Archive of SID

مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
۷ خرداد ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
مجری: اهم اندیشان انرژی کیمیا ۸۸۶۷۱۶۷۶ – ۰۲۱
www.Reservoir.ir

بررسی عوامل موثر بر پدیده آشام خود به خودی در یکی از مخازن نفتی شکافدار طبیعی ایران

عرفان حسینی، کارشناسی ارشد دانشگاه صنعت نفت، e.hosseini19@gmail.com
حسین ایزدی یزدی، شرکت نفت شل، لندن، hossein.i2168@gmail.com
بهرام حبیب نیا، دانشگاه صنعت نفت، B.habibnia@gmail.com
عباس حاج حیدری،کارشناسی ارشد دانشگاه صنعت نفت، a.hajheydari@put.ac.ir

چکیده:
جایگزینی فاز غیر ترشونده توسط فاز ترشونده در یک بلوک پدیده آشام خود به خودی نامیده می شود که در اثر آن فاز ترشونده در داخل یک بلوک افزایش می یابد. از آنجاییکه پدیده آشام خود به خودی یکی از مکانیسم های مهم تولید در مخازن شکافدار می باشد دارای اهمیت است و پارامترهای مختلفی بر این فرآیند تاثیرگذار است. برای بررسی پدیده آشام خود به خودی آزمایش هایی در شرایط مختلف با استفاده از سنگ های مخزن شکافدار در یکی از میادین ایران انجام گردید. در این آزمایشات اثر عوامل مختلف از جمله نوع سنگ، تخلخل و نفوذپذیری مغزه، ابعاد مغزه، درجه حرارت و سنگینی نفت بر روی این پدیده بررسی گردید. نتایج بدست آمده نشان داد که خواص سنگ و سیال مخزن مانند نوع سنگ، ابعاد مغزه، تراوایی و تخلخل مغزه همگی بر مکانیسم آشام خود به خودی تاثیر گذارند. از طرفی پارامترهای عملیاتی مانند دما به عنوان یک پارامتر قابل کنترل بسیار موثر خواهد بود. چنانچه بتوان دمای مخزن را با روش های حرارتی ازدیاد برداشت بالا برد عملکرد این مکانیسم در مخزن شکافدار بسیار بالاتر خواهد رفت و میزان بازیافت نفت بیشتر خواهد گردید.

کلید واژه ها: آشام خود به خودی، مخزن شکافدار طبیعی، ازدیاد برداشت نفت، نفت سنگین، ماسه سنگ، کربناته

www.SID.ir

Archive of SID

۱-اهمیت پدیده آشام خود به خودی

مخازن کربناته حدود ۴۰٪ حجم مخازن نفتی دنیا را شامل می شوند و درخاورمیانه نزدیک به ۶۰٪ نفت در سنگ های کربناته نهفته است و بسیاری از بزرگترین میادین نفتی دنیا در این مجموعه می باشندکه اکثر این میادین شکافدار هستند[۱۰]. دراین نوع مخازن مکانیسم آشام خود به خودی (Spontaneous Imbibition) یک مکانیسم عمده در تولید محسوب می شود. وقتی که ماتریکس توسط یک فاز غیر ترشونده (مثل نفت،گاز) اشباع شده باشد و شبکه شکاف ها از یک فاز ترشونده (مثل آب) پر شده باشد پدیده آشام اتفاق می افتد. نیروهای موئینگی، گرانشی و سرانجام فشار تزریقی سبب ورود فاز ترشونده به داخل ماتریکس می شوند که در نتیجه فاز غیرترشونده در داخل ماتریکس کاهش می یابد. پدیده آشام خود به خودی معمولاً تحت اثر نیروهای موئینگی وگرانشی بررسی می شود. (اگرآب به داخل مخزن تزریق گردد می توان فشارتزریقی را نیز در نظر گرفت). آشام خود به خودی مکانیسم ابتدایی تولید نفت در مخازن شکافدار است و نشأت گرفته از تغییرات شدید در نفوذپذیری میان شکاف ها و ماتریکس است که به آب موجود در شکاف ها کمک می کند تا به داخل ماتریکس وارد شود. معمولاً یکی از دو نیروی گرانشی یا موئینگی در مقایسه با دیگری نیروی غالب خواهد بود و بنابراین نیروی حاکم بر جابجایی یکی از این دو نیرو می باشد. هنگامی که ارتفاع بلوک زیاد است (که در ابتدای فرآیند جابجایی اتفاق می افتد) و یا میزان ترشوندگی سنگ نسبت به فاز ترشونده کم است نیروهای گرانشی نیروهای غالب می باشند. هنگامی که بلوک ها کوچک باشند و یا جبهه جا به جایی به میزان زیادی پیشرفت کرده باشد، و یا اگر میزان تر شوندگی سنگ نسبت به فاز ترشونده زیاد باشد مکانیسم آشام خود به خودی تحت کنترل نیروهای موئینگی می باشد[۱۲ و ۱۴].

