Strategic Technology Planning in Science-Based Subsectors of Petroleum Industry: The Case Study of R&D Roadmapping for Geochemical Exploration Technologies

Hadi Nilforoushan[1]

Abstract

Strategic planning of technology in Iran's oil industry has a long history, however, the knowledge-based sectors of the oil industry, despite their different characteristics, have been less exposed to such experiences, and hence the study of the experience in one of the key sub-sectors of this industry, namely the exploration geochemical sector, can be innovative. This article seeks to answer three questions: Technological targets of Iran's oil industry in the field of exploration geochemistry with an emphasis on petroleum systems modeling? Technology priorities in this field in the next 10 years? And the right way to realize these priorities? Using the roadmapping as a tool, the technology tree of this sector was drawn and the technology priorities were identified and based on the criteria of attractiveness (including technical and commercial criteria) and capability, they were ranked. Also, in a ten-year schedule and in the form of nine research projects, the path to achieving these technologies was determined.

Keywords

Technology Roadmap, Petroleum Exploration, Exploration Geochemistry, Strategic Planning of Technology, Science-based Industries

1. Science and Technology Policy, Sharif University of Technology, Assistant Professor, Science and Technology Policy Department, Research Institute of Science and Technology Studies, Shahid Beheshti University. h_nilforoushan@sbu.ac.ir

مقاله علمی ـ پژوهشی

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۵/۲۴ تاریخ پذیرش ۱۴۰۱ /۰۸/۲۴

برنامه‌ریزی راهبردی فناوری در بخش‌های دانش‌محور صنعت نفت: مطالعه موردی ترسیم نقشه راه فناوری‌های ژئوشیمیایی اکتشافی

هادی نیل‌فروشان[۱]

چکیده

برنامه‌ریزی راهبردی فناوری در صنعت نفت ایران سابقه‌ای قدیمی دارد، بااین‌حال، بخش‌های دانش‌محور صنعت نفت، علیرغم ویژگی‌های متفاوتی که دارند، کمتر در معرض تجارب این‌چنین بوده‌اند و ازاین‌رو مطالعهٔ تجربهٔ برنامه‌ریزی راهبردی فناوری دریکی از زیربخش‌های کلیدی این صنعت، یعنی بخش ژئوشیمیایی اکتشافی می‌تواند بدیع باشد. این مقاله به دنبال پاسخ به سه سؤال است: اهداف فناورانهٔ صنعت نفت ایران در بخش ژئوشیمی اکتشافی با تأکید بر مدل‌سازی سیستم‌های نفتی؟ اولویت‌های فناوری در این حوزه ظرف ده سال آینده؟ و مسیر مناسب برای تحقق این اولویت‌ها؟ براین اساس و با استفاده از ابزار نقشه‌راه، درخت فناوری‌های این بخش صنعت ترسیم شد و حوزه‌های فناورانه و فناوری‌های اولویت‌دار مشخص شده و بر اساس معیارهای جذابیت (شامل معیارهای فنی و تجاری) و توانمندی رتبه‌بندی شدند. همچنین در یک برنامهٔ زمانی ده ساله و در قالب نُه پروژهٔ تحقیقاتی، مسیر دستیابی به این فناوری‌ها مشخص شد.

واژگان کلیدی: نقشه‌راه فناوری، اکتشاف، ژئوشیمی اکتشافی، برنامه‌ریزی راهبردی فناوری، صنایع دانش‌محور

۱. دکترای سیاست‌گذاری علم و فناوری، دانشگاه صنعتی شریف، استادیار گروه سیاست‌گذاری علم و فناوری پژوهشکدهٔ مطالعات بنیادین علم و فناوری دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران h_nilforoushan@sbu.ac.ir

مقدمه

صنعت نفت یک صنعت فناوری محور است و فناوری در خلق ارزش در این صنعت نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند. (Speight, 2011) این اهمیت راهبردی، ایجاب می‌کند که برنامه‌ریزی راهبردی برای مدیریت این نهادۀ ارزش‌آفرین در این صنعت با جدیت دنبال شود. یکی از ویژگی‌های فناوری‌های صنعت نفت، تنوع و گوناگونی آن‌ها است، به‌گونه‌ای که تقریباً همه نوع‌شناسی‌های انجام‌شده در خصوص فناوری‌ها در صنعت نفت مصداق و نمونه دارند. (Saputelli,2016) تجارب و سوابق فعالیت‌های مطالعاتی انجام‌شده و منتشرشده در خصوص مدیریت راهبردی فناوری در صنعت نفت نشان می‌دهد که علیرغم توجه ممتد و تاریخی به مسئلۀ مدیریت راهبردی فناوری در صنعت نفت، در برخی بخش‌ها و ازجمله بخش‌های دانش‌محور صنعت نفت مانند بخش اکتشاف، تجارب مشخص و قابل مراجعه‌ای در سطح منابع و مقالات علمی وجود ندارد. (Atakhanova,2021) مراد از بخش دانش‌محور، بخش‌هایی است که مرز بین علم و فناوری بسیار گنگ و نامعلوم می‌شود، سهم دانش در ارائۀ سرویس یا خدمت یا تولید کالا یا محصول بالا می‌رود و سرمایه‌گذاری روی تحقیقات پایه به‌طور مستقیم بر ارتقای توانمندی فناورانه در این بخش‌ها به‌طور مستقیم اثر می‌گذارد. (Channell,2017). مدیریت فناوری در این بخش‌ها طبیعتاً با مدیریت فناوری در دیگر بخش‌ها متفاوت است و بااین‌حال، بخش بسیار اندکی از مطالعات علمی به تحلیل ابعاد مدیریت فناوری در بخش‌های دانش‌محور صنعت نفت اختصاص یافته است.

از سوی دیگر، علیرغم این‌که در صنعت نفت ایران همپای کشورهای دیگر و بلکه جلوتر از بسیار از آن‌ها مسئلۀ مدیریت راهبردی فناوری جدی گرفته‌شده و تجارب خوبی در این زمینه در داخل کشور وجود دارد، بااین‌حال تا قبل از تشدید تحریم‌های نفتی، بخش اکتشاف نفت به دلیل پیچیدگی دانش و فناوری در آن و نیز حساسیت بالای آن برای مدیران عالی کشور، همواره از خدمات و محصولات فناورانۀ شرکت‌های مطرح بین‌المللی استفاده می‌کرد و طبعاً در چنین شرایطی فرصت و مجال پرداخت به موضوع توسعۀ فناوری و برنامه‌ریزی راهبردی برای تحقق این هدف در داخل کشور فراهم نمی‌شد. تشدید موج تحریم‌ها و قطع همکاری شرکت‌های معتبر بین‌المللی که صاحب فناوری‌های پیشرفته بودند، باعث شد جنبش جدیدی در داخل شرکت ملی نفت ایران برای تأمین نیازهای فناورانه در بخش اکتشاف صورت بگیرد. ژئوشیمی اکتشافی یکی از بهترین مصادیق حوزه‌های دانش‌محور صنعت اکتشاف نفت است که تا پیش از

