



بررسی ضرورت تبیین استراتژی فن آوری مخازن کربن‌نا‌ه شکافدار

مجتبی کریمی‌زارچی^۱ ■ پژوهشگاه صنعت نفت
حسام‌الدین میری^۲
رضا عسگری ارشد نژاد^۳

مقدمه

توزیع ذخایر شناخته شده کشور نشان می‌دهد که حدود ۹۰ درصد تولید مربوط به میادینی با سنگ کربن‌نا‌ه شکافدار است. همچنین بسیاری از مخازن کربن‌نا‌ه شکافدار و عظیم کشور وارد نیمه دوم عمر تولیدی خود شده‌اند [۱]. طبیعت شکننده سنگ مخازن کربن‌نا‌ه شکافدار در عین متراکم بودن و ضعیف بودن شرایط مخزنی از نظر تخلخل و تراوایی، عدم شناخت دقیق از رفتار جریان مخزن و پراکندگی سیستم شکاف و همچنین حساسیت شدید تولید صیانتی مخزن به دبی‌های اعمال شده، از چالش‌های مهم در بحث مطالعه و مدیریت مخازن شکافدار است.

در سال‌های اخیر با وارد شدن کشورهای در حال توسعه در شمار کشورهای صنعتی و برهم خوردن جریان انرژی دنیا، تقاضا برای انرژی به شدت افزایش یافته است. در حال حاضر ۸۵٪ از مصرف انرژی دنیا با استفاده از سوخت‌های فسیلی تامین می‌شود و پیش‌بینی‌های آژانس بین‌المللی انرژی^۴ نشان می‌دهد که تقاضای انرژی تا سال ۲۰۳۰ افزایش ۵۳ درصدی خواهد

داشت [۲]. اگرچه بسیاری از کشورهای صادر کننده انرژی، ذخایر کنونی خود را برای مواجهه با این افزایش تقاضا مناسب می‌دانند، اما افزایش ذخایر فسیلی بدون شک مهم‌ترین دغدغه استراتژیک کشورهای وابسته به صادرات انرژی در سال‌های نه چندان دور خواهد بود. در این راستا افزایش ضریب بازیافت نهایی از مخازن نفتی می‌تواند به‌عنوان مهم‌ترین عامل برای برون‌رفت از چالش انرژی در سال‌های آینده باشد.

در حال حاضر خاورمیانه (که ۶۲٪ از کل نفت دنیا و ۴۰٪ از کل گاز دنیا را داراست) با داشتن ۷۰٪ از ذخایر اثبات شده متعارف نفت و ۹۰٪ از ذخایر اثبات شده گاز دنیا در مخازن کربن‌نا‌ه شکافدار، اهمیت بالایی در تامین انرژی آینده دنیا دارد [۳].

در راستای تعیین سیر مطالعات ویژه این مخازن برای استفاده از فن‌آوری‌های نوین در زمینه تخمین، توسعه و تولید از این مخازن توجه به چند نکته مهم ضرورت دارد:

۱- مدیریت بهینه مخازن کربن‌نا‌ه شکافدار از نظر علمی نیازمند یافتن پاسخ به سؤالات متعدد و مهمی نظیر موارد ذیل است:

• میزان بازیافت منطقی مکانیزم‌های تولیدی چیست؟

• روش بهینه از دید برداشت برای هر مخزن کدام است؟

• تأثیر حساسیت نسبت به دبی در مخازن شکافدار در شیوه تولید چگونه است؟

• معیارهای مناسب برای مقایسه درصد بازیافت مخازن با توجه به تنوع شرایط مخازن چیست؟ که پاسخ به این پرسش مهم به همراه مطالعه دقیق فن‌آوری‌های بازیافت مخزن و اعمال روش‌های از دید برداشت متناسب با این نوع مخازن به عنوان خط مشی اصلی در جهت تولید صیانتی محسوب شده و ثبات و ارتقا زنجیره ارزش در حوزه بالادستی راسب خواهد شد.

۲- با توجه به ماهیت منحصر به فرد مخازن شکافدار از نظر نوع محیط متخلخل (سیستم شکاف و ماتریس) و همچنین وجود تفاوت‌های ساختاری میان مخازن شکافدار ایران و منطقه باید بگر نقاط جهان، اصلاح و بومی‌سازی فن‌آوری‌های مدل‌سازی و شبیه‌سازی موجود، به‌ویژه مدل‌های دینامیک، با برخورداری از قابلیت مدل‌سازی همه مکانیزم‌های تأثیرگذار نظیر کنوکسیون، نفوذ مولکولی، آشام و ریزش ثقلی بسیار ضروری است. علاوه بر این نتایج مدل‌های استاتیک و دینامیک مخزن تأثیر مستقیمی بر قطعیت سناریوهای تولید، توسعه یا از دید برداشت از یک مخزن دارند.