باتوجه به این که در مخازن شکافدار طبیعی قسمت عمدهٔ نفت در ماتریکس ها ذخیره می گردد، لذا هدف اصلی ازدیاد برداشت از این نوع مخازن، افزایش تولید بخش ماتریکس می باشد. در اکثر روش های ازدیاد برداشت نفت از مخازن کربناته مانند تزریق آب، بخار و سیالات قابل چگالش دیگر پدیدهٔ آشام حاصل از فشار مویینه باعث تولید مقدار زیادی نفت از ماتریکس می گردد. پدیدهٔ آشام خود به خودی در روشهای ازدیاد برداشت با روش تزریق آب و بخار در مخازنی که نفوذپذیری پایینی دارند نیز نقش اساسی دارد. سرعت آشام خود به خودی تابعی از نفوذپذیری سنگ، ساختار حفرات و ترشوندگی سنگ می باشد. در مخازن شکافدار طبیعی قدرت نیروهای آشام خود به خودی در موفقیت آمیز بودن تزریق آب موثر و کلیدی هستند و چنانچه این نیروها موثر نباشند آب تزریقی به راحتی در درون شکاف ها حرکت کرده و از چاه تزریقی به چاه تولیدی خواهد رسید[۱۴]. در سنگ های با نفوذپذیری کم، نقش نیروهای موئینه در تعیین حرکت سیالات اساسی تر از سایر نیروها می باشد. مطالعات زیادی در مورد پدیدهٔ آشام خود به خودی در سنگ های ماسه ای و گاهاً آهکی انجام گردیده است. اما در مورد سنگ های دولومیتی، مطالعات زیادی انجام نشده است.

۲-پارامترهای اصلی موثر بر مکانیسم آشام خود به خودی در مخازن شکافدار طبیعی

اثرات بسیاری از پارامترهای بحرانی بر روی مکانیسم آشام خود به خودی درگذشته مورد بررسی قرار گرفته است. در شرایط استاتیکی، یعنی هنگامی که هیچ جریانی در شکاف ها نباشد خصوصیات ماتریکس مانند نفوذپذیری و اندازه ماتریکس [۱]، ترشوندگی [۲]، ناهمگنی، شرایط مرزی، خواص سیال مانند چگالی و ترکیب شیمیایی آب [۳]، نیروی کشش بین سطحی [۴] و نسبت گرانروی به عنوان معیارهای بحرانی که بر عملکرد آشام خود به خودی تأثیر دارند، شناخته شده اند. اثر برخی از پارامترها در ادامه بررسی شده است. درادامه به صورت اجمالی به اثر برخی از پارامترها اشاره خواهد شد.

نوع نفت

بدیهی است که فرآیند آشام خود به خودی به طور جدی تحت تأثیرگرانروی نفت ماتریکس است. افزایش گرانروی نفت ماتریکس بطور ذاتی باعث کاهش سرعت آشام خود به خودی می شود که به صورت شبیه سازی عددی [۵] درسال ۱۹۹۸

www.SID.ir

Archive of SID

نشان داده شده است. اگر ماتریکس حاوی نفت سنگین باشد، تنها راه افزایش راندمان آشام خود به خودی کاهش گرانروی نفت ماتریکس است. گرم کردن مخزن بوسیله تزریق بخار و آب گرم پر بازده ترین روش می باشد.

دما

مطالعات تئوریک و آزمایشگاهی در سنگ های ماسه ای نشان داده است که مقدار تجمعی آب ورودی به ماتریکس با فرض ناچیز بودن اختلاف چگالی آب و نفت (سیال نفوذکننده و سیال اشباع کننده) به صورت زیر می باشد [۶]:

$$Q_w = \sqrt[2]{\frac{2P_c K_w \emptyset A_c^2 S_w t}{\mu_w}} \quad \text{رابطه}(1)$$

