

رهیافتی نو به ماهیت و سطوح فن آوری در بخش بالادستی صنعت نفت و گاز

سید مهدیا مطهری*، سید کامران باقری^۱، پژوهشگاه صنعت نفت • سید صالح هندی^۲، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۰۱/۲۲

تاریخ ارسال به بازرین: ۹۵/۰۱/۲۲

تاریخ پذیرش بازرین: ۹۵/۰۱/۲۵

واژگان کلیدی:

صنعت نفت و گاز، بخش بالادستی، فن آوری، محتوای دانشی، خبرگی فن آورانه، ابزار فن آورانه

با وجود ارزش افزایی چشمگیر بخش بالادستی صنعت نفت، ماهیت فن آوری در این بخش برای بسیاری (حتی در درون این صنعت) مبهم است. به نظر می‌رسد که بخشی از مشکلات فراوان موجود در زمینه توسعه و به کارگیری فن آوری‌های مورد نیاز این بخش از صنعت کشور، ریشه در همین ابهام یا شناخت نامناسب از ماهیت فن آوری دارد. در این مقاله ضمن واکاوی مفهوم فن آوری در بخش بالادستی صنعت نفت، با استفاده از شاخص‌های مربوطه، فرآیندهای بالادستی به دو دسته فرآیندهای کلیدی و پشتیبان تقسیم می‌شوند. بر همین اساس برای نخستین بار، فن آوری‌های بالادستی به دو گروه خبرگی فن آورانه و ابزارهای فن آورانه طبقه‌بندی شده‌اند. سپس بر مبنای میزان دانش بنیان بودن فرآیندهای مربوطه، خبرگی فن آورانه در چهار دسته تولید داده، تولید اطلاعات، تولید دانش و خردورزی ارائه و برخی ابزارهای مربوط به هر گروه معرفی شده‌اند. این مقاله با کمک به شفاف‌سازی مفهوم و نقش فن آوری در بخش بالادستی صنعت نفت می‌تواند زمینه را برای تصمیم‌گیری بهتر مدیران در حوزه عملیات و سیاست‌گذاری فراهم آورد. همچنین می‌توان از سطوح فن آوری معرفی شده در این مقاله به مثابه نقشه‌ی راه و راهنمای عملی در مسیر ارتقاء توان دانشی و فن آورانه‌ی شرکت‌ها استفاده کرد.

مقدمه

شرکت‌های خدماتی^۳ تلقی می‌کنند و بنابراین آنرا با اهداف و رسالت‌های وزارت نفت ایران بی‌ارتباط می‌دانند. حقیقت این است که ماهیت راستین فن آوری و نقش و پیچیدگی آن در بخش بالادستی صنعت نفت و گاز بر بسیاری در بیرون و حتی درون صنعت نفت آشکار نیست. به نظر می‌رسد یکی از چالش‌های مهم مدیریت این بخش از صنعت که بعضاً تا کنون مشکلات زیادی نیز برای کشور در پی داشته همین شناخت نادرست از ماهیت فن آوری در این بخش از صنعت نفت و گاز است. در این مقاله تلاش می‌شود برای نخستین بار ماهیت راستین فن آوری و پیچیدگی‌های آن تجزیه و تحلیل شده و برای درک و تحلیل بهتر آن، چارچوبی نوین مبتنی بر سطوح مختلف فن آوری ارائه گردد.

۱- جایگاه بخش بالادستی در زنجیره‌ی ارزش صنعت نفت

صنعت نفت و گاز گسترده‌ی وسیعی از فعالیت‌ها و فرآیندها را دربر می‌گیرد که همگی با هدف تبدیل منابع نفت و گاز به محصولات نهایی قابل استفاده انجام می‌شوند. این فعالیت‌ها با شناسایی مناطق مناسب برای اکتشاف آغاز می‌شود. پس از اکتشاف، میدین نفت و گاز ارزیابی شده،

روند روبه‌رشد سرمایه‌گذاری در بخش نفت و گاز دنیا طی چند دهه‌ی اخیر، تحولات دانشی عظیمی را در این صنعت به‌همراه داشته است. ظهور فن آوری‌های جدید منجر به کاهش هزینه‌ها و بهبود بهره‌وری تولید از میدین نفت و گاز شده است. این موضوع، رقابت میان شرکت‌های بزرگ نفتی برای دسترسی به فن آوری‌های پیشرفته در حوزه‌های مختلف اکتشاف و تولید را افزایش داده است. کلید موفقیت و پیروزی در این رقابت، پیمودن راه‌های درست برای کسب فن آوری‌های نوین و پیشرفته است. اما نکته‌ی قابل تأمل آنست که تا کنون تعریف و تعبیر درستی از فن آوری در بخش بالادستی صنعت نفت ارائه نشده است. تصور عمومی آنست که صنعت نفت و گاز (به‌ویژه بخش بالادستی آن) صنعتی بالغ با فن آوری نه‌چندان پیشرفته است و بنابراین تصویر بخش بالادستی در ذهن متخصصان صنعت نفت گاه به‌صورت کارگران مشغول تلاش روی سکوه‌های نفتی با لباس‌های فرم آغشته به روغن است.

بسیاری از مهندسان و مدیران صنعت، سهم فن آوری در بخش بالادستی نفت و گاز را در حد تجهیزات اکتشافی و حفاری (مثل انواع دکل، مته‌ها و ...) می‌دانند و از این منظر توسعه‌ی فن آوری در این بخش را در حوزه‌ی تخصص و تک‌تازی

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (motaharism@ripi.ir)

نظام‌مند دانش، ایده‌ها و مهارت‌های ویژه، توان حل مسأله و غیره

■ **سازمان‌افزار^۱**: چارچوبی شامل ساختار، مجموعه‌ی فرآیندهای کاری، فرهنگ و پیچیدگی سازمانی و غیره

۳- الگویی جدید برای تعریف و دسته‌بندی فن‌آوری‌های بالادستی صنعت نفت

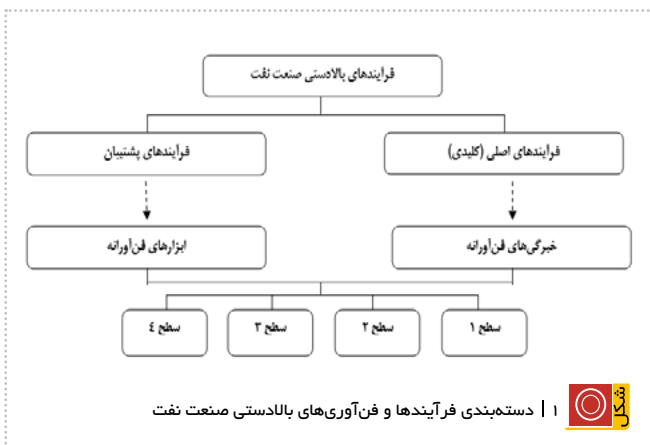
به‌منظور دستیابی به مفهوم صحیح فن‌آوری‌های بالادستی، فرآیندهای بالادستی به دو دسته‌ی اصلی (کلیدی) و پشتیبان تقسیم می‌شوند (شکل-۱). جهت تعیین فرآیندهای اصلی لازم است شاخص‌ها و معیارهای کلیدی یا اصلی بودن فرآیند تعیین گردند. با توجه به نظر خبرگان، معیارهای زیر جهت تعیین فرآیندهای کلیدی در نظر گرفته شده است:

■ **ارزش‌افزایی**: فن‌آوری‌های کلیدی بخش بالادستی یکسان نیستند و دسته‌بندی آنها در سطوح مختلف امکان بررسی دقیق‌تر ارزش هر دسته از آنها را فراهم می‌آورد.