روشن است که انجام موفق کار مطالعاتی-پژوهشی، علاوه بر آن که منجر به حل مسایل مهم و چالش‌زای صنعت نفت کشور در حال و آینده می‌گردد، در ارتقا دانش و فن‌آوری صنعت نفت کشور در بخش بالادستی (حوزه عام) و بخش مدیریت مخازن و مدیریت مخازن شکافدار (حوزه خاص)، نقشی اساسی و محوری ایفا خواهد نمود.

مخازن کربن‌نا‌ه شکافدار گرچه در مناطق معدودی از جهان وجود دارد، اما مطالعات فنی در این زمینه در برخی از مراکز پژوهشی جهان در حال انجام است. برای نمونه سال ۱۹۹۶ مؤسسه انرژی ایالات متحده آمریکا با همکاری تیم دانشگاهی MIT و تیم صنعتی Golder Associates اقدام به مطالعه جامع مخزن Yates واقع در ایالت تگزاس آمریکا، با استفاده از روش‌های جدید مدل‌سازی استاتیک نمودند. نتیجه این مطالعات بعد از سه سال به صورت نرم‌افزار Fracman ارائه شد که در سال ۲۰۰۷ امتیاز این نرم‌افزار توسط شرکت Schlumberger خریداری گردید و هم‌اکنون به صورت DFN Modeling در نرم‌افزار Petrel-Eclipse ارائه شده است.

مخازن کربن‌نا‌ه شکافدار به جز در کشورهای خاورمیانه نظیر ایران و بخش

1 mojtabaz.karimi@gmail.com
2 hesam.miri@gmail.com
3 r.askarinezhad@gmail.com
4 World Energy Outlook(WEO)



اندکی از دیگر مناطق جهان، در مناطق نفت خیز دیگر چندان یافت نمی‌شوند. تنها حدود ۳۰ درصد مخازن نفتی جهان از جنس مخازن شکافدار می‌باشند [۶]. به همین دلیل انجام مطالعات مخازن شکافدار در بسیاری از کشورها آن چنان در استراتژی فن آوری و توسعه صنعت نفت نقش جدی ندارد. اما با این حال توجه به صادرات این نوع فن آوری و همچنین بالا بردن ضریب اطمینان و باز یافت تولید در این مخازن، مراکز تحقیقاتی و پژوهشی آمریکا و اروپا را برای سرمایه‌گذاری در این امر ترغیب نموده است. از آنجایی که مخازن ایران از لحاظ زمین‌شناسی نیز شباهت‌های بسیاری با مخازن کرنا تاهه موجود و اندک در سایر مناطق دنیا دارد، در صورت انجام پژوهش‌های بنیادین و تلاش در راه رسیدن به تولید فن آوری، می‌توان به حضور در بازار فروش و عرضه فن آوری‌های دنیا در کنار سایر شرکت‌های بزرگ نفتی امید داشت.

اما به هر حال، گستردگی موضوعات در بحث مخازن شکافدار و همچنین نبود نقشه راه جامع و متناسب با فن آوری‌های موجود در صنعت نفت ایران، مطالعه جامع و تبیین اهداف و استراتژی توسعه صنعت نفت در این زمینه را بیش از پیش مهم می‌نماید. در این نوشتار کوتاه، شفاف‌تر شدن و روشن‌تر شدن اهمیت این بحث و ضرورت تدوین استراتژی تکنولوژی مخازن کرنا تاهه شکافدار در حوزه فنی-مدیریتی صنعت نفت کشور بررسی شده است.

۱- اهمیت مطالعه جامع مخازن شکافدار

ضرورت مطالعه جامع مخازن شکافدار و دست‌یابی به فن آوری‌های نوین در مدیریت جامع این مخازن از دیدگاه فنی-مهندسی، امنیت انرژی و تولید، فروش و انتقال فن آوری قابل بررسی است.

۱-۱- دیدگاه فنی-مهندسی

از دیدگاه فنی-مهندسی، تحقق بیش‌ترین میزان باز یافت نهایی بر مبنای برنامه بلند مدت توسعه، همواره

به عنوان خط مشی اصلی در تولید از مخازن نفتی مد نظر بوده است. این امر در زمینه مخازن شکافدار با ملاحظات و پیچیدگی‌های قابل توجهی همراه است.

