مروری بر روش‌های افزایش برداشت در مخازن نامتعارف شیل نفت

امینه لطفی‌یار*، نادر ثابتی[1] ● مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت
علی چهرازی[2] ● شرکت نفت فلات قاره‌ی ایران

چکیده

نیاز روزافزون به منابع سوختی، ارزان بودن سوخت‌های فسیلی و رو به اتمام بودن مخازن هیدروکربنی متعارف سبب توجه جدی به تولید از مخازن نفت و گاز نامتعارف شده است. حدوداً ۷۰ درصد از مخازن نفت و گاز جهان را مخازن نامتعارف تشکیل می‌دهند که شیل‌های نفتی از مهم‌ترین آنهاست. تخلخل و تراوایی این مخازن بسیار کمتر از مخازن متعارف است. همین امر سبب شده حفاری چاه‌های افقی به‌همراه ایجاد شکاف هیدرولیکی جهت افزایش بازدهی چاه‌ها مورد توجه قرار گیرند که این امور خود نیازمند فن‌آوری‌های پیشرفته‌ی خاصی هستند. همچنین به‌دلیل کم بودن مقدار بازیافت نفت این نوع مخازن، استفاده از روش‌های ازدیاد برداشت (EOR) در آنها ضروری است. در این مقاله روش‌های ازدیاد برداشت مورد نیاز در شیل‌های نفتی بررسی شده و با توجه به شرایط مخزنی و سیال موجود در مخازن شیل نفتی، کارآیی این روش‌ها مطالعه شده است. از بین روش‌های ازدیاد برداشت، روش تزریق دوره‌ای بخار (CSS) در مواقعی که نفت سنگین باشد و روش تزریق گاز (به‌ویژه دی‌اکسیدکربن) از بهترین روش‌ها هستند.

اطلاعات مقاله

* دریافت:
۹۳/۵/۴
* ارسال برای داوری:
۹۳/۵/۴
* پذیرش:
۹۴/۶/۱۵

واژگان کلیدی

مخازن نامتعارف
شیل نفتی
ازدیاد برداشت نفت (EOR)
شکست هیدرولیکی
تزریق آب و گاز

*نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (lotfiyara@yahoo.com)

مقدمه

مخازن هیدروکربنی به دو دسته‌ی متعارف و نامتعارف تقسیم می‌شوند. در گذشته مخازن نامتعارف به‌دلیل فقدان توجیه اقتصادی، کمتر مورد توجه بودند. این در حالی است که حدود یک‌سوم مخازن نفت و گاز جهان متعارف و مابقی نامتعارف هستند (شکل-۱). مخازن نامتعارف به مخازنی گفته می‌شود که بدون عملیات تحریک و فن‌آوری‌های خاص، نفت و گاز اقتصادی تولید نمی‌کنند [۱]. مخازن نامتعارف شامل مخازن نامتعارف گازی (هیدرات‌های گازی، مخازن گازی فشرده، متان موجود در بسترهای زغالی و شیل گازی) و مخازن نامتعارف نفتی (مایع تراوش شده از بیومس، سیال حاصل از متان و شیل نفتی) هستند. از مهم‌ترین مخازن نامتعارف، شیل نفتی است.

شیل نفتی سنگی حاوی ترکیبات ارگانیک جامد (کروژن) است. برای تولید نفت مایع از شیل نفتی غنی از کروژن، شیل نفتی را در شرایط فاقد اکسیژن تا حدود ۹۵۰°F (۵۰۰°C) حرارت می‌دهند. باید توجه داشت که نفت شیل برخلاف شیل نفتی برای جریان یافتن در چاه نیازی به حرارت ندارد [۲] و در واقع نفت شیل نفتی متعارف است (نفتی سبک با مقدار سولفور کم) که در سازندهای نامتعارف ذخیره شده است [۳].

