نشریه علمی ژئومکانیک نفت
JOURNAL OF PETROLEUM GEOMECHANICS
(JPG)

مقاله پژوهشی

شناسایی توانمندی‌های فناورانه ژئومکانیک در صنعت نفت و گاز

مریم بهی‌فر[1]؛ محمدرضا رضوی[2*]؛ پریوش جعفری[3]

۱- دانشجوی دکترای مدیریت تکنولوژی، گروه مدیریت تکنولوژی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

۲- استادیار گروه مدیریت تکنولوژی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

۳- دانشیار گروه مدیریت آموزش عالی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۲۷ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۰۸

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22107/JPG.2023.407649.1201

واژگان کلیدی

ژئوانرژی، ژئومکانیک، فعالیت‌های منبع‌محور هیدروکربوری، صنایع بالادستی، دلفی خاکستری.

چکیده

ژئومکانیک در بهینه‌سازی تحلیل پدیده‌های مکانیکی هنگام حفاری، اکتشاف، تولید و حتی رهاسازی یک میدان نفتی تاثیر بسزایی دارد. شناسایی توانمندی‌های فناورانه ژئومکانیک در صنعت نفت و گاز ایران در بهسازی فرایند اکتشاف و تولید موثر می‌باشد. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با استفاده از رویکرد کیفی چند روشی (تحلیل مضمون و دلفی خاکستری) مضامین پایه، سازمان‌دهنده و فراگیر مرتبط را استخراج و دسته‌بندی و تفسیر نموده است. براین اساس، نخست مصاحبه‌های تخصصی نیمه‌ساختاریافته با ۱۴ نفر از مدیران و متخصصان صنعتی و دانشگاهی انجام و با استفاده از رویکرد تحلیل مضمون مبتنی بر راهبرد استقرایی، توانمندی‌های فناورانه در حوزه ژئومکانیک نفت و گاز در ۷ مضمون سازمان‌دهنده و ۳۴ مضمون پایه شناسایی و دسته‌بندی شدند. مضامین سازمان‌دهنده شامل توانمندی سرمایه‌گذاری با ۴ مضمون پایه، توانمندی پیوند/ شبکه‌سازی با ۵ مضمون پایه، توانمندی یادگیری با ۶ مضمون پایه، توانمندی منابع انسانی با ۴ مضمون پایه، توانمندی مدیریت و استراتژیک با ۷ مضمون پایه، توانمندی فنی، اجرایی با ۴ مضمون پایه، توانمندی مکمل با ۴ مضمون پایه تشکیل شده است. سپس، پرسشنامه دلفی خاکستری در بین ۴۱ نفر از خبرگان ژئومکانیک توزیع گردید و اهمیت هر یک از معیارها تعیین گردید. مضامین به ترتیب اهمیت در پنج کلاس دسته‌بندی شدند. باورپذیری در مدیران ارشد، وجود برنامه راهبردی کلان و دسترسی به منابع اعتباری کافی از بالاترین اهمیت برخوردار شدند.

۱. پیش‌گفتار

فعالیت شرکت‌های اکتشاف و تولید *(E&P)* شامل عملیات پرریسک اکتشاف، خرید یا مشارکت در مخازن، توسعه و تولید نفت و گاز می‌باشد. در راستای انجام آنها، بشدت وابسته به پشتیبانی شرکت‌های خدمات‌دهنده هستند که شامل فعالیت‌های مهندسی، خرید، ساخت و خدمات در میادین نفت و گاز می‌شود [۱] شرکت‌های خدمات‌دهنده طیف وسیعی از خدمات را در مراحل مختلف ژئوفیزیک، ژئومکانیک، خدمات حفاری، خدمات مخزن، خدمات چاه، تزریقات چاهی، خدمات تکمیل چاه، مهندسی تامین کالا و ساخت، نصب و راه‌اندازی، امور تجاری، خدمات نگهداری و تعمیرات، لجستیک و تأسیسات عملیات نفتی برای اکتشاف و تولید نفت را در برمی‌گیرد [۲] بنگاه‌های بزرگ نفت و گاز جهانی سرمایه‌گذاری‌های چشمگیری روی توانمندی فنی و مهندسی انجام می‌دهند و بالطبع اهم درآمدهای آنها ناشی از بکارگیری این توانمندی‌ها می‌باشد [۳]. این توانمندی‌ها اکنون با برون‌سپاری به شرکت‌های خدمات‌دهنده توسعه می‌یابند [۴]. یکی از خدماتی که در ۲۰ سال گذشته بطور فزاینده‌ای توسعه یافته، ژئومکانیک است که در تمام زمینه‌های مرتبط با ژئوانرژی‌ها کاربرد دارد. اکتشاف، استخراج و بهره‌برداری از میادین نفت، گاز و دیگر حامل‌های انرژی با منشا زمینی

* دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه علوم و تحقیقات، تهران. ۰۹۱۲۱۳۲۹۱۵۰، mrazzavi@yahoo.com

ازجمله انرژی‌های نو مانند انرژی زمین‌گرمایی نیاز به بررسی‌های مکانیکی دارنده، که در قالب علم ژئومکانیک یا ژئوانرژی می‌گنجند. ژئومکانیک نفت که برای استخراج هیدروکربن‌ها [۵ - ۷] و برای رسیدگی به رفتار مکانیکی مخزن، چاه و سنگ‌های مرزی [۸] در طول فعالیت‌های اکتشاف و تولید کاربرد و توسعه یافته است [۹، ۱۰]. ژئومکانیک از ابتدا بوسیله برنامه‌ریزی چاه پیش از حفاری و در ادامه، بوسیله پشتیبانی از پایداری چاه [۱۱ - ۱۴] و مدیریت تولید شن و ماسه در حین حفاری [۱۵، ۱۶] و سرانجام، تا زمانی که چاه رها می‌شود، نقش اساسی در اکتشاف و تولید نفت ایفا می‌کند [۱۷ - ۱۹] همچنین با مسایل مختلف مهندسی حفاری (موقعیت سطح چاه، جلوگیری از انفجار، پایداری چاه، انتخاب سیال حفاری)، مهندسی تکمیل (کنترل شن و ماسه، شکست هیدرولیک)، مدیریت مخزن (تراکم و نشست، شکستگی مخازن، تشخیص خرابی) [۱۰، ۲۰ - ۲۷]، و افزایش راندمان استخراج [۲۸] در ارتباط است. حتی برای استفاده مجدد از مخازن برای سایر مقاصد و بررسی‌های زیست‌محیطی نیاز به تحلیل‌های ژئومکانیکی وجود دارد [۲۹، ۳۰]. از این رو، آگاهی از وضعیت ژئومکانیکی مخازن و چاه‌ها می‌تواند بر هزینه، زمان و کیفیت عملیات بخش بالادستی از مرحله پیش اکتشاف تا مرحله برچیدن تسهیلات مخزن موثر باشد. همچنین، با مد نظر قرار دادن این مهم که اغلب مخازن نفتی کشور در نیمه دوم عمر خود قرار دارند، بسیاری از میادین قدیمی نفت و گاز خالی شده‌اند و حفاری در این مناطق رسوبی را بسیار دشوار کرده‌اند، بویژه در رژیم‌های فشار منفذی پیچیده که با فشار بیش از حد همراه هستند. توجه به مسائل ژئومکانیکی مخازن می‌تواند سبب بهینه شدن ازدیادبرداشت و طولانی‌تر شدن عمر مخازن گردد.

بنابر آنچه که ذکر شد، با تغییر دیدگاه در جایگاه اقتصادی فعالیت‌های منبع محور، در حالی‌که تقاضا برای منابع انرژی همچنان رو به افزایش است، فناوری‌های جدید، رقابت در شرایط نامتعارف را افزایش داده‌اند و در همین حین، استعداد مخازن در سراسر جهان کوچک شده‌اند و درک خطرات زیست‌محیطی برای بازیگران صنعت افزایش یافته است. بنابراین، برای شناسایی توانمندی‌های فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز در ایران، پژوهش حاضر شرح می‌دهد که چگونه تقاضای (کشش) فزاینده بازار برای منابع ژئوانرژی از یک سو و عرضه (فشار) توسعه‌های علمی و فنی از سوی دیگر، نیاز به مدیریت ابعاد گوناگون توانمندی فناورانه را ضروری می‌نماید.

۲. تغییردهندگان صنعت

در بیشتر از ۴۰ سال گذشته، ادبیات گسترده‌ای درباره نوآوری و پویایی‌های صنعت با تمرکز بر درک فرآیند یادگیری، ایجاد توانمندی و نوآوری در حیطه تولید صنعتی متمرکز شده‌اند. در این میان، توجه اندکی به فعالیت‌های منبع محور شده است. احتمالاً، کمبود پژوهش درباره فعالیت‌های منبع محور تحت تأثیر این ایده قرار داشته است که این فعالیت‌ها بطور ضعیفی (بسیار اندک) به رشد و توسعه پایدار کشورها کمک می‌کنند. این دیدگاه عمدتاً مبتنی بر این ادعا بود که از یک سو، در اقتصاد کلان و بر اساس ادبیات «نفرین منابع» یک سری چالش‌های کلان اقتصادی و نهادی مرتبط با فعالیت‌های منبع محور وجود دارند که موانع اساسی برای توسعه ایجاد می‌کنند [۳۱ - ۳۵] و از دیگر سو، در اقتصاد خرد و پویایی‌های صنعت، بطور معمول، این فعالیت‌ها بصورت بالقوه در ارتقای نوآوری، یادگیری و پیوند با سایر بخش‌ها نسبت به بخش ساخت و تولید پایین‌تر تلقی می‌شدند. با این حال، بخش مهمی از ادبیات پژوهش، بر اساس شواهد تاریخی کشورهای توسعه‌یافته و برخی کشورهای درحال توسعه با منابع طبیعی غنی، این ایده که منابع طبیعی ذاتاً برای توسعه بد یا نامناسب است را زیر سوال بردند [۳۶ - ۳۸]. بنابراین، در ادامه بیان می‌شود، چگونه فرصت‌ها و چالش‌های جدید، نقطه عطفی در صنایع بالادستی و فعالیت‌های منبع‌محور بوجود آورده‌اند که نیازمند رویکردی متحول‌کننده به این‌گونه فعالیت‌ها و خلق توانمندی‌های فناورانه است.

