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 تاثیر شیمی آب تزریقی بر ازدیاد برداشت نفت در مخازن کربناته

محمد مهدی شادمان[۱]، صائب احمدی، محسن وفایی سفتی
استان تهران- دانشگاه تربیت مدرس-گروه مهندسی شیمی
m.shadman@modares.ac.ir

چکیده

تحقیق در مورد تغییر شیمی آب تزریقی به عنوان یک روش ازدیاد برداشت و چگونگی اثر یون ها حین اجرای این فرآیند در مخازن ماسه سنگی و کربناته، از موضوعات جالب و چالشی صنعت نفت است. این روش که به تکنیک آب هوشمند معروف شده، تغییر ترکیب یونی و /یا شوری سیال تزریقی جهت بهبود ضریب بازده از مخازن نفتی را شامل می شود. این تکنیک در قالب روش ثالثیه پیشنهاد می شود. علیرغم مطالعات گسترده در این زمینه، اجماع همگانی در مورد چگونگی عملکرد وساز و کارهای فعال در این فرآیند حاصل نشده است، که عمده علت آن پیچیدگی و تفاوت سیستم آب / نفت /سنگ در مخازن مختلف می باشد. در این پژوهش ابتدا ترشوندگی به عنوان عامل تاثیر گذار در بهبود برداشت نفت از مخازن کربناته و متغیرهای موثر در تغییر ترشوندگی با آب هوشمند شرح داده شده اند. در ادامه عوامل موثر بر عملکرد آب هوشمند در ازدیاد برداشت بررسی شده اند و مروری بر مطالعات پیشین در این زمینه انجام شده است. سپس بخشی از نتایج بدست امده در ازدیاد برداشت با شوراب رقیق در مخازن کربناته اورده شده است. در قسمت پایانی این پژوهش نتایج بدست آمده از عملکرد آب هوشمند در مخازن کربناته آورده شده است و پیشنهادهایی برای ادامه ی مسیر تحقیقات ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: مخازن کربناته، ترشوندگی، آب هوشمند، شیمی آب تزریقی

۱-دانشجوی دکتری مهندسی شیمی دانشگاه تربیت مدرس

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

حدود نیمی از مخازن جهان کربناته شکافدار هستند و بیش از نصف نفت باقیمانده جهان، در این مخازن می باشد [۱]. مخازن کربناته شکافدار، پیچیده ترین مخازن از نظر مدلسازی و مدیریت مخزن می باشند. عمده این مخازن بازیابی اولیه پایینی دارند، بنابراین پتانسیل ازدیاد برداشت بالایی دارند. محدوده روش هایی که برای ازدیاد برداشت نفت توسعه و اعمال شده اند، نشان دهنده افزایش تقاضا برای منابع انرژی است. مطالعات زمین شناختی مخزن یکی از متغیر های مهم در انتخاب روش ازدیاد برداشت از مخزن می باشد[۲]. بر اساس پایگاه داده بین المللی ازدیاد برداشت، حدود ۱۵۰۷ پروژه در طی دهه اخیر اجرا شده اند، که نشان دهنده اهمیت موضوع است[۳].

ارزیابی ترشوندگی این مخازن مختلف از سرتاسر دنیا نشان می دهد، حالت ترشوندگی بیش از ۹۰٪ این مخازن، خنثی یا نفت تر می باشند؛ و تراوایی پایینی دارند، بنابراین ازدیاد برداشت از این مخازن یک چالش بزرگ محسوب می شود[۴]. در مخازن کربناته شکاف دار به دلیل کم یا منفی بودن فشار موئینگی، آب اغلب وارد شکاف ها شده و نمی تواند آشام خود به خودی به درون شبکه ماتریسی سنگ؛ که حاوی قسمت اعظم نفت است؛ داشته باشد. لذا برداشت نفت با استفاده از تزریق آب معمولی، به دلیل حالت ترشوندگی این مخازن پایین تر از مخازن ماسه سنگی می باشد. تغییر ترشوندگی سنگ مخزن به سمت آب تری بیشتر، از رویکرد های نوین در بهبود برداشت نفت از مخازن کربناته شکاف دار محسوب می شود. تغییر ترشوندگی سنگ از حالت نفت تر به آب تر، با افزایش نیروهای مویینگی از مقادیر منفی به مثبت، سبب آشام خودبخودی آب می شود[۵]. استفاده از مواد فعال سطحی در کاهش چسبندگی سطحی و تغییر ترشوندگی در سنگ های کربناته، یکی از روش های تغییر ترشوندگی می باشد[۶]. اما برای کاربردهای میدانی، مقدار زیادی از مواد شیمیایی گران قیمت مورد نیاز است. لذا به دلایل اقتصادی شرکت های نفتی تمایل به اجرای این روش در حوزه های میدانی ندارند. بنابراین استفاده از افزودنی های شیمیایی ارزان قیمت بسیار مورد توجه بوده و از اهمیت بسزایی برخوردار است. با پژوهش های انجام گرفته در ۱۰ سال اخیر بر روی خواص ترشوندگی نمونه های سنگ /آب/نفت مختلف ثابت شد که آب تزریقی اگر ترکیب درصد متفاوتی با آب سازند داشته باشد، می تواند تعادل شیمیایی میان سیستم آب/سنگ/نفت را بر هم زند که ممکن است موجب ازدیاد برداشت نفت شود. حتی اگر ترکیب آب تزریقی مشابه آب سازند باشد، تعادل شیمیایی مقدار کمی تحت تاثیر قرار خواهد گرفت و فقط مقادیر اشباع نسبی تغییر خواهند کرد. اما تزریق آب با ترکیب درصد متفاوت با آب سازند، ممکن است خواص ترشوندگی سنگ را تغییر دهد و بنابراین جز روش های ثالثیه ازدیاد برداشت محسوب می شود. تزریق آب به مخازن نفتی از دیرباز به منظور افزایش تولید صورت گرفته است، اولین موارد به صورت اتفاقی در مخازنی که نزدیک منابع غنی آبی در حوالی چاهای تولیدی قرار گرفته بودند اتفاق افتاده است، این روش اولین بار در سال ۱۸۶۵ در منطقه پنسیلوانیای آمریکا مورد استفاده قرار گرفت. یکی از روش های پیشنهادی برای ازدیاد برداشت نفت از مخازن نفتی که اخیرا مطرح شده است، تغییر شیمی آب تزریقی می باشد. در واقع در این روش با تغییر درجه شوری آب تزریقی و ترکیب یونی آن، سعی می شود تا اثرات متقابل آب، سنگ، نفت را تحت تاثیر قرار داده و راندمان برداشت نفت از مخازن را افزایش داد. در این پژوهش سعی شده است تا مرور نسبتاً کاملی بر مطالعات پیشین در مورد آب هوشمند و پارامترهای موثر بر عملکرد آن انجام شود.