تراوایی و تخلخل بسیار کم مخازن نامتعارف سبب دشواری استخراج هیدروکربن از آنها شده است. مخازن نفتی شیل، غنی از رس و به‌صورت متورق هستند و در امتداد لایه‌بندی، لایه‌ها می‌توانند در جایی که سنگ رسی فشرده شده از یکدیگر جدا شوند [۳]. تخلخل کم مخازن نامتعارف سبب شده تولید از آنها نیاز به فن‌آوری‌های پیشرفته‌ای برای ایجاد شکست هیدرولیکی، چاه افقی و استفاده از روش‌های ازدیاد برداشت داشته باشد. معمولاً هر میدان نفتی در دوره‌ی عمر خود، سه مرحله‌ی مختلف تولید را طی می‌کند که شامل برداشت اولیه، برداشت ثانویه و برداشت ثالثیه است. به تمامی روش‌هایی که طی آنها باید به مخازنی که در شرایط طبیعی قادر به تولید اقتصادی نیستند، از بیرون انرژی داد یا موادی به آنها تزریق کرد، روش‌های ازدیاد برداشت گفته می‌شود. در برداشت اولیه، از انرژی طبیعی مخزن برای تولید نفت استفاده می‌شود. البته اگر نفت خودبه‌خود و توسط انرژی طبیعی مخزن به سطح زمین نیاید و برای انتقال آن به سطح از روش‌های فرازآوری مصنوعی (از جمله پمپ‌های درون‌چاهی) استفاده شود نیز هنوز در مرحله‌ی اول برداشت نفت هستیم؛ زیرا در این مرحله انرژی جداگانه‌ای وارد مخزن نمی‌شود. هنگامی که با تزریق آب در آبده مخزن یا تزریق گاز در کلاهک گازی مخزن، انرژی و فشار طبیعی مخزن حفظ شود نیز هنوز برداشت اولیه‌ی نفت در حال انجام است. هنگامی که مخزن، تخلیه شده و امکان تولید نفت حتی با پمپاژ از چاه به سطح زمین نیز وجود ندارد، استفاده از روش‌های کمکی تولید از نوع بازیافت ثانویه آغاز می‌شود که در این زمینه امروزه روش تزریق آب در دنیا مرسوم است. در این روش آب از طریق چاه تزریقی به مخزن تزریق می‌شود و با مداخله در سیستم مخزن سبب جابجایی نفت و حرکت آن به‌سمت چاه تولیدی می‌گردد. در بسیاری موارد تزریق آب کارآیی لازم را در جابجایی مناسب سیال مخزن ندارد و باید جهت تولید اقتصادی نفت روش‌های دیگری درنظر گرفت. فرآیندهایی نظیر تزریق گاز (دی‌اکسید کربن، نیتروژن، گاز همراه و هوا)، تزریق مواد شیمیایی (پلیمر، مواد کاهش‌دهنده‌ی کشش سطحی، سودا)، روش‌های حرارتی (انگیزش بـا بخار، رانش با بخـار، رانش با آب داغ و احتـراق درون مخزنی) و روش‌های میکروبی یا ترکیبی از این روش‌ها، فرآیندهای مرحله‌ی سوم برداشت نفت (ثالثیه) هستند [۴].

شکست هیدرولیکی که یکی از مؤثرترین روش‌ها جهت بهبود تولید از مخازن نامتعارف است برای برطرف کردن آسیب سازندی و افزایش هدایت مسیر جریان سیال به‌داخل چاه استفاده می‌شود. این روش که نقش مؤثری در توسعه‌ی سازندهای کم‌تراوا ایفا می‌کند به‌طرز روزافزونی برای تولید از شیل‌ها و رگه‌های زغالی نیز استفاده می‌شود [۵]. سیلاب‌زنی با گاز و سیلاب‌زنی با آب دو روش نسبتاً ارزان و سریع از بین روش‌های ازدیاد برداشت نفت هستند که در مخازن متعارف و برخی مخازن فشرده‌ی نامتعارف، عملکرد موفقی دارند. در شیل‌های نفتی معمولاً روش‌های حرارتی (از جمله تزریق بخار) برای ازدیاد برداشت مناسب هستند.

۱- بحث

۱-۱- خصوصیات شیل نفتی

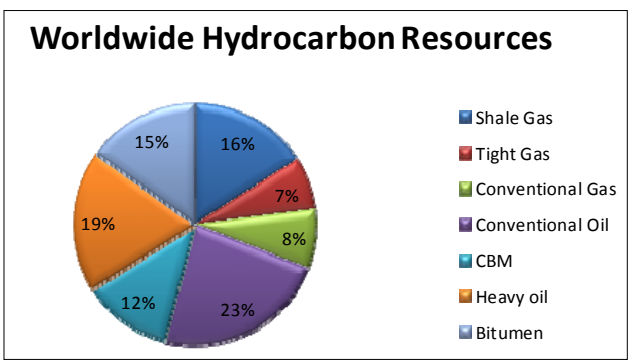
شیل نفتی یک سنگ رسوبی دانه‌ریز، غیرمتخلخل و غیرآلی است که حاوی مواد آلی به‌شکل کروژن است. شیل نفتی می‌تواند در محیط‌های دریایی و غیردریایی تشکیل شود. گرچه شیل‌ها سنگ‌هایی دانه‌ریز هستند و ته‌نشست مواد غیرآلی نیز آرام می‌باشد اما رشد مواد آلی (کروژن) سریع است. ماده‌ی اصلی تولیدکننده‌ی نفت در شیل نفتی جامد و غیرقابل‌پمپ به سطح زمین است. شیل نفتی باید ابتدا استخراج شده، حرارت داده شود و مایع حاصل از آن تفکیک و ذخیره گردد. عملیات‌های تجربی موجود اغلب از فرآیندهای جایگزین (که به‌صورت تقطیر برجا و شامل حرارت دادن شیل نفتی در زیر زمین و انتقال سیال حاصل از آن به سطح زمین است)، استفاده می‌کنند [۷]. بازیافت کم مخازن شیل نفتی و حجم زیاد آنها سبب اهمیت بررسی روش‌های افزایش برداشت از این مخازن شده است. در ادامه روش‌های اصلی برداشت از این منابع انرژی شرح داده خواهد شد.

