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: هم اندیشان انرژی کیمیا ۸۸۶۷۱۶۷۶ – ۰۲۱
www.Reservoir.ir

بهبود تولید از مخازن گاز میعانی کم تراوا با استفاده از تغییر ترشوندگی به گاز دوست

عرفان حسینی، کارشناسی ارشد دانشگاه صنعت نفت،E.hosseini19@gmail.com
بهرام حبیب نیا، هیئت علمی دانشگاه صنعت نفتB.habibnia@gmail.com

چکیده

در بسیاری از آزمایشات مخازن گاز میعانی، یک افت شدید تولید گاز وجود دارد که در اثر تجمع میعانات در اطراف و ناحیه ی نزدیک چاه می باشد. (چون فشار پایین تر از فشار نقطه ی شبنم قرار می گیرد). پیشرفت در روش تغییرات ترشوندگی به عنوان یک روش موفقیت آمیز و ثابت در آزمایشات می باشد. و به هرحال آزمایشات کمی در سنگ های مخازن واقعی با تراوایی کم انجام شده است. مخازن گاز میعانی نیز بوسیله ی تجمع میعانات در نزدیک دیواره ی چاه با تراوایی پایین دچار آسیب شده اند. در این مقاله، مغزه هایی را با تراوایی حدود ۰,۱ میلی دارسی از مخزن گاز میعانی مورد نظر مورد بررسی و آزمایش شده است. در ابتدا یک ماده ی شیمیایی جدید بکار گرفته شده که ترشوندگی مغزه را از آب دوست به گاز دوست تغییر دهد. پایداری حرارتی این ماده ی شیمیایی در حدود ۱۷۰ درجه ی سانتی گراد می باشد. نتایج آزمایشات همچنین نشان داده اند که این ماده ی شیمیایی در آب های خیلی شور نیز کاربرد دارد. سپس آزمایش آشام آب خود به خودی انجام شده است تا تاثیر تغییر ترشوندگی را بر روی ریکاوری مشاهده کنند. در مرحله ی سوم اطلاعات تراوایی نسبی آب و گاز را قبل و بعد از تغییر ترشوندگی با همدیگر اندازه گیری و مقایسه کرده اند. نتایج آزمایشگاهی نشان داده اند که تراوایی نسبی فاز های آب و گاز با تغییر ترشوندگی به گاز (گاز دوست کردن سنگ) افزایش پیدا کرده اند. اشباع آب باقیمانده کاهش پیدا کرده و تولید گاز نیز در اثر این تغییر ترشوندگی افزایش پیدا کرده است.

کلیدواژه ها: مخازن گاز میعانی، نقطه ی شبنم، تغییرات ترشوندگی، آب دوست، آشام آب خود به خودی

مقدمه

مخزن گاز میعانی مورد نظر در چین واقع شده است و این مخزن دارای تراوایی خیلی پایین در حدود ۰,۱ میلی دارسی و حداکثر دمای آن ۱۶۰ درجه ی سانتیگراد می باشد (۱). تولید گاز به دلیل تراوایی پایین و تجمع میعانات در نزدیکی دیواره چاه پایین است. انواع مختلف آزمایشات در مخزن گاز میعانی مورد نظر انجام شده است که به هرحال تولید گاز افزایش پیدا نکرده است (۱). کاهش فشار ته چاهی به عنوان یک عامل معمول برای افزایش تولید از مخازن نفت و گاز به شمار می رود که در بعضی شرایط ممکن است که این روش یک تکنیک موثر در مخازن گاز میعانی نباشد (۹). تولید گاز در بسیاری از مخازن گاز میعانی با تراوایی پایین ممکن است دچار افت شود که به دلیل کاهش فشار به زیر نقطه ی شبنم در نزدیک دیواره ی چاه می باشد. نمونه های مشاهده شده نشان داده اند که این تجمع میعانات می تواند باعث قطع تولید گاز از چاه شوند و گزارش شده است که حتی برای گاز خشک با تجمع میعانی کم، اشباع مایع میعانی نسبی می تواند در ناحیه ی نزدیک چاه به وجود آید وقتی حجم زیادی از گاز به سمت چاه حرکت کند (۱و۲). تغییر ترشوندگی (به گاز دوست) بعنوان یک عامل امید بخش از نظر تئوری و آزمایشگاهی شناخته شده است. لی و فیروز آبادی تراوایی نسبی مایع و گاز را در مخازن گاز میعانی را در یک