۲- آب هوشمند

آب هوشمند با تنظیم و بهینه سازی ترکیب یون ها در سیال تزریقی، به نحوی که شرایط ترشوندگی اولیه سنگ را اصلاح کند، ساخته می شود. سیلابزنی آب دریا با شوری بالا و دمای بالا به مخازن کربناته چالکی و سیلاب زنی با شورآب رقیق در مخازن ماسه سنگی دو نمونه از تزریق آب هوشمند به منظور ازدیاد برداشت می باشند. کوکال و همکاران چندین مزیت را برای سیلابزنی با آب هوشمند در مقایسه با روش های دیگر ازدیاد برداشت ارائه کردند:

۱- بازیابی بالاتری از نفت را با کمترین هزینه قابل دستیابی است.

www.SID.ir

Archive of SID

۲- می توان این روش را در اوایل چرخه عمر مخزن به کار برد.

۳- برگشت سرمایه حتی با افزایش اندک در بازیابی نفت در این روش سریع تر است[۷].

اگرچه به طور گسترده پذیرفته شده است که سیلابزنی با شوری بالا می تواند بازیابی نفت را در مخازن کربناته چالکی افزایش دهد ، اما درک ساز و کار این فرایند هنوز در حال توسعه می باشد. بسیاری از پژوهش های انجام شده بر اساس آشام خودبخودی در مغزه های چالکی انجام شده است و مطالعات کمی بر اساس تزریق اجباری در این مغزه ها انجام شده است. بر این اساس مطالعات انجام شده به صورت غیر مستقیم به تغییر ترشوندگی ارتباط دارند و بیشتر بر اساس پدیده آشام خودبخودی می باشند. علاوه بر این موارد در بیشتر مطالعات انجام شده از اثرات متقابل نفت خام/ آب نمک چشم پوشی شده است، که می تواند در افزایش بازیابی نفت نقش چشمگیری داشته باشد. از طرف دیگر داده های آزمایشگاهی سیلابزنی با شوراب رقیق در مخازن کربناته بسیار محدود است، بنابراین جمع آوری داده های بیشتر بعلاوه ی مطالعه ساز و کاری نیز لازم و ضروری است.

۳- تزریق آب دریا/ آب با شوری بالا به مخازن کربناته

موفقیت استثنایی تزریق آب دریا به مخزن کربناته چالکی اکوفیسک نروژ انگیره لازم را برای انجام چندین مطالعه آزمایشگاهی جهت فهم برهم کنش نفت خام/ آب / سنگ در مخازن کربناته را ایجاد نمود [۸]. بهبود برداشت نفت در مخازن چالکی با تزریق آب دریا اولین بار توسط اوستاد و همکارانش گزارش شد [۹]. بعد از آن مطالعات آزمایشگاهی مختلفی از تزریق آب با مغزه های متفاوت، نفت خام های مختلف و ترکیب درصد های مختلف آب در شرایط دمایی و ترشوندگی مختلف انجام شده اند. چندین ساز و کار مختلف پیشنهاد شده است؛ اما هنوز سوالات زیادی وجود دارد. بدون فهم اینکه آب هوشمند با چه ساز و کاری عمل می کند، کاربرد آن در مقیاس صنعتی شک برانگیز است، زیرا مشخص نیست تحت چه شرایطی بازیابی نفت بیشتر خواهد شد. برای فهم فرایند تزریق آب در مخازن چالکی، تحقیقات گسترده ای انجام شده است. بیشتر این تحقیقات را بر اساس پارامتر های تاثیر گذار بربازیابی نفت، طبقه بندی و مورد بحث قرار می دهیم:

۳-۱- اثر یون ها

مطالعات تزریق آب دریا برای مخازن چالکی ابتدا با آشام خودبخودی مواد فعال سحطی محلول در آب نمک آغاز شد. استندنس و همکاران افزایش بازیابی نفت را از مغزه های چالکی با حالت ترشوندگی خنثی و تا حدودی نفت تر با استفاده از مواد فعال سطحی کاتیونی گزارش کردند [۱۰]. سپس مطالعات آشام خودبخودی با سورفکتانت کاتیونی با مغزه های چالکی و دولومیتی به منظور بررسی تاثیر میزان شوری آب و ترکیب درصد آن انجام شد. مشاهده شد که با افزودن یون سولفات به محلول آشام بازیابی نفت برای مغزه چالکی افزایش می یابد، در حالی که غلظت یون سولفات اثر کمتری بر روی مغزه دولومیتی دارد. آنها نتیجه گرفتند که یون سولفات تا اندازه ای می تواند با مغزه چالکی واکنش دهد. همچنین مشاهده کردند که یون سولفات به تنهایی می تواند بازیابی نفت را افزایش دهد. وب و همکاران یک مطالعه مقایسه ای از میزان بازیابی نفت با مغزه های مخزن والهال دریای شمال با آب سازند (عاری از یون SO_4^{2-}) و آب دریا (حاوی یون SO_4^{2-}) در شرایط مخزن انجام دادند. آزمایشات آشام با مغزه های اشباع شده با نفت زده انجام شد. مقدار بازیابی نفت با آب دریا بیشتر از آب سازند بود[۱۱]. پس از آن، آزمایش های انجام شده توسط ژانگ و همکاران، نیز نشان داد، سولفات قادر است به تنهایی و بدون حضور مواد فعال سطحی گران قیمت، ترشوندگی سنگ کربناته را بهبود بخشد. ژانگ و همکاران تاثیر همزمان یونهای سولفات و کلسیم را به منظور افزایش بازیابی نفت در مخازن چالکی مطالعه کردند. این بررسی ها نشان داد، آب دریا با داشتن یون های موثر بر پتانسیل سطح (Ca^{2+}, SO_4^{2-})، با افزایش آب تری سطح سنگ های چالکی، موجب افزایش فشار موئینگی و در نتیجه افزایش

www.SID.ir

Archive of SID

آشام خودبخودی آب به شبکه ماتریسی حاوی نفت می شود[۱۲]. از میان یون های دو ظرفیتی موجود در آب دریا، یون Mg^{2+} بیشترین غلظت، در حدود دو برابر غلظت یون SO_4^{2-} و تقریباً چهار برابر غلظت یون Ca^{2+}، را دارا می باشد. پییر نشان داد که سولفات یک پتانسیل قوی تعیین کننده ای به نسبت $CaCO_3$ دارد. با دانستن اینکه غلظت SO_4^{2-} در آب دریا دو برابر غلظت Ca^{2+} است، در نتیجه آب دریا می تواند به عنوان یک سیال عالی برای بازیابی نفت توسط آشام خودبخودی عمل کند. استرند و همکاران با انجام آشام خودبخودی آب دریا در سنگ های چالکی نفت تر به بررسی اثر غلظت یون های Ca^{2+} وSO_4^{2-} پرداختند: بر اساس ساز و کار پیشنهادی این محققین در اثر جذب یون های سولفات، بار منفی سطح افزایش یافته و موجب افزایش جذب یون کلسیم بر روی سطح سنگ می گردد. در نتیجه، جدا شدن مواد کربوکسیلیک از سطح در پی واکنش با یون Ca^{2+} و تشکیل کمپلکس با این یون ها، تسهیل می یابد [۱۳]. ژانگ و همکاران اثر یون سولفات وCa^{2+} را بر مقدار بازیابی نفت بررسی کردند. آنها مشاهده کردند؛ هنگامی که غلظت یون SO_4^{2-} در سیال آشام تا ۴ برابر غلظت آن در آب دریای معمولی افزایش می یابد، بازیابی نفت تا OOIP ۵۰٪ افزایش می یابد (شکل۲). بنابراین غلظت این یون بر بازیابی نفت تاثیر زیادی دارد. به طور مشابه، غلظت Ca^{2+} از ۰ تا ۴ برابر غلظت آن در آب دریا تغییر داده شد. بازیابی نفت پس از ۳۰ روز آشام خودبخودی از ۲۸٪ به ۶۰٪ افزایش یافت. در این حالت غلظت یون سولفات مشابه غلظت آن در آب دریا ثابت نگهداشته شد[۱۴]. استرند و همکاران تاثیر آب دریا را بر روی مخازن کربناته چالکی با استفاده از تکنیک کروماتوگرافی استفاده کردند. ساز و کار این روش بر اساس جداسازی ردیاب SCN^- و یون SO_4^{2-} در مکان هایی از سطح سنگ که آب تر شده است، می باشد. آنها مشاهده کردند که وجود هر سه یون Mg^{2+} ، SO_4^{2-} وCa^{2+} موجود در آب دریا، بازیابی نفت را در سنگ چالکی افزایش می دهند. براساس داده های آزمایشگاهی، تغییر ترشوندگی دلیل اصلی بهبود بازیابی نفت گزارش شد. شکل ۳ ساز و کار پیشنهادی آن ها را نشان می دهد. بر اساس این مدل هنگامی که آب دریا به سیستم تزریق می شود، یون های سولفات بر روی سطح سنگ جذب می شوند، که بار سطح را تغییر می دهد. بنابراین ممکن است مقداری از اسید های کربوکسیلیک نفت خام جذب شده بر روی سنگ جدا شوند. به دلیل دافعه الکترواستاتیکی کمتر، یون های کلسیم نیز به سطح سنگ چالکی نزدیک شده و مقدار بیشتری از نفت خام را با پیوند یونی از سطح سنگ جدا می کنند. در دمای بالای ۹۰ درجه سانتیگراد، یون منیزیم نیز در فرایند تغییر ترشوندگی مشارکت دارد. نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد هنگامی که فرایند تزریق آب دریا به مغزه های چالکی به آرامی انجام شود؛ یون منیزیم در دمای بالا قادر است جایگزین یون کلسیم جذب شده بر روی سطح سنگ شود [۹]. ژانگ و همکاران با آزمایش های آشام خودبخودی تاثیر یون Mg^{2+} را بر بازیابی نفت در سنگ چالکی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که افزایش مقدار Mg^{2+} بدون حضور SO_4^{2-} بازیابی کمی از نفت خام را به همراه داشت. اما وجود Mg^{2+} همراه با SO_4^{2-} بازیابی قابل توجهی از نفت خام را با آزمایشات آشام در پی داشت. SO_4^{2-} وCa^2 به تنهایی مقدار کمی بازیابی نفت را با آشام خودبخودی افزایش می دهند. بنابراین، SO_4^{2-} باید به صورت همزمان همراه با یون Ca^{2+} یا Mg^{2+} به منظور بهبود بازیابی نفت عمل کند[۱۲]. فتحی و همکاران پیشنهاد کردند که نه غلظت یون های فعال (SO_4^{2-}،Mg^{2+}،Ca^{2+}) در بازیابی نفت موثر است، بلکه مقدار نمک NaCl نیز بر این فرایند تاثیر گذار است. آزمایشات آشام خودبخودی با مغزه هایی از ستیونس کلینت با آب دریا و آب دریای عاری از NaCl انجام شد. هر دوی نرخ آشام و مقدار بازیابی نفت در آب دریای عاری از NaCl بیشتر از آب دریا گزارش شد و سطوح آب تر به مقدار ۲۹٪ بیشتر از آب دریا افزایش یافت. همچنین کاهش مقدار بازیابی نفت با افزایش مقدار NaCl مشاهده شد. آنها پیشنهاد کردند که افزایش غلظت یون های سدیم و کلر سبب می شود که فعالیت یون های موثر کاهش یافته و در واقع از تماس این یون ها با سطح سنگ و جداشدن مواد کربوکسیلی جذب شده بر روی سنگ جلوگیری شود (شکل ۴) [۱۵].