الف) حرارت سطحی: در این روش شیل نفتی را به‌روش سنتی استخراج کرده و پس از انتقال به ساختمان‌های ویژه‌ی فرآیند، آنرا تا دمای ۴۵۰-۵۰۰°C حرارت می‌دهند. همچنین شیل نفتی را با هیدروژن غنی کرده و نفت حاصل را از مواد زائد جدا می‌کنند. در فن‌آوری جدید که توسط کریستال‌های قیر انجام می‌شود شیل نفتی را کمتر حرارت می‌دهند.

ب) حرارت درجا: حرارت دادن شیل نفتی در زیر زمین توسط حرارت دهنده‌های الکتریکی انجام می‌شود که در داخل چاه‌های عمیق قرار گرفته‌اند. این روش که نیازمند حفاری چاه‌های زیادی است مستلزم انرژی ورودی زیادی برای تبدیل کروژن به سیال نیز هست. حجمی از شیل نفتی طی دوره‌ای ۳-۲ ساله حرارت داده می‌شود تا دمای آن به ۶۵۰-۷۰۰°F برسد که در این دما نفت از شیل جدا می‌گردد. محصولات آزاد شده در چاه‌های گردآوری، جمع می‌شوند. به‌طور میانگین در هر ۴۰۰۰ متر مربع، ۲۰-۱۵ حرارت‌دهنده‌ی الکتریکی نیاز است. اصطلاح ازدیاد برداشت نفت اساساً به‌هر روشی برای بازیافت فراتر از مرحله‌ی اولیه تولید اشاره دارد. ازدیاد برداشت نفت جهت تولید نفت‌خام از مخازن با استفاده از فرآیندهایی برای رانش اولیه‌ی مخزن به کار می‌رود. این روش‌ها شامل حفظ فشار، تزریق سیالات جابجاکننده و روش‌های حرارتی است [۶]. مکانیزم‌های رانش کلی

که انرژی طبیعی لازم برای بازیافت نفت فراهم می کنند را می توان به رانش انبساط سنگ و سیال، رانش تخلیه، رانش کلاهک گازی، رانش آب، رانش زهکشی ثقلی و رانش ترکیبی طبقه‌بندی کرد. در این میان اگر هیچ منبع انرژی مصنوعی دیگری وجود نداشته باشد انبساط نفت مکانیزم بسیار مهمی است. سنگ و سیال با توجه به ویژگی‌های تراکم‌پذیر بودنشان منبسط می‌شوند. هنگامی که انبساط سیالات و کاهش حجم منافذ همراه با کاهش فشار مخزن رخ می‌دهد باید نفت‌خام و آب توسط نیروهای دیگری به‌داخل چاه فرستاده شوند [۴]. با افت فشار در سیستم شکاف‌ها، برای متعادل کردن فشار ماتریکس با فشار شکستگی‌های اطراف، نفت از ماتریکس خارج می‌شود. این مکانیزم تولید را می‌توان مکانیزم انبساط نفت در بلوک ماتریکس درنظر گرفت.

