نشریه علمی ژئومکانیک و ژئوانرژی (ژئومکانیک نفت)
GEOMECHANICS AND GEOENERGY JOURNAL
(GGJ)

مقاله پژوهشی

ارائه مدلی برای ارتقای توانمندی فناورانه ژئومکانیک در بالادست صنعت نفت و گاز

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

۱- دانشجوی دکتری مدیریت تکنولوژی، گروه مدیریت تکنولوژی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲- استادیار گروه مدیریت تکنولوژی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۳- استاد گروه مدیریت آموزشی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۰۶/۰۸ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۹/۰۱
شناسه دیجیتال (DOI) : 10.22107/ggj.2025.544070.1257

واژگان کلیدی

ژئوانرژی، ژئومکانیک نفت، یادگیری، توانمندی، دیدگاه منبع‌محور

چکیده

ژئومکانیک نقش بسزایی در توسعه و پایداری منابع انرژی دارد. آزمایش‌های ژئومکانیک نفت، مدل‌سازی و تحلیل مربوط به فعل‌وانفعالات سیال/سنگ، بخش جدایی‌ناپذیر یک رویکرد جامع برای توصیف و توسعه مخزن را تشکیل می‌دهد. نبود مطالعه مناسب ژئومکانیکی از دلایل اصلی عدم‌موفقیت بسیاری از عملیات‌های حفاری و توسعه مخزن در صنعت نفت و گاز بوده است. توانمندی‌های فناورانه شرکت‌های خدمات‌دهنده به اکتشاف و تولید نفت و گاز می‌تواند از بروز چنین مشکلاتی جلوگیری کند. بنابراین، در این پژوهش به تحلیل توانمندی فناورانه ژئومکانیک در بالادست صنعت نفت و گاز پرداخته شده است. نمونه مورد بررسی برای تعیین روابط علّی بین ابعاد توانمندی فناورانه ژئومکانیک را ۴۵ نفر از خبرگان ژئوانرژی و ژئومکانیک تشکیل دادند که به روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند. نتایج روش دیمتل و روابط علّی میان ابعاد نشان داد که بُعد توانمندی مدیریت و استراتژیک بالاترین اثرگذاری و کمترین اثرپذیری را در میان سایر ابعاد توانمندی فناورانه زئومکانیک دارا می‌باشد و یک بُعد اثرگذار خالص است. توانمندی پیوند و شبکه‌سازی رتبه دوم اثرگذاری را به خود اختصاص داده است و با توجه به اینکه اثرگذاری این بُعد از اثرپذیری آن بیشتر است یک اثرگذار خالص محسوب می‌شود. توانمندی سرمایه‌گذاری سومین بُعد از لحاظ اثرگذاری بوده و بیشتر از اینکه از سایر ابعاد توانمندی اثر بپذیرد بر آنها اثر می‌گذارد. توانمندی منابع‌انسانی کمترین اثرگذاری را بر بقیه ابعاد دارد و یک اثرپذیر خالص است. توانمندی یادگیری بالاترین تعامل را در میان بقیه ابعاد توانمندی دارا می‌باشد، یعنی بالاترین اهمیت را دارد.

۱. پیش‌گفتار

در صنعت نفت و گاز، نیاز به خلق ارزش، افزایش تولید و کشف فرصت‌های جدید برای تولید مخازن نامتعارف، سبب بروز چالش‌های بسیاری برای مدیران بالادستی جهت بقا و شکوفایی در این محیط تجاری متغیر شده است که به رویکردی جدید و موثرتر برای توسعه و بکارگیری توانمندی‌های فناورانه قوی نیازمند است [۱]. بااین‌حال، بیشتر کشورهای درحال‌توسعه به دلایل ناتوانی در استقرار فناوری‌های متناسب با استعدادهای موجود، جذب ناقص فناوری، نرسیدن به سطح «بهترین عملکرد» در کارایی فناورانه و ناتوانی در نوسازی و تنوع‌بخشی هنگام تغییر شرایط؛ در استفاده از فناوری‌های صنعتی ناموفق بوده‌اند. با اینکه همه کشورهای مذکور به منابع جهانی دانش و تجهیزات دسترسی دارند، اما تفاوت‌های آشکاری بین آنها در استفاده از فناوری‌های صنعتی وجود داشته و دارد که بخشی از آن ناشی از تفاوت در شرایط سیاست‌گذاری است، اما دلیل اصلی؛ اختلاف در توانمندی‌های فناورانه بنگاه‌های آنها است [۲]. بنابراین، در طول زمان، توانمندی فناورانه بعنوان یک عامل مهم استراتژیک برای شرکت‌ها و کشورها بعنوان راهی برای بهبود مزیت رقابتی از طریق تغییرات فناوری و نوآوری، ایجاد فرآیندها و محصولات با ارزش درک شده بیشتر و کارآمد برای مصرف‌کنندگان درنظرگرفته شده است.

گسترش توانمندی‌های فناورانه در بنگاه‌ها، صنایع و اقتصادها از مسیری تکاملی و منحصر به فرد پیروی می‌کند. سرمایه‌گذاری‌ها، برای ایجاد دانش و مهارت انباشتی است و روی سرمایه‌گذاری‌های قبلی قرار می‌گیرد. بنگاه‌ها به جای

* رایانامه نویسنده مسئول: maryambehifar@gmail.com

بهره گرفتن بصورت یکسان از مزایای نوآوری‌های خارجی در دسترس، هر کدام بنا بر ویژگی‌های خاص خود، راه مخصوص به خود را می‌پیمایند. کشورهای درحال‌توسعه باتوجه‌به موقعیت اولیه از مسیری تکاملی پیروی می‌کنند، ولی با گذشت زمان به سبب عواملی چون رشد بنگاه‌ها، تغییر سیاست‌ها، توسعه بازارها و عوامل خارجی از این مسیر منحرف می‌گردند [۲].

شرایط صنعت در حال تغییر است. شرکت‌های بزرگ تنها بر شایستگی‌های اصلی خود تمرکز کرده‌اند [۳] و به‌جای تولیدکننده، به سازنده سیستم تبدیل شده‌اند. بنابراین، از ارائه‌دهندگان خدمات نفت و گاز انتظار می‌رود به‌جای اجزای ساده، بتوانند زیرسیستم‌ها و زیرمجموعه‌ها را ارائه دهند. ادغام کننده‌های سیستم (شرکت‌های اکتشاف و تولید نفت و گاز) بطور ضمنی یا صریح در حال انتقال مسئولیت توسعه فناورانه محصولات و برون‌سپاری زیرسیستم‌هایی که برایشان مزیت رقابتی خلق می‌کند به ارائه‌دهندگان خدمات نفت و گاز هستند [۴]. در صنعت نفت و گاز نیز ظهور شرکت‌های ملّی نفت و گاز، شرکت‌های مستقل بزرگ و شرکت‌های خدماتی در کنار شرکت‌های بزرگ، چالش‌های رقابتی و فرصت‌های مشترک را فراهم می‌کند و پیچیدگی تصمیم‌های استراتژیک را افزایش می‌دهد [۱].

خدمات ژئومکانیک نفت یکی از خدماتی است که کاربردهای گسترده و بااهمیتی در فرآیند مدیریت مخازن نفت و گاز دارد. دستیابی به یک استراتژی بهینه توسعه مخزن نیاز به یک مدل جامع ژئومکانیکی دارد که می‌تواند شامل المان‌هایی از قبیل جهت و مقدار تنش، خواص فیزیکی سنگ مخزن، مقاومت سنگ، فشار منفذی، توصیف و توزیع شکاف‌ها و گسل‌ها باشد. تغییر در عوامل ژئومکانیکی مخزن می‌تواند تولید نفت و گاز را به‌شدت تحت تاثیر قرار دهد. براساس گزارش‌ها و بررسی‌های انجام شده [۵-۹] بروز مشکلات و چالش‌های متعددی در توسعه و تولید از مخازن سخت شده، شکافدار و بسیار متراکم به تغییرات ژئومکانیکی مخازن بستگی دارد.

اگرچه شکافت هیدرولیکی بیش از ۶۰ سال است که در صنعت نفت دنیا با موفقیت اجرا می‌شود، اما در ایران گزارشی از اجرای موفق این عملیات ارائه نشده است. بررسی کلی چند عملیات ناموفق نشان می‌دهد که نبود اطلاعات کافی از خواص مکانیکی سنگ، عدم شناخت تنش‌های برجای منطقه و نبود مطالعه مناسب ژئومکانیکی از دلایل اصلی عدم‌موفقیت عملیات بوده است. مطالعه تجربه‌های دنیا نشان می‌دهد که موفقیت در عملیات، منوط به انجام مطالعه‌های دقیق ژئومکانیکی، آزمایش‌های ارزیابی از قبیل تست میکروشکاف، آزمایش کالیبراسیون و ... می‌باشد که متاسفانه در شرکت‌های ایرانی جایگاه چندانی ندارد [۱۰-۱۲].

بنابراین، توانمندی فناورانه در ژئومکانیک نفت می‌تواند نقش موثری در افزایش تولید، بهره‌وری و خلق ارزش از مخازن موجود و توسعه مخازن جدید داشته باشد. از اینرو، مقاله حاضر به تحلیل چگونگی روابط علّی ابعاد توانمندی فناورانه در جهت ارتقای توانمندی شرکت‌های خدمات‌دهنده نفت و گاز پرداخته است.

۲. مبانی نظری

با شروع اولین مطالعه‌ها در حوزه توانمندی‌های فناورانه، پژوهش‌های متفاوتی توسعه یافتند، بویژه در زمینه‌های صنعتی شدن دیرواردان[۲۱] [۱۵-۱۳]، واردات فناوری [۱۶]، توسعه فناورانه [۲]، صادرات فناوری [۱۷]، تغییرات فناورانه [۱۸، ۱۹] و عملکرد بنگاه‌ها [۲۰]. هر یک از این مطالعه‌ها استراتژی‌ها و مبانی مختلفی را در بر می‌گیرد، بااین‌حال، همه آنها مبتنی‌بر انباشت دانش و روال‌های یادگیری با هدف دستیابی به موفقیت برای شرکت‌ها و کشورها هستند [۲۱].