حجم آب نفوذ کرده $= Q_w$

فشار موئینه $= P_c$

عبورپذیری موثر آب $= K_w$

تخلخل $= \emptyset$

سطح تماس سیال نفوذ کننده با ماتریکس $= A_c$

اشباع آب $= S_w$

ویسکوزیته آب $= \mu_w$

زمان $= t$

افزایش دما بازیافت با آشام خود به خودی را افزایش می دهدکه یکی از دلایل این افزایش انبساط گرمایی نفت است و دیگری اثر دما برخصوصیات سیال-سنگ (مانند تراوایی نسبی و منحنی های فشار موئینگی) است که بر روی بازیافت نفت در پدیده آشام خود به خودی تأثیر مثبت دارند. افزایش بازیافت نهایی با دما بوسیله کاهش کشش سطحی نیز توجیه می شود، کاهش کشش سطحی سبب کاهش نفت تله شده در مخزن می شود. مطالعات نشان دهنده آن است که افزایش دما نه تنها سرعت جذب را بیشتر می کند بلکه بازیافت نهایی را نیز افزایش می دهد. کاهش کشش سطحی بر اثر افزایش دما، نیروهای موئینگی را کاهش می دهد که سبب کاهش سرعت جذب می گردد ولی با وجود این،کاهش ویسکوزیته اثری بزرگتری در مراحل اولیه جذب دارد و سرعت تولید را با دما بالا می برد[۹].

ترشوندگی

پدیده آشام خود به خودی حساسیت زیادی به ترشوندگی سنگ نشان می دهد اگر زاویه تماس زیر ۴۹ درجه باشد یک آشام خود به خودی خود به خود مشاهده می شود. همچنین در زاویه های بین ۴۹ تا ۷۳ آشام خود به خودی محدودی مشاهده خواهد شد و درصورتی که سنگ نفت دوست باشد پدیده آشام خود به خودی تقریباً اتفاق نمی افتد[۱۱].

تخلخل و نفوذپذیری

هر تغییری در تخلخل، نفوذپذیری و توزیع اندازه حفره ها می تواند نیروی موئینگی را تحت تأثیر قرار دهد. نتایج آزمایش های انجام شده بر روی سنگ های ماسه ای نشان داده است که افزایش میزان تخلخل و نفوذپذیری اثر مثبتی بر فرآیند آشام خود به خودی دارد.

اندازه بلوک

در اثر افزایش اندازه بلوک سطح تماس آب و نفت افزایش یافته در نتیجه نیروهای موئینگی موثرترند. ازطرفی با افزایش ارتفاع بلوک اثر نیروهای گرانشی افزایش می یابدکه به فرآیند آشام خود به خودی کمک می کند[۱۳].

www.SID.ir

Archive of SID

اختلاف دانسیته

بررسی نشان می دهدکه افزایش اختلاف دانسیته بین سیال جا شونده و جا به جا کننده به فرآیند آشام خود به خودی کمک می کند.

۳-مراحل آزمایش ها

برای بررسی پدیده آشام خود به خودی درسنگ های میدان مورد نظر در ایران آزمایش هایی در شرایط مختلف انجام گردید. در این آزمایشات اثر عوامل مختلف از جمله نوع سنگ، تخلخل و نفوذپذیری مغزه، اندازه مغزه، درجه حرارت و نوع نفت بر روی این پدیده بررسی گردید. بدین منظور یکسری از آزمایش ها طی مراحل مختلف انجام شده است که در ابتدا نحوه انجام آنها به صورت کامل شرح داده می شود.

آماده سازی مغزه ها

در این بخش، مغزه های مورد نظر در ابعاد لازم برش داده شدند. برش مغزه های مورد نظر، با توجه به احتمال ایجاد شکستگی در آنها با روش تراشکاری انجام گرفت تا حداقل نیروهای برشی و فشاری روی مغزه ها اعمال گردد. سپس به منظور آزمایش با نفت مورد نظر قبل از هر چیز باید نفت اولیه در مغزه های برش داده شده را خارج کرد. برای این منظور مغزه ها با حلال مناسب شستشو داده شدند. دراین آزمایش از حلال تولوئن استفاده شد. برای شستشو دستگاه استخراج جامد -مایع (ساکسوله) بکارگرفته شد. در این آزمایش مغزه ها حدود ۲ الی ۳ بار، با روش ذکر شده شستشو داده شده اند.

