مقاله پژوهشی

مطالعه آزمایشگاهی بررسی تغییرات زاویه تماس در فرایند سیلابزنی آب هوشمند

جهانگیر استخر
دانشجوی دکتری گروه مهندسی شیمی و نفت، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

واژه‌های کلیدی:
ازدیاد برداشت نفت، آب هوشمند، مخازن کربناته، ترشوندگی،کشش بین سطحی،باکتری های کاهنده ی سولفات

چکیده: تحقیق در مورد تغییر شیمی آب تزریقی به عنوان یک روش ازدیاد برداشت و چگونگی اثر یون ها حین اجرای این فرایند در مخازن ما سه سنگی و کربناته، از مو ضاعات جالب و چالشی صنعت نفت ا ست.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 شـود. این روش در قالب روش های ثالثیه ازدیادبرداشـت پیشـنهاد می گردد.علیرغم مطالعات گسـترده در این زمینه،اجماع همگانی در مورد چگونگی عملکرد و مکانیزم های فعال در این فرایند حا صل نگردیده ا ست که عمده علت آن پیچیدگی و تفاوت سیستم آب/نفت/سنگ درمخازن مختلف می باشد.
در این مطالعه جهت کاربردی بودن نتایج از نمونه ی آب و نفت مخزن کرنج و سنگ کربناته ی حا صل از رخ ساره ی این مخزن استفاده شد.آزمایش های گسترده ای در زمینه زاویه تماس طراحی و اجرا گردید.
نتایج این تحقیق نشان داد که مکانیزم غالب این روش برای مخزن نفتی کرنج، تغییر ترشوندگی می باشد و همچنین بر پایه ی مشاهدات انجام شده، مکانیزمی برای تغییر ترشوندگی سطوح کربناته ارائه گردید.پارامتر پیشنهادی جهت بهینه کردن شیمی آب تزریقی در مخازن کربناته ی آبدوست، شوری و در مخازن نفت دوست،ترکیب یونی تشخیص داده شد.

مقدمه

پس از پایان نفت تولید اولیه و ثانویه، برای برداشـت نفت باقیمانده و افزایش بازده نهایی،روش های ازدیاد بردا شت نفت مورد ا ستفاده قرار می گیرند. یکی از روش های پیشـنهادی برای ازدیاد برداشـت از مخازن نفتی تغییر شـیمی آب تزریقی می باشـد. در این روش با تغییر درجه شوری آب تزریقی و یا ترکیب یونی آن سعی می شود تا اثرات متقابل آب، نفت و سنگ را تحت تاثیر قرار داده و ضریب بردا شت از مخازن نفتی را افزایش دهد.

بحث تغییر شـیمی آب تزریقی، اولین بار توسـط آقای برنارد در سـال 1967 مطرح شـد که در آن زمان مورد توجه واقع نشـد.در دهه ی 1990 و با انتشار نتایج تحقیقات محققین دانشگاه یومینگ، مطالعات جدی تر و گسترده تری در این زمینه آغاز شد. این روش بسته به بینش هر گروه در مورد علت ازدیاد برداشـت از طریق آن و پارامتر بهینه شـده ی آب تزریقی،با نام های مختلفی یاد می گردد.محققین شرکت نفت بریتانیا از اصطلاح آب کم شور،محققین اکسون موبیل از اصطلاح مدیریت یونی پیشرفته و محققین شرکت شل از اصطلاح آب طراحی شده جهت تو صیف این روش ا ستفاده می کنند. با این وجود آب هوشمند نام کلی است که تمام این روش ها را در بر می گیرد.

علیرغم گسترش مطالعات در این زمینه، یک توصیف یکپارچه در مورد مکانیزم های فعال در این فرایند حاصل نشده است.پیچیده بودن کانی های موجود در سنگ، ترکیب نفت خام، ترکیبات فاز آبی و برهمکنش این فازها با یکدیگر ما را در فهمیدن عامل اصلی بازیابی در فرایند آب هوشـمند سـر در گم می کند. گزارشـات مختلف در مورد نحوه ی عملکرد این فرایند،ما را به این سمت هدایت می کند که احتمالا بیش از یک مکانیزم در این فرایند نقش بازی کنند[8-1].

