



Evaluation of Produced Water Control Technologies Using a Technology Management Approach in an Iranian Oil Field

Azadeh Dabbaghi¹, Mohammad Zahedzadeh¹, Sara Sadat Mortazavi Ravari², Shima Ebrahimzadeh¹, Jamal Aalaie³, Saeed Forghani¹ and Shahab Gerami^{1*}

1. EOR Studies Center, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

2. Planning Division, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

3. Chemical, Polymer & Petrochemical Technology Division, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

Geramish@ripi.ir

DOI: 10.22078/pr.2024.5434.3425

Received: May 8, 2024

Accepted: July 23, 2024

Introduction

Oil and gas production is usually associated with the production of water. As the life of the field increases, water production and related problems- such as the loss of a significant portion of hydrocarbon reserves, a decrease in oil production, an increase in production costs, and formation damages- also increase [1]; So far, excessive water production has been considered one of the main challenges in mature fields.

In this research, in order to screen the appropriate technology for solving the excessive produced water problem in one of the Iranian south oil fields, required technologies were identified and prioritized by employing the comprehensive approach. This approach was employed before conducting laboratory tests, simulation study, and pilot operation to save money and time. Therefore, before focusing on technical details, other contributing factors such as economy, environment, political/social aspects, market, and technical capacities were considered.

The field under study is located in southern Iran and has a very strong aquifer, which supplies more than 80% of the reservoir's energy. The average porosity and permeability of the reservoir are 13.5% and 210 mD, respectively. The average salinity and temperature of the reservoir are 194,000 mg/L and 200 °F, respectively. The lower section of the Asmari

reservoir is a sandstone layer with high permeability, which, due to production from the field and pressure drop, causes the wells to suffer from water coning. In the upper section of the reservoir, the significant permeability difference between the carbonate and sandstone layers leads to efficient drainage of the sandstone and water breakthrough from these layers, while adequate production has not been achieved from the carbonate layers.

Materials and Methods

The study employs a two-dimensional evaluation framework based on technology attractiveness and organizational capability. Moreover, sixteen technologies were identified, categorized into chemical and mechanical methods, and evaluated using fifteen criteria for attractiveness and six criteria for organizational capability. In addition, the criteria were weighted using the Analytic Hierarchy Process (AHP) based on expert opinions [2]. Data were collected through questionnaires, and the technologies were mapped on an attractiveness-capability matrix to determine their priority for implementation [3,4].

The identified technologies for reducing or eliminating produced water are summarized in Table 1.

Table 1 Chemical and mechanical technologies for reducing or eliminating produced water

Category	Technologies
Chemical Methods	Polymer gels, linear polymers& Relative permeability modifiers (RPM), resins, solid materials & elastomers, reverse emulsions, microorganisms, precipitating agents
Mechanical Methods	Mechanical plugs (cement and metal), straddle packers, casing patches, short liners, horizontal drilling, side-track drilling, intelligent well systems, downhole oil water separation

Polymer gels, for instance, have been successfully applied in fields in the United States, Venezuela, and China for water shut-off and conformance control. Furthermore, mechanical methods, such as horizontal drilling, have proven effective in reducing water coning and improving oil recovery [5,6].

Results and Discussion

After conducting a literature review and extracting various methods for managing produced water, The position of each technology was plotted on a two-dimensional graph in the form of an attractiveness-capability matrix. Thus, technologies with higher attractiveness-capability scores can be considered as key technologies for the organization with higher priority:

- **Mechanical plugs (cement plugs, metal plugs, etc.)**
- **Short liners**
- **Side-track drilling**
- **Casing patches**
- **Straddle packers**
- **Horizontal drilling**
- **Polymer gels**
- **Linear polymers and non-crosslinked compounds (relative permeability modifiers)**

Conclusions

The application of a technology management approach is aimed at evaluating and screening suitable water control technologies before engaging in laboratory studies, simulations, and pilot testing, which are time-consuming and costly. Additionally, in the technology evaluation process and within the framework of attractiveness-capability assessment, other factors such as legal, environmental, economic, and market aspects, are considered as vital elements in the technology development process. Ultimately, the

prioritized technologies offer solutions for managing water production in mature fields, with potential applications in other oil and gas reservoirs facing similar challenges. Also, the approach presented in this study can also be applied to large-scale evaluation and initial selection of technologies in other challenges within the upstream oil and gas industries.

References

1. Hassanzadeh, M., Gerami, Sh. & Parhamvand, M. H. (2017). Considering the phenomena of water coning in one of the fractured gas reservoirs in Iran. *Petroleum Research*, 27(93), 183-195. doi.org/ 10.22078/pr.2017.759.
2. Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: an overview of applications. *European Journal of operational research*, 169(1), 1-29. doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.028.
3. Jolly, D. R. (2012). Development of a two-dimensional scale for evaluating technologies in high-tech companies: An empirical examination. *Journal of Engineering and Technology Management*, 29(2), 307-329. doi.org/10.1016/j.jengtecman.2012.03.002.
4. Arašti, M. R, Karimpour, K., A., Firoozfar, B. (2015). Designing a model for technology assessment in the scope of the supply chain of a parent company. *Science and Technology Policy*, 8(4), 41-55.
5. Taha, A., & Amani, M. (2019). Overview of water shutoff operations in oil and gas wells; chemical and mechanical solutions. *ChemEngineering*, 3(2), 51. doi.org/10.3390/chemengineering3020051
6. Kabir, A. H. (2001, October). Chemical Water & Gas Shutoff Technology—An Overview. In *SPE International Improved Oil Recovery Conference in Asia Pacific* (pp. SPE-72119). SPE. https://doi.org/10.2118/72119-MS.

ارزیابی فن آوری های کنترل آب تولیدی بارویکرد مدیریت فن آوری در یکی از مخازن نفتی ایران

آزاده دباغی^۱، محمد زاهدزاده^۱، سارا سادات مرتضوی راوری^۲، شیما ابراهیم زاده رجایی^۱، جمال اعلایی^۲، سعید فرقانی^۱ و شهاب گرامی^{۱*}

۱- پژوهشکده ازدیادبرداشت از مخازن، پردیس توسعه صنایع بالادستی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۲- معاونت برنامه ریزی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۳- پژوهشکده فن آوری های شیمیایی، پلیمری و پتروشیمی، پردیس توسعه صنایع پایین دستی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۲

چکیده

استخراج نفت و گاز از مخازن هیدروکربوری زیرزمینی معمولاً با تولید آب همراه است. با افزایش عمر مخزن، تولید آب همراه و همچنین مشکلات مربوط به آن مانند از دست رفتن بخش اعظمی از ذخیره هیدروکربور، کاهش تولید نفت، افزایش هزینه های تولید، آسیب دیدگی های سازندی و ... نیز افزایش می یابد؛ تاجایی که می توان تولید آب همراه را به عنوان یکی از بزرگ ترین چالش ها در میادین بالغ قلمداد نمود. در این پژوهش به منظور به کارگیری فن آوری مناسب کنترل آب تولیدی در یکی از میادین نفتی جنوب ایران، تلاش شده است پیش از انجام مطالعات آزمایشگاهی، شبیه سازی و عملیات پایلوت میدانی، با شناخت اولیه مخزن و منشأ تولید آب همراه، فن آوری ها با اتخاذ رویکردی جامع، شناسایی، ارزیابی و اولویت بندی گردند. بدین ترتیب پیش از تمرکز بر جزئیات فنی، معیارهای فنی، اقتصادی، زیست محیطی، سیاسی/ اجتماعی، بازار، ظرفیت های فنی و اثرات ورود فن آوری جدید به زیست بوم صنعتی موجود و تعامل فن آوری جدید با سایر اجزای صنعت نیز به عنوان یک جزء حیاتی در فرآیند توسعه فن آوری به صورت روشمند در نظر گرفته شده است. ارزیابی فن آوری با چنین دیدگاه کلانی، به فرآیند تدوین استراتژی فن آوری سازمان نیز کمک شایانی می نماید. از این رو با رویکرد حذف و یا کاهش آب تولیدی، ضمن مروری بر تجارب جهانی، شانزده فن آوری در دو دسته فن آوری های مسدودسازی شیمیایی و مکانیکی شناسایی شدند. معیارهای جذابیت فن آوری (پانزده معیار) از یک سو و از سوی دیگر معیارهای ارزیابی میزان توانمندی شرکت در به کارگیری فن آوری ها (شش معیار) با استفاده از ادبیات مدیریت فن آوری و نظرات خبرگان شناسایی، بومی سازی و وزن دهی شدند. با استفاده از پرسش نامه، داده های مربوط به ارزیابی هریک از فن آوری ها از منظر هریک از معیارها جمع آوری و موقعیت فن آوری در ماتریس جذابیت- توانمندی مشخص شد؛ «مسدود کننده های مکانیکی (پلاگ سیمانی، پلاگ فلزی و...)»، «رانندن آستری و مسدودسازی مشبک ها»، «حفاری حفره کنارگذر»، «وصله لوله جداری»، «توپک دوپا»، «حفر چاه افقی» و «ژل پلیمر» در قالب سبد فن آوری های اولویت دار برای سازمان تعیین و به عنوان گزینه هایی جهت مطالعات تفصیلی آتی پیشنهاد گردیدند.