۱.۲. تغییر رویکرد به فعالیت‌های منبع‌محور

ادبیات مربوط به «نفرین منابع» عمدتا دیدگاه کل‌نگر دارد و بر موانع اقتصاد کلان برای رشد، متمرکز است که در کشورهای دارای منابع طبیعی غنی بوجود می‌آید [۳۹، ۴۰] تأثیر منفی منابع طبیعی بر رشد اقتصادی همان چیزی است که نفرین منابع طبیعی نامیده می‌شود [۴۱].

به گفته لیمی[1] (۲۰۰۷) [۴۲]، برخی از مکانیسم‌هایی که می‌توان به وقوع نفرین منابع طبیعی نسبت داد بیماری هلندی، فساد و نهادهای سیاسی تضعیف شده، رانت‌خواهی و درگیری‌ها، تنوع اقتصادی ناکافی، اعتماد بیش از حد، سیاست‌های اقتصادی سست و مازاد بدهی‌ها می‌باشد. این مطالعات نشان می‌دهند که افزایش واقعی نرخ ارز حاصل از رونق منابع طبیعی همراه با کاهش تولید کل یا کاهش اندازه نسبی تولید، می‌تواند بر توسعه بلندمدت، اثرات منفی داشته باشد که بوجود آورنده پدیده «بیماری هلندی» است [۴۳]. بیماری هلندی به‌سادگی بعنوان تأثیر منفی رونق منابع بر کل اقتصاد در نتیجه کوچک شدن سایر بخش‌های اقتصاد توضیح داده می‌شود که ناشی از عواملی مانند افزایش واردات، افزایش ارزش نرخ ارز و تغییر (حرکت) نیروی کار از بخش ساخت و تولید و سایر بخش‌ها به بخش منابع است [۴۴]. به‌همین‌ترتیب، مجموعه مهم دیگری از ادبیات نشان می‌دهند که ثروت‌های طبیعی و ضعف‌های نهادی؛ ایجادکننده سو مدیریت در رابطه با مدیریت این ثروت‌ها هستند [۳۲]. برای سال‌های متمادی، اقتصاددانان باور داشتند که صنایع مبتنی بر منابع طبیعی از نقطه‌نظر نوسازی فناوری، نوآوری و نرخ رشد بهره‌وری آن‌ها چندان جذاب نیستند. تولید نفت و گاز، محصولات جنگلی، معادن، کشاورزی و آبزی‌پروری از نظر فناوری حوزه‌های پویای اقتصاد در نظر گرفته نمی‌شدند و هنگام بحث در مورد منابع رشد بهره‌وری برای کل اقتصاد به آن توجه زیادی نمی‌شد. در عوض، این بخش ساخت و تولید بود که بعنوان موتور اصلی برای نوآوری و رشد بهره‌وری در نظر گرفته می‌شد. به این دلایل، اقتصاددانانی مانند ساکس و وارنر[2] (۲۰۰۱) [۳۹] منابع طبیعی را به‌جای «پنجره فرصت» بالقوه‌ای که کشورهای در حال توسعه می‌توانند از آن بهره ببرند، «نفرین» برای توسعه می‌دانند. دیدگاه آنها اساساً یک دیدگاه کلان در مورد تأثیری بود که افزایش صادرات کالاهای مبتنی بر منابع طبیعی مانند نفت و گاز یا محصولات معدنی بر نرخ ارز می‌گذارد و جذابیت سایر فعالیت‌ها را در اقتصاد کاهش می‌دهد [۴۰]. با این حال، تعداد زیادی از مقالات اخیر بیان کرده‌اند که با ایجاد چارچوب نهادی مناسب و مدیریت اقتصاد کلان می‌توان از «دام‌های فراوانی[3]» این منابع جلوگیری کرد [۴۵]. این مطالعات به جای تمرکز بر خطرات کلان اقتصادی و سازمانی برای رشد و توسعه اقتصادی، در صنایع استخراجی (معدنی)، به مشارکت‌ها (ارتباطات) در پیوندهای رو به جلو و رو به عقب تمرکز دارند [۴۶]. هیرشمن (۱۹۵۸) [۴۷] از اولین پژوهشگرانی بود که بیان داشت با ارتقاء تعداد محدودی از بخش‌های اصلی اقتصاد که دارای ارتباط فناورانه قوی با سایر بخش‌ها هستند، می‌توان به رشد اقتصادی دست یافت. ارتقاء این بخش‌های کلیدی باعث رشد بخش‌هایی می‌شود که نهاده‌های خود را از آنها تأمین می‌کنند و همچنین باعث گسترش بخش‌هایی که از محصولات اضافی این بخش‌های کلیدی بعنوان نهاده ورودی استفاده می‌کنند، نیز می‌شود. بنابراین شناسایی بخش‌های کلیدی اقتصاد برای دستیابی به استفاده بهینه از منابع با توجه به تخصیص بخشی بسیار مهم است. شناسایی این بخش‌های استراتژیک یک شالوده مفید برای تعیین اولویت‌های بخشی متناسب با اهداف برنامه‌های توسعه ملی تشکیل می‌دهد [۴۷].

بطور مشابه، پیوندهای رو به جلو (که حاصل پردازش و بازاریابی کالای اصلی است) بندرت تحقق می‌یابد، زیرا فعالیت‌های مربوطه غالباً در نزدیکی بازار نهایی خارج از کشور انجام می‌شوند. در مواجهه با این مشکلات، به تازگی بسیاری از کشورهای غنی از منابع طبیعی رویکردی پیشگیرانه اتخاذ کرده‌اند تا حداکثر سود حاصل از استخراج نفت و گاز را از طریق الزامات داخلی‌سازی و سیاست‌های منطقی برای انتشار اطلاعات در میان مشاغل محلی بالقوه درحالی‌که ادبیات داخلی‌سازی ابتدایی گروسمن[4] (۱۹۸۱) [۴۸] برای مساله مورد بررسی اهمیت کمی قائل است، مطالعات اخیر درباره سیاست‌های صنعتی، چارچوب‌های مناسبی برای چنین سیاست‌هایی ارائه داده‌اند [۴۹، ۵۰]. این ادبیات از مشارکت فعال دولت در توسعه فعالیت‌های خاص پشتیبانی می‌کند و تأکید می‌کند که انفعال در تأمین ورودی‌های خاص و عمومی می‌تواند مانع اصلی برای تنوع محصولات، تغییرات ساختاری و بطورکلی توسعه اقتصادی باشد [۵۱ - ۵۳]. بنابراین، توانمندی‌های فناورانه می‌تواند فرصت‌های موثرتر و کارآمدتر برای شرکت‌های خدمات‌دهنده بالادستی[5] فراهم کند تا در برخورد با چالش‌های ایجاد شده توسط تغییرات صنعت یک

[1] *Iimi (2007)*
[2] *Sachs, Warner*
[3] *paradox of plenty*
[4] *Grossman (1981)*
[5] *Oil Field Service Providers*

«نقطه عطف» را شکل دهند.

۲.۲. تغییر در تقاضا

در سال‌های اخیر، رشد شتابان چین، هند و سایر کشورهای آسیایی منجر به افزایش تقاضا برای حامل‌های انرژی نظیر نفت و گاز شده است که انتظار می‌رود در آینده نیز ادامه یابد [۵۴]. با این حال، گسترش عرضه نفت و گاز برای پاسخگویی به این تقاضای فزاینده، توسط عوامل متعددی مانند کاهش ذخایر و استعداد زمین و وجود مکان‌های دورتر و دشوارتر برای پروژه‌های جدید [۵۵، ۵۶]، به چالش کشیده می‌شود. بنابراین، به راه‌حل‌های فناورانه و نوآورانه جهت افزایش بهره‌وری در میدان‌های فعال و توسعه میدان‌های جدید نیاز است [۵۵].

علاوه‌براین، ادبیات داخلی‌سازی تاکید می‌کند که نیاز به «دانش خاص محلی» نمونه‌ای مشخص بهره‌برداری از منابع طبیعی است، که فرصت‌های مناسبی برای نوآوری در کشورهای درحال‌توسعه ایجاد کرده است [۵۷، ۵۸] از آنجایی که هیچ دو میدان نفتی یکسان نیستند (هر مکان دارای ترکیبی منحصر به فرد از نوع سنگ، ارتفاع، شرایط آب و هوایی، عیار سنگ معدن است)، گسترش تولید، تقاضا برای راه‌حل‌های خاص برای هر مکان را بوجود می‌آورد [۵۹، ۶۰]. بنابراین، شرکت‌های بالادستی به‌دنبال راه‌حل‌هایی برای بهینه‌شدن و کاهش هزینه‌های تولید و استخراج بوده‌اند که یکی از این فناوری‌های نوظهور خدمات ژئومکانیک نفت و گاز است.

بر اساس گزارش شرکت Future Market Insights [۶۱] درمورد بازار نرم‌افزار و خدمات ژئومکانیک (۲۰۲۲ تا ۲۰۳۲)[6] اندازه بازار نرم‌افزار و خدمات ژئومکانیک در سال ۲۰۲۱ برابر با ۱۵۲۶ میلیون دلار آمریکا بود و پیش‌بینی می‌شود به ۳۴۳۷ میلیون دلار تا سال ۲۰۳۲ برسد. جزئیاتی از این فرآیند رشد در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- چشم انداز بازار ژئومکانیک [۶۱]

بازار خدمات ژئومکانیک	
CAGR (۲۰۲۲-۲۰۳۲)	۷/۹ درصد
ارزش بازار (۲۰۲۵)	۱۸۴۶/۱ میلیون دلار آمریکا
عامل رشد	فعالیت‌های ساخت و ساز توسط دولت‌ها در مناطق در حال توسعه عامل اصلی رشد کلیدی این بازار هستند.
فرصت	ظهور ارائه‌دهندگان خدمات شخص ثالث فرصت‌های بزرگی را برای بازیگران جدید و قدیمی در این بازار فراهم می‌کند.
روندهای کلیدی	استفاده از اینترنت اشیا و هوش مصنوعی، بازار خدمات ژئومکانیک را در بازار تقویت خواهد کرد.
بازار نرم‌افزار و خدمات ژئومکانیک نفت و گاز	
CAGR (۲۰۲۲-۲۰۳۲)	۸/۱ درصد
ارزش بازار (۲۰۲۵)	۲۱۹۹/۴ میلیون دلار آمریکا
عامل رشد	از آنجایی که نگرانی‌ها درباره خطرات زیست‌محیطی در این صنعت همچنان در حال افزایش است، نرم‌افزارها و خدمات ژئومکانیک برای موفقیت بیشتر آماده هستند.
فرصت	شرکت‌های نفت و گاز به دنبال راه‌هایی برای افزایش تماس چاه و کاهش زمان حفاری غیرمولد هستند که فرصت‌های متفاوتی را برای بهبود عملکرد آنها در این صنعت فراهم می‌کند.
روندهای کلیدی	توسعه‌ها و فناوری‌هایی که برای کاهش بار کاری نیروی‌انسانی، بیمه‌ها، آموزش و گنجاندن هوش مصنوعی در ماشین‌های فناوری طراحی شده‌اند تقویت‌کننده بزرگی برای این بازار خواهند بود.