دیدگاه منبع‌محور[۳] شرکت، اهمیت توسعه منابع و توانمندی‌های ارزشمند و کمیاب را توضیح می‌دهد [۲۲]. با مرور مدل‌های توانمندی فناورانه می‌توان مشاهده نمود که مدل‌هایی در سطوح ملّی، زنجیره تامین و بنگاه مطرح گردیده‌اند.

مدل لال[۴] [۲] یکی از مدل‌های پایه در حوزه توانمندی فناورانه است. این مدل سه بُعد سرمایه‌گذاری[۵]، تولید[۶] و

[1] Latecomer Firms

[۲] اقتصادهای در حال‌توسعه و نوظهور که بعنوان دیرواردان شناخته می‌شوند. انباشت توانمندی‌های نوآورانه از زمانی که کوپر (۱۹۷۰) مکانیسم‌هایی را که از طریق آنها انتقال بین‌المللی فناوری بر انباشت بلندمدت این توانمندی‌ها در شرکت‌های واردکننده فناوری فعال در اقتصادهای در حال‌توسعه تأثیر می‌گذارد، بررسی کرد، موضوع اصلی در مطالعه شرکت‌های تازه‌وارد بوده است.

[3] Resource-Based View

[4] Lall

[5] Investment

[6] Production

پیوند[7] از توانمندی‌های فناورانه را در سه سطح پایه[8]، میانی[9] و پیشرفته[10] تعریف کرده است. علاوه‌برآن، ابعاد دیگری از توانمندی‌های فناورانه در مطالعه‌های مختلف ذکر شده است. توانمندی اکتساب[11] [۲۳، ۲۴]، توانمندی سرمایه‌گذاری[12] [۲، ۲۴-۲۷]، توانمندی تولید یا بهره‌برداری[13] [۲، ۲۴-۲۷]، توانمندی یادگیری[14] [۲۶، ۲۸]، توانمندی فرآیند و قابلیت تغییر محصول[15] [۲۹]، توانمندی فرآیند و قابلیت محصول محوری[16] [۳۰، ۳۱]، توانمندی نوآوری[17] [۱۳، ۲۴]، توانمندی شبکه‌سازی[18] [۲۷، ۳۲]، توانمندی منابع‌انسانی[19] [۳۲، ۳۳]، توانمندی تحقیق و توسعه[20] [۳۱]. مطالعاتی توانمندی فناورانه را در دو سطح توانمندی تولیدی معروف به توانمندی‌های فناورانه عملکردی و سطح انباشت دانش معروف به فراتوانمندی‌ها[21] [۲۷] دسته‌بندی کرده‌اند. همچنین، می‌توان به توانمندی‌های فناورانه استراتژیک[22]، فنی[23]، مکمل[24] و راهبری[25] اشاره کرد. [۲۴].

بر اساس بهی‌فر، رضوی و جعفری (۱۴۰۲) [۳۴] ابعاد و مولفه‌های توانمندی‌های فناورانه ژئومکانیک در صنعت نفت و گاز بصورت زیر بوده است.

جدول ۱-توانمندی‌های فناورانه ژئومکانیک در صنعت نفت و گاز [۳۴]

توانمندی	معیار
سرمایه‌گذاری	دسترسی به منابع اعتباری کافی
	تامین مالی فعالیت‌های تحقیق و توسعه (R&D)
	مطالعه هزینه-فایده در بکارگیری ژئومکانیک
	سرمایه‌گذاری هدفمند در حوزه خدمات ژئومکانیک
پیوند/ شبکه‌سازی	توسعه همکاری‌های ملّی و بین‌المللی
	ایجاد ارتباط مناسب دانشگاه، صنعت و دولت
	اجرای برنامه‌ها و فعالیت‌های آگاه‌سازی در رابطه با خدمات
	برقراری پیوند با صاحبان دانش و فناوری خارجی
	گسترش و تحکیم ارتباط در طول زنجیره‌تأمین
یادگیری	یادگیری عملی، تعاملی و به اشتراک‌گذاری دانش
	فعالیت‌های آگاه‌سازی درباره فناوری‌های در حال ظهور
	تاسیس و گسترش شرکت‌های دانش بنیان
	فعالیت‌های علمی (کنفرانس‌های علمی و انتشار مجلات)
	تدوین برنامه هدفمند جهت انباشت لایه‌های موردنیاز
منابع انسانی	مستندسازی و تحلیل تجارب مرتبط در میادین داخلی
	تربیت نیروی انسانی متخصص در حوزه ژئومکانیک
	تعریف جایگاه شغلی مشخص برای ژئومکانیک
	برنامه‌ریزی مشخص برای آموزش نیروی انسانی
مدیریت و استراتژیک	آشناسازی متخصصان شرکت‌ها با حوزه ژئومکانیک
	باورپذیری در مدیران (دیدگاه مدیران) ارشد

[7] Linkages
[8] Basic
[9] Intermediate
[10] Advanced
[11] Acquisition Capability
[12] Investment Capability
[13] Production or Operation Capability
[14] Learning Capability
[15] Process and Product Change Capability
[16] Process and Product-Centered Capability
[17] Innovation Capability
[18] Networking Capability
[19] Human Resource Capability
[20] R&D Capability
[21] meta-TCs
[22] Strategic
[23] Tactical
[24] Supplementary TCs
[25] Steering

فنی، اجرایی	وجود برنامه راهبردی کلان
	تدوین برنامه مشخص و دوره‌بندی توسعه توانمندی‌ها
	درک پتانسیل‌های حاصل از پیشرفت‌های جدید فناوری
	پایش محیط برای شناسایی فرصت‌ها و تهدیدهای محیطی
	شناسایی نقاط قوت و ضعف صنعت در حوزه ژئومکانیک
	تعیین سازوکار سازمانی برای ژئومکانیک
	فراگیری مدل‌های سه بُعدی و چهار بُعدی ژئومکانیکی
	ایجاد پایگاه داده برای داده‌های ژئومکانیک
	توسعه توانمندی طراحی و مهندسی در حوزه ژئومکانیک
	تاسیس شرکت‌های خدمات‌دهنده مستقل در حوزه ژئومکانیک
مکمل	ارزیابی، جذب و بکارگیری فناوری‌های سازگار با ژئومکانیک
	بازارسنجی و شکل‌دهی به بازار خدمات ژئومکانیک
	شکل‌دهی به زنجیره‌تأمین خدمات ژئومکانیک
	مدیریت یکپارچه بین واحدهای طراحی-زمین‌شناسی و حفاری

در این پژوهش با استناد به بهی‌فر، رضوی و جعفری (۱۴۰۲) [۳۴] توانمندی فناوری ژئومکانیک در صنعت نفت و گاز در ۷ بُعد و ۳۴ مولفه شناسایی و دسته‌بندی شدند. ابعاد توانمندی فناوری ژئومکانیک در صنعت نفت و گاز شامل توانمندی سرمایه‌گذاری با ۴ مولفه، توانمندی پیوند/ شبکه‌سازی با ۵ مولفه، توانمندی یادگیری با ۶ مولفه، توانمندی منابع انسانی با ۴ مولفه، توانمندی مدیریت و استراتژیک با ۷ مولفه، توانمندی فنی، اجرایی با ۴ مولفه، توانمندی مکمل با ۴ مولفه است.

۳. روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و از نظر روش کمّی از نوع علّی با استراتژی پیمایشی بوده است. جامعه پژوهش را خبرگان و متخصصان ژئوانرژی (دارای تحصیلات مرتبط و حداقل ۱۰ سال سابقه فعالیت) تشکیل دادند که از میان آنها بصورت هدفمند ۴۵ نفر بعنوان نمونه ۸ پرسشنامه ماتریس مقایسات زوجی را برای تعیین اثرگذاری و اثرپذیری ابعاد و مولفه‌های توانمندی فناورانه ژئومکانیک بالادست صنعت نفت و گاز، (ماتریس (۷*۷) برای ابعاد اصلی، ماتریس (۴*۴) برای مولفه‌های توانمندی منابع‌انسانی، ماتریس (۵*۵) برای مولفه‌های توانمندی پیوند/ شبکه‌سازی، ماتریس (۴*۴) برای مولفه‌های توانمندی سرمایه‌گذاری، ماتریس (۴*۴) برای مولفه‌های توانمندی فنی، اجرایی، ماتریس (۷*۷) برای مولفه‌های توانمندی مدیریت و استراتژیک و ماتریس (۶*۶) برای مولفه‌های توانمندی یادگیری) تکمیل نموده‌اند. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از روش دیمتل و نرم‌افزارهای متلب ۲۰۲۴ و اکسل ۲۰۱۹ استفاده شده است.

۲.۳. روش دیمتل خاکستری[۲۶]

گام نخست: پرسشنامه‌های ماتریس مقایسات زوجی (ماتریس‌های مقایسات زوجی با مرتبه‌های n و m که n تعداد معیارهای اصلی و m تعداد زیرمعیارها است) برای مقایسه دو به دو هر یک از آنها طراحی شد.

گام دوم: ۴۵ نفر از خبرگان (دارای تحصیلات مرتبط و حداقل ۱۰ سال سابقه فعالیت) ارتباط بین معیارها را با استفاده از مقایسه دو به دو آنها ارزیابی کردند.

گام سوم: ۵ متغیر زبانی برای تعیین شدّت تاثیر هر یک از معیارها بر دیگری بکار برده شد. متغیرهای زبانی و اعداد فازی-خاکستری متناظر با آنها بر اساس *Tseng, 2009; Wang and Chang (1995) and, Chen (2000),* [۳۵-۳۷] برای تعیین شدّت تاثیر توانمندی‌های فنّاورانه در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: متغیرهای زبانی و اعداد فازی-خاکستری متناظر

متغیرهای زبانی	TFNs (⊗ W)

[26] Gray Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)

خیلی کم	(0.0, 0.3)
کم	(0.1, 0.5)
متوسط	(0.3, 0.7)
زیاد	(0.5, 0.9)
خیلی زیاد	(0.7, 1.0)

گام چهارم: فرض کنید $\otimes X$ یک متغیر فاصله‌ای خاکستری است که به صورت $\otimes X = \left[\underline{X}, \overline{X}\right]$ تعریف شده و کران بالا و پایین X محدود است (X کراندار است).