در مخازن نفتی شیل، بیشترین مقدار نفت در ماتریکس است. اما تولید و حرکت نفت به‌داخل چاه نیازمند سیستم شکستگی بسیار تراوایی است. تولید از بلوک‌های ماتریکس با مکانیزم‌های فیزیکی مختلفی از جمله مکانیزم تزریق دوره‌ای گاز برای افزایش برداشت نفت استفاده می‌شود. گاز تزریقی، هم به تأمین انرژی مخزن کمک می کند و هم از طریق کاهش گرانروی نفت و انبساط نفت‌خام در آن حل می‌شود. سیلاب‌زنی امتزاج‌پذیر گاز و نفت به کاهش فشار موئینه‌ی آنها کمک می کند و تزریق آب نسبت به تزریق گاز کارآیی مناسبی ندارد [۸]. افزایش قیمت جهانی نفت‌خام و نیاز روزافزون کشورهای جهان به این انرژی، مهندسان مخزن را به طراحی شیوه‌های مناسب جهت تولید بیشترین مقدار نفت از مخازن با کمترین هزینه واداشته است. جهت دست‌یابی به این هدف، قبل از انجام عملیات بازیابی نفت از میدان، تمامی متغیرهای مؤثر بر تولید نفت در آزمایشگاه مطالعه و بررسی می‌شوند. به‌دلیل تولید مقدار کمی نفت‌خام پس از بازیافت اولیه و ثانویه و با توجه به ارزشمندی این انرژی، برای تولید نفت باقیمانده باید از روش‌های ازدیاد برداشت که منجر به افزایش بازیافت نهایی نفت می‌شوند استفاده کرد. این روش‌ها از طریق گرما یا تزریق موادی که به‌طور معمول در مخزن وجود ندارند مانند مواد شیمیایی، حلال‌ها و اکسید کننده‌ها و توسط مکانیزم‌های جدید و متفاوتی سبب جابجایی نفت می‌شوند. روش‌های ازدیاد برداشت نفت شامل سیلاب‌زنی با آب، روش‌های گرمایی (تحریک با بخار، سیلاب‌زنی با بخار، رانش با آب داغ، احتراق درون مخزن)، روش‌های شیمیایی (سیلاب‌زنی پلیمری، مواد کاهش‌دهنده‌ی کشش سطحی و مواد قلیائی) و روش‌های امتزاج‌پذیری (گاز هیدروکربنی، دی‌اکسید کربن و نیتروژن) است. هدف هر فرآیند ازدیاد برداشت، به‌حرکت در



شکل ۱ | فراوانی انواع مخازن هیدروکربنی؛ مخازن متعارف یک‌سوم مخازن نفت و گاز جهان را تشکیل می‌دهند [۶]

آوردن نفت باقیمانده است که منجر به افزایش بازده جاروبی حجمی و در نتیجه جابجایی نفت می‌شود. از روش‌های بازیافت ثانویه‌ای که به‌طور گسترده در این مخازن استفاده می‌شود روش‌های حرارتی (شامل احتراق درجا و تزریق سیال گرم) هستند [۹]. بازیافت حرارتی نفت معمولاً شامل استفاده از حرارت در فاز بخار برای کاهش گرانروی نفت و افزایش عوامل بازیافت است. دو روش تزریق دوره‌ای بخار و سیلاب‌زنی با بخار وجود دارد. تزریق دوره‌ای بخار که در کانادا Huff and puff یا CSS نامیده می‌شود شامل تزریق بخار به چاه طی مدت چند روز و سپس تولید نفت از همان چاه است. در اینجا مساحت تخلیه‌ی چاه، تنها بخشی از مخزن می‌باشد که با بخار پر شده است. سیلاب‌زنی با بخار شامل چاه اختصاصی برای تزریق و تولید است. بخار تزریقی از تزریق کننده به تولید کننده جریان یافته و مخزن را پر می کند. به‌دلیل اینکه باید تمامی مخزن حرارت داده شود جهت عملی شدن تزریق بخار، باید تخلخل مخزن بیش از ۲۵ درصد باشد. به‌همین دلیل اخیر نیز این روش در ۹۰ درصد مخازن عملی نیست؛ چراکه تخلخل اکثر مخازن ایران کمتر از ۲۵ درصد است. عمق ۱۵۰۰-۵۰۰ فوت بهترین عمق است. احتراق درجا نیز از روش‌های حرارتی است که در آن برای سوزاندن بخشی از نفت‌های درجا، هوا تزریق می‌شود [۱۰]. در برخی مخازن نفت شیلی به‌دلیل زیاد بودن API نفت، استفاده از روش‌های حرارتی بی‌فایده خواهد بود؛ چراکه سبب تغییر ناچیز گرانروی خواهد شد. در مورد شیل‌های نفتی از آنجا که مساحت ناحیه‌ی تخلیه شده‌ی چاه معطوف به مساحت مورد انگیزش[۳] است، اگر نفت سنگین باشد روش CSS بهترین روش حرارتی خواهد بود.

در آغاز، بهره‌برداری و استخراج از طریق حفاری افقی و شکست هیدرولیکی و با هدف افزایش نفوذپذیری و رساندن نفت‌خام تولیدی به سطح اقتصادی انجام می‌شود. با توجه به اینکه نفوذپذیری سازند شیلی بسیار کم است صرف‌نظر از محل قرارگیری هیدروکربن، تولید اقتصادی نیازمند شکست هیدرولیکی است. انتخاب محل مناسب شکنندگی برای عملیات حفاری بسیار مهم و کلیدی است. شیل گازی که بیش از ۵۰ درصد وزنی آن کوارتز یا کربنات است و تمایل بیشتری به شکنندگی دارد به عملیات تحریک متداول چاه بهتر پاسخ می‌دهد [۱۱]. مثلاً یکی از نمونه‌های شیل نفتی، سازند Bakken (اواخر دوونین) در شمال ایالات متحده است که میدان سانیش در داکوتای شمالی از ۲۰۰۶ در حال تولید از این شیل می‌باشد. خصوصیات مخزنی و سیال این میدان شیل بدین ترتیب است:

تخلخل ۱۰-۴ درصد، تراوایی ۱/۹-۰/۰۰۱ میلی‌دارسی، API نفت ۴۵-۳۶ و فشار مخزن ۸۰۰۰-۶۰۰۰ پام. تولید از چاه‌های این میدان با نرخ حدود ۱۰۰۰ بشکه در روز آغاز شده و با افت شدید همراه بوده است؛ به‌طوری که تولید پس از حدود شش ماه به کمتر از ۴۰۰ بشکه در روز کاهش یافته و پس از آن طی چند سال به ۲۰۰ بشکه در روز رسید.

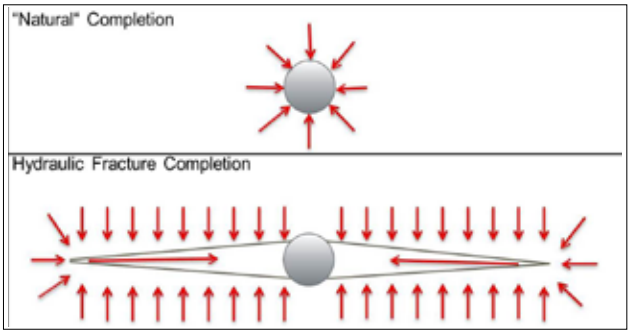
۱-۲-شکست هیدرولیکی

جهت استخراج نفت و گاز طبیعی ذخیره شده در سازندهایی با تخلخل و تراوایی کم، برای شکستن سازند از روش تحریک چاه (شکست هیدرولیکی؛ پمپ کردن سیال شکننده با فشار زیاد) استفاده می‌شود. برای تولید نفت و گاز از مخازنی با تراوایی کم، باید مسیر جریانی غیرمستقیم از مخزن به سطح چاه ایجاد شود. بدون شکست هیدرولیکی، نرخ تولید اولیه برای رسیدن به تولید اقتصادی، بسیار کم

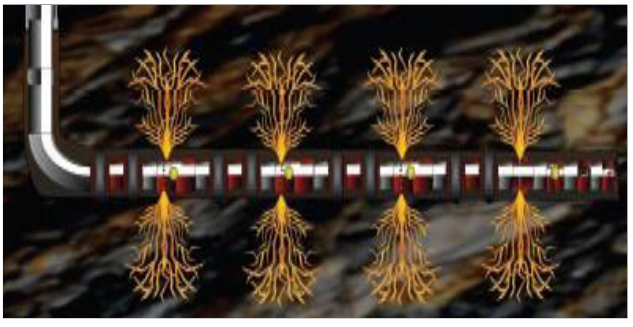
خواهد بود. در شـکل-۲ تصویر بالایی الگوی جریان در یک چاه غیرشکسته‌ی متعارف اسـت که در آن بردارهای قرمز رنگ جهت جریان را نشـان می‌دهند. شکست هیدرولیکی سطوح بازناحیه‌ی اصلی را بهبود بخشیده و مسیری بسیار تراوا را که به‌طور ویژه‌ای از سازند به چاه تولیدی هدف گسترش یافته ایجاد می کند. بدین ترتیب سیال مخزن به آسانی می‌تواند از سازند به چاه جریان یابد. در هنگام شکست هیدرولیکی و در طول مشبک کاری، سیالی که شامل آب و افزودنی‌های شیمیایی است به‌داخل جداری تولیدی پمپ می‌شود و با فشاری کافی برای ایجاد شکاف در سـازند، به‌داخل سازند هدف فرستاده می‌شـود. هنگامی که فشار از آستانه‌ی مقاومت سازند بیشتر شود سیال، شکستگی را باز یا خیلی بزرگ می کند؛ به‌طوری که سیال به چند صد فوت دورتر از سازند نیز نفوذ می کند. پس از ایجاد شکستگی، به‌منظور جلوگیری از بسته شدن شکاف‌ها، پس از حذف فشار پمپ سیال، عامل نگهدارنده‌ای[۴] به‌داخل شکاف‌ها فرستاده خواهد شد [۱۲]. فن‌آوری شکست چاه می‌تواند جریان سیال را در مخزنی نازک، با ارتباط کم، ناهمگن و تراوایی کم، بهبود بخشد. همچنین شکست چاه، تولید از یک چاه منفرد و بازیافت نهایی را افزایش خواهد داد [۷].