سطح و واکنش پذیری با یون های تعیین کننده پتانسیل، برای سنگ های کربناته مختلف (آهکی، چالکی، دولومیتی) متفاوت می باشد. اخیراً مشاهده شده است که افزایش بازیابی نفت با آب دریا در سنگ های مخازن کربناته آهکی نیز حاصل می شود. اوستاد و همکاران مشاهده کردند که سطح آب تر شده در سنگ مخزن کربناته آهکی، پس از سیلابزنی با آب دریا به

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار ۳۰٪ افزایش یافت. بازیابی نفت با تغییر سیال آشام ازآب سازند به آب دریا حدود ۳۰٪ افزایش یافت. همانند سنگ چالکی، آب دریا عاری از NaCl نیز عملکرد بهتری برای سنگ آهکی نشان داد. سنگ های کربناته آهکی رخنمون رفتار کاملا متفاوتی را از خود نشان می دهند. رواری و همکاران دو سنگ کربناته آهکی رخنمون از فرانسه و آمریکا آزمایش شدند. بازیابی نفت قابل ملاحظه ای در سیلابزنی با آب دریا حتی در دمای بالا حاصل نشد. کازانکاپو و همکاران نیز تاثیر کاهش غلظت NaCl و افزایش غلظت یون SO_4^{2-} در آب هوشمند را بر مقدار بازیابی نفت از مغزه های کربناته مربوط به میدان ژاناژول قزاقستان در دریای خزر بررسی نمودند. نتایج آنها سازگار با نتایج اوستاد و همکاران در مورد سنگ های چالکی می باشد. آنها مشاهده کردند که با افزایش غلظت یون SO_4^{2-} و کاهش غلظت نمک NaCl در آب تزریقی بازیابی نفت افزایش می یابد. شکل ۵ نتایج آنها را نشان می دهد [۱۶]. اولایو و همکاران همچنین زاویه تماس را بر روی سنگ های قرار داده شده در شوراب با غلظت های مختلف اندازه گیری کردند. شکل۶ نشان می دهد که با افزایش زمان و غلظت یون SO_4^{2-} زاویه تماس کاهش می یابد. همچنین آنها مشاهده کردند که با تزریق آب سازند و آب دریا مقدار برداشت نفت به مقدار زیادی افزایش می یابد[۱۷].

۳-۲ اثر دما

دما یک پارامتر بحرانی در بیشتر مطالعات ازدیاد برداشت بر پایه آب در مخازن کربناته چالکی می باشد. ژانگ و همکاران جذب یون های Ca^{2+} و Mg^{2+} با غلظت های برابر بر روی سطح سنگ چالکی کربناته در دماهای ۲۰°C و ۱۳۰°C با آزمایش کروماتوگرافی جذبی بررسی کردند. در دمای ۲۰ کشش یون Ca^{2+} به سمت سنگ چالکی بالاتر از یون Mg^{2+} بود، در حالی که در دمای ۱۳۰°C غلظت Ca^{2+} در محلول خروجی بیشتر از مقدار آن و غلظت یون Mg^{2+} کمتر از مقدار آن در سیال تزریقی بود. نتایج شکل ۷ نشان می دهد که یون Mg^{2+} در سیال تزریقی قادر است جایگزین یون Ca^{2+} با یک واکنش ۱:۱ شود[۱۲].

$$CaCO_3(s) + Mg^{2+} \longleftrightarrow MgCO_3(s) + Ca^{2+}$$

استرند و همکاران تاثیر دما را بر جذب سطحی رقابتی Ca^{2+} و Mg^{2+} بر روی سطح سنگ کربناته آهکی بررسی کردند. در دمای زیر ۱۰۰ °C جذب Ca^{2+} و Mg^{2+} به سوی سطح کربناته کاملاً مشابه بود، اما با افزایش دما از ۱۰۰ °C به ۱۳۰ °C میزان جذب Mg^{2+} بیشتر از یون Ca^{2+} است. در شکل ۷، منحنی های مربوط به Ca^{2+} و Mg^{2+} در دماهای زیر ۱۰۰ °C تقریباً بر هم منطبقند، اما با افزایش دما منحنی مربوط به Mg^{2+} زیر منحنی Ca^{2+} قرار می گیرد؛ که نشان دهنده جذب بیشتر Mg^{2+} بر روی سنگ کربناته آهکی است. در دماهای بالا Mg^{2+} قادر است جایگزین Ca^{2+} شود. فتحی و همکاران نیز تفاوت زیادی در میزان بازیابی نفت میان سیالات آشام (آب دریا، آب سازند، آب دریا عاری از NaCl، و آب دریا با غلظت NaCl ۴ برابر آب دریا) در دماهای بالای مشاهده کردند[۱۵].