* نویسنده مسئول: جهانگیر استخر
نشانی: دانشجوی کارشناسی ارشد گروه شیمی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران
تلفن: 989179175523+
پست الکترونیکی: jahangirestakhr2020@gmail.com

در این مطالعه تلاش گردیده است ضمن بررسی پتانسیل استفاده از این روش در مخزن کرنج، به بررسی مکانیزم حاکم در این روش و نحوه ی اثر گذاری آن پرداخته شود.برای نیل به اهداف یاد شده و بررسی اثر شوری بر سطوح مشترک آب، آزمایش های گسترده ای در زمینه زاویه تماس طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از نفت مخزن کرنج برای نمونه نفت در آزمایشات استفاده شد که قبل از ورود به واحد نمکزدایی می‌باشد. خصوصیات نفت مورد استفاده بدلیل بکارگیری این نفت در مراحل نفت دوستی سطح مقطع اهمیت بسزایی داشت. نفت مخزن کرنج با درجه API ، 28/5 جزء نفت های متوسط (نسبتا سبک) است.

برای فراهم سازی محلول های آب هوشمند از آب مقطر، آب سازند و آب دریا در آزمایشات استفاده شد. آب سازند و آب دریا دو فاز اصلی برای فراهم سازی محلول ها و تزریق به مخزن هستند. از آنجا که مخزن کرنج جزء مخازن خشکی است و دسترسی به آب سازند بیشتر از آب دریا بود بنابراین از آب سازند برای محلول سازی استفاده شد. خصوصیات آب سازند در جدول 1 نشان داده شده است.

جدول 1. خصوصیات آب سازند

Ion	Concentration (ppm)
Ca^{2+}	3800
Mg^{2+}	1944
Na^{+} and K^{+}	38406
HCO_3^{-}	0
SO_4^{2-}	1200
Cl^{-}	52250
TDS	97600

برای فراهم کردن محلول آلکالینی از سه نوع آلکالین با اسیدیته‌های مختلف استفاده شد. از سدیم هیدرواکسید، سدیم بی کربنات و سدیم کربنات به عنوان سه قلیا استفاده شد و محلول آلکالینی در آب سازند تهیه شد. مواد استفاده از شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

به منظور تاثیر وجود نمک های موجود در آب سازند و تاثیر شوری بر زاویه تماس از سدیم کلرید و کلسیم کلرید به عنوان دو نمک اصلی موجود در آب سازند استفاده شد. جدول 2 خصوصیات مواد آزمایشگاهی و نمک‌ها را نشان می‌دهد. نمک‌ها برای محلول سازی ابتدا به وسیله ترازوی دیجیتال حساس اندازه گیری شد و بعد از حل شدن درون آب سازند برای اندازه گیری زاویه تماس مورد استفاده قرار گرفت.

جدول 2. نمک های استفاده شده در آزمایش و خصوصیات آنها

نوع نمک	وزن مولکولی	شرکت سازنده
NaCl	57	مرک
KCl	74	مرک
$MgCl_2$	94	مرک
$CaCl_2$	110	مرک
Na_2So_4	142	مرک

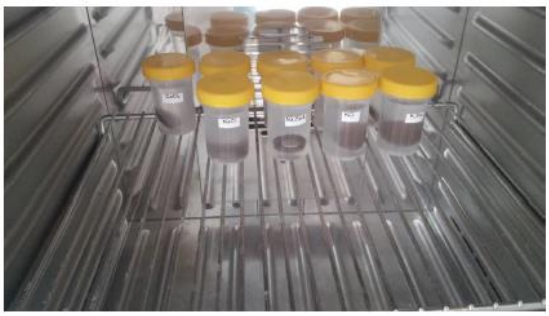
سنگ مورد استفاده در این تحقیق از رخنمون سازند آسماری و از منطقه تنگ ماغر در استان کهگیلویه و بویراحمد گرفته شده است که بصورت پلاگ های 1/5 اینچی و مقطع 3 میلیمتری برش داده شده اند و همگی از یک جنس و کربناته می باشند. دستگاه مورد استفاده برای تهیه مغزه از سنگ در شکل 1 نشان داده شده است. این دستگاه از شرکت ازدیاد برداشت فارس تهیه شده است