کلمات کلیدی: مدیریت آب، تولید آب اضافه، ارزیابی فن آوری، جذابیت فن آوری، توانمندی فن آورانه

*مسئول مکاتبات

Geramish@ripi.ir

آدرس الکترونیکی

شناسه دیجیتال: (DOI: 10.22078/pr.2024.5434.3425)

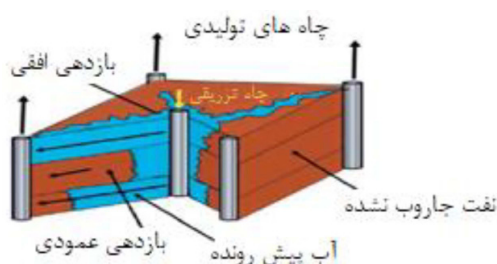
مقدمه

آب یکی از سه سیال موجود در مخازن هیدروکربوری می‌باشد (نفت، گاز، آب) و لذا مدیریت آب تولیدی از اجزای مهم در مدیریت و تولید نفت از میدان است [۱]. آب تولیدی مخلوط پیچیده‌ای از مواد آلی و معدنی محلول و نامحلول است [۲] و می‌تواند دارای شوری، فلزات سنگین، مواد رادیواکتیو (مانند رادیوم ۲۲۶ و ۲۲۸) رسوبات، باکتری‌ها، واکس و آسفالتین و گازهای محلول (دی‌اکسیدکربن، سولفید هیدروژن و اکسیژن) باشد [۳] و از این‌رو دارای اثرات شیمیایی و زیست‌محیطی مخرب متعددی است [۴]. علاوه‌برآن تولید آب، مشکلات زیادی مانند آسیب‌دیدگی‌های سازندی، خوردگی، پایین آمدن میزان تولید، هزینه‌های جداسازی، انجام آزمایش‌ها و عملیات مرتبط برای چاه و واحدهای بهره‌برداری ایجاد می‌کند [۵-۷]. به‌دام افتادن بخش اعظمی از هیدروکربور در جای میدان را بزرگ‌ترین هزینه ناشی از عدم انجام مدیریت آب برشمرده‌اند [۸]. هم‌چنین آب تولیدی بزرگ‌ترین محصول جانبی تولید نفت و گاز قلمداد می‌گردد. به‌طور میانگین نسبت حجم تولید آب به نفت در دریای شمال ۵٫۵ به ۱ و در ایالات متحده ۷ به ۱ و در دنیا ۳ به ۱ برآورد شده است [۸]؛ حجم تولید آب همراه بالغ بر ۲۵۰ میلیون بشکه در روز در دنیا برآورد شده و بیش از ۴۰٪ آن به محیط زیست تخلیه می‌گردد [۹]؛ هزینه سالانه دفع این آب در صنعت نفت بالغ بر ۴۰ میلیارد دلار ارزیابی شده است [۱۰ و ۱۱]. شوری آب تولیدی در میادین هیدروکربوری معمولاً از ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰۰ mg/l تغییر می‌کند [۱۲]، هم‌چنین عموماً حجم تولید آب همراه نیز با افزایش عمر میدان افزایش می‌یابد [۱۳] از این‌رو نیاز به مدیریت آب همراه تولیدی از مخازن نفت و گاز دنیا به‌عنوان چالشی جهانی با روندی رو به افزایش مطرح است [۱۴] و در مخازن نفتی ایران نیز که عمدتاً نیمه دوم عمر خود را سپری می‌کنند و دارای مقدار آب تولیدی بالایی نیز می‌باشند، مهم و ضروری است

[۴]. پژوهش‌های مختلفی در ادبیات مهندسی نفت و شیمی برای مواجهه با چالش تولید آب از میادین نفت و گاز وجود دارد [۱۵، ۱۰ و ۱۶] که عمدتاً ناظر بر جنبه‌های فنی موضوع است و چنانچه در برخی مطالعات [۱۷-۱۹، ۹]، به انتخاب فن‌آوری/ راهکارهای مدیریت آب تولیدی توجه شده است، رویکرد آن عمدتاً بر تحلیل فنی - اقتصادی مجزای آن فن‌آوری/ راهکار استوار بوده است و اثرات ورود فن‌آوری جدید به زیست‌بوم صنعتی موجود نادیده گرفته شده است. درحالی‌که علاوه‌بر جنبه‌های فنی موضوع، درک چگونگی تعامل یک فن‌آوری جدید با سایر اجزای صنعت نیز به‌عنوان یک جزء حیاتی در توسعه فرآیند تکنولوژی‌ها مطرح است [۲۰] که به‌صورتی روش‌مند در فرآیند ارزیابی فن‌آوری و تدوین استراتژی فن‌آوری می‌تواند نگریسته شود. انتخاب و ارزیابی فن‌آوری یکی از مؤلفه‌های اصلی مدیریت فن‌آوری است؛ شرکت‌ها پس از شناسایی فن‌آوری‌ها، میزان جذابیت این فن‌آوری‌ها را از یک سو و از سویی دیگر توانمندی و قابلیت‌های خود در آن فن‌آوری‌ها را ارزیابی می‌کنند [۲۱]. نتایج ارزیابی فن‌آوری عموماً در تدوین استراتژی فن‌آوری شرکت‌ها [۲۲] و تعیین اولویت‌های سرمایه‌گذاری به‌کارگرفته می‌شود [۲۳]. «ارزیابی فن‌آوری» از زمان ظهور خود در دفتر ارزیابی فن‌آوری^۱، ابزاری در حوزه تصمیم‌گیری عمومی بوده است و طی شش دهه توسعه، رویکردها و روش‌های مختلفی برای انجام و به‌کارگیری آن در حوزه‌های مختلف اعم از پزشکی [۲۴]، خودروسازی [۲۵]، فعالیت‌های بشردوستانه [۲۶]، انرژی‌های پاک [۲۷] و ... مطرح شده است. هم‌چنین از ارزیابی فن‌آوری برای انتخاب و تدوین استراتژی فن‌آوری در صنایع نفت و گاز نیز استفاده شده است. رویکرد ارزیابی فن‌آوری برای تدوین استراتژی فن‌آوری‌ها در صنعت پتروشیمی به‌کار گرفته شده است [۲۸].

مروری بر فن آوری های کنترل آب تولیدی

حذف و یا کاهش آب تولیدی چاه ها در هر مرحله ای از عمر میدان ضروری می باشد. در این راستا معمولاً از دو دسته فن آوری مکانیکی و شیمیایی استفاده می گردد که طی سالیان اخیر روش های متعددی در این زمینه در منابع علمی گزارش گردیده اند [۳۱ و ۳۲]. در اوایل تولید از میدان، بیش تر مشکلات مربوط به تولید آب ناگهانی از کانال، شکاف و مشکلات مربوط به تکمیل چاه می باشد که عموماً با روش های مکانیکی رفع می گردند. روش های مکانیکی نسبت به روش های شیمیایی ارزان تر بوده و رویکرد کوتاه مدت تری نسبت به رفع مشکل دارند و معمولاً بدون نیاز به دکل انجام می گردند. روش های شیمیایی عموماً دارای قابلیت و انعطاف پذیری بالا بوده و در فواصل دورتر از دهانه چاه نیز مؤثر هستند [۳۳].



شکل ۱ تصویری مفهومی از مشکل عدم همناوایی عمودی و سطحی

فن آوری های مسدودسازی شیمیایی

استفاده از مواد شیمیایی یکی از روش های متداول مسدودسازی و کنترل تولید آب همراه در مخازن هیدروکربوری می باشد و در دو دهه اخیر به کارگیری این روش ها گسترش چشم گیری داشته است [۳۴]. امروزه می توان این نوع عملیات را برای انواع مخازن با شرایط مختلف از نظر دما، شوری و pH طراحی نمود. دامنه وسیعی از مواد شیمیایی مانند ژل های پلیمری، ژل های غیرآلی، رزین ها و الاستومرها، میکروارگانیزم ها، امولسیون و... در منابع علمی مختلف مانند [۳۲ و ۳۴] جهت مسدودسازی

همچنین جذابیت فن آوری ها در حوزه بالادستی نفت مورد ارزیابی قرار گرفته است [۲۹]. از ماتریس جذابیت- توانمندی و روش مقایسات زوجی برای انتخاب فن آوری های مناسب تولید نفت با در نظر گرفتن چالش های تولید از ناحیه غرب کارون استفاده شده است [۳۰]. با توجه به موارد فوق در این پژوهش از ادبیات مدیریت فن آوری برای ارزیابی و انتخاب سبد فن آوری های اولویت دار برای کنترل آب تولیدی در یکی از میداین نفتی ایران استفاده شده است. شایان ذکر است که روش ارائه شده در این پژوهش رویکرد جامع و اولیه ای به شرکت ها برای انتخاب سبد اولویت دار فن آوری ها ارائه می کند. انتخاب گزینه های مسدودساز آب در مراحل بعدی یقیناً مستلزم جمع آوری دقیق داده های مخزن و چاه شامل استفاده از نمودارهای چاه آزمایی، آنالیز داده های تولید و ... و نیز شناسایی منشأ آب تولیدی شامل موارد عملیاتی، ناهمگونی، مخروط شدگی و... می باشد.

توصیف مخزن

میدان مورد مطالعه در جنوب ایران قرار داشته و دارای آبده بسیار قوی می باشد و بیش از ۸۰٪ انرژی مخزن از آن تأمین می گردد. متوسط تخلخل و تراوایی مخزن به ترتیب برابر با ۱۳/۵٪ و ۲۱۰ mD می باشد. شوری و دمای متوسط مخزن نیز ۱۹۴۰۰۰ F و ۲۰۰ می باشد. بخش پایینی مخزن آسماری میدان ماسه سنگی با تراوایی بالا بوده که با تولید از میدان و افت فشار، چاه ها به علت پدیده مخروطی شدن آب زده می گردند. در بخش بالایی مخزن اختلاف زیاد تراوایی لایه های کربناته و ماسه سنگ منجر به تخلیه مناسب ماسه سنگ ها و برون شکنی آب از این لایه ها گردیده درحالی که تولید مناسبی از لایه های کربناته صورت نپذیرفته است. شکل ۱ تصویری مفهومی از آن چه که در اثر ناهمگونی مخزن در حال رخ دادن است را نشان می دهد.

ایالات متحده [۳۶]، ونزوئلا و آرژانتین [۳۵]، چین [۴۱ و ۴۳]، نروژ [۴۴] و فرانسه [۴۵] مورد استفاده قرار گرفته‌است.