۴- سیلابزنی شوراب رقیق در مخازن کربناته

تحقیقات زیادی برای تزریق شوراب رقیق برای مخازن ماسه سنگی به صورت آزمایشگاهی و میدانی انجام شده است. اخیراً نیز تاثیر شوراب رقیق برای مخازن کربناته بررسی شده است. لاگر و همکاران نتیجه گرفتند که بر خلاف ماسه سنگ ها که کانی های رس زیادی دارند، تزریق شوراب رقیق برای مخازن کربناته فقط در حالتی که آنها دارای حداقل مقدار کانی های رس باشند، مناسب می باشند[۱۸]. رضایی دوست و همکاران نتیجه گرفتند که نفت خام بر روی سطح کلسیت با بار مثبت و سطح کوارتز با بار منفی جذب می شود و به این دلیل تزریق شوراب رقیق برای مخازن کربناته در بعضی موارد قابل استفاده است[۱۹]. فتحی و همکاران آزمایشات سیلابزنی مغزه و آشام خودبخودی با شوراب رقیق را با مغزه های کربناته

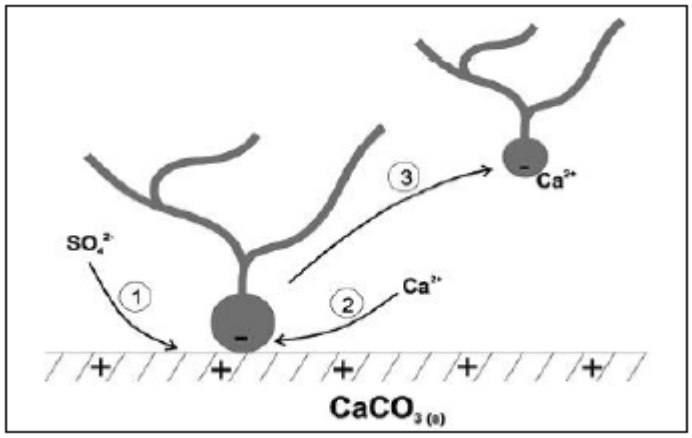
www.SID.ir

Archive of SID

چالکی از میدان نفتی ستیونس کلینت در دماهای ۱۱۰ و ۱۲۰ درجه سانتیگراد انجام دادند. نتایج آنها نشان می دهد که رقیق کردن آب دریا به شوراب رقیق ، بازیابی نفت با آشام خودبخودی را کاهش می دهد. همچنین با آب دریای رقیق تر نیز هیچ افزایشی در بازیابی نفت مشاهده نشد. کاهش غلظت یون های فعال SO_4^{2-}،Mg^{2+}،Ca^{2+} دلیل کاهش مقدار بازیابی نفت گزارش شد[۱۵]. بر خلاف این نتایج، شرکت سعودی آرامکو افزایش۱۶٪-۱۸٪ را برای بازیابی نفت به روش سیلابزنی با شوراب رقیق از مخازن کربناته عربستان سعودی در مقیاس آزمایشگاهی گزارش کرد . ادیل زاهد و همکاران نیز اثر تزریق شوراب رقیق را بر بازیابی نفت در مخازن کربناته آهکی بررسی کردند آنها در آزمایشات سیلابزنی از نفت و مغزه های میادین خاورمیانه استفاده کردند. آب دریا به نسبت های ۱:۲، ۱:۱۰ و ۱:۲۰ رقیق و میزان بازیابی نفت در دماهای مختلف اندازه گیری شد. آنها ابتدا بازیابی نفت را با آب دریا انجام داده و سپس از شوراب رقیق استفاده کردند. نتایج شکل ۸نشان می دهد که با افزایش دما به ۹۰ درجه سانتیگراد بازیابی نفت با استفاده از شوراب رقیق به مقدار زیادی افزایش یافت[۲۰].

داده های آزمایشگاهی برای تزریق شوراب رقیق به مخازن کربناته محدود بوده و نیازمند مطالعه و پژوهش بیشتری می باشد.