افزایش تعداد فعالیت‌های اکتشافی، هزینه‌بر شدن استخراج از مخازن هیدروکربوری موجود و عدم قطعیت در قیمت نفت و گاز در سراسر جهان موجب افزایش تقاضا برای خدمات ژئومکانیک در بازار شده است. علاوه بر این، پروژه‌های فراساحل و خشکی نگرانی‌های فزاینده‌ای درباره محیط‌زیست دارند که می‌تواند تقاضا برای خدمات ژئومکانیک را تحریک کند. همچنین، با افزایش آگاهی درباره نوآوری‌های سبز، انجام پژوهش‌های ژئومکانیکی اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده است و

[6] *Geomechanics Software and Service Market*

این امر منجر به افزایش استفاده از نرم‌افزارها و خدمات ژئومکانیک در بازار شده است.

۳.۲. تغییر در علم و فناوری

پیشرفت در علم و فناوری می‌تواند فرصت‌های نوآوری قابل‌توجهی را در صنایع منبع محور ایجاد کند. در مورد معدن، ادبیات شواهد مستندی از جوان‌سازی فناوری صنعت، بعبارت دقیق‌تر، ادغام تعداد زیادی از نوآوری‌های فناورانه و پیشرفت‌ها در اکتشاف، استخراج، و فرآوری مواد معدنی مستند کرده است [۳۱، ۶۲].

افزایش نوآوری‌های فناورانه در صنایع نفت و گاز منجر به درک بهتر منابع مخزن، بهبود ایمنی و سلامت و افزایش بهره‌وری عملیاتی شده است. تقاضای جهانی برای تصویربرداری لرزه‌ای و ژئوفیزیکی در صنعت نفت و گاز و توسعه زیرساخت‌ها همچنان در حال رشد است. شرکت‌های نفت و گاز برای به حداکثر رساندن فعالیت‌های اکتشافی به تصاویر ژئومکانیکی روی آورده‌اند. از آنجایی که قیمت نفت نامشخص است و رقابت در حال افزایش است، شرکت‌های نفت و گاز به دنبال روش‌هایی برای کاهش هزینه‌های عملیات و افزایش بهره‌وری هستند. بعلاوه، نیاز روزافزون شرکت‌ها به کاهش هزینه‌های عملیاتی شرکت‌ها را تشویق می‌کند تا خدمات ژئومکانیک را بکار گیرند [۶۱].

همچنین، با توجه به کمبود فزاینده هیدروکربن‌های معمولی نسبتا ارزان، شرکت‌های بالادستی در حال سرمایه‌گذاری در نفت و گاز نامتعارف برای افزایش ذخایر و تولید هستند. مخازن نامتعارف معمولا بر بسترهای شیل متمرکز است که گاز طبیعی، میعانات گازی و نفت خام تولید می‌کند. متان بستر زغال‌سنگ، ماسه‌های نفتی و نفت سنگین منابع نامتعارف غیر شیل هستند [۶۳ - ۶۵]. حرکت به سمت نامتعارف‌ها مستلزم توسعه و بکارگیری فناوری‌ها و فرآیندهای جدید در جغرافیای جدید با بازی‌های نامتعارف است. مدیران با فرصت‌های بزرگ و چالش‌های قابل توجهی مواجه هستند که مستلزم تغییر سازمانی، یادگیری و مجموعه‌ای متفاوت از اولویت‌های مدیریتی است. شرکت‌های بزرگ نفت و گاز با توانمندی‌های تشدید شده برای بدست آوردن ارزش از پروژه‌های بزرگ، نیاز دارند منابع و فرآیندهای خود را برای عملیات شکست هیدرولیکی[۷] (لایه شکافی)، در چاه‌های متعدد در یک میدان واحد به خوبی پیکربندی کنند [۵۵].

۴.۲. توانمندی فناورانه

بر اساس دیدگاه منبع‌محور[۸] مزیت رقابتی یک شرکت در توانایی استفاده از مجموع دارایی‌های مشهود و نامشهود موجود، نهفته در آن شکل می‌گیرد [۵۵، ۶۶] دارایی‌های نامشهود باید ارزشمند[۹]، کمیاب[۱۰]، تکرارنشدنی[۱۱] و غیرقابل جایگزینی[۱۲] باشند. حفاظت و مدیریت این دارایی‌ها، سبب عملکرد مطلوب می‌شود و به دلیل دشوار بودن تقلیدشان از سوی رقبا، منبع ایجاد ارزش پایدار می‌باشند [۶۷]، از این جهت، دیدگاه مذکور بر این ضرب‌المثل قدیمی تاکید دارد که «نفت و گاز در ذهن یافت می‌شود، نه در زمین» [۵۵]. پس بطور مسلم، دارایی‌های نامشهود شرکت‌های خدمات‌دهنده با تمرکز مناسب بر دانش فنی و توانایی‌های سازمانی ایجاد می‌گردد و این شرکت‌ها نیاز به توسعه و استفاده قوی آنچه‌که «توانمندی‌های فناورانه» نامیده می‌شود، دارند.

توانمندی فناورانه را می‌توان مجموعه‌ای از منابع، توانایی‌ها، دانش، ساختارها، پیوندهای نهادی و تجمیع تجربیات قبلی تعریف نمود که به فرآیند تولید و مدیریت تغییرات فناوری کمک می‌نماید [۶۸]، هدایتگر بنگاه یا کشور در راستای بهبود مستمر (توسعه پایدار) در فرآیندها، پروژه‌ها و محصولات بوده و منجر به توانمندی جهت رقابت در بازارهای بین‌المللی می‌شود [۶۹]. ارتقاء مؤثر توانمندی‌های فناورانه در بنگاه‌ها مستلزم ایجاد ذهنی باز برای توسعه در محیط فناوری، انباشت دائمی دانش ارزشمند و بکارگیری مؤثر فناوری‌های جاری است [۷۰ - ۷۲].

مدل‌های بسیاری در زمینه توانمندی‌های فناورانه ارائه شده است. مدل لال[۱۳] (۱۹۹۲) [۷۳]، یکی از مدل‌های پایه در این حوزه محسوب می‌شود. این مدل سه بُعد سرمایه‌گذاری، تولید و پیوند[۱۴] از توانمندی‌های فناورانه را در سه سطح پایه، میانی و پیشرفته تعریف کرده است [۷۳]. ابعاد

[7] *Hydraulic fracking*
[8] *Resource Based View (RBV)*
[9] *Valuable (V)*
[10] *Rare (R)*
[11] *Imperfect imitability (I)*
[12] *Non-substitutability (N)*
[13] *Lall*
[14] *Linkages*

توانمندی‌های فناورانه مسئول تغییرات مثبت قابل‌توجهی در عملکرد بنگاه هستند [۷۱].

لال (۱۹۹۲) [۷۳]، «توانمندی سرمایه‌گذاری[15]» را مهارت‌های ضروری برای شناسایی، آماده‌سازی و کسب فناوری‌های لازم در طراحی، تولید، تجهیز و استخدام نیروی کار، بکارگیری وسیله یا مهارت جدید تعریف کرده است.

از نظر وی، «توانمندی تولید[16]» هم فناوری‌های تولید[17] و هم فناوری‌های فرایند[18] را پوشش می‌دهد.

«توانمندی پیوند[19]» مهارت‌های ضروری برای انتقال اطلاعات، مهارت‌ها و فناوری به تامین‌کنندگان مواد اولیه و اجزا، پیمانکاران فرعی، مشاوران، بنگاه‌های خدماتی و نهادهای فناوری و دریافت این توانمندی‌ها از آنها است [۷۳]. دیدگاه RBV تاکید می‌کند که منابع ارزشمند و کمیاب به‌جای یک بنگاه منفرد، در رابطه جاسازی شده‌اند. رانگسیتونگ و همکاران[20] (۲۰۱۷)، [۷۴] نشان دادند که توانمندی پیوند مبتنی‌بر به اشتراک‌گذاری دانش بنگاه است، بنابراین بنگاه‌هایی که در روابط استراتژیک قرار دارند به توانی نیاز دارند که منبع‌یابی ایده و دانش جدید از سایر شرکاء را پشتیبانی و تسریع کند [۶۶، ۷۵] و روابط مشارکتی را برای کسب کارآمد تکنیک‌ها، دانش و اطلاعات جدید توسعه دهند [۷۶] که بویژه برای بنگاه‌ها در اقتصادهای کمتر توسعه‌یافته و نوظهور ضروری است. زیرا آنها در بستر رقابت جهانی عقب مانده‌اند و داشتن مزیت خاص در سطح محلی ممکن است به اندازه کافی برای نفوذ آنها به بازارهای جهانی کافی نباشد [۶۶، ۷۷]. همکاری با شرکای استراتژیک بر انعطاف‌پذیری، چابکی و استحکام بنگاه‌ها تأثیر می‌گذارد و سبب بهبود ارائه خدمات می‌شود [۷۸]. بااین‌حال، توسعه روابط استراتژیک با شرکاء زمانی ارزشمند است که به ایجاد منافع بیشتری برای بنگاه منجر شود. بنابراین، برای ایجاد رانت کافی از رابطه با شرکای خارجی، توانایی یادگیری مولد و یکپارچه‌سازی در بنگاه برای ایجاد ارزش، باید موجود باشد [۷۹].

وانگ و همکاران[21] (۲۰۰۶) [۷۲] عقیده دارند که تأثیر مثبت توانمندی فناورانه بر عملکرد بنگاه، پتانسیل این توانمندی برای تحریک یادگیری بنگاه را نشان می‌دهد.