گام پنجم: برای تجمیع نظرات خبرگان برای تشکیل ماتریس اثرات مستقیم $(n\times n)$ $(i, j = 1,\ldots,n)$ که تاثیر معیار i بر معیار jرا نشان می‌دهد از معادله ۵ استفاده شده است.

$$\otimes X_{ij} = \frac{1}{h}\left(\otimes X_{ij}^{1} + \otimes X_{ij}^{2} + \cdots + \otimes X_{ij}^{h}\right) \quad (5)$$

$$X = \begin{bmatrix} \otimes X_{11} & \ldots & \otimes X_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \otimes X_{n1} & \ldots & \otimes X_{nn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

گام ششم: ماتریس اثرات مستقیم خاکستری نرمال (X') محاسبه گردید.

$$X' = \begin{bmatrix} \otimes X'_{11} & \ldots & \otimes X'_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \otimes X'_{n1} & \ldots & \otimes X'_{nn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

گام هفتم: ماتریس تصمیم نرمال شده خاکستری – دیمتل (M^*).

$$M^* = \begin{bmatrix} \otimes M_{11} & \ldots & \otimes M_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \otimes M_{n1} & \ldots & \otimes M_{nn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Where:

$$\otimes M_{ij} = \frac{\otimes X'_{ij}}{\max_{1\le i\le n}\sum_{j=1}^{n} M_{ij}} \quad (9)$$

گام هشتم: ماتریس ارتباط نهایی (T) با بکارگیری معادله ۱۰ بدست آمده است.

$$T = M^*(I - M^*)^{-1} \quad (10)$$

که I ماتریس همانی از مرتبه n است.

برای برای تبدیل وزن‌های خاکستری به وزن‌های قطعی (سفید کردن) از روش میانگین بهترین عملکرد غیرخاکستری[۲۷] (BNP) استفاده شده است.

گام نهم: مجموع جبری هر سطر و ستون از ماتریس اثرات مستقیم نهایی (کل) دو بردار محاسبه شده است.

$$\vec{D} = [d_i]_{n\times 1},\ \vec{R} = [r_j]'_{1\times n}$$

همچنین، مقادیر $\vec{R} + \vec{D}$ که نشاندهنده تعامل (مجموع اثرپذیری و اثرگذاری) و $\vec{R} - \vec{D}$ که نشاندهنده اثرگذاری/اثرپذیری خالص است محاسبه شد.

در صورتی‌که

$\vec{D} - \vec{R} : When\ i = j,\ if\ d_i > r_j \rightarrow d_i - r_j > 0$,

معیار اثرگذار خالص است.

در صورتی‌که

$\vec{D} - \vec{R} : When\ i = j,\ if\ d_i < r_j \rightarrow d_i - r_j < 0$,

معیار اثرپذیر خالص است.

d_i مجموع اثرات مستقیم و غیرمستقیم معیار i را بر سایر معیارها نشان می‌دهد.

r_j مجموع اثرات مستقیم و غیرمستقیم معیار j را نشان می‌دهد.

گام دهم: سیستم مختصات دکارتی با محور افقی $(\vec{D} + \vec{R})$ و محور عمودی $(\vec{D} - \vec{R})$ ترسیم شد که در آن مختصات هر معیار به صورت زوج مرتب $(d_i + r_j,\ d_i - r_j)$ نمایش داده می‌شود.

گام یازدهم: وزن‌های اثرگذاری ابعاد و مولفه‌ها تعیین می‌شود. اهمیت نسبی هر یک از ابعاد و مولفه‌ها با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$W_i = \left[\left(d_i + r_i\right)^2 + \left(d_i - r_i\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$
$$\forall i \quad i = 1,\ldots,n \quad (11)$$

وزن نرمال‌شده هر یک از ابعاد و مولفه‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\overline{W}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \qquad \forall i \quad i = 1,\ldots,n \quad (12)$$

که در آن $\overline{W}_i$ نشاندهنده وزن کل مولفه‌هایی است که در فرآیند تصمیم‌گیری مورد نیاز خواهند بود. بنابراین، وزن اثرگذاری برای هر مولفه (یعنی وزن اثرگذاری کلی) با اعمال رویکرد دیمتل دو–مرحله‌ای تعمیم‌یافته[۲۸] محاسبه شد.

[27] Best Non-grey Performance

[28] Modified 2-tuple DEMATEL approach

۴. یافته‌ها

در این پژوهش با استناد به بهی‌فر، رضوی و جعفری (۱۴۰۲) [۳۴] توانمندی فناوری ژئومکانیک در صنعت نفت و گاز در ۷ بُعد و ۳۴ مولفه شناسایی و دسته‌بندی شدند. اکنون با استفاده از روش دیمتل (از آنجایی که قابلیت بررسی تاثیرگذاری و تاثیرپذیری معیارها را نسبت به یک دیگر دارا می‌باشد) به ساختاردهی سیستماتیک ابعاد پرداخته شده است.

قانون تصمیم‌گیری توافق جمعی از قضاوت خبرگان برای رابطه ممکن بین هر دو عنصر D و R میانه امتیازها است. در ادامه، هر ورودی از ماتریس X در «معکوس بیشترین مجموع سطری از آن ماتریس (λ)» ضرب شد تا «ماتریس M» (شدت اثر نسبی حاکم بر رابطه‌های مستقیم موجود) بدست آید. درنهایت، ماتریس S (شدت اثر نسبی حاکم بر روابط مستقیم و غیرمستقیم) محاسبه شد.

جدول ۳-ماتریس شدت اثر نسبی حاکم بر روابط مستقیم و غیرمستقیم برای ابعاد توانمندی فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز

ابعاد توانمندی فناورانه ژئومکانیک	منابع‌انسانی	پیوند/شبکه‌سازی	سرمایه‌گذاری	فنی و اجرایی	مدیریت و استراتژیک	یادگیری	مکمل
منابع‌انسانی	0.140	0.197	0.122	0.307	0.153	0.296	0.143
پیوند/شبکه‌سازی	0.337	0.260	0.351	0.488	0.342	0.509	0.386
سرمایه‌گذاری	0.345	0.329	0.187	0.473	0.256	0.408	0.207
فنی، اجرایی	0.241	0.228	0.211	0.225	0.213	0.332	0.167
مدیریت و استراتژیک	0.468	0.398	0.415	0.525	0.240	0.545	0.345
یادگیری	0.343	0.276	0.254	0.463	0.301	0.281	0.238
مکمل	0.196	0.285	0.214	0.344	0.178	0.282	0.142

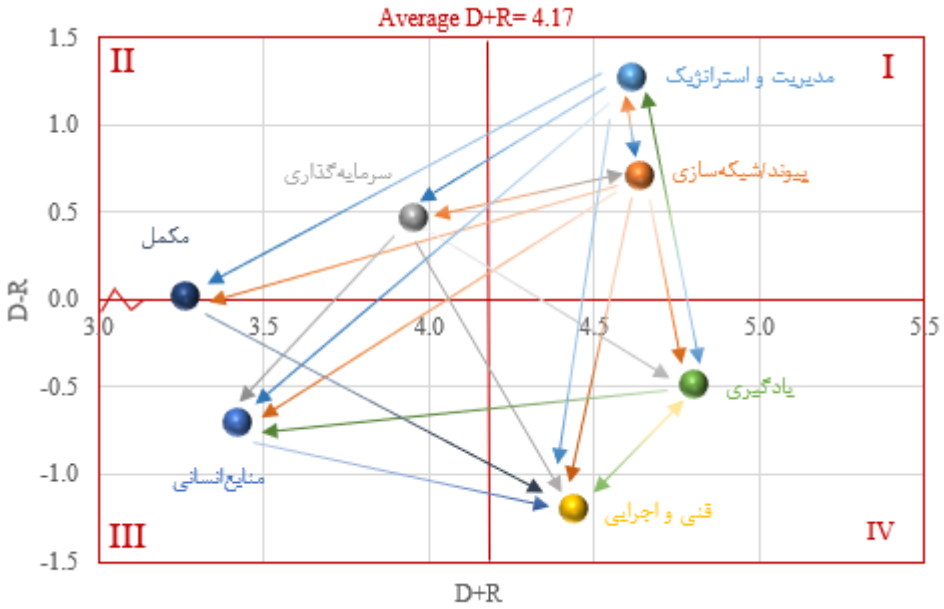
در ماتریس S جمع سطری درایه‌ها $\vec{R} = [r_j]_{1\times n}$ که نشاندهنده اثرپذیری بُعد مورد نظر از سایر ابعاد و جمع ستونی درایه‌ها $\vec{D} = [d_i]_{n\times 1}$ که نشاندهنده اثرگذاری بُعد مورد نظر بر سایر ابعاد و مقادیر $\vec{D} + \vec{R}$ که نشاندهنده تعامل (مجموع اثرپذیری و اثرگذاری) و $\vec{R}$- $\vec{D}$ که نشاندهنده اثرگذاری/ اثرپذیری خالص است، محاسبه شده و در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴-مقادیر اثرگذاری، اثرپذیری، تعامل و اثرگذاری خالص

ابعاد توانمندی فناورانه ژئومکانیک	اثرگذاری $\vec{D}$	اثرپذیری $\vec{R}$	تعامل $\vec{D}+\vec{R}$	اثرگذاری/اثرپذیری خالص $\vec{D}$ - $\vec{R}$	وزن W_i	وزن نرمال $\overline{W_i}$
توانمندی منابع‌انسانی	1.36	2.07	3.43	-0.71	3.50	0.12
توانمندی پیوند/شبکه‌سازی	2.67	1.97	4.64	0.70	4.70	0.16
توانمندی سرمایه‌گذاری	2.20	1.75	3.96	0.45	3.98	0.13
توانمندی فنی، اجرایی	1.62	2.82	4.44	-1.21	4.60	0.16
توانمندی مدیریت و استراتژیک	2.94	1.68	4.62	1.25	4.79	0.16
توانمندی یادگیری	2.16	2.65	4.81	-0.50	4.83	0.16
توانمندی مکمل	1.64	1.63	3.27	0.01	3.27	0.11