تحریم‌ها، عمدهٔ خدمات مرتبط، با آنکه به تحلیل نقاط تشکیل نفت در لایه‌های زیرین زمین و مسیر حرکت سیال در آن لایه‌ها بازمی‌گردد، توسط شرکت‌های مطرح خارجی انجام می‌شد. (Cohen, Kelley, Anand and Coker,2010)

پرسشی که این مطالعه به دنبال پاسخ به آن است این‌که با فرض ارادهٔ کشور برای تأمین نیازهای فناورانه در حوزهٔ ژئوشیمی اکتشافی، اهداف فناورانهٔ اصلی کدام‌اند و براین اساس، اولویت‌های فناورانه صنعت نفت کشور در این حوزه کدام‌اند و با فرض همهٔ محدودیت‌های موجود، مسیر دستیابی به این فناوری‌های هدف‌گذاری شده کدام‌اند. برای پاسخ به سؤالات یادشده، مقاله در سه بخش شکل گرفته است: در بخش نخست، سوابق تجارب برنامه‌ریزی راهبردی برای توسعهٔ فناوری در صنعت نفت مرور شده و اختصاصات برنامه‌ریزی برای بخش دانش‌محور تبیین شده است، در بخش دوم به تبیین روش تحقیق و چهارچوب نقشه‌راه فناوری پرداخته شده و توضیح داده شده است که متدولوژی حاکم براین پژوهش برای دستیابی به نتایج به‌دست‌آمده چه بوده است و در بخش نهایی به‌مرور دستاوردها و نتایج فرایند ترسیم نقشه‌راه فناوری پرداخته شده و تلاش شده به سؤالات اصلی مقاله در آن بخش پاسخ داده شود.

مبانی نظری و پیشینهٔ تحقیق

ابعاد فناورانهٔ صنعت نفت

هرچند مطابق تعاریف استاندارد، نمی‌توان صنعت نفت را در هیچ‌یک از سه زیربخش بالادستی، میان‌دستی و پایین‌دستی، «فناوری محور[1]» یا «فناوری بر[2]» دانست، ولی واضح است که فناوری برای این صنعت یک نهادهٔ بسیار مهم و راهبردی است، به‌گونه‌ای که هیچ‌کدام از اهداف مورد انتظار از این صنعت، بدون داشتن توانمندی‌های فناورانه و در اختیار داشتن فناوری‌های ارزش‌آفرین محقق‌شدنی نخواهند بود. آنچه از خلال مطالعات و پژوهش‌های گذشته مشخص است این‌که می‌توان صنعت نفت را به لحاظ فناوری دارای ویژگی‌های زیر برشمرد:

صنعت نفت به لحاظ فناوری، صنعتی بالغ است؛ یعنی حجم عمدهٔ فناوری‌های مورد استفاده در آن، به لحاظ جایگاه در چرخه عمر فناوری در موقعیتی قرار دارند که کارایی آن‌ها به اثبات رسیده و به شکل استاندارد مورد استفاده عموم کاربران صنعتی در

1. Technology based
2. Technology intensive

نقاط مختلف دنیا قرار می‌گیرند. انتظار پیدایش فناوری برافکن جدیدی چندان نمی‌رود و نوآوری‌های فناورانه در حوزه‌های فناوری عمدتاً تدریجی و در مسیر بهبود فناوری‌های موجود قرار دارد. (Von Tunzelmann and Acha,2006)

توسعه‌دهندگان فناوری‌های اصلی در صنعت نفت، غول‌های شناخته شده و مرجع در عرصهٔ بین‌المللی هستند. این غول‌ها که تعدادشان محدود است، به‌گونه‌ای بازار را راهبری و مدیریت نموده‌اند که عموماً ورود یک بازیگر جدید با چالش‌ها و موانع بسیار زیادی مواجه خواهد بود. حساسیت و هزینه‌های بالای توسعهٔ فناوری‌ها و تبعات مالی و حقوقی خروج از چارچوبی که این غول‌ها برای استفاده از این فناوری‌ها طراحی کرده‌اند، آن‌قدر زیاد هست که مسیر ورود بازیگران جدید را با دشواری و دست‌اندازهای فراوان مواجه سازد. (Hong and Yantao,2019)

این در شرایطی است که تعداد و میزان ذخایر نفتی شناخته شده در دنیا در حال افت بوده و در چنین شرایطی سرمایه‌گذاری برای ورود به عرصهٔ توسعهٔ فناوری با توجه به چشم‌اندازهای پیش رو چندان توجیه‌پذیر نیست. (Laherrère, Hall, and Bentley, 2022)

بااین‌حال، صنعت نفت به لحاظ حوزه‌های فناورانه یکی از وسیع‌ترین و جامع‌ترین صنایع است، به‌گونه‌ای که تقریباً تمام انواع فناوری‌ها که در ادبیات مدیریت فناوری از آن‌ها نام برده شده و تعریف شده‌اند، در این صنعت نمونه و مصداق دارند (Saputelli,2016)؛ فناوری‌های فرایندی، محصول و سیستمی هریک دارای نمونه‌های متنوع و متعددی در صنعت نفت هستند. (Moro,2003; Andersen and Gulbrandsen, 2020)

یکی دیگر از ویژگی‌های جالب فناوری در صنعت نفت آن است که به لحاظ نوع‌شناسی پویت هم تقریباً هر چهار مدل نوآوری‌های فناورانه در صنعت نفت به چشم می‌خورند. (Høyvarde Clausen,2013) از آن جمله، زیربخش‌هایی در صنعت نفت وجود دارند که می‌توان آن‌ها را «دانش‌محور» نامید. از یک منظر کلی، همهٔ صنایع مبتنی بر مفهوم علم هستند، ولی در این‌جا مراد آن است که تا چه اندازه علم در نوآوری‌های صنعتی ادغام شده و تحول‌آفرین شده است. به‌عنوان‌مثال، علوم ژنتیکی کل فرایند تحقیق‌وتوسعه را در صنایع دارویی متحول ساخته‌اند و یا فرایند مینیاتوری کردن مدارهای مجتمع مقیاس بزرگ، بدون شناخت فیزیکی مواد این مدارها در مقیاس نانو امکان‌پذیر نیست. این‌ها مواردی هستند که نشان می‌دهند علم به مفهوم کلاسیک آن می‌تواند در برخی حوزه‌های صنعتی نقش‌آفرینی جدی و متفاوتی داشته باشد. (Meyer-Krahmer and Schmoch,1998)