www.SID.ir

Archive of SID

شبکه ی ساده مدلسازی کردند و نتایج آزمایشات آنها نشان داد که یک تغییر ترشوندگی مایع به گاز در محیط متخلخل سبب افزایش تولید گاز می شود (۵و۶و۷). نتایج نشان داده است که بسیاری از سنگ ها در مخازن گاز میعانی حالت مایع دوست دارند و بعدها لی و فیروزآبادی نشان دادند آزمایشاتی را که ترشوندگی سنگها می تواند از حالت خیلی مایع دوست (نفت دوست یا آب دوست) به گاز دوست ترجیحی در سیستم گاز-مایع-سنگ تغییر داده شود و آنها همچنین گزارش کردند که ریکاوری نفت و تراوایی نسبی فاز گاز در اشباع نفت خود به خودی در سیستم گاز-نفت-سنگ می تواند به وسیله ی تغییر ترشوندگی به گاز دوست بودن ترجیحی، افزایش پیدا کند (۵و۶و۷). به هر حال آزمایشات کمی انجام شده اند که با استفاده از نمونه های واقعی سنگ های مخزن با تراوایی پایین، ترشوندگی را به گاز دوست بودن تغییر دهند. مخازن گاز میعانی به وسیله ی مایع میعانی برگشتی دچار آسیب شده اند که معمولاً دارای تراوایی پایین هستند (۵و۴و۳). مخزن گاز میعانی مورد نظر با تراوایی کمتر از ۰,۱ میلی دارسی در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. تغییرات ترشوندگی در سیستم نفت-آب-سنگ بطور گسترده مورد بررسی شده است که این مطالعه بر روی تغییر ترشوندگی در سیستم گاز-آب (نفت)-سنگ متمرکز شده است تا سیستم نفت-آب-سنگ (۴و۳و۲). آزمایشات نمونه های مغزه را از مخزن گاز میعانی با تراوایی در حدود ۰,۱ میلی دارسی مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش آشام آب خود به خودی انجام شده است تا تاثیر تغییر ترشوندگی را بر روی ریکاوری مشاهده کنند. داده های تراوایی نسبی قبل و بعد از تغییر ترشوندگی به گاز دوست اندازه گیری شده و با هم مقایسه شده اند. در پایان آزمایشات، نتایج قبل و بعد از تغییر ترشوندگی از آبدوست به گاز دوست با هم مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است (۴و۳و۲).

شرح آزمایش

چهار پلاگ مغزه با قطر برابر در حدود ۳,۷ سانتیمتر از مغزه مخزن گاز میعانی تهیه شده است که تخلخل در حدود ۹٪ و محدوده تراوایی در حدود ۰,۰۹۶-۰,۰۵۴ میلی دارسی است (۵و۶و۷). تغییرات تراوایی و تخلخل و اندازه ۴ پلاگ مغزه در جدول ۱ آورده شده است (۵و۶و۷). دستگاه های آزمایشگاهی استفاده شده برای تست های آشام آب خود به خودی مشابه با دستگاه های استفاده شده توسط لی و هورن بوده است. یک تصویر شماتیک از دستگاه در شکل ۱ آورده شده است (۵و۶و۷). همچنین در شکل ۱ نشان داده شده است که عکس مغزه نمونه (1) است. آزمایشات اشباع آب خود به خودی قبل و بعد از استفاده از مواد شیمیایی تغییر دهنده ی ترشوندگی از آب دوست به گاز دوست در نمونه ی مغزه ی 1، انجام شده اند. از هوا به عنوان فاز گازی و از آب شور به عنوان فاز مایع استفاده شده است و آب شور با استفاده از ترکیباتی از آب سازندی ساخته شده بود (۵و۶و۷). شوری آب شور در حدود 7000mg/lit بود. و سنگ با محلول های شیمیایی اشباع شده بود و آماده ی تغییرات ترشوندگی بود. زمان گرفته شده نیز در حدود ۸ ساعت بود که سنگ بعد از اشباع با محلول های شیمیایی، تخلیه شد و سپس به منظور حذف مایعات شیمیایی اضافی، خشک شد (۵و۶و۷). مقدار خیلی کمی از ماده ی شیمیایی بر روی سطح سنگ باقیمانده بود. انرژی سطحی کاهش پیدا کرده بود و سطح جامد به گاز دوست بودن ترجیحی، تغییر پیدا کرده بود که بعنوان نتیجه ای از جذب سطحی بود (۵و۶و۷). آشام آب خود به خودی و اشباع از هوا کردن سنگ قبل از استفاده از ماده ی شیمیایی انجام شده بود و همان آزمایشات بعد از اینکه سنگ به وسیله ی محلول های شیمیایی برای تغییر ترشوندگی از آب دوست به گاز دوست مورد عمل قرار گرفت، تکرار شد. شماتیکی از دستگاه اندازه گیری تراوایی نسبی آب-گاز در شکل ۲

www.SID.ir

Archive of SID

آورده شده است (۵و۶و۷). قبلاً اندازه گیری تراوایی نسبی آب-گاز در سنگ های با تراوایی کمتر از ۰,۱ میلی دارسی یک چالش و مشکل بوده است. مشکل اصلی این بود که دستگاه از فضاهای بسته ی مغزه (dead volume) برای اندازه گیری تراوایی نسبی استفاده کرده بود که حدوداً از فضاهای خالی نمونه ی مغزه بزرگتر بود. به همین خاطر تلاش شد تا دستگاه جدیدی طراحی شود (شبیه شکل۲) که تراوایی نسبی آب-گاز را (با توجه به اینکه دستگاه، فضاهای بسته مغزه را به عنوان فضاهای کوچک در نظر بگیرد) محاسبه کند. در این مطالعه، تراوایی های نسبی آب-گاز در حالت نزدیک به ناپایدار اندازه گیری شده اند و آن هم به خاطر تراوایی پایین سنگ است. قبل از استفاده از ماده ی شیمیایی، سنگ با آب شور با شوری 7000ppm اولیه و تراوایی مطلق آن اندازه گیری شده بود (۵و۶و۷). سپس آب شور به وسیله ی گاز نیتروژن جابجا شده بود. مقدار گاز و آب تولیدی نسبت به زمان ثبت شده بود. فشار هم تا زمانی که هیچ آبی دیگر خارج نمی شود، در ورودی و خروجی مغزه اندازه گیری شده بود. بعد از اندازه گیری تراوایی نسبی آب-گاز (بدون استفاده از ماده ی شیمیایی)، مغزه پاک و خشک شد و همان آزمایشات بعد از اینکه از ماده ی شیمیایی برای تغییر ترشوندگی استفاده شد، انجام شدند. تراوایی های نسبی آب و گاز با استفاده از روش JBN محاسبه شده اند (۵و۶و۷).