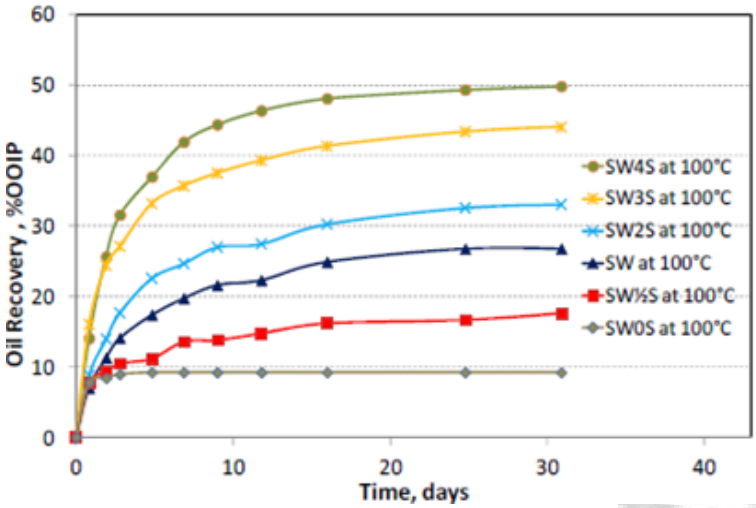
۵- شکل ها



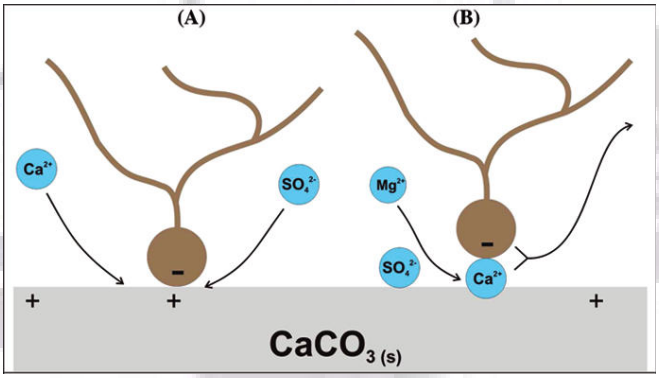
شکل۱-طرح واره ساز و کار پیشنهادی با استفاده یون های Ca^{2+}وSO_4^{2-} [۱۳]

www.SID.ir

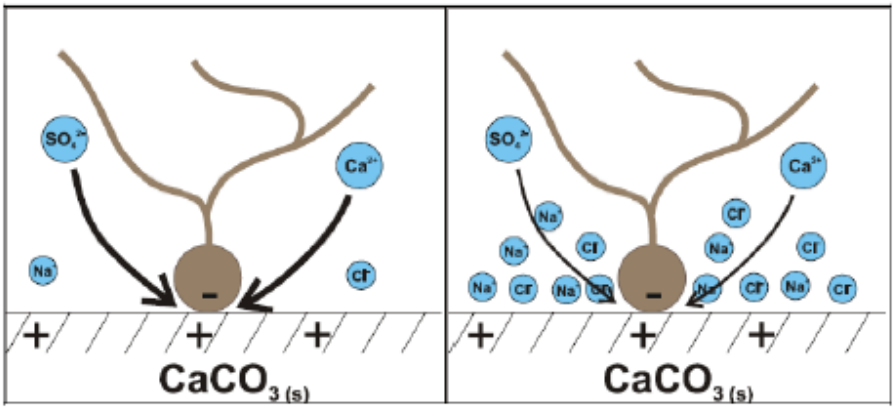
Archive of SID



شکل ۲- تاثیر مقادیر متفاوت یون سولفات در آب دریا در دمای ۱۰۰C بر مقدار بازیابی نفت با آزمایش آشام خودبخودی [۱۴]



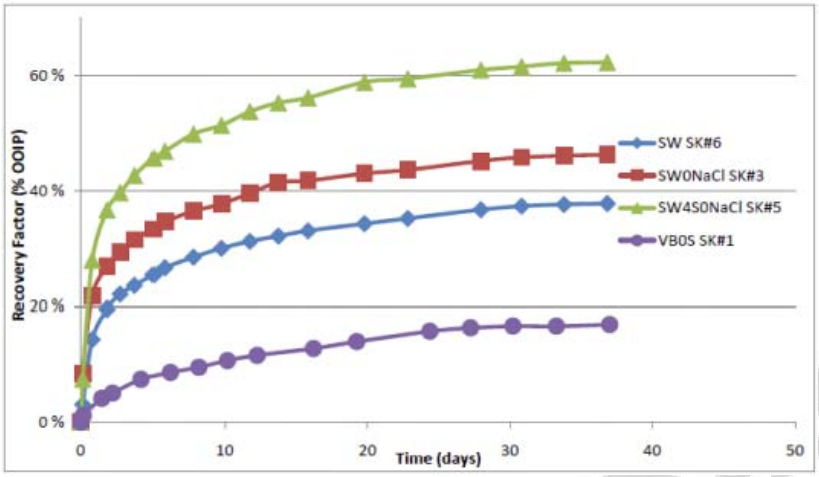
شکل ۳ طرح واره ساز و کار تغییر ترشوندگی توسط آب دریا. A : ساز و کار پیشنهادی هنگامی که Ca^{2+} و SO_4^{2-} یون های فعال هستند. B: ساز و کار پیشنهادی هنگامی که Mg^{2+} و SO_4^{2-} یون های فعال هستند [۹]



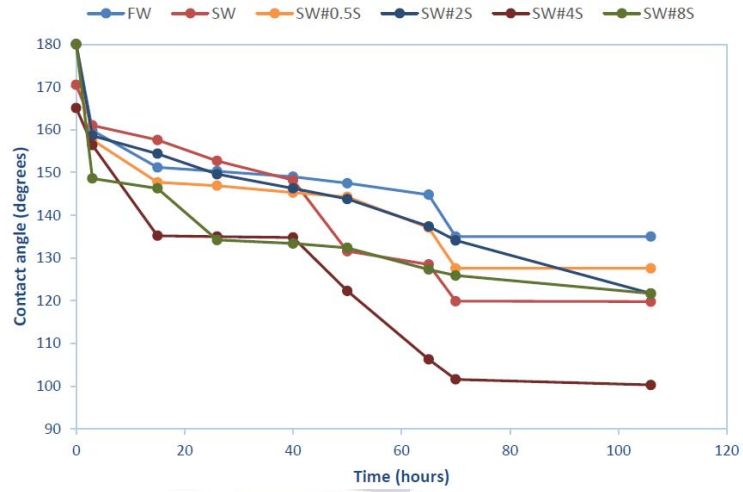
شکل ۴- طرح واره ساز و تاثیر یون های Na^+ و Cl^- بر روی تغییر ترشوندگی سنگ چالکی با آب دریا کار پیشنهاد شده توسط فتحی و همکاران [۱۵]