سطح مقطع های تهیه شده ابتدا کاملا سیقل داده می‌شود و بوسیله گاز نیتروژن سطح آن پاک می‌شود. سپس بوسیله آب مقطر شست و شو داده می‌شود و در آون تحت دمای 80 درجه به مدت 24 ساعت جهت خشک کردن قرار می‌گیرد. سطح مقطع ها جهت نفت دوست شدن به مدت 14 روز در معرض نفت مخزن کرنج قرار می‌گیرند. شکل 2 سطح مقطع ها را قبل و بعد از نفت دوست شده نشان می‌دهد.

شکل ۱. دستگاه مغزه گیری

شکل ۲. سطح مقطع قبل و بعد از نفت دوست شدن

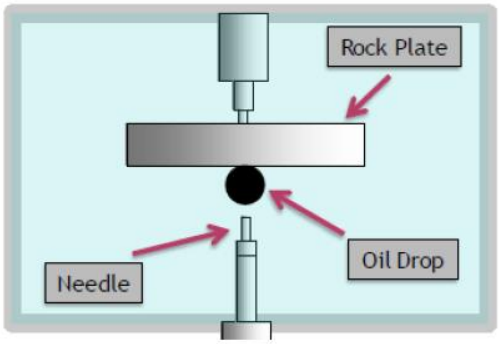
محلول‌های مختلف آلکالین با غلظت‌های مختلف فراهم شد و سطح مقطع های نفت دوست شده جهت تاثیر گذاری محلول ها به مدت سه روز در محلول آلکالین قرار گرفت و درون آون قرار گرفت. شکل 3 نحوه قرار گیری سطح مقطع ها درون محلول را نشان می دهد.



شکل 3. نحوه قرار گیری سطح مقطع ها درون محلول

دستگاه زاویه تماس در دمای 25°C و فشار 14.7psi زاویه تماس بین سنگ و نفت را به روش قطره چسپان اندازه می گیرد. سیستم دارای محفظه ای شیشه ای است که امکان ثبت تصویر قطره را توسط دوربین فراهم می سازد.

برای اندازه گیری زاویه تماس از دستگاه زاویه تماس استفاده شد. این دستگاه قطره نفت را بخوبی در معرض سنگ و سیال نمونه قرار می دهدو بوسیله دوربین و کامپیوتر متصل به آن از شکل قطره نفت به صورت استاتیک عکس گرفته می شود. شکل 4 نحوه قطره گذاری و اندازه گیری زاویه تماس را نشان می دهد. ابتدا محلول درون بشر قرار می گیرد و سطح مقطع درون دستگاه قرار می گیرد و قطره نفت بر روی سطح مقطع تزریق می شود و از آن عکس گرفته می شود. شکل قطرات بوسیله نرم افزار اتوکد اندازه گیری می شود.



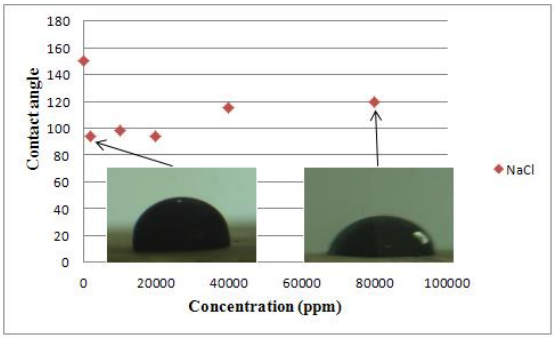
شکل ۴. نحوه قطره گذاری و اندازه گیری زاویه تماس

نتایج و بحث:

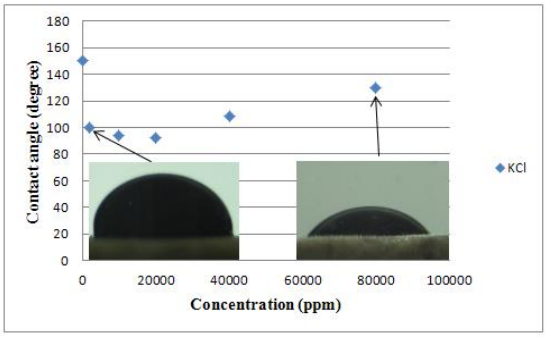
تاثیر نمک های تک ظرفیتی بر ترشوندگی

نمک های تک ظرفیتی اصلی ترین جزء تشکیل دهنده آب سازند و دریا هستند و به عنوان فراوانترین نمک موجود در آب تزریقی شناخته می شوند. برای بررسی تاثیر نمک های تک ظرفیتی بر آب سازند از NaCl و KCl استفاده شد. سطح مقطع های نفت دوست شده به مدت سه روز درون محلول سدیم کلرید و پتاسیم کلرید قرار گرفتند و سپس جهت اندازه گیری زاویه تماس آماده شدند. دمای اندازه گیری زاویه تماس 25 درجه سانتیگراد و فشار 14/7 psia بود. از غلظت های نمک 2000 تا 80000 ppm استفاده شد. نتایج تست های زاویه تماس در شکل 5و 6نشان داده شده است.

با توجه به شکل 5 و 6 حضور نمک های تک ظرفیتی سدیم کلرید و پتاسیم کلرید ابتدا موجب کاهش زاویه تماس به سمت ترشوندگی خنثی شد و سپس در غلظت های بالا دوباره افزایش یافت. زاویه تماس برای محلول سدیم کلرید با غلظت 2000 ppm تقریبا 94 درجه بود ولی با افزایش غلظت محلول زاویه تماس افزایش یافت تا جایی که برای غلظت 80000 ppm زاویه تماس به 120 درجه رسید.



شکل۵. تاثیر سدیم کلرید بر زاویه تماس

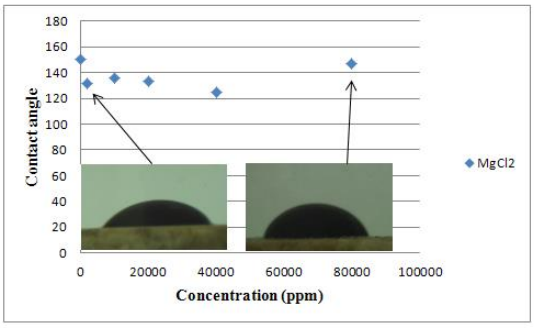


شکل۶. تاثیر پتاسیم کلرید بر زاویه تماس

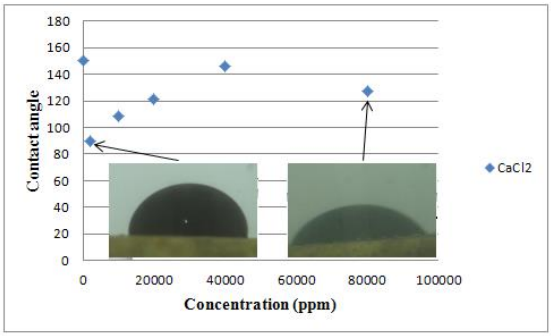
حضور سدیم کلرید و پتاسیم کلرید موجب تغییر ترشوندگی شد. دلیل کاهش اولیه زاویه تماس جذب ضعیف کربوکسیل با بار منفی از سطح سنگ بوسیله Na^+ و K^+ است. زمانی که این دو یون درون محلول قرار می گیرند، شروع به جذب کربوکسیل از سطح سنگ می کنند و باعث کاهش زاویه تماس می شوند ولی در غلظت های بالا بدلیل تاثیر خروج نمک تغییرات ترشوندگی متفاوت بود. وقتی شوری درون محلول افزایش می یابد، حلالیت مواد آلی درون محلول کاهش می یابد و مواد آلی جذب سنگ می شوند بنابراین سیستم به سمت نفت دوست تغییر می کند.