بارک و همکاران[22] (۲۰۱۱)، [۸۰] نشان داده‌اند توانمندی فناورانه، شامل «توانمندی یادگیری»، «توانمندی سازماندهی» ، «تولید» و «توانمندی تخصیص منابع» می‌شود. در نتیجه، بنگاه‌های فناورانه باید اراده و توانایی کسب دانش مهم فناورانه و بکارگیری آن در فرآیند عملیات تجاری را داشته باشند. ازاین‌رو، فرآیند توسعه توانمندی فناورانه بنگاه یک فرآیند توسعه‌ای وابسته به مسیر است که با «یادگیری از طریق انجام[23]» [۸۱] شروع شده و در پی آن همراه «یادگیری با سازگاری[24]» برای افزایش بهره‌وری از طریق استفاده ماهرانه و انطباق دانش فناورانه دنبال می‌شود [۸۲]. تحلیل‌های جدیدتر از یادگیری از طریق انجام، بر این امر تمرکز دارند که چگونه مواجهه با مشکلات جدید در فرآیند انجام کار بنگاه سبب جستجو و یادگیری می‌شود، که متضمن تعامل بین چندین طرف در حین جستجوی راه حل است [۸۳]. مفهوم «یادگیری از طریق تعامل[25]» نشان می‌دهد که چگونه تعامل بین تولیدکنندگان و کاربران برای کسب نوآوری و شایستگی؛ توانمندی هر دوی آنها را افزایش می‌دهد [۸۴]. روزنبرگ[26] (۱۹۸۲) [۸۵] «یادگیری حین استفاده[27]» را معرفی کرد تا توضیح دهد که چرا کارایی استفاده از سیستم‌های پیچیده در طول زمان افزایش یافته است.

با توجه به جنبه اکتشافی پژوهش حاضر که با هدف شناسایی ماهیت و عناصر بنیادین توانمندی‌های فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز انجام گرفته، در ادامه، ترکیب روش‌های کیفی بصورت متوالی استفاده شده است.

۳. روش‌شناسی

جهت دستیابی به هدف پژوهش از اشکال چندگانه داده‌های کیفی که کراسول[28] (۲۰۱۴)، [۸۶] و سیلورمن[29]

[15] *Investment Capabilities*
[16] *Production Capabilities*
[17] *Production Technologies*
[18] *Process Technologies*
[19] *Linkage Capabilities*
[20] *Rungsithong, Meyer, & Roath, (2017)*
[21] *Wang, Lo, Zhang, Xue, (2006)*
[22] *Baark, Antonio, Lo, Sharif, (2011)*
[23] *Learning by Doing*
[24] *Learning by Adaptation*
[25] *Learning by Interacting*
[26] *Rosenberg, (1982)*
[27] *Learning by Using*
[28] *Creswell, 2014*
[29] *Silverman, 2020*

(۲۰۲۰)، [۸۷]، آنرا کیفی چند روشی[30] نامیده‌اند، استفاده شد.

پژوهش کیفی رویکردی است برای کشف و درک معنایی محیط و بیان‌کننده اهمیت پیچیدگی موقعیت مورد مطالعه است [۸۸، ۸۹]. همانطور که مایک-مایر[31] (۲۰۲۰)، [۹۰]، استدلال می‌کند، استفاده از رویکردهای روش‌شناختی کیفی مختلف، دانشی را فراهم می‌آورد که در غیراین‌صورت رسیدن به آن برای پژوهشگر قابل دسترس نبود. به همین دلیل استربرگ[32] (۲۰۰۲)، [۹۱]، «طرح‌های پژوهشی که شامل راهبردهای پژوهشی متعددی باشند را قوی‌ترین آنها می‌داند».

از این جهت با توجه به جنبه اکتشافی پژوهش حاضر، تجزیه و تحلیل اسناد با مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته تکمیل شد تا همانطور که ساد بک[33] (۲۰۰۴)، [۹۲]، گفته است از ارائه «تنها یک تصویر جزئی و محدود، بدون پیوند به دنیای واقعی» خودداری گردد. سپس، دلفی خاکستری بکارگرفته شد تا اهیمت هر یک از توانمندی‌های فناورانه ژئومکانیک در صنعت نفت و گاز تعیین گردد.

۳.۱. تحلیل مضمون[34]

برای شناخت توانمندی‌های فناورانه ژئومکانیک در صنعت نفت و گاز، همراه با مرور ادبیات، مصاحبه‌های تخصصی نیمه‌ساختاریافته با ۱۴ خبره (دارای تحصیلات مرتبط و حداقل ۱۰ سال سابقه فعالیت) که از میان مدیران و متخصصان صنعتی و دانشگاهی با نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند، صورت گرفت. در این مرحله پیش از شروع مصاحبه ۶ پرسش باز در نظر گرفته و در طول فرآیند مصاحبه با توجه به نظرات خبرگان و تحلیل‌ها سوالات جدیدی نیز مطرح شد. براساس، هستی‌شناسی واقع‌گرا، با استفاده از روش تحلیل مضمون مبتنی بر راهبرد استقرای تحلیلی، به شناسایی، تحلیل و تبیین الگوهای موجود در داده‌های کیفی بدست آمده از مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با خبرگان پرداخته شد.

تحلیل مضمون، روشی برای شناخت، تحلیل و گزارش الگوهای موجود در داده‌های کیفی است که با تحلیل داده‌های متنی، داده‌های پراکنده و متنوع را به داده‌هایی غنی و تفصیلی تبدیل می‌کند [۹۳]. این روش به‌دلیل استخراج متن و الگوسازی معنایی، اهداف پارادایم (مجموعه‌ای از باورهای هدایتگر عمل) تفسیری[35] [۸۸، ۸۹] را برآورده می‌سازد و پژوهشگر می‌تواند به جستجو و تفسیر مفاهیم آشکار و پنهان بپردازد [۹۴].

در پارادایم تفسیری؛ فعالیت‌های انسانی بعنوان یک «مفهوم» تفسیر، بازسازی و تحلیل می‌شوند [۹۵]. هر پارادایم توضیح‌دهنده هستی‌شناسی[36] (ماهیت حقیقت)، معرفت‌شناسی[37] (ماهیت دانش)، ارزش‌شناسی[38] (ارزش‌های مرتبط با حوزه پژوهش و نظریه‌پردازی)، یا روش‌شناسی[39] (استراتژی‌هایی برای گردآوری و تحلیل داده‌ها) ویژه‌ای است [۹۵]. با این حال، رویکرد تحلیل مضمون در طیف ارزش‌شناسی گسترده‌ای از روش‌های نظری و معرفت‌شناسی کاربرد داشته و مستقل از جایگاه نظری یا معرفت‌شناسی خاصی است [۹۳]. همچنین، این رویکرد مبتنی بر استراتژی استقرای تحلیلی است، یعنی مضامین شناخته شده، به شدت با خود داده‌ها (متن) مرتبط هستند [۹۶]. استراتژی استقرای تحلیلی مبتنی بر هستی‌شناسی واقع‌گرا است که بیان می‌کند حقایق با قانونمندی‌هایی که می‌توانند توصیف و تبیین شوند در بیرون از ما وجود دارند [۹۷].

مضمون[40] (تم)، ویژگی[41] تکراری و متمایزی در متن است که نشان‌دهنده اطلاعات مهمی درباره داده‌ها و درک خاصی در رابطه با سوالات پژوهش و الگویی است که در مجموعه‌ای از داده‌ها یافت شده و به توصیف، سازماندهی مشاهدات و تفسیر جنبه‌هایی از پدیده می‌پردازد [۹۵]. مضمون که به پرسش «چگونه است؟» پاسخ می‌دهد، دسته‌ای از معانی برجسته[42]، واحدهای معنایی فشرده[43] بر اساس سطوح تفسیری است [۹۳، ۹۴، ۹۸].

مضامین در سطح آشکار، با توجه به معانی ظاهری یا

[30] *Multimethod Research*
[31] *Mik-Meyer (2020)*
[32] *Esterberg (2002)*
[33] *Sade-Beck (2004)*
[34] *Thematic Analysis*
[35] *Interpretive Paradigm*
[36] *Ontology*
[37] *Epistemology*
[38] *Axiology*
[39] *Methodology*
[40] *Theme*
[41] *Feature*
[42] *Underlying meanings*
[43] *Condensed Meaning Units*

مشهود داده‌ها شناخته می‌شوند و تحلیلگر به دنبال شناخت آن چیزی است که بطور مستقیم در متن وجود دارد. در سطح پنهان، تحلیل از سطح معانی مشهود محتوای داده‌ها فراتر رفته و ایده‌ها، مفروضات و مفاهیم نهفته در داده‌ها را شناسایی می‌کند [۹۹].

بدین‌ترتیب، ابتدا عناوین آشکار و پنهان جستجو، سپس تفسیر و بر مبنای هدف در دسته‌های معنادار طبقه‌بندی شده و براساس دیدگاه آترايد و استیرلینگ[۴۴] (۲۰۰۱)، [۹۹]، مضامین پایه (کدها و نکات کلیدی متن)، سازمان‌دهنده (مضامین بدست آمده از ترکیب و تلخیص مضامین پایه) و فراگیر (مضامین عالی دربرگیرنده اصول حاکم بر متن به‌مثابه کل) شکل گرفتند.

همچنین، به دلیل ماهیت تفسیری تحلیل مضمون باید به روایی و پایایی آن بیشتر توجه شود [۱۰۰]. از این رو، طبق دیدگاه بروکس، هوراکس، کینگ[۴۵] (۲۰۱۸) [۱۰۱]، علاوه بر این‌که مضامین فراگیر، سازمان‌دهنده و پایه با مطالعه مبانی نظری، پیشینه و اهداف پژوهش انتخاب و تایید شدند، نظرات و رهنمودهای گروهی از خبرگان نیز لحاظ و جرح و تعدیل نهایی بعمل آمد. همچنین از «بازخورد مشارکت‌کنندگان» و «تطابق همگونی» استفاده شد [۱۰۰]. برای تجزیه و تحلیل مصاحبه‌ها از نرم‌افزار MAXQDA2022 بهره گرفته شد.

در ادامه، بمنظور تعیین اهمیت و اعتبارسنجی معیارهای تصمیم‌گیری، از اجماع دیدگاه و دانش تخصصی خبرگان استفاده و روش دلفی خاکستری بکار برده شده است.

۳.۲. نظریه سیستم‌های خاکستری

نظریه سیستم‌های خاکستری توسط دنگ[۴۶] (۱۹۸۲)، توسعه یافت. در سیستم خاکستری، همه پیام‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند: سفید، خاکستری و سیاه. قسمت سفید پیام‌های واضح یک سیستم را بطور کامل نشان می‌دهد، قسمت سیاه دارای ویژگی‌های کاملاً ناشناخته است و قسمت خاکستری در بین این دو اتفاق می‌افتد و شامل پیام‌های شناخته شده و ناشناخته است [۱۰۲، ۱۰۳].