در صنعت نفت نیز بخش‌هایی وجود دارند که به ویژگی‌های صنایع دانش‌محور نزدیک هستند. به‌طورکلی، بخش‌های خدمات‌محور و تأمین‌کننده تجهیزات در صنعت نفت، از دیگر بخش‌ها و بخصوص از خود شرکت‌های عملیاتی فناوری‌بری بیشتری دارند؛ و ازآنجاکه صنعت اکتشاف نفت به‌شدت خدمت‌محور و تجهیزمحور است، حجم فناوری‌بری آن از دیگر بخش‌های صنعت نفت بالاتر و بیشتر است. (Perrons,2014)

بااین‌حال و علیرغم اهمیت زیاد این بخش در صنعت نفت، در حوزهٔ مطالعات راهبردی فناوری توجه چندانی به این زیربخش نشده است. دلایل متعددی وجود دارد که نشان می‌دهد زیربخش دانش‌محور صنعت نفت نیازمند مطالعات خاص در حوزهٔ مدیریت راهبردی فناوری است. برخی از این دلایل از قرار ذیل است:

الف. در بخش‌های دانش‌محور مرز بین علم و فناوری کم‌رنگ می‌شود و تعریف فناوری و طبعاً مدیریت آن نیز دارای دشواری‌ها و پیچیدگی‌های بیشتری می‌شود. (Channell,2017)

ب. در بخش‌های دانش‌محور، نقش و وزن دانشمندان پررنگ‌تر از بخش‌های دیگر است. ازاین‌رو، برنامه‌ریزی تحقیق‌وتوسعه با مشارکت و نقش‌آفرینی مؤثرتر دانشمندان شکل و ابعاد متفاوتی می‌یابد. (Meyer-Krahmer and Schmoch,1998)

ج. توسعهٔ فناوری‌های دانش‌بر، به دلیل امتزاج و آمیختگی مسائل علمی با مسائل توسعهٔ فناوری، مخاطرات و عدم قطعیت‌های بیشتری یافته و درنتیجه هدف‌گذاری و تعیین افق زمانی با دشواری بیشتری مواجه خواهد بود. (Lubik and Garnsey,2019)

درواقع برنامه‌ریزی فناوری در بخش‌های دانش‌محور با سه ابهام و چالش اصلی مواجه است: تعریف فناوری و مصادیق آن، مشارکت‌کنندگان و عدم قطعیت بالا.

بر اساس همین تحلیل و ویژگی‌های متفاوت است که مستندسازی و بیان تجربهٔ برنامه‌ریزی توسعهٔ فناوری در این بخش از صنعت نفت حائز اهمیت علمی بوده و درست بر همین اساس است که این مقاله به نگارش درآمده است. پرسش بنیادی و مهم این مقاله آن است که برنامه‌ریزی توسعهٔ فناوری در بخش‌های دانش‌محور صنعت نفت چگونه انجام پذیرفته و با توجه به ویژگی‌های سه‌گانه یادشده در بالا، چقدر الگوهای رایج در برنامه‌ریزی توسعهٔ فناوری در این بخش قابل‌استفاده خواهد بود. زیربخش انتخاب شده برای مطالعهٔ این موضوع، حوزهٔ ژئوشیمی اکتشافی است که به جهت ضرورت مناسب است ابتدا توضیحات مختصری در خصوص این بخش ارائه شود.

کاربرد ژئوشیمی در اکتشاف منابع هیدروکربنی و مدل‌سازی سیستم نفتی

در سال‌های اولیهٔ پیدایش صنعت نفت، عملیات اکتشافی هیچ‌گونه پایهٔ علمی نداشت و تنها با حدس و گمان و مشاهدات عینی مانند تراوش نفت به‌صورت چشمه یا گل‌فشان چاه‌هایی حفر می‌شدند که تنها تعداد بسیار اندکی از آن‌ها به نفت می‌رسیدند. به‌مرور و با پیشرفت علوم زمین، روش‌های اکتشافی متعدد به کار گرفته شدند که ازجملهٔ آن‌ها، علم ژئوفیزیک بود که در آن، با استفاده از خواص فیزیکی مواد تشکیل‌دهنده زمین، جنس و موقعیت لایه‌ها ارزیابی می‌شدند؛ اما باوجود استفاده از این روش‌ها هنوز احتمال دست‌یابی به منابع نفت و گاز کم بود.

در سال‌های اخیر برای دست‌یابی بیشتر و بهتر به منابع هیدروکربنی روشی جدید به نام ژئوشیمی نفت رشد و گسترش یافت. در چند دهه اخیر مراکز تحقیقاتی و علمی مختلف جهان تحقیقات ژئوشیمیایی انجام داده‌اند و امروزه اغلب شرکت‌های دنیا تحقیقات و مطالعات ژئوشیمی نفت را برای اکتشاف منابع هیدروکربنی الزامی می‌دانند و بدون انجام آن‌ها، حفاری نمی‌کنند. (شایسته و کمالی، ۱۳۹۱)

با به‌کارگیری علم ژئوشیمی و استفاده از تکنیک‌ها و تجهیزات مدرن امروزه نسبت چاه‌های کشف‌شده موفق به چاه‌های حفرشده ناموفق به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است، به‌طوری‌که با استفاده از آن ضریب موفقیت و دست‌یابی به منابع هیدروکربنی بیش از ۶۳ درصد افزایش پیدا می‌کند. (معماریانی و هریسینی، ۱۳۹۱)

از سوی دیگر مدل‌سازی حوضه‌های رسوبی و سیستم نفتی، روشی عددی برای شبیه‌سازی پدیده‌های زمین‌شناسی و مدل‌های دینامیکی است که در اکتشاف نفت و گاز وظیفهٔ شبیه‌سازی عددی پدیده‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمایی همچون زایش نفت و گاز، مهاجرت و تجمع را بر عهده دارد. هدف اصلی مدل‌سازی حوضه‌های رسوبی، یافتن نفت و گاز، ارزیابی اهداف اکتشافی و کاهش ریسک عملیات حفاری است. (Baur, Hosford Scheirer & Peters,2018)

در این مطالعه برای انجام فرایند برنامه‌ریزی توسعهٔ فناوری از ابزار نقشه‌راه استفاده شده است. طبق بررسی‌های انجام‌شده، پژوهش‌های متعددی در زمینهٔ ژئوشیمیاییِ اکتشاف در سطح صنعت نفت و دانشگاه‌های کشور انجام شده و اطلاعات مربوطه در دسترس است؛ اما بنا بر همین بررسی‌ها، تاکنون هیچ پروژه‌ای ازنقطه‌نظر «راهبردی» به موضوع ژئوشیمیایی اکتشاف نپرداخته است. به‌عبارتی در مقالهٔ پیش رو، برای نخستین بار و با نگاهی راهبردی به حوزهٔ ژئوشیمیایی اکتشاف ورود شده و این

گشایش به مدد ابزارهای کارای برنامه‌ریزی راهبردی چون نقشه‌راه فناوری، صورت گرفته است.