تاثیر نمک های دوظرفیتی بر ترشوندگی

برای بررسی تاثیر یون های دو ظرفیتی بر سطح سنگ از کلسیم کلرید و منیزیم کلرید استفاده شد. شکل 7 و 8 تاثیر یون های دوظرفیتی بر زاویه تماس نشان داده شده است.



شکل۷. تاثیر منیزیم کلرید بر زاویه تماس



شکل ۸. تاثیر کلسیم کلرید بر زاویه تماس

با توجه به شکل منیزیم کلرید بر سنگ کربناته برخلاف انتظار زیاد نبود و موجب کاهش کم زاویه تماس شد. اما کلسیم کلرید تاثیر بسزایی بر زاویه تماس داشت. وقتی شوری محلول کلسیم کلرید 2000 ppm بود زاویه تماس سطح مقطع کربناته 90 درجه بود و اما با افزایش غلظت کلسیم کلرید سیستم به سمت نفت دوستی تغییر کرد. دلیل کاهش ترشوندگی سیستم به سمت آب دوست با حضور کلسیم کلرید در غلظت های کم بدلیل جذب کربوکسیلات موجود در سطح سنگ با بار منفی بوسیله Ca^{2+} است. این یون پتانسیل بالایی در جذب کربوکسیلات از سطح سنگ دارد. با تزریق کلسیم فرایند چند جزئی یونی (MIE) رخ می دهد و مجمع های پیچیده شیمیایی–فلزی و اجزاء قطبی آلی از سطح سنگ حذف می شود و کاتیون های غیر پیچیده جذب سطح سنگ می شود.

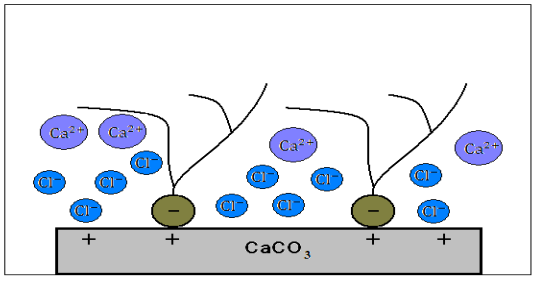
اما با افزایش غلظت کلسیم کلرید زاویه تماس افزایش یافت و سیستم به سمت نفت دوست تغییر کرد که این به دو دلیل است:

با افزایش غلظت نمک درون فاز آبی حلالیت مواد آلی کاهش می یابد و در نتیجه کربوکسیلات موجود بر سطح سنگ نمی تواند در فاز آبی حل شود و از سطح سنگ جدا شود، بنابراین تغییر زیادی در غلظت های بالای نمک در زاویه تماس رخ نمی دهد.

زمانی که کلسیم کلرید درون فاز آبی حل می شود یون های کلسیم و کلر از هم جدا می شود و در هر مولکول کلسیم کلرید یک یون کلسیم و دو یون کلر جا دارد بنابراین به ازای هر یون کلسیم دو یون کلر حل می شود. در غلظت های بالا بدلیل تعدد زیاد یون کلر در لایه دوبل مانع از دسترسی یون کلسیم به کربوکسیلات با بار منفی می شود و بنابراین تغییری در نفت دوستی سیستم در غلظت بالای کلسیم کلرید ایجاد نمی شود (شکل8 و 7).

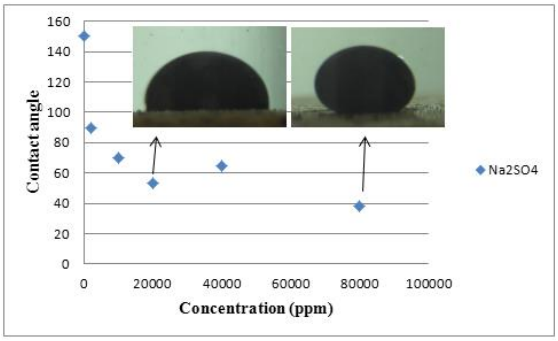
تاثیر نمک های سدیم سولفات بر ترشوندگی

یکی دیگر از نمک های تاثیر گذار درون آب سازند و آب دریا، سولفات ها هستند بدین منظور از سدیم سولفات استفاده شد. محلول ها همانند نمک های قبل سه روز جهت خیساندن درون آب نمک قرار داده شدند.