نتایج آزمایش

در این مطالعه، آزمایشات آشام آب خود به خودی و رانش گاز، قبل و بعد از استفاده از ماده ی شیمیایی انجام شده است. تراوایی های نسبی آب و گاز بوسیله ی رانش گاز در سنگ با استفاده از اندازه گیری اطلاعات آزمایشی قبل و بعد از تغییر ترشوندگی محاسبه شده اند و تغییر ترشوندگی با استفاده از یک ماده ی شیمیایی جدید، تشخیص داده شده است. و نتایج آزمایشگاهی تراوایی نسبی، تولید و ریکاوری در این بخش مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. ماده ی شیمیایی مورد استفاده ی لی و فیروزآبادی برای تغییر ترشوندگی سنگ از آبدوست به گازدوست خیلی گران قیمت و برای کارهای آزمایشگاهی صرفه ی اقتصادی ندارد با این هدف، ترکیبات شیمیایی را بررسی و یک ترکیب شیمیایی استفاده شده است (۵و۶و۷و۸). این ترکیب (WA12) در حدود ۲۰ برابر ارزان تر از ترکیب لی و فیروزآبادی بود و ممکن است که این ترکیب شیمیایی در مطالعات آزمایشگاهی مورد استفاده گسترده قرار گیرد (۵و۶و۷). آزمایشات اشباع آب خودبخودی در دمای اتاق انجام شده است تا ترکیبات شیمیایی جدید بتوانند ترشوندگی سنگ با تراوایی پایین را از حالت آب دوست به گاز دوست تغییر دهند. نتایج آشام خود به خودی آب، قبل و بعد از استفاده از ماده ی شیمیایی در شکل ۳ نشان داده شده است (۵و۶و۷). یکی از آن ها را که در شکل ۳ می بینید، ریکاوری نهایی آن در سنگ مخزن با آشام خود به خودی آب و بدون استفاده از ماده ی شیمیایی در حدود0.597 است که بعد از استفاده از ماده ی شیمیایی، مقدار آب آشام شده توسط سنگ مخزن در حدود صفر است (۵و۶و۷). توضیحات مختصری در ادامه می آید. فقط دو نوع نیروی گرانروی و مویینه وجود دارند که حاکم بر آشام آب خودبخودی اند که در شکل ۱ نشان داده شده است (۵و۶و۷). در این مورد، فشار مویینگی بعنوان نیروی رانش عمل می کند درحالی که نیروی گرانروی بعنوان نیروی مقاومت کننده عمل می کند. نیروی گرانروی نمی تواند در حین آشام خود به خودی آب (با استفاده و بدون استفاده از ماده ی شیمیایی) تغییر کند. بنابراین تنها تغییر فشار مویینگی است که باعث کاهش میزان ریکاوری به وسیله ی آشام خود به خودی آب می شود و در شکل ۳ آورده شده است. یک رابطه ی ساده از فشار مویینگی در زیر آورده شده است:

www.SID.ir

Archive of SID

$$P_c = \frac{\sigma \cos \theta_p}{\sqrt{\frac{K}{\emptyset}}} \qquad (1)$$

که در آن K و Ø تراوایی و تخلخل و σ کشش سطحی و θ_p زاویه تماس است. در این تغییرات و آزمایشات نتیجه گرفتند که کشش سطحی و تراوایی و تخلخل با استفاده از ماده ی شیمیایی تغییر دهنده ی ترشوندگی، دچار تغییر نمی شوند. بر اساس تجزیه و تحلیل های بالا و بر اساس رابطه ی ۱، تغییر در ترشوندگی به وسیله ی تغییر زاویه ی تماس است که سبب کاهش در ریکاوری بوسیله ی آشام خودبخودی آب می شود و در شکل ۳ آمده است (۵و۶و۷).