براین‌اساس، بُعد توانمندی مدیریت و استراتژیک بالاترین اثرگذاری (۲/۹۴) را در میان سایر ابعاد توانمندی فناورانه ژئومکانیک دارا بوده و یک بُعد اثرگذار خالص است. توانمندی پیوند و شبکه‌سازی رتبه دوم اثرگذاری را به خود اختصاص داده است و با توجه به اینکه اثرگذاری (۲/۶۷) این بُعد از اثرپذیری (۱/۹۷) آن بیشتر است یک اثرگذار خالص محسوب می‌شود. توانمندی سرمایه‌گذاری سومین بُعد از لحاظ اثرگذاری (۲/۲۰) بوده و بیشتر از اینکه از سایر ابعاد

توانمندی اثر بپذیرد بر آنها اثر می‌گذارد. بنابراین، یک اثرگذار خالص محسوب می‌شود. توانمندی منابع‌انسانی کمترین اثرگذاری را بر بقیه ابعاد دارد و با توجه به اینکه اثرگذاری (۱/۳۶) این بُعد از اثرپذیری (۲/۰۷) آن کمتر است یک اثرپذیر خالص محسوب می‌شود. بُعد توانمندی یادگیری دارای اثرگذاری (۲/۱۶) و اثرپذیری (۲/۶۵) است. بنابراین، بالاترین تعامل (مجموع اثرگذاری و اثرپذیری) را در میان بقیه ابعاد توانمندی دارا می‌باشد، یعنی بالاترین اهمیت را دارد. بُعد توانمندی فنی، اجرایی دارای اثرگذاری (۱/۱۶) و اثرپذیری (۲/۸۲) و دارای تعامل (مجموع اثرگذاری و اثرپذیری) (۴/۴۴) است و با توجه به اینکه اثرگذاری این بُعد از اثرپذیری آن کمتر است یک اثرپذیر خالص محسوب می‌شود. توانمندی مکمل با اثرگذاری (۱/۶۴) و اثرپذیری (۱/۶۳) بیشتر از اینکه از سایر ابعاد توانمندی اثر بپذیرد بر آنها اثر می‌گذارد. بنابراین، یک اثرگذار خالص محسوب می‌شود.



نمودار ۱- نقشه روابط شبکه *(NRM)*، ابعاد توانمندی فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز

در ادامه، برای تعیین نقشه روابط شبکه[۲۹] *(NRM)*، ارزش آستانه براساس میانگین مقادیر ماتریس ارتباط کامل محاسبه و برابر با (۰/۲۹۸) شد. عناصری از ماتریس ارتباط کامل که کوچکتر از ارزش آستانه بودند، صفر شده و بقیه مقادیر به همان صورت حفظ شده و روابط تعیین شدند که در نمودار ۱ نشان داده شده است. همچنین، این نمودار بر اساس میانگین مجموع اثرگذاری و اثرپذیری $(\overrightarrow{D}+\vec{R})$ و محور $(\vec{D}-\vec{R})$ به چهار ناحیه تقسیم شده است.

در ناحیه I:

$(d_i - r_i > 0$ و $d_i + r_i > Average\ (\overrightarrow{D} + \vec{R}))$;

در ناحیه II:

$(d_i - r_i > 0$ و $d_i + r_i < Average\ (\overrightarrow{D} + \vec{R}))$;

در ناحیه III:

$(d_i - r_i < 0$ و $d_i + r_i < Average\ (\overrightarrow{D} + \vec{R}))$;

و در ناحیه IV:

$(d_i - r_i < 0$ و $d_i + r_i > Average\ (\overrightarrow{D} + \vec{R}))$;

ابعاد توانمندی مدیریت و استراتژیک و توانمندی پیوند/شبکه‌سازی در ناحیه I قرار گرفته‌اند. از این‌جهت: بُعد توانمندی مدیریت و استراتژیک $(d_5 + r_5 = 4.62)$ و $(d_5 - r_5 = 1.25)$ دارای تعامل و اثرگذاری خالص بالایی بوده و اثرگذارترین بُعد توانمندی فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز محسوب می‌شود و بر ابعاد یادگیری، منابع‌انسانی، مکمل، سرمایه‌گذاری، پیوند/شبکه‌سازی و فنی، اجرایی اثرگذار است و تنها از ابعاد یادگیری و پیوند/شبکه‌سازی بصورت مستقیم

[29] Network Relationship Map

تاثیر می‌پذیرد و به‌عنوان یک بُعد هسته‌ای[30] یا کمک‌کنندگان/قانون‌گذاران درهم‌تنیده[31] محسوب شده و از مهمترین ابعاد توانمندی فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز بشمار می‌رود. از این‌جهت، می‌توان با بهبود بُعد توانمندی مدیریت و استراتژیک مشکل اصلی ارتقاء توانمندی فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز را حل نمود و در برنامه‌ریزی باید در اولویت نخست قرار گیرد.

بُعد توانمندی پیوند/شبکه‌سازی ($d_2 + r_2 = 4.64$ و $d_2 - r_2 = 0.70$) دارای تعامل و اثرگذاری بالایی است و بیشتر از اینکه از سایر ابعاد تاثیر بپذیرد بر سایر ابعاد تاثیر می‌گذارد و به‌عنوان یک بُعد هسته‌ای یا کمک‌کنندگان درهم‌تنیده[32] محسوب شده و از مهمترین ابعاد توانمندی فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز بشمار می‌رود. بعبارتی، بر ابعاد یادگیری، منابع‌انسانی، مکمل، فنی و اجرایی، سرمایه‌گذاری و مدیریت و استراتژیک تاثیرگذار بوده و تنها از ابعاد مدیریت و استراتژیک و سرمایه‌گذاری بصورت مستقیم تاثیر می‌پذیرد. از این‌جهت، می‌توان با بهبود بُعد پیوند/شبکه‌سازی مشکل اصلی ارتقاء توانمندی فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز را حل نمود و در برنامه‌ریزی باید در اولویت نخست قرار گیرد.

بعد توانمندی سرمایه‌گذاری در ناحیه II قرار گرفته است. از این‌جهت:

بُعد توانمندی سرمایه‌گذاری ($d_3 + r_3 = 3.96$ و $d_3 - r_3 = 0.45$) تعامل نسبتا بالا داشته و با اینکه یک اثرگذار خالص است، بااین‌حال، اثرگذاری نسبتا کمی دارد. بنابراین، به‌عنوان یک بُعد محرک[33] یا محرک مستقل[34] شناخته شده است. بعبارتی، بُعد سرمایه‌گذاری بر ابعاد یادگیری، پیوند/شبکه‌سازی، منابع‌انسانی، فنی و اجرایی تاثیرگذار بوده و از ابعاد پیوند/شبکه‌سازی و مدیریت و استراتژیک بصورت مستقیم تاثیر می‌پذیرد. از این‌جهت، می‌توان با بهبود بُعد سرمایه‌گذاری ارتقاء توانمندی فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز را حل نمود و در برنامه‌ریزی باید در اولویت دوم بعد از ابعاد پیوند/شبکه‌سازی و مدیریت و استراتژیک قرار گیرد.

بُعد توانمندی مکمل در ناحیه II و نزدیک محور $\vec{D} + \vec{R}$ قرار گرفته است. از این‌جهت:

بُعد توانمندی مکمل ($d_7 + r_7 = 3.27$ و $d_7 - r_7 = 0.01$) دارای تعامل و اثرگذاری نسبتا کمی است. بر بُعد فنی و اجرایی اثر گذاشته و از ابعاد مدیریت و استراتژیک و پیوند/شبکه‌سازی بصورت مستقیم اثر می‌پذیرد. از این‌جهت، به‌عنوان یک بُعد اثرگذار مستقل[35] است که بر روی تعداد کمی از ابعاد اثر می‌گذارد.

بُعد توانمندی منابع‌انسانی در ناحیه III قرار گرفته است. از این‌جهت:

بُعد توانمندی منابع‌انسانی ($d_1 + r_1 = 3.43$ و $d_1 - r_1 = -0.71$) دارای تعامل پایینی بوده و اثرپذیر خالص است. یعنی بیشتر از اینکه بر سایر ابعاد تاثیرگذار باشد، از سایر ابعاد تاثیر می‌پذیرد و به‌عنوان یک گیرنده مستقل[36] در بین ابعاد توانمندی فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز شناخته شده است. بعبارتی، بُعد منابع‌انسانی تنها بر بُعد فنی و اجرایی اثرگذار بوده و از ابعاد مدیریت و استراتژیک، یادگیری، پیوند/شبکه‌سازی و سرمایه‌گذاری بصورت مستقیم تاثیر می‌پذیرد.

ابعاد توانمندی فنی، اجرایی و توانمندی یادگیری در ناحیه IV قرار گرفته‌اند. از این‌جهت:

بُعد توانمندی فنی، اجرایی ($d_4 + r_4 = 4.44$ و $d_4 - r_4 = -1.21$) دارای تعامل بالا بوده و اثرپذیر خالص است و به نوعی اثرپذیرترین بُعد در میان ابعاد توانمندی فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز محسوب می‌شود. بعبارتی، بُعد فنی و اجرایی تنها بر یادگیری اثر می‌گذارد و از ابعاد یادگیری، منابع‌انسانی، مکمل، سرمایه‌گذاری، پیوند/شبکه‌سازی و مدیریت و استراتژیک بصورت مستقیم اثر می‌پذیرد. از این‌جهت، به‌عنوان یک بُعد اصلی[37] یا گیرنده درهم‌تنیده[38] شناخته شده است. بنابراین، مشکل اصلی ارتقاء توانمندی فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز بوده و باید حل شود و برنامه‌ریزی باید منطبق بر توسعه بُعد فنی و اجرایی صورت گیرد. بعبارتی چون بُعد فنی و اجرایی یک اثرپذیر خالص

[30] Core
[31] Intertwined Givers
[32] Intertwined Givers
[33] Driving Factor
[34] Autonomous Drivers
[35] Independent Impact Factor
[36] Autonomous Receivers
[37] Main
[38] Intertwined Receivers

است، تقریبا شانس چندانی برای بهبود مستقیم آن وجود ندارد. بنابراین، برای ارتقای این بُعد باید ابعاد اثرگذار بویژه (ابعاد مدیریت و استراتژیک، پیوند/شبکه‌سازی و سرمایه‌گذاری) که در اولویت برنامه‌ریزی قرار دارند، منطبق با توسعه بُعد فنی و اجرایی طراحی شده و بهبود یابند تا به ارتقای بُعد فنی و اجرایی منجر شوند.