سیستم‌های خاکستری شرایط عدم قطعیت را پوشش داده و با تعداد کمی داده، نتایج رضایت‌بخشی ارائه می‌دهند [۱۰۴].

عدد خاکستری $\otimes X$ با توزیع ناشناخته را می‌توان بصورت بازه‌ای کران‌دار (دارای کران بالا و پایین) نشان داد [۱۰۵]. معادله (۱) یک عدد خاکستری، $\otimes X$ است، که در آن $\underline{X}$ و $\overline{X}$ بترتیب کران‌های پایین و بالای $\otimes X$ می‌باشند.

$$\otimes X = \left[\underline{X}, \overline{X}\right] \quad (۱)$$

معادلات زیر عملیات ریاضی پایه اعداد خاکستری را نشان می‌دهد [۱۰۵]:

جمع اعداد خاکستری:

$$\otimes X_1 + \otimes X_2 = \left[\underline{X}_1 + \underline{X}_2, \overline{X}_1 + \overline{X}_2\right] \quad (۲)$$

تفریق اعداد خاکستری:

$$\otimes X_1 - \otimes X_2 = \left[\underline{X}_1 - \underline{X}_2, \overline{X}_1 - \overline{X}_2\right] \quad (۳)$$

ضرب اعداد خاکستری:

$$\otimes X_1 \times \otimes X_2 = [Min(\underline{X}_1\underline{X}_2, \underline{X}_1\overline{X}_2, \overline{X}_1\underline{X}_2, \overline{X}_1\overline{X}_2), Max(\underline{X}_1\underline{X}_2, \underline{X}_1\overline{X}_2, \overline{X}_1\underline{X}_2, \overline{X}_1\overline{X}_2)] \quad (۴)$$

تقسیم اعداد خاکستری:

$$\otimes X_1 \div \otimes X_2 = \left[\underline{X}_1, \overline{X}_1\right] \times \left[\frac{1}{\overline{X}_2}, \frac{1}{\underline{X}_2}\right] \quad (۵)$$

۳.۳. روش دلفی خاکستری[۴۷]

روش دلفی یکی از رویکردهای پژوهش کیفی است که بر مبنای ارتباطی نظام‌مند و ساخت‌دار میان خبرگان، یک قضاوت گروهی را شکل می‌دهد. در این رویکرد برای تصمیم‌گیری و آینده‌پژوهی با اجرای مراحل (راندهای) پیمایشی، به گردآوری نظر خبرگان و کسب اجماع بین آنان پرداخته می‌شود [۱۰۶].

برای انجام دلفی خاکستری مراحل زیر طی شده است:

گام نخست: پرسشنامه دلفی خاکستری در بین ۴۱ نفر از خبرگان ژئومکانیک توزیع گردید تا اهمیت هر یک از معیارها را بیان کنند. متغیرهای زبانی و خاکستری بر اساس ما و همکاران[۴۸] (۲۰۱۱)، [۱۰۷] در جدول ۲ نشان داده شده است.

[44] *Attride-Stirling (2001)*
[45] *Brooks, Horrocks, King, (2018)*
[46] *Deng (1982)*
[47] *Gray Delphi Method*
[48] *Ma, Shao, Ma, & Ye, Z. (2011)*

جدول ۲: متغیرهای زبانی برای تعیین اهمیت معیارها

متغیرهای زبانی	مقایس خاکستری مرتبط با متغیر زبانی
خیلی کم اهمیت (VU)	[1,2.5]
کم اهمیت (UN)	[0.5,3.5]
اهمیت متوسط (F)	[1.5,4.5]
با اهمیت (IM)	[2.5,5.5]
خیلی با اهمیت (VI)	[3.5,5]

گام دوم: بر اساس [۱۰۷] j کلاس خاکستری در نظر گرفته شده است که بازه انتخاب iامین معیار $\left[a_i^1, b_i^5\right]$ به پنج کلاس خاکستری تقسیم می‌شود.

گام سوم: معادلات ۶ و ۷ تابع وزن سفیدکننده نیمه ذوزنقه‌ای را نشان می‌دهند که برای $j=1, 5$ اعمال شده است.

$$f_i^1(x)=\begin{cases}1 & x\le a_i^1\\ \dfrac{b_i^1-x}{b_i^1-a_i^1} & a_i^1<x\le b_i^1\\ 0 & x>b_i^1\end{cases} \qquad (۶)$$

$$f_i^5(x)=\begin{cases}0 & x\le a_i^5\\ \dfrac{x-a_i^5}{b_i^5-a_i^5} & a_i^5\le x<b_i^5\\ 1 & x\ge b_i^5\end{cases} \qquad (۷)$$

برای $J = 2,3,4$ تابع وزن سفیدکننده مثلثی بر اساس معادله ۸ اعمال شده است.

$$f_i^j(x)=\begin{cases}0 & x\notin\left[a_i^j, b_i^j\right]\\ \dfrac{2(x-a_i^j)}{b_i^j-a_i^j} & x\in\left[a_i^j, \dfrac{a_i^j+b_i^j}{2}\right]\\ \dfrac{2(b_i^j-x)}{b_i^j-a_i^j} & x\notin\left[\dfrac{a_i^j+b_i^j}{2}, b_i^j\right]\end{cases} \qquad (۸)$$

گام چهارم: برای محاسبه ضریب خوشه‌بندی همگذاشت[۴۹] (ρ_i^j) از معادله (۴) استفاده شده است.

$$\rho_i^j=\sum_{k=1}^{m} f_i^j(x)\cdot\eta_i^k \qquad (۹)$$

که $f_i^j(x)$ تابع وزن سفیدکننده jامین کلاس خاکستری برای معیار i؛ m تعداد دسته‌بندی‌ها بر اساس دیدگاه خبرگان؛ η_i^k وزن معیار i در کلاستر همگذاشت است.

گام پنجم: بردارهای تصمیم برای ارزیابی تعیین شدند.

معادله $\max_{1\le j\le 5}(\rho_i^j)=\rho_i^{j^*}$ برای قضاوت در مورد این که آیا معیار j به کلاس j^* تعلق دارد یا خیر، استفاده شد.

در نهایت، تصمیم‌گیری برای انتخاب معیارها به صورت زیر انجام شد.

(۱) اگر کلاس j^* به کلاس‌های ۴ و ۵ یعنی ارزش کلاس‌های با اهمیت و خیلی با اهمیت تعلق داشت، معیار پذیرفته می‌شود.

(۲) اگر نسبت مقدار کلاس j^* متعلق به کلاس ۴ و ۵ به مقدار j^* متعلق به کلاس ۱ و ۲ بزرگتر از ۱ باشد، یعنی مقادیر کلاس‌های با اهمیت و خیلی با اهمیت برای معیارهایی که تصمیمی در موردشان گرفته نشده، بیشتر از ۵۰ درصد است، بنابراین، معیار پذیرفته می‌شود.

۴. یافته‌ها

برای شناخت توانمندی‌های فناورانه ژئومکانیک در صنعت نفت و گاز، داده‌های مصاحبه‌های تخصصی نیمه‌ساختاریافته با خبرگان با استفاده از رویکرد تحلیل مضمون مطابق مراحل زیر تحلیل شده‌اند: «تولید کدهای اولیه»، «گروه‌بندی کدهای مشابه»، «بررسی و پالایش مضمون‌های سازمان‌دهنده»، «شناسایی مضمون‌های پایه» و «تجدید نظر و بازنگری». در ادامه، رویکرد دلفی خاکستری برای تعیین اهمیت نسبی معیارهای مستخرج از بخش قبل بکار گرفته شد. از این‌رو، پرسشنامه‌ای با طیف لیکرت ۵ گزینه‌ای با ۳۴ سوال (هر سوال بیانگر یک معیار) طراحی و توسط خبرگان تکمیل گردید. تجمیع نتایج تحلیل مضمون مصاحبه‌ها و دلفی خاکستری در جدول ۴ ارائه شده است.

