgels for enhanced oil recovery: Properties and cases of application. Gels, 8(2), 112. doi.org/10.3390/gels8020112.

[۶]. قربانی، ه.، مقدسی، ج. و قربانی، ه. (۱۳۹۵). ارزیابی عملکرد روش‌های ازدیاد برداشت نفت و ارائه راهکار متناسب با مخازن نفتی ایران، ششمین همایش علمی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی، تهران.

[7]. Vora, M., Sanni, S., & Flage, R. (2021). An environmental risk assessment framework for enhanced oil recovery solutions from offshore oil and gas industry. Environmental Impact Assessment Review, 88, 106512. doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106512.

[8]. Shaktawat, A., & Vadhera, S. (2020). Risk management of hydropower projects for sustainable development: a review. Environment, Development and Sustainability, 1-32. doi.org/10.1007/s10668-020-00607-2.

[9]. Burggräf, P., Adlon, T., Schupp, S., & Salzwedel, J. (2021). Risk Management in Factory Planning–A Literature Review. Procedia CIRP, 104, 1191-1196. doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.200.

[10]. Buganová, K., & Šimíčková, J. (2019). Risk management in traditional and agile project management.

Transportation Research Procedia, 40, 986-993. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.138.
[11]. Odimabo, O., & Oduoza, C. F. (2018). Guidelines to aid project managers in conceptualizing and implementing risk management in building projects. Procedia Manufacturing, 17, 515-522. doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.091.
[12]. Szymański, P. (2017). Risk management in construction projects. Procedia Engineering, 208, 174-182. doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.036.
[13]. Pan, X., & Wang, Y. (2021). Evaluation of renewable energy sources in China using an interval type-2 fuzzy large-scale group risk evaluation method. Applied Soft Computing, 108, 107458. doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107458.
[14]. Pirizadeh, M., Alemohammad, N., Manthouri, M., & Pirizadeh, M. (2023). A new approach for ranking enhanced oil recovery methods based on multi-gene genetic programming. Petroleum Science and Technology, 41(1), 64-85. doi.org/10.1080/10916466.2022.2030752.
[15]. Wei, Z., Zhu, S., Dai, X., Wang, X., Yapanto, L. M., & Raupov, I. R. (2021). Multi-criteria decision making approaches to select appropriate enhanced oil recovery techniques in petroleum industries. Energy Reports, 7, 2751-2758. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.05.002.
[16] Bealessio, B. A., Alonso, N. A. B., Mendes, N. J., Sande, A. V., & Hascakir, B. (2021). A review of enhanced oil recovery (EOR) methods applied in Kazakhstan. Petroleum, 7(1), 1-9. doi.org/10.1016/j.petlm.2020.03.003.
[17]. Preux, C., Lamoureux-Var, V., Ayache, S. V., & Michel, P. (2018). Forecasting H2S Production Risk in Thermal Projects for EOR. In First EAGE/IFPEN Conference on Sulfur Risk Management in Exploration and Production (pp. cp-565). EAGE Publications BV. dx.doi.org/10.3997/2214-4609.201802770.
[18]. Jia, W., Pan, F., Dai, Z., Xiao, T., & McPherson, B. (2017). Probabilistic risk assessment of CO_2 trapping mechanisms in a sandstone CO_2-EOR field in northern texas, USA. Energy Procedia, 114, 4321-4329. doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1581.
[19]. Hartono, A.D., Hakiki, F., Syihab, Z., Ambia, F., Yasutra, A., Sutopo, S., Efendi, M., Sitompul, V., Primasari, I. and Apriandi, R. (2017). Revisiting EOR projects in indonesia through integrated study: EOR screening, predictive model, and optimisation. In SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition. OnePetro. dx.doi.org/10.2118/186884-MS.
[20]. Nazarian, B., & Ringrose, P. (2017). Risk Associated with Legacy Wells in CCS and CO_2 EOR Projects; a Simulation Study. In 79th EAGE Conference and Exhibition, 2017(1). 1-5. EAGE Publications BV. dx.doi.org/10.3997/2214-4609.201700759.
[21]. Suleimanov, B. A., Ismayilov, F. S., Dyshin, O. A., & Veliyev, E. F. (2016). Selection methodology for screening evaluation of EOR methods. Petroleum Science and Technology, 34(10), 961-970. dx.doi.org/10.1080/10916466.2015.1107849.