۱-۱-۱- تولید صیانتی از مخازن شکافدار (برداشت ذخیره در بهترین حالت ممکن)

الف) تخمین دقیق ذخایر موجود در محیط شکاف و ماتریکس و مشخص نمودن نوع مخازن نفتی شکافدار ایران از لحاظ تقسیم‌بندی لورسون [۴].

این تقسیم‌بندی دقیق سبب مشخص شدن کارایی فن آوری‌های قدیم و حتی حذف بسیاری از فن آوری‌های غیر مرتبط (نرم افزار- سخت افزار) با مخازن ایران که بعضاً مورد استفاده قرار گرفته (و طبعاً کارایی نداشته) می‌گردد.

ب) تلاش برای رسیدن به مدل‌های استاتیکی با درصد خطای کم‌تر و دور شدن از مدل‌های گریبندگی مکعبی.

موسسه انرژی ایالات متحده در قالب یک پروژه بسیار بزرگ مطالعه مخازن شکافدار نفت سنگین، استفاده از DFN را به عنوان تنها راه مطمئن برای رسیدن به برنامه تولید مناسب عنوان کرده است [۵]. روشن است که برای رسیدن به این هدف تصحیح روش‌های تخمین خصوصیات شکاف، لرزه‌نگاری چهار بعدی، استفاده از روش‌های زمین آمار نوین و هوش مصنوعی برای رسیدن به یک برنامه مدون مدل استاتیکی مخازن ایران ضروری است.

ج) تلاش برای مطالعه تولید که از دو دیدگاه قابل بحث است.

۱. مطالعه بنیادی نوع معادلات جریانی حاکم یا تصحیح معادلات جریانی معمول برای مخازن شکافدار (تصحیح توابع انتقال بر اساس نوع مکانیزم‌های تولید از مخازن)

۲. تلاش برای مدل‌سازی و وارد نمودن پدیده‌های خاص محیط‌های شکافدار در معادلات جریان که به شدت مورد نیاز ایران و کشورهای همسایه است. عمده این پدیده‌ها به صورت جریان

گسسته می‌باشند که از معادله داریسی تبعیت نمی‌کنند. بنابراین استفاده از هر مدل ساز جریان با معادله حاکم داریسی سبب پیش‌بینی نادرست تولید خواهد شد.

د) تلاش برای رسیدن به مدل‌ساز جامع مخازن شکافدار ایران به صورت ترکیبی از DFN به همراه معادلات جریانی مناسب.

۱-۱-۲- جلوگیری از آسیب سازندی (حفظ مخازن)

عدم شناخت دقیق رفتار مخزن و پراکندگی سیستم شکاف، پدیده‌های تاثیر گذار بر تولید و بعضاً استفاده از مدل‌سازهای تصحیح شده در سال‌های اخیر باعث انتخاب دبی‌هایی شده است که با دبی مناسب برای تولید تفاوت دارد. این امر باعث هدر رفت حجم وسیعی از نفت در جای کشور شده است (البته کشورهای همچون ایتالیا، نروژ، عربستان و کانادا نیز با این مشکل روبه‌رو هستند).

۱-۱-۳- افزایش تولید (از دیاد برداشت)

با توجه به گستردگی جغرافیایی مخازن شکافدار ایران و احتمال Trapping، حجم بسیار زیادی از نفت قابل استحصال با روش‌های باز یافت مجدد قابل برداشت است. تلاش برای دست‌یابی به فن آوری‌ها و روش‌های از دیاد برداشت خاص ایران متناسب با سرعت تولید از این مخازن ضروری است. بسیاری از روش‌های باز یافت مجدد قابل استفاده در یک مخزن، در مخازن دیگر با شکست روبه‌رو می‌شوند. عمده دلیل این امر، ویژگی‌های زمین‌شناسی و پتروفیزیکی خاص هر مخزن است؛ بنابراین تهیه برنامه مدون از دیاد برداشت از این مخازن نیز ضروری است.

۱-۲- دیدگاه امنیت انرژی

یکی از مهم‌ترین مسایل موجود در جهان که جز جدایی ناپذیر توسعه و امنیت محسوب می‌گردد، امنیت انرژی است. بنابراین کشورها با نگاهی آینده نگرانه در حال شناسایی تمامی منابع

نفت و انرژی برای استحکام و تقویت زیرساخت‌های امنیتی خود هستند. هر کشوری اعم از تولید کننده و وارد کننده، تمامی راه‌ها اعم از دانش و فن آوری را برای پیشینه کردن و بهینه کردن دست‌یابی به منابع، در دستور کار خود قرار داده است. توجهی که اکنون در آمریکا و کانادا برای انجام مطالعات عمیق علمی و کاربردی با پذیرش دانشجویان نخبه و با تمرکز بر استخراج نفت سنگین و ماسه‌های نفتی در حال انجام است، همچنین سرمایه‌گذاری‌های کلان برای استخراج این نوع منابع، حاکی از اهمیت این مسأله است. بی‌شک یکی از مقولات مهم در زمینه امنیت انرژی در کشور ایران پرداختن به حداکثر تولید و در این مسیر شناخت هر چه بهتر و دست‌یابی به دانش و فن آوری‌های نوین بومی مخازن شکافدار است؛ تا هر چه بیش‌تر در تقویت زیرساخت‌های تولید نفت گام اساسی برداشته شود.

