

## ازدیاد برداشت با سیلاب زنی آب نمک رقیق و الزامات انجام این روش جهت افزایش درصد بازیافت در لایه نفتی میدان پارس جنوبی

محمد شجاع الدینی اردکانی، شرکت نفت و گاز پارس

### چکیده

افزایش قیمت جهانی نفت خام و نیاز روز افزون کشورهای جهان به این انرژی، مهندسين مخزن را واداشته است تا با طراحی مناسب و کمترین هزینه ممکن، بیشترین تولید را داشته باشند. به کارگیری روش‌های مناسب برای حفظ و صیانت مخزن، بالا بردن راندمان تولید و سعی بر نگه داشتن آن در حد مطلوب در طول زمان، از جمله موارد مهم و اصلی در بحث مدیریت مخازن نفتی است. با توجه درصد بازیافت بسیار پایین تولید طبیعی، ادامه‌ی تولید از میدان با توجه به سرمایه‌گذاری‌های انجام شده منوط به انجام عملیات ازدیاد برداشت است. «سیلاب زنی آب» به مخازن نفتی یکی از معمول‌ترین روش‌های ازدیاد برداشت از مخازن است. با توجه به دریایی بودن لایه نفتی میدان پارس جنوبی و در دسترس بودن آب دریا، طبق مطالعات انجام شده و هم‌چنین تجارب شریک قطری این میدان، سیلاب زنی آب، گزینه اصلی از یاد برداشت از لایه نفتی است. مطالعات آزمایشگاهی و انجام آزمایشات میدانی نشان داده‌اند که تزریق آب نمک رقیق (درجه شوری کم تا ۵,۰۰۰ پی. پی. ام) اقتصادی بودن تولید از میدانی که تحت سیلاب زنی آب هستند را افزایش می‌دهد. چون تزریق آب نمک رقیق به میدان از نظر عملیاتی شبیه به سیلاب زنی آب است و مانند روش‌های ازدیاد برداشت شیمیایی به مواد افزودنی گران‌نیازی نیست، در دهه‌ی اخیر توجه زیادی به این روش به عنوان روشی برای ازدیاد برداشت شده و نتایج آزمایشگاهی و میدانی گوناگونی منتشر شده است. در این مقاله، با مرور نتایج منتشر شده از سیلاب زنی آب شور رقیق، فهرستی از سوالاتی که برای اجرای روش انتخابی در مقیاس میدانی پاسخگویی به آنها لازم است، مطرح شده و به طور مختصر به امکان‌سنجی تزریق آب نمک رقیق جهت افزایش بازیافت در لایه نفتی میدان پارس جنوبی پرداخته خواهد شد. لازم به ذکر است که با توجه به جدید بودن این روش، اجرای آن نیاز به مطالعات گوناگون آزمایشگاهی، مدل‌سازی و اجرا در مقیاس پایلوت و در نهایت تعیین مدل اقتصادی است.

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۸/۰۵/۱۲

تاریخ ارسال به داور: ۹۸/۰۵/۲۳

تاریخ پذیرش داور: ۹۸/۰۸/۲۹

### واژگان کلیدی:

سیلاب زنی، آب نمک رقیق، لایه نفتی میدان پارس جنوبی.

### مقدمه

تزریق آب در بسیاری از مخازن شنی و بعضاً کربناته دنیا به عنوان روشی جهت ازدیاد برداشت به کار برده می‌شود. سیلاب زنی آب، نفت را به سمت چاه‌های تولیدی حرکت می‌دهد، اما با این وجود نیز نفت زیادی باقی می‌ماند [۱]. به کارگیری روش‌های مناسب برای حفظ و صیانت مخزن، بالا بردن بازده تولید و سعی بر نگه داشتن آن در حد مطلوب در طول زمان ممکن، از جمله موارد مهم و اصلی در بحث مدیریت مخازن نفتی است. تزریق آب، تزریق گاز، تزریق متناسب آب و گاز، روش حرارتی، تزریق فوم و ژل‌های پلیمری، استفاده از مواد شیمیایی کاهش دهنده‌ی نیروی کشش سطحی، شش روش ازدیاد برداشت ثانویه و استفاده از روش میکروبی به عنوان هفتمین روش ازدیاد برداشت (روش ثالثیه) از مخازن نفتی مطرح است. خصوصیات مخزن، نوع سیالات مخزن و سیال تزریقی و طرز فرار گرفتن چاه‌های تولیدی و تزریقی، سه عامل مهم در موفقیت روش‌های ازدیاد برداشت از مخازن نفتی است. در حالت واقعی ترکیب آب همزاد مخزن-آب موجود در خلل و فرج

تا چند دهه‌ی آینده، هیچ‌گونه منبع انرژی فراوان و اقتصادی‌تر که بتواند جایگزین نفت خام شود، وجود ندارد. افزایش قیمت جهانی نفت خام و نیاز روز افزون کشورهای جهان به این انرژی، مهندسين مخزن را واداشته است تا با طراحی شیوه‌ی مناسب با کمترین هزینه ممکن، بیشترین تولید را داشته باشند. مخازن نفتی در تولید اولیه درصد بازدهی پایینی دارند. یکی از معمول‌ترین روش‌های افزایش برداشت، تزریق آب به مخازن است که به دو حالت اجرا می‌شود؛ در حالت نخست، آب به زیر لایه نفت برای تثبیت فشار مخزن تزریق می‌شود در حالی که در حالت دوم، آب به داخل لایه نفتی برای جابه جایی نفت مخزن تزریق می‌گردد. تزریق آب در حالت دوم، «سیلاب زنی» نامیده می‌شود که به عنوان مهم‌ترین روش برای تثبیت فشار و ازدیاد برداشت از مخازن نفتی به‌شمار می‌آید. سیلاب زنی تقریباً ۷۵ سال است که برای ازدیاد برداشت از مخازن به کار می‌رود و در سال ۲۰۱۲ بیش از ۵۰ درصد از نفت ایالات متحده از این روش بازیافت شده است. هم‌اکنون

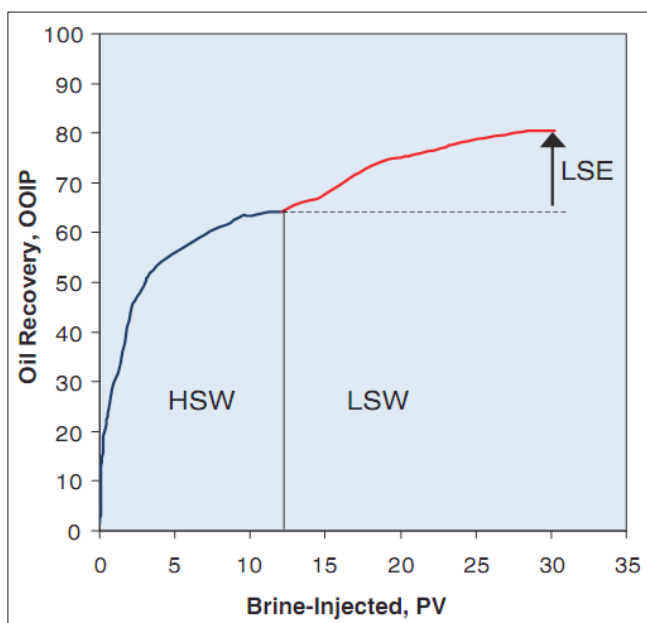
بی. پی تخمین زده است که ۴۲ میلیون بشکه اضافی در اثر این روش از این میدان قابل بازیافت خواهد بود، که بیانگر کاربردی شدن این روش در مقیاس میدانی است [۱۳].

به علاوه، «شرکت نفت عربستان سعودی»<sup>۷</sup> پروژه‌های تحقیقاتی بزرگی بر روی امکان‌سنجی تزریق آب نمک رقیق و آب هوشمند برای ازدیاد برداشت از مخازن تحت اختیار را آغاز کرده است. بسیاری از مخازن این شرکت بزرگ نفتی، دارای آبده‌های بزرگی هستند که از دهه ۱۹۵۰ تاکنون تحت تزریق آب نیز قرار گرفته‌اند. هم‌اکنون آب دریا به بعضی از مخازن این شرکت تزریق می‌گردد؛ از آنجا که تجهیزات تزریق آب این میدان از بزرگترین تجهیزات تزریقی دنیا محسوب می‌شود، اگر بتوان با تزریق آب نمک رقیق یا آب هوشمند، بازیافت نفت این میدان را افزایش داد، بسیار مقرون به صرفه خواهد بود. این نتایج با استفاده از سیلاب‌زنی آزمایشگاهی مغزه با استفاده از مغزه‌های گوناگون از یکی از میدانی کربناته‌ی عربستان سعودی انجام شده است، که پارامترهای آزمایشگاهی در آن به گونه‌ای طراحی شده‌اند که با شرایط مخزن و شرایط تزریق از جمله فشار مخزن، دما، شوری آب سازندی و شوری آب تزریقی تطابق داشته باشد؛ هر چند پتانسیل افزایش برداشت به دلیل حجم ذخیره‌ی بالای این مخازن بیشتر از مخازن ماسه سنگی است. اولین آزمایشات سیلاب‌زنی با آب شور رقیق در مغزه کربناته توسط «بگسی و همکاران» در سال ۲۰۰۱ ارائه شد. نتایج نشان داد که با کاهش درصد شوری آب و کاهش غلظت کلرید پتاسیم، بازیافت نفت افزایش می‌یابد [۱۴]. «هانگسن و همکاران» در سال ۲۰۰۵ از دو نوع آب سازندی با

سنگ مخزن به جای مانده از زمان رسوب‌گذاری و مهاجرت نفت -با ترکیب آب موجود برای تزریق متفاوت است. مطالعات آزمایشگاهی و آزمایشات میدانی بیانگر این است که تزریق آب نمک رقیق (درجه شوری کم) تا ۵,۰۰۰ پی. پی. ام زمان اقتصادی بودن تولید از میدانی که تحت سیلاب زنی آب هستند را افزایش می‌دهد [۲]. چون تزریق آب نمک رقیق به میدان از نظر عملیاتی شبیه به سیلاب زنی آب بوده و مانند روش‌های ازدیاد برداشت شیمیایی به مواد افزودنی گران نیازی نیست، در دهه‌ی اخیر توجه زیادی به این روش به عنوان روشی برای ازدیاد برداشت -حتی در مقیاس میدانی در مخازن ماسه سنگی شده است.

### ۱- مروری بر تزریق آب نمک رقیق به مخازن نفتی

از نظر تقدم زمانی «مارتین جی. سی» اولین محقق است که در سال ۱۹۵۹ افزایش بازیافت نفت را در اثر سیلاب زنی آب نمک رقیق گزارش نمود [۳] پس از ایشان آقای «برنارد» در سال ۱۹۶۷ نتیجه مشابهی را ارائه نمودند [۴] در دهه ۹۰ میلادی، محققین دانشگاه وایومینگ ایالات متحده آمریکا به مطالعه‌ی سیلاب‌زنی آب شور رقیق پرداختند و تاثیر عوامل مختلف از قبیل: آب نمک رقیق، نفت خام، نوع سنگ و ترشوندگی را بر روی این فرآیند بررسی نمودند. در سال ۱۹۹۶، «تانگ و مورو» تاثیر پارامترهای مختلف را بر بازدهی سیلاب‌زنی آب شور رقیق به طور آزمایشگاهی بررسی نمودند. این محققین تاثیر آب نمک، ترکیب نفت، «پیر شدگی»<sup>۲</sup> و دما را بر روی ترشوندگی و درصد بازیافت نفت به واسطه آشام طبیعی و سیلاب‌زنی آب بررسی نمودند. نتایج آزمایشات این محققین نشان داد که با کاهش درصد شوری آب همزاد و آب تزریقی، درصد بازیافت نفت افزایش می‌یابد. این محققین شرایط لازم برای انجام تزریق آب نمک رقیق در «ماسه سنگ برا»<sup>۲</sup> را وجود رس، آب همزاد و قراردادن محیط متخلخل در تماس با نفت برای ایجاد خاصیت «ترشوندگی مختلط»<sup>۴</sup> اعلام کردند. اگر چه این شرایط برای تزریق آب نمک لازم هستند، اما کافی نیستند [۵]. شکل ۱- تاثیر شوری آب نمک تزریقی را بر میزان بازیافت نفت نشان می‌دهد. محققین زیادی مطالعات گوناگونی بر روی سیلاب زنی آب رقیق انجام داده‌اند [۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰]. تاکنون این روش بر روی بسیاری از مخازن ماسه سنگی دنیا از جمله: در «ایالت وایومینگ آمریکا»، «آلاسکا» و «سوریه» انجام گرفته است که نتایج میدانی این روش نیز حاکی از رضایت بخش بودن آن را دارد [۱۱، ۱۲]. بر اساس اطلاعات منتشره در وبگاه شرکت نفتی «بی. پی.»<sup>۵</sup> این شرکت هم‌اکنون در حال برنامه‌ریزی برای سیلاب زنی بزرگترین منبع دریایی هیدروکربوری بریتانیا- به نام «کلر ریج»<sup>۶</sup> است. سرمایه‌ی این پروژه بیش از ۴/۵ میلیارد یورو برآورد شده است، که بیش از ۸۰ میلیون یورو آن مربوط به هزینه‌ی تجهیزات تولید آب نمک رقیق از آب دریا است. شرکت



شکل ۱ | تاثیر سیلاب زنی مغزه با آب نمک رقیق [۵]

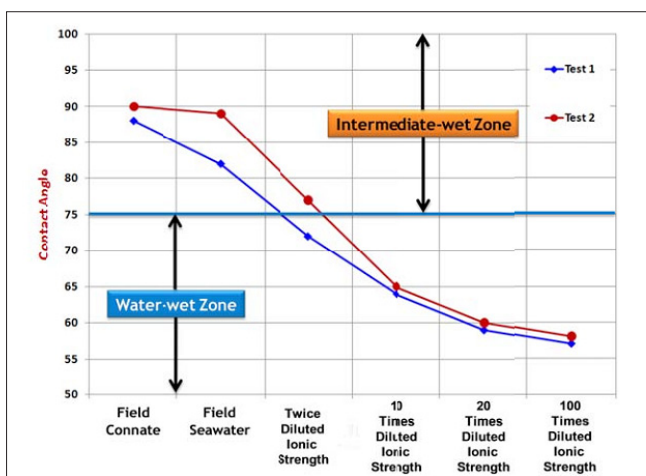
آب و ترکیب آب نمک روی ترشوندگی سنگ کربناته را بررسی نمودند. این محققین با انجام دو سری آزمایشات سیلاب زنی مغزه با آب نمک رقیق دریافتند که اگر آب دریا به نسبت دو برابر (۲۸,۸۳۵ پی. پی. ام) رقیق گردد، ۷ تا ۸/۵ درصد و اگر ده برابر (۵,۷۶۷ پی. پی. ام) رقیق شود، ۹ تا ۱۰ درصد به نفت بازیافتی افزوده می‌شود. محققین علت این امر را تغییر ترشوندگی سنگ کربناته در اثر تغییر بار الکتریکی سطح سنگ بیان کردند [۲۱ و ۲۲]. آخرین نتایج منتشر شده از این محقق که بر روی سنگ مخزن کربناته معمول انجام شده است، نشان می‌دهد که حجم زیادی نفت- تا ۱۸٪ بیشتر از سیلاب زنی معمولی آب-را می‌توان با بهینه کردن شوری آب نمک و ترکیب آن حاصل نمود. شکل ۲- نتایج آزمایشگاهی بازیافت نفت تجمعی بر حسب آب تزریقی برای آب با درجه شوری مختلف را نشان می‌دهد.

این افراد در سال ۲۰۱۲ نتایج زاویه‌ی تماس نمونه‌ی سنگ های کربناته با نفت زنده، آب همزاد، آب دریا و آب نمک رقیق را در شرایط دما و فشار مخزن منتشر نمودند و همان‌طور که در شکل ۳- دیده می‌شود، دریافتند که با افزایش درجه رقت آب نمک، زاویه تماس کاسته شده و سنگ آب دوست می‌شود.

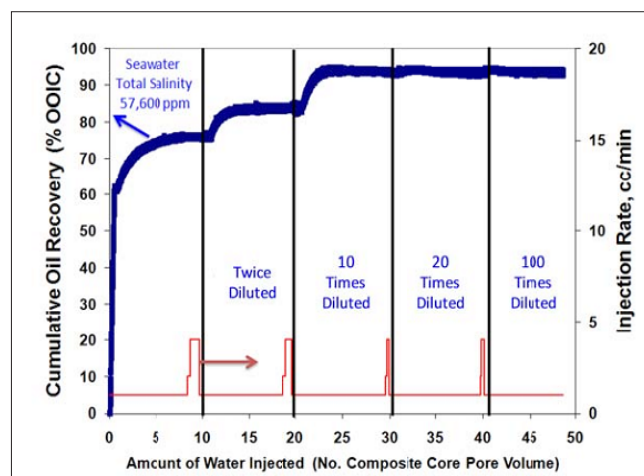
این محققین با تکرار این آزمایشات با آب نمکی که فقط حاوی یون‌های سدیم و کلر بود، دریافتند که حتی با وجود افزایش درجه رقت آب، تغییر کمی در زاویه تماس بین سنگ و سیال ایجاد می‌شود. این نتایج بیانگر این مطلب است که وجود یون‌های چندظرفیتی در آب نمک تزریقی باعث بهبود تغییرات ترشوندگی سنگ کربناته می‌گردد.

«رومانوکا و همکاران» در سال ۲۰۱۲، نتایج مطالعه‌ی گسترده بر روی نمونه سنگ‌هایی از چهار سازند کربناته و دو نمونه سنگ رخنمون را با مطالعه‌ی تاثیر درجه‌ی شوری و ترکیب آب نمک (حاوی یون سولفات) بر بازیافت

شوری مختلف استفاده نمودند. نتایج آزمایشات این افراد نشان داد که در اثر وجود یون سولفات در آب نمک، مغزه‌های نفت‌دوست به آب دوست تغییر ترشوندگی می‌دهند [۱۵]. «گوپتا و همکاران» در سال ۲۰۱۱، تاثیر یون سولفات، فسفات و بورات را بر تزریق آب دریا بررسی نمودند. نتایج نشان داد که جدا سازی یون سولفات از آب دریا باعث افزایش بازیافت می‌شود. به علاوه جدا سازی یون کلسیم نیز باعث افزایش بازیافت سیلاب زنی آب می‌گردد [۱۶]. «المحایدب» در سال ۲۰۰۴، بر روی دیسکی از جنس آهک، زاویه سطح تماس نفت و محلول کلرید سدیم با قدرت یونی گوناگون را اندازه گیری نمودند. نتایج نشان داد که با کاهش درصد شوری آب نمک از ۵۰,۰۰۰ پی. پی. ام به ۱۰,۰۰۰ پی. پی. ام، زاویه تماس از ۴۸ درجه به ۲۹ درجه تغییر می‌کند که بیانگر تغییر سنگ به حالت آب دوستی بیشتر است [۱۷]. در مطالعه‌ای مشابه، «الوتائی» در سال ۲۰۱۰ با اندازه گیری زاویه‌ی تماس بر روی نمونه‌های کلسیتی و آهکی، اعلام می‌کند که زاویه‌ی تماس آب نمک آبد (با شوری ۴۳۶,۵ پی. پی. ام) از آب سازندی با شوری ۲۳۰,۰۰۰ پی. پی. ام کمتر است [۱۸]. در سیلاب زنی آب، نیروهای فعال در حرکت سیال درون محیط متخلخل شامل: نیروهای «گرانروی یا چسبندگی»<sup>۸</sup>، «ثقلی»<sup>۹</sup> و «موینگی»<sup>۱۰</sup> است که از بین آنها، نیروی موینگی یکی از نیروهای غالب در انتهای سیلاب زنی آب است که باعث به تله‌افتادن نفت در مخزن می‌گردد. برای تولید نفت باقی مانده، لازم است این نیروی بازدارنده را به طور چشمگیری کاهش داد. تغییر ترشوندگی سنگ مخزن یکی از مهم‌ترین روش‌هایی است که تاکنون به این منظور پیشنهاد شده و نتایج موفقیت آمیزی نیز مشاهده شده است. «یوسف» یکی از محققین برجسته‌ای است که بر روی سیلاب زنی آب نمک رقیق بر روی سنگ کربناته مقالات متعددی را منتشر نموده است [۱۹، ۲۰ و ۲۱]. «یوسف و همکاران» در سال ۲۰۱۱ تاثیر شوری



شکل ۳ | تاثیر شوری آب بر زاویه‌ی تماس آب و نفت در سنگ کربناته [۲۴]



شکل ۲ | میزان بازیافت نفت تجمعی بر حسب آب تزریقی با درجات شوری متفاوت

انتظار نیست [۲۴]. اگر چه نتایج منتشر شده‌ای در زمینه‌ی اجرای تزریق آب نمک رقیق در مقیاس میدانی مخازن کربناته دیده نمی‌شود، اما چندین مقاله در مقیاس آزمایشگاهی ارائه شده است که حاکی از رضایت بخش بودن این روش در مخازن کربناته است. اگرچه ممکن است پس از بررسی‌های دقیق و جامع، این روش را نتوان در لایه‌ی نفتی میدان پارس جنوبی به کار برد، اما با توجه به دریایی بودن میدان، سنگین بودن نفت لایه، عمق کم لایه، عدم وجود گاز برای تزریق و مقرون به صرفه بودن این روش، انگیزه بررسی بیشتر این روش ایجاد می‌شود. با توجه به این که قرار است لایه‌ی نفتی میدان پارس جنوبی در مرحله‌ی اول با سیلاب زنی آب دریا تولید گردد، سیلاب زنی آب نمک رقیق را نیز می‌توان تنها به عنوان یکی از گزینه‌های مطرح در نظر گرفت، که البته اجرای آن به مطالعات آزمایشگاهی، آزمون‌های تک چاهی و پایلوت نیازمند است.

#### ۲- پرسش نامه سیلاب زنی آب نمک رقیق

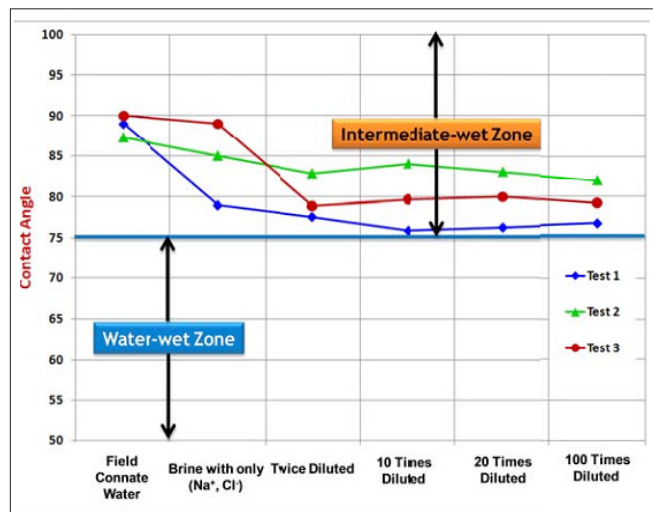
برای تصمیم‌گیری درباره به‌کارگیری فتاوری آب نمک شور در میدانی خاص، ابتدا باید به به یک‌سری سوالات درباره‌ی پتروفیزیکی، خواص سیال و تجهیزات مورد نیاز پاسخ داده شود تا بتوان پتانسیل مخزن مورد نظر و هزینه‌های مربوط به اجرا را تعیین نمود؛ در صورت مفید و مقرون به صرفه بودن این روش، در فاز اول بررسی آزمایشگاهی و در فاز دوم نیازمند اجرای روش در مقیاس تک‌چاهی و پایلوت هستیم تا بتوان درباره‌ی اجرای روش در مقیاس میدانی تصمیم‌گیری نمود.

#### ۲-۱ - خواص پتروفیزیکی

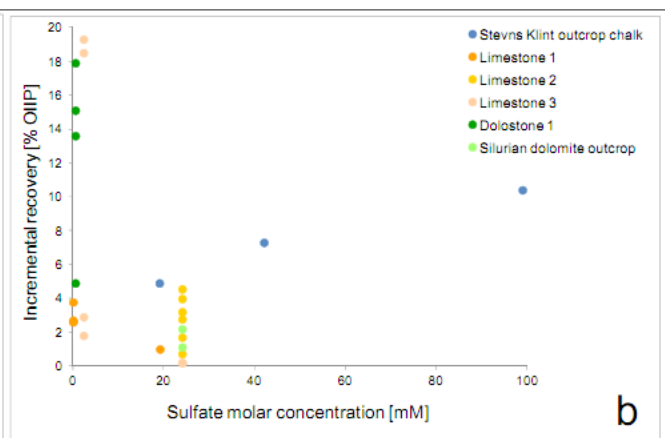
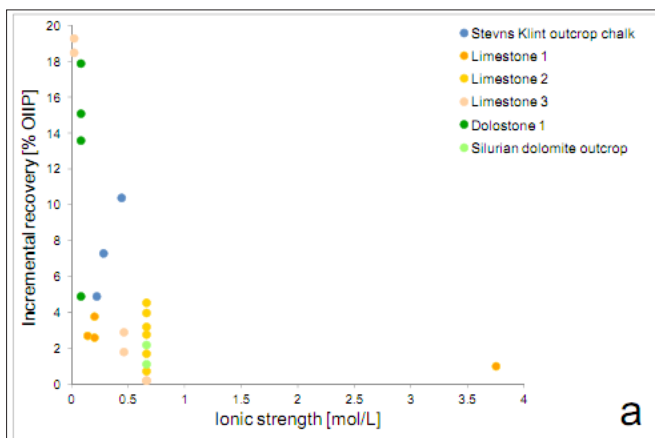
- نوع سنگ سازند
- درصد رس موجود در سنگ مخزن: درصد انواع رس موجود در سنگ مشخص گردد.

سیلاب‌زنی بر روی نمونه‌ی سنگ‌های آهکی، دولومیتی و گچی بررسی کردند. به واسطه سادگی و اهمیت «روش آموت»، از محفظه‌ی آموت برای بررسی بازدهی آزمایشات آشام خودبه خودی در شرایط مخزن و با استفاده از آب سازندی و نفت خام استفاده شده است. از آنجا که وجود آب همزاد اولیه در نتایج آزمایشات تأثیری به سزایی دارند، آزمایشات با مغزه در حضور آب همزاد صورت گرفته است. همان‌طور که در اشکال ۴ و ۵ نیز نشان داده شده است، نتایج مختلفی در اثر تزریق آب نمک رقیق مشاهده می‌شود که مربوط به تغییرات نوع کانی، ساختار حفرات و تراوایی نمونه‌ها است.

تاکنون شرایط مورد نیاز جهت تغییر ترشوندگی سنگ مخزن به خوبی شناخته نشده است؛ پیشرفت‌های بیشتر در تزریق آب نمک رقیق به مخازن کربناته، مربوط به فهم داده‌های قابل اندازه‌گیری مربوط به واکنش بین نفت/آب نمک و سنگ است. با این وجود امکان گسترده شدن و اجرای این روش بر روی مخازن کربناته در مقیاس پایلوت و میدانی دور از



شکل ۴ | تأثیر یون‌های چند ظرفیتی بر زاویه‌ی تماس آب و نفت در سنگ کربناته [۲۴]

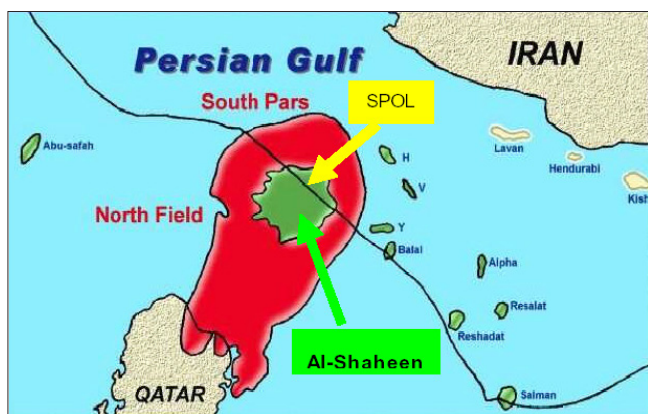


شکل ۵ | تأثیر شوری آب بر میزان بازیافت نفت در سنگ کربناته [۲۵]

لرزه نگاری دو بعدی در میدان نفتی پارس جنوبی در سال‌های ۱۹۸۸-۱۹۸۹ و لرزه نگاری سه بعدی محدود در ناحیه‌ی لایه‌های نفتی آن در سال ۱۹۹۲ انجام شد. در سال ۱۹۹۱-۱۹۹۲، در لایه‌ی داریان چاه SP-01 نفت کشف گردید و در خلال سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۰۰ حفاری چاه‌های توصیفی SPO-1، SPO-2، و SPO-3 آغاز گردید. هم‌اکنون بلوک A از این میدان از هفت حلقه چاه در حال تولید است که نفت تولیدی آن به «شناور ویژه فرآورش و ذخیره سازی نفت» منتقل، و جهت صادرات فرآورش می‌گردد. گزینه‌هایی پیش رو برای ازدیاد برداشت از این میدان را می‌توان به دو گروه تزریق گاز (اعم از هیدروکربوری و غیر هیدروکربوری) و سیلاب زنی آب تقسیم بندی نمود. با توجه به تامین گاز مصرفی کشور از این میدان عظیم گازی، امکان اجرای تزریق گاز به میدان وجود ندارد به علاوه تزریق گاز دی اکسید کربن و نیتروژن نیز عملیاتی و اقتصادی به نظر نمی‌رسد. با توجه به نفت نسبتاً سنگین لایه نفتی (با درجه‌ی API ۲۲-۱۸) سیلاب زنی آب توصیه می‌گردد که گزینه‌ی نسبتاً مناسبی با توجه به دریایی بودن میدان است. به علاوه شریک قطری در میدان الشاهین نیز در حال انجام سیلاب زنی آب به منظور ازدیاد برداشت است. نظریه اینکه سیلاب زنی آب نمک رقیق با سیلاب زنی آب دریا تفاوت چندانی به جز در تاسیسات کاهش شوری آب دریا- ندارد اجرای این روش می‌تواند به عنوان گزینه‌ی دیگر برای مطالعه بیشتر جهت ازدیاد برداشت از این لایه در نظر گرفته شود. اعمال این روش در لایه‌ی نفتی میدان، نیازمند مطالعات دقیق آزمایشگاهی (تعیین درصد بازیافت، منحنی‌های تراوایی نسبی، فشارمویینگی و تعیین شوری بهینه‌ی آب)، اجرای آن بر روی یک چاه از میدان و سپس تصمیم‌گیری درباره اجرای این روش در مقیاس میدانی است. هزینه‌های سرمایه‌گذاری جهت ساخت تجهیزات کاهش شوری آب دریا و عدم دسترسی به فناوری از عوامل بازدارنده جهت اجرای این روش محسوب می‌شوند.

### نتیجه‌گیری

در این مقاله مروری بر روش سیلاب زنی آب نمک رقیق در مخازن ماسه



۶ | موقعیت میدان نفتی الشاهین و لایه‌ی نفتی میدان پارس جنوبی

- توزیع رس کائولنیت: بیشتر در سازندهای ماسه سنگی اهمیت دارد
- نوع ترشوندگی سازند با استفاده از ضریب آموت
- درصد اشباع نفت اب باقی مانده در مخزن: ممکن است ابتدا سیلاب زنی آب بر روی سنگ انجام شده باشد
- تراوایی سازند
- محدوده‌ی تخلخل سازند
- آیا شکاف درون مخزن وجود دارد؟

### ۲-۲- خواص سیال تولیدی

- نوع نفت مخزن از لحاظ درصد ترکیبات با استفاده آنالیز نمونه و آزمون SARA<sup>۱۱</sup>
- ویسکوزیته و درجه‌ی API نفت
- دمای مخزن
- آنالیز یونی و شوری آب سازندی بر حسب پی. پی. ام.

### ۲-۳- سیال تزریقی

- منبع آب تزریقی و آنالیز یونی این آب چیست؟ برای این منظور یا باید آب شیرین موجود باشد و یا اینکه با استفاده از آب دریا، با نصب تجهیزات تولید آب نمک رقیق از آب دریا به این کار اقدام نمود. شوری آب تزریقی باید کمتر از ۵,۰۰۰ پی. پی. ام باشد.
- آیا منبع آب موجود باید از لحاظ شوری تحت فرایند قرار گیرد: بنا بر اطلاعات منتشر شده، شوری آب خلیج فارس حدود ۴۰,۰۰۰ پی. پی. ام بوده که لازم است که تجهیزات نمک زدایی بر روی سکو نصب گردند.
- آیا از لحاظ فضا و وزن امکان استفاده از تجهیزات برای پایین آوردن شوری آب وجود دارد؟ برای انجام تست در مقیاس پایلوت به حداقل ۱۰۰ مترمربع فضای فیزیکی است و همچنین سازه‌ها باید قابلیت تحمل ۱۰۰ تن وزن را دارا باشند.
- آیا تاکنون سیلاب زنی آب بر روی میدان انجام شده است؟ از چه زمانی شروع شده است؟ تاثیر سیلاب زنی چه بوده است؟ [۲۵]

### ۳- لایه نفتی میدان پارس جنوبی

لایه نفتی میدان پارس جنوبی که شامل لایه‌های معدود، «داریان بالایی» و «داریان پایینی» است، با «میدان نفتی الشاهین» قطر مشترک است. در سال ۱۹۸۴ میدان الشاهین در قطر کشف شد و در سال ۱۹۹۳ اولین چاه در این میدان حفر گردید. تولید قطر از لایه‌های نفتی در سال ۱۹۹۴ شروع شد. بر اساس اطلاعات موجود، تولید قطر از لایه‌های نفتی در سال ۲۰۰۹ به ۳۰۰,۰۰۰ بشکه در روز رسید. در سال ۲۰۱۰، شرکت «مرسک»<sup>۱۲</sup> ظرفیت تولید قطر را تا ۵۲۵,۰۰۰ بشکه در روز افزایش داد. [۲۶] شکل-۶ موقعیت میدان نفتی الشاهین و لایه‌ی نفتی میدان پارس را نشان می‌دهد.

به سیلاب زنی آب نمک رقیق شده است که نتایج رضایت بخشی نیز در مقیاس میدانی گزارش شده است. نظر به اینکه سیلاب زنی آب نمک رقیق با سیلاب زنی آب دریا مشابه است، اجرای این روش می تواند به عنوان گزینه‌ای پیش رو جهت بررسی‌های آزمایشگاهی-تحقیقاتی برای ازدیاد برداشت از لایه‌ی نفتی میدان پارس جنوبی در نظر گرفت. ■

سنگی و کربناته ارائه گردید. نتایج منتشر شده در زمینه‌ی اجرای این روش بر سنگ کربناته بیانگر تغییر ترشوندگی سنگ مخزن از نفت دوست به حالت آب دوستی است که باعث افزایش میزان بازیافت نفت می‌شود. بسیاری از مخازن کربناته، نفت دوست هستند که در خصوص سیلاب‌زنی آب در این میادین نتایج موفقیت‌آمیزی گزارش نشده است. در دهه‌ی اخیر، توجه زیادی

## منابع

- [1]. Willhite, G. Paul and Green W. Don., Enhanced Oil Recovery, Society of Petroleum Engineer, 1998.
- [2]. Morrow, N. and Buckley, J., Improved Oil Recovery by Low Salinity Waterflooding, Journal of Petroleum Technology, 2011.
- [3]. Martin, J.C.: The Effects of Clay on the Displacement of Heavy Oil by Water, paper SPE 1411-G presented in Caracas, Venezuela. Oct. 14-16, 1957.
- [4]. Bernard, G.G.: Effect of Floodwater Salinity on Recovery of Oil from Cores Containing Clays, paper SPE 1725 presented in Los Angeles, California. Oct. 26-27, 1967.
- [5]. Tang, G. and Morrow, N.R., Salinity, Temperature, Oil Composition and Oil Recovery by Waterflooding, SPE Paper 36680-MS, Nov, 1997.
- [6]. Robertson, E.P, Thomas, C.P, Zhang, Y. and Morrow, N.R. Improved Waterflooding Through Injection Brine Modification DOE Contract NO. DE-AC07-991D13727, 2003.
- [7]. Webb, K.J., Black, C.J.J., and Edmonds, I.J., Low salinity oil recovery: The role of reservoir condition core floods, Paper C18 presented at the EAGE Symposium on Improved Oil Recovery, Budapest, Hungary, 25-27 April. 2005
- [8]. Boussour, S., Cissokho, M., Cordier, P., Bertin, H., and Hamon, G., Oil Recovery by Low-Salinity Brine Injection: Laboratory Results on Outcrop and Reservoir Cores, Paper SPE 124277 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, 4-7 October. doi: 10.2118/124277-MS. 2009.
- [9]. Ashraf, A., Hadia, N.J., Torsæter, O., and Tweheyo, M.T., Laboratory investigation of low salinity waterflooding as secondary recovery process: effect of wettability, Paper SPE 129012 presented at the SPE Oil and Gas India Conference and Exhibition, Mumbai, India, 20-22 January. 2010
- [10]. Batias, J., Hamon, G., Lalanne, B., and Romero, C., Field and Laboratory Observations of Remaining Oil Saturations in a Light Oil Reservoir Flooded by a Low Salinity Aquifer. Paper SCA 2009-01 presented at the International Symposium of the Society of Core Analysts, Noordwijk aan Zee, The Netherlands, 27-30 September. 2009.
- [11]. Seccombe, J., Demonstration of Low Salinity at Interwell Scale, Endicott Field, Alaska 1, SPE 129692 presented at Improved Oil Recovery, Tulsa, Oklahoma, USA, 24-28 April. 2010.
- [12]. Robertson, E.P., Low-Salinity Waterflooding to Improve Oil Recovery - Historical Field Evidence, SPE 109965, 2007.
- [13]. <https://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/bp-magazine.html>
- [14]. Bagci, S., Kok, M.V. and Turksoy, U. Effect of Brine Composition on Oil Recovery, Waterflooding Journal of Petroleum Science and Technology, 2001.19, 3-4, 359-372.
- [15]. Hognesen, E.J., Strand, S. and Austad, T., Waterflooding of Preferential Oil-Wet Carbonates: Oil Recovery Related to Reservoir Temperature and Brine Composition, Proceedings of the SPE Europec/EAGE Annual Conference, Madrid, Spain, 13-16 June, SPE 94166, DOI 10.2118/94166-MS. 2005.
- [16]. Gupta, R., Smith Jr., P.G., Hu, L., Willingham, T.W., Cascio, M. L., Shyeh, J.J. and Harris, C.R. Enhanced Waterflood for Middle East Carbonate Cores – Impact of Injection Water Composition, Proceedings of the SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference, Manama, Bahrain, 25-28 September, SPE 142668 -MS, 2011.
- [17]. Almehaideb, R.A., Ghannam, M.T., Zekri, A.Y., Experimental Investigation of Contact Angles of Crude Oil-Microbial Solution on Carbonate Rocks”, Pet. Sci. & Technol., 2004, 22 (3-4): 423-438.
- [18]. Alotaibi, M.B., Nasralla, R.A., Nasr-el-Din, H.A., Wettability Challenges in Carbonate Reservoirs, Paper SPE 129972 presented at the SPE Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, Oklahoma, USA, 24-28 April. 2010.
- [19]. Yousef, A.A., Al-Saleh, S.H., and Al-Jawfi, M.S.: New Recovery Method for Carbonate Reservoirs through Tuning the Injection Water Salinity: Smart-Water Flooding, Paper SPE 143550, the SPE EUROPEC/EAGE Conference and Exhibition held in Vienna, Austria, 23-26 May 2011.
- [20]. Yousef, A.A., Al-Saleh, S.H., and Al-Jawfi, M.S.: Smart Water Flooding for Carbonate Reservoirs: Salinity and Role of Ions, Paper SPE141082, the SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference held in Manama, Bahrain, 25-28 September 2011.
- [21]. Yousef, A.A., Al-Saleh, S., A-Kaabu, A., Al-Jawfi, M., Laboratory Investigation of the Impact of Injection-Water Salinity and Ionic Content on Oil Recovery from Carbonate Reservoir, 2011, SPE Form Eval 14 (15): 578-593. CSUG/SPE 137634.
- [22]. Yousef, A.A., Al-Saleh, S.H., Al-Kaabi, A.O., and Al-Jawfi, M.S., Laboratory Investigation of Novel Oil Recovery Method for Carbonate Reservoirs, Paper CSUG/SPE 137634, the Canadian Unconventional Resources & International Petroleum Conference, Calgary, Alberta, Canada, 19-21 October 2010.
- [23]. Yousef, A.A. and Al-Jawfi, M., The Impact of Injection water Chemistry on Oil Recovery from carbonate Reservoirs, SPE 154077 presented at SPE EOR conference, Muscat, Oman, 16-18 April, 2012.
- [24]. Romanuka, J., Low Salinity EOR in Carbonates (2012), SPE 153869, presented at Eighteen SPE Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, Oklahoma, 14-18.
- [25]. Jonathan, Thomas, Encouraging Low Salinity Waterflood EOR in the North Sea, 2012, UK department of Energy and climate Change, Devex, Aberdeen,
- [26] <http://www.energybulletin.net/node/30698>.

## پانویس‌ها

1. Flooding
2. Aging
3. Berea Sandstone
4. Mixed wet
5. BP
6. Clair Ridge
7. Saudi Aramco
8. Viscosity