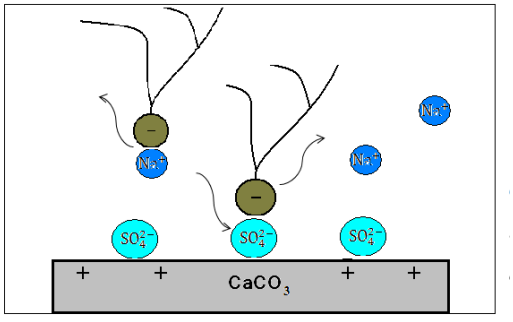
شکل ۹. ممانعت کلر از جذب کربوکسیل بوسیله کلسیم

تست های زاویه تماس در غلظت های بین 2000 تا 80000 ppm انجام شد. نتایج در شکل 5-7 نشان داده شده است. دمای اندازه گیری دمای اتاق و فشار اتمسفر بود. نتایج تست زاویه تماس سدیم سولفات نشان داد که حضور این ماده تاثیر مثبتی بر زاویه تماس دارد و موجب کاهش زاویه تماس می شود. همانگونه که در شکل 10 نشان داده شده است وقتی غلظت سدیم سولفات افزایش یافت زاویه تماس از 150 درجه برای محلول بدون سدیم سولفات به 38 درجه برای محلول 80000 ppm کاهش یافت و سیستم آب دوست قوی شد. نتایج تست سدیم سولفات بسیار تاثیر گذار بر سطح سنگ کربناته نفت دوست بود[9-12]



شکل ۱۰. تاثیر سدیم سولفات بر زاویه تماس

حضور سولفات بر سطح سنگ موجب تغییر ترشوندگی سنگ شد. این تغییر در سطح سنگ کربناته بدلیل جذب یون سولفات بر سطح سنگ کربناته بود. سطح سنگ کربناته دارای بار مثبت است و یون های سولفات جذب سطح سنگ می شوند و بین کربوکسیل ها قرار می گیرند. بنابراین کربوکسیل موجود در سطح سنگ کنده می شود و سطح سنگ آب دوست می شود. یون سولفات نشان داد که قدرت یونی لازم برای آب دوست کردن سطح سنگ کربناته را دارا می باشد. شکل 11 شماتیک قرار گیری سولفات بر سطح سنگ را نشان می دهد.دلیل دیگر تغییر ترشوندگی جذب ضعیف کربوکسیل از سطح سنگ بوسیله یون Na^+ بود که موجب تغییر ترشوندگی شد. بنابراین در این تست دو عامل مثبت جذب سولفات بر سطح سنگ و عامل جذب کربوکسیلات به وسیله سدیم موجب تغییر ترشوندگی شد اما عامل کاهش حلالیت مواد الی نتوانست مانع از اب دوست شدن سیستم شود.



شکل 11. شماتیک کنده شدن سولفات از سطح سنگ

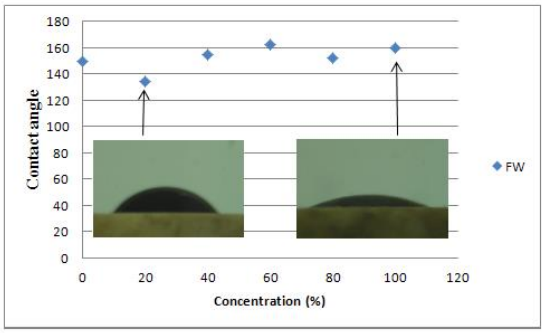
تاثیر شوری آب سازند و دریا بر ترشوندگی

تاثیر غلظت های مختلف شوری آب سازند و آب دریا بر ترشوندگی سیستم بررسی شد. از آب مقطر جهت کاهش شوری و رقیق کردن آب سازند و آب دریا استفاده شد. آب سازند مورد استفاده آب سازند مخزن کرنج بود و از آب دریا خلیج فارس استفاده شد. نتایج تست زاویه تماس در غلظت های مختلف آب سازند و آب دریا در شکل 12 و 13 نشان داده شده است.