[۲۲]. قجاونـد، ح. و شـفیعی، م. ا. (۱۳۹۹). ارائـه مـدل افزایـش بهـره‌وری مراکـز ازدیـاد برداشـت از مخـازن نفـت و گاز کشـور بـا انتخـاب شـرکای فـن‌آور مناسـب خارجـی جهـت توسـعه زنجیـره ارزش. نشـریه پژوهـش نفـت، 30(110)، ۱۴۴-۱۳۱. doi.org/10.22078/pr.2018.3263.2505.

[۲۳]. بلیله‌ونـد، ح. ر.، دشـتی، ن.، خـراط، ر. و جبـاری، ن. (۱۳۹۷). بررسـی عملکـرد شـبکه‌های عصبـی مصنوعـی (ANN) در انتخـاب هوشـمند روش‌هـای ازدیـاد برداشـت نفـت، پنجمیـن کنفرانـس بین‌المللـی فـن‌آوری و مدیریـت انـرژی بـا رویکـرد پیونـد انـرژی، آب و محیـط زیسـت، تهـران.

[۲۴]. دباغـی، آ.، ابراهیـم‌زاده رجائـی، ش.، پروازدوانـی، م. و گرامـی، ش. (۱۴۰۳). رویکـردی جامـع بـرای ارزیابـی و اولویت‌بنـدی ریسـک‌های ازدیادبرداشـت: مطالعـه مـوردی ازدیـاد برداشـت آب‌پایـه در یکـی از میادیـن نفتـی جنـوب غربـی ایـران. پژوهـش نفـت. doi.org/10.22078/pr.2024.5307.3356.

[۲۵]. خیرالهـی، ح.، زایـدی، م.، سـبحانی، ص.، چهاردولـی، م.، و سـیم‌جو، م. (۱۴۰۲). غربال‌گـری روش‌هـای ازدیـاد برداشـت از مخـازن نفتـی بـا اسـتفاده از تلفیـق روش‌هـای هوش‌مصنوعـی. پژوهـش نفـت، 33(5)، 51-62. doi.org/10.22078/pr.2023.5151.3284

[26]. García-Crespo, Á., Colomo-Palacios, R., Soto-Acosta, P., & Ruano-Mayoral, M. (2010). A qualitative study of hard decision making in managing global software development teams. Information Systems Management, 27(3), 247-252. doi.org/10.1080/10580530.2010.493839.

[27]. Ko, W. C. (2013). Exploiting 2-tuple linguistic representational model for constructing HOQ-based failure modes and effects analysis. Computers & Industrial Engineering, 64(3), 858-865. doi.org/10.1016/j.cie.2012.11.016.
[28]. Liu, H. C., Liu, L., Liu, N., & Mao, L. X. (2012). Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment. Expert Systems with Applications, 39(17), 12926-12934. doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.031.
[29]. Haktanir, E., & Kahraman, C. (2021). A Novel CRITIC Based Weighted FMEA Method: Application to COVID-19 Blood Testing Process. Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing, 37.
[30]. Mentes, A., & Helvacioglu, I. H. (2011). Review of Fuzzy Set Theory Applications in Safety Assessment for Marine and Offshore Industries. In ASME 2011 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (pp. 875-884). American Society of Mechanical Engineers. dx.doi.org/10.1115/OMAE2011-50244.
[31]. Kumru, M., & Kumru, P. Y. (2013). Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. Applied Soft Computing, 13(1), 721-733. doi.org/10.1016/j.asoc.2012.08.007.
[32]. Bowles, J. B., & Peláez, C. E. (1995). Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. Reliability Engineering & System Safety, 50(2), 203-213. doi.org/10.1016/0951-8320(95)00068-D.

Petroleum Research
Petroleum Research, 2024(August-September), Vol. 34, No. 136, 28-30
DOI:10.22078/pr.2024.5174.3300

An Integrated Approach to Evaluate and Rank the Enhanced Oil Recovery Methods from Reservoirs: A Case Study

Alireza Roustaei[1]* and Mohammad ali Hatefi[2]
1. Hydrocarbon Reservoirs Management, Tehran Faculty of Petroleum University of Technology, Iran
2. Division of Energy Economics and Management, Tehran Faculty of Petroleum University of Technology, Iran
roustaei@put.ac.ir
DOI:10.22078/pr.2024.5174.3300