بُعد توانمندی یادگیری ($d_6 + r_6 = 4.81$ و $d_6 - r_6 = -0.05$) دارای بالاترین تعامل بوده و یک اثرپذیر خالص است. بر ابعاد مدیریت و استراتژیک، منابع‌انسانی و فنی و اجرایی تاثیر می‌گذارد و از ابعاد مدیریت و استراتژیک، فنی و اجرایی، پیوند/شبکه‌سازی و سرمایه‌گذاری بصورت مستقیم تاثیر می‌پذیرد. از این‌جهت، به‌عنوان یک بُعد اصلی یا گیرنده درهم‌تنیده شناخته شده است. بنابراین، مشکل اصلی ارتقاء توانمندی فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز بوده و باید حل شود و برنامه‌ریزی باید منطبق بر توسعه بُعد یادگیری صورت گیرد. بعبارتی چون بُعد یادگیری یک اثرپذیر خالص است، تقریبا شانس چندانی برای بهبود مستقیم آن وجود ندارد. بنابراین، برای ارتقای این بُعد باید ابعاد اثرگذار بویژه (ابعاد مدیریت و استراتژیک، پیوند/شبکه‌سازی و سرمایه‌گذاری) که در اولویت برنامه‌ریزی قرار دارند، منطبق با توسعه بُعد یادگیری طراحی شده و بهبود یابند تا به ارتقای بُعد یادگیری منجر شوند.

در ادامه، شدت اثر روابط بین هر یک از مولفه‌های ابعاد توانمندی فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز محاسبه گردید و مقادیر $\vec{D} = [d_i]_{n\times 1}$ که نشاندهنده میزان اثرگذاری مولفه مورد نظر بر سایر مولفه‌ها است و $\vec{R} = [r_j]_{1\times n}$ که نشاندهنده میزان اثرپذیری مولفه مورد نظر از سایر مولفه‌ها است، همچنین، مقادیر $\vec{R} + \vec{D}$ که نشاندهنده تعامل (مجموع اثرپذیری و اثرگذاری) و $\vec{R} - \vec{D}$ که نشاندهنده اثرگذاری/ اثرپذیری خالص است محاسبه شده و در جداول ۵ تا ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۵-مقادیر اثرگذاری، اثرپذیری، تعامل و اثرگذاری خالص توانمندی منابع‌انسانی

توانمندی منابع انسانی	اثرگذاری $\vec{D}$	اثرپذیری $\vec{R}$	تعامل $\vec{D}+\vec{R}$	اثرگذاری/اثرپذیری خالص $\vec{D}-\vec{R}$	وزن W_i	وزن نرمال $\overline{W_i}$
تربیت نیروی انسانی متخصص در حوزه ژئومکانیک	4.55	2.89	7.44	1.67	7.62	0.25
تعریف جایگاه شغلی مشخص برای ژئومکانیک	3.19	4.53	7.71	-1.34	7.83	0.26
برنامه‌ریزی مشخص برای آموزش نیروی انسانی	3.43	3.51	6.95	-0.08	6.95	0.23
آشناسازی متخصصان شرکت‌ها با حوزه ژئومکانیک	3.93	4.18	8.11	-0.25	8.12	0.27

تربیت نیروی انسانی متخصص در حوزه ژئومکانیک دارای بیشترین اثرگذاری، تعریف جایگاه شغلی مشخص برای ژئومکانیک دارای بیشترین اثرپذیری و آشناسازی متخصصان شرکت‌ها با حوزه ژئومکانیک دارای بیشترین تعامل هستند. تربیت نیروی انسانی متخصص در حوزه ژئومکانیک اثرگذار خالص و تعریف جایگاه شغلی مشخص برای ژئومکانیک، برنامه‌ریزی مشخص برای آموزش نیروی انسانی و آشناسازی متخصصان شرکت‌ها با حوزه ژئومکانیک اثرپذیر خالص هستند.

جدول ۶-مقادیر اثرگذاری، اثرپذیری، تعامل و اثرگذاری خالص توانمندی پیوند/شبکه‌سازی

توانمندی پیوند/شبکه‌سازی	اثرگذاری $\vec{D}$	اثرپذیری $\vec{R}$	تعامل $\vec{D}+\vec{R}$	اثرگذاری/اثرپذیری خالص $\vec{D}-\vec{R}$	وزن W_i	وزن نرمال $\overline{W_i}$
توسعه همکاری‌های ملّی و بین‌المللی	6.17	6.23	12.40	-0.06	12.40	0.21
ایجاد ارتباط مناسب دانشگاه، صنعت و دولت	6.17	5.65	11.82	0.52	11.83	0.20
اجرای برنامه‌ها و فعالیت‌های آگاه‌سازی در رابطه با خدمات	5.12	6.23	11.35	-1.10	11.40	0.19
برقراری پیوند با صاحبان دانش و فناوری خارجی	5.76	6.23	11.98	-0.47	11.99	0.20

گسترش و تحکیم ارتباط در طول زنجیره‌تأمین	6.80	5.70	12.51	1.10	12.56	0.21

گسترش و تحکیم ارتباط در طول زنجیره‌تأمین دارای بیشترین اثرگذاری، توسعه همکاری‌های ملّی و بین‌المللی، اجرای برنامه‌ها و فعالیت‌های آگاه‌سازی در رابطه با خدمات و برقراری پیوند با صاحبان دانش و فناوری خارجی دارای بیشترین اثرپذیری و گسترش و تحکیم ارتباط در طول زنجیره‌تأمین دارای بیشترین تعامل هستند. ایجاد ارتباط مناسب دانشگاه، صنعت و دولت و گسترش و تحکیم ارتباط در طول زنجیره‌تأمین اثرگذار خالص و توسعه همکاری‌های ملّی و بین‌المللی، اجرای برنامه‌ها و فعالیت‌های آگاه‌سازی در رابطه با خدمات و برقراری پیوند با صاحبان دانش و فناوری خارجی اثرپذیر خالص هستند.

جدول۷-مقادیر اثرگذاری، اثرپذیری، تعامل و اثرگذاری خالص توانمندی سرمایه‌گذاری

توانمندی سرمایه‌گذاری	اثرگذاری $\vec{D}$	اثرپذیری $\vec{R}$	تعامل $\vec{D}+\vec{R}$	اثرگذاری/اثرپذیری خالص $\vec{D}-\vec{R}$	وزن W_i	وزن نرمال $\overline{W}_i$
دسترسی به منابع اعتباری کافی	8.37	6.80	15.17	1.57	15.25	0.25
تامین مالی فعالیت‌های تحقیق و توسعه (D&R)	7.50	7.50	15.00	0.00	15.00	0.25
مطالعه هزینه-فایده در بکارگیری ژئومکانیک	6.63	6.80	13.43	-0.17	13.43	0.22
سرمایه‌گذاری هدفمند در حوزه خدمات ژئومکانیک	7.50	8.91	16.41	-1.41	16.47	0.27

دسترسی به منابع اعتباری کافی دارای بیشترین اثرگذاری، سرمایه‌گذاری هدفمند در حوزه خدمات ژئومکانیک دارای بیشترین اثرپذیری و سرمایه‌گذاری هدفمند در حوزه خدمات ژئومکانیک دارای بیشترین تعامل هستند. دسترسی به منابع اعتباری کافی و تامین مالی فعالیت‌های تحقیق و توسعه ($R\&D$) اثرگذار خالص و مطالعه هزینه-فایده در بکارگیری ژئومکانیک و سرمایه‌گذاری هدفمند در حوزه خدمات ژئومکانیک اثرپذیر خالص هستند.

جدول ۸-مقادیر اثرگذاری، اثرپذیری، تعامل و اثرگذاری خالص توانمندی فنی و اجرایی

توانمندی فنی، اجرایی	اثرگذاری $\vec{D}$	اثرپذیری $\vec{R}$	تعامل $\vec{D}+\vec{R}$	اثرگذاری/اثرپذیری خالص $\vec{D}-\vec{R}$	وزن W_i	وزن نرمال $\overline{W}_i$
فراگیری مدل‌های سه بُعدی و چهار بُعدی ژئومکانیکی	2.89	1.57	4.46	1.31	4.65	0.27
ایجاد پایگاه داده برای داده‌های ژئومکانیک	1.21	2.33	3.54	-1.11	3.71	0.22
توسعه توانمندی طراحی و مهندسی در حوزه ژئومکانیک	2.29	2.82	5.11	-0.53	5.14	0.30
تاسیس شرکت‌های خدمات‌دهنده مستقل در حوزه ژئومکانیک	1.98	1.65	3.63	0.33	3.65	0.21

فراگیری مدل‌های سه بُعدی و چهار بُعدی ژئومکانیکی دارای بیشترین اثرگذاری، توسعه توانمندی طراحی و مهندسی در حوزه ژئومکانیک دارای بیشترین اثرپذیری و سرمایه‌گذاری هدفمند در حوزه خدمات ژئومکانیک دارای بیشترین تعامل هستند. فراگیری مدل‌های سه بُعدی و چهار بُعدی ژئومکانیکی و تاسیس شرکت‌های خدمات‌دهنده مستقل در حوزه ژئومکانیک اثرگذار خالص و ایجاد پایگاه داده برای داده‌های ژئومکانیک و توسعه توانمندی طراحی و مهندسی در حوزه ژئومکانیک اثرپذیر خالص هستند.