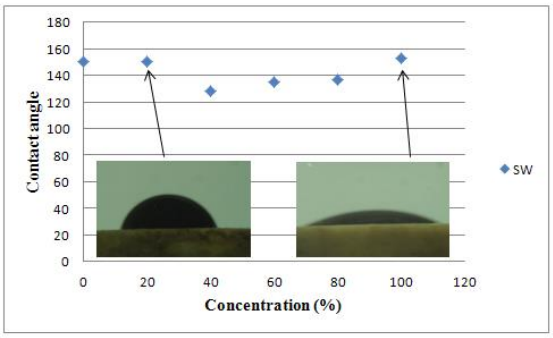
با توجه به شکل کاهش شوری آب سازند و آب دریا موجب تغییر زاویه تماس و تغییر ترشوندگی شد. هرچه غلظت زاویه تماس در حضور آب سازند با شوری بالا 160 درجه بود اما وقتی شوری به 20 درصد آب سازند کاهش یافت زاویه تماس تقریبا 134 درجه شد که این تغییر به سمت ترشوندگی خنثی را نشان می دهد. برای اب دریا نیز چنین روندی دنبال شد. زاویه تماس آب دریا با شوری بالا تقریبا 153 درجه بود اما برای آب دریا با شوری 40 درصد 128 بود.

نفت خام ابتدا به صورت یک پوشش به سطح منافذ چسپیده است. وقتی شوری کاهش می یابد لایه الکتریکی دوبل در فاز آبی بین ذرات گسترش می یابد و تمایل به جدا کردن ذرات می کند. مهاجرت ذرات و حذف محدوده ای که دارای ترشوندگی مخلوط می باشد از نتایج جاهایی است که دارای ترشوندگی ناهمگن هستند که موجب بهبود برداشت نفت می شود[13-17].

حلالیت مواد آلی می تواند بوسیله اضافه کردن نمک به محلول کاهش یابد که تاثیر خروجی نمک[1] می گویند و حلالیت می تواند با حذف نمک از آب افزایش یابد که تاثیر ورودی نمک[2] می گویند. بنابراین کاهش شوری به زیر نقطه بحرانی قدرت یونی می تواند باعث افزایش حلالیت مواد آلی در فاز آبی می شود بنابراین برداشت نفت بهبود می یابد[18-20]



شکل۱۲. تاثیر غلظت آب سازند بر زاویه تماس



شکل13. تاثیر شوری آب دریا بر زاویه تماس

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج آزمایشگاهی این مطالعه می توان به نتایج زیر اشاره کرد:

1-آب هوشمند می تواند به عنوان راهکاری مناسب جهت تغییر ترشوندگی مخازن کربناته استفاده شود.

2-سرعت تغییر ترشوندگی برای ترکیب های مختلف آب متفاوت است.

3-با افزایش میزان شوری آب در این محلول ها نرخ تغییر ترشوندگی کاهش می یابد.

4-یون سدیم در غلظت های پایین موجب کاهش زاویه تماس و آب دوستی سیستم شد.

5-اسید های چرب موجود در نفت قادرند حالت ترشوندگی سنگ کربناته را به نفت دوست تغییر دهند.

6-افزایش یون سولفات در محلول آب هوشمند، سبب آب دوستی بیشتر سنگ کربناته شده و اثر بیشتری نسبت به یون منیزیم دارد.

7-افزایش غلظت کاتیون تک ظرفیتی پتاسیم به آب هوشمند از آب دوستی سنگ کربناته می کاهد.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی، روش شناسی و تحلیل داده ها: و نگارش نهایی: جهانگیر استخر

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در مطالعه حاضر، فرم‌های رضایت نامه آگاهانه توسط تمامی آزمودنی‌ها تکمیل شد.

تشکر و قدردانی

نویسنده از معاونت پژوهشی دانشگاه مرودشت به خاطر حمایت در انجام کار تحقیقاتی حاضر تشکر و قدردانی می کند.

References

1. Sukka, P.O., (2004) 'improving the Nuclear Tracer imaging centrifuge Method for Measuring ln-Situ capillary Pressure and comprasions with Other Methods." PAD's dissertation, University of Bergen

2. Adams, W.T., Schievelbein, V.H., (1987). "Surfactant Flooding Carboy Reservoirs." Society of Petroleum Engineering Journal 12686.

3. Adibhatla, B., Sun, X., and Mohanty, K.K.(2005) "Numerical Simulation of Production fiom Initially Oil-Wet Fracture Blocks by Surfactant Bri_{ne} Imbibition," SPE 97687

4. Al-Ghannam, Kh.A., Latif, H.A., (1981) "Investigations into asphaltenes in heavy crude oils. I Effect of temperature on precipitation by alkane solvents" Fuel Vol 60,11

5. Al-Hashim, H.S., Obiora, V., AJ-Yousef, H.Y., Fernandez, F., Nofal, W., (199^ "Alkaline Surfactant Polymer Formulation for Saudi Arabian Carbonate Reservoirs." SPE/DOE 35353

6. Al-Hadhrami, H. and Blunt, M., (2000), "Thermally induced wettability alteration to improve oil recovery in fracture reservoirs." SPE Reservoir Evaluation & Engineering59289

7. Amaya, Rarja, D., Hornof, V., (2002) "Dynamic Interfacial Behavoir of Water/Oil Systems Containing In-Situ Formed Surfactants." Journal of Solution Chemistry, Vol.31,138- 148.

8. Anderson, G.A., (2006). "Simulation of Chemical Flood Enhanced Oil Recovery Processes Including the Effects of Reservoir Wettability." MS Thesis. University of Texas at Austin

9.Anderson, W.G., (1986-a). "Wettability Literature Survey: Part 1: Rock/oil/brine interactions and the effects of core handling on wettability." Journal of Petroleum Technology. Vol.13932.

10. Donaldson, E,C., Alam, W., Wettability. Golf company Houston, Texas (2008)

11. Jadhunandan, p., Morrow, N.R., 1995. Effect of wettability on waterflood recovery for crude oil/Brine/ rock systems. SPERE 10 (1), 40-46

12. Al-Attar, HH, Mahmoud, M,Y,Zekri, A.Y and Almehaideb,R.A., Low Salinity Flooding in a Selected Carbonate Reservoir. Experimental Approach, paper SPE 164788, presentation SPE at the EAGE Annual conference & Exhibition incorporating SPE Europec held in London, United kingdom (2013)

13. Alataibi, M.B, Nasr-EL-DuL HA, Chemistry of Injection Water and its Impact on Oil Recovery is Carbonate and Clastic Formation, Paper SPE 121565, presentation SPE at the SPE International Siymposium on oilfield Chemistry held in The Woodlands, Texas, USA (2009).

14. Aronaon, MA, Prffco. M.F., Princen, H.M., (1978) "On the stability of aquco Alms between oil and silica-" Jt Colloid Interface Science. Vol 65

15. Aimed, T. Mi iter, J. (1997) "Spontaneous imbibition of water into Low permeable chalk at different wettabilities using Surfactants." SPE 37236

16. Austad, T., Matre, B.. Milter, J., Saelig vareid, A., Oslashyno, (199%) 'Chemical flooding of oil reservoirs. 8. Spontaneous oil expulsion from oil and wafer-wet low permeability caulk material by imbibition of aqueous surfactant solutions." Colloids and Surfaces A: Physicochemtcal and Engineering Aspects, Vol l37,No.l-3

17. Audibert-Hayet A., Dalmazzone C. (2006) "Surfactant system for water-based well fluids." Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 288. 113-120.

18. Auflem, I H.; Havre, T. E.; Sjoblom, 2002. J. Colloid Polym. Sci. 280,695-700.

19. Ayatollahi, Sh., kazemi, H., Lasfaanizadegan, A., (2005)" Temperature effects on heavy oil relative permeability during gas-oil gravity drainage (GOGD).". Energy and Fuels Journal, 19(3)

20. Ayirala, S.C., (2002). "Surfactant-Induced Relative Permeability Modifications for Oil Recovery Enhancement." MS thesis. Louisiana State University.