مطالعه آزمایشگاهی تزریق آب در سنگ آهکی شکافدار از سازند آسماری

● سید مجید هاشمی*، محمدرضا اصفهانی و حسن کریمائی
مرکز تحقیقات اکتشاف و تولید، پژوهشگاه صنعت نفت
hashemism@ripi.ir

پژوهش نفت
سال هفدهم
شماره ۵۵
صفحه ۵۵ – ۴۸، ۱۳۸۶

چکیده

دراین مقاله نتایج حاصل از آزمایش‌های تزریق آب در سنگ کربناته شکاف‌دار ارائه شده است. برای این منظور ستونی متشکل از سه مغزه رخنمون آهکی آسماری از منطقه جنوبی ایران به کار برده شده است. مغزه‌های یاد شده در مرکز یک لوله استوانه‌ای شیشه‌ای مشبک قرار داده شده و فضای حلقوی بین دیواره ستون مغزه‌ها و لوله استوانه‌ای نیز به عنوان ترک[1] در نظر گرفته شده است. آزمایش‌های تزریق آب با تزریق از قسمت پایین و تولید از بالای لوله می‌باشد. آزمایش‌های تزریق آب در سه نرخ جریان، انجام و نتایج آن ارائه شده است. ستون مغزه‌ها بین ۵ تا ۷ روز پس از اتمام آزمایش در سیال به حالت غوطه‌ور باقی می‌ماند. این امر باعث تغییر شرایط مرزی از حالت پوشش جزیی به کامل می‌گردد. آزمایش غوطه‌وری به‌طور جداگانه بررسی شد و تاثیر اشباع آب اولیه و نرخ افزایش یا کاهش جریان بر میزان بازیافت نفت در فرایند آشام به طور آزمایشگاهی بررسی شد. آزمایش‌های تزریق آب در سه نرخ جریان و اشباع آب اولیه متفاوت صورت پذیرفته و نتایج به دست آمده نشان داد، هنگامی‌که نرخ تزریق پایین است میزان بازیافت نفت در زمان میان‌بر بیشتر می‌باشد و وابستگی بازیافت نهایی نفت نسبت به نرخ جریان در بعضی موارد کم و در مواردی نیز زیاد است. واضح است که بازیافت نفت با افزایش اشباع آب اولیه افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی:مخازن آهکی شکافدار، تزریق آب، فرایند آشام، ترشوندگی، ضریب بازیافت

مقدمه

سنگ آهک آسماری یکی از سازندهای تولیدی مهم در جنوب ایران است. مخازن اصلی جنوب غرب ایران همگی در سنگ کربناته سازند آسماری مربوط به دوره سوم زمین شناسی واقع شده‌اند و به طور وسیع و قابل توجهی شکافدار می‌باشند.

سنگ آهک آسماری متراکم، سخت، دارای دانه بندی ریز تا درشت بوده و با مقدار کمی ماسه، انیدریت و مارل همراه است[۱]. وجود شکاف‌ها و ترک‌های مخازن آسماری به کمک مواردی همچون هرزروی گل، تولید بالا از مخزن که با میزان تراوایی ماتریکس مخزن همخوانی ندارد، مشخصات ساختار فشار، مطالعات اندازه‌گیری جریان و نیز آنالیز مغزه‌ها به اثبات رسیده است. سازند یاد شده از ترک‌های متمایز و منحصر به فردی برخوردار است که با مخازن ماسه سنگی کلاسیک تفاوت عمده دارد. مخازن این سازند از یک سیستم ویژه با تراوایی دوگانه برخوردارند. در این سیستم نفت به‌طور عمده در ماتریکس واقع شده و شکاف‌های پیرامون آن همچون کانال‌هایی عمل می‌کنند که به نفت و گاز اجازه جریان می‌دهند. اشباع آب اولیه این مخازن درسنگ‌های باارزش مخزنی در حدود ۲۵ درصد یا کمتر و در سنگ‌های ضعیف بین ۲۵ تا۵۰ درصد می‌باشد[۲]. بنابراین بازده مکانیزم آشام در اشباع آب اولیه و نرخ‌های متفاوت جریان در

1. Fracture

میدان‌های آهکی آسماری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بررسی این مهم به تحقیقات آزمایشگاهی در مورد تأثیر اشباع آب اولیه و نرخ جریان بر تزریق آب نیازمند است.