مغزه های شسته شده باید به خوبی خشک شوند، بدین منظور ابتدا در حدود یک ساعت در زیر هود قرارگرفتند تا کمی از رطوبت موجود در سطح آنها کاسته شود، سپس به منظور خشک کردن مغزه ها به طورکامل حدود یک الی دو روز (با توجه به اندازه مغزه) در داخل آون با دمای ۲۰۰°C قرار داده شدند تا هیچ گونه حلالی در داخل مغزه ها باقی نماند. باقیماندن حتی مقدار اندکی حلال در داخل مغزه، نفت ورودی به مغزه در مرحله بعد را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه خطا هایی را در آزمایش وارد می کند. اکنون مغزه ها آماده قرارگرفتن در نفت می باشند. قبل از این مرحله باید مغزه ها با دقت کافی وزن شوند تا در مرحلهٔ بعد وزن و حجم نفت موجود درمغزه ها اندازه گرفته شود. بدین منظور از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰،۰۱ گرم استفاده شد.

اشباع کردن مغزه ها

در این مرحله باید مغزه ها به طورکامل از نفت مورد نظر اشباع گردند. بخاطر نفوذ بسیارکند نفت به داخل مغزه ها، کل این مرحله تحت خلاء انجام می شود تا هوای محبوس شده در داخل مغزه ها خارج گردد. دستگاه دراین مرحله شامل یک ظرف در بسته می باشدکه از یک طرف توسط شلنگ های رابط به پمپ خلاء متصل است. ابتدا مغزه های خشک شده در مرحله قبل در داخل محفظه قرار می گیرند و خلاء ظرف صورت می گیرد. سپس نفت از شیر بالای محفظه به داخل ظرف ریخته می شود. ارتفاع نفت در داخل ظرف به میزانی است که به خوبی تمام مغزه ها را پوشش دهد. دراین مرحله در ابتدا با روشن بودن پمپ حباب های هوای خارج شده از مغزه ها که در روی نفت پدیدار می شوند به خوبی قابل مشاهده می باشندکه با کارکرد مداوم پمپ خلاء،کم کم از بین می روند. این مرحله در آزمایش ها حدود ۱۰ الی ۱۵ روز به طول انجامیدکه این زمان وابسته به اندازه، تخلخل و نفوذپذیری سنگ ها و همچنین دانسیته نفت مورد آزمایش می باشد. می توان از این مرحله به عنوان Aging time مغزه اسم برد.

محاسبه میزان نفت وارد شده به مغزه ها

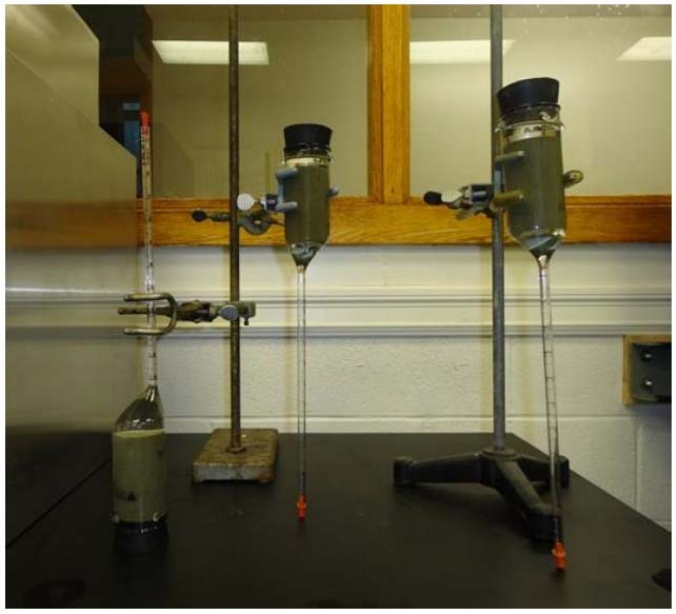
قبل از قرار دادن مغزه ها در داخل آب باید میزان نفت وارد شده به داخل آنها محاسبه گردد. از روی اختلاف بین وزن سنگ حاوی نفت پس از اشباع شدن و وزن سنگ عاری از نفت پس از مرحله خشک کردن می توان جرم نفت ورودی به داخل مغزه ها را محاسبه کرد و از روی دانسیته نفت می توان این میزان را برحسب حجم نفت ورودی بیان کرد.