۱-۳- حفاری چاه افقی به‌همراه شکست هیدرولیکی چندمرحله‌ای

طی چند سال اخیر و با هدف تولید از مخازن نامتعارف، چاه‌های افقی زیادی در سراسر جهان حفاری شده است. مهم‌ترین هدف حفاری یک چاه افقی، بهبود ارتباط مخزن و افزایش قابلیت تولید چاه اسـت. یک چاه افقی طویل نیز همانند یک چاه تزریقی، سطح تماس زیادی ایجاد کرده و تزریق‌پذیری چاه را افزایش می‌دهد که این امر برای عملیات افزایش برداشت نفت بسیار مطلوب است. قرار دادن شکسـتگی در مکان خاص در داخل چاه افقی شانس زیادی برای افزایش



شکل ۲| تصویر مخزن با شکستگی طبیعی و مخزن با شکستگی هیدرولیکی [۱۲]



شکل ۳| چاه‌های افقی به‌همراه شکست هیدرولیکی چندمرحله‌ای [۱۲]

تولید انبوه در بازه‌ی زمانی کوتاهی ایجاد می کند. شکست چندمرحله‌ای روشی است که در آن مواد شکننده‌ای (که شکستگی‌های متعددی ایجاد می کنند) تزریق شـده و بدین ترتیب با تولید شکستگی‌های متعدد سـطح تماس مخزن افزایش می‌یابد. این روش به نسبت استفاده از ابزار مکانیکی برای تفکیک لایه‌ها (با هدف ایجاد شکاف در آنها)، اقتصادی‌تر است. از مزایای روش چندمرحله‌ای افقی دقت در ایجاد آن و دقت در محل قرار دادن سیال شکننده توسط توپک مسدود کننده اسـت. از دیگر مزایای این روش قابلیت زیاد هدایت سـیال شکننده، آسیب کم این سیال و کاهش زمان تفسیر است [۱۲]. عملیات ایجاد شکست چندمرحله‌ای به روشی موفق برای تولید گاز از مخازن شیل گازی تبدیل شده که در آن حجم زیادی از سیال شکننده تزریق شده و می‌تواند سطح تماس چاه با مخزن را به‌طرز مؤثری بهبود بخشد. بایهلی بر اسـاس داده‌های چاه‌پیمایی ثابت کرد که تنها ۳۰ درصد از فواصل مشبک کاری مؤثر است [۱۳].

۱-۴- روش‌های ازدیاد برداشت

در این قسـمت روش‌های افزایش برداشت مورد استفاده در شیل‌های نفتی به اختصار بررسی خواهد شد.

۱-۴-۱- تزریق آب

در مخازن معمولی اغلب پس از مؤثر نبودن مکانیزم رانش طبیعی، از سیلاب‌زنی با آب (به‌عنوان یکی از مکانیزم‌های بازیافت) اسـتفاده می‌شود. در حین پروژه‌ی سـیلاب‌زنی با آب، جهت ایجاد مکانیسم جاروب و رانش نفت مخزن به سمت چاه‌هـای تولیدی، آب از طریق چاه‌های تزریقی به مخزن تزریق می‌شـود. آب تزریقی با ایجاد رانش، نفت را به‌طرف بالا جابجا می کند. در روش‌های قدیمی، تزریق آب در فاز دوم دوره‌ی عمر مخزن انجام می‌شد. اما امروزه این کار در فاز اول انجام شده و مانع از ایجاد کلاهک گازی می‌شود. تزریق آب معمولاً زمانی انجام می‌شود که رانش گاز حل شده داشته باشیم و رانش آب نیز ضعیف باشد. آب با هدف تقویت فشار مخزن، جابجا کردن نفت مخزن و انتقال آب به‌سمت چاه تولیدی تزریق می‌شود. انتخاب روش تزریق آب به نسبت تحرک بین سیال جابجا کننده (آب) و سـیال جابجا شـده (نفت) بستگی دارد. معایب تزریق آب عبارت است از:

- واکنش آب تزریقی با آب سازندی که سبب آسیب سازند می‌شود
- ایجاد خوردگی در تجهیزات سطحی و زیرسطحی

به‌دلیل تراوایی بسیار کم مخازن شیلی، تزریق سیال برای جابجایی و انتقال نفت نسبت به مخازن متعارف و مخازن نفتی فشرده بسیار دشوار است. طبق آنالیزهای بسـیار دقیق، مهم‌ترین عامل بازیافت کم نفت از مخازن شیلی، نفوذپذیری کم ماتریکس اسـت. تزریق آب به‌علت انتقال فشار از تزریق کننده به تولید کننده، حفظ فشـار محدود را بهبود می‌بخشد. تراوایی بسیار کم سبب قابلیت کم تولید و تزریق‌پذیری کم خواهد شد. به‌همین دلیل کارآیی سیلاب‌زنی با آب کاهش می‌یابد [۶].