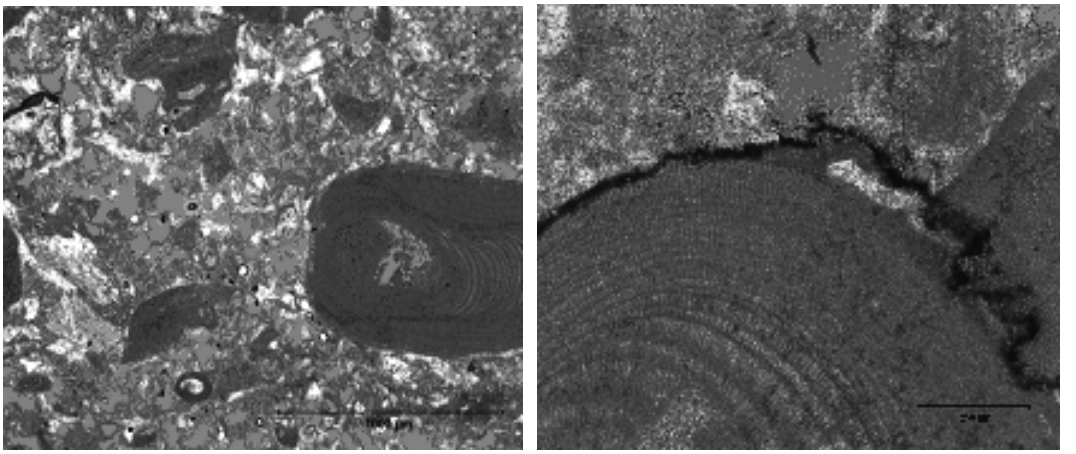
مطالعات مربوط به اثر اشباع آب اولیه بر روی میزان بازیافت نفت را می‌توان درمقالات جستجو کرد. ولی نتایج ارائه شده در مقالات مختلف با یکدیگر سازگار نیست. Zhou و همکارانش[۳] رابطه بین ترشوندگی، اشباع آب اولیه و بازیافت نفت را در فرایند آشام خودبه‌خودی جریان متقابل[1] و تزریق آب در سیستم‌های سنگ-آب- نفت (ماسه سنگ Berea) را مطالعه کرده‌اند. آن‌ها دریافتند که نرخ جریان در فرایند آشام و بازیابی نهایی نفت با افزایش اشباع آب اولیه، افزایش می‌یابد. Viksund و همکارانش[٤] نیز آزمایش‌های آشام خودبه‌خودی را روی سنگ گچ آب‌دوست قوی و ماسه سنگ Berea در سیستم‌های سنگ-آب- نفت انجام دادند و دریافتند که بازیابی نهایی نفت در فرایند آشام خودبه‌خودی ماسه سنگ یاد شده، تغییرات اندکی در محدوده صفر تا حدوداً ۳۰ درصد اشباع آب اولیه از خود نشان می‌دهد. در آزمایش‌های انجام شده به‌وسیله Viksund و همکارانش روی نمونه‌های گچی، نرخ جریان آشام ابتدا با بالا رفتن اشباع آب اولیه افزایش و سپس به تدریج همچنان که اشباع آب اولیه به بالای ۳٤ درصد رسید، کاهش یافت. Tong و همکارانش[٥] اثر اشباع آب اولیه بر ماسه سنگ یاد شده را مطالعه نموده و مشاهده کردند که نرخ جریان آشام از تابعیت و حساسیت بالایی نسبت به اشباع آب اولیه برخوردار است. میزان بازیابی نفت پس از رسوب گذاری[2]، با افزایش اشباع آب اولیه افزایش می‌یابد. در حالی‌که میزان بازیافت نفت تغییر منظمی را در ارتباط با میزان اشباع اولیه از خود نشان نمی‌دهد. Tang و Firoozabadi [٦] اثر اشباع آب اولیه بر فرایند تزریق آب در محیط متخلخل شکاف‌دار را در دو حالت ترشوندگی آب‌دوست و مخلوط، مطالعه نمودند. آن‌ها تغییرات ترشوندگی بر اثر جذب سطحی شیمیایی، تزریق آب و فرایند آشام خودبه‌خود را در سنگ گچ آب دوست قوی بررسی نمودند. آن‌ها دریافتند که اثر اشباع آب اولیه بر میزان بازیافت نفت به ترشوندگی بستگی دارد. برای یک شرایط آب دوست قوی، میزان بازیافت نفت در تزریق آب، با افزایش اشباع آب اولیه به طور تدریجی کاهش می‌یابد. درحالی‌که درشرایط آب دوست ضعیف، این میزان در فرایند تزریق آب با افزایش اشباع آب اولیه، به‌طور قابل توجهی زیاد می‌شود. نتایج حاصل از آزمایش‌های این محققان نشان می‌دهد که، نرخ جریان و میزان بازیافت نهائی نفت، ممکن است به علت وابستگی به میزان تزریق، اشباع آب اولیه و مقوله ترشوندگی ماتریکس، دچار تغییر شود.