www.SID.ir

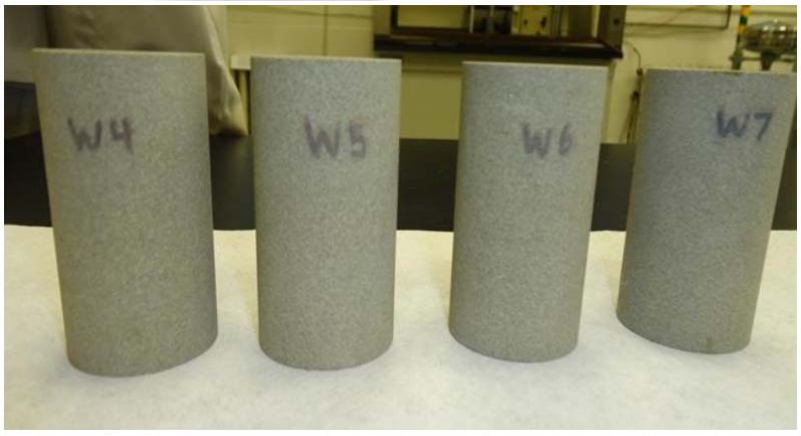
Archive of SID

انجام آزمایش ها

حالا نوبت به آن رسیده که مغزه ها در داخل آب قرار داده شوند. در این آزمایشات تمام سطوح مغزه ها نفوذپذیر می باشند و مغزه ها بطورکامل در آب قرار گرفته اند. در اینجا دستگاه شامل یک محفظه استوانه ای شکل شیشه ای می باشدکه از بالا به یک لوله مدرج متصل شده است. مغزه ها ابتدا در داخل این محفظه به کمک سیم مفتول به صورت عمودی معلق نگه داشته می شوند و سپس آب مقطر را در دمای آزمایش از بالا وارد محفظه می کنیم بطوری که سطح آب در داخل لوله مدرج بالا بیاید. حالا اگر آزمایش در دمایی بالاتر از دمای محیط انجام می شود باید این دما توسط آون در طول آزمایش ثابت نگه داشته شود. شکل های ۱ و ۲ شماتیکی از دستگاه آزمایش و پلاگ های مورد نظر را نشان می دهند.



شکل۱-دستگاه آزمایش پدیده آشام خود به خودی



شکل۲-تصویر پلاگ های مغزه ماسه سنگی

با گذشت زمان کم آب جایگزین نفت شده و نفت از سطوح مختلف سنگ خارج می شود و در صورتی که نفت بتواند بر کشش سطحی بین خود و سنگ غلبه کند وارد فاز آب می شود و به علت چگالی کمتر از آب در سطح بالای آب در لوله مدرج قرار می گیرد از این رو می توان میزان نفت خارج شده در زمان های مختلف را ثبت کرد. در این آزمایشات نهایتاً پس از این که سیستم به حالت پایدار رسید و خروج نفت از داخل مغزه ها متوقف شد با تکان دادن مغزه ها سعی شد تا نفت چسبیده به

www.SID.ir

Archive of SID

سطوح جانبی مغزه ها را جدا کرده و مقدار نهایی را ثبت کرد. با توجه به میزان نهایی نفت خارج شده و همچنین نفت موجود درسنگ در مرحله اشباع سازی، می توان درصد نفت خروجی را توسط پدیده آشام خود به خودی محاسبه کرد.

۴-نتایج آزمایش ها

درمرحلهٔ اول این آزمایش ها، از هشت سنگ مختلف استفاده شدکه چهار تای آنها کربناته و چهار تای دیگر ماسه سنگ بودندکه در دماهای ۲۰ (دمای محیط)، ۴۵ و ۵۵ درجه ی سانتیگراد بررسی شدند. نفت مورد آزمایش نفت متوسط با ۲۰ درجه ی API بود. در مرحلهٔ دوم آزمایش ها، نوع نفت مورد آزمایش تغییر داده شد و با نفت سنگین با ۱۵ درجه ی API آزمایش ها ادامه پیدا کرد. در این مرحله از ۳ مغزه استفاده شد. در جدول۱ لیست تمامی آزمایش های انجام شده به همراه شرایط آزمایش ها و نتایج بدست آمده ارائه گردیده است.

جدول۱-لیست آزمایش های انجام شده، شرایط آزمایش ها و نتایج بدست آمده

شماره	نوع نفت	نوع سنگ	تخلخل سنگ (٪)	نفوذپذیری (md)	طول مغزه (cm)	قطر مغزه (cm)	دما (C°)	ریکاوری (٪)
۱	۲۰	آهک دولومیتی	۱۴	۱,۵	۷,۶	۳,۵	۲۰	۲
۲	۲۰	آهک دولومیتی	۱۸	۲,۵	۷,۶	۲,۵	۴۵	۵
۳	۲۰	آهک دولومیتی	۱۸	۵	۷,۶	۲,۵	۴۵	۱۰
۴	۲۰	آهک دولومیتی	۱۸	۱,۵	۷,۶	۳,۵	۲۰	۶
۵	۲۰	ماسه سنگ	۲۵	۲۲	۴,۲	۲,۷	۵۵	۴۲
۶	۲۰	ماسه سنگ	۲۴	۲۱	۷,۶	۲,۷	۲۰	۲۶
۷	۲۰	ماسه سنگ	۲۶	۲۲	۷,۶	۴,۶	۴۵	۳۳
۸	۲۰	ماسه سنگ	۲۴	۲۱	۵,۳	۲,۷	۵۵	۳۲
۹	۱۵	آهک دولومیتی	۱۴	۳,۵	۷,۶	۲,۴	۲۰	۱,۲
۱۰	۱۵	آهک	۳۰	۳,۵	۷,۶	۲,۴	۵۵	۳
۱۱	۱۵	ماسه سنگ	۲۵	۲۲	۴,۲	۲,۷	۵۵	۴