[49] *Synthetic Clustering Coefficient*

جدول ۳: نتایج تحلیل مضمون مصاحبه‌ها و رویکرد دلفی خاکستری

توانمندی	معیار	میانگین خاکستری	میانگین قطعی	کلاس
سرمایه‌گذاری	دسترسی به منابع اعتباری کافی	(2.33, 2.67, 6.33, 6.67, 4.67)	4.36	1
	تامین مالی فعالیت‌های تحقیق و توسعه (R&D)	(1.67, 5.33, 7.67, 3.67, 0.67)	3.46	3
	مطالعه هزینه-فایده در بکارگیری ژئومکانیک	(1.67, 6.33, 6.00, 3.67, 1.33)	3.89	2
	سرمایه‌گذاری هدفمند در حوزه خدمات ژئومکانیک	(1.33, 3.67, 6.33, 6.33, 2.67)	3.99	2
پیوند/ شبکه‌سازی	توسعه همکاری‌های ملّی و بین‌المللی	(2.67, 6.33, 5.33, 2.33, 1.33)	3.26	3
	ایجاد ارتباط مناسب دانشگاه، صنعت و دولت	(4.33 7.67, 6.33, 2.67, 0.67)	4.12	2
	اجرای برنامه‌ها و فعالیت‌های آگاه‌سازی در رابطه با خدمات	(4.33, 3.67, 5.33, 5.33, 3.67)	4.25	2
	برقراری پیوند با صاحبان دانش و فناوری خارجی	(2.67, 5.33, 7.67, 3.67, 0.67)	3.09	2
	گسترش و تحکیم ارتباط در طول زنجیره تامین	(4.33, 3.67, 7.33, 5.67, 2.33)	4.35	2
یادگیری	یادگیری عملی، تعاملی و به اشتراک‌گذاری دانش	(2.33, 3.67, 6.67, 6.67, 3.33)	4.21	1
	فعالیت‌های آگاه‌سازی در مورد فناوری‌های در حال ظهور	(2.33, 5.0, 6.333, 3.33, 0.67)	3.01	2
	تاسیس و گسترش شرکت‌های دانش بنیان	(1.33, 4.67, 9.00, 4.67, 1.67)	2.75	3
	فعالیت‌های علمی (کنفرانس‌های علمی و انتشار مجلات)	(3.67, 5.33, 6.33, 5.33, 2.67)	4.02	1
	تدوین برنامه هدفمند جهت انباشت لایه‌های موردنیاز	(4.33, 6.67, 5.67, 5.33, 1.33)	4.28	1
	مستندسازی و تحلیل تجارب مرتبط در میادین داخلی	(2.33, 5.67, 6.00, 5.67, 1.67)	3.90	2
منابع انسانی	تربیت نیروی انسانی متخصص در حوزه ژئومکانیک	(4.33, 5.0, 6.333, 3.33, 0.67)	4.41	1
	تعریف جایگاه شغلی مشخص برای ژئومکانیک	(4.67, 2.67, 6.33, 6.33, 5.67)	4.07	1
	برنامه‌ریزی مشخص برای آموزش نیروی انسانی	(2.33, 5.00, 5.67, 5.33, 1.33)	3.78	3
	آشناسازی متخصصان شرکت‌ها با حوزه ژئومکانیک	(2.33, 4.67, 5.33, 7.00, 3.67)	3.53	3
مدیریت و استراتژیک	باورپذیری در مدیران (دیدگاه مدیران) ارشد	(4.33, 5.67, 5.33, 4.33, 2.00)	4.65	1
	وجود برنامه راهبردی کلان	(4.67, 6.33, 7.33, 3.67, 0.67)	4.71	1
	تدوین برنامه مشخص و دوره‌بندی توسعه توانمندی‌ها	(4.67, 3.33, 5.00, 5.67, 3.33)	4.11	1
	درک پتانسیل‌های حاصل از پیشرفت‌های جدید فناوری	(2.33, 5.67, 7.00, 4.00, 1.33)	3.02	3
	پایش محیط برای شناسایی فرصت‌ها و تهدیدهای محیطی	(2.67, 6.33, 5.33, 2.67, 0.67)	3.21	3
	شناسایی نقاط قوت و ضعف صنعت در حوزه ژئومکانیک	(2.33, 6.67, 7.00, 3.33, 0.67)	3.37	3
	تعیین سازوکار سازمانی برای ژئومکانیک	(2.67, 4.33, 5.67, 7.67, 3.33)	3.88	2
فنی، اجرایی	فراگیری مدل‌های سه بعدی و چهار بعدی ژئومکانیکی	(4.33, 6.67, 7.00, 3.33, 0.67)	4.25	1
	ایجاد پایگاه داده برای داده‌های ژئومکانیک	(4.67, 2.33, 5.67, 9.33, 4.33)	4.37	1
	توسعه توانمندی طراحی و مهندسی در حوزه ژئومکانیک	(7.67, 6.33, 3.33, 2.67, 1.33)	4.21	1
	تاسیس شرکت‌های خدمات‌دهنده مستقل در حوزه ژئومکانیک	(3.67, 5.33, 5.67, 4.33, 2.33)	3.86	2
مکمل	ارزیابی، جذب و بکارگیری فناوری‌های سازگار با ژئومکانیک	(4.33, 7.33, 3.67, 2.00, 0.67)	4.06	1
	بازارسنجی و شکل‌دهی به بازار خدمات ژئومکانیک	(3.33, 4.67, 5.33, 4.33, 2.00)	3.91	2
	شکل‌دهی به زنجیره تامین خدمات ژئومکانیک	(3.67, 6.33, 7.33, 3.67, 0.67)	4.17	1
	مدیریت یکپارچه بین واحدهای طراحی-زمین‌شناسی و حفاری	(4.67, 3.33, 5.00, 5.67, 3.33)	4.22	1

با تحلیل مصاحبه‌های خبرگان با رویکرد تحلیل مضمون، توانمندی‌های فناورانه در حوزه ژئومکانیک نفت و گاز در ۷ مضمون سازمان‌دهنده و ۳۴ مضمون پایه شناسایی و دسته‌بندی شدند. مضامین سازمان‌دهنده شامل توانمندی سرمایه‌گذاری با ۴ مضمون پایه، توانمندی پیوند/ شبکه‌سازی با ۵ مضمون پایه، توانمندی یادگیری با ۶ مضمون پایه، توانمندی منابع انسانی با ۴ مضمون پایه، توانمندی مدیریت و استراتژیک با ۷ مضمون پایه، توانمندی فنی، اجرایی با ۴ مضمون پایه، توانمندی مکمل با ۴ مضمون پایه تشکیل شده است.

سپس، با انجام دلفی خاکستری ابعاد و مولفه‌های توانمندی‌های فناورانه به ترتیب اهمیت در پنج کلاس دسته‌بندی شدند.

بر این اساس، باورپذیری در مدیران (دیدگاه مدیران) ارشد، وجود برنامه راهبردی کلان و دسترسی به منابع اعتباری کافی از بالاترین اهمیت برخوردار شدند.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

تفاوت در ساختار میدان‌های نفتی و نیاز به دانش مکانی خاص، فرصت‌های جذابی را برای تامین‌کنندگان داخلی مرتبط با فعالیت‌های منبع‌محور در کشورهای درحال‌توسعه فراهم می‌کند [۵۶ - ۵۹]، در این راستا، یادگیری عملی، تعاملی و به اشتراک‌گذاری دانش، تدوین برنامه هدفمند جهت انباشت لایه‌های دانشی موردنیاز، فعالیت‌های علمی (کنفرانس‌های علمی و انتشار مجلات) و مستندسازی و تحلیل تجارب مرتبط در میادین داخلی در تدوین و گسترش دانش محلی به شرکت‌ها کمک شایانی می‌کند تا با توسعه راه‌حل‌های مبتنی بر دانش، روش‌هایی کارآمدتر، اثرگذارتر و مولدتر ایجاد کنند و وارد مراحل پویاتر و امیدوارکننده‌تری از زنجیره ارزش تولید و اکتشاف نفت و گاز شوند.

بکارگیری فناوری‌های جدید برای تامین‌کنندگان معدنی دانش‌محور، جهت توسعه راه‌حل‌های نوآورانه مذکور، همانطور که مطالعات اخیر در شیلی، استرالیا، آفریقای‌جنوبی یا پرو [۳۱، ۱۰۸ - ۱۱۱]، نشان داده، از اهمیت بسیاری برخوردار است. توسعه و استفاده از فناوری‌های شکست هیدرولیکی که ابتدا در ایالات متحده آغاز شد، یک تغییر بزرگ در صنعت ایجاد کرد. در ۲۰ سال گذشته، ترکیب فناوری‌های حفاری افقی با تحریکات موازی متعدد توسط شکست‌های هیدرولیکی منجر به ذخایر قابل بازیابی غیرمنتظره‌ای شده که می‌تواند در استفاده از منابع نفتی نامتعارف (از طریق با داوم‌سازی مقادیر زیادی از ذخایر نفت و گاز شیل تنگ) مفید باشد. بنابراین، در شرایط و محیط رقابتی فعلی، هم سرمایه‌گذاری‌های بالغ (سرزمین‌های اصلی و آب‌های عمیق) و هم سرمایه‌گذاری‌های نوظهور (ذخایر نامتعارف) از نظر استراتژیک مهم هستند. در نتیجه، وجود برنامه راهبردی کلان، سرمایه‌گذاری هدفمند، تدوین برنامه مشخص و دوره‌بندی توسعه توانمندی‌ها و درک پتانسیل‌های حاصل از پیشرفت‌های جدید فناوری در این حیطه می‌تواند نقش ثمربخشی جهت توسعه صنعت نفت و گاز ایران ایفاء نماید.

در تاریخچه کوتاه اکتشاف و تولید از منابع نامتعارف، شرکت‌های بزرگ نفت و گاز مجبور بودند با شرکت‌های مستقلی که فناوری شکاف هیدرولیک را کشف و توسعه داده‌اند (Mitchell Energy, now Devon) همکاری کنند [۵۵]، پس، ایجاد و اجرای توانمندی‌های سازمانی و مدیریتی (چه در داخل و چه در اکوسیستم شرکت)، تخصیص منابع مالی کافی (سرمایه‌گذاری‌های بالغ و نوظهور)، جذب و فراگیری فناوری‌های تخصصی و تربیت منابع انسانی متخصص و ایجاد واحدهای سازمانی مجزا و درعین‌حال حصول اطمینان از فرآیندهایی که پیوند هر یک از واحدها را به روش‌های ارزش‌آفرین ایجاد می‌کنند، می‌تواند به ایجاد فرصت برای غلبه بر چالش‌ها، کاهش خطرات حفظ مزیت رقابتی منجر شود.

تقویت ارتباط جهت افزایش سطح همکاری بخش‌های صنعت، دانشگاه و خدمات، بهره‌گیری از توانمندی‌ها، گسترش سطح همکاری و توسعه کیفی فعالیت‌های دانشگاه برای توسعه ژئومکانیک انرژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱۱۲]، براین اساس، ایجاد ارتباط مناسب دانشگاه، صنعت و دولت برای ارائه قوی خدمات دانش‌محور در داخل و ایجاد تعاملات سازنده کلیدی است. برای یادگیری و انتقال نیازهای شرکت‌های معدنی، علاوه بر کانال‌های رسمی، کانال‌های غیررسمی نیز نقش مهمی ایفا می‌کنند. گسترش تعاملات فنی غیررسمی بین دانشگاه، تامین‌کنندگان و

شرکت‌های معدنی معتبر می‌تواند برای تامین‌کنندگان داخلی؛ فرصت یادگیری، انطباق و توانمندی‌های بنیادی را بوجود بیاورد. در این فرایند، سرمایه‌گذاری مشترک با تولیدکنندگان با تجربه، یادگیری را تسریع می‌کند.

رشد شرکت‌های خدمات‌دهنده نفت و گاز، افزایش برون‌سپاری بسیاری از فعالیت‌ها که زمانی «هسته» در نظر گرفته می‌شدند را به همراه داشته است [۴]. بنابراین کسب توانایی‌های فنی برای موفقیت سرمایه‌گذاری بسیار مهم است. فراگیری مدل‌های سه بعدی و چهار بعدی ژئومکانیکی، ایجاد پایگاه داده برای داده‌های ژئومکانیک و توسعه توانمندی طراحی و مهندسی ضروری است.

توسعه و استقرار فناوری‌های جدید از طریق تحقیق و توسعه داخلی یکی از فعالیت‌های مهم است. با این حال، در محیط‌هایی با تغییرات سریع، اغلب از منابع خارجی دانش استفاده می‌شود. شرکت‌ها باید هسته و همچنین پیرامون اکوسیستم کسب و کار خود را برای موارد جدید مرتبط پایش کنند. بنگاه‌ها می‌توانند از طریق توانمندی‌های پیوند و یادگیری بخوبی ایده، اطلاعات و دانش را شناسایی، کسب، تبدیل و به اشتراک بگذارند که منجر به بهبود عملکرد آنها خواهد شد.