Received: July/16/2023 Accepted: April/15/2024

Introduction

Managing oil reservoirs to increase their lifespan is always one of the concerns of oil-bearing countries. Nowadays, to overcome the high volume of demand of various industries for crude oil and its products on one hand and the limitation of exploration, production, and exploitation of reservoirs on the other hand, new methods have been developed and proposed in the oil industry to increase the rate of oil production [1, 2]. According to the studies which have been carried out by engineers, oil fields are natural reservoirs, and some of them and the drilled wells can face a reduction in the recovery factor and a drop in production. Furthermore, according to the statistics of the International Energy Agency (IEA), in the period from 2011 to 2020, Iran's annual production decreased by 5%, and there will be an increase in demand in the world by 1.1 million barrels per day [3]. To respond to the growing global demand for oil and gas resources, either new hydrocarbon resources should be discovered and exploited, or unused oil and gas in the reservoirs should be subjected to enhanced oil recovery, using various technologies. Meanwhile, considering the difficult conditions of exploration and protection of existing hydrocarbon resources, the use of the second method is more logical [4]. Enhanced oil recovery and improving the recovery rate from oil reservoirs is one of the most effective ways to reduce the gap between production and demand. Most of the researchers believe that without enhanced recovery methods, only one-third of the total available oil can be commercially extracted in the oil-rich regions of the world [3]. In addition, Enhanced Oil Recovery (EOR) refers to a set of methods and processes that try to use energy or materials outside of the oil field to extract and exploit crude oil that is not possible to extract with normal methods or its production is not economically affordable [4]. Moreover, with the increase in the number of mature oil fields, the phenomena that lead to the development of more advanced technologies in enhanced oil recovery are potentially effective for modifying the reservoir specifications [5].

Every year, a lot of money is spent on research projects on the EOR methods, in the world, and countries with oil reservoirs always try to use the most suitable method to benefit from their resources as much as possible. Because Iran is one of the owners of these reservoirs, more studies should be done in the field of enhanced recovery in the country [6]. Screening EOR methods to choose the optimal one that is suitable for the specific conditions of each reservoir has received much attention in recent years. Reservoir engineers often use reservoir screening and simulation tools to build reliable reservoir models to predict production. However, these tools can not consider and evaluate the potential risks associated with EOR projects. Although the high accuracy of screening and simulation tools cannot be denied, risk assessment methods (to evaluate the potential risks of EOR methods) should be used as a complementary tool in addition to screening

and simulation for a more accurate ranking of EOR methods. Choosing the right EOR method can increase the efficiency of extraction and achieve economic benefits. It also plays a crucial role in protecting the environment, preventing the occurrence of natural hazards, and bringing sustainable energy development to the country. The current research aims to develop a hybrid approach for screening, risk assessment, and prioritization of EOR methods for the Asmari reservoir, one of Iran's known reservoirs.

Materials and Methods

This study is classified as descriptive-case study research, in terms of purpose, and applied research based on the method of data collection. This research is quantitative in terms of analysis approach and data type and cross-sectional research in terms of time horizon. The required data was collected through a library and field studies (two researcher-made questionnaires). In this way, firstly, the primary risks of the EOR methods have been identified through library studies. Then screening the primary risks and determining their score and degree of importance are done by field study. In addition, the Asmari reservoir, located in one of the oil fields in Iran, is considered a case study. The face validity method and the Content Validity Ratio (CVR) index confirmed the validity of the questionnaires. Furthermore, Cronbach's alpha coefficient was used to measure the reliability of the questionnaires. As the coefficient value was 0.825, the reliability of the questionnaire was confirmed. In the data analysis phase, first, four EOR methods, including miscible injection of CO_2, Polymer injection, N_2 injection, and Water Alternating Gas (WAG) were screened using an Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System (ANFIS) approach. Two EOR methods such as miscible injection of CO_2 and Polymer injection were determined as suitable ones for the studied reservoir. Then, to evaluate them more accurately, the risks of these two methods were identified and evaluated using Delphi and Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) methods.