پلیمرهای خطی و ترکیبات شبکه‌ای نشده (اصلاح‌کننده تراوایی نسبی)

این ترکیبات پلیمری با جذب روی محیط متخلخل و اصلاح تراوایی نسبی و کاهش نامتجانس تراوایی^۲ محیط متخلخل، موجب کاهش تولید آب از مخازن نفتی/گازی می‌شوند [۴۶ و ۴۷]. علاوه بر این، جذب دینامیک و ماندگی سامانه‌های پلیمری در محیط متخلخل می‌تواند سبب بستن مسیرهای عبور آب و تغییر مسیر آب گردد [۴۸-۵۰]. اصلاح‌کننده‌های پلیمری تراوایی نسبی می‌توانند شامل پلیمرهای خطی، ژل‌های ذره‌ای و ژل‌های ضعیف^۳ باشند [۴۰ و ۴۲]. استفاده از ژل پلیمرهای ضعیف در چاه‌های میدان نفتی گودونگ و گوداو چین سبب کاهش تولید آب و افزایش تولید نفت شده‌است [۵۱]. ژل پلیمرهای ذره‌ای برای اصلاح تراوایی و کنترل تولید آب در چاه‌های ذخیره‌سازی گاز کشور فرانسه مورد استفاده قرار گرفته‌است [۴۵].

رزین‌ها

این مواد استحکام کافی برای بستن شکاف‌ها، کانال‌ها و مشبک‌ها را دارند. فنولیک، اپوکسی و فورفوریل الکل از انواع رزین‌هایی هستند که در صنعت نفت به کار می‌روند. به محض اینکه این مواد واکنش دهند، تبدیل به پلاستیک سخت و محکم می‌شوند. این مواد نسبتاً گران هستند و منطقه موردنظر برای عملیات باید کاملاً از مناطق دیگر جدا شود. این مواد به آب سازند، مواد فعال سطحی و اسیدها حساس هستند. بکارگیری این مواد نیازمند استفاده از حلال‌های آلی می‌باشد که بایستی از نظر ایمنی و ملاحظات زیست‌محیطی مدنظر قرار گیرد [۳۴].

نواحی تولید آب گزارش گردیده‌اند. تجربیات میدانی موفق‌تری در برخی از کشورها در زمینه به‌کارگیری فن‌آوری شیمیایی برای مسدودسازی و کنترل تولید آب وجود دارد [۳۷-۳۵].

ژل پلیمرها

ژل پلیمرها شبکه‌های سه‌بعدی از پلیمرها هستند که توانایی نگهداری سیال در درون خود را دارند. شبکه‌ای شدن محلول پلیمری سبب بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی آن می‌شود که مسدودکردن تخلخل‌ها و شکاف‌ها را ممکن می‌سازد [۳۸ و ۳۹]. ژل‌های پلیمری مورد استفاده در کاهش تولید آب در مخازن نفت و گاز می‌توانند از نوع مسدودکننده^۱ یا تغییردهنده تراوایی نسبی باشند [۳۴ و ۴۰]. یکی دیگر از انواع ژل پلیمرها، ژل‌های ذره‌ای از قبل شکل گرفته هستند که به‌صورت دانه‌هایی با قدرت جذب بسیار بالای آب می‌باشند. این نوع ژل‌ها توانایی تورم تا ۲۰۰ برابر وزن اولیه خود را داشته و بیشتر به‌عنوان عامل منحرف‌کننده جریان آب مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴۱]. نوع دیگر این دسته، ژل پلیمرهای غیرآلی می‌باشند که در این نوع ژل‌ها ترکیباتی مانند سیلیکات‌های سدیم به‌همراه یک ماده فعال‌کننده داخلی مانند اوره خاصیت شبیه ژل پیدا می‌کند که زمان ژل شدن آن‌ها به pH، دما و شوری آب سازند وابسته است [۳۴]. موضوع بسیار مهم در حل چالش آب اضافه با فن‌آوری ژل پلیمر، شناخت درست مسئله است تا بتوان مناسب‌ترین نوع ژل پلیمر را انتخاب و احتمال موفقیت حل مسئله را به‌طور قابل توجهی افزایش داد. پارامترهای مختلفی مانند سازوکار تولید آب، ملاحظات اقتصادی، قابلیت دسترسی به مواد/تجهیزات لازم، میزان سازگاری و کارایی ژل پلیمرها در شرایط مخزن، امکان کنترل خواص ریزولوژیکی و زمان ژل شدن، تزریق‌پذیری، مباحث زیست‌محیطی و ... در انتخاب یک سیستم ژل پلیمر تأثیرگذار می‌باشد [۴۲]. فن‌آوری ژل پلیمر به‌صورت موفقیت‌آمیزی در میادین نفتی/گازی کشورهای

1. Sealing Gel

2. Disproportionate Permeability Reduction, DPR

3. Weak Gels

مواد رسوب دهنده

در این روش برای مسدودسازی انتخابی از واکنش شیمیایی و تشکیل رسوب استفاده می‌گردد بدین صورت که دو محلول آنیونی و کاتیونی با فاصله کافی از یکدیگر و حجم مناسب تزریق می‌گردد. واکنش این دو محلول با یکدیگر تشکیل رسوب جامد داده و باعث انسداد در محل می‌شود. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این روش اختلاط مناسب در مخزن به دلیل تمایل الکترولیت‌ها به حرکت و برهم‌کنش آن‌ها با سیالات و سنگ مخزن می‌باشد. از معایب روش یادشده دشواری کنترل حرکت سیالات و واکنش آن‌ها می‌باشد. همچنین در لایه‌های باریک نیز این روش محدودیت دارد [۵۶ و ۵۷].

فن‌آوری‌های مسدودسازی مکانیکی

روش‌های مسدودسازی مکانیکی متعددی مانند مسدودکننده‌ها، توپک و ... به‌منظور حل چالش تولید آب اضافه مطرح هستند [۳۳ و ۳۴]. روش‌های یادشده عموماً نسبت به روش‌های شیمیایی ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر می‌باشند [۳۳ و ۵۸]. در میداین کشور و میدان مورد مطالعه نیز از مسدودکننده‌ها و راندن آستری و ... به‌منظور حل مشکل تولید آب استفاده می‌شود.

مسدودکننده‌ها

یکی از عملیات‌هایی که روی چاه‌ها صورت می‌گیرد، مسدودکردن قسمت و یا تمامی لایه تولیدی چاه است. انواع مسدودکننده‌ها از جمله مسدودکننده سیمانی^۱، مسدودکننده فلزی^۲ و ... در عمق مورد نظر و با روش مربوطه تعبیه می‌گردند. یکی از مهم‌ترین دلایل نصب مسدودکننده‌ها، بستن و مسدودسازی نواحی و مشبک‌های آبد و به‌عبارت دیگر، قطع ارتباط با لایه‌ای که تولید آب می‌کند، می‌باشد [۳۳ و ۳۱].

استفاده از رزین در بعضی از میداین دنیا مانند کاربین کلمبیا گزارش گردیده است [۵۲].

مواد جامد و الاستومرها

مواد جامد مانند سیلیکافلور، شن، رس و همچنین الاستومرها به‌عنوان عامل کنترل چالش آب اضافه مطرح هستند [۳۳ و ۳۴]. الاستومرها از جمله مواد شیمیایی برای کنترل آب تولیدی چاه‌ها می‌باشند. این مواد را می‌توان به منافذ سازند تزریق کرد و استحکام کافی برای جلوگیری از حرکت مایع در منافذ، شکاف‌ها و کانال‌ها را فراهم نمود. آن‌ها نسبت به تمام شرایط و سیالات ته‌چاهی بی‌اثر هستند و در صورت قرارگیری مناسب آب‌بندی کامل و طولانی مدت ایجاد می‌کنند [۳۴]. استفاده از مواد جامد و الاستومر در میدان اساب ابوظبی و میدان فوریوس^۱ در جنوب مالزی و میداین روسیه و چین به‌صورت موفقیت‌آمیز گزارش شده است [۵۳ و ۳۱].

امولسیون معکوس

یکی از روش‌های مسدود نمودن مناطق با تراوایی بالا در اعماق مخزن، امولسیون‌های نفت در آب می‌باشد. امولسیون با داشتن ویسکوزیته بالاتر نسبت به نفت و آب باعث کاهش تراوایی نسبی آب در سازند آب‌زده می‌شود. موارد متعدد آزمایشگاهی و میدانی در زمینه افزایش بازیافت پس از تزریق در چاه‌های تزریق آب گزارش گردیده است. در میدان لیاو چین استفاده از امولسیون در ۲۳۸ چاه گزارش شده است [۵۴].

میکروارگانسیم

مسدودسازی انتخابی با استفاده از باکتری‌ها موجب افزایش راندمان جاروبی در مخزن می‌شود. یکی از ویژگی‌های این روش نفوذ بیشتر در عمق نسبت به روش‌های دیگر می‌باشد. تزریق میکروارگانسیم‌ها به درون مخزن و رشد آنها در نقاط نفوذپذیرتر باعث مسدود شدن حفرات و در نتیجه رانده شدن سیال تزریق شده به نقاط دیگر مخزن که دارای تراوایی کمتر است می‌شود. فن‌آوری یادشده در مرحله مطالعات آزمایشگاهی می‌باشد [۵۵].

1. Furious
2. Cement Plug
3. Bridge Plug

توپک دوپا^۱

این نوع توپک انتخاب مناسبی برای قطع ناحیه میانی است زیرا با داشتن دو قسمت برای ایجاد عایق، به خوبی می تواند ناحیه مورد نظر را جدا کند. همچنین این جداسازی به نحوی است که از درون لوله ای که از میان دو توپک عبور می کند، ارتباط سیال بالا و پایین برقرار است [۵۸ و ۳۱].

وصله لوله جداری^۲

وصله لوله جداری از کامپوزیت انعطاف پذیر ساخته شده است که پس از عبور از درون لوله مغزی در داخل لوله جداری، باز شده و به دیواره لوله جداری محکم چسبیده می شود. وصله لوله جداری را می توان قبل از قرار دادن در طول بازه مورد نظر با رزین اپوکسی در سطح بیرونی پوشش داد [۵۸ و ۳۳].