www.SID.ir

Archive of SID



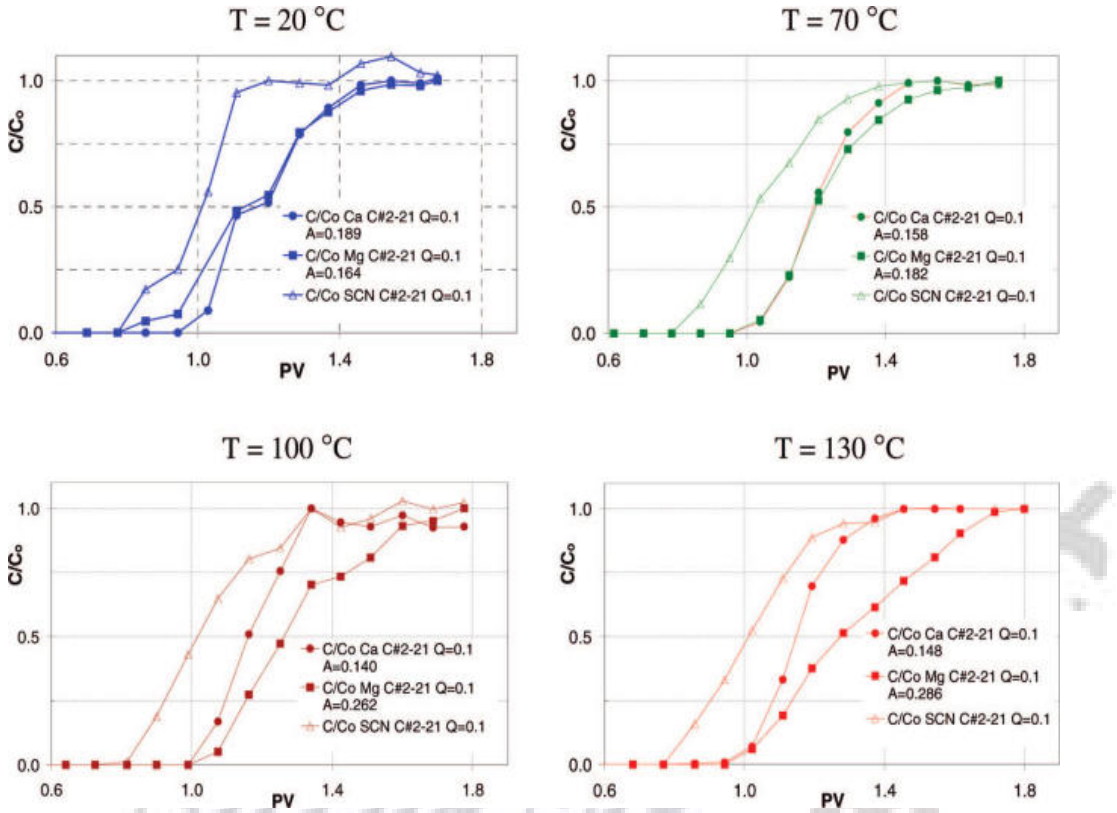
شکل ۵- تاثیر غلظت یون ها بر بازیابی نفت در مغزه های کربناته دریای خزر [۱۶]



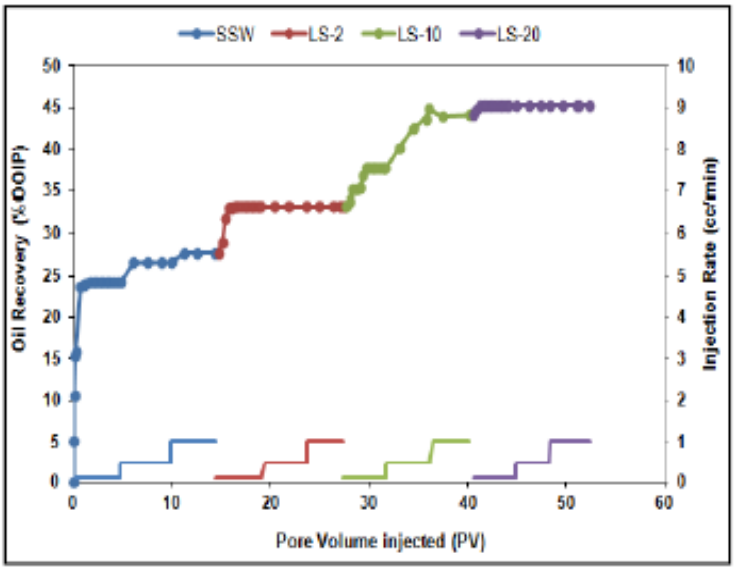
شکل ۶- تاثیر زمان و مقدار یون سولفات در آب هوشمند بر مقدار زاویه تماس [۱۷]

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷- تاثیر دما بر جذب رقابتی یون های Ca^{2+} وMg^{2+} در سنگ های کربناته آهکی[۹]



شکل ۸- مقدار بازیابی نفت با تزریق شوراب در مغزه کربناته آهکی در دمای ۹۰ [۲۰]

www.SID.ir

Archive of SID

۶- نتیجه گیری

در این پژوهش عوامل مروری بر عوامل تاثیر گذار بر عملکرد آب هوشمند انجام شد و نتایج زیر حاصل شد:

- یون های محلول در آب در تغییر ترشوندگی از نفت تر به آب تر از طریق ساز و کار های مختلفی عمل می کنند و هر یک عملکرد متفاوتی را از خود نشان می دهند.
- افزایش غلظت یون های دو ظرفیتی موجود در آب دریا بازیابی نفت از مخازن کربناته را افزایش می دهد.
- کاهش غلظت نمک NaCl موجود در آب دریا بازیابی نفت از مخازن کربناته را افزایش می دهد.
- مقدار بازیابی نفت با استفاده از آب سازند به عنوان سیال تزریقی با مغزه های کربناته متفاوت از مناطق مختلف تفاوت زیادی دارد که می توان آن را به تفاوت در ساختار سنگ های مختلف، ترکیبات متفاوت موجود در نفت های متفاوت از و تفاوت در ترکیب آب سازند نسبت داد.
- با افزایش دمای زمان دهی سنگ با محلول اصلاح گر ترشوندگی از نفت تری سطح کاسته شده، که به دلیل افزایش فعالیت یون ها در دمای بالا می باشد.
- استفاده از ترکیب شوراب رقیق با آب با شوری بالا در بعضی موارد بازیابی بیشتر نفت می شود.
- در بعضی موارد استفاده از شوراب رقیق به عنوان آب هوشمند بازیابی نفت از مخازن کربناته را افزایش می دهد.