مقاله حاضر، نتایج آزمایشگاهی حاصل از فرایند تزریق آب در سنگ آهک آسماری را ارائه می‌دهد. این نتایج بر مطالعه اثر نرخ جریان و اشباع آب اولیه بر میزان بازیافت نهایی نفت، متمرکز شده‌اند. بدین منظور اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی روی رخنمون سنگ آهک آسماری با تخلخل تقریبی ۱۵ درصد و تراوایی حدوداً یک میلی دارسی(mD) انجام شده است. برای درک بهتر فرایند، مقطع نازک، فشارمویینگی، نفوذپذیری نسبی و شاخص‌های ترشوندگی آموت[3] نیز اندازه‌گیری شده است.

اطلاعات زمین شناسی نمونه

برای انجام آزمایش‌ها، سه نمونه رخنمون کربناته از یک بلوک سازند آسماری در جنوب ایران انتخاب شد. سپس برای بررسی نوع تخلخل و کانی‌ها، آنالیز مقطع نازک انجام پذیرفت (شکل۱). نمونه‌ها همگی سنگ آهک[4] هستندکه از مقادیر فراوانی جلبک‌های قرمز رنگ مرجانی تشکیل شده‌اند و تخلخل نمونه‌ها بین ۱۵ تا۲۰ درصد است. تصویر سمت چپ شکل ۱، تخلخل moldic و vuggy را نشان می‌دهد. وجود سیمان کلسیتی اسپاریت وتخلخل انحلالی، نشان دهنده بافت‌های دیاژنتیکی است که از نظر خواص مخزنی ماتریکس سنگ دارای اهمیت است. در تصویر سمت راست شکل ۱، پوشش سیاه‌رنگی که اطراف تعدادی از دانه‌های فسیلی بزرگ‌تر مشاهده می‌شود، احتمالاً مواد آلی یا آثار مواد نفتی است که

1. Counter Current Spontaneous Imbibition
2. Scaling
3. Amott Wettability Index
4. Grainstone-Packstone



شکل ۱- مقاطع نازک سنگ آهک آسماری که تخلخل moldic و vuggy را نشان می‌دهند و دارای جلبک های مرجانی وسیمان کلسیتی اسپاریت می‌باشند

دراین قسمت جایگزین کانی پیریت شده است.

داده های سیال و سنگ

طول کلی نمونه‌ها حدود ۱۱٦ cm و قطر آن‌ها، ٦/٤ cm است. از نرمال دکان (nC_{10}) با دانسیته ۰/۷۳ gr/cc و ویسکوزیته ۰/۹۲ cp به‌عنوان فاز نفت و از محلول ۳ درصد وزنی کلرید پتاسیم به‌عنوان آب تزریق و آب همزاد استفاده شده است.

اندازه‌گیری ترشوندگی

به‌منظور دست‌یابی به نوع ترشوندگی، از آزمایش ترشوندگی آموت استفاده شده است. نمونه‌ها پس از رسیدن به اشباع آب اولیه، به مدت ۲ ماه در سلول آموت قرار داده شدند و مقدار نفت تولیدی بر حسب زمان ثبت گردید. سپس نمونه‌ها را در دستگاه سانتریفیوژ قرار داده تا میزان استخراج مایع در فرایند جابجایی اجباری اندازه‌گیری شود. از میزان بازیافت نفت در نقطه انتهایی فرایند آشام خودبه‌خود و جابجایی آب، برای محاسبه شاخص آموت آب استفاده شده است. نتایج حاصل در جدول ۱ ارائه گردیده است. همچنان‌که مشاهده می‌شود، نمونه‌ها، رفتار آب‌دوستی نسبتاً ضعیفی از خود بروز داده‌اند.

آنالیز مغزه‌ها

تعدادی نمونه سنگ مخزن برای آنالیز مغزه‌ها آماده گردید. جدول ۱ خواص فیزیکی آن‌ها را نشان می‌دهد. نمونه‌های یاد شده با قطر ۳/۷ cm و طول ٤-٥ cm توسط متانول وتولوئن تمیز شده سپس در یک کوره کوچک

جدول ۱- خواص فیزیکی و شاخص های آموت اندازه گیری شده سنگ های مورد استفاده

شماره نمونه	نفوذپذیری مطلق (mD)	تخلخل (%)	جابجائی نفت توسط آب		
			نفت بازیافتی در مکانیزم آشام خودبخود V_{sp} (cm^3)	نفت بازیافتی در مکانیزم آشام اجباری V_f (cm^3)	شاخص ترشوندگی آموت
۱	۰/۵	۱۴/۰	۲/۶	۲/۵	۰/۵۱
۲	۰/۸	۱۴/۶	۱/۱	۱/۵	۰/۴۲
۳	۱/۰	۱۵/۸	۱/۵	۱/۰	۰/۶۰