۱-۳- تولید و فروش و انتقال فن آوری مخازن شکافدار

همان‌گونه که اشاره شد در دنیا تمایل گسترده‌ای برای تولید علم در زمینه مخازن شکافدار وجود ندارد. این مسأله می‌تواند هم به عنوان تهدید و هم به عنوان فرصت تلقی شود. تکیه بر دانش توسعه نیافته و بعضاً سوء استفاده‌های مالی بسیاری از شرکت‌های بزرگ دنیا در زمینه مدل‌سازی این مخازن می‌تواند به عنوان یک تهدید تلقی شود. از دیدگاه فرصت نیز می‌توان گفت که ایران با داشتن پتانسیل قوی علمی و منابع انسانی با یک برنامه کوتاه مدت می‌تواند به قطب فن آوری، تولید و فروش دانش و فن آوری‌های آن در منطقه تبدیل گردد. تولید دانش در زمینه مخازن شکافدار، مورد نیاز بسیاری از کشورها از جمله عراق، عربستان و نروژ است. همچنین تولید دانش و فن آوری مخازن شکافدار دقیقاً در راستای اهداف سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ در بخش صنعت نفت به ویژه در حوزه بالادستی محسوب می‌شود.

یکی از اولین گام‌ها در راستای طرح مطالعه جامع، ترسیم درخت دانش و



فن آوری حوزه مورد نظر است. نمونه‌های از شاخه‌ها و زیرشاخه‌های اصلی با محوریت مخازن شکافدار طبیعی در هر یک از چهار بخش تخصصی زنجیره بالادستی (اکتشاف، حفاری، مهندسی مخازن، تولید و ازدیاد برداشت) به قرار ذیل می‌باشد:

۱- شاخه زمین‌شناسی

- تعیین دقیق خواص پتروفیزیکی خاص مخازن شکافدار؛ به عنوان مثال تعیین میزان پخش شکاف‌ها و جهت‌گیری آن‌ها برای رسیدن به بهترین مدل DFN، روش‌های جدید تخمین تخلخل، تاثیر شکاف‌ها بر خواص پتروفیزیکی سنگ و ...

- تاثیر ساختار زمین‌شناسی بر ویژگی‌های شکاف‌ها

- تخمین شکاف‌ها با استفاده از ساختار زمین‌شناسی (نقشه مخازن)، اطلاعات لرزه نگاری و ...

- مدل‌های تعریف شکاف:

• تعیین شکاف‌ها و ویژگی‌های آن‌ها با استفاده از مغزه‌ها

• شناسایی شکاف‌های باز و شکاف‌های بسته

• عوامل پر شدن شکاف‌ها (عوامل فیزیکی، شیمیایی و تکتونیکی ایجاد شکاف)

• مدل‌سازی شکاف‌ها با استفاده از نمودارهای FMI و FMS

• نمودارهای تصویرگر برای تجزیه و تحلیل شکاف‌ها

۲- شاخه حفاری

با توجه به نوع و ساختار زمین‌شناسی و لایه‌بندی این گونه مخازن، در هنگام حفاری فوق‌نرمال (که فشار گل حفاری از فشار سیال مخزن بالاتر است) امکان هرزروی گل حفاری و ایجاد آسیب به این مخازن بسیار جدی است. آرایه نوع خاصی از حفاری با مدیریت فشار یا

حفاری با گل متناسب با این مخازن از اهداف این مطالعه است. برخی دیگر از عوامل مهم مرتبط با حفاری عبارتند از:

• تعیین شکاف‌ها با استفاده از اطلاعات حفاری (هرزروی گل/سرعت حفاری)

• سیمان‌کاری در مخازن شکافدار

• تاثیر شکاف‌ها بر پارامترهای حفاری (سرعت حفاری/هرزروی گل)

• مغزه‌گیری در مخازن شکافدار

۳- بهره‌برداری و تکمیل (هدف

نهایی در این مطالعات، تولید بهینه از این مخازن می‌باشد)

• بهینه‌سازی تکمیل چاه‌ها به همراه اسیدکاری مناسب و مشبک‌کاری جهت‌دار در مخازن شکافدار