بنابراین نتایج نشان داده شده در شکل ۳ ثابت کرد که ترکیب جدید ماده ی شیمیایی می تواند ترشوندگی سنگ مخزن مورد نظر با تراوایی پایین را از آب دوست به گاز دوست تغییر دهد (۵و۶و۷). به منظور اطمینان بیشتر برای تغییر ترشوندگی به وسیله ی ماده ی شیمیایی، یک قطره ی کوچک آب بعد از استفاده از ماده ی شیمیایی در مغزه، در بالای مغزه مطابق شکل ۴ قرار گرفت (۵و۶و۷). آب توسط سنگ آشام نشد و بجای آن، زاویه ی تماس قطره افزایش یافت و زاویه ی اندازه گیری شده برای قطره ی آب در حدود ۱۲۱ درجه بود که مقدار اندازه گیری زاویه ی تماس بیشتر از ۹۰ درجه است که ثابت می کند که تراوایی سنگ با ۰،۰۹۳ میلی دارسی از حالت آب دوست به گاز دوست تغییر یافته است (۵و۶و۷). (با استفاده از ماده ی شیمیایی) که در شکل ۵ نشان داده شده است که یک قطره ی نفت در بالای سنگ قرار گرفته است و نفت به وسیله ی سنگ با تراوایی پایین آشام نمی شود. زاویه ی تماس اندازه گیری شده برای نفت در حدود ۱۰۶ درجه است و این مقدار به وسیله ی لی و فیروزآبادی در سیستم نفت-گاز-سنگ، بدست آمده بود (۵و۶و۷). در شکل ۵ مشاهده کنید که نفت در بالای سنگ قرار دارد. پایداری حرارتی ترکیبات شیمیایی در این آزمایش خیلی مهم است، چون که مخزن گاز میعانی مورد نظر دارای دمایی در حدود ۱۶۰ درجه ی سانتی گراد می باشد (۲و۳و۴). برای مطابقت های لازم با مخزن، پایداری ترکیبات شیمیایی بررسی و مشخص شده و رویه ی آزمایشات و نتایج آن شرح داده شده است. محلول (۱۰۰ میلی لیتر) با (WA12) در یک سیلندر استیلی ضدزنگ پر شده بود و فشارش به وسیله ی نیتروژن نگه داشته شده بود (5MPa) (که این فشار بیشتر از فشار اشباع محلول در دمای ۱۷۰ درجه ی سانتیگراد است) و سپس سیلندر با محلول محصور شده بود و در یک آون بود که دمای آن بالا می رفت و تا ۱۷۰ درجه ی سانتی گراد بالا می رفت (۲و۳و۴). مشابه آزمایشات اشباع آب خود به خودی است و همان طور که در شکل ۳ آورده شده است این کار تکرار شد با استفاده از محلول شیمیایی در سیلندر بعد از ۴۸ ساعت و در دمای ۱۷۰ درجه ی سانتی گراد و نتایج آزمایشات ثابت کردند که محلول شیمیایی هنوز می تواند نمونه ی مغزه با تراوایی پایین را تغییر ترشوندگی دهد و این شواهد نشانگر پایداری حرارتی ماده ی شیمیایی مورد نظر است (۲و۳و۴). شکل ۶ مقدار تراوایی نسبی آب و گاز را در حالت های قبل و بعد از استفاده از ماده ی شیمیایی برای نمونه ی 2 نشان می دهد (که در حالت ناپایدار است) (۲و۳و۴). هر دو تراوایی های نسبی آب و گاز افزایش یافته است بعد از اینکه ترشوندگی از آب به گاز تغییر یافته است. اشباع آب کاهش نیافتنی بوسیله ی رانش گاز از ۴۲٪ به ۲۶٪ کاهش یافته و تراوایی نسبی فاز گاز در اشباع آب باقیمانده در دو زمان افزایش یافته است چون که ترشوندگی از آب به گاز تغییر یافته است و ریکاوری نهایی از 0.597 به 0.765 افزایش یافته است و مقدار اشباع آب باقیمانده، تراوایی نسبی فاز گاز و ریکاوری بوسیله ی رانش گاز قبل و بعد از تغییر ترشوندگی در

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲ آورده شده است (۲و۳و۴). داده های آزمایشگاهی تغییرات تراوایی های نسبی فاز گاز به نفت، قبل و بعد از تغییرات ترشوندگی در شکل ۷ آورده شده است (۲و۳و۴). شکل ۸، مقدار ریکاوری را بوسیله ی رانش گاز را قبل و بعد از تغییر ترشوندگی به وسیله ی ماده ی شیمیایی نشان می دهد. بعد از تغییر ترشوندگی، مقدار ریکاوری بوسیله ی رانش گاز افزایش یافته است. مقدار ریکاوری نهایی بوسیله ی رانش گاز، قبل و بعد از تغییر ترشوندگی در جدول ۲ آمده است. مقدار ریکاوری نهایی بوسیله ی رانش گاز بعد از تغییر ترشوندگی به مقدار ۱۷٪ افزایش پیدا کرده است و بهره وری چاه در مخازن گاز میعانی وابسته به مقدار بهره وری گاز و آب است (۲و۳و۴). شکل ۸ افزایش مهمی را در بهره وری از آب به وسیله ی تغییرات ترشوندگی از آب دوست به گاز دوست نشان می دهد. تغییرات در بهره وری از گاز در شکل ۹ نشان داده شده است (۲و۳و۴). از این شکل می توانیم ببینیم که بهره وری گاز در سنگهای مخزن با تراوایی پایین بعد از تغییر ترشوندگی از آب دوست به گاز دوست افزایش یافته است. شکل ۱۰ نشان می دهد مقایسه ی دبی تولیدی گاز در سنگ را قبل و بعد از ترشوندگی، که دبی تولید گاز بعد از تغییرات ترشوندگی از آب دوست به گاز دوست افزایش یافته است. در خلاصه ی مطالب بالا، نتایج آزمایشگاهی نشان داده در بالا ثابت می کند که تغییر ترشوندگی از آب دوست به گاز دوست بر روی تراوایی نسبی آب-گاز، تولید گاز و بازیابی خیلی مهم و موثر است (حتی در سنگ های با تراوایی پایین در حدود ۰,۱ میلی دارسی) (۵و۶و۷). بنابراین یک کارشناس می تواند با تغییرات ترشوندگی از آب دوست به گاز دوست، مقدار بازیابی گاز را در مخازن گاز میعانی افزایش دهد.

نتیجه گیری

نتایج زیر ممکن است بعد از آزمایش انجام گرفته در بالا به شرح ذیل آورده شود:

۱-یک ترکیب شیمیایی جدید پیدا شده است که ترشوندگی را در سنگ های با تراوایی پایین از جزئی آب دوست به گاز دوست تغییر دهد.