۷- مراجع

[1] M. Akbar, B. Vissapragada, A.H. Alghamdi, D. Allen, M. Herron, A. Carnegie, D. Dutta, J.R.Olesen, R.D. Chourasiya, D. Logan, A snapshot of carbonate reservoir evaluation, Oilfield Review, 12 (4) **(2001)** 20-42.

[2] J.J. Taber, F.D. Martin, R.S. Seright, EOR Screening Criteria Revisited - Part 1: Introduction to Screening Criteria and Enhanced Recovery Field Projects, SPE Reservoir Engineering,12(3) **(1997)** 189-198.

[3] A. Awan, j. Kleppe, A Survey of North Sea Enhanced-Oil-Recovery Projects Initiated During the Years 1975 to 2005, SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 11(3) **(2008)** 497-512.

[4] Strand. S, et al, Smart Water for Oil Recovery from Fractured Limstone: A Preliminary Study, Energy & Fuels, 22(8) **(2008)** 3126-3133.

[5] T. Austad, B. Matre, J. Milter, A. Saevereid, L. Oyno, Chemical Flooding of Oil Reservoirs and Spontaneous Oil Expulsion from oil-and Water-Wet Low Permeable Chalk Material By Imbibition of Aqueous Surfactant Solution, Colloid Surf A, 137 **(1997)** 117-129,

[6] M. Salehi, S. J. Johnson, J. T. Liang, Mechanistic Study of Wettability Alteration Using Surfactants with Applications in Naturally Fractured Reservoirs, Journal of Langmuir, 24 (24) **(2008)** 14099-14107.

[7] S. Kokal, A. Al-Kaabi, Enhanced Oil Recovery: Challenges & Opportunities, World Petroleum Council: Official Publication, 12 (1) **(2010)** 64-68.

[8] H. Hermansen, G. H. Landa, J. E. Sylte, L. K. Thomas, Experiences after 10 years of waterflooding the Ekofisk Field, Journal of Petroleum Science and Engineering, 26 (1-4) **(2000)** 11-18.

[9] S. Strand, et al, Smart Water for Oil Recovery from Fractured Limstone:A Preliminary Study, Energy & Fuels, 22 (5) **(2008)** 3126-3133.

[10] D. C. Standnes, T. Austad, Wettability alteration in chalk :Mechanism for wettability alteration from oil-wet to water-wet using surfactants, Journal of Petroleum Science and Engineering 28 (3) **(2000)** 123-143.

www.SID.ir

Archive of SID

[11] T. Austad, S. Strand, E. J. Høgnesen, P. Zhang, Seawater as IOR Fluid in Fractured Chalk, SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, The Woodlands, Texas, 2-4 February **(2005).**

[12] P. Zhang, M. T. Tweheyo, T. Austad, Wettability alteration and improved oil recovery by spontaneous imbibition of seawater into chalk: Impact of the potential determining ions Ca2+,Mg2+, and SO42-, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 301 **(2007)** 199-208.

[13] O. Karoussi, A. A. Hamouda, Imbibition of sulfate and magnesium ions into carbonate rocks at elevated temperatures and their influence on wettability alteration and oil recovery, Energy & Fuels, 21 **(2007)** 2138-2146.

[14] P. Zhang, M. T. Tweheyo, T. Austad, Wettability alteration and improved oil recovery in chalk: The effect of calcium in the presence of sulfate, Energy & fuels, 20 (5) **(2006)** 2056-2062.

[15] S. J. Fathi, T. Austad, S. Strand, Water-Based Enhanced Oil Recovery (EOR) by 'Smart Water' Optimal Ionic Composition for EOR in Carbonates, Energy & Fuels, 25(11) **(2011)** 5173-5179.

[16] N. Kazankapov, Enhanced Oil Recovery in Caspian carbonates with Smart Water, SPE, Russian Oil and Gas Exploration & Production Technical Conference and Exhibition, Moscow, Russia,14-16 October **(2014).**

[17] A. Awolayo, H. Sarma, A. AlSumaiti, A Laboratory Study of Ionic Effect of Smart Water for Enhancing Oil Recovery in Carbonates Reservior, SPE EOR Conference at Oil and Gas West Asia, Muscat, Oman, 31 March-2 April **(2014).**

[18] A. Lager, K. J. Webb, C. J. J. Black, M. Singleton, K. S. Sorbie, Low Salinity Oil Recovery - An Experimental Investigation, PetroPhysics, 49 (1) **(2008)** 28-35.

[19] A. RezaeiDoust, T. Puntervold, S. Strand, T. Austad, Smart Water as Wettability Modifier inCarbonate and Sandstone: A Discussion of Similarities/Differences in the Chemical Mechanisms, Energy & Fuels, 23 **(2009)** 4479-4485.

[20] A. Zahid, A. A. Shapiro, H. Stenby, Managing Injected Water Composition To Improve Oil Recovery: A Case Study of North Sea Chalk Reserviors, Energy & Fuels, 26 (6) **(2012)** 3407-3415.

www.SID.ir