روش‌شناسی

مفاهیم پایه و کلیدی نقشه‌راه فناوری

هدف اصلی این مقاله، شناسایی اولویت‌های تحقیقاتی توسعهٔ فناوری‌های نوین ژئوشیمیایی اکتشافی است که با استفاده از متدولوژی ترسیم نقشه‌راه فناوری مشخص می‌شود. در یک تعریف ساده از نقشه‌راه، می‌توان گفت نموداری است بر محور زمان، متشکل از چندین لایه که هر لایه مربوط به مفهوم خاصی در سازمان است. توضیحات مربوط به لایه‌ها در شکل ۱ آمده است. (پورمحمد، پیمان‌خواه، صدقی، غفارزادگان و نیل‌فروشان، ۱۳۹۱) درواقع نقشه‌راه، روش ساده و گرافیکی برای توصیف آینده است و چارچوبی برای پشتیبانی از برنامه‌ریزی راهبردی به‌منظور توسعهٔ فناوری‌های منتخب ارائه می‌کند. (Phaal, Farrukh and Probert,2004)

شکل ۱. ساختار و منطق نقشهٔ راه فناوری

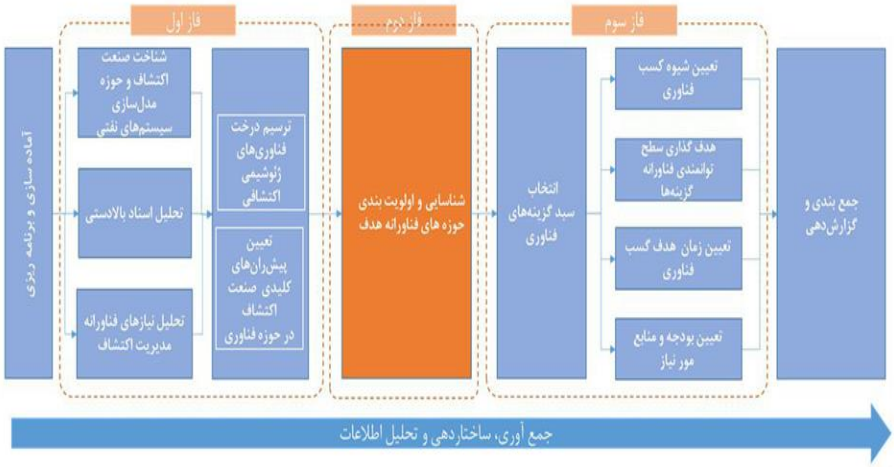
فرایند ترسیم نقشه‌راه

فرایند ترسیم نقشه‌راه شامل دو بُعد اصلی است: یکی معماری نقشه‌راه و دیگری برگزاری کارگاه‌ها. مراد از معماری نقشه‌راه، مشخص کردن افق زمانی ترسیم نقشه‌راه

بوده و دیگری تعریف دقیق هر لایه متناسب با مسئله‌ای که موضوع اصلی فرایند است. (Carvalho, Fleury and Lopes,2013) در جریان ترسیم نقشه‌راه توسعهٔ فناوری‌های ژئوشیمیایی اکتشافی، در ابتدای کار برای مشخص نمودن افق زمانی ترسیم نقشه‌راه و نیز مشخص نمودن کارشناسان و خبرگانی که باید در کارگاه‌های ترسیم نقشه‌راه شرکت نمایند، یک کارگروه کوچک متشکل از نمایندگان صنعت و دانشگاه تشکیل شد. این کارگروه، در جلسات نخست خود با توجه به حجم پیچیدگی‌های فناوری‌های حوزهٔ ژئوشیمی اکتشافی و این‌که به‌احتمال بسیار زیاد عمدهٔ مسیر دستیابی به این فناوری‌ها با تکیه‌بر کسب توانمندی داخلی بوده و به دلیل معضلات تحریم شاید نتوان به همکاری‌های فناورانه و انتقال دانش فنی به شکل وسیع و گسترده فکر کرد، افق زمانی تحقق اهداف نقشه‌راه را ده ساله مشخص نمود. این کارگروه کوچک، مسیر پیشنهادی برای ترسیم نقشه‌راه را بررسی و تصویب نمود و بر اساس آن، فهرست اسامی ۲۱ نفر از اساتید دانشگاه، محققین برجسته پژوهشگاهی، خبرگان صنعت و مدیران دولتی برای شرکت در کارگاه‌های چهارگانه ترسیم نقشه راه مشخص شدند.

همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، قدم‌های اساسی برای تدوین نقشه‌راه فناوری‌های حوزهٔ ژئوشیمیایی اکتشاف، در قالب سه فاز صورت‌بندی شده بود و مورد تصویب کارگروه نیز قرارگرفته بود. مقاله پیشِ رو، نتایج حاصل‌شده را تا انتهای فاز دوم (مشخص شده با رنگ نارنجی و با موضوع شناسایی و اولویت‌بندی حوزه‌های فناوری هدف) ارائه می‌کند.

شکل ۲. فرآیند تدوین نقشه‌راه فناوری‌های نوین ژئوشیمیایی اکتشافی



در فاز اول و گام نخست، فعالیت‌های لازم برای شناخت حوزهٔ مدل‌سازی و ژئوشیمیایی اکتشافی در دستور کار قرار گرفت و تمهیدات علمی و اطلاعاتی موردنیاز برای انجام مطالعات بعدی را فراهم ساخت. سپس در گام دوم، اسناد بالادستی مؤثر بر حوزهٔ ژئوشیمیایی اکتشاف، شناسایی و تحلیل شده‌اند. انتظار می‌رفت تحلیل این اسناد مجموعه‌ای از پیشران‌ها، چالش‌ها، اهداف و معیارهایی را برای تعیین اولویت‌های فناورانه بخش ژئوشیمیایی اکتشاف فراهم کند. لیکن این اسناد صرفاً بر اهمیت تعریف طرح‌های تحقیقاتی و برخی اهداف کلی تأکید داشته‌اند و تا سطح موضوع ژئوشیمیایی اکتشاف ورود پیدا نکرده‌اند که البته این مسئله موضوع غیرقابل انتظاری نبود. لذا یافتهٔ صریحی مبتنی بر شناسایی اولویت‌های فناوری در حوزهٔ ژئوشیمیایی اکتشاف در اسناد بالادستی وجود ندارد. در گام بعد، فرایند ترسیم نقشه‌راه آغاز شد. در فرایند ویژه‌سازی ترسیم نقشه‌راه برای موضوع ژئوشیمی اکتشافی، چند ویژگی متفاوت و ممتاز بود:

الف. بر اساس آنچه از ویژگی‌های دانش‌محور صنعت نفت گفته شده بود، ترکیب حاضران در کارگاه‌های چهارگانه یاد شده در بالا، ترکیبی بود که بتواند اقتضائات توسعهٔ فناوری در این زیربخش را شناسایی و محقق سازد. براین اساس کارگاه‌های چهارگانه یاد شده برای ترسیم نقشه‌راه این‌گونه تشکیل شدند: نمایندگان دپارتمان‌های برتر پژوهشی کشور در زمینهٔ ژئوشیمی اکتشافی (جمعاً هشت نفر از چهار موسسهٔ دانشگاهی و پژوهشگاهی برتر کشور)، فعالان بخش صنعت که از نزدیک با مسائل عینی صنعت در ارتباط هستند و فرایندهای واقعی و اجرایی عملیات ژئوشیمی اکتشافی و مدل‌سازی حوضه‌های رسوبی را می‌دانند (جمعاً نه نفر) و چهار نفر از مدیران دولتی که در لایه سیاست‌گذاری و مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی نفت ایران و مدیریت اکتشاف آن فعالیت داشته‌اند.

ب. یکی دیگر از ویژگی‌های این نقشه‌راه که در بخش مرور ادبیات نیز بدان اشاره شد، آن بود که برخلاف بسیاری از حوزه‌های فنی که تعریف و مصادیق فناوری در آن بخش مشخص بوده و هدف نقشه‌راه عمدتاً بر انتخاب فناوری‌های هدف و مشخص نمودن مسیر دستیابی به آن‌ها متمرکز بوده است، در بخش ژئوشیمی اکتشافی چالش اول عدم وجود اجماع بر سر تعریف و مصادیق فناوری و عدم وجود یک درخت فناوری مورد اجماع خبرگان صنعت و دانشگاه بود. عدم وجود چنین درختی، عملاً کل فرایند برنامه‌ریزی فناوری را برای اعضای کارگروه‌ها غیرممکن می‌نمود، چراکه هیچ چهارچوب مورد اجماعی وجود نداشت و وقت کارگروه‌ها دائماً بر سر فناوری دانستن یا ندانستن

مصادیق مختلف و نیز تبیین نسبت بین فناوری‌های مختلف می‌گذشت. ازاین‌رو ضرورت داشت تا در مرحلهٔ نخست درخت فناوری‌های ژئوشیمی اکتشافی با تأکید بر فناوری‌های مرتبط با مدل‌سازی حوضه‌های رسوبی تهیه می‌شد و این درخت مبنای برنامه‌ریزی‌ها و تحلیل‌های بعدی قرار می‌گرفت. تصویر درخت فناوری‌های ژئوشیمی اکتشافی باهدف مدل‌سازی حوضه‌های رسوبی در بخش نتایج آمده است.

یافته‌ها

همان‌طور که اشاره شد، فرایند ترسیم نقشه‌راه در قالب چهار کارگاه تدارک دیده شده بود. در کارگاه نخست، درخت فناوری و معیارهای هدف‌گذاری فناوری‌های اولویت‌دار مشخص شدند و وزن هریک از آن‌ها معلوم شد. در کارگاه دوم حوزه‌های فناورانه اولویت‌دار شناخته شدند. در کارگاه سوم که به شکل موازی در سطح ذی‌نفعان اصلی برگزار شد و به تعبیری اصلی‌ترین و تعیین‌کننده‌ترین کارگاه بود، اعضای کارگروه به شناسایی فناوری‌های اولویت‌دار پرداختند. در کارگاه چهارم نظرات کارگروه‌های موازی کارگاه سوم تجمیع و یکپارچه شد و بدین ترتیب، فهرست اولویت‌های فناورانه بخش ژئوشیمی اکتشافی مشخص شد. در ادامه نتایج هریک از کارگاه‌های چهارگانه به تفکیک ارائه می‌شود.

الف. کارگاه نخست: ترسیم درخت فناوری‌های ژئوشیمی اکتشافی با تأکید بر مدل‌سازی حوضه‌های رسوبی

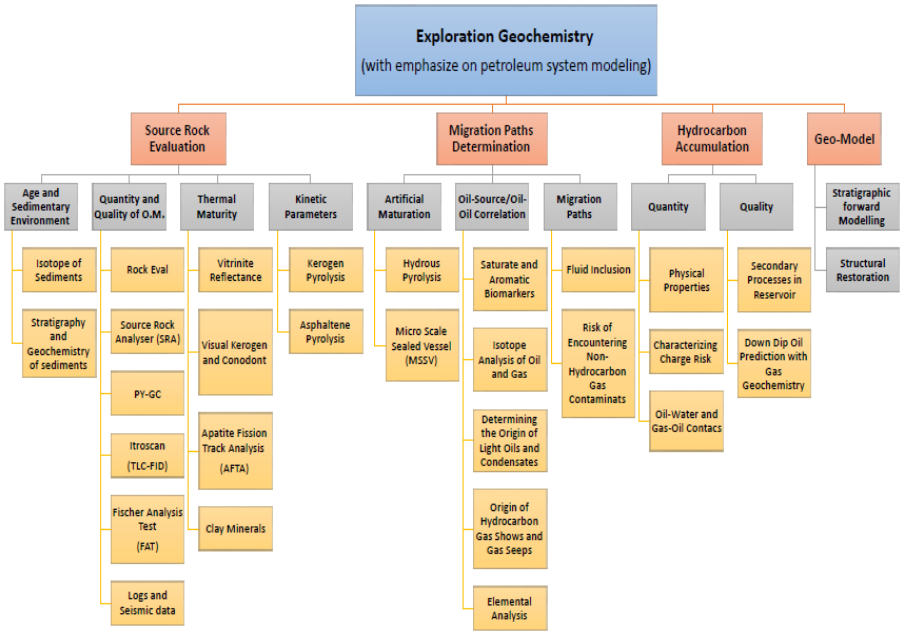
درخت فناوری یک نمودار شاخه‌ای (ساختار درختی) است، که ارتباط بین فناوری‌ها را نشان می‌دهد. به‌طورکلی درخت فناوری برای نشان دادن روابط بین فناوری‌ها یا کارکردهای یک فناوری در یک حوزهٔ خاص از فناوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. درخت فناوری ابزاری مفید برای پشتیبانی از فرایند تصمیم‌گیری برای شناسایی فناوری‌های راهبردی کنونی و آینده است. با توجه به این مزایا، درخت فناوری ابزاری مهم برای تصمیم‌گیری در زمینهٔ برنامه‌ریزی فناوری[1] است. (Cheong,2006; Choi, Park, Kang, Lee and Kim,2012)

در این پژوهش برای شناسایی فناوری‌ها از ابزار درخت فناوری و از نوع طبقه‌بندی فناوری استفاده شد و نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات در معرض اعضای

1. Technology Planning

کارگروه خبرگان و نخبگان صنعت و دانشگاه رسید و مورد تأیید آن‌ها قرار گرفت. تصویر این درخت در شکل ۳ آمده است.