۲-پایداری حرارتی ماده ی مورد نظر در حدود ۱۷۰ درجه ی سانتی گراد و همچنین در یک شوری پایدار 70000ppm قرار دارد.

۳-مقدار تراوایی های نسبی آب و گاز به عنوان افزایش در ریکاوری افزایش پیدا می کند وقتی ترشوندگی از آب دوست به گاز دوست تغییر پیدا کند.

۴-اشباع آب باقیمانده با استفاده از رانش گاز از ۴۲٪ به ۲۶٪ کاهش پیدا کرده است. (بعد از تغییر ترشوندگی به گاز دوست).

۵-احتمال دارد که از این ترکیب شیمیایی در کاربرد های میدانی و آزمایشگاهی استفاده شود چون که هزینه ی پایین و پایداری حرارتی و دیگر مزیت ها را دارد.

منابع

www.SID.ir

Archive of SID

1. D. E. Torres, SPE, M. M. Sharma. SPE. G. A. Pope, SPE, M. Alimadi, SPE, C. A. McCulley, SPE, H. Linnemeyer, and S. Gilani, SPE, "A Novel Chemical Treatment to Enhance Well Productivity in Volatile Oil Reservoirs" Paper SPE 188124 presented at Canadian Unconventional Resources & International Petroleum Conference held in Calgary. Alberta. Canada. 19-21 October 2010.
2. Allen, F . H. and Roe, R.P.: "Performance Characteristics" of a Volumetric Condensate Reservoir,"Petroleum Transactions, AIME (1950), 189, 83-90.
3. Engineer, R.: "Cal Canal Field California: Case History of a Tight and Abnormally Pressure Gas Condensate Reservoir," paper SPE 13650, presented at the 1985 California Regional Meeting, Bakersfield, California, March 27-29.
4. Bamum, R.S., Brinkman, F.P., Richardson, T.W., and Spillete, A.G.: "Gas Condensate Reservoir Behavior: Productivity and Recovery Reduction Due to Condensation," paper SPE 30767, presented at the 1995 Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, TX, Oct. 22-25
5. Boom. W., Wit. K., Zeelenberg, J. P. W., Weeda. H. C., and Maas, J. G.: "On the Use of Model Experiments for Assessing Improved Gas-Condensate Mobility under Near-Wellbore Flow Conditions," paper SPE 36714 presented at the 1996 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, Colorado. Oct. 6-9.
6. Li, K., and Firoozabadi. A.: "Modeling Gas-Condensate Relative Permeabilities and the Effect of Wettability Change to Gas Wetness," *SPEJ*(June 2000). 138-147.
7. Li, K. and Firoozabadi, A.: "Experimental Study of Wettability Alteration to Preferential Gas-Wetness in Porous Media and its Effect," *SPEREE* (April 2000). 139-149.
8. Buckley. S. E. and Leverett. M. C.: "Mechanism of Fluid Displacement in Sands," Petroleum Transactions, *AIME* (1942), **146,** 187-196.
9. Monis, E. E. and Wieland. D. R.: "A Microscopic Study of the Effect of Variable Wettability Conditions on Immiscible Fluid Displacement," paper SPE 704. presented at the 1963 Annual Technical Conference and Exhibition. New Orleans, Oct. 6-9.

جدول ۱-ویژگی های نمونه های سنگ (۵و۶و۷)

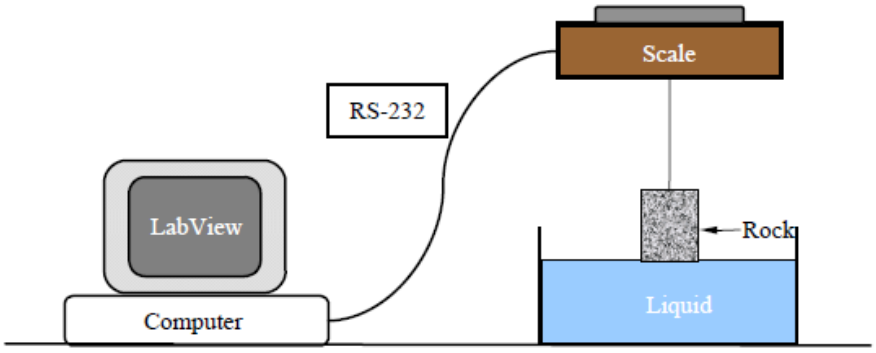
شماره	طول(cm)	قطر(cm)	تخلخل(٪)	تراوایی(md)
۱	4.058	3.665	8.62	0.093
۲	5.084	3.706	9.9	0.096
۳	5.062	3.702	8.9	0.088
۴	5.056	3.703	8.30	0.054

جدول۲-مقایسه ویژه گی ها قبل و بعد از تغییر ترشوندگی در نمونه شماره ۲ (۵و۶و۷)