راندن آستری

در چاه های حفره باز که با معضل تولید آب مواجه هستند، یکی از راه کارها تغییر در نحوه تکمیل این چاه ها به صورت جداره پوش^۳ می باشد. نحوه کار، راندن آستری در بخش تولیدی بوده که اجازه تولید انتخابی را داده و می توان تنها به نواحی نفتی اجازه تولید داد. همچنین یکی دیگر از روش ها راندن آستری کوتاه^۴ جهت پوشاندن مشبک های آبدی می باشد [۵۸].

حفر چاه افقی

با استفاده از چاه های افقی پدیده مخروطی شدن آب و گاز کمتر می شود. مزیت چاه افقی در این مورد این است که مقدار نفت بهره برداری شده قبل از تولید آب یا گاز در روش افقی بسیار بیش تر از چاه قائم است. هر چند در این قسمت نیز در صورت وجود تراوایی های قائم زیاد مثل وجود گسل ها یا شکاف های قائم، باعث می شود که تولید آب در چاه های افقی سریع تر از چاه های قائم رخ دهد. اما در صورتی که این تراوایی قائم کمتر از تراوایی افقی باشد (در واقعیت نیز چنین است)، چاه های افقی نفت مخزن را از ناحیه بزرگ تری با آهنگ تولید کمتر، تولید می کنند، در حالی که چاه های

قائم نفت مخزن را از ناحیه ای کوچک با آهنگ تولید بیش تر، تولید می کنند. از طرفی، هندسه چاه های افقی تأثیرات ناهمگونی های مخزن را به گونه ای خنثی می کند [۵۹].

حفاری حفره کنارگذر^۵

به عنوان آخرین گزینه های تعمیراتی و زمانی که با شرایط حاکم بر حفره فعلی امکان تعمیر چاه وجود ندارد، مطرح می شود. نحوه کار به صورت باز کردن پنجره در عمق مورد نظر و حفاری انحرافی^۶ تا رسیدن به عمق برنامه ریزی شده و تکمیل مجدد چاه در این عمق می باشد [۵۸].

شیر هوش مند درون چاهی

یکی از فن آوری های نو و تأثیرگذار بر صنعت نفت که به شکلی فزاینده در حال رشد می باشد، هوش مند کردن چاه های نفتی و در حالت گسترده تر، هوش مندسازی مخازن و میادین نفتی است. طبیعت بسیار ناهمگون مخازن نفتی منجر به رفتارهای متفاوت تولید نفت در دوره های مختلف می شود. از این رو برای کنترل بهینه تولید، از فن آوری چاه هوش مند استفاده می شود که استفاده از این فن آوری سبب می شود با رفتارهای مختلف سنگ و سیال، واکنش های متناسب صورت پذیرد. در این فن آوری براساس اطلاعات جمع آوری شده، اعمال تصمیم به هنگام با نصب عملگرهای کنترلی و شیرهای کنترل هوش مند، بهینه کردن فرآیند تولید صورت می گیرد. از جمله چالش های مهم این فن آوری، به دست آوردن تنظیمات بهینه برای شیرهای کنترل هوش مند به عنوان مهم ترین عمل گر در این فن آوری است. عملیات پایش مستمر از طریق فیبرها و حسگرهای درون چاهی و عملیات کنترل از طریق شیرهای مختلف درون چاهی انجام می پذیرد [۶۰].

1. Straddle Packer

2. Casing Patch

3. Cased Hole

4. Short Liner

5. Side Track

6. Directional Drilling

جداسازی درون چاهی آب تولیدی

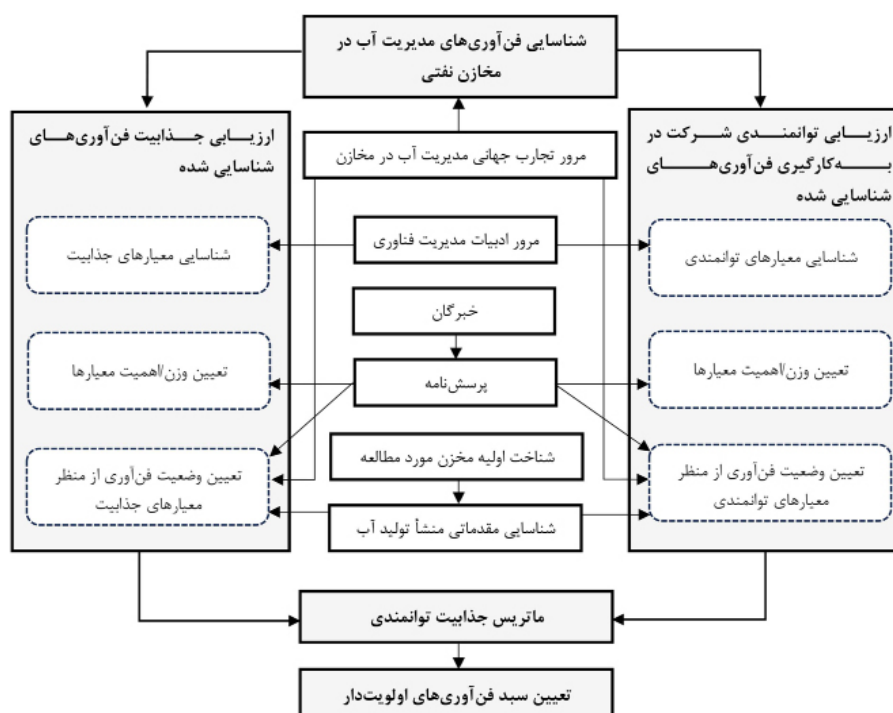
در این روش جریان غنی از گاز و نفت در سطح تولید می‌شود، در حالی که جریانی غنی از آب به سازندهای زیرین تزریق شده، هرگز به سطح منتقل نمی‌شود. این سامانه قطعات مکانیکی زیادی دارد ولی اصلی‌ترین اجزاء آن یک سامانه جداسازی و حداقل یک پمپ برای فرازآوری نفت به سطح و تزریق آب به ته سازند است. این فن‌آوری مزایایی نظیر کاهش آلودگی سطحی، تسریع در تولید نفت، کاهش چاه‌های لازم جهت توسعه میدان، تزریق آب در مخزن، کاهش تسهیلات سطحی، کاهش هزینه‌های تعمیر و ... دارا می‌باشد. معایب و محدودیت‌های این فن‌آوری شامل فضای محدود چاه، خنک‌سازی موتور پمپ، محدودیت نسبت به تولید شن، لزوم برش آب بالا، درجه API بالاتر از ۱۲، محتوای نفت در آب کمتر از ۱۰ تا ۲۰ ppm، لزوم بیرون آوردن پمپ از چاه در صورت انجام عملیات تحریک، محدودیت در چاه‌های انحرافی می‌باشد [۶۱].

روش کار

در ادبیات مدیریت فن‌آوری، روش‌های مختلفی برای ارزیابی فن‌آوری‌ها وجود دارد. یکی از رویکردهای رایج برای ارزیابی فن‌آوری که در بسیاری از مدل‌های تدوین استراتژی فن‌آوری در سطح سازمان (مانند مدل موقن [۲۱]) مورد استفاده قرار گرفته است، دربرگیرنده بررسی و تحلیل هم‌زمان «میزان جذابیت فن‌آوری برای حل چالش مورد نظر» و «میزان توانمندی موجود جهت دستیابی به فن‌آوری» می‌باشد. روش‌شناسی انجام این پژوهش که بر مبنای این رویکرد استوار گردیده است در شکل ۲ به صورت خلاصه نمایش داده شده است.

الف- شناسایی فن‌آوری‌های مدیریت آب در مخازن نفتی

مروری بر ادبیات موضوع و مطالعه تجارب جهانی مدیریت آب در مخازنی با ویژگی‌های عموماً مشابه با مخزن مورد مطالعه، لیستی از فن‌آوری‌های کنترل آب در مخازن نفتی شناسایی شد که پیش‌تر معرفی گردید.



شکل ۲ روش‌شناسی انجام پژوهش

مندرج در **جدول ۱** مشخص نمایند [۷۱]. در فرآیند مقایسات زوجی، نرخ ناسازگاری (CR)، مکانیزمی است که سازگاری مقایسات را مشخص می‌کند و نشان می‌دهد تا چه اندازه اولویت‌های حاصل از اعضای گروه/خبرگان دارای اعتبار است [۷۱]. برای تجزیه و تحلیل و محاسبه وزن نسبی معیارها (W_j) و نرخ ناسازگاری از نرم‌افزار اکسپرت‌چویس نسخه ۱۱ استفاده شده است [۷۲ و ۷۳].

جدول ۱ مقیاس کیفی در انجام مقایسات زوجی

مقیاس	مقدار عددی
ارجحیت یکسان است	۱
ارجحیت کمی دارد	۳
ارجحیت دارد	۵
بسیار ارجحیت دارد	۷
کاملاً مرجح	۹
مقادیر بینابین	۲ و ۴ و ۶ و ۸

ب-۳- جمع‌آوری نظرات خبرگان با استفاده از پرسش‌نامه

به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها پرسش‌نامه ارزیابی اهمیت معیارها براساس مقایسات زوجی تدوین شده و به اعضای پانل خبرگان ارائه گردید. پس از جمع‌آوری اولیه پرسش‌نامه‌های تکمیل شده، به‌منظور سنجش پایایی نرخ ناسازگاری پرسش‌نامه محاسبه و در صورتی که مقدار آن بیش از ۰/۱ [۷۴] محاسبه شده بود، پرسش‌نامه مجدد به خبره مربوطه بازگردانده شده و مورد بررسی مجدد خبره قرار گرفت و پس از انجام اصلاحات لازم، مجدد نرخ ناسازگاری محاسبه و در صورت به‌دست آمدن نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱ با تأیید خبره، در محاسبات نهایی لحاظ گردید. بر این اساس فرآیند وزن‌دهی به معیارهای جذابیت و توانمندی در این پژوهش مطابق با **شکل ۳** انجام گردید.