شکل ۳. درخت فناوری ژئوشیمی اکتشافی با تأکید بر مدل‌سازی حوضهٔ رسوبی



ب. کارگاه دوم: شناسایی و اولویت‌بندی حوزه‌های فناورانه هدف (غربالگری)

کارگاه دوم درواقع شامل دو زیربخش اصلی است: نخست شناسایی معیارهای غربالگری و انتخاب اولویت‌ها است و در مرحلهٔ دوم، مقایسه همهٔ حوزه‌های فناوری با معیارهای شناسایی‌شده و اولویت‌بندی آن‌ها بر اساس نظرات خبرگان و اعضای کارگاه‌های نقشه-راه.

ب-۱. تعیین معیارهای غربالگری در بخش ژئوشیمیایی اکتشاف

برای شناسایی این معیارها از سه منبع جدا از هم استفاده شد: منابع و ادبیات این حوزه، جلسات گفتگو با خبرگان و کارشناسان، و کارگاه نقشه‌راه. آنچه از مجموع این سه منبع به دست آمد این بود که معیار اصلی غربالگری فناوری‌ها به لحاظ فنی سه مؤلفه است: ۱. بالا بردن دقت ورودی‌های ژئوشیمیایی اکتشافی به مدل‌سازی سیستم‌های نفتی؛ ۲. دستیابی به فناوری‌هایی که می‌توانند کیفیت و صحت مدل‌سازی

را بالا ببرند ولی به دلایل مختلف در دسترس نیستند؛ ۳. پایین آوردن هزینه‌های فعالیت‌های ژئوشیمیایی اکتشافی.

البته ادبیات برنامه‌ریزی راهبردی فناوری، انتخاب فناوری‌های راهبردی را به‌طورکلی ذیل دو عنوان قرار می‌دهد: معیارهای جذابیت (شامل معیارهای فنی و حجم و جذابیت بازار) و توانمندی (به معنای وجود سوابق قبلی کار روی آن فناوری که موجب خلق درجاتی از توانمندی در زمینهٔ آن فناوری در سازمان شده باشد). هر سه دسته این معیارها در کارگاه‌ها موردپذیرش اعضا قرار گرفتند.

ب-۲. شناسایی حوزه‌های فناورانه اولویت‌دار و غربالگری

در این مرحله می‌بایست بر اساس معیارهای سه‌گانه فنی (که در بالا توضیح داده شد)، تجاری (ظرفیت ورود به بازار) و توانمندی‌های فناورانه قبلی، حوزه‌ها و زیربخش‌های فناوری هدف انتخاب می‌شد. از دید همه حاضرین در کارگاه‌ها، وزن دو دسته معیارهای جذابیت (شامل معیارهای فنی و تجاری) و توانمندی یکسان در نظر گرفته شدند. براین اساس و در کارگاه دوم تلاش شد در زمینهٔ ابعاد مختلف فنی و تجاری فناوری‌های شناسایی‌شده هم‌زبانی و تبادل اطلاعات صورت بگیرد تا همهٔ اعضا با ذهنیت و اطلاعات تا حد امکان مبادله شده و مشترک به بررسی و انتخاب فناوری‌ها بپردازند. بخصوص در زمینهٔ نسبت فناوری‌های ژئوشیمی و مدل‌سازی سیستم‌های نفتی و حوضه‌های رسوبی ازآنجاکه متخصصین این دو حوزه قبلاً باهم تبادلات دانشی و مشابه نداشتند، ضروری بود تا ازاین‌جهت به بحث و تبادل‌نظر بپردازند تا بتوانند تشخیص دهند برای تحقق اهداف فنی سه‌گانه یادشده در بالا کدام‌یک از فناوری‌های درخت فناوری ترسیم‌شده تناسب و ارتباط بیشتری دارند. برای این مهم، تلاش شد درخت فناوری‌های ژئوشیمی اکتشافی با ماژول‌های مدل‌سازی سیستم‌های نفتی تلاقی داده شود. ضرورت این اقدام ازآن‌جهت بود که محدوده نقشه‌راه آن دسته از فناوری‌های ژئوشیمی اکتشافی بود که در مدل‌سازی سیستم‌های نفتی مورد استفاده بودند. علاوه بر آن، این اقدام می‌توانست فضای تصمیم‌گیری و ارزیابی را برای اعضای کارگاه‌ها شفاف سازد. این تلاقی باعث شد که یک ماتریس ۱۲ خانه‌ای ساخته شود که سه ستون آن ماژول‌های اصلی ژئوشیمیایی اکتشافی و چهار سطر آن اجزای اصلی مدل‌سازی سیستم‌های نفتی هستند.

در کارگاه دوم نقشه‌راه، بر اساس مباحثاتی که در خصوص محورهای فنی انجام

شد، حضار خانه‌های ماتریس شکل بالا را در خلال بحث درون‌گروهی تحلیل نموده و سپس نتایج کار خود را به یکدیگر عرضه نمودند. فرصت عرضهٔ نتایج کارهای گروه‌های مختلف این فرصت را فراهم آورد تا اگر گروهی دلایل و شواهدی داشت که ازنظر دیگر گروه‌ها نادیده گرفته شده بود، آن‌ها را مطرح نموده و نظرات گروه‌ها در یک فرایند منطقی به هم نزدیک شود. نتایج به‌دست‌آمده از این بحث درنهایت منتهی شد به این‌که یک فهرست ده‌تایی از فناوری‌ها در اولویت ارزیابی در کارگاه بعدی قرار بگیرند. این فهرست شامل فناوری‌هایی بودند که به لحاظ معیارهای فنی حداقل تناسب و ارتباط را داشتند.