آزمایش اول

در این آزمایش مغزه ی آهک دولومیتی با قطر ۳,۵ سانتی متر و طول ۷,۶ سانتی متردر دمای محیط مورد بررسی قرار گرفت که در مرحله ی اشباع شدن حدود ۳cc نفت وارد آن شد. با قرار دادن این مغزه در آب در حدود ۶ روز، تنها تغییر قابل ملاحظه درآن حضور نفت به صورت ذرات بسیار ریز (سوزنی شکل) در سطح آن بود، که پس از گذشت یک هفته ۰,۲cc نفت در روی سطح آب جمع شد، اما مقداری از نفت نیز بعلت نیروی کشش سطحی بالا بین نفت و سنگ توانایی جدا شدن از سطح سنگ و ورود به فاز آب را نداشت. با محاسبه این مقدار نفت بعنوان بخشی از نفت خارج شده و تخمین نفت خروجی عدد ۰,۶cc گزارش شد که ۲٪ نفت اولیه مغزه را شامل می شود.

آزمایش دوم و سوم (بررسی اثر تراوایی مطلق مغزه)

www.SID.ir

Archive of SID

در این آزمایش ها بطور همزمان دو مغزه کربناته در دمای ۴۵ درجه سانتیگراد بررسی شدند. پس از گذشت ۱۲ روز از آزمایش، حدود ۰,۰۸cc و ۰,۳۸ccنفت به ترتیب در سطوح مغزه های نمونه ۲ و ۳ ظاهر شد. با توجه به اینکه میزان اولیه نفت در مغزه های نمونه ۲و۳ به ترتیب حدود ۱,۶ccو ۳,۸ccبود، در نتیجه به میزان ۵٪ از نفت داخل مغزه نمونه۲ و ۱۰٪ از نفت داخل مغزه نمونه ۳ بدین روش بازیابی شد. که بیانگر اثر تراوایی مطلق مغزه بر تولید به روش آشام خود به خودی می باشد.

آزمایش چهارم

در آزمایش چهارم، مغزه آهکی با قطر ۳,۵ سانتیمتر و طول ۷,۶ سانتی متر در دمای محیط در داخل آب قرار گرفت که پس از گذشت ۱۱ روز ، ۰,۱۹۵ccاز نفت داخل آن خارج شد که ۶٪ از نفت اولیه داخل مغزه را شامل می شود.

آزمایش پنجم (بررسی اثر نوع سنگ مغزه)

در آزمایش پنجم، مغزه ی ماسه سنگ با قطر ۲,۷ سانتی متر و طول ۴,۲ سانتیمتر در دمای ۵۵ درجه در داخل آب قرار گرفت که پس از ۳ ساعت اولیه آزمایش، نفت بصورت قطرات بسیار ریز شروع به نفوذ به سطح سنگ کرد، این قطرات با گذشت زمان و با نفوذ نفت از لایه های میانی کم کم بزرگتر شدند تا اینکه پس از گذشت ۴ روز ۱,۸cc نفت در روی سطح آب جمع شد، اما مقدار بسیار زیادی نفت خارج شده در روی سطح فوقانی سنگ جمع شده بود که به علت کشش سطحی بالای بین نفت و سنگ توانایی جدا شدن از سطح سنگ و ورود به فاز آب را نداشت. با محاسبه این مقدار نفت به عنوان بخشی از نفت خارج شده و تخمین نفت خروجی عدد۲,۸cc گزارش شد که ۴۲٪ نفت اولیه مغزه را شامل می شود. با بررسی این آزمایش با آزمایش های دوم و سوم می توان اثر نوع سنگ بر روی پدیده آشام خود به خودی را بررسی کرد.