۱-۴-۲- تزریق گاز

در مخازن نامتعارف تزریق دوره‌ای و متناوب گاز با استفاده از گازهای مختلف

می‌تواند مؤثر باشد. با توجه به آنکه این روش فرآیندی تک‌چاهی است، ارتباط چاه به چاه ضروری نبوده و شکست هیدرولیکی، سطح تماس زیادی را برای نفوذ و پخش شدن گاز در ماتریکس با تراوایی کم ایجاد می‌کند. سیستم تزریقی که شامل شکستگی‌های هیدرولیکی و طبیعی است مسیری را برای گاز تزریقی و نفت تولیدی فراهم می‌کند [۱۴]. با توجه به اینکه در مخازن شیلی بیشترین مقدار نفت در بلوک‌های ماتریکس قرار دارند یک سیال تزریقی، نفت را از بلوک‌های ماتریکس جاروب نمی‌کند. برای تولید از بلوک‌های ماتریکس می‌توان از مکانیزم‌های فیزیکی از جمله مکانیزم‌های تزریق دوره‌ای گاز استفاده کرد.

گاز تزریقی به فراهم کردن انرژی برای مخزن کمک می‌کند. همچنین گاز تزریقی از طریق کاهش گرانروی نفت و انبساط نفت‌خام، در آن حل می‌شود. سیلاب‌زنی امتزاج‌پذیر گاز و نفت به کاهش فشار موئینه‌ی نفت و گاز کمک می‌کند [۱۵]. تزریق گاز امتزاجی و غیرامتزاجی دو نوع عمده‌ی تزریق گاز هستند. در تزریق گاز امتزاجی، گاز در حداقل فشار امتزاج‌پذیر یا بیشتر از آن تزریق می‌شود که این سبب انحلال گاز در نفت می‌شود. تزریق گاز غیرامتزاجی در کمتر از حداقل فشار امتزاج‌پذیر انجام می‌شود. این تزریق کم‌فشار گاز با هدف حفظ فشار مخزن و ممانعت از توقف تولید انجام می‌شود و بنابراین نرخ تولید را افزایش می‌دهد. جابجایی گاز امتزاجی فرآیندی است که در آن جابجایی، از قابلیت حل شدن نفت درجا و سیال تزریقی حاصل می‌شود [۱۲]. در مخازن شیل نفتی، نفوذپذیری کم ماتریکس، عامل کم‌بودن تولید است و فاصله‌ی محدود دارای شکستگی، نقش مهمی در تولید شیل نفتی دارد. این امر منجر به نرخ تولید اولیه‌ی بیشتر و کارآیی بسیار بیشتر جاروبی سیلاب‌زنی گاز امتزاج‌پذیر خواهد شد. در مخازن شیلی با تخلخل و تراوایی بسیار کم، تزریق آب در شکستگی‌های مرتبط، نسبت به تزریق گاز، تأثیر کمتری در بهبود بازیافت نفت دارد. تزریق گاز امتزاج‌پذیر گرانروی نفت را کاهش می‌دهد. حلال‌های تزریق شده قابل‌حل در نفت بوده، گرانروی نفت را کاهش داده و نسبت به تزریق آب، منجر به برانگیخته شدن بیشتری می‌شوند. همچنین حلال‌های مذکور برای حفظ فشار نیز بهتر هستند. تزریق گاز احتمالاً روشی بالقوه برای بهبود بازیافت نفت از مخازن شیل نفتی است [۶].

نتیجه‌گیری

- در شیل‌های نفتی به‌دلیل تراوایی و تخلخل کم سازند، استفاده از چاه‌های افقی و شکاف هیدرولیکی جهت افزایش بهره‌دهی چاه‌ها الزامی است که این امر نیازمند فن‌آوری‌های پیشرفته می‌باشد.
- بدون شکست هیدرولیکی، نرخ اولیه‌ی تولید اقتصادی کم است. شکست هیدرولیکی سطوح باز ناحیه‌ی اصلی را بهبود می‌بخشد و ناحیه‌ای تراوا را از سازند هدف به چاه تولیدی باز می‌کند. چاه افقی نیز تزریق‌پذیری چاه را افزایش می‌دهد که این امر برای افزایش برداشت نفت بسیار مطلوب است. عملیات شکست چندمرحله‌ای به روشی موفق برای تولید گاز از مخازن شیلی تبدیل شده که به‌طرز مؤثری سطح تماس چاه و مخزن را افزایش می‌دهد و در مخازن شیل نفتی نیز کاربرد فراوانی دارد.
- در برخی شیل‌های نفتی، نفت درون مخزن از نوع سبک بوده (مثل میدان سانیش در داکوتای شمالی) و استفاده از روش‌های حرارتی مناسب نیست. روش‌های حرارتی در میادینی کاربرد دارند که هیدروکربن موجود در سنگ از نوع سنگین باشد. همچنین از آنجا که مساحت ناحیه‌ی تخلیه‌ی چاه فقط معطوف به ناحیه‌ی انگیزش شده است بهترین روش حرارتی روش CSS خواهد بود.
- تزریق آب و تزریق گاز دو روش بررسی شده در این تحقیق هستند. تزریق گاز به فراهم شدن انرژی برای مخزن کمک کرده و گاز از طریق کاهش گرانروی نفت و انبساط نفت‌خام در آن حل می‌شود. تزریق گاز روشی بالقوه برای مخازن شیل نفتی است که به کاهش فشار موئینه کمک می‌کند. دی‌اکسید کربن می‌تواند از بهترین انواع گاز تزریقی باشد که علاوه بر خاصیت امتزاج‌پذیری، مسائل زیست‌محیطی را نیز درنظر می‌گیرد.■