جدول ۹-مقادیر اثرگذاری، اثرپذیری، تعامل و اثرگذاری خالص توانمندی مدیریت و استراتژیک

	اثرگذاری	اثرپذیری	تعامل	اثرگذاری/اثرپذیری خالص	وزن	وزن نرمال

توانمندی مدیریت و استراتژیک	$\vec{D}$	$\vec{R}$	$\vec{D}+\vec{R}$	$\vec{D}$ - $\vec{R}$	W_i	$\overline{W}_i$
باورپذیری در مدیران (دیدگاه مدیران) ارشد	6.05	5.85	11.90	0.20	11.90	0.14
وجود برنامه راهبردی کلان	5.72	6.87	12.58	-1.15	12.63	0.15
تدوین برنامه مشخص و دوره‌بندی توسعه توانمندی‌ها	6.82	6.46	13.28	0.36	13.28	0.16
درک پتانسیل‌های حاصل از پیشرفت‌های جدید فناوری	6.10	6.46	12.56	-0.36	12.56	0.15
پایش محیط برای شناسایی فرصت‌ها و تهدیدهای محیطی	5.69	4.81	10.51	0.88	10.54	0.13
شناسایی نقاط قوت و ضعف صنعت در حوزه ژئومکانیک	6.08	4.51	10.59	1.57	10.70	0.13
تعیین سازوکار سازمانی برای ژئومکانیک	5.33	6.83	12.16	-1.50	12.25	0.15

تدوین برنامه مشخص و دوره‌بندی توسعه توانمندی‌ها دارای بیشترین اثرگذاری، وجود برنامه راهبردی کلان دارای بیشترین اثرپذیری و تدوین برنامه مشخص و دوره‌بندی توسعه توانمندی‌ها دارای بیشترین تعامل هستند. باورپذیری در مدیران (دیدگاه مدیران) ارشد، تدوین برنامه مشخص و دوره‌بندی توسعه توانمندی‌ها، پایش محیط برای شناسایی فرصت‌ها و تهدیدهای محیطی و شناسایی نقاط قوت و ضعف صنعت در حوزه ژئومکانیک اثرگذار خالص و وجود برنامه راهبردی کلان، درک پتانسیل‌های حاصل از پیشرفت‌های جدید فناوری و تعیین سازوکار سازمانی برای ژئومکانیک اثرپذیر خالص هستند.

جدول ۱۰-مقادیر اثرگذاری، اثرپذیری، تعامل و اثرگذاری خالص توانمندی یادگیری

توانمندی یادگیری	اثرگذاری $\vec{D}$	اثرپذیری $\vec{R}$	تعامل $\vec{D}+\vec{R}$	اثرگذاری/اثرپذیری خالص $\vec{D}$ - $\vec{R}$	وزن W_i	وزن نرمال $\overline{W}_i$
یادگیری عملی، تعاملی و به اشتراک‌گذاری دانش	4.29	5.50	9.79	-1.21	9.86	0.17
فعالیت‌های آگاه‌سازی در مورد فناوری‌های در حال ظهور	5.55	4.41	9.96	1.14	10.03	0.18
تاسیس و گسترش شرکت‌های دانش بنیان	3.01	5.23	8.24	-2.22	8.54	0.15
فعالیت‌های علمی (کنفرانس‌های علمی و انتشار مجلات)	5.56	4.49	10.05	1.07	10.11	0.18
تدوین برنامه هدفمند جهت انباشت لایه‌های موردنیاز	5.56	4.74	10.30	0.82	10.34	0.18
مستندسازی و تحلیل تجارب مرتبط در میادین داخلی	4.40	4.01	8.40	0.39	8.41	0.15

فعالیت‌های علمی (کنفرانس‌های علمی و انتشار مجلات) و تدوین برنامه هدفمند جهت انباشت لایه‌های موردنیاز دارای بیشترین اثرگذاری، یادگیری عملی، تعاملی و به اشتراک‌گذاری دانش دارای بیشترین اثرپذیری و تدوین برنامه هدفمند جهت انباشت لایه‌های موردنیاز دارای بیشترین تعامل هستند. فعالیت‌های آگاه‌سازی در مورد فناوری‌های در حال ظهور، فعالیت‌های علمی (کنفرانس‌های علمی و انتشار مجلات)، تدوین برنامه هدفمند جهت انباشت لایه‌های موردنیاز و مستندسازی و تحلیل تجارب مرتبط در میادین داخلی اثرگذار خالص و یادگیری عملی، تعاملی و به اشتراک‌گذاری دانش و تاسیس و گسترش شرکت‌های دانش بنیان اثرپذیر خالص هستند.

جدول ۱۱-مقادیر اثرگذاری، اثرپذیری، تعامل و اثرگذاری خالص توانمندی مکمل

توانمندی مکمل	اثرگذاری $\vec{D}$	اثرپذیری $\vec{R}$	تعامل $\vec{D}+\vec{R}$	اثرگذاری/اثرپذیری خالص $\vec{D}$ - $\vec{R}$	وزن W_i	وزن نرمال $\overline{W}_i$
ارزیابی، جذب و بکارگیری فناوری‌های سازگار با ژئومکانیک	1.47	2.06	3.53	-0.59	3.58	0.20
بازارسنجی و شکل‌دهی به بازار خدمات ژئومکانیک	2.39	1.82	4.21	0.57	4.25	0.24
شکل‌دهی به زنجیره‌تأمین خدمات ژئومکانیک	2.94	2.17	5.11	0.77	5.17	0.29

مدیریت یکپارچه بین واحدهای طراحی-زمین‌شناسی و حفاری	1.96	2.71	4.66	-0.75	4.72	0.27

شکل‌دهی به زنجیره‌تأمین خدمات ژئومکانیک دارای بیشترین اثرگذاری، مدیریت یکپارچه بین واحدهای طراحی-زمین‌شناسی و حفاری دارای بیشترین اثرپذیری و شکل‌دهی به زنجیره‌تأمین خدمات ژئومکانیک دارای بیشترین تعامل هستند. بازارسنجی و شکل‌دهی به بازار خدمات ژئومکانیک و شکل‌دهی به زنجیره‌تأمین خدمات ژئومکانیک اثرگذار خالص و ارزیابی، جذب و بکارگیری فناوری‌های سازگار با ژئومکانیک و مدیریت یکپارچه بین واحدهای طراحی-زمین‌شناسی و حفاری اثرپذیر خالص هستند.

در نهایت، وزن نهایی هر یک از مولفه‌های توانمندی فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز محاسبه گردید که در جدول ۱۲ نشان داده شده است.

جدول۱۲-وزن و وزن نهایی مولفه‌های توانمندی فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز

توانمندی	مولفه‌های توانمندی فناورانه ژئومکانیک نفت و گاز	وزن در گروه	وزن نهایی
سرمایه‌گذاری (0.134)	دسترسی به منابع اعتباری کافی	0.254	0.0340
	تامین مالی فعالیت‌های تحقیق و توسعه (D&R)	0.249	0.0335
	مطالعه هزینه-فایده در بکارگیری ژئومکانیک	0.223	0.0300
	سرمایه‌گذاری هدفمند در حوزه خدمات ژئومکانیک	0.274	0.0368
پیوند/ شبکه‌سازی (0.158)	توسعه همکاری‌های ملّی و بین‌المللی	0.206	0.0326
	ایجاد ارتباط مناسب دانشگاه، صنعت و دولت	0.197	0.0311
	اجرای برنامه‌ها و فعالیت‌های آگاه‌سازی در رابطه با خدمات	0.189	0.0300
	برقراری پیوند با صاحبان دانش و فناوری خارجی	0.199	0.0316
	گسترش و تحکیم ارتباط در طول زنجیره تامین	0.209	0.0330
یادگیری (0.163)	یادگیری عملی، تعاملی و به اشتراک‌گذاری دانش	0.172	0.0281
	فعالیت‌های آگاه‌سازی در مورد فناوری‌های در حال ظهور	0.175	0.0285
	تاسیس و گسترش شرکت‌های دانش بنیان	0.149	0.0243
	فعالیت‌های علمی (کنفرانس‌های علمی و انتشار مجلات)	0.176	0.0287
منابع انسانی (0.118)	تدوین برنامه هدفمند جهت انباشت لایه‌های موردنیاز	0.180	0.0294
	مستندسازی و تحلیل تجارب مرتبط در میادین داخلی	0.147	0.0239
	تربیت نیروی انسانی متخصص در حوزه ژئومکانیک	0.250	0.0295
	تعریف جایگاه شغلی مشخص برای ژئومکانیک	0.257	0.0303
	برنامه‌ریزی مشخص برای آموزش نیروی انسانی	0.228	0.0269
	آشناسازی متخصصان شرکت‌ها با حوزه ژئومکانیک	0.266	0.0314
مدیریت و استراتژیک (0.161)	باورپذیری در مدیران (دیدگاه مدیران) ارشد	0.142	0.0229
	وجود برنامه راهبردی کلان	0.151	0.0243
	تدوین برنامه مشخص و دوره‌بندی توسعه توانمندی‌ها	0.158	0.0255
	درک پتانسیل‌های حاصل از پیشرفت‌های جدید فناوری	0.150	0.0242
	پایش محیط برای شناسایی فرصت‌ها و تهدیدهای محیطی	0.126	0.0203
	شناسایی نقاط قوت و ضعف صنعت در حوزه ژئومکانیک	0.128	0.0206
	تعیین سازوکار سازمانی برای ژئومکانیک	0.146	0.0236

فنی، اجرایی (0.155)	فراگیری مدل‌های سه بُعدی و چهار بُعدی ژئومکانیکی	0.271	0.0421
	ایجاد پایگاه داده برای داده‌های ژئومکانیک	0.216	0.0335
	توسعه توانمندی طراحی و مهندسی در حوزه ژئومکانیک	0.300	0.0465
	تاسیس شرکت‌های خدمات‌دهنده مستقل در حوزه ژئومکانیک	0.213	0.0330
مکمل (0.110)	ارزیابی، جذب و بکارگیری فناوری‌های سازگار با ژئومکانیک	0.202	0.0222
	بازارسنجی و شکل‌دهی به بازار خدمات ژئومکانیک	0.240	0.0264
	شکل‌دهی به زنجیره تامین خدمات ژئومکانیک	0.292	0.0321
	مدیریت یکپارچه بین واحدهای طراحی-زمین‌شناسی و حفاری	0.266	0.0293

بنابراین، توسعه توانمندی طراحی و مهندسی در حوزه ژئومکانیک بالاترین اولویت، فراگیری مدل‌های سه بُعدی و چهار بُعدی ژئومکانیکی در اولویت دوم، سرمایه‌گذاری هدفمند در حوزه خدمات ژئومکانیک در اولویت سوم قرار گرفته‌اند. دسترسی به منابع اعتباری کافی، برقراری پیوند با صاحبان دانش و فناوری خارجی، شکل‌دهی به زنجیره تامین خدمات ژئومکانیک، توسعه همکاری‌های ملّی و بین‌المللی، تاسیس شرکت‌های خدمات‌دهنده مستقل در حوزه ژئومکانیک، گسترش و تحکیم ارتباط در طول زنجیره‌تأمین تأمین مالی فعالیت‌های تحقیق و توسعه ($R\&D$) و ایجاد پایگاه داده برای داده‌های ژئومکانیک به ترتیب در اولویت‌های بُعدی قرار گرفته‌اند.