جدول ۱. تلاقی درخت فناوری ژئوشیمیایی با ماژول‌های مدل‌سازی سیستم‌های نفت

	شناسایی نقاط تجمع	شناسایی مسیر مهاجرت	ارزیابی سنگ منشأ
داده‌های ورودی			
داده‌های کنترلی			
اعتبارسنجی مدل			
تفسیر مدل			

ج. کارگاه سوم: شناسایی اولویت‌های فناورانه

کارگاه سوم باهدف شناسایی فهرست اولویت‌های نهایی فناوری در حوزهٔ ژئوشیمی اکتشافی برگزار شد. در این بخش، به‌منظور ایجاد فرصت کافی برای اعضای کارگاه که بتوانند حداکثر تبادل و تعاملات فکری و دانشی را داشته باشند، چنین مقرر شد که هر سه دسته کلیدی اعضای کارگاه (نمایندگان صنعت نفت و شرکت‌های عملیاتی، نمایندگان واحدهای تخصصی اکتشاف و نمایندگان مؤسسات دانشگاهی و پژوهشی) در جلسات جداگانه و بر اساس معیارهای جذابیت و توانمندی فهرست ده‌گانه بالا را جداگانه ارزیابی نموده و نتایج دیدگاه‌های خود را در بخش اصلی کارگاه به هم عرضه نمایند. نتیجه این فرایند چنین شد که اعضای کارگاه در ذیل هر دسته از معیارها به یک اولویت پنج‌تایی از فناوری‌های برتر رسیدند. فهرست این اولویت‌ها به تفکیک معیارهای فنی، تجاری و توانمندی در جدول ۲ آمده است.

کمیته تخصصی که نقطهٔ تلاقی دریافت همه نظرات و جمع‌بندی همهٔ

دیدگاه‌های اعضای کارگاه‌ها بود، بر اساس نظرات دریافت شده و نمره‌بندی‌های

جدول ۲. اولویت‌های ژئوشیمی اکتشافی بر اساس معیارهای مختلف

اولویت‌ها	بر اساس معیارهای فنی	بر اساس معیارهای صرفاً تجاری	بر اساس معیارهای توانمندی
۱	Thermal Maturity (Vitrinite Reflectance)	Kinetic Parameters (Kerogen Pyrolysis)	Source Rock Potentail (Rock Eval)
۲	Kinetic Parameters (Kerogen Pyrolysis)	Geochemical Biomarkers (Saturate and Aromatic Biomarkers)	Paleo-environment Parameters (Stratigraphy and Geochemistry of sediments)
۳	Source Rock Potentail (Rock Eval)	Kinetic Parameters (Asphaltene Pyrolysis)	Geochemical Biomarkers (Saturate and Aromatic Biomarkers)
۴	Geochemical Biomarkers (Saturate and Aromatic Biomarkers)	Thermal Maturity (Vitrinite Reflectance)	Elemental Analysis of Organic Matter
۵	Oil and Gas Alteration in Reservoir (Secondary Processes in Reservoir)	Fluid Inclusion	Physical Properties of Hydrocarbons

داده‌شده و باملاحظهٔ ضرایب یکسان برای معیارهای مختلف، ده فناوری اولویت‌دار را به ترتیب ذیل شناسایی نمود:

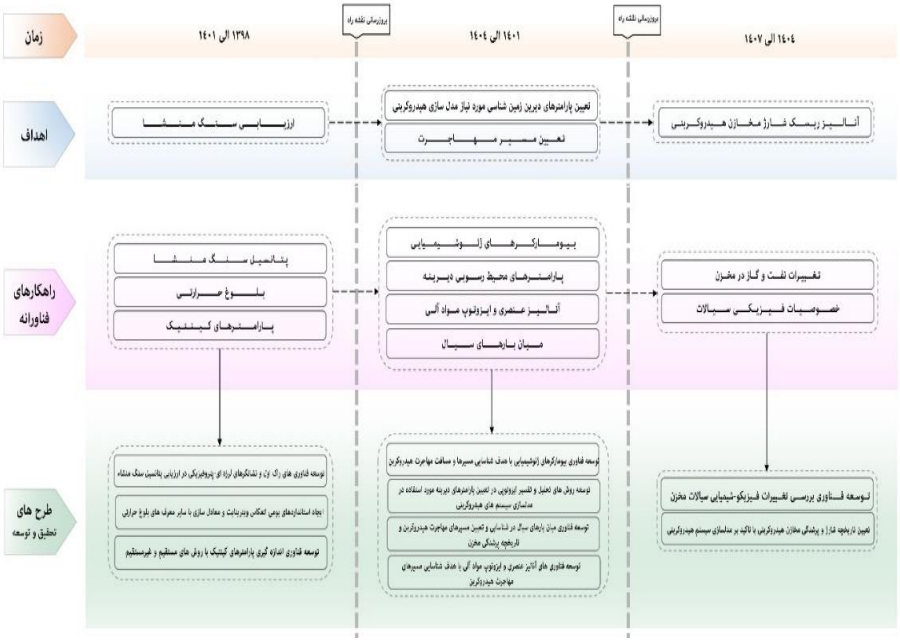
1. Source Rock Potentail (Rock Eval) 2. Geochemical Biomarkers (Saturate and Aromatic Biomarkers) 3. Thermal Maturity (Vitrinite Reflectance) 4. Paleo-environment Parameters (Stratigraphy and Geochemistry of sediments) 5. Elemental Analysis of Organic Matter 6. Fluid Inclusion 7. Oil and Gas Alteration in Reservoir (Secondary Processes in Reservoir) 8. Physical Properties of Hydrocarbons 9. Isotope Analysis of Organic Matter 10. Elemental Analysis of Organic Matter

د. کارگاه چهارم: جمع‌بندی و تعریف پروژه‌های تحقیقاتی

در کارگاه چهارم و پس از مشخص شدن اولویت‌های پنج‌گانه ژئوشیمی اکتشافی در مدل‌سازی سیستم‌های نفتی، نوبت به آن رسید که بر اساس تقدیم و تأخر زمانی فناوری‌ها و تخمین افق زمانی دستیابی به آن‌ها و نیز نحوهٔ دستیابی به دانش فنی (که می‌توانست کاملاً متکی بر توان داخلی و یا با همکاری شریک خارجی) باشد، طرح‌ها و پروژه‌های تحقیقاتی مرتبط تعریف شوند. مواردی که در راهنمای تعریف پروژه‌ها برای کارگاه چهارم در نظر گرفته شده بود عبارت بودند از: بیان موضوع و ضرورت انجام پروژه، اهداف پروژه، دستاوردها و نتایج مورد انتظار از پروژه، مراحل پیشنهادی برای

انجام پروژه و درنهایت برآورد زمان و هزینهٔ موردنیاز برای انجام پروژه. پس از مشخص شدن پروژه‌های اصلی معلوم شد که برای بازهٔ زمانی ده سال آینده، نُه پروژه اولویت‌دار با ترتیب و تقدم زمانی مشخص و دستاوردهای از پیش تعیین شده و حتی با مشخص شدن این‌که قرار است پروژه شریک خارجی داشته باشد یا نه تعریف شد. این پروژه‌ها در کارگاه نهایی مشخص شدند و درنهایت تیم تسهیلگر ترسیم نقشه‌راه پژوهش و فناوری ژئوشیمی اکتشافی، سند نهایی نقشه‌راه را به شکل زیر تدوین نمود و به تأیید اعضای کارگاه رسید.