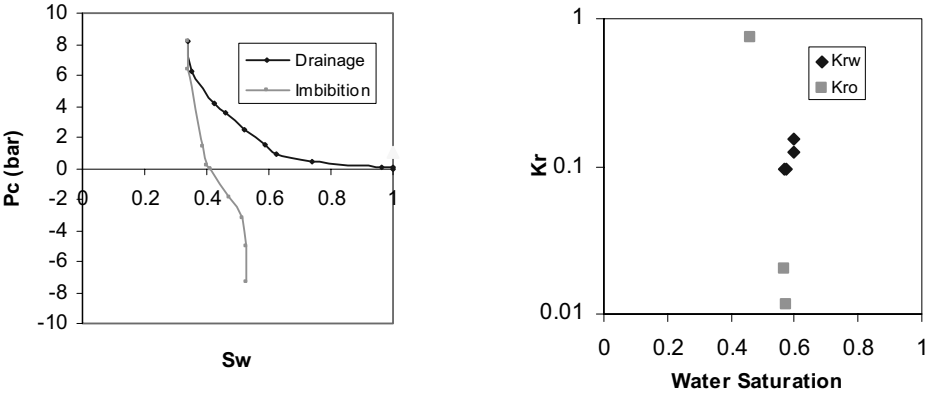
در دمای ۱۲۰°C به مدت ٤٨ ساعت قرار داده شدند. برای اندازه‌گیری تخلخل و نفوذپذیری مطلق، از دستگاه اندازه‌گیری تخلخل و نفوذپذیری مطلق نسبت به هوا در شرایط محیط استفاده شده است.

فشار موئینگی و نفوذپذیری

فشار موئینگی در دو حالت آشام و ریزش با استفاده از روش سانتریفیوژ محاسبه شده است. بدین منظور ابتدا نمونه‌ها با آب نمک اشباع شدند، سپس در حالی‌که توسط فاز غیرترشونده (نرمال دکان) احاطه شده بودند در دستگاه سانتریفیوژ، چرخانده و مقدار حجم آب خروجی در هر دور در دقیقه ثبت گردید. سپس نمونه‌ها از سانتریفیوژ خارج و درون ظرف آب، غوطه‌ور شدند. نمونه‌ها به مدت ۲۰ روز در حالت غوطه‌ور رها شده، پس از این مدت میزان آب جذب شده و نفت حاصل در اثر آشام خود به خود ثبت گردید. بخش مثبت منحنی فشار موئینگی در حالت آشام مدل سازی شد(Hegre 1992) [۷]. به منظور تعیین بخش منفی فشار موئینگی، نمونه‌ها در حالی‌که توسط فاز آب احاطه شده بودند توسط دستگاه سانتریفیوژ در دورهای مختلف چرخانده و مقادیر فشار موئینگی و اشباع در هر مرحله به کمک تکنیک Hassler-Brunner [۸] تعیین و تصحیح شدند. همچنین آزمایش‌های نفوذپذیری نسبی به روش جابجایی غیر یکنواخت در فشار ثابت ۱۵ bar انجام گردید. بدین منظور ابتدا مغزه‌ها به‌طور صد در صد با آب نمک، اشباع شده و تراوایی مطلق نسبت به آب اندازه‌گیری گردید. سپس به نمونه‌ها، معادل ۵-۱۰ برابر حجم فضای متخلخل، نفت تزریق شد تا به اشباع آب اولیه برسند. پس از تثبیت اشباع آب اولیه، جابجایی نفت توسط آب نمک آغاز تا مرحله‌ای که دیگر هیچ‌گونه تولید نفتی وجود نداشته باشد، ادامه یافت. نهایتاً مقادیر تراوایی نسبی با استفاده از روش گرافیکی Jones-Roszel محاسبه شد [۹]. در حالتی که Kro و Krw با هم برابرند، مقدار اشباع آب حدوداً ۰/۵۵ می‌باشد. با توجه به حالت ترشوندگی مغزه‌ها، آب دوست بودن نسبی آن‌ها تایید شده، بنابراین درستی نتایج تست آموت به اثبات می‌رسد. منحنی‌های فشار موئینگی و تراوایی نسبی در شکل ۲ نشان داده شده است.

آزمایشات تزریق آب، نحوه انجام آزمایش‌ها و دستگاه‌های اندازه‌گیری

با توجه به این‌که طول نمونه‌ها زیاد است، دستگاه Soxhlet جهت تمیز نمودن و جمع‌آوری مواد جذب شده بر روی سطح متخلخل مناسب نمی‌باشد. تفاوت نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های تکراری روی یک نمونه، این موضوع را نشان می‌دهد. بنابراین تمیز نمودن نمونه‌ها با استفاده از روش Flushing انجام شده است. بدین منظور، نمونه‌ها را در دستگاه نگهدارنده مغزه قرار داده و فشار ۵۰bar بر آن‌ها اعمال شد. سپس تولوئن و متانول داغ با گرادیان فشار معادل ۰/۸ bar/cm به آن‌ها تزریق گردید. به منظور اطمینان از فرایند تمیزسازی، چندین دفعه عملیات Flushing تکرار شد تا زمانی که هیچ‌گونه تغییر رنگی در حلال‌های شستشو مشاهده نشد. سپس نمونه‌ها به مدت