ب- ارزیابی جذابیت فن‌آوری‌های شناسایی شده و ارزیابی توان‌مندی سازمان برای به‌کارگیری فن‌آوری‌ها

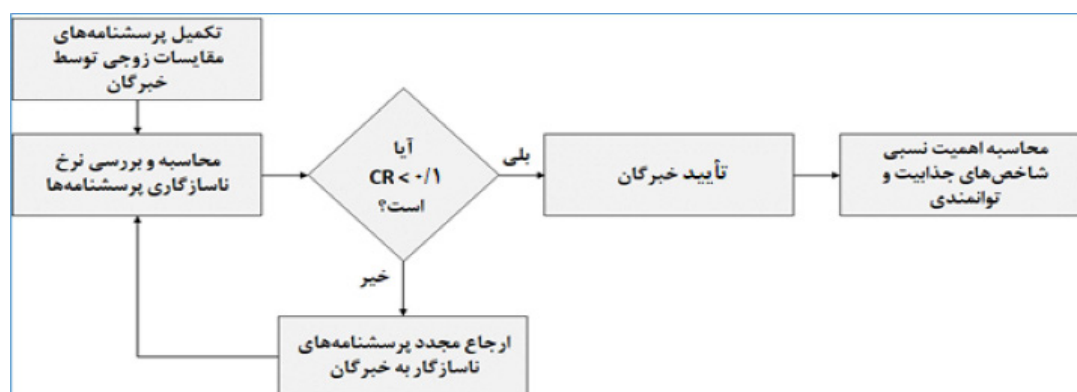
یکی از ابعاد ارزیابی فن‌آوری تحت تأثیر عواملی در محیط بیرونی سازمان هستند و جایگاه فن‌آوری را بیرون از سازمان تبیین می‌کنند و تحت عنوان جذابیت فن‌آورانه مطرح است [۶۲ و ۶۳]؛ یک فن‌آوری زمانی از جذابیت بالایی برخوردار است که بتواند موقعیت بنگاه را در حوزه کسب و کار افزایش داده و از آن پشتیبانی نماید [۶۴]. بُعد دیگر، عوامل داخلی را معرفی می‌کند که عمدتاً تحت کنترل سازمان‌ها بوده و وابسته به رفتار و تصمیمات آن‌ها هستند [۶۵ و ۶۶]؛ عواملی که مبین توانمندی‌های مستتر در بنگاه هستند و در جریان منحنی‌های یادگیری و رشد بنگاه در گذراند، به‌عنوان توانمندی فن‌آورانه شناخته می‌شوند [۶۷-۶۹].

ب-۱- شناسایی معیارها

معیارهای مختلفی در ادبیات مدیریت فن‌آوری برای ارزیابی میزان «توانمندی» و نیز «جذابیت» فن‌آوری‌ها پیشنهاد شده است. با این وجود ضروری به‌نظر می‌رسد تا متناسب با ماهیت صنعت نفت و گاز و با توجه به مسئله مدیریت آب در مخازن نفتی بومی‌سازی گردد. از این رو معیارهای مستخرج از ادبیات موضوع در دو جلسه پانل خبرگی با هدف بومی‌سازی معیارها و نیز ارائه تعاریف عملیاتی منطبق با کاربرد فعلی، بررسی شدند.

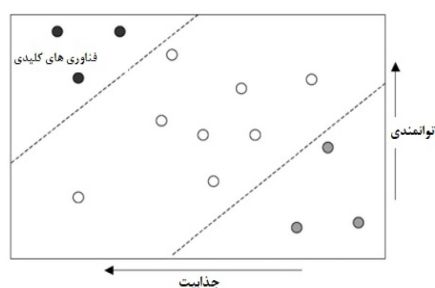
ب-۲- تعیین اهمیت (وزن‌دهی) معیارهای جذابیت و توانمندی

با توجه به این که میزان تأثیر تمامی معیارها در ارزیابی فن‌آوری یکسان نیست، برای تعیین اهمیت معیارها از یکی از روش‌های وزن‌دهی به نام «مقایسات زوجی» استفاده شد. این روش مطرح و در حوزه‌های مختلفی از جمله مدیریت فن‌آوری به‌کار گرفته شده است [۷۰]. در این روش از خبرگان خواسته می‌شود تا معیارها را دوباره با هم مقایسه نموده و میزان اهمیت نسبی آن‌ها را با در نظر گرفتن مقیاس



شکل ۳ فرآیند وزندهی به معیارهای جذابیت و توانمندی براساس روش مقایسات زوجی

راست حرکت کنیم فن‌آوری‌هایی قرار دارند که از جذابیت کمتری برخوردار بوده و امکان اجرا شدن پایین‌تری نیز دارند.



شکل ۴ اولویت‌بندی فن‌آوری‌ها براساس پارامترهای جذابیت و توانمندی [۸۱]

نتایج و بحث

با مروری بر ادبیات موضوع و مطالعه تجارب جهانی کنترل تولید آب اضافه، لیست فن‌آوری‌های کنترل آب تولیدی به‌شرح **جدول ۲** شناسایی گردید. در مرحله بعدی و به‌منظور تدوین معیارها برای ارزیابی فن‌آوری از منظر توانمندی و جذابیت، معیارهای مستخرج از ادبیات موضوع با استفاده از نظرات خبرگان بومی‌سازی شده و تعاریف آن‌ها متناسب با کاربرد فعلی تبیین شد (**جدول ۳**). خبرگان پژوهش شامل افرادی بودند که از یک سو از دانش فنی نسبت به فن‌آوری‌های شناسایی شده برخوردار بوده و از سوی دیگر با چالش‌های عملیاتی و اجرایی میدان برای به‌کارگیری این فن‌آوری‌ها آشنا بودند.

ب-۴- تعیین وضعیت فن‌آوری از منظر معیارهای جذابیت و توانمندی

پس از تعیین اهمیت نسبی اوزان معیارها، می‌بایست فن‌آوری‌های شناسایی شده از نظر هریک از معیارها مورد ارزیابی قرار گیرند. بدین منظور براساس نظر خبرگان و با استفاده از پرسش‌نامه، هر فن‌آوری از منظر هر معیار در بازه امتیازی ۱ (خیلی کم) تا ۹ (خیلی زیاد) ارزیابی شد. با استفاده از میانگین موزون امتیازات، موقعیت هر فن‌آوری در نمودار دو بعدی جذابیت و توانمندی تصویر می‌گردد [۷۵-۷۷].

ج- ارائه سبد فن‌آوری‌های اولویت‌دار از طریق تحلیل ماتریس جذابیت- توانمندی

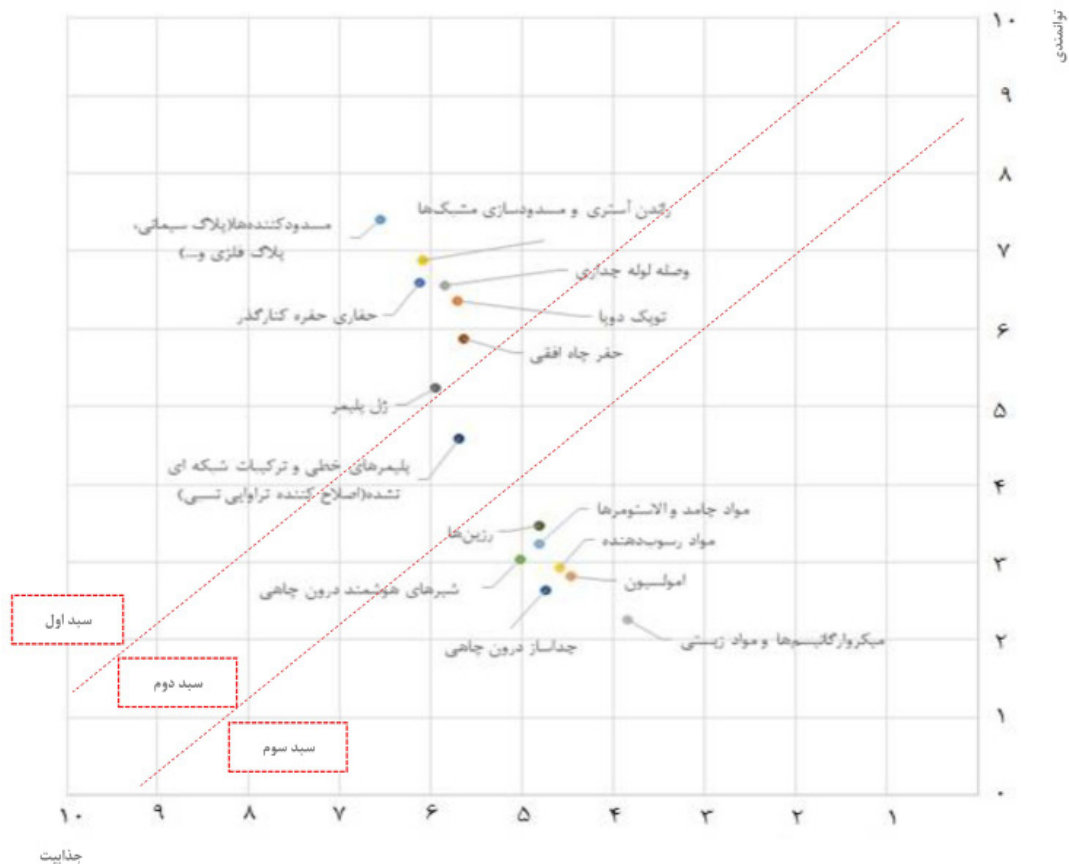
ارزیابی فن‌آوری براساس چارچوب دو بعدی جذابیت و توانمندی [۶۳ و ۷۸] ابزاری است که با استفاده از آن می‌توان جایگاه راهبردی فن‌آوری‌ها را تعیین نموده و بدین‌ترتیب فن‌آوری‌های کلیدی تعیین می‌شوند [۷۹]. ابتدا موقعیت هر یک از فن‌آوری‌ها در ماتریس / نمودار دو بعدی جذابیت- توانمندی تصویر می‌شود. سپس «شکاف امتیازی» میان نقاط، مبنای ایجاد «سبدهای اولویت» می‌گردد [۸۰]؛ همان‌طور که در **شکل ۴** نمایش داده شده است فن‌آوری‌هایی که در گوشه بالای سمت چپ نمودار قرار می‌گیرند، گزینه‌های قدرت‌مندتری برای منظور شدن به‌عنوان فن‌آوری‌های کلیدی هستند. هر چقدر به‌سمت گوشه پایین سمت