■ **نقش و سهم بازیگران مختلف در توسعه‌ی فن‌آوری**: نقش و سهم بازیگران مختلف بخش بالادستی شامل شرکت‌ها، دانشگاه‌ها، مراکز پژوهش و توسعه، شرکت‌های مشاوره و سازندگان تجهیزات در فرآیندهای بالادستی متفاوت است.

■ **سطح پیچیدگی نیروی انسانی درگیر در هر سطح**: با توجه به سطح پیچیدگی نیروی انسانی؛ از اپراتورها گرفته تا پژوهشگران، مهندسان حرفه‌ای و با سابقه، مدیران پروژه و فن‌آوران، می‌توان کلیدی بودن فرآیند را مشخص نمود.

■ **دانش‌بنیان بودن فرآیندها**: با توجه به اهمیت فراوان



۱ | دسته‌بندی فرآیندها و فن‌آوری‌های بالادستی صنعت نفت

توسعه یافته و به تولید می‌رسند. این بخش از فعالیت‌های صنعت نفت به‌طور سنتی با نام اکتشاف و تولید یا بخش بالادستی صنعت نفت و گاز شناخته می‌شوند. نکته‌ی مهم این است که بخش عمده‌ی ارزش افزوده‌ی صنعت نفت و گاز در بخش بالادستی آن نهفته است. به‌عبارت دیگر شرکت‌های بزرگ نفتی که دامنه‌ی فعالیت‌های آنها تقریباً کل زنجیره‌ی ارزش صنعت نفت را شامل می‌شود بخش عمده‌ی سود خود را از فعالیت‌های بالادستی به‌دست می‌آورند. در گزارشی که در ۲۰۰۸ در مورد فعالیت شرکت‌های بزرگ نفتی به کنگره‌ی آمریکا ارائه شده، به‌صراحت آمده که حدود ۸۰ درصد از درآمد خالص این شرکت‌ها از فعالیت‌های بالادستی حاصل شده است [۵]. بنابراین شناخت دقیق ماهیت فن‌آوری در بالادست صنعت نفت و گاز و نقش عمده‌ی آن در ارزش‌آفرینی در این صنعت موضوعی بسیار مهم است.

۲- مروری بر مفهوم فن‌آوری

بخش بالادستی صنعت نفت، گستره‌ی وسیعی از فعالیت‌ها را شامل می‌شود و به‌همین دلیل فن‌آوری‌های بسیار زیادی در این بخش قابل‌شناسایی و معرفی هستند. واضح است که شناسایی هرچه بهتر این فن‌آوری‌ها نیازمند ایجاد چارچوبی برای تعیین سطوح فن‌آوری است. قبل از ارائه‌ی این چارچوب ضروری است مفهوم فن‌آوری به‌صورت کلی مرور شود. زیرا برخی از مشکلات ریشه در شناخت ناقص مفهوم فن‌آوری دارند. فن‌آوری به‌معنای عام آن همان کاربرد عملی دانش است [۴]. در این مقاله مقصود از فن‌آوری مجموعه‌ی دانش، مهارت‌ها، روتین‌ها، شایستگی‌ها، تجهیزات و توان مهندسی لازم برای طراحی و ساخت نوعی محصول، نرم‌افزار، فرآیند یا ارائه‌ی نوعی خدمت است [۳].

تعاریف بالا نشان می‌دهند که برخلاف تصور برخی که تنها ویژگی سخت‌افزاری فن‌آوری را مورد توجه قرار می‌دهند، فن‌آوری می‌تواند ابعاد غیرفیزیکی نیز داشته باشد. برخی صاحب‌نظران فن‌آوری را دارای چهار جزء زیر می‌دانند و توجه هم‌زمان به تمامی این اجزاء را پیش‌نیاز تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری صحیح در ارتباط با آن می‌دانند [۶]:

■ **سخت‌افزار^۲**: مثل ابزارها، تجهیزات، محصولات، فرآیندهای فیزیکی، ماشین‌آلات و غیره

■ **نرم‌افزار^۳**: مثل دانش در مورد روابط فیزیکی، اطلاعات علمی یا دیگر انواع دانش ساختاریافته، اطلاعات فنی، استانداردها، دستورالعمل‌ها، نرم‌افزارهای رایانه‌ای و غیره

■ **انسان‌افزار^۴**: توانایی انسانی در درک و امکان به‌کارگیری

به سازگاری آنها با خبرگی های فن آورانه است.

۴- سطوح فن آوری در بخش بالادستی صنعت نفت ۴-۱- سطوح خبرگی فن آورانه

با توجه به معیار دانش بنیان بودن فرآیندهای کلیدی، خبرگی های فن آورانه به چهار سطح قابل تقسیم هستند:

- **سطح نخست (تولید داده):** تولید داده های خام از راه انجام آزمایش های مختلف، تهیه نمودار نگارها و انجام آزمایش های چاه و عملیات لرزه نگاری