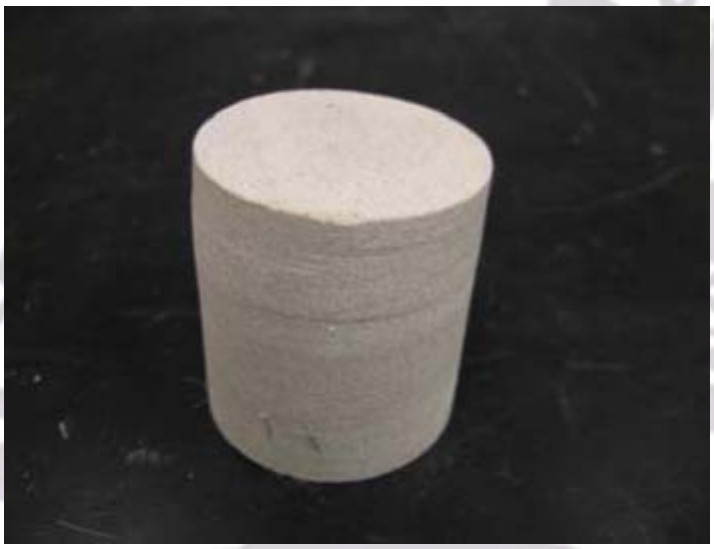
	اشباع آب باقیمانده (٪)	تراوایی نسبی گاز	ریکاوری
قبل از تغییر ترشوندگی	۴۲,۳۸	۰,۲۱۷	۰,۵۹۷
بعد از تغییر ترشوندگی	۲۶,۷۷	۰,۳۶۶	۰,۷۶۵

www.SID.ir

Archive of SID

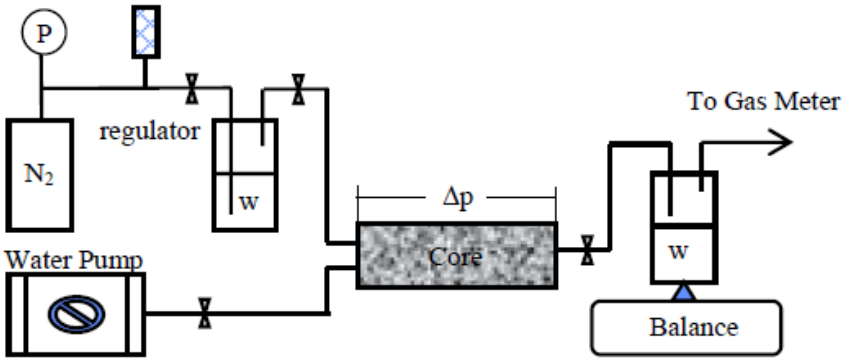


الف)وسیله آزمایش



ب) سنگ

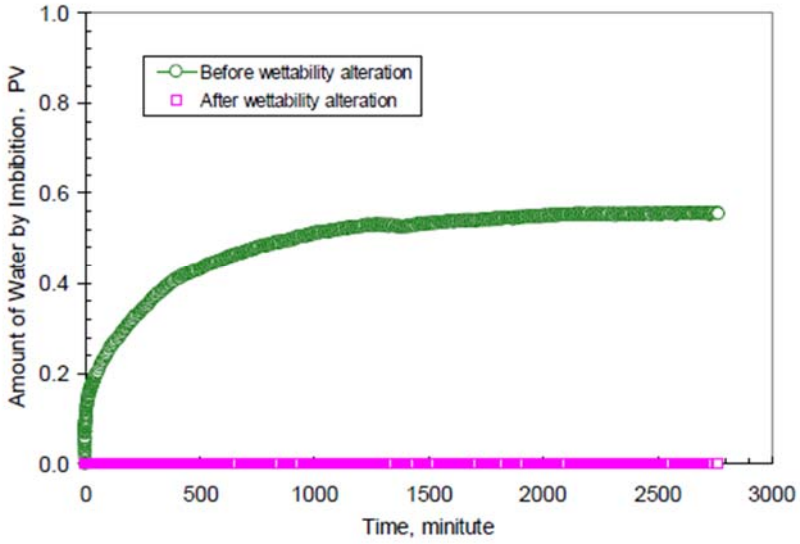
شکل۱-تصویر ی شماتیکی از وسیله آزمایش و سنگ برای آزمایش آشام خود به خودی (۵و۶و۷)



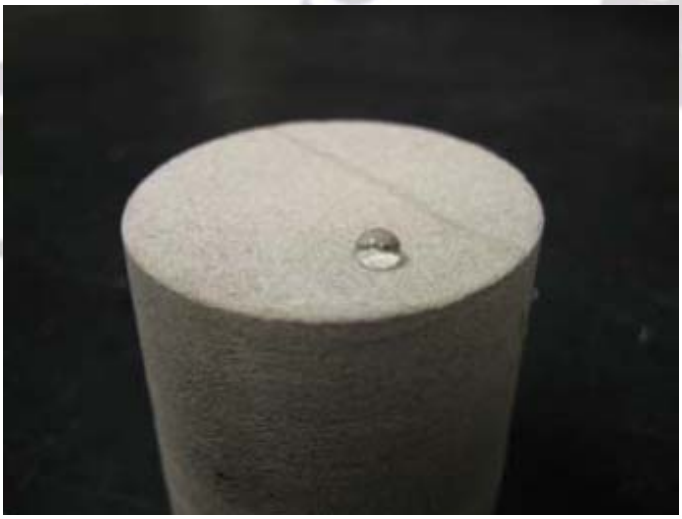
www.SID.ir

Archive of SID

شکل۲-تصویر شماتیکی از دستگاه آزمایش برای اندازه گیری تراوایی نسبی گاز-آب (۵و۶و۷)