جدول ۳ معیارهای ارزیابی جذابیت و توانمندی فن‌آوری‌های کنترل آب تولیدی در مخزن

بُعد	دسته معیارها	کد	معیارهای جذابیت و توانمندی	وزن دسته	وزن معیار در هر دسته	وزن نسبی معیار
جذابیت	پتانسیل بازار	M ₁	میزان کاربرد فن‌آوری در سایر میادین	۱۳/۰	۰/۵۵	۰/۰۷۱
		M ₂	قابلیت چند کاربرده (Multifunction) بودن		۰/۱۸	۰/۰۲۴
		M ₃	امکان فروش / صادرات فن‌آوری		۰/۲۷	۰/۰۳۵
	فنی-اقتصادی	E ₁	فن‌آوری در کدام مرحله چرخه عمر قرار دارد؟ (تولد، رشد، بلوغ، پیری)	۷۹/۱	۰/۱۰	۰/۰۸۰
		E ₂	درآمد حاصل از به‌کارگیری فن‌آوری		۰/۲۰	۰/۱۵۸
		E ₃	بهره‌وری/اثر بخشی حاصل از به‌کارگیری فن‌آوری (مؤثر بودن در حل چالش / کاهش زیان‌های وارده)		۰/۱۹	۰/۱۵۰
		E ₄	سهولت به‌کارگیری فن‌آوری		۰/۰۷	۰/۰۵۵
		E ₅	محدودیت به‌کارگیری فن‌آوری در صورت استقرار سایر فن‌آوری‌ها در میدان (هم‌خوانی/ تناسب بین فن‌آوری‌های به‌کارگرفته شده در میدان)		۰/۰۴	۰/۰۳۰
		E ₆	زمان مورد نیاز جهت به‌کارگیری و اجرای فن‌آوری در میدان		۰/۰۸	۰/۰۶۳
		E ₇	وجود زیر ساخت‌های لازم		۰/۱۵	۰/۱۱۶
		E ₈	میزان نوآورانه بودن فن‌آوری		۰/۰۲	۰/۰۱۶
		E ₉	ایمنی/ ریسک موفقیت در اجرا		۰/۱۶	۰/۱۲۳
توانمندی	سیاسی - اجتماعی	P ₁	اثرات زیست‌محیطی به‌کارگیری این فن‌آوری در میدان	۷/۹	۰/۰۹	۰/۰۰۷
		P ₂	محدودیت قوانین و مقررات برای توسعه فن‌آوری و به‌کارگیری آن		۰/۳۷	۰/۰۲۹
		P ₃	میزان دسترسی به شرکت معتبر و مناسب ارائه‌دهنده و پشتیبانی‌کننده فن‌آوری (با توجه به محدودیت‌های بین‌المللی)		۰/۵۴	۰/۰۴۳
	فن‌آورانه فنی	Z ₁	میزان تجربه و تسلط علمی (پروژه، پتنت/ پایان نامه/مقالات/...)	۸۷/۴	۰/۰۸	۰/۰۶۶
		Z ₂	وجود امکانات و تجهیزات سخت‌افزاری مورد نیاز		۰/۳۹	۰/۳۴۱
		Z ₃	وجود نیروی انسانی متخصص		۰/۵۳	۰/۴۶۷
	توانمندی‌های مکمل	C ₁	ارتباط شرکت با مجامع علمی داخلی و خارجی (انجمن‌های علمی، دانشگاه‌ها، پارک‌های علم و فن‌آوری و مراکز رشد)	۱۲/۶	۰/۱۰	۰/۰۱۳
		C ₂	شبکه‌سازی با شرکت‌های خارجی		۰/۳۵	۰/۰۴۴
		C ₃	میزان سرمایه‌گذاری تحقیق و توسعه شرکت در فن‌آوری مورد نظر		۰/۵۴	۰/۰۶۸

ارزیابی فن‌آوری‌ها از نظر هریک از معیارها نظر خبرگان جمع‌آوری شده و نتایج آن در جدول ۲ قابل مشاهده است با توجه به میانگین امتیازات هر فن‌آوری موقعیت آن در نمودار دو بعدی جذابیت و توانمندی تصویر شده است (شکل ۵).

بر این اساس بیست و دو نفر از کارشناسان و مسئولین طرح و پروژه در پژوهشگاه صنعت نفت و شرکت مورد مطالعه (بهره‌بردار اصلی) و نیز از خبرگان آکادمیک متناسب با فن‌آوری‌ها انتخاب شدند. نتایج نرم‌افزاری مربوط به محاسبه وزن معیارها با استفاده از نظرات خبرگان و روش مقایسه زوجی در جدول ۳ نمایش داده شده است. به‌منظور



شکل ۵ ماتریس جذابیت توانمندی فن‌آوری‌های کنترل آب تولیدی در مخزن مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر مطالعه و غربال‌گری فن‌آوری‌های مناسب کنترل آب تولیدی در یکی از میادین نفتی جنوب ایران با استفاده از چارچوب مدیریت فن‌آوری به‌صورتی روش‌مند و پیش از انجام مطالعات دقیق آزمایشگاهی، شبیه‌سازی، پایلوت میدانی و نظایر آن و همچنین با شناخت اولیه از مخزن و منشأ تولید آب انجام گردید.

پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای و استخراج روش‌های مختلف مدیریت آب تولیدی، ارزیابی فن‌آوری‌ها با رویکرد ارزیابی جذابیت-توانمندی انجام شد. معیارهای ارزیابی جذابیت فن‌آوری‌ها و نیز معیارهای ارزیابی توانمندی شرکت در به‌کارگیری این فن‌آوری‌ها با مروری بر ادبیات مدیریت فن‌آوری استخراج شد. سپس با استفاده از پنل خبرگان امتیازات هر فن‌آوری محاسبه شد.

موقعیت هر فن‌آوری در نمودار دو بعدی در قالب ماتریس جذابیت-توانمندی ترسیم شد. بدین ترتیب با توجه به نتایج مندرج در شکل ۵ فن‌آوری‌هایی که امتیاز جذابیت-توانمندی بالاتری نسبت به سایر فن‌آوری‌ها دارند (گوشه بالای سمت چپ) می‌توانند به‌عنوان فن‌آوری‌های کلیدی سازمان با اولویت بالاتری مدنظر قرار گیرند. از این رو از میان سه سید مشخص شده از فن‌آوری‌ها، سید فن‌آوری‌های اول و دوم به شرح زیر می‌توانند به‌عنوان سید فن‌آوری‌های دارای اولویت سازمان مطرح گردند:

- مسدودکننده‌های مکانیکی (پلاگ سیمانی، پلاگ فلزی و...)
- راندن آستری و مسدودسازی مشبک‌ها
- حفاری حفره کنارگذر
- وصله لوله جداری

جنبه‌های قانونی، زیست‌محیطی، اقتصادی، بازار و ... و نیز اثرات ورود فن‌آوری جدید به زیست‌بوم صنعتی موجود و تعامل فن‌آوری جدید با سایر اجزای صنعت نیز به‌عنوان یک جزء حیاتی در توسعه فرآیند فن‌آوری مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. رویکرد ارائه شده در این پژوهش را می‌توان برای ارزیابی کلان و انتخاب اولیه فن‌آوری‌ها در سایر چالش‌ها در حوزه بالادستی در صنایع نفت و گاز نیز به‌کار گرفت.

تشکر و قدردانی

از پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالادستی و پژوهشکده ازدیاد برداشت از مخازن نفت و گاز پژوهشگاه صنعت نفت به سبب نظرات ارزشمند و همکاری بی‌دریغ ایشان در پیشبرد این پژوهش قدردانی می‌گردد.

• توپک دوپا
• حفر چاه افقی
• ژل پلیمر
• پلیمرهای خطی و ترکیبات شبکه‌ای نشده (اصلاح کننده‌های تراوایی نسبی)
با توجه به ضرورت آشنایی خبرگان پژوهش با فن‌آوری‌های شناسایی شده و نیز ضرورت آشنایی با مشخصات فنی-عملیاتی میدان، تعداد خبرگان این پژوهش محدود بوده است. محرمانگی اطلاعات میدان و عدم دسترسی مستقیم به برخی از خبرگان نیز بر این محدودیت افزوده است.
به‌کارگیری رویکرد مدیریت فن‌آوری به‌منظور ارزیابی و غربالگری اولیه فن‌آوری‌های مناسب کنترل آب پیش از مطالعات آزمایشگاهی شبیه‌سازی و پایلوت که زمان بر و هزینه بر هستند انجام می‌پذیرد. ضمن آن که در فرآیند ارزیابی فن‌آوری‌ها و در چارچوب ارزیابی جذابیت-توانمندی، سایر