آزمایش های ششم، هفتم و هشتم

در این آزمایشات که از مغزه های ماسه سنگی در دماهای ۲۰، ۴۵ و۵۵ درجه سانتی گراد بررسی شده است که نهایتاً پس از گذشت یک هفته میزان نفت خارج شده در نمونه های ششم، هفتم و هشتم به ترتیب ۱,۳cc، ۱,۹ccو ۱,۷ccبوده است که بنابراین میزان بازیابی در این مغزه ها به ترتیب حدود ۲۶٪، ۳۳٪ و ۳۲٪ می باشد. از آزمایش هشتم به بعد آزمایشات با نفت سنگین ۱۵ درجهAPI ادامه پیدا کرده است.

آزمایش نهم (بررسی اثر سنگینی نفت)

در این آزمایش مغزه آهک دولومیتی با طول ۷,۶ سانتی متر و قطر ۲,۴ سانتیمتر در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد مورد آزمایش قرار گرفت که پس از گذشت ۸ روز، میزان نفت خارج شده حدود ۰,۰۲cc بوده است که ۱,۲٪ از نفت اولیه داخل مغزه را شامل می شود. با مقایسه این آزمایش با آزمایش اول می توان اثر نوع نفت و سنگینی آن را در پدیده مورد نظر ملاحظه کرد.

آزمایش دهم

در این آزمایش، مغزه ی کربنات با تخلخل بالا با طول ۷,۶ سانتی متر و قطر ۲,۴سانتی متر در دمای ۵۵ درجه سانتیگراد مورد آزمایش قرار گرفت که ۰,۵cc از نفت داخل آن در طی ۹ روز خارج شد که ۱,۲٪ از نفت اولیه داخل مغزه را شامل می شود.

آزمایش یازدهم

در مرحله آخر، آزمایش با مغزه ی ماسه سنگ با طول۴,۲ سانتی متر و قطر ۲,۷ سانتی متر در دمای ۵۵ درجه سانتی گراد انجام شد که در نهایت پس از گذشت ۸ روز میزان نفت خارج شده ۰,۱۴ccبوده که ۴٪ نفت اولیه داخل مغزه را شامل می شود.

۵-بحث و نتیجه گیری

www.SID.ir

Archive of SID

باتوجه به نتایج جدول ۱ می توان در مورد اثر دما، سنگینی نفت، نوع سنگ و همچنین تراوایی و تخلخل سنگ بر پدیده آشام خود به خودی نتیجه گیری کرد:

نوع سنگ

با مقایسه نتایج آزمایش های۱، ۲، ۳و۴ با آزمایشات ۵، ۶، ۷ و ۸ می توان نتیجه گرفت که میزان بازیافت نفت درسنگ های ماسه ای بسیار بالاتر از سنگ های کربناته می باشد. علت این اختلاف ناشی از نوع سنگ می باشدکه خودکه ناشی از اندازهٔ حفرات و پیوستگی آنها به هم و در نتیجه تراوایی مطلق سنگ است.

نوع نفت

در این آزمایش ها از۲ نوع نفت متوسط و سنگین استفاده شد. آزمایش های ۵ و ۱۱ اثر نوع نفت را بر میزان بازیافت نفت در یک مغزهٔ ماسه سنگی در شرایط یکسان نشان می دهند.که این میزان به ترتیب برابر۴۲٪ و ۴٪ می باشد. پس هرچه نفت سنگین ترمی گردد نسبت تحرک پذیری دو سیال بیشتر شده و در نتیجه میزان بازیافت از طریق آشام خود به خودی کمتر می گردد. همچنین مکانیسم تولید ناشی از اختلاف چگالی و در نتیجه اختلاف فشار دو سیال کم اهمیت تر می گردد.

دمای آزمایش

طبق معادلهٔ شماره ۱، دما می تواند بر ویسکوزیته آب، تراوایی موثر آن و فشار موئینه نفت و آب در پدیده آشام خود به خودی موثر باشد. در نفت سبک، اثر دما با بررسی و مقایسه آزمایش های شماره ۶ و ۸، که به ترتیب در دمای محیط و ۵۵ درجه سانتی گراد انجام شده است مشاهده می گردد. در دمای محیط میزان بازیافت این نوع نفت ۲۶٪ بود در حالی که با بالا بردن دمای آزمایش تا ۵۵ درجه سانتی گراد حتی با کاهش اندازه بلوک میزان بازیافت نفت به ۳۲٪ رسید. اثر افزایش تولید را می توان به اثر دما بر پارامترهای موثر در معادلهٔ شماره ۱، نسبت داد.