شکل ۲- نمونه‌هایی از منحنی‌های فشار موئینگی و تراوائی نسبی برای سنگ آهکی آسماری

دو روز در کوره و در دمای ۱۲۰°C قرار داده شدند تا عملیات خشک سازی به‌خوبی انجام پذیرد. سپس آن‌ها را درون دستگاه نگهدارنده مغزه قرار داده و هر دو انتهای سیستم به مدت ۵ ساعت به پمپ خلاء متصل شد. جهت اشباع نمونه‌ها، درون دستگاه نگهدارنده مغزه، نفت تزریق گردید. بعضی از آزمایش‌ها در حضور آب اولیه انجام شد. برای ایجاد آب اولیه از روش تخلیه (در یک آزمایش) یا جابجایی استفاده شد. نحوه انجام تخلیه به شرح زیر می‌باشد:

ابتدا هر نمونه به مدت ۱ یا ۲ روز با آب نمک، کاملاً اشباع شده سپس در دستگاه شیشه[1] ای نگهدارنده مغزه در کوره‌ای با دمای ٦٦ °C قرار داده شدند. هر دو انتهای نگهدارنده مغزه به پمپ خلا با فشار ۵۰ mbar متصل شده بود. با اندازه‌گیری مقدار مایع خروجی از نمونه‌ها، میزان اشباع اندازه‌گیری شده و با وزن کردن نمونه‌ها این مقدار کنترل گردید. پس از ایجاد اشباع آب اولیه، نمونه‌ها را به مدت ۵ ساعت تخلیه نموده و سپس از نفت اشباع شدند. نحوه ایجاد اشباع آب اولیه به روش جابجایی به شرح زیر می‌باشد:

پس از اشباع صد در صد مغزه با آب نمک، به‌منظور رسیدن به اشباع آب اولیه به آن نفت تزریق می‌کنند. ایجاد آب اولیه فرایندی وقت‌گیر است و در آن آب توسط نفت با گرادیان فشاری در حدود ۰/۸ bar/cm جابجا می‌شود. برای یکنواخت کردن منحنی اشباع در نمونه، بعد از زمان میان‌بر جهت تزریق نفت چندین دفعه معکوس می‌گردد. پس از رسیدن به میزان اشباع آب اولیه، آزمایش مورد نظر با قراردادن مغزه مرکب[2] در یک سیلندر شیشه‌ای طویل آغاز می‌شود. لازم به ذکر است که، فضای حلقوی بین ستون مغزه‌ها و جدار شیشه‌ای نیز با نفت پر می‌گردد. شکل ۳، مجموعه به‌کار برده شده برای آزمایش‌های تزریق آب را نشان می‌دهد.

بلوک‌های ماتریکس در یک نگهدارنده مرئی مغزه که از شیشه‌ای با ضخامت ۷ cm ساخته شده است، قرار داده می‌شوند. این نوع از نگهدارنده‌های مغزه، اندازه‌گیری سطح آب – ترک را میسر می‌سازند، به طوری‌که در هر زمان می‌توان میزان جریان فرایند آشام آب در بلوک ماتریکس را تعیین نمود. دو سرپوش نیز در بالا و پایین دستگاه نگهدارنده مغزه، برای تزریق و تولید سیال تعبیه شده است. دهانه ترک که عبارت از فاصله کوچکی بین سطح سنگ و بدنه نگهدارنده مغزه است، بسته به قطر مغزه‌ها، بین ۲/۵ mm تا ۲ متغیر است. سیستم از یک مغزه مرکب شامل سه بلوک استوانه‌ای با قطر ٦/۵ cm تشکیل شده است. طول کل بلوک مرکب از مغزه‌ها، ۱۱٦cm است. تخلخل کل سیستم شامل ترک و ماتریکس ۳۳/۷ درصد و تخلخل ماتریکس ١٤ تا ۱۵ درصد می‌باشد. تمامی حجم فضای خالی ترک که شامل حجم‌های نامرتبط نیز می‌باشد، معادل ٦۵۰cc و کل حجم فضای خالی شامل ترک و ماتریکس برابر۱۳۰۰cc است. برای این‌که مغزه‌ها دقیقا در مرکز قرار داده شوند از پیچ استفاده می‌شود. همچنین یک دسته فاصله دهنده نیز در ته سیستم برای پوشش کامل مغزه و شبیه‌سازی سیستم ترک‌ها قرار داده شده است. در هر آزمایش با به‌کارگیری پمپ دبی ثابت، محلول آب نمک در بخش انتهایی لوله تزریق می‌شود. با ارتباط خروجی به اتمسفر، عملیات تولید در فشار ثابت انجام می‌شود. همچنان‌که آزمایش‌ها در حال انجام است، سطح آب–ترک به قسمت بالایی لوله راه می‌یابد. در خلال آزمایش‌ها میزان جریان دبی ثابت، مقدار جمع آوری شده فاز ترشونده[3] و غیرترشونده و میزان سطح آب–ترک در فضای حلقوی، به صورت تابعی از زمان ثبت گردیدند. جریان‌های با دبی پایین‌تر به آب نمک اجازه می‌دهد که برای مدت زمان بیشتری با ماتریکس تماس داشته باشد. تزریق آب نمک تا زمانی که دیگر نفت تولید نشود، ادامه می‌یابد. سپس برای اطمینان از تعادل اشباع در مغزه‌ها، تزریق متوقف شده و پس از ۲ روز به‌منظور اندازه‌گیری میزان نفت تولیدی، آزمایش از سر گرفته شد. بنابراین هر تست به‌طور تقریبی پس از یک هفته به پایان می‌رسد. پس از انجام هر آزمایش، مغزه‌ها در دستگاه نگهدارنده مغزه قرار داده شده و برای تمیزسازی خلل و فرج و سطح ماتریکس با محلول متانول و تولوئن، شستشوداده می‌شود.