مراجع

- [1]. Daneshy, A. (2001). Water management from production to disposal, Daneshy Consultants International, presented Oct. 18, 2001 – West Coast PTTC Workshop.
- [2]. Liu, Y., Lu, H., Li, Y., Xu, H., Pan, Z., Dai, P., ... & Yang, Q. (2021). A review of treatment technologies for produced water in offshore oil and gas fields. *Science of the Total Environment*, 775, 145485. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145485.
- [3]. صراف‌زاده، م. ح.، رضایی، ب. و نخعی، ع. (۲۰۱۶). استفاده مجدد از آب تولیدی در میادین نفت و گاز. نشریه علمی فرآیند نو، ۱۱ (۵۴)، ۱۵-۵. doi:10.1001.1.17356466.1395.11.54.1.5
- [4]. غلام‌زاده، م. ا.، ابدالی لرکی، م.، جهان‌دیده، ن.، و هاشمی، پ. (۱۳۸۷). مدیریت و دفع آب همراه تولیدی از مخازن نفت و گاز و راهکارهای مناسب زیست‌محیطی. همایش زمین‌شناسی کاربردی و محیط زیست. <https://sid.ir/paper/811838/fa>
- [5]. حسن‌زاده، م.، گرامی، ش. و پرهام‌وند، م. ه. (۲۰۱۷). بررسی پدیده مخروطی شدن آب در یکی از مخازن گازی شکافدار ایران. پژوهش نفت ۲۷ (۲-۹۶) ۱۸۳-۱۹۵.
- [6]. Zahedzadeh, M., Karambeigi, M. S., Roayaei, E., Emadi, M. A., Radmehr, M., Gholamianpour, H., Ashoori, S. & Shokrollahzadeh, S. (2014). Comprehensive management of mineral scale deposition in carbonate oil fields—A case study. *Chemical Engineering Research and Design*, 92(11), 2264-2272. doi.org/10.1016/j.cherd.2014.03.014.
- [7]. Taheri, A., Zahedzadeh, M., Masoudi, R., Ataei, A., Roayaei, E., & Fakhri, H. (2011). Simulation and experimental studies of mineral scale formation effects on performance of Sirri-C oil field under water injection.
- [8]. Fakhru'l-Razi, A., Pendashteh, A., Abdullah, L. C., Biak, D. R. A., Madaeni, S. S., & Abidin, Z. Z. (2009). Review of technologies for oil and gas produced water treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 170(2-3), 530-551. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.044.

- [9]. Igunnu, E. T., & Chen, G. Z. (2014). Produced water treatment technologies. *International journal of low-carbon technologies*, 9(3), 157-177. doi.org/10.1093/ijlct/cts049.
- [10]. Bailey, B., Crabtree, M., Tyrie, J., Elphick, J., Kuchuk, F., Romano, C., & Roodhart, L. (2000). Water control. *Oilfield review*, 12(1), 30-51.
- [11]. Veil, J. A., & Clark, C. E. (2009). Produced water volumes and management practices. US Department of Energy Technology Laboratory, 7.
- [12]. Cañas-Marín, W. A., & Sánchez-Pérez, A. P. (2020). Prediction of live formation water densities from petroleum reservoirs with pressure-dependent seawater density correlations. *Dyna*, 87(213), 165-172.
- [13]. Scanlon, B. R., Reedy, R. C., Xu, P., Engle, M., Nicot, J. P., Yoxheimer, D., Yang, Q., & Ikonnikova, S. (2020). Can we beneficially reuse produced water from oil and gas extraction in the US. *Science of The Total Environment*, 717, 137085.
- [14]. Hill, F., Monroe, S., & Mohanan, R. (2012). Water management-An increasing trend in the oil and gas industry. In SPE/EAGE European Unconventional Resources Conference and Exhibition. OnePetro.
- [15]. El-Karsani, K. S., Al-Muntasheri, G. A., & Hussein, I. A. (2014). Polymer systems for water shutoff and profile modification: a review over the last decade. *SPE Journal*, 19(01), 135-149.
- [16]. Permana, D., Fakhrizal, F., & Nurwibowo, M. P. (2013, October). Selection Criteria for Successful Water Shut-Off Treatment-Brown Field Success Story. In SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition (pp. SPE-165753). SPE.
- [17]. Mennella, A., Chiappa, L., Lockhart, T. P., & Burrafato, G. (1999, May). Candidate and chemical selection rules for water shutoff polymer treatments. In SPE European Formation Damage Conference and Exhibition (pp. SPE-54736). SPE.
- [18]. Joseph, A., & Ajienka, J. A. (2010, July). A review of water shutoff treatment strategies in oil fields. In SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition (pp. SPE-136969). SPE.
- [19]. Dubinsky, G., Andreev, V., & Fedorov, K. (2017, October). Comprehensive selection of reagents and technologies for shut off in gas producers. In SPE Russian Petroleum Technology Conference? (p. D033S033R004). SPE.
- [20]. DeRosa, S. E., & Allen, D. T. (2016). Impact of New manufacturing technologies on the petrochemical industry in the United States: A methane-to-aromatics case study. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(18), 5366-5372.
- [۲۱]. اثباتی، ح.، کریمیان، ا. ه و آقاپور، ح. (۱۳۹۵). آشنایی با مبانی و الگوهای تدوین استراتژی تکنولوژی: همراه با مطالعه موردی در سه حوزه صنعتی، تهران: نشر آینده پژوه.
- [22]. Shehabudeen, N., Probert, D., and Phaal, R. (2006) From Theory to Practice: Challenges in Operationalizing a Technology Selection Framework *Technovation*, 26, 324-335. doi.org/10.1016/j.technovation.2004.10.017.
- [۲۳]. آراستی، م. ر.، کریمپور کلو، ا. و فیروزفر، ب. (۱۳۹۴). طراحی مدلی برای ارزیابی فن‌آوری در گستره شبکه زنجیره تأمین یک بنگاه مادر؛ سیاست علم و فن‌آوری، ۸(۴)، ۴۱-۵۵. doi: 10.1001.1.20080840.1394.8.4.5.6.
- [24]. Coates, J. F. (1976). The role of formal models in technology assessment. *Technological Forecasting and Social Change*, 9(1-2), 139-190.
- [25]. Nezhad, A. J., Nikoukar, G. H., & Habibi, M. (2013). A suitable model for formulating technology strategy (case study: A car parts manufacturer in iran khodro company). *International Journal of Learning and Development*, 3(4), 96-107: dx.doi.org/10.5296/ijld.v3i4.4246.
- [26]. Sadeghi Moghadam, M. R., Noferešti, R., & Farahani, A. (2022). Analyzing the Capability-attractiveness Matrix for Emerging Technologies in Iran's Humanitarian Supply Chain. *Industrial Management Journal*, 14(4), doi: 565-594. 10.22059/IMJ.2022.343062.1007944.
- [27]. Daim, T., Yates, D., Peng, Y., & Jimenez, B. (2009). Technology assessment for clean energy technologies: The case of the Pacific Northwest. *Technology in Society*, 31(3), 232-243. doi.org/10.1016/j.techsoc.2009.03.009.
- [28]. Ebrahimi, M., Baerz, A. M., Hosseini, S. H. K., & Azar, A. (2013). A new model of petrochemical technology strategic planning. *International Journal of Business Administration*, 4(2), 57. dx.doi.org/10.5430/ijba.v4n2p57.
- [29]. Dabbaghi, A. (2020). Utilization of grey madm methodology in technology attractiveness assessment: a case study in upstream industry. *Independent Journal of Management & Production*, 11(7), 2872-2887. doi.org/10.14807/ijmp.v11i7.1015.
- [30]. Mohammadzadeh, S., Mokhtarzadeh, N., & Rasaei, M. R. (2021). Strategic technologies selection for oil production: An application of attractiveness-capability matrix of technology. *Iranian Journal of Oil and Gas Science and Technology*, 10(1), 66-79. doi.org/10.22050/ijogst.2020.231146.1551.