۵. نتیجه‌گیری

همانطور که نتایج روش دیمتل خاکستری نشان داد توانمندی مدیریت و استراتژیک باید در اولویت نخست برنامه‌ریزی باشد. توانمندی‌ها «پیوند دهنده‌هایی» هستند که منابع سازمانی را گرد هم می‌آورند و موجب می‌شوند تا بطور مناسب بکار گرفته شوند. توسعه توانمندی‌های سطح شرکت بصورت یک فرآیند بافندگی توصیف شده است که مستلزم ادغام دارایی‌های مختلف سازمانی است. توانمندی مدیریت، به شرکت‌های خدمات‌دهنده ژئومکانیک نفت و گاز اجازه می‌دهد تا دارایی‌های نامشهود مختلف مرتبط با مدیریت منابع‌انسانی، الزامات پروژه‌های متنوع، تغییرات و درک پتانسیل‌های حاصل از پیشرفت‌های جدید فناوری، تعیین سازوکار سازمانی برای ژئومکانیک، تدوین برنامه مشخص و دوره‌بندی توسعه توانمندی‌ها و برآورده ساختن بهتر انتظارات مشتریان را ادغام و پشتیبانی کنند. توانمندی بالاتر مدیریت شرکت‌های خدمات‌دهنده نفت و گاز را قادر به مدیریت بهتر و استفاده از منابع و توانمندی‌های مختلف در سطح شرکت از طریق ایجاد هم‌افزایی ارزشمند که منجربه بهبود عملکرد می‌شود، می‌سازد. شرکت‌های خدمات‌دهنده نفت و گاز این توانایی را در طول زمان از طریق روال‌ها و فرآیندهای سازمانی توسعه می‌دهند.

توانایی مدیریتی بالا قادر خواهد بود تلاش‌های فردی و تیمی را از طریق ایجاد محیط کاری بهتر برای همه بهبود بخشد که منجربه عملکرد بالاتر شرکت می‌شود. بعلاوه، مدیران ارشد که بطور مستقیم با توسعه و حفظ توانمندی مدیریت مرتبط هستند، قادر خواهند بود فرصت‌های مختلف خلاقانه و ارزش‌آفرینی را که با پایگاه منابع موجود شرکت متناسب است را شناسایی کنند. با گذشت زمان، چنین مدیرانی قادر خواهند بود از دانش تجربی منابع شرکت استفاده کنند که منجربه ایجاد گزینه‌های استراتژیک برای تخصیص و استفاده بهتر از دارایی‌ها می‌شود. مشخص شده است که داشتن دانش دقیق از شرکت و توانایی‌های سازمانی آن برای تخصیص مؤثر منابع مالی و انسانی بین پروژه‌های تحقیق و توسعه ($R\&D$) رقیب حیاتی است. منطق زیربنایی این است که مدیران استراتژیک با داشتن دانش ضمنی از مهارت‌ها و علایق منابع‌انسانی می‌توانند احتمال موفقیت را در میان راه‌های متعدد سرمایه‌گذاری‌های تحقیق و توسعه بطور دقیق‌تری ارزیابی کنند و بنابراین، منابع را به پروژه‌هایی با حاشیه سود بالاتر که در آن بنگاه احتمال بیشتری برای دستیابی به مزیت‌رقابتی پایدار دارد، اختصاص دهند. بعبارت‌دیگر، زمانی که مدیران استراتژیک دارای دانش خاص شرکت از منابع و توانمندی‌ها باشند، سرمایه‌گذاری‌های حیاتی می‌توانند بهتر مدیریت شوند، یعنی سطح بیشتر تجربه مدیریت می‌تواند رابطه بین استقرار تحقیق و توسعه ($R\&D$) و ایجاد ارزش را تعدیل کند. بدیهی است که چنین مزیت‌هایی برای

شرکت‌های خدمات‌دهنده نفت و گاز که توانایی مدیریتی نسبتاً پایینی دارند، حاصل نخواهد شد. بدین‌ترتیب، شرکت‌های خدمات‌دهنده نفت و گاز به سطح قابل قبولی از توانمندی‌های سازمانی (منابع‌انسانی، سرمایه‌گذاری، فنی، اجرایی و یادگیری) نیاز دارند تا بتوانند ارزش ایجاد کنند، همزمان به دانش مدیریت بالایی برای تخصیص جریان بالقوه رانت اقتصادی حاصل از این توانمندی‌های سازمانی نیاز دارند. ماهیت مکمل درهم‌تنیده این توانمندی‌ها هم‌افزایی ارزشمندی ایجاد می‌کند که اثربخشی و کارآیی شرکت را افزایش و مزیت‌رقابتی ایجاد می‌کند. این هم‌افزایی برای شرکت‌های خدمات‌دهنده نفت و گازی که دارای توانمندی‌های سازمانی ارزشمند هستند، اما فاقد توانایی مدیریت مناسب هستند، نتیجه نمی‌دهد.

انتقال دانش و بکارگیری موفق فناوری ژئومکانیک نفت و گاز در فرآیند اکتشاف و بهره‌برداری صنعت نفت و گاز ایران باید همراه با توانمندسازی باشد که بتواند تاحدی موجب بهبود فرآیند مدیریت مخازن نفت و گاز، دستیابی به استراتژی بهینه توسعه مخزن، مدیریت موثر مشکلات فنی حفاری در سازندهای جدید زمین‌شناسی و هم خطرات غیرفنی مرتبط با اثرات زیست‌محیطی شکستگی (مهاجرت گازها و مواد شیمیایی شکسته به سطح، آلودگی ناشی از نشت، کاهش آب شیرین، زلزله، آلودگی آب، صدا و آلودگی هوا) شود. انتقال دارایی‌های فکری مانند دانش فنی، تجربه بازار، مدیریت و فرهنگ سازمانی از یک منبع به منبع دیگر سبب بهبود توانمندی‌ها و صلاحیت‌ها می‌شود. بااین‌حال، این فرایند، پیچیده و فراتر از خرید صرف تجهیزات یا مستندات فنی است، چرا که به مهارت‌های فنی، دانش ضمنی و توانایی جذب و بکارگیری فناوری در محیط جدید نیاز دارد. این حالت که لال [۲] آنرا «یادگرفتن یادگیری» منفعل می‌نامد با پیچیده‌تر شدن فناوری ناکارآمد شده و رسیدن به سطح بهترین عملکرد را به فرآیندی زمان‌بر و دشوار تبدیل خواهد نمود. در واقع، مهارت‌های جدید کسب‌شده برای عملیاتی شدن و بکارگیری، حتی اگر موجود و کافی باشند، نیاز به سازگاری با مقیاس‌های داخلی؛ آموختن فرآیند انجام و در صورتیکه، در داخل ایران و در صنعت نفت و گاز در دسترس نباشند، نیاز به وارد شدن دارند. این فرآیند یادگیری پیچیده در شرایط جدید، نیازمند کسب تجربه (یادگیری از طریق تجربه یا حین عمل)، انجام پژوهش (تحقیق و توسعه)، تعامل درونی (به اشتراک‌گذاری دانش) و بیرونی (پیوند و شبکه‌سازی) شرکت‌های خدمات‌دهنده نفت و گاز است. بعلاوه، نااطمینانی محیطی شامل تغییرات عرضه و تقاضای نفت و گاز، تغییر فناوری، هزینه‌های نهاده‌های تولید (منابع‌انسانی و تجهیزات و ماشین‌آلات)، زیرساخت‌ها، تغییر شرایط سیاسی و قانونی، نفت و گاز شیل، کاهش بهره‌وری چاه‌ها و سرمایه‌گذاری پیوسته و پایدار در منابع‌انسانی، تجهیزات و ماشین‌آلات، تحقیق و توسعه، مهارت‌ها، سازماندهی و فرآیندهای درون بنگاهی و برقراری پیوند با سایر بنگاه‌ها و نهادهای واسطه و تنظیم‌گر را ضروری می‌سازد.

همانطور که نتایج روش دیمتل خاکستری نشان داد سرمایه‌گذاری باید در اولویت دوم برنامه‌ریزی باشد، اما این سرمایه‌گذاری باید هدفمند و منطبق با توانمندی‌های فنی، اجرایی و یادگیری باشد. زیرا، اگر سرمایه‌گذاری در تجهیزات و ماشین‌آلات فنی (توانمندی فنی) بیش از سرمایه‌گذاری در یادگیری مهارت‌ها و کسب دانش لازم برای عملکرد کارآ باشد، به ناکارآمدی و اتلاف در سیستم منجر خواهد شد. همچنین، طی فرآیند یادگیری خودکار تنها بخش کوچکی از توانمندی‌ها گسترش و بهبود می‌یابند. همانطور که لال [۲] بیان کرده، ابتدا «خود فرآیند یادگیری باید آموخته شود.»

از سویی، سرمایه‌گذاری در توانمندی‌های فناورانه به هزینه یا منفعت سرمایه‌گذاری؛ در دسترس بودن منابع سرمایه‌گذاری؛ روش‌های تأمین مالی؛ دسترسی به مهارت‌ها، دانش فنی و لجستیک؛ چگونگی پیوند بین بنگاه‌ها و کارآیی نهادهای مرتبط همانند بازار عوامل تولید (مالی، سرمایه، منابع‌انسانی، کالاها و خدمات نهایی)، دانشگاه‌ها و موسسه‌های آموزشی و پژوهشی بستگی دارد. از این‌جهت، شرایط پایدار و هدایت‌کننده سیاست‌ها و رژیم‌های کلان اقتصادی، اجتماعی؛ سیاست‌های متناسب دولت؛ شرایط پایدار قانونی، سیاسی و اجتناب از خلق پدیده قوی سیاه؛ انباشت دانش و مهارت؛ وجود نهادی مرتبط کارآ؛ وجود بازار محرک تاثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر نرخ و جهت توانمندسازی دارد.

ادبیات موجود درباره توانمندی نشان می‌دهد که شکل‌گیری

توانمندی‌های یادگیری نتیجه اجتناب‌ناپذیر انواع سرمایه‌گذاری‌ها در پذیرش فناوری، توسعه سرمایه فیزیکی و انسانی، آزمایش‌های رسمی و غیر رسمی و یادگیری مستقل از طریق عمل است. بعبارت دیگر، پیش شرط تبدیل منابع به شایستگی‌های سازمانی برتر نسبت به رقبا است که در نهایت، به یک سازمان کمک می‌کند تا رقابتی‌تر بماند. طبق نظریه توانمندی، دستیابی به مزیت‌رقابتی پایدار مستلزم توانمندی‌های منحصربه‌فرد، غیرقابل تقلید و دشوار برای انتقال است که می‌تواند توانایی شرکت‌های خدمات‌دهنده نفت و گاز را برای سازگاری با محیط‌های در حال تغییر افزایش دهد. دانش کاربردی، که خود نتیجه یادگیری است، می‌تواند بعنوان منبعی ارزشمند برای این سازگاری عمل کند. تولید و استفاده از دانش ناشی از یادگیری، بدون‌شک، منبع اصلی توانمندی است، زیرا شرکت‌های خدمات‌دهنده نفت و گاز را قادر می‌سازد تا به تغییرات محیطی واکنش نشان دهند. نقش یادگیری آنقدر حیاتی است که می‌توان ادعا کرد آنچه یک شرکت را از سایر رقبا متمایز می‌کند، ظرفیت بالای آن برای یادگیری است. توانمندی یادگیری، یک شرکت را قادر می‌سازد تا با پرورش بینش‌های جدید از تجربه‌های مشترک و تغییر منابع مطابق با تغییرات، بطور موثر عمل کند. از طریق این فرآیند، اعضا تشویق می‌شوند که بطور مداوم به رویکردهای جدید فکر کنند.

وقتی دانش در مجموعه‌ای خاص از فعالیت‌ها، تجهیزات یا فناوری‌ها ادغام می‌شود، توانایی یادگیری شرکت را افزایش می‌دهد. بعبارت دیگر، سازمان‌هایی که مجهز به سازوکارهای ضروری برای کسب دانش مورد نیاز، به‌اشتراک‌گذاری آن بین منابع‌انسانی کلیدی خود، استفاده صحیح و ذخیره آن در حافظه خود هستند، برای توانمندی‌های یادگیری بسیار مناسب هستند. این امر بطور عمده، زمانی انجام می‌شود که این نوع فعالیت‌های دانشی به‌خوبی در تمام روال‌ها و فرآیندهای سازمانی نهادینه شوند. بویژه در صنایع دانش‌محور مانند صنعت نفت و گاز بسیار مهم است. باتوجه‌به ماهیت دانش‌محور آن و این واقعیت که مرزهای دانش در این حووزه پیوسته در حال عقب رانده شدن هستند، شرکت‌های خدمات‌دهنده نفت و گاز برای بقاء و حفظ رقابت باید دانش جدید را از بازار کسب، آنرا در دانش خود ادغام و برای توسعه محصولات و خدمات جدید، آنرا دوباره پیکربندی کنند.

۶. سپاس‌گزاری

بدینوسیله نویسندگان، از انجمن ژئومکانیک نفت و گروه مهندسی ژئومکانیک نفت دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی (بویژه جناب آقای دکتر حسن قاسم‌زاده و جناب آقای دکتر هرمز قلاوند) که صمیمانه در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایند..

۷. مراجع

[1] 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.

[2] Lall, S. (1992). Technological capabilities and industrialization. World development, 20(2), 165-186.

[3] Prahalad, C. K., & Hamel, G. (1990). The core competence of the corporation. Harvard Business Review,May/June 79–91.

[3]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.

[4] Reed M. Fiona, Kathryn Walsh (2002), Enhancing Technological Capability Through Supplier Development: A Study of the U.K. Aerospace Industry, IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 49, No. 3, August 2002, 231.

[5] 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.

[6] 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).

[7]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).

[8] 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.

[۹] قاسم زاده, حسن, بابائی. (۲۰۲۲). تعیین جذب مطلق همدما در مخازن شیل گازی. نشریه علمی ژئومکانیک نفت, ۵ (۱), ۱-۱۶.

[۱۰] علی پور مهدی، بهلولی بهمن، (۱۳۸۹). ژئومکانیک در مهندسی نفت: کاربردها، بررسی شکافت هیدرولیکی و مدلسازی ژئومکانیکی.

[۱۱] 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.
[۱۲] صنایع پسند, محمد, قاسم زاده, & حسن. (۲۰۱۷). مدل چندمقیاسی تغییر شکل پذیر برای مخازن متخلخل نفتی با درنظر گرفتن موئینگی. نشریه علمی ژئومکانیک نفت, ۱ (۲), ۴۰-۵۹.
[13] Lall, S. (1984a), "India's technological capacity: effects of trade, industrial, science and technology policies", Technological Capability in the Third World, Palgrave Macmillan, London, pp. 225-243.
[14] Lall, S. (1984b), "Exports of technology by newly-industrializing countries: an overview", World Development, Vol. 12 Nos 5/6, pp. 471-480.
[15] Katz, J.M. (Ed.) (1987), Technology Generation in Latin American Manufacturing Industries, Springer.
[16] Kim, L. (1980), "Stages of development of industrial technology in a developing country: a model", Research Policy, Vol. 9 No. 3, pp. 254-277.
[17] Madanmohan, T.R., Kumar, U. and Kumar, V. (2004), "Import-led technological capability: a comparative analysis of indian and indonesian manufacturing firms", Technovation, Vol. 24 No. 12, pp. 979-993.
[18] Katz, J. and Pietrobelli, C. (2018), "Natural resource-based growth, global value chains and domestic capabilities in the mining industry", Resources Policy, Vol. 58, pp. 11-20.
[19] Hwang, S. and Shin, J. (2019), "Extending technological trajectories to latest technological changes by overcoming time lags", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 143, pp. 142-153.
[20] Figueiredo P. N., (2008), Industrial policy changes and firm-level technological capability development: Evidence from Northern Brazil," World Development, vol. 36, pp. 55-88, 2008.
[21] Tello-Gamarra, J., & Fitz-Oliveira, M. (2021). Literature on technological capability: past, present and future. International Journal of Innovation Science, 13(4), 401-422.
[22] Prahalad, C. K., & Hamel, G. (1990). The core competence of the corporation. Harvard Business Review,May/June 79–91.
[23] Takim R., Omar R., and Nawawi A. H., (2008), International technology transfer (ITT) projects and development of technological capabilities in Malaysian construction industry: A conceptual framework," Asian Social Science, vol. 4, pp. 38-46, 2008.
[24] Panda H. and Ramanathan K., (1996), Technological capability assessment of a firm in the electricity sector, Tec novation, vol. 16, pp. 561-588, 1996.
[25] Romijn H., (1997), Acquisition of technological capability in development: a quantitative case study of Pakistan's capital goods sector, World Development, vol. 25, pp. 359-377, 1997.
[26] Kumar V., Kumar U., and Persaud A., (1999), Building technological capability through importing technologies: The case of Indonesian manufacturing industry, Journal of Technology Transfer, vol. 24, pp. 81-96, 1999.
[27] Wu X., Gu Z., and Zhang W., (2008), The construction of innovation networks and the development of technological capabilities of industrial cluster in China, International Journal of Innovation and Technology Management, vol. 5, pp. 179-199, 2008.
[28] Costa I. and de Queiroz S. R. R., (2002), Foreign direct investment and technological capabilities in Brazilian industry, Research Policy, vol. 31, pp. 1431-1443, 2002.
[29] Gammeltoft P., (2004), Development of firm-level technological capabilities: The case of the Indonesian electronics industry, Journal of the Asia Pacific Economy, vol. 9, pp. 49-69, 2004.
[30] Iammarino S., Padilla-Perez R., and Tunzelmann N. von, (2008), Technological capabilities and global-local interactions: The electronics industry in two Mexican regions," World Development, vol. 36, pp. 1980-2003, 2008.
[31] Rasiah R., (2009), Technological capabilities of automotive firms in Indonesia and Malaysia, Asian Economic Papers, vol. 8, pp. 151-169, 2009.
[32] Park T.-Y., Choung J.-Y., and Min H.-G., (2008), The cross-industry spillover of technological capability: Korean's DRAM and TFT-LCD industries, World Development, vol. 36, pp. 2855-2873, 2008.
[33] Abeysinghe D. and Paul H., (2005), Privatization and technological capability development in the telecommunications sector: A case study of Sri Lanka Telecom, Technology in Society, vol. 27, pp. 487-516, 2005.
[۳۴] بهی فر, مریم , رضوی, محمدرضا و جعفری, پریوش. (۱۴۰۲). شناسایی توانمندی‌های فناورانه ژئومکانیک در صنعت نفت و گاز .نشریه علمی ژئومکانیک نفت , 6(2), 48-63. Doi: 10.22107/jpg.2023.407649.1201
[35] 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.
[36] Wang, M. J. J., & Chang, T. C. (1995). Tool steel materials selection under fuzzy environment. Fuzzy Sets and Systems, 72, 263–270.
[37] Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. Fuzzy sets and systems, 114, 1–9.