شکل ۴. نقشه‌راه توسعهٔ فناوری‌های نوین ژئوشیمی اکتشافی با تأکید بر مدل‌سازی حوضه‌های رسوبی



بحث و نتیجه‌گیری

نقشه‌راه پژوهش و فناوری ژئوشیمی اکتشافی نیز سند بالادست و جامعی است که مسیر حرکت صنعت اکتشاف را در بخش ژئوشیمی اکتشافی در افق ده سال آینده در بخش مدل‌سازی سیستم‌های نفتی مشخص می‌سازد. آنچه تدوین یک سند جامع را در این حوزه دشوار می‌ساخت، تعریف فناوری و توانمندی‌های فناورانه در این بخش دانش‌محور

از صنعت نفت بود. ازاین‌جهت، نقطهٔ عطف و کمک برجسته این مطالعه به ادبیات برنامه‌ریزی راهبردی فناوری آن بود که نشان داد در بخش‌های دانش‌محور و در صنایع خدمات محور نیز می‌توان با تعامل و فعالیت مشترک به یک تعریف مورد وفاق از فناوری و در سطح بالاتر و جالب‌تر، به درخت فناوری‌های صنعت در آن بخش رسید و بر سر آن اجماع نیز یافت. وجه دوم امتیاز این نقشه‌راه، آن است که حاصل تلاقی نگاه و تبادلات دانشی متخصصین زمین‌شناس و متخصصین مدل‌سازی سیستم‌های نفتی است. ویژگی سوم نقشه‌راه تدوین‌شده آن است که اعضای کارگاه‌ها توانستند با تبادل دانش به‌نوعی هم‌ترازی در افق فکر رسیده و اولویت‌های توسعهٔ فناوری را باهم شناسایی نمایند. این دستاورد بزرگی بود که نشان داد ابزار نقشه‌راه می‌تواند در موقعیت‌های غیرمتداول و ناهموار صنعتی و فناوری نیز مورداستفاده قرار گیرد. با توجه به این‌که بخش‌های دانش‌محور صنعت نفت فقط منحصر به بخش ژئوشیمی اکتشافی نیست، دستاوردهای این مطالعه می‌تواند برای برنامه‌ریزی راهبردی فناوری در دیگر زیربخش‌ها که ویژگی‌ها و خصوصیات مشابه دارند نیز به کار گرفته شود. در ضمن با توجه به این‌که تدوین سند برنامه‌ریزی راهبردی فناوری در بخش ژئوشیمی اکتشافی نخستین بار در کشور تجربه می‌شد، حتماً بازنگری و مرور دستاوردها و نتایج آن در افق‌های زمانی مشخص و به‌طور منظم می‌تواند زمینهٔ اصلاح و تعالی آن را فراهم آورد.

منابع

پورمحمد، آیلر؛ پیمان‌خواه، صادق؛ صدقی، نفیسه؛ غفارزادگان، مهشید؛ و نیل‌فروشان، هادی؛ *ترسیم نقشه‌راه تکنولوژی*، پژوهشگاه صنعت نفت، ۱۳۹۱.

شایسته، مسعود؛ کمالی، محمدرضا؛ *ژئوشیمی نفت*، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ۱۳۹۱.

معماریانی، محمود؛ هریسینی، علیرضا؛ *ژئوشیمی سوخت‌های فسیلی*، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ۱۳۹۱.

Andersen, A. D. & Gulbrandsen, M. (2020). The innovation and industry dynamics of technology phase-out in sustainability transitions: Insights from diversifying petroleum technology suppliers in Norway. *Energy research & social science*, *64*, 101447.

Atakhanova, Z. (2021). Support services in the extractive industries and the role of innovation. *Mineral Economics*, *34*(1), 141-150.

Baur, F., Hosford Scheirer, A., & E. Peters, K. (2018). Past, present, and

future of basin and petroleum system modeling. *AAPG Bulletin*, *102*(4), 549-561.

Carvalho, M. M., Fleury, A., & Lopes, A. P. (2013). An overview of the literature on technology roadmapping (TRM): Contributions and trends. *Technological Forecasting and Social Change*, *80*(7), 1418-1437.

Channell, D. F. (2017). *A history of technoscience: erasing the boundaries between science and technology*. Routledge.

Cheong, S. H. (2006, July). MOT by using scientific methodology in Samsung R&D. In *2006 Technology Management for the Global Future-PICMET 2006 Conference* (Vol. 1, pp. xlv-lxxxi). IEEE.

Choi, S., Park, H., Kang, D., Lee, J. Y., & Kim, K. (2012). An SAO-based text mining approach to building a technology tree for technology planning. *Expert Systems with Applications*, *39*(13), 11443-11455

Cohen, D. R., Kelley, D. L., Anand, R., & Coker, W. B. (2010). Major advances in exploration geochemistry, 1998-2007. *Geochemistry*, *10*(1), 3.

Hong, Y., & Yantao, B. (2019, January). Technology and innovation management characteristics and trends of foreign oil companies. In *Oil Forum* (Vol. 37, No. 6, p. 40).

Høyvarde Clausen, T. (2013). Firm heterogeneity within industries: how important is 'industry'to innovation?. *Technology Analysis & Strategic Management*, *25*(5), 527-542.

Laherrère, J., Hall, C. A., & Bentley, R. (2022). How much oil remains for the world to produce? Comparing assessment methods, and separating fact from fiction. *Current Research in Environmental Sustainability*, *4*, 100174.

Lubik, S., & Garnsey, E. (2016). Early business model evolution in science-based ventures: the case of advanced materials. *Long Range Planning*, *49*(3), 393-408.

Meyer-Krahmer, F., & Schmoch, U. (1998). Science-based technologies: university–industry interactions in four fields. *Research policy*, *27*(8), 835-851.

Moro, L. F. L. (2003). Process technology in the petroleum refining industry—current situation and future trends. *Computers & Chemical Engineering*, *27*(8-9), 1303-1305.

Perrons, R. K. (2014). How innovation and R&D happen in the upstream oil & gas industry: Insights from a global survey. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *124*, 301-312.

Phaal, R., Farrukh, C. J., & Probert, D. R. (2004). Technology roadmapping—A planning framework for evolution and revolution. *Technological forecasting and social change*, *71*(1-2), 5-26.

Saputelli, L. (2016). Technology focus: petroleum data analytics. *Journal of Petroleum Technology*, *68*(10), 66-66.

Speight, J. G. (2011). *An introduction to petroleum technology, economics, and politics*. John Wiley & Sons.

Von Tunzelmann, N., & Acha, V. (2006). Innovation in “low-tech” industries.