- [31]. Sydansk, R. D., & Romero-Zeron, L. (2011). Reservoir conformance improvement: an interdisciplinary approach to topics in petroleum engineering and geosciences. Richardson: Society of Petroleum Engineers.
- [32]. Seright, R. S., Lane, R. H., & Sydansk, R. D. (2003). A strategy for attacking excess water production. SPE Production & Facilities, 18(03), 158-169. doi.org/10.2118/84966-PA.
- [33]. Taha, A., & Amani, M. (2019). Overview of water shutoff operations in oil and gas wells; chemical and mechanical solutions. ChemEngineering, 3(2), 51. doi.org/10.3390/chemengineering3020051.
- [34]. Kabir, A. H. (2001, October). Chemical Water & Gas Shutoff Technology—An Overview. In SPE International Improved Oil Recovery Conference in Asia Pacific (pp. SPE-72119). SPE. doi.org/10.2118/72119-MS.
- [35]. Norman, C., Turner, B., Romero, J. L., Centeno, G., & Muruaga, E. (2006). A review of over 100 polymer gel injection well conformance treatments in Argentina and Venezuela: Design, Field implementation, and Evaluation. In SPE International Oil Conference and Exhibition in Mexico (pp. SPE-101781). SPE. doi.org/10.2118/101781-MS.
- [36]. Willhite, G. P., & Pancake, R. E. (2008). Controlling water production using gelled polymer systems. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 11(03), 454-465.
- [37]. Jain, P., Sharma, V., Raju, A. V., & Patra, S. K. (2000). Polymer gel squeeze for gas shutoff, water shutoff and injection profile improvement in bombay high pilot wells. In SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition (pp. SPE-64437). SPE.
- [38]. Aalaie, J., Vasheghani-Farahani, E., Rahmatpour, A., & Semsarzadeh, M. A. (2008). Effect of montmorillonite on gelation and swelling behavior of sulfonated polyacrylamide nanocomposite hydrogels in electrolyte solutions. European polymer journal, 44(7), 2024-2031. doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2008.04.031.
- [39]. Aalaie, J., Alvand, E., Hemmati, M., & Sajjadian, V. A. (2015). Preparation and probing of the steady shear flow and viscoelastic properties of weakly crosslinked hydrogels based on sulfonated polyacrylamide for oil recovery applications. Polymer Science Series A, 57, 680-687. doi.org/10.1134/S0965545X15050016.
- [40]. Sydansk, R. D., & Seright, R. S. (2007). When and where relative permeability modification water-shutoff treatments can be successfully applied. SPE Production & Operations, 22(02), 236-247. doi.org/10.2118/99371-PA.
- [41]. Bai, B., Li, L., Liu, Y., Liu, H., Wang, Z., & You, C. (2007). Preformed particle gel for conformance control: factors affecting its properties and applications. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 10(04), 415-422. doi.org/10.2118/89389-PA.
- [42]. Zaitoun, A., Kohler, N., Bossie-Codreanu, D., & Denys, K. (1999). Water shutoff by relative permeability modifiers: lessons from several field applications. In SPE Annual Technical Conference and Exhibition? (pp. SPE-56740). SPE. doi.org/10.2118/56740-MS.
- [43]. Coste, J. P., Liu, Y., Bai, B., Li, Y., Shen, P., Wang, Z., & Zhu, G. (2000). In-Depth Fluid Diversion by Pre-Gelled Particles. Laboratory Study and Pilot Testing. In SPE Improved Oil Recovery Conference (pp. SPE-59362). SPE. SPE 59362., 2000. doi.org/10.2118/59362-MS.
- [44]. Stavland, A., Andersen, K. I., Sandoey, B., Tjomsland, T., & Mebratu, A. A. (2006). How to apply a blocking gel system for bullhead selective water shutoff: from laboratory to field. In SPE Improved Oil Recovery Conference (pp. SPE-99729). SPE. doi.org/10.2118/99729-MS.
- [45]. Zaitoun, A., Tabary, R., Rousseau, D., Pichery, T., Nouyoux, S., Mallo, P., & Braun, O. (2007). Using microgels to shut off water in a gas storage well. In SPE International Conference on Oilfield Chemistry (pp. SPE-106042). SPE. doi.org/10.2118/106042-MS.
- [46]. Ogunberu, A. L., & Asghari, K. (2005). Water permeability reduction under flow-induced polymer adsorption. Journal of Canadian Petroleum Technology, 44(11). doi.org/10.2118/05-11-06.
- [47]. Mishra, S., Bera, A., & Mandal, A. (2014). Effect of polymer adsorption on permeability reduction in enhanced oil recovery. Journal of Petroleum Engineering, 2014. doi.org/10.1155/2014/395857.
- [48]. Zitha, P. L. J., Van Os, K. G. S., & Denys, K. F. J. (1998). Adsorption of linear flexible polymers during laminar flow through porous media. In SPE Improved Oil Recovery Conference (pp. SPE-39675). SPE. doi.org/10.2118/39675-MS.
- [49]. Cohen, Y., & Christ, F. R. (1986). Polymer retention and adsorption in the flow of polymer solutions through porous media. SPE Reservoir Engineering, 1(02), 113-118. doi.org/10.2118/12942-PA.
- [50]. Sodeifian, G., Daroughegi, R., & Aalaie, J. (2015). Study of adsorptive behavior of sulfonated polyacrylamide onto carbonate rock particles to enhance oil recovery. Korean Journal of Chemical Engineering, 32, 2484-2491. doi.org/10.1007/s11814-015-0112-0.
- [51]. Wang, W., Liu, Y., & Gu, Y. (2003). Application of a novel polymer system in chemical enhanced oil recovery (EOR). Colloid and Polymer Science, 281, 1046-1054. doi.org/10.1007/s00396-003-0873-6.
- [52]. Urdaneta, J. A., Arroyave, J. M., Jones, P., Amaya, J. L., Coral, A., & Hernandez, H. (2014, May). Novel gas shutoff resin system for well abandonment applications in Colombia: a case history. In SPE Latin America and Caribbean Petroleum Engineering Conference (p. D011S003R001). SPE. doi: 10.2118/169400-ms.

- [53]. Gogarty, W. B. (1967). Rheological properties of pseudoplastic fluids in porous media. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 7(02), 149-160. doi.org/10.2118/1566-A.
- [54]. Alvarado, D., & Marsden Jr, S. S. (1979). Flow of oil-in-water emulsions through tubes and porous media. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 19(06), 369-377. doi.org/10.2118/5859-PA.
- [55]. Raiders, R. A., Maher, T. F., Knapp, R. M., & McInerney, M. J. (1986). Selective plugging and oil displacement in crossflow core systems by microorganisms. In *SPE Annual Technical Conference and Exhibition* (pp. SPE-15600). SPE. doi.org/10.2118/15600-MS.
- [56]. Harwell, J. H., & Scamehorn, J. F. (1988). U.S. Patent No. 4,745,976. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [57]. McAuliffe, C. D. (1973). Oil-in-water emulsions and their flow properties in porous media. *Journal of Petroleum Technology*, 25(06), 727-733. doi.org/10.2118/4369-PA
- [۵۸]. کریمی، م.، پروازدوانی، م.، مومنی، ع. ر.، ندیری پری، م.، مطهری، س. م.، صفری بیدختی، م.، فیروزی‌نیا، ح. (۱۳۹۷). افزایش تولید چاه محور: مشکلات تولید، علت یابی و ارائه راه حل‌ها، نشر ستایش.
- [۵۹]. سلیمانی، پ. (۲۰۱۷). حفاری افقی در آمریکای شمالی و خاورمیانه، ماهنامه تخصصی نفت و انرژی چشم انداز نفت.
- [۶۰]. حسن‌آبادی، م.، بهشتی‌اصل، ن.، شمس‌اپور، ن. (۱۳۹۵). چاه و میدان هوشمند و کاربردهای آن در صنعت نفت ایران، معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی، دفتر مطالعات انرژی صنعت و معدن، کد موضوعی ۱۵۱۱۱، ۳۱۰.
- [۶۱]. سریخانی، م. ح.، و عاملی، ف. (۱۳۹۸). مروری بر فن‌آوری جداسازی آب از نفت در ته چاه. مهندسی شیمی ایران، ۱۸ (۱۰۶)، ۶-۱۷. SID. sid.ir/paper/379421/fa.
- [62]. Jolly, D. R. (2012). Development of a two-dimensional scale for evaluating technologies in high-tech companies: An empirical examination. *Journal of Engineering and Technology Management*, 29(2), 307-329. doi.org/10.1016/j.jengtecman.2012.03.002.
- [63]. Ernst, H. (1997). The use of patent data for technological forecasting: the diffusion of CNC-technology in the machine tool industry. *Small Business Economics*, 9, 361-381. doi.org/10.1023/A:1007921808138.
- [64]. Hax, A. C., & Majluf, N. S. (1996). The strategy concept and process: a pragmatic approach, 2, (360-375). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- [65]. Bond III, E. U., & Houston, M. B. (2003). Barriers to matching new technologies and market opportunities in established firms. *Journal of Product Innovation Management*, 20(2), 120-135. doi.org/10.1111/1540-5885.2002005.
- [66]. Wu, C. Y. (2014). Comparisons of technological innovation capabilities in the solar photovoltaic industries of Taiwan, China, and Korea. *Scientometrics*, 98(1), 429-446. doi.org/10.1007/s11192-013-1120-7.
- [67]. Hax, A. C., & Majluf, N. S. (1983). The use of the industry attractiveness-business strength matrix in strategic planning. *Interfaces*, 13(2), 54-71. doi.org/10.1287/inte.13.2.54.
- [68]. Jolly, D. (2003). The issue of weightings in technology portfolio management. *Technovation*, 23(5), 383-391. doi.org/10.1016/S0166-4972(02)00157-8.
- [69]. Lall, S. (1992). Technological capabilities and industrialization. *World development*, 20(2), 165-186. doi.org/10.1016/0305-750X(92)90097-F.
- [70]. Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications. *European Journal of operational research*, 169(1), 1-29.
- [۷۱]. اصغری‌پور، م. ح. (۱۳۹۲). تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ۱۱.
- [۷۲]. وثوقی‌ش.، چالاک م. ح.، رستم‌زاده س.، جهان‌پناه م. و ابراهیمی، ح. (۱۳۹۹). تجزیه و تحلیل علل حوادث سقوط از ارتفاع در پروژه‌های ساختمانی با رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، فصل‌نامه بهداشت و ایمنی کار.
- [73]. Javadi, S. M., Ghanbari, A. M., & Anisi, A. (2018). Financial Performance Evaluation of the Gas Distribution Companies of National Iranian Gas Company. *Petroleum Business Review*, 2(2), 2-13.
- [74]. Prommachan, W., Surin, P., Srinoi, P., & Pipathattakul, M. (2024). Selection Criteria for Evaluating Predictive Maintenance Techniques for Rotating Machinery using the Analytic Hierarchical Process (AHP). *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(1), 13058-13065..

- [۷۵]. آراستی، م. ر.، مختارزاده، ن. و خانلری، ا. (۱۳۹۲). ارائه مدل یکپارچه تدوین استراتژی تکنولوژی مبتنی بر رویکرد موقعیت‌یابی. چشم‌انداز مدیریت صنعتی، ۳(۲)، ۱۸۵-۲۰۹.
- [۷۶]. کاظمی، م. (۲۰۰۹). نگرشی کاربردی به مدل‌های تدوین استراتژی شرکت‌ها براساس پارادایم تجویزی. صنعت و کارآفرینی، ۴۰.
- [۷۷]. اخروی، ا. ح. و شکیبامنش، ع. ر. (۲۰۱۹). ارائه مدل تدوین نقشه راه فن‌آوری‌های یک سامانه پیشرفته. فصل‌نامه مدیریت توسعه فن‌آوری، ۷(۱)، ۹۱-۱۱۸. doi: 10.22104/jtdm.2019.2860.1966.
- [78]. Jolly, D. R. (2008). Chinese vs. European views regarding technology assessment: Convergent or divergent. *Technovation*, 28(12), 818-830. doi.org/10.1016/j.technovation.2008.09.001.
- [79]. Hax, A. C., & No, M. (1993). Linking technology and business strategies: a methodological approach and an illustration. In *Perspectives in Operations Management: Essays in Honor of Elwood S. Buffa* (pp. 133-155). Boston, MA: Springer US. doi.org/10.1007/978-1-4615-3166-1_8.
- [80]. UNIDO, *Technology Foresight Manual*, vol. 1, 2005 Vienna.
- [81]. Ghazinoory, S., Divsalar, A., & Soofi, A. S. (2009). A new definition and framework for the development of a national technology strategy: The case of nanotechnology for Iran. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(6), 835-848.