1. Plexiglas
2. Composite Core
3. Brine

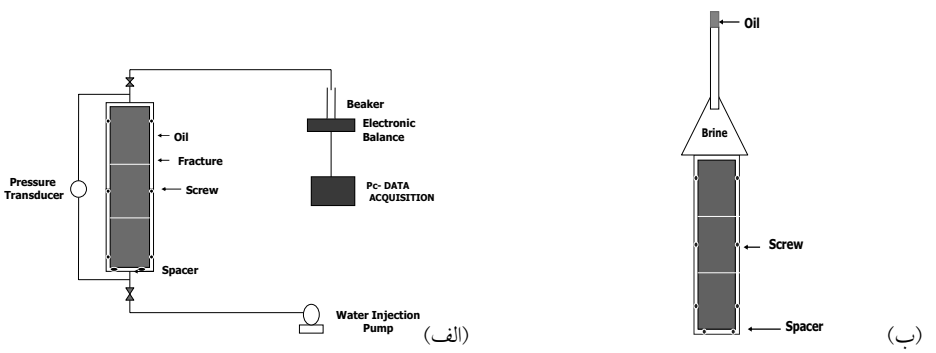
در نهایت مغزه‌ها در کوره خشک و برای اجرای آزمایش بعدی آماده می‌گردند.

در آزمایش غوطه‌ورسازی، مغزه‌های مرکب در لوله شیشه‌ای قرارداده شدند. یک دسته فاصله دهنده در ته لوله شیشه‌ای تعبیه شده و برای حصول اطمینان از پوشش کامل و در مرکز قرار گرفتن مغزه‌ها از تعدادی پیچ در اطراف آن‌ها استفاده می‌شود. نگهدارنده مغزه‌ها توسط یک لوله با قطر گلوگاهی وسیع به سیلندری مدرج متصل گردید. لوله رابط اجازه می‌دهد قطرات نفت تولیدی از سطح فوقانی دستگاه نگهدارنده مغزه به سیلندر مدرج جریان یابد (شکل۳). میزان بازیافت نفت با مشاهده سطح تماس آب – نفت در سیلندر مدرج اندازه‌گیری می‌شود. در آزمایش غوطه‌ورسازی، بعضی از قطرات نفت روی سطوح سنگ شکل گرفته، به تدریج رشد یافته، بالا آمده و پس از این که به اندازه کافی بزرگ شدند از سطح جدا شده، به حرکت می‌آیند و در نهایت به سطح فوقانی سیلندر می رسند.

بحث و نتیجه‌گیری

تاثیر اشباع آب اولیه روی بازیافت نفت برای سیستم بلوک مرکب از مغزه‌هایی با ترشوندگی آب دوست نسبتا" ضعیف سنگ آهک آسماری در شکل ٤ ارائه شده است. برای این سیستم هر دو نوع آزمایش سطح آب بالا رونده[1] و غوطه وری[2] انجام شده است. اشباع آب اولیه ایجاد شده از صفر تا ۲۵ درصد متغیر است، حال آن‌که دبی تزریق آب برای هر سه نوع آزمایش ثابت و معادل ۱ cm^3/min در نظر گرفته شده است. پس از میان‌بر شدن آن، تزریق آب به مدت ۲ روز متوقف شده است. به‌طور تقریبی آزمایش سطح آب بالا رونده به زمان ۷ روز و آزمایش غوطه‌وری به مدت زمان یک ماه نیاز دارد. نتایج، نشان می‌دهد که با افزایش اشباع آب اولیه، میزان دبی نفت بازیافتی افزایش می‌یابد. نکته جالب توجه این‌که زمان القایی با افزایش مقدار اشباع آب اولیه کاهش می‌یابد. زمان لازم برای رسیدن به اشباع نفت باقیمانده همزمان با افزایش اشباع آب اولیه، کاهش یافته و برای اشباع‌های آب اولیه ۰، ١٤و ۲۵ درصد زمان‌های متناظر به‌ترتیب ۹۵۰، ۷۷۳ و ٦۳۰ ساعت می‌باشد. بازیافت نهائی نفت نیز با افزایش اشباع آب اولیه، افزایش می‌یابد. نتایج حاصله با نتایج ارائه شده توسط Firoozabadi، روی سنگ گچ آب دوست نسبتا ضعیف سازگاری دارد.