تحلیل‌های کمّی و کیفی بیشتری از تامین‌کنندگان معدنی بویژه در حوزه نفت و گاز برای کشورهای درحال‌توسعه برای عمق‌بخشی به درک موضوع و ارائه بینش مفید برای طراحی سیاست‌ها مورد نیاز است.

۶. سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله نویسندگان، از انجمن ژئومکانیک نفت ایران و پژوهشکده بهره‌وری صنعت نفت دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، بخصوص جناب آقایان دکتر حسن قاسم‌زاده و دکتر هرمز قلاوند که صمیمانه در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

۷. مراجع

[1] Tonysheva, L., Yakunina, O., & Yakunin, D. (2019). Modelling oilfield service companies strategic development: the matrix approach. Espacios, 40(30), 17.

[۲] توردو سیلوانا، وارنر مایکل، مانزانو اوسمل، انوتی یحیی ترجمه نوری بهروز، رضاپور مرتضی، علی پور یگانه رضا، (۱۳۹۶)، سیاست‌های بومی‌سازی در بخش نفت و گاز: از مجموعه گزارش‌های مطالعاتی بانک جهانی، تهران، پژوهشگاه صنعت نفت.

[3] Victor, D. G., Hults, D. R., & Thurber, M. C. (Eds.). (2011). Oil and governance: state-owned enterprises and the world energy supply. Cambridge University Press.

[4] Kumar, R., & Markeset, T. (2007). Development of performance-based service strategies for the oil and gas industry: a case study. Journal of Business & Industrial Marketing, 22(4), 272-280.

[5] Van Hung, N. (2020). Overview of Geomechanics and its applications to petroleum industry–a case study for minimum overbalance pressure calculation. In CIGOS 2019, Innovation for Sustainable Infrastructure: Proceedings of the 5th International Conference on Geotechnics, Civil Engineering Works and Structures (pp. 739-744). Springer Singapore.

[6] Ghoreishian Amiri, S. A., Sadrnejad, S. A., Ghasemzadeh, H., & Montazeri, G. H. (2013). Application of control volume based finite element method for solving the black-oil fluid equations. Petroleum Science, 10, 361-372.

[7] Amiri, S. G., Sadrnejad, S. A., & Ghasemzadeh, H. (2017). A hybrid numerical model for multiphase fluid flow in a deformable porous medium. Applied Mathematical Modelling, 45, 881-899.

[8] Taheri, E., Sadrnejad, S. A., & Ghasemzadeh, H. (2015). Multiscale geomechanical model for a deformable oil reservoir with surrounding rock effects. International journal for multiscale computational engineering, 13(6).

[9] Karev, V., Kovalenko, Y., & Ustinov, K. (2020). Geomechanics of oil and gas wells. Springer.

[10] Radwan, A. E. (2022). Drilling in complex pore pressure regimes: analysis of wellbore stability applying the depth of failure approach. Energies, 15(21), 7872.

[11] Radwan, A. E. (2022). A multi-proxy approach to detect the pore pressure and the origin of overpressure in sedimentary basins: An example from the Gulf of Suez rift basin. Frontiers in Earth Science, 10, 967201.

[12] Radwan, A. E., Abudeif, A. M., Attia, M. M., Elkhawaga, M. A., Abdelghany, W. K., & Kasem, A. A. (2020). Geopressure evaluation using integrated basin modelling, well-logging and reservoir data analysis in the northern part of the Badri oil field, Gulf of Suez, Egypt. Journal of African Earth Sciences, 162, 103743.

[13] Mirzaghorbanali, A., Fathianpour, N., Ghasemzadeh, H., & Salarian, M. (2011). A new approach in casing collapse design using the geomechanical model and heaviest drilling fluid. Petroleum science and technology, 29(18), 1948-1962.

[14] Salarian, M., Mirzaghorbanali, A., Ghasemzadeh, H., & Sadeghian, S. (2012). Well bore stability using a new dynamic model. Petroleum science and technology, 30(19), 2066-2075.

[۱۵] قاسم زاده, حسن, صدرنژاد, سید امیرالدین, & خدائی اردبیلی. (۲۰۱۷). ارایه یک مدل توام ژئومکانیکی-هیدرودینامیکی برای پیش‌بینی ماسه‌دهی. نشریه علمی ژئومکانیک نفت, ۱ (۱), ۶۸-۸۱.

[16] Sadrnejad, S. A., Ghasemzadeh, H., & Khodaei Ardabili, A. (2018). A Finite Element Model for Simulating Flow around a Well with Helically Symmetric Perforations. Journal of Engineering Geology, 12, 159.

[17] Radwan, A. E. (2021). Modeling pore pressure and fracture pressure using integrated well logging, drilling based interpretations and reservoir data in the Giant El Morgan oil Field, Gulf of Suez, Egypt. Journal of African Earth Sciences, 178, 104165.

[18] Al-Ajmi, A. M., & Zimmerman, R. W. (2006). Stability analysis of vertical boreholes using the Mogi–Coulomb failure criterion. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 43(8), 1200-1211.

[19] Aadnoy, B. S., & Looyeh, R. (2019). Petroleum rock mechanics: drilling operations and well design. Gulf professional publishing.

[20] Dusseault, M. B. (1993, February). Stress changes in thermal operations. In SPE International Thermal Operations and Heavy Oil Symposium (pp. SPE-25809). SPE.

[21] Dusseault, M. B., & Gray, K. E. (1992, February). Mechanisms of stress-induced wellbore damage. In SPE International Conference and Exhibition on Formation Damage Control (pp. SPE-23825). SPE.

[22] Zoback, M. D., & Byerlee, J. D. (1976). Effect of high-pressure deformation on permeability of Ottawa sand. AAPG Bulletin, 60(9), 1531-1542.

[23] Sadrnejad, S. A., Ghasemzadeh, H., & Taheri, E. (2013). Multiscale advance features in modeling oil transport in porous media. In 21st annual international conferences on mechanical engineering, Tehran.

[24] Sadrnejad, S. A., Ghasemzadeh, H., & Taheri, E. (2014). Multiscale multiphysic mixed geomechanical model in deformable porous media. International Journal for Multiscale Computational Engineering, 12(6).

[۲۵] صنایع پسند, محمد, قاسم‌زاده, حسن. (۲۰۱۷). مدل چندمقیاسی تغییر شکل پذیر برای مخازن متخلخل نفتی با درنظر گرفتن موئینگی. نشریه علمی ژئومکانیک نفت, ۱ (۲), ۴۰-۵۹.

[26] Ghasemzadeh, H., & Pasand, M. S. (2019). Modeling of oil transport in porous media using multiscale method with adaptive mesh refinement. In Energy Geotechnics: SEG-2018 (pp. 475-485). Springer International Publishing.

[27] Ghasemzadeh, H. (2019). Multiscale multiphysic mixed geomechanical model for deformable porous media considering the effects of surrounding area. Oil Geomechanic, 3(1), 79-99.

[28] Ghasemzadeh, H., & Nikouii, S. (2022). Numerical Investigation of oil recovery due to nanofluid injection into the oil reservoirs. Journal of Petroleum Geomechanics, 5(3), 61-73.

[29] Ghasemzadeh, H. (2008). Heat and contaminant transport in unsaturated soil.

[30] Changizi, F., Razmkhah, A., Ghasemzadeh, H., & Amelsakhi, M. (2021). Effect of oil-contamination on behavior of geocell-reinforced soil abutment wall. Journal of Petroleum Geomechanics; Vol, 4(1).

[31] Stubrin, L. (2018). Reprint of: Innovation, learning and competence building in the mining industry. The case of knowledge intensive mining suppliers (KIMS) in Chile. Resources Policy, 58, 62-70.

[32] Auty, R. (2002). Sustaining development in mineral economies: the resource curse thesis. Routledge.

[33] Sachs, J. D., & Warner, A. (1995). Natural resource abundance and economic growth.

[34] Sachs, J. D., & Warner, A. M. (1999). The big push, natural resource booms and growth. Journal of development economics, 59(1), 43-76.

[35] Wang, S., Tian, W., & Lu, B. (2023). Impact of capital investment and industrial structure optimization from the perspective of" resource curse": Evidence from developing countries. Resources Policy, 80, 103276.

[36] David, A. P., & Wright, G. (1997). Increasing returns and the genesis of American resource abundance. Industrial and Corporate Change, 6(2), 203-245.

[37] Ville, S., & Wicken, O. (2013). The dynamics of resource-based economic development: evidence from Australia and Norway. Industrial and Corporate change, 22(5), 1341-1371.

[38] Yilanci, V., Turkmen, N. C., & Shah, M. I. (2022). An empirical investigation of resource curse hypothesis for cobalt. Resources Policy, 78, 102843.

[39] Sachs, J. D., & Warner, A. M. (2001). The curse of natural resources. European economic review, 45(4-6), 827-838.

[40] Katz, J., & Pietrobelli, C. (2018). Natural resource-based growth, global value chains and domestic capabilities in the mining industry. Resources Policy, 58, 11-20.

[41] Janda, K., & Quarshie, G. (2017). Natural Resources, Oil and Economic Growth in Sub-Saharan Africa.

[42] Iimi, A. (2007). Escaping from the Resource Curse: Evidence from Botswana and the Rest of the World. IMF Staff Papers, 54(4), 663-699.

[43] Ma, Y., & Wang, F. (2023). Dutch disease via remittances and natural resources: a perspective of global economy. Resources Policy, 80, 103248.

[44] Gu, X., Alamri, A. M., Ahmad, M., Alsagr, N., Zhong, X., & Wu, T. (2023). Natural resources extraction and green finance: Dutch disease and COP27 targets for OECD countries. Resources Policy, 81, 103404.