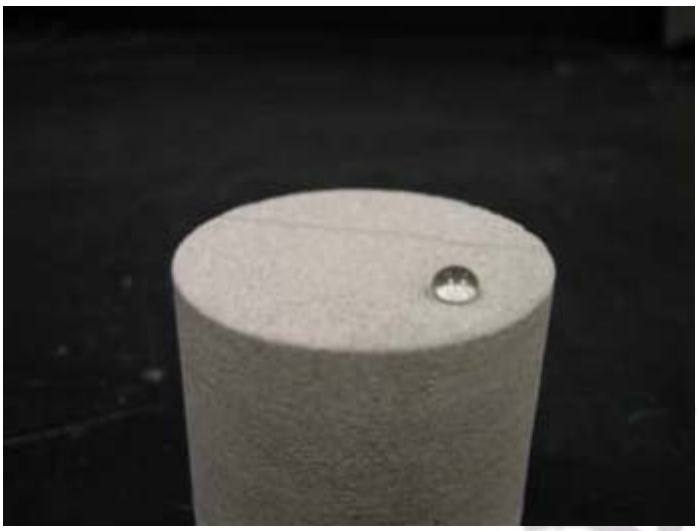
شکل۳-ریکاوری آب بوسیله ی آشام آب خود به خودی قبل و بعد از تغییر ترشوندگی (۵و۶و۷)



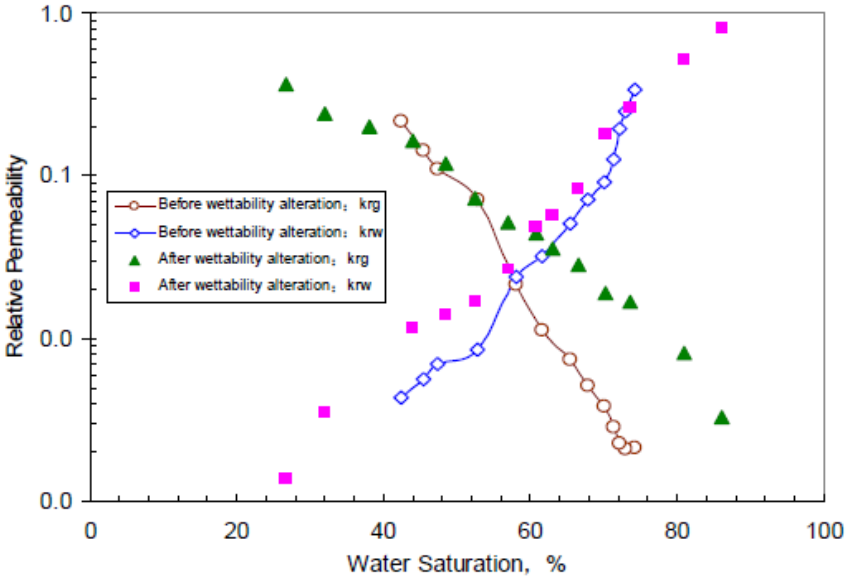
شکل۴-آب بر روی سنگ بعد از تغییرات ترشوندگی بوسیله ی مواد شیمیایی (۵و۶و۷)

www.SID.ir

Archive of SID



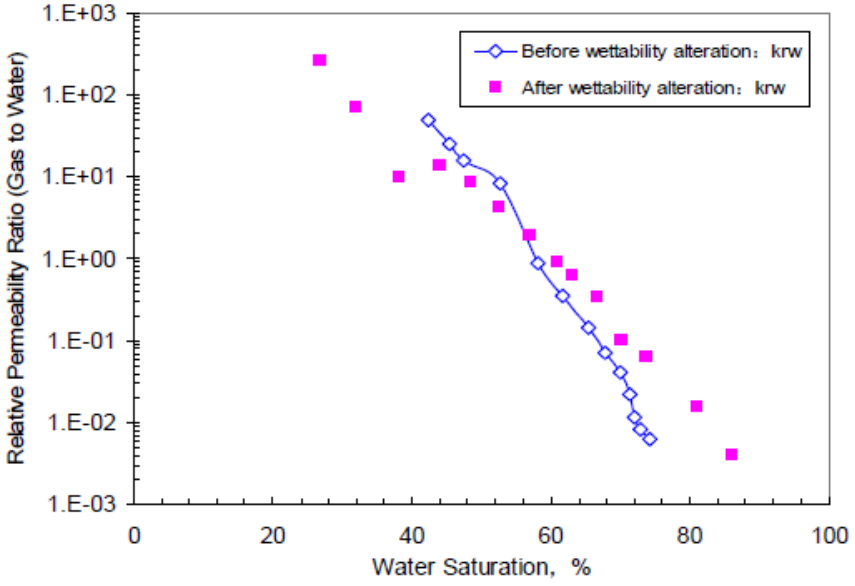
شکل۵-نفت بر روی سنگ بعد از تغییرات ترشوندگی بوسیله ی مواد شیمیایی (۵و۶و۷)