شکل ۵ نتایج حاصل از بلوک‌های آسماری آب‌دوست نسبتا ضعیف را در دبی‌های متفاوت نشان می‌دهد. برای آزمایش‌های مورد نظر دبی‌های ۰/۵ cm^3/min، ۱ و ۵ انتخاب شده‌اند. در دبی‌های پائین، سطح آب–ترک در مقایسه با آزمایش‌های دیگر، بسیار به کندی افزایش می‌یابد. در زمان‌های اولیه، آب در حال تماس با مرزهای پائین‌تر بلوک قرار داشته و نفت در تماس با سایر مرزها می‌باشد، نتیجه این امر مکانیزم آشام متقابل است. پیشرفت سطح آب در ترک از ثبات نسبی برخوردار است، این مطلب به نوبه خود نشان دهنده آشام کمی از



شکل ۳– شماتیک دستگاه مورد استفاده در این مقاله الف) نوع سطح آب بالارونده ب) نوع غوطه‌ور

1. Rising Water Level
2. Immersion

آب به‌سمت ماتریکس است. سرعت سطح آب در ترک پس از مدت زمانی به‌تدریج کاهش می‌یابد، علت این پدیده را می‌توان این‌گونه بیان نمود که با گذشت زمان در ترک سطح تماس و تبادل بیشتری بین ماتریکس و آب به وجود می‌آید. این امر باعث آشام بیشتری از آب در ماتریکس می‌شود. با افزایش دبی آب تزریقی سرعت حرکت سطح آب در ترک افزایش می‌یابد این امر موجب کاهش زمان تولید نفت پیش از غوطه‌وری کامل در آب می‌گردد. بنابراین میزان بازیافت نفت در زمان میان‌بر با افزایش دبی تزریق کاهش می‌یابد. با افزایش دبی تزریق، قطرات خیلی کوچکی از نفت پیش از تماس آب و نفت بر روی قطرات از سطح سنگ جدا شده وبه خارج از نمونه انتقال خواهند یافت. تعداد این قطره‌ها با افزایش دبی تزریق زیاد شده، در نتیجه بازیافت نفت پس از زمان میان بر افزایش می‌یابد. نکته جالب توجه این‌که حتی در دبی‌های پائین تزریق، فرایند آشام قبل از زمان میان‌بر آب، خیلی قوی نیست (بازیافت کمتر از ۷ درصد برای همه آزمایش‌ها). ولی پس از زمان میان‌بر، بلوک‌ها همه به‌طور کامل غوطه‌ور شده و در یک زمان مشخص حدود ۸ الی ۱۱ درصد از نفت تولید می‌گردد (حدود یک هفته). این مقدار بیش از میزان بازیافت در مرحله اول است. دلیل این پدیده آن است که غوطه‌وری بلوک در آب موجب افزایش سطح تماس بین ماتریکس و آب در ترک می‌گردد. برای هر سه دبی تزریق، بازیافت نهائی نفت به طور تقریبی برابر ۱۷ درصد است. تفاوت‌های اندکی در تغییرات بازیافت نفت نسبت به حجم تزریق در دبی‌های گوناگون مشاهده شده است. اما به دلیل کوچک بودن تاثیر حجم تزریق نمی‌توان در این مورد اظهار نظر قطعی نمود.