• شناخت تکمیلی شکاف‌ها با استفاده از اطلاعات تولید (PLT)

• آنالیز فشارهای P.D و B.V و چاه‌آزمایی

• سیال تکمیل (Completion Fluid)

۴- مهندسی مخازن (هدف نهایی

تعیین دقیق خواص دینامیکی خاص مخازن شکافدار است؛ به عنوان مثال تعیین درجه ارتباط بلاک‌های نفتی برای استفاده در شبیه‌سازها)

- مطالعه مکانیسم‌های تولید از مخازن شکافدار

• معادلات جریان در مخازن شکافدار

• تاثیر شکاف‌ها بر خواص سیالات مخزن

• پدیده‌های خاص در مخازن

• معادلات خاص مورد نیاز مخازن شکافدار (Conning)

• تعیین سطوح تماس سیالات در مخازن شکافدار

• عملکرد مخازن شکافدار

• موازنه مواد در مخازن شکافدار

• ترشوندگی در مخازن شکافدار

- ازدیاد برداشت از مخازن شکافدار

• تزریق گاز

• ASP

•

- شبیه‌سازی مخازن شکافدار ایران

• Dual Permeability + DFN

• Dual Permeability + CFN

• MINC

◆ نتیجه‌گیری

در طول یک‌صد سال گذشته اطلاعات ارزشمندی از میدان‌های نفتی به دست آمده است که ارزش آن‌ها میلیاردها دلار برآورد می‌شود. می‌توان امیدوار بود با استفاده از اطلاعات و علم زمین‌شناسی، مخازن هیدروکربوری کشور به‌ویژه مخازن شکافدار مناطق نفت‌خیز جنوب بهتر شناسایی شوند. گرچه به دلیل عدم گستردگی این نوع مخازن در جهان اطلاعات علمی در این رابطه به میزان کافی وجود ندارد اما به همین دلیل دست‌یابی به دانش و فن آوری مخازن شکافدار عملاً باید بسان فرصتی در پیشگاه پژوهش‌گران و محققان قرار گیرد (همان‌گونه که از گذشته‌ها چندین دور این چنین بوده و گذر زمان آن‌را دستخوش فراز و فرود نموده است).

مطالعه جامع مخازن شکافدار (NFR) و معرفی فن آوری‌های نوین در مدیریت آن، تبیین و تهیه نقشه راه فن آوری‌های حوزه مخازن شکافدار (تبیین استراتژی فن آوری) می‌تواند در دست‌یابی شرکت ملی نفت به استراتژی خود در افزایش یک درصدی ضریب برداشت از مخازن بسیار موثر واقع گردد. انجام مطالعات بنیادین و پیگیری زنجیره‌ایده تا محصول و تولید فن آوری در این زمینه، مسایل ذیل را شفاف‌تر خواهد ساخت:

۱- بررسی تفاوت‌های اساسی علمی - مدیریتی میان مخازن شکافدار و مخازن متداول در زمینه‌های تخصصی چهارگانه بالادستی صنعت نفت (اکتشاف، مخزن، حفاری و بهره‌برداری)

۲- بررسی چالش‌های مهم موجود در زمینه‌های تخصصی چهارگانه بالادستی صنعت نفت در حوزه مخازن شکافدار

۳- شناسایی و دسته‌بندی فن آوری‌های نوین در زمینه‌های تخصصی چهارگانه بالادستی صنعت نفت در حوزه مخازن شکافدار متناسب با چالش‌های موجود

۴- تعیین چارچوب کلی و الویت‌بندی برای دست‌یابی به فن آوری‌های شناسایی شده با توجه به ملاک‌های ضرورت، شرایط اقتصادی و غیره.

۵- تبیین و شفاف‌تر شدن مزیت‌های رقابتی صنعت نفت کشور و حضور فعال‌تر در عرصه بین‌المللی و قرار گرفتن در ردیف صادرکنندگان فن آوری نفتی در دهه پیشرفت و عدالت

◆ منابع

[۱] سخنرانی مدیر عامل وقت شرکت ملی نفت؛ آقای سیف‌الله جشن‌ساز در اولین کنگره مخازن شکافدار، اهواز، آذر ۱۳۸۷

[2] World Energy Outlook (WEO 2006)

[3] Schlumberger Market Analysis 2007

[4] Naturally Fractured Reservoirs R.A. Leverison, Geologic Analysis of Golder Associates (http://www.golder.com)

[۵] سخنرانی مدیر امور فنی شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب (دکتر شکرالله زاده) در دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اهواز، دیماه ۱۳۸۵