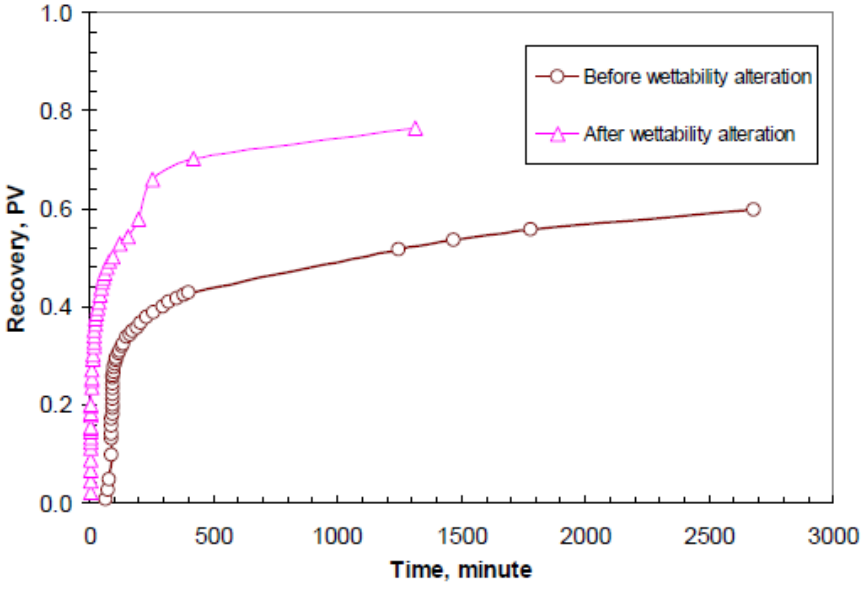
شکل۶-اندازه گیری تراوایی نسبی گاز-آب قبل و بعد از تغییر ترشوندگی به گاز دوست (۵و۶و۷)

www.SID.ir

Archive of SID



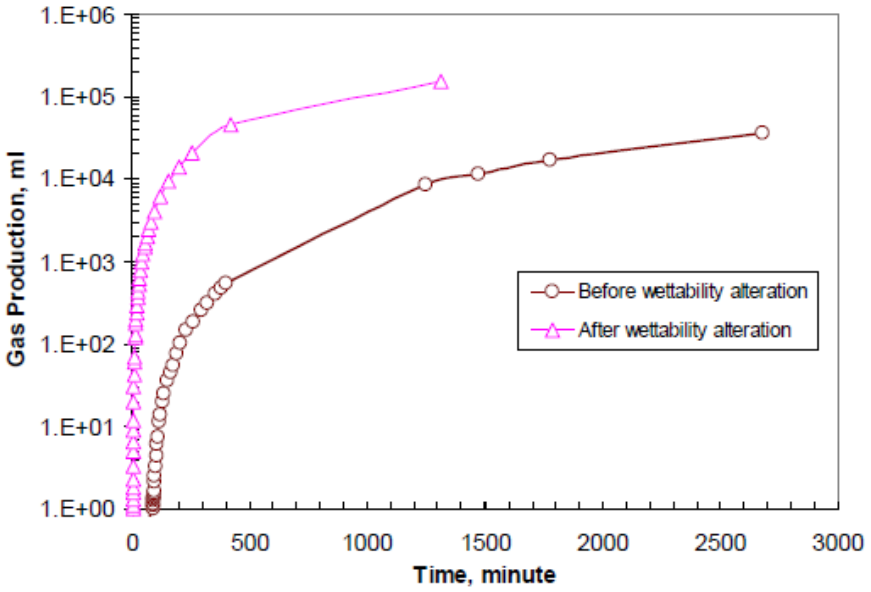
شکل۷-نسبت تراوایی نسبی گاز به آب قبل و بعد از تغییر ترشوندگی به گاز دوست (۵و۶و۷)



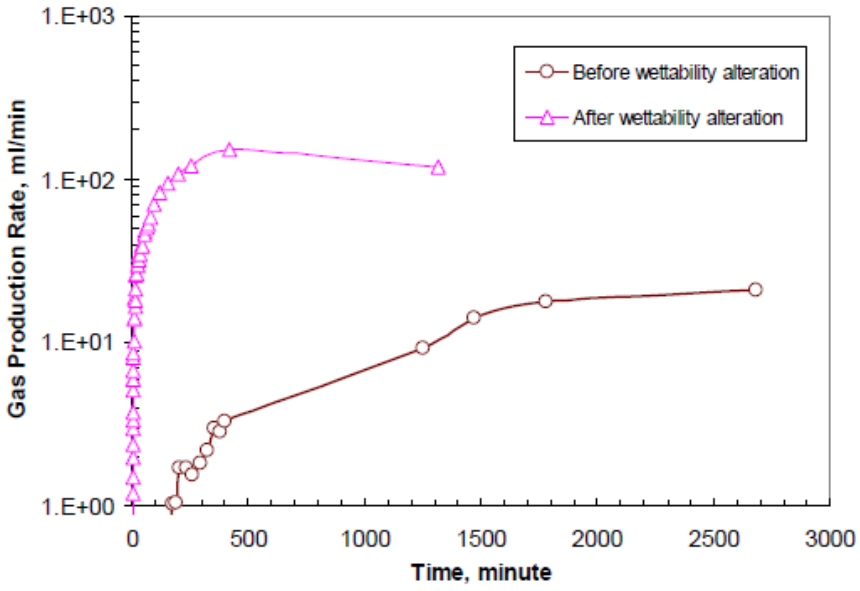
شکل۸-اندازه گیری ریکاوری قبل و بعد از تغییر ترشوندگی به گاز دوست (۵و۶و۷)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۹-اندازه گیری گاز تولیدی قبل و بعد از تغییر ترشوندگی به گاز دوست (۵و۶و۷)



شکل۱۰-مقایسه ی دبی تولید گاز قبل و بعد از تغییر ترشوندگی به گاز دوست (۵و۶و۷)

www.SID.ir