پانویس‌ها

[1] n.sabeti@niocexp.ir
[2] achehrazi@iooc.ac.ir
[3] stimulation
[4] propanet

منابع

[1] Miskimins, J., Design And Life Cycle Considerations For Unconventional Reservoir Wells, In SPE Unconventional Reservoirs Conference, 2008.
[2] Chaudhary, A.S., Shale Oil Production And Performance From A Stimulated Reservoir Volume, M.Sc Thesis, A&M University, Texas, 2011, 78pp (In English).
[3] Maugeri, L., The Shale Oil Boom:A U.S. Phenomenon, Belfer Center For Science And International Affairs, Harvard Kennedy School, 2013, 57pp (In English).
[۴] میری، ر، دهقان، ع.ا، ضرورت به‌کارگیری روش‌های ازدیاد برداشت در مخازن نفتی و راهبردهای شرکت نفت فلات قاره، ماهنامه‌ی اکتشاف و تولید، شماره‌ی ۹۸، ۱۳۹۱، ص ۲۱-۲۷.
[5] Economides, M.J., Martin, T., Modern Fracturing: Enhancing Natural Gas Production, BJ Services Company, Houston, Energy Tribun Publishing Inc, 2007, 531pp.
[6] Chen, K., J. Sheng, J., Evaluation Of The EOR Potential Of Gas And Water Injection In Shale Oil Reservoirs, 2013, Aiche Annual Meeting In San Francisco.
[7] Crabtree, E.H., OIL SHALE AND SHALE OIL, In Annual Meeting Of The American Institute Of Mining 1965,Society Of Petroleum Engineers: Chicago, Illinois.
[8] Wan B.S, T., Evaluation Of The EOR Potential In Shale Oil Reservoirs By Cyclic Gas Injection, Submitted Thesis For The Degree Of M.Sc In Petroleum Engeneering, 2013, Pp 139 (In English).
[9] Kok, M. V., Guner, G., Bagci, S, Laboratory Steam Injection Applications For Oil Shale Fields Of TURKEY, 2008, Vol. 25, No. 1, Pp. 37–46.
[10] Croft, G., Feder, T., Impact Of Enhanced Oil Recovery And Unconventional Reservoirs On Oil Supply, 2007, Report ER291, Transportation Energy Seminar, U.C. Energy Institute, Berkeley, California, Pp.16.
[11] Passey, Q.R., K.M. Bohacs, W.L. Esch, R. Klimentidis, And S. Sinha, Geologic And Petrophysical Characterization Of Source Rocks And Shale-Gas Reservoirs, 2010, SPE131350, Presented At The CPS/SPE International Oil And Gas Conference And Exhibition In China.
[12] Chen B.Sc., K., Evaluation Of EOR Potential By Gas And Water Flooding In Shale Oil Reservoirs, A Thesis In Petroleum Engineerind, Submitted For The Degree M.Sc, Texas Tech University , 2013, Pp 145.
[13] Baihly J.D., Malpani, R., SPE, Schlumberger; Edwards, C., Anadarko; Han, S.Y., SPE, Kok, J.C.L., SPE, Tollefsen, E.M., SPE, Wheeler, C.W., Schlumberger, 2010. Unlocking The Shale Mystery: How Lateral Measurements And Well Placement Impact Completions And Resultant Production, SPE 138427 Presented At Tight Gas Completions Conference, San Antonio, Texas, USA, 2010.
[14] Gamadi, T.D., J. Sheng, J., Soliman, M.Y., An Experimental Study Of Cyclic Gas Injection To Improve Shale Oil Recovery, SPE Annual Technical Conference And Exhibition Held In New Orleans, 2013, Louisiana, USA.
[15] Wan B.S, T., Evaluation Of The EOR Potential In Shale Oil Reservoirs By Cyclic Gas Injection, Submitted For The Degree Of M.Sc, Texas Tech University, Texas, 2013, Pp 139.