Results and Discussion

Findings showed that according to the specifications of the Asmari oil reservoir, the method of miscible injection of CO_2 will most likely lead to asphaltene deposition and severe negative effects in the enhanced recovery of this reservoir. In addition, the use of the polymer injection method to enhance oil recovery from this reservoir could have the risk of reducing permeability. However, choosing any of the selected EOR methods for the Asmari reservoir brought its risks. The results of the risk assessment showed that the two risks of "severe damage caused by asphaltene deposition" with a score of 14.11 and "reduced permeability" with a score of 15.90 are respectively the most important risks of using the miscible injection of CO_2 and polymer injection for enhancing oil recovery in the Asmari reservoir. To determine the preferred EOR method, the scores resulted from these two methods in both stages of screening using the Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System and risk assessment using the Failure Modes and Effect Analysis, the polymer injection method has less risk, and it was chosen as the best EOR method for the studied reservoir. Table 1 shows the final score of each EOR method and their final ranking in more detail. To better show the performance of the three methods of ANFIS, FMEA, and the hybrid method in evaluating the two EOR methods, the results were compared in Fig. 1.

Table 1 Final score and rank of candidate EOR methods for the studied reservoir.

Final Rank	Final Score	Normalized inverse RPNs for the recovery index	Inverse RPNs	Normal recovery index	Recovery index	EOR methods
1	0.502	0.516	0.0171	0.489	0.0754	Polymer injection
2	0.496	0.483	0.016	0.51	0.0787	miscible injection of CO_2

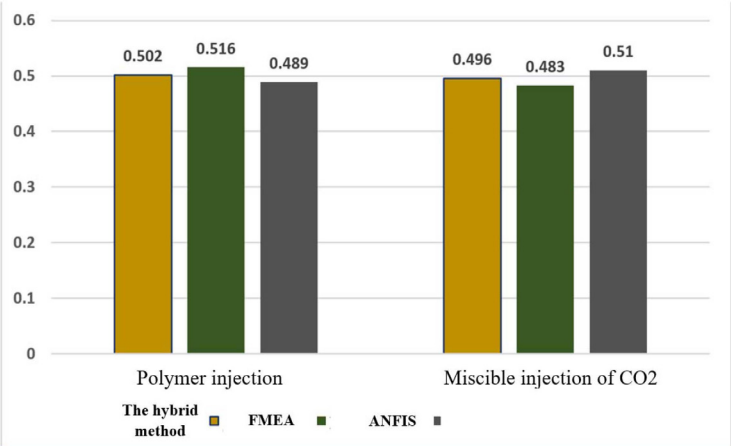


Fig. 1 Comparing the performance of ANFIS, FMEA, and the hybrid methods in evaluating the selected EOR methods

Conclusions

The EOR methods are efficient in oil production. This fact clearly highlights the importance of EOR methods and the necessity of investment in this field. Choosing the right EOR method requires simulation and laboratory studies in pilot form. Ultimatly, considering the results of this research that the polymer injection method is chosen as the most appropriate and least risky EOR method for the Asmari reservoir, to improve the performance of this method, it is necessary to continuously monitor and control the reservoir pressure as a preventive action in the face of technical/ economic risk of permeability reduction.

References

1. Yang, S., Li, Z., Yan, K., Zhang, X., Xu, Z., Liu, W., Liu, H. (2021). Removing and recycling mercury from scrubbing solution produced in wet nonferrous metal smelting flue gas purification process. Journal of Environmental Sciences, 103, 59-68. https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.10.013
2. Bai, B., Guo, Z., Zhou, C., Zhang, W., & Zhang, J. (2021). Application of adaptive reliability importance sampling-based extended domain PSO on single mode failure in reliability engineering. Information Sciences, 546, 42-59. https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.07.069
3. Khakenjad, S. & Ebrahimzadeh Rajaei, G. (2020). Examining the strengths and weaknesses of Enhanced oil recovery methods, National Conference on Chemical Engineering and Nanotechnology, Dezful, Iran.
4. Kiarsi Haider, P., Radfar, R., Al-Barzi, M., & Toloui Ashlaghi, A. (2018). Developing a roadmap for enhanced oil recovery technologies: a system dynamics approach. Energy Planning and Policy Studies, 4(13), 122-89.
5. Rozhkova, Y. A., Burin, D. A., Galkin, S. V., & Yang, H. (2022). Review of microgels for enhanced oil recovery: Properties and cases of application. Gels, 8(2), 112. https://doi.org/10.3390/gels8020112
6. Ghorbani, H., Moghdisi, J., and Ghorbani, H. (2016). Evaluating the performance of enhanced oil recovery methods and providing a suitable solution for Iran's oil reservoirs, the 6th Scientific Conference on Hydrocarbon Reservoir Engineering and Upstream Industries, Tehran, Iran.