تراوایی مغزه

تراوایی مطلق مغزه پارامتر بسیار مهمی در برآورد میزان بازیافت نفت در پدیده آشام خود به خودی می باشد با مقایسه نتایج آزمایش های ۲ و ۳ می توان این اثر را بررسی کرد. در آزمایش شمارهٔ ۳ که تراوایی مغزه ۵ میلی دارسی می باشد، میزان بازیافت نفت متوسط ۱۰٪ است که با کاهش تراوایی همین نوع مغزه به ۲,۵ میلی دارسی، مقدار بازیافت ۵٪ شده است. این پارامتر به طور مستقیم بر تراوایی موثر آب تأثیرگذار است.

تخلخل مغزه

تخلخل مغزه هم طبق رابطهٔ شمارهٔ ۱ به صورت مستقیم بر مقدار آب ورودی به مغزه ارتباط دارد. آزمایش های۱و۴ این اثر را به طور جزئی نشان می دهند.

۶-نتیجه گیری

نتایج این بررسی نشان می دهد که:

۱. مکانیسم آشام خود به خودی در مخازن ماسه سنگی نسبت به مخازن کربناته به مراتب نقش بیشتری در تولید نفت دارد که این موضوع می تواند به دلیل ساختار سنگ ها و عبور پذیری پایین تر ماتریکس سنگ های کربناته باشد.
۲. دما و روش های حرارتی نقش مهمی در فعال ساختن پدیده آشام خود به خودی دارند. لذا در صورت استفاده از روش های حرارتی ازدیاد برداشت می توان میزان نفت تولیدی را به مراتب بیشتر نمود.
۳. مکانیسم آشام خود به خودی در نفت های سبک موثر تر از نفت های سنگین می باشد.
۴. هر چه میزان تخلخل و تراوایی مطلق مغزه ها بیشتر باشد میزان تولید در اثر پدیده آشام خود به خودی هم بیشتر خواهد بود.

www.SID.ir

Archive of SID

۷-منابع

1. Mattax, C.C., Kyte, J.R., 1962. Imbibition oil recovery from fractured water drives reservoirs. Trans. AIME 225, 177– 184.
2. Babadagli, T., 1997a. Scaling of capillary imbibition under static thermal and dynamic fracture flow conditions. SPE Latin Amer. and Carib. Petr. Eng. Conf. and Exh., Rio de Janeiro, Brazil, Aug. 30– Sept. 3. SPE Paper 39027.
3. Iffly, R., Rousselet, D.C., Vermeulen, J.L., 1972. Fundamental study of imbibition infissured oil fields. SPE Annual Fall Meet, San Antonio, TX, Oct. 8 –11. SPE Paper 4102.
4. Cuiec, L., Bourbiaux, B., Kalaydjian, F., 1994. Oil recovery by imbibition in low-permeability chalk. SPEFE, 200– 208.
5. Briggs, P.J., Beck, D.L., Black, C.J.J., Bissell, R., 1992. Heavy oil from fractured carbonate reservoirs. SPERE 173–179 (May).
6. Josephina Schembre, J. , Akin, S. , Kovscek A. R. " Spontaneous Imbibition in low Permeability media" Internal Report,1998
7. Hazlett, R. D., "Simulation of capillary-dominated displacements in microtomographic images of reservoir rocks" *Trans. Porous Media,* (1995) **20**, 21-35.
8. Radke, C. J., A. R. Kovscek, and H. Wong, "A pore-level scenario for the development of mixed wettability in oil reservoirs," SPE 24880(1992).
9. Li, K. and Firoozabadi, A.: "Experimental study of wettability alteration to preferential gas-wetting in porous media and its effects, "SPE Reservoir Engineering 3(2) (2000).
10. Li, K. and Horne, R.N.: "Characterization of spontaneous water imbibition into gas-saturated rocks,". SPE Journal 6(4) (2001): 375 – 384.
11. Hatiboglu, C.U., Karaaslan, U., and Akin, S.:"Spontaneous imbibition in low permeability Carbonates," Energy Sources, 27 (2005): 839-846.
12. Ma, S., Morrow, N.R and Zhang, X.: "Generalized scaling of spontaneous imbibition data for strongly water-wet systems," Journal of Pet. Sci. and Eng. 18 (1997): 165-178.
13. Mattax, C.C. and Kyte, J.R.: "Imbibition oil recovery from fractured water drive reservoirs, SPE Journal, 1962(June): 177-184.
14. Cuiec, L., Bourbiaux, B. and Kalaydjian, F.: "Oil recovery by imbibition in low-permeability chalk, " SPE Formation Evaluation, 1994(Sept): 200-208.

www.SID.ir