[45] Bravo-Ortega, C., & Muñoz, L. (2021). Mining services suppliers in Chile: A regional approach (or

lack of it) for their development. Resources Policy, 70, 101210.
[46] Auty, R. (2006). Mining enclave to economic catalyst: large mineral projects in developing countries. The Brown Journal of World Affairs, 13(1), 135-145.
[47] Hirschman, Albert Otto. (1958). The strategy of economic development. New Haven, Conn: Yale Univ. Press. ISBN 0-300-00117-7. OCLC 265036663
[48] Grossman, G. M. (1981). The theory of domestic content protection and content preference. The Quarterly Journal of Economics, 96(4), 583-603.
[49] Hausmann, R., Rodrik, D., & Sabel, C. (2008). Reconfiguring industrial policy: a framework with an application to South Africa.
[50] Geodecki, T., & Zawicki, M. (2023). The domestication of value chains through local content requirements: Can interconnected economies benefit from the Chinese experience? International Entrepreneurship Review, 9(2), 87-110.
[51] Bond, J., & Fajgenbaum, J. (2014). Harnessing natural resources for diversification. Global journal of emerging market economies, 6(2), 119-143.
[52] Ovadia, J. S. (2020). Natural resources and African economies: asset or liability? The Palgrave Handbook of African Political Economy, 667-677.
[53] Lebdioui, A. (2020). Local content in extractive industries: Evidence and lessons from Chile's copper sector and Malaysia's petroleum sector. The Extractive Industries and Society, 7(2), 341-352.
[54] Oil 2023 Analysis and forecast to 2028, International Energy Agency, (IEA, 2023), https://www.iea.org/
[55] Shuen, A., Feiler, P. F., & Teece, D. J. (2014). Dynamic capabilities in the upstream oil and gas sector: Managing next generation competition. Energy Strategy Reviews, 3, 5-13.
[56] Owen, N. A., Inderwildi, O. R., & King, D. A. (2010). The status of conventional world oil reserves—Hype or cause for concern? Energy policy, 38(8), 4743-4749.
[57] Marin, A., & Stubrin, L. (2015). KIBS associated to natural resource-based industries: seeds innovation and regional providers of the technology services embodied in seeds in Argentina and Brazil, 2000-2014.
[58] Iizuka, M., & Katz, J. (2015). Globalisation, Sustainability and the Role of Institutions: The Case of the C hilean Salmon Industry. Tijdschrift voor economische en sociale geografie, 106(2), 140-153.
[۵۹] علی زاده بهرام, جنت مکان ندا, قلاوند هرمز, غبیشاوی علی. (۱۳۹۱)، زمین شیمی و چینه نگاری سکانسی سازند پابده در میدان نفتی منصوری، جنوب غرب ایران.
[60] Wenrui, H., Jingwei, B., & Bin, H. (2013). Trend and progress in global oil and gas exploration. Petroleum Exploration and Development, 40(4), 439-443
[61] Geomechanics Software and Service Market Outlook (2022-2032), https://www.futuremarketinsights.com/reports/geomechanics-software-and-service-market
[62] Culter, T. (2012). The Australian experience of innovation driving productivity and competitiveness in the mining sector. In Cochilco Seminar, Santiago Chile, December.
[63] Ghasemzadeh, H., Babaei, S., Tesson, S., Azamat, J., & Ostadhassan, M. (2021). From excess to absolute adsorption isotherm: The effect of the adsorbed density. Chemical Engineering Journal, 425, 131495.
[64] Babaei, S., Ostadhassan, M., Moallemi, S. A., Rashidi, M., Ghasemzadeh, H., & Kadkhodaie, A. (2023). Study of methane adsorption in calcite mineral pores in shale gas reservoirs by molecular simulations. Journal of Petroleum Research, 32(1401-6), 37-48.
[۶۵] قاسم زاده, حسن, بابائی, سعید. (۲۰۲۲). تعیین جذب مطلق همدما در مخازن شیل گازی. نشریه علمی ژئومکانیک نفت, ۵ (۱), ۱-۱۶.
[66] Salisu, Y., & Bakar, L. J. A. (2019). Technological capability, relational capability and firms' performance: The role of learning capability. Revista de Gestão, 27(1), 79-99.
[67] Madhani, P. M. (2010). The resource-based view (RBV): issues and perspectives. PACE, A Journal of Research of Prestige Institute of Management, 1(1), 43-55.
[68] Bell, M., & Pavitt, K. (1993). Technological accumulation and industrial growth: contrasts between developed and developing countries. Industrial and corporate change, 2(2), 157-210.
[69] Tello-Gamarra, J., & Fitz-Oliveira, M. (2021). Literature on technological capability: past, present and future. International Journal of Innovation Science, 13(4), 401-422.
[70] Ahmed, W., Najmi, A., Mustafa, Y., & Khan, A. (2019). Developing model to analyze factors affecting firms' agility and competitive capability: A case of a volatile market. Journal of Modelling in Management, 14(2), 476-491.
[71] Bergek, A., Tell, F., Berggren, C., & Watson, J. (2008). Technological capabilities and late shakeouts: industrial dynamics in the advanced gas turbine industry, 1987–2002. Industrial and Corporate Change, 17(2), 335-392.
[72] Wang, Y., Lo, H. P., Zhang, Q., & Xue, Y. (2006). How technological capability influences business performance: An integrated framework based on the contingency approach. Journal of Technology Management in China, 1(1), 27-52.
[73] Lall, S. (1992). Technological capabilities and industrialization. World development, 20(2), 165-186.
[74] Rungsithong, R., Meyer, K. E., & Roath, A. S. (2017). Relational capabilities in Thai buyer-supplier relationships. Journal of Business & Industrial Marketing, 32(8), 1228-1244.
[75] Mat, A., & Razak, R. C. (2011). The influence of

organizational learning capability on success of technological innovation (product) implementation with moderating effect of knowledge complexity. International Journal of Business and Social Science, 2(17).
[76] Martins, J. T., & Canhoto, R. (2016). Leveraging new knowledge with relational capabilities: An investigation of rural school libraries in southern Portugal. Library Review, 65(6/7), 386-403.
[77] Park, D. U., Park, H., Kim, Y., Baek, S., Lee, D., Jang, Y., ... & Rodriguez, F. S. (2021). The Role of Science, Technology and Innovation Policies in the Industrialization of Developing Countries.
[78] Wieland, A., & Wallenburg, C. M. (2013). The influence of relational competencies on supply chain resilience: a relational view. International journal of physical distribution & logistics management, 43(4), 300-320.
[79] Albort-Morant, G., Leal-Rodríguez, A. L., & De Marchi, V. (2018). Absorptive capacity and relationship learning mechanisms as complementary drivers of green innovation performance. Journal of Knowledge Management, 22(2), 432-452.
[80] Baark, E., Antonio, K. W., Lo, W., & Sharif, N. (2011, April). Innovation sources, capabilities and competitiveness: Evidence from Hong Kong firms. In DIME final conference (Vol. 6, p. 8).
[81] Arrow, K. J. (1962). The economic implications of learning by doing. The review of economic studies, 29(3), 155-173.
[82] Ray, A. S. (2008). Emerging through technological capability: an overview of India's technological trajectory.
[83] Von Hippel, E., & Tyre, M. J. (1995). How learning by doing is done: problem identification in novel process equipment. Research policy, 24(1), 1-12.
[84] Lundvall, B. Å. (2004). The economics of knowledge and learning. In Product inovation, interactive learning and economic performance (Vol. 8, pp. 21-42). Emerald Group Publishing Limited.
[85] Rosenberg, N. (1982). Inside the black box: technology and economics. cambridge university press.
[86] Creswell, J. W. (2014). A concise introduction to mixed methods research. SAGE publications.
[87] Silverman, D. (2019). Interpreting qualitative data. Interpreting Qualitative Data, 1-568.
[88] Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. Sage publications.
[89] Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2016). Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches. Sage publications.
[90] Mik-Meyer, N. (2020). Multimethod qualitative research. Qualitative research, 5, 357-374.
[91] Esterberg, K. G. (2002). Qualitative Methods in Social Research. NY, New York: McGraw-Hill.
[92] Sade-Beck, L. (2004). Internet ethnography: Online and offline. International Journal of Qualitative Methods, 3(2), 45-51.
[93] Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative research in psychology, 3(2), 77-101.
[94] Boyatzis, R. E. (1998). Transforming qualitative information: Thematic analysis and code development. sage.
[۹۵] خنیفر حسین، مسلمی ناهید، (۱۳۹۵) اصول و مبانی روش‌های پژوهش کیفی (جلد ۱)، انتشارات نگاه دانش، چاپ اول
[96] Patton, M. Q. (1990). Qualitative evaluation and research methods. SAGE Publications, inc.
[97] Medawar, P. B. (2013). Induction and intuition in scientific thought. Routledge.
[98] King, N., & Horrocks, C. (2010). An introduction to interview data analysis. Interviews in qualitative research, 142, 174.
[99] Attride-Stirling, J. (2001). Thematic networks: an analytic tool for qualitative research. Qualitative research, 1(3), 385-405.
[100] Anderson, R. (2007). Thematic content analysis (TCA). Descriptive presentation of qualitative data, 3, 1-4.
[101] Brooks, J., Horrocks, C., & King, N. (2018). Interviews in qualitative research. Interviews in qualitative research, 1-360.
[102] Deng Julong (1982). Control problems of Grey Systems, Systems and Control Letters, 5,288-94.
[103] Deng Julong (1989). Introduction to grey system theory. The Journal of grey system, 1(1), 1-24.
[104] Tseng, M. L. (2009). A causal and effect decision making model of service quality expectation using grey-fuzzy DEMATEL approach. Expert Systems with Applications, 36(4), 7738–7748.
[105] Bhatia, M. S., & Srivastava, R. K. (2018). Analysis of external barriers to remanufacturing using grey-DEMATEL approach: An Indian perspective. Resources, Conservation and Recycling, 136, 79-87.
[106] Aria Andrea, Jafari Parivash, Behifar Maryam, (2020), The Impediments to Student Engagement: A Hybrid Method Based on Fuzzy Delphi and Fuzzy DEMATEL, World Journal of Education, Vol 10, No 5.
[107] Ma, Z., Shao, C., Ma, S. & Ye, Z. (2011). Constructing road safety performance indicators using fuzzy Delphi method and grey Delphi method, Expert Syst. Appl., vol. 38, no. 3, pp. 1509–1514.
[108] Scott-Kemmis, D. (2013). How about those METS. Leveraging Australia’s mining equipment, technology and services sector. Sydney: Minerals Council of Australia.
[109] Kuramoto, J., & Sagasti, F. (2006). Innovation in resource-based technology clusters: investigating the lateral migration thesis: cleaning pollution: from mining to environmental remediation.
[110] Bamber, P., Fernandez-Stark, K., & Gereffi, G. (2016). Peru in the mining equipment global value chain: Opportunities for Upgrading.

[111] Kaplan, D. (2012). South African mining equipment and specialist services: Technological capacity, export performance and policy. Resources Policy, 37(4), 425-433.

[۱۱۲] یاوری, ماندانا, جعفری, پریوش, قورچیان, نادرقلی, زمانی, اصغر. (۱۴۰۲). سازو کارهای دستیابی به مزیت رقابتی گرایش ژئومکانیک نفت در دانشگاه‌های سطح یک شهر تهران. نشریه علمی ژئومکانیک نفت, ۶ (۱), ۱۲-۱.