نتیجه‌گیری

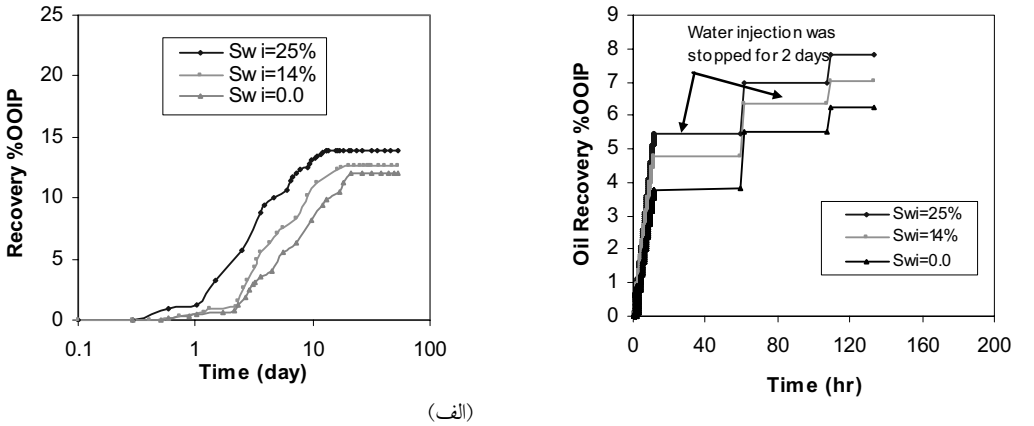
با توجه به آزمایش‌های انجام شده، میزان بازیافت نفت در مخازن آهکی آسماری در طی مکانیزم تزریق آب به دلیل نوع ترشوندگی خاص این‌گونه سنگ‌ها بسیار پائین می‌باشد. نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده مؤید موارد ذیل است:

۱ – در دبی‌های پائین تزریق و در زمان‌های قبل از میان‌بر آب، بلوک سنگ زمان بیشتری برای انجام مکانیزم آشام دارد. لذا میزان بازیافت نفت در زمان میان بر آب و در دبی های پائین، بالاتر است.

۲ – در این نوع خاص سنگ، افزایش دبی تزریق، تاثیر اندکی بر میزان بازیافت نهائی نفت دارد.

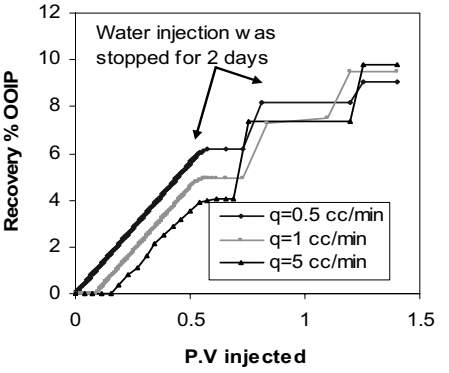
۳ – با افزایش دبی تزریق، زمان میان بر آب زودتر اتفاق می‌افتد و میزان نفت بازیافت شده در هنگام غوطه‌وری افزایش می‌یابد.

٤ – با افزایش میزان اشباع آب اولیه، دبی بازیافت نفت و بازیافت نهائی نفت افزایش می‌یابد. در صورتی‌که زمان القائی خلاف این رفتار را داشته و با افزایش اشباع آب اولیه، زمان فوق کاهش می‌یابد.



(الف) (ب)

شکل ٤– اثر اشباع آب اولیه بر روی بلوک های انباشته از سنگ آهک آسماری، الف) آزمایش روش غوطه وری ب) آزمایش نوع سطح آب بالا رونده



شکل ۵- اثر دبی بر روی تزریق آب و بازیافت نفت

منابع

[1] R. Aguillera. *Naturally fractured reservoirs Petroleum Pub*. Co., Tulsa, 1980, 614pp.

[2] A.M Saidi, *Reservoir Engineering of Fractured Reservoirs* Total 1986. Page 800.

[3] X. Zhou, N.R. Morrow, and S. Ma, *Interrelationship of Wettability, Initial Water Saturation, Aging Time and Oil Recovery by Spontaneous Imbibition and Waterflooding,* SPEJ June 2000, 5(2), 199.

[4] B.G. Viksund, N.R. Morrow, S. Ma, W. Wang, and A. Graue,. *Initial Water Saturation and Oil Recovery from Chalk and Sandstone by Spontaneous Imbibition, Proceedings of 1998 International Symposium of the Society of Core Analysis*, The Hague, Netherlands, Sept. 14-16.

[5] Z. Tong, X. Xie, and N.R. Morrow, *Scaling of Viscosity ratio for Oil Recovery by Imbibition from Mixed-Wet Rocks*, Paper SCA 2001, Edinburgh, UK, September 17-19, 2001.

[6] Guo-Qing Tang and A. *Firoozabadi, Effect of Pressure Gradient and Initial Water Saturation on Water Injection in Water-Wet and Mixed-Wet Fractured Porous Media*, SPE no. 74711.

[7] T.M. Hegre, *Evaluation of Tertiary Flooding in Fractured Chalk Using Numerical Simulation Models*, RUTH 1992-1995 page 125-128.

[8] G.L. Hassler, and E. Brunner, *Measurment of Capillary Pressure in Small Core Samples*, AIME, 1945 Vol. 160, 114-123.

[9] S.C. Jones, and W.O. Roszel, *Graphical Techniques for Determining Relative Permeability from Displacement Experiments*, JPT, pp807-817 May 1978.