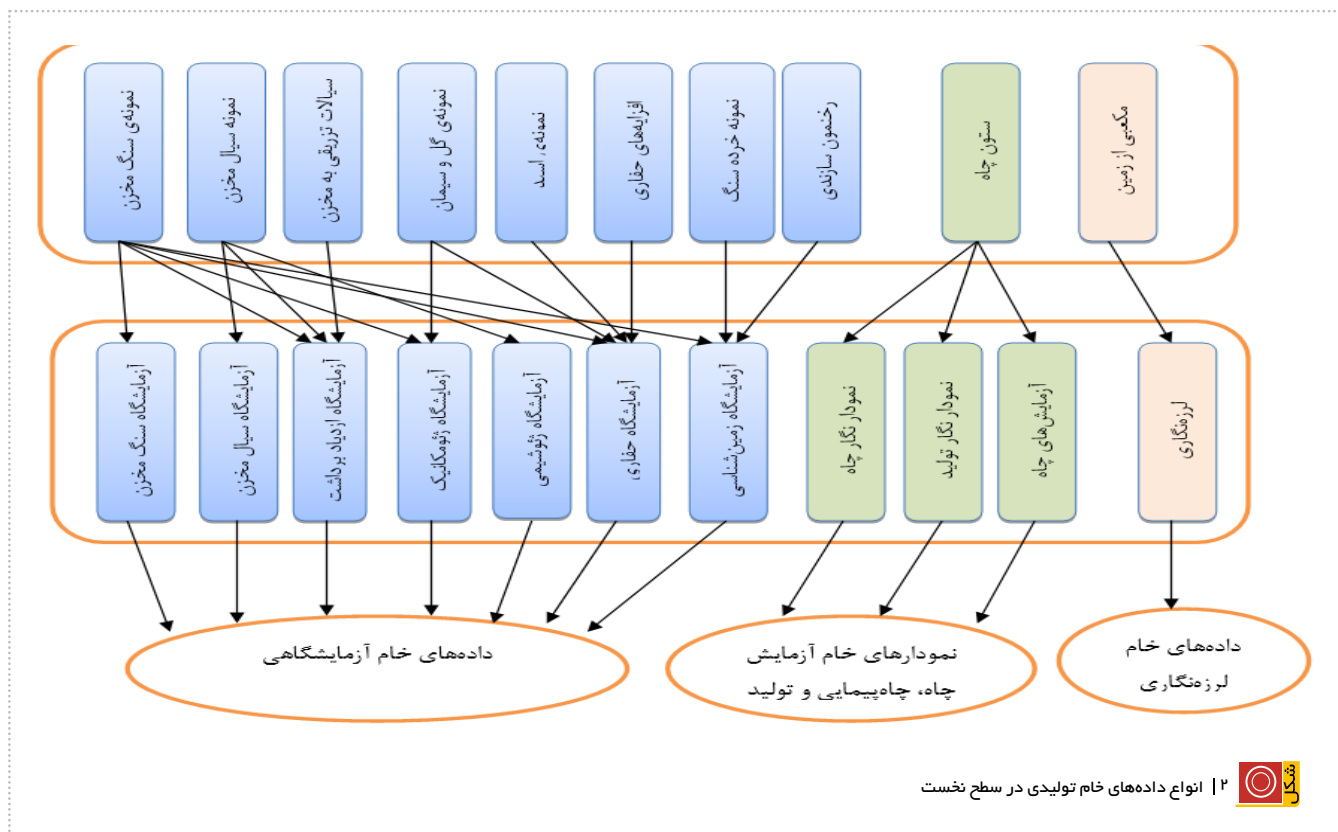
- **سطح دوم (تولید اطلاعات):** داده های خام تولید شده در سطح نخست، از طریق تفسیر، پردازش و مدل سازی به اطلاعات زمین شناسی و مخزنی تبدیل می شوند.

- **سطح سوم (دانش آفرینی):** پس از شناسایی چالش های مربوط به مدیریت مخازن و تبدیل آنها به مسائلی که حل آنها موجب رفع مشکل یا بهینه سازی می شود باید از راه تلفیق برخی داده ها، مدل ها و سایر علوم (از جمله ریاضی، فیزیک و ...) دانش لازم برای حل آن مسائل را آفرید.

- **سطح چهارم (خردورزی):** مطالعه ای جامع و توسعه ای

محتوای دانشی یا دانش بنیان بودن فرآیندهای کلیدی بخش بالادستی، میزان دانش بنیان بودن فرآیندها، معیاری برای تعیین کلیدی بودن آنها در نظر گرفته شده است.

با توجه به معیارهای بالا، فن آوری های بالادستی به دو دسته خبرگی های فن آورانه^۱ و ابزارهای فن آورانه^۲ تقسیم می شوند. مقصود از خبرگی های فن آورانه آنهایی هستند که برای تولید داده ها، اطلاعات، دانش و خرد لازم برای مدیریت مخازن نفت و گاز یا همان فرآیند کلیدی این صنعت الزامی اند و خود بر پایه محتوای دانشی، پیچیدگی و تنوع تخصصی قابل تفکیک به سطوح مختلف هستند. اما ابزارهای فن آورانه همان فن آوری های عمدتاً سخت افزاری و نرم افزاری هستند که فرآیند اصلی را پشتیبانی می کنند. بنابراین ابزارهای مذکور اگرچه از جنس فن آوری هستند اما در مقایسه با خبرگی های فن آورانه صنعت اهمیت به مراتب کمتری دارند. یکی از دلایل اهمیت بیشتر خبرگی های فن آورانه، تأثیر آنها بر فرآیند توسعه و پذیرش ابزارهای فن آورانه در صنعت است. به بیان دیگر معمولاً مراحل پژوهش و توسعه ای ابزارهای فن آورانه بر اساس الگوهای پذیرفته شده در حوزه خبرگی فن آورانه طی می شوند و در بسیاری از موارد پذیرش و کاربرد آنها در صنعت وابسته



شکل ۱۲ | انواع داده های خام تولیدی در سطح نخست

در این سطح، از تجهیزات آزمایشگاهی، ابزارهای نمودارگیری و ابزارهای لرزه‌نگاری روی نمونه‌ها^{۱۱} برای تولید این داده‌های خام استفاده می‌شود. فن آوری‌های سخت‌افزاری (مثل انواع تجهیزات آزمایشگاهی) در این سطح، نقش برجسته‌ای دارند و به‌همین دلیل توان کار مؤثر با این تجهیزات یا همان توان بهره‌برداری (اپراتوری) نیز اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. از جمله فرآیندهای فن آورانیه در سطح نخست (یا همان پایین‌ترین سطح فن آوری در بالادستی نفت و گاز) می‌توان به مجموعه آزمایش‌های سنگ مخزن، سیال مخزن، تولید، ازدیاد برداشت، حفاری و ... اشاره کرد که در شکل ۲-۱ ارائه شده‌اند.

۴-۱-۲- سطح دوم: تولید اطلاعات

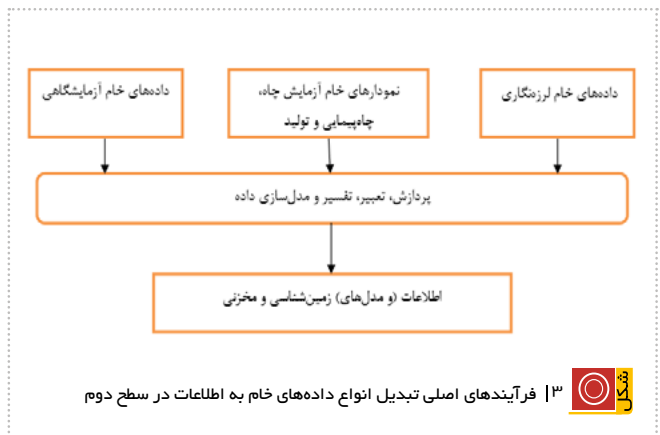
فن آوری‌های موجود در سطح دوم یا همان سطح تولید اطلاعات با هدف پردازش، تعبیر، تفسیر و مدل‌سازی بر پایه‌ی داده‌های حاصل در سطح نخست استفاده می‌شوند. به‌عبارت دیگر با استفاده از این فن آوری‌ها، داده‌های کسب شده از مخازن نفت و گاز و داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه، پس از پردازش و با به‌کارگیری نرم‌افزارها، به اطلاعات زمین‌شناسی و مخزنی تبدیل می‌شوند. تفسیر انواع نمودارهای پتروفیزیکی، نمودار نگارهای تولیدی، داده‌های چاه آزمایشی، داده‌های لرزه‌ای و ساخت مدل‌های رفتار سیال مخزن، رفتار سیال در کنار سنگ مخزن، مدل پتروفیزیکی، مدل تخلخل و تراوایی، به اتکای فن آوری‌های موجود در

میادین (یا همان ارزش آفرینی حداکثری و پایدار از منابع هیدروکربنی) نیازمند خردورزی بر اساس تلفیق تمامی داده‌ها، مدل‌ها و دانش حاصل از فعالیت‌های پژوهشی و تولیدی است.

در ادامه تک‌تک این سطوح بیشتر بررسی شده و با ذکر نمونه‌هایی از فن آوری‌های هر سطح تلاش می‌شود جایگاه هر یک در فرآیند کلیدی بخش بالادستی صنعت نفت و گاز روشن گردد.

۴-۱-۱- سطح نخست: تولید داده

سطح نخست شامل فن آوری‌هایی است که هدف آنها تولید داده‌های خام لازم برای استفاده در سطوح بالاتر است.



۴ | گام‌های فرآیند دانش آفرینی بر پایه فن آوری‌های سطح سوم

ارائه‌ی راه‌حل (بسته‌ی دانشی)	شناسایی علل رخداد مشکل	یکپارچه‌سازی علوم گوناگون در تفسیر اطلاعات دریافتی برای حل مسأله	ارائه‌ی راه‌حل (بسته‌ی دانشی)
-------------------------------	------------------------	--	-------------------------------

گام اول	گام دوم	گام سوم	گام چهارم
مشکلاتی مثل افت تولید، افزایش برش آب، افزایش نسبت گاز به نفت تولیدی و تولید ماسه	تهیه‌ی مدل مغزه، مدل سیال مخزن، مدل زمین‌شناسی، مدل ژئوفیزیک، مدل پتروفیزیک، مدل چاه، مدل ژئوشیمی و مدل ژئومکانیک بر پایه‌ی تفسیر و تلفیق اطلاعات حاصل از فن آوری‌های سطح دوم و سایر علوم	شناسایی دلایلی مثل آسیب‌سازند، کاهش فشار مخزن، لایه‌ی مخزنی رباننده، تراوایی کم، سنگین شدن ستون سیال در چاه، رسوب آسفالتن، بالآمدگی آب و ...	مواردی مثل الگوریتم مکان‌یابی بهینه‌ی چاه‌ها

برای نمونه، از نشانه‌های وجود مشکل در تولید از منابع هیدروکربنی می‌توان به مواردی مثل افزایش نسبت گاز به نفت، افزایش برش آب تولیدی و کاهش نرخ تولید اشاره کرد. همان‌گونه که پیش از این اشاره شد ریشه‌یابی این مشکلات و رسیدن به راه‌حل بهینه، نیازمند دانش آفرینی بر پایه‌ی اطلاعات حاصل از فن‌آوری‌های سطح دوم است. مثلاً با تکیه بر فن‌آوری‌های سطح سوم، می‌توان تعیین کرد که علت بروز مشکلات در فرآیند تولید، آسیب‌دیدگی سازند، کاهش فشار مخزن، لایه‌ی مخزنی رباینده، تراوایی کم، سنگین شدن ستون سیال در چاه، رسوب آسفالتن یا بالاآمدگی آب بوده است. همچنین الگوریتم مکان‌یابی بهینه‌ی چاه‌ها که حاصل تلفیق هوشمندانه‌ی روش‌های بهینه‌سازی، مدل‌سازی مخزن و چاه است می‌تواند خروجی فن‌آوری‌های سطح سوم باشد.

در شکل ۴- فرآیند دانش آفرینی فن‌آوری‌های سطح سوم به‌صورت گرافیکی ارائه شده است. همان‌گونه که از این شکل مشخص می‌شود یکپارچه‌سازی علوم مختلف با هدف تحلیل و تفسیر اطلاعات دریافتی و دانش آفرینی بر پایه‌ی آنها، در این سطح اهمیت ویژه‌ی می‌یابد.

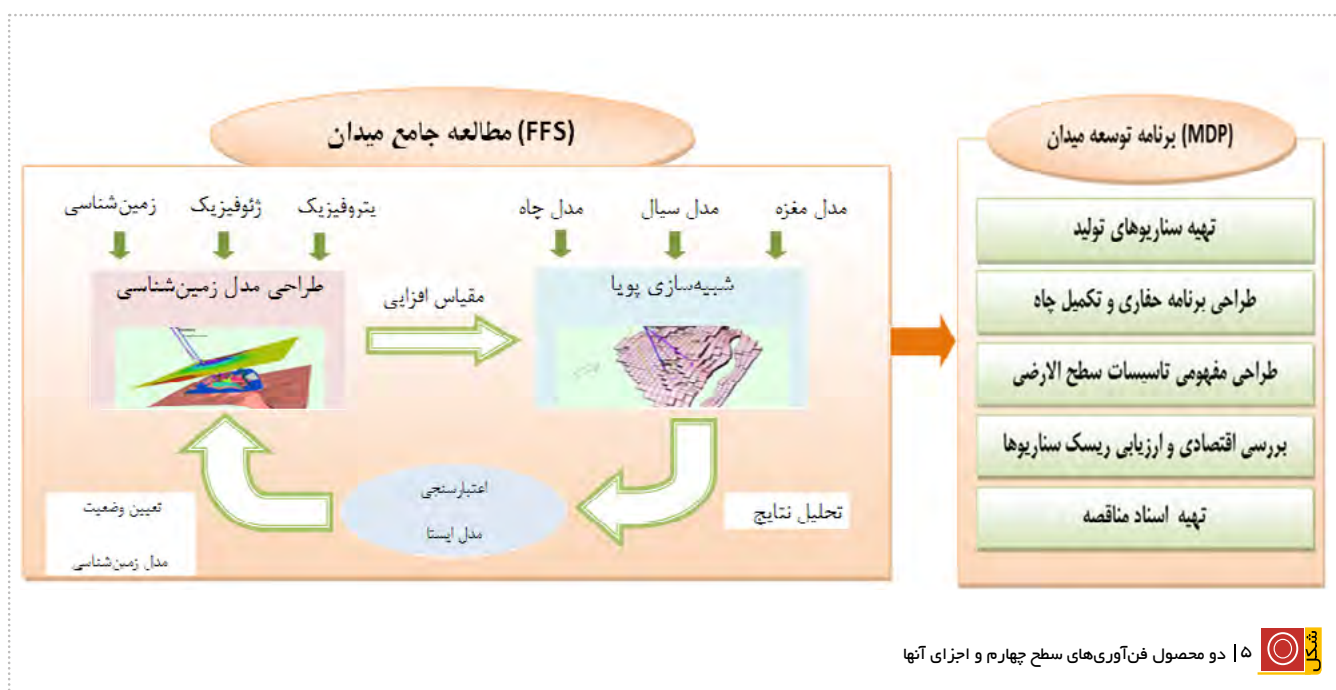
۴-۱-۴- سطح چهارم: خردورزی

خروجی فن‌آوری‌های سطوح اول تا سوم در خدمت خردورزی سطح چهارم قرار می‌گیرد تا ارزش آفرینی حداکثری و پایدار از منابع هیدروکربنی محقق شود. فن‌آوری‌های این

این سطح انجام می‌شود. در شکل ۳- فرآیند تبدیل انواع داده‌های خام سطح نخست به اطلاعات ارائه شده است. در جدول ۱- داده‌های ورودی و اطلاعات خروجی فن‌آوری‌های سطح دوم با جزئیات بیشتری نشان داده شده‌اند.

۴-۱-۳- سطح سوم: دانش آفرینی

در زمان تولید از مخازن هیدروکربنی مشکلاتی به‌وجود می‌آیند که برطرف کردنشان دانش ویژه‌ای می‌طلبد. این امر تا حد زیادی ریشه در ویژگی‌های منحصر به فرد مخازن دارد. استخراج این چالش‌ها و تبدیل آنها به مسائل دانشی به هیچ‌وجه کار ساده‌ای نیست و شایستگی قابل توجهی می‌طلبد. معمولاً بازیگران اصلی این مرحله بخش پژوهش شرکت‌های عملیاتی هستند. آنها چالش‌های شناسایی شده را مستند کرده و به کمک شبکه‌ای از مراکز پژوهشی و دانشگاه‌های همکار، در صدد خلق دانش لازم برای حل آن مشکلات برمی‌آیند. به‌همین دلیل فن‌آوری‌هایی که در این سطح مطرح می‌شوند در مقایسه با دو سطح اول پیچیده‌تر بوده و وزن اجزای نرم‌افزار، انسان‌افزار و سازمان‌افزار آنها به مراتب بیشتر از سخت‌افزار است. پیاده‌سازی بسته‌ی دانشی حاصل از فن‌آوری‌های سطح سوم (که همان پاسخ صورت مسائل تعریف شده است) سبب رفع مشکلات یا بهینه‌سازی تولید می‌شود. جنس و محتوای دانشی فن‌آوری‌های سطح سوم به‌گونه‌ای است که پژوهشگران (اعم از دانشگاهی یا شرکتی) نقش مهمی در ارتباط با آنها دارند.



تمامی داده‌ها، مدل‌ها و نتایج پژوهشی در مطالعه‌ی جامع نیازمند فن‌آوری‌های پیچیده‌ای است که در مطالعات و مدیریت مخازن به‌عنوان مزیتی رقابتی شناخته می‌شود. لازم به‌ذکر است که برنامه‌ی تهیه شده برای توسعه‌ی میدان هیدروکربنی، مبنای سرمایه‌گذاری‌های چندصد میلیون دلاری قرار می‌گیرد و از همین‌رو ریسک هرگونه اشتباه در این سطح بسیار زیاد است. در مطالعه‌ی جامع هر میدان و تهیه‌ی طرح توسعه‌ی آن، جهت شناسایی دلایل مشکلات ویژه‌ی آن میدان و پروژه‌های پژوهشی انجام شده توجه ویژه‌ای به مشکلات می‌شود. این

سطح به دو خروجی اصلی فن‌آورانه می‌انجامد که عبارتند از مطالعه‌ی جامع میدان و برنامه‌ی توسعه‌ی میدان. در مطالعه‌ی جامع میدان، مدل‌های تفسیری ایستا (شامل مدل پتروفیزیک، ژئوفیزیک و زمین‌شناسی) و دینامیکی (شامل مدل چاه، سیال و مغزه) تهیه می‌شود. در سطح دوم، در مدل ایستا یا زمین‌شناسی با شبیه‌سازی پویا یکپارچه می‌شوند. برنامه‌ی توسعه‌ی میدان، شامل مواردی مثل سناریوهای توسعه، طراحی برنامه‌ی حفاری و تکمیل چاه، طراحی مفهومی تأسیسات سطح‌الارضی، بررسی اقتصادی و ارزیابی ریسک سناریوها و تهیه‌ی اسناد مناقصه است. یکپارچه‌سازی

۱ | داده‌های ورودی و اطلاعات خروجی فن‌آوری‌های سطح دوم



ردیف	حوزه تخصصی	داده‌ها	اطلاعات (یا مدل)
۱	زمین‌شناسی	۱. گزارش‌های زمین‌شناسی (شامل گزارش‌های ناحیه‌ای، رسوب‌شناسی، فسیل‌شناسی، ...) ۲. گزارش‌های تکمیل چاه ۳. داده‌های مغزه ۴. مطالعه‌ی مقاطع نازک از مغزه	۱. مشخص کردن ناحیه‌ی فوقانی سازند ۲. تعیین نواحی یا تقسیم‌بندی زمین‌شناسی مخزن ۳. رخساره‌ی سنگی (سنگ‌شناسی، اندازه‌ی دانه‌ها و ...) ۴. تخلخل
۲	ژئوفیزیک	۱. داده‌های لرزه‌نگاری ۲. موقعیت سرسازندها در چاه ۳. مختصات چاه‌ها	۱. نقشه‌های سطحی لایه‌ها یا سازندهای مختلف (UGC) ۲. گسل‌ها ۳. مدل سرعت (شتاب)
۳	پتروفیزیک	۱. نمودارهای خام پتروفیزیک (صوتی، نوترون، گاما، چگالی) ۲. نمودارهای تصویری (FMI) ۳. نمودارهای NMR	۱. نمودارهای تفسیر شده (تخلخل، نفوذپذیری، اشباع آب، سنگ‌شناسی) ۲. دسته‌بندی جنس سنگ مخزن بر اساس خواص نمودارها ۳. شیب و زاویه‌ی شکاف‌ها در چاه‌ها
۴	مغزه	۱. داده‌های روتین مغزه (تخلخل و نفوذپذیری مطلق) ۲. داده‌های ویژه‌ی فشار موئینگی، تراوایی نسبی، تراوایی	۱. تعریف نماینده‌ی تراوایی نسبی و فشار موئینگی برای هر ناحیه‌ی مخزنی ۲. رابطه‌ی نفوذپذیری و تخلخل
۵	سیال	۱. ترکیب سیال ۲. انبساط در ترکیب ثابت ۳. جداسازی مرحله‌ای ۴. نمونه‌های آب سازندی	۱. تعداد نواحی سیال مخزن ۲. مدل رفتار سیال مخزن هر ناحیه (نفت سیاه-ترکیبی) ۳. نفت سیاه-ترکیبی
۶	عملکرد جریان عمودی چاه	۱. تولید (نرخ، فشار، نسبت گاز به نفت) ۲. داده‌های تکمیل چاه	۱. جداول عملکرد جریان عمودی چاه

مطالعه‌ی جامع و طرح توسعه، نیازمند توانمندی دانشی و خبرگی فن آوران بسیار زیادی است. در این سطح به دلیل وجود داده‌ها و مدل‌های متنوع فراوان، از تخصص‌های فنی و غیرفنی مرتبط، وزن انسان‌افزار و سازمان‌افزار به اوج خود

کار، کیفیت و اثربخشی این دو محصول فن آوران را بسیار بهبود می‌دهد؛ زیرا دانش خلق شده برای پیاده‌سازی در آن میدان نفتی یا گازی خاص، ویژه‌سازی می‌شود. اما یکپارچه‌سازی نتایج این پروژه‌های پژوهشی در فرآیند

۲ | نگاشت ابزارهای فن آوران به تفکیک سطوح فن آوری و در مرحله‌ی پیاده‌سازی



سطح	حوزه‌ی هدف فن آوری	ابزارهای فن آوران
فرآیند دانش‌آفرینی در بخش بالادستی صنعت نفت و گاز		
تبدیل موجک و فن آوری بسته‌ی موج/ بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه	توسعه‌ی قابلیت‌های ذخیره، فشرده‌سازی و پایش داده‌ها	تولید داده
- فرمت‌های CEP و HDF/ فرمت‌های جدید داده‌ها	قابلیت‌های ارتقاء فرمت داده و تطابق آن در راستای نیازمندی	
- لرزه‌نگاری حین حفاری/ حفاری با مدیریت فشار	درک بهتر و تعیین ویژگی‌های سیستم‌های نفت شامل سنگ‌های منشأ	
- لرزه‌نگاری چهاربعدی/ سنجش و عیب‌شناسی در عمق/ردیاب‌ها	بهبود پایش مخازن و استخراج نشانگرها	
- لرزه‌نگاری غیرفعال/ فن آوری بی‌سیم/ انتقال بی‌سیم/ مفهوم در مقیاس نانو/ روبات‌ها و حسگرهای ته‌چاهی/ فن آوری نانو/ تحلیل‌گر سیال درون‌چاهی/ اندازه‌گیری کننده‌ی جریان چندفازی	پیشرفت و تقویت پایش به‌هنگام و از راه دور تغییرات در مخازن بسیار بزرگ	
شبه‌سازی مکانیکی اطراف دهانه‌ی چاه/ مدل‌سازی جریان سیال/ مدل‌سازی حوضه‌ی رسوبی	بهبود مدل‌سازی و شبه‌سازی مخازن	تولید اطلاعات
یکپارچه‌سازی داده‌های لرزه‌نگاری چاه/ یکپارچه‌سازی لرزه‌نگاری درون‌چاهی	بهبود اطلاعات و یکپارچه‌سازی نشانگرها برای شبه‌سازی مخزن	تولید دانش
سیالات هوشمند/ پابلوت قابلیت تزریق آب/ دی‌اکسیدکربن/ سیلاب‌زنی دی‌اکسیدکربن توصیف و تغییر ترشوندگی/ پروپانت‌های* هوشمند/ سیالات تحریک چاه بدون آسیب سازند/ انرژی صوتی برای تولید نفت سنگین/ مواد شیمیایی اقتصادی	بهبود سیستم‌های تزریق و تولید در مخازن کربناته	
ازدیاد برداشت با پایه‌ی گاز/ ازدیاد برداشت با پایه‌ی آب/ حرارتی/ میکروبی	غربال‌گری میدین به‌منظور روش‌های مناسب ازدیاد برداشت	
روش‌های جداسازی درون‌چاهی/ مسدودسازی پلیمری شیمیایی و میکروبی/ سیالات هوشمند/ کنترل آب درون‌چاهی/ چاه‌های هوشمند	کاهش نسبت آب به نفت	
- وارون‌سازی معادله‌ی موج ^{۱۱} SMRE	حل مشکلات مربوط به چندگانه‌های لرزه‌ای	
هم‌ترازسازی معادله‌ی موج و مدل‌سازی لایه‌ی نزدیک سطح ^{۱۲} / لرزه‌نگاری با وضوح بالا/ فن آوری رادار	حل مشکلات لرزه‌نگاری نزدیک سطح	
تهیه‌ی نقشه بر مبنای داده‌هایی که از طریق حسگرها و از راه دور کسب شده‌اند	توسعه‌ی روش‌های غیرمتداول برای اکتشاف و یکپارچه‌سازی داده‌ها	
مدل‌سازی اختلاف محدود و المان محدود/ محاسبه‌ی پیشرفته و کامپیوترهای خوشه‌ای لینوکس/ شبه‌سازی موازی/ مدل‌سازی در مقیاس منافذ/ هوش مجازی	بهبود مدل‌سازی و شبه‌سازی مخازن	خردورزی
- یکپارچه‌سازی داده‌ها/ مصورسازی و ارائه‌ی سه‌بعدی/ واسط کاربر ^{۱۳}	توسعه‌ی ابزارهای تحلیلی، تصویرسازی و یکپارچه‌سازی	

اجرا و پیاده‌سازی بر مبنای خرد حاصل در فرآیند کلیدی	
سیالات پیشرفته‌ی حفاری (سیالات هوشمند) / میکرو حفاره‌ها / ژئواسترینگ سه‌بعدی / نمودارگیری در محل مته / تیغه‌ی مته‌های حفاری جدید / حفاری حفاره‌های نازک (قطر کم) / کنترل ماسه‌ی درون چاه / مواد نانو کامپوزیت برای ساخت لوله‌ی حفاری و تیغه‌ی مته / کاربردهای تکمیل هوشمند	کاهش هزینه‌های حفاری و تکمیل حفاری توسط سیستم‌های حفاری کارآی در حال توسعه
- میکرو حفره‌های حفاری / اجزای پیشرفته‌ی حفاری / انتقال بی‌سیم حسگرهای نمودارگیری درون گل / حفاری الکترونیکی / مدل‌سازی نرخ نفوذ (ROP) / انحراف و واقعه‌نگاری سر مته / لوله‌ی حفاری الکترونیکی ابزارهای تشخیص نشی / حفاری الکترونیکی	تکمیل حفاری و سیستم‌های پایش حاصل
- Ultra extended reach drilling / حفاری با فشار تحت کنترل / سیالات و سیمان حفاری سبک / ریزرهای سبک / کاهش گشتاور / Through tubing rotary drilling / ورود مجدد به داخل حفاره‌ی نازک / حفاری با لوله‌ی مغزی سیار (CT) / لوله‌ی حفاری کامپوزیتی انعطاف‌پذیر / حفاری و مشبک کاری لیزری / حفاری با حفاره‌ی نازک	بهبود حفاری در آبهای عمیق از میان ساختارهای لایه‌های قدیمی و سخت
- حفاری با مدیریت فشار درون چاهی / سیالات و سیمان حفاری سبک و تراکم‌ناپذیر / ریزرهای سبک / کاهش گشتاور / حفاری چرخشی داخل لوله / Slim hole re-entry / حفاری با لوله‌ی مغزی سیار / حفاری و تکمیل چندشاخه / پیش‌بینی دقیق فشار منافذ آزمایش چاه حین حفاری / چاه‌های هوشمند	بهبود حفاری در دما و فشار زیاد و ساختارهای با قابلیت تولید زیاد
سیالات هوشمند	حل مشکلات میعانات گازی در چاه‌های تولیدی
اسیدکاری / ایجاد شکاف هیدرولیکی / سیالات تحریک چاه بدون آسیب سازند / سیالات و پروپانت‌های هوشمند	تحریک مخازن نفت و گاز
پایش صوتی نفت در آب / کنترل آب درون چاه / فرآیند جداسازی نفت / گاز درون چاه	تولید بدون آلاینده‌ی

* پروپانت ماده‌ای است با دانه‌های ریز (گارت، ماسه‌ی سیلیسی، کوئولن و ...) که وظیفه‌اش جلوگیری از بسته شدن شکاف‌های ایجاد شده در مخزن است

می‌رسد (شکل -۵).

۴-۱-۵- تحلیل سطوح خبرگی فن آوری

در این بخش تک‌تک سطوح خبرگی فن آوری بخش بالادستی صنعت نفت و گاز در چارچوبی مقایسه‌ای بررسی می‌شوند. در این ارزیابی، وزن نسبی اجزای فن آوری در هر سطح و الزامات ورود شرکت‌ها به هر سطح و تجهیز کردن شرکت‌ها به این فن آوری‌ها معرفی می‌شود:

■ **سطح نخست (تولید داده):** وزن نسبی جزء سخت‌افزاری در فن آوری‌های این سطح بسیار چشمگیر است. از سوی دیگر، ورود به سطح نخست و دستیابی به این فن آوری‌ها الزامات سازمانی چندانی ندارد. برای نمونه در این سطح شرکت‌های کوچک مجهز به چند تجهیز آزمایشگاهی و

چند متخصص می‌توانند بعد از دریافت نمونه‌ها، داده‌ها را تولید کرده و به تقاضای تحویل دهند. در این سطح، توانمندی‌هایی مثل مدیریت مالی، مدیریت کیفیت، ترابری و ایمنی تا اندازه‌ای مورد نیاز هستند. یکی از موانع ورود به این سطح، حجم زیاد سرمایه‌گذاری در تجهیزات و عملیات است. با وجود ریسک اندک فعالیت‌های این سطح، گردش مالی و حاشیه‌ی سود موجود در آن قابل توجه است. برای نمونه هزینه‌ی انجام عملیات لرزه‌نگاری در وسعتی به‌اندازه‌ی ۷۵۰ کیلومتر حدود ۱۳ میلیون یورو برآورد می‌شود.

■ **سطح دوم (تولید اطلاعات):** ورود به سطح دوم فن آوری، توانمندی سازمانی بیشتری را می‌طلبد. در این سطح، با استفاده از ابزارهای فن آورانه‌ی عمدتاً نرم‌افزاری، داده‌های

گسترده‌تر از سطوح یک و دو است و می‌توان ادعا کرد که علوم نفت در این سطح بیشترین تعامل را با سایر علوم دارند. هزینه‌ی فعالیت‌های این سطح نسبتاً زیاد است و می‌تواند بسته به چالش‌شناسایی شده و پیچیدگی راه‌حل ارائه شده متفاوت باشد. همچنین ارزش‌افزایی فعالیت‌های این سطح می‌تواند برای شرکت بهره‌بردار بسیار چشم‌گیر باشد. مثلاً تشکیل رسوب آسفالتین در دهانه‌ی چاه که نتیجه‌ی آن کاهش تولید روزانه‌ی چاه خواهد بود، برای شرکت‌های بهره‌بردار چالشی در فرآیند بهره‌برداری خواهد بود. اگر دانش لازم جهت تولید ماده‌ی شیمیایی بازدارنده‌ی تشکیل رسوب آسفالتین از طریق پژوهش در این سطح به‌دست آید می‌تواند با پیشگیری از کاهش تولید روزانه، ارزش‌افزایی بسیار قابل توجهی برای شرکت بهره‌بردار داشته باشد.

■ **سطح چهارم (خردورزی):** بالاترین نیاز به توانمندی سازمانی و انسانی در این سطح رقم می‌خورد. در این سطح، تمامی داده‌ها، اطلاعات و دانش تولید شده در سطوح پیشین در دل شرکت بهره‌بردار، یکپارچه شده و خرد و خیرگی حاصله در ارائه‌ی طرح توسعه‌ی میدان به کار می‌رود. اگرچه این سطح نیازمند بستر نرم‌افزاری (سکوی نرم‌افزاری برای قرار گرفتن مدل‌های ساخته‌شده در سطح دوم و نتایج پژوهشی از سطح سوم) و تجهیزات رایانه‌ای برای پردازش و یکپارچه‌سازی حجم زیاد اطلاعات است، اما کلیدی‌ترین عامل موفقیت آنرا باید دسترسی به خرد تیم فرارشته‌ای با تجربه‌ی میدانی عنوان کرد. سازمان‌های فعال در این سطح باید بتوانند تعامل بسیار زیاد و پیچیده‌ای میان بخش‌های مختلف سازمانی، از جمله بخش‌های اقتصادی و حقوقی در کنار طیف گسترده‌ای از بخش‌های فنی برقرار کنند. نگهداشت و مدیریت نیروی انسانی خبره‌ی مورد نیاز در این سطح (که کاملاً از جنس دانشی هستند) کاری بسیار دشوار، چالشی و پرهزینه است. ریسک فعالیت در این سطح بسیار چشم‌گیر است و ممکن است اثرات آن بسیار مخرب باشد. مثلاً خطا در مدل‌سازی دینامیک برای توسعه‌ی یکی از میادین دریایی می‌تواند منجر به پیش‌بینی تولید زود هنگام آب ناخواسته شود. در نتیجه در یکی از طبقات سکوی دریایی، تأسیسات لازم برای جداسازی، فیلتر کردن چندمرحله‌ای و در نهایت تزریق آب به یکی از چاه‌ها تدارک خواهد شد. این پیش‌بینی اشتباه، سبب می‌گردد که سرمایه‌گذاری چند صد میلیون دلاری برای مدیریت تولید آب چند سال زودتر انجام شود و از این رهگذر ضرر مالی زیادی به شرکت بهره‌بردار تحمیل گردد. فعالیت در این سطح، از جمله شایستگی‌های محوری شرکت‌های بهره‌بردار تلقی می‌شود و ارزش‌افزایی

حاصل از سطح نخست، تفسیر و مدل‌سازی می‌شوند. کار تفسیر، معمولاً در تیم‌های میان‌تخصصی با حضور متخصصان مهندسی نفت، مهندسی مخزن، ژئوفیزیک، پتروفیزیک و زمین‌شناسی انجام می‌شود. به‌همین دلیل تعامل درون‌سازمانی بین بخش‌های مختلف و همچنین حضور متخصصانی با تجربه‌ی عملیاتی از اهمیت فراوانی برخوردار است. در این سطح، کیفیت و درستی تفسیر که تا حد زیادی وابسته به عامل انسانی و تخصصی است اهمیت زیادی دارد. همچنین دسترسی و استفاده از نرم‌افزارهای پیشرفته می‌تواند بر کیفیت تفسیرها مؤثر باشد. از جمله عوامل ریسک در این سطح می‌توان به مخدوش بودن و محدودیت داده‌ها و کمبود دانش و تجربه‌ی مفسران اشاره کرد. از جمله موانع ورود به این سطح، اعتبار حرفه‌ای و عدم وجود تجارب مرتبط قبلی و دسترسی به نرم‌افزارهای تخصصی است. هزینه‌های خدمات فن‌آورانه‌ی این سطح کمتر از سطح نخست است. برای نمونه، هزینه‌ی تفسیر یک مجموعه نمودار پتروفیزیکی در حدود چند هزار دلار برآورد می‌شود.

■ **سطح سوم (دانش‌آفرینی):** فن‌آوری‌های کلیدی سطح سوم، نیازمند توانمندی‌های تخصصی و سازمانی زیادی هستند. در این سطح، شناسایی چالش‌ها، دسته‌بندی، مستندسازی و تبدیل آنها به پرسش‌های پژوهشی انجام می‌گیرد. این کار نیازمند وجود تیم قدرتمند میان‌تخصصی با تجربه‌ی عملیاتی فراوان است. در این سطح، تعامل نزدیک بین بخش پژوهش درون‌سازمانی با خبرگان و مدیران عملیاتی، از اهمیت فراوانی برخوردار است. علاوه بر اهمیت کلیدی تعاملات درون‌سازمانی، توان تشکیل شبکه‌ای از همکاران پژوهشی و مدیریت این شبکه، از الزامات ورود به این سطح به‌شمار می‌رود. لازم به ذکر است که مدیریت شبکه‌های پژوهش و نوآوری اینچینی، خود نیازمند دانش و تجربه‌ی مستقلی است. برای نمونه مدیریت دارایی‌های فکری خلق شده در چنین شبکه‌هایی از کارکردهای پیچیده‌ی سطح سوم به‌شمار می‌رود [۱]. ریسک فعالیت در این سطح بسیار زیاد است که علت آن وابستگی شدید فعالیت‌ها به یکدیگر و نیاز به راه‌حل‌های خلاقانه و پژوهشی برای حل مشکلات است. بازیگران اصلی در این سطح، بخش پژوهشی شرکت‌های بهره‌بردار هستند که به اتکای شبکه‌ی پژوهشی و نوآوری تحت مدیریت خود دانش‌آفرینی می‌کنند. شرکت‌های بهره‌بردار از منابع هیدروکربنی جهت کاهش ریسک فعالیت در این سطح، به خبرگی نیروی انسانی درون‌سازمانی و نیروی انسانی فعال در دل شبکه‌ی همکاران‌شان بسیار وابسته‌اند. تنوع تخصصی این سطح،

جمله‌ی این ابزارها یا فن‌آوری‌ها می‌توان به فن‌آوری‌های حفاری (از جمله چاه‌های افقی و چندشاخه)، سیمان سبک حفاری، فن‌آوری‌های ازدیاد برداشت از مخازن نفت سنگین (از جمله تزریق بخار و احتراق درجا)، فن‌آوری‌های ازدیاد برداشت (از جمله تزریق آب و گاز) و فن‌آوری‌های مدیریت مخزن از جمله مخزن هوشمند اشاره کرد. در جدول ۲-۲ برخی از مهم‌ترین ابزارهای فن‌آورانه به‌همراه مراحل پیاده‌سازی آنها به تفکیک سطوح چهارگانه‌ی خبرگی فن‌آورانه معرفی شده‌اند.

نتیجه‌گیری

اگرچه بخش عمده‌ای از ارزش افزوده‌ی صنعت نفت و گاز در بخش بالادستی آن نهفته است اما ماهیت فن‌آوری در این بخش برای بسیاری (حتی در درون این صنعت) هنوز نمایان نیست. در این مقاله تلاش شده ماهیت فن‌آوری در بخش بالادستی صنعت نفت و گاز واکاوی و پیچیدگی‌های آن معرفی گردد. برای نخستین بار مفهوم و طبقه‌بندی جدیدی از فن‌آوری در این صنعت ارائه شد که می‌تواند به تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری بهتر توسط مدیران این صنعت منجر شود. این سطوح و فن‌آوری‌ها و الزامات ورود به هر کدام، می‌تواند به مثابه نقشه‌ی راهی برای حرکت شرکت‌ها و سازمان‌های ایرانی در مسیر ارتقاء فن‌آوری و دانشی‌شان مورد استفاده قرار گیرد. ■

آن برای این شرکت‌های بسیار بیشتر از سطوح پیشین است. بنابراین برای ورود سایر شرکت‌ها (از جمله شرکت‌های خدماتی و پژوهشی) به این سطح موانعی جدی وجود دارد.

۴-۲- ابزارهای فن‌آورانه‌ی بالادستی صنعت نفت

همان‌گونه که پیش از این اشاره شد ابزارهای فن‌آورانه همان فن‌آوری‌هایی هستند که فرآیندهای کلیدی دانش‌آفرینی در بخش بالادستی صنعت نفت و گاز را پشتیبانی می‌کنند. در میان ابزارهای فن‌آورانه در سطح اول می‌توان به اندازه‌گیری در حین حفاری (MWD)، نمودارگیری در حین حفاری (LWD)، حس‌گرهای درون‌چاهی و لرزه‌نگاری چهاربعدی (4D) برای تولید داده‌ی خام اشاره کرد. برخی ابزارهای فن‌آورانه‌ی سطح دوم عبارتند از انواع نرم‌افزارها برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی رفتار سیال مخزن، آزمایش چاه و عملکرد جریان چاه. از دیگر ابزارهای فن‌آورانه‌ی لازم در سطح سوم می‌توان به قطعات و تجهیزات آزمایشگاهی برای نصب‌های خاص آزمایشگاهی (Setup) و نرم‌افزارهای بهینه‌سازی نیز اشاره کرد. از جمله ابزارهای فن‌آورانه‌ی مورد نیاز در سطح چهارم نیز می‌توان به نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای پردازش موازی اشاره کرد. البته نقش این ابزارها تنها به پشتیبانی فرآیند کلیدی محدود نمی‌شود و می‌توان از برخی ابزارهای فن‌آورانه برای اجرا و پیاده‌سازی خرد حاصل در مراحل حفاری و تکمیل چاه، نصب و راه‌اندازی تأسیسات سطح‌الارضی، تولید و تعمیرات نیز استفاده کرد. از

پانویس‌ها

- | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|--|
| 1. bagherisk@ripi.ir | 6. Humanware | 11. Wave equation inversion |
| 2. S.hendi@niocexp.ir | 7. Orgaware | 12. Wave-equation Datuming and near surface modeling |
| 3. Oil and Gas Service Companies | 8. E&P Technological Experties | 13. User interface |
| 4. Technoware or Hardware | 9. E&P Technological Tools | |
| 5. Infoware or Software | 10. Samples | |

منابع

- [1]. Bagheri, S.K. and Sadraei, S. (2011), "Engineering Networks of Innovation: The case of the Iran's Oil & Gas Sector," Proceedings of the 15th IIES Conference and Exhibition - Technology & Innovation in Oil and Gas Industry, November 1-2, Tehran, Iran.
- [2]. Hammer M. and Champy J. (1993), "Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Reengineering," Nicholas Brealey Publication, London.
- [3]. Karlsen, J.E. and Quale, C. (2005), "Norway as an E&P Technology Hub," Rogaland Research, Report RF-2005/150, available at: www.rf.no (last seen on 20 July, 2011)
- [4]. Khalil, T., (2000), "Management of technology: the key to competitiveness and wealth creation," McGraw-Hill International.
- [5]. Pirog, R. (2008), "Oil Industry Profit Review 2007", Congressional Research Service report for the US Congress, April, available at: <http://fpc.state.gov/documents/organization/103679.pdf> (last seen on July 20, 2011)
- [6]. Sharif, N. (1986), "Technology Policy Formulation and Planning: A reference manual," Asian Pacific Center for Technology Transfer, Bangalore.
- [7]. Vernet M. Arasti M.R. (1997), "Business Process Reengineering: A Systematic Approach to Link Business Strategy and Technology Strategies," Proceeding of PICMET 97, Portland, USA, July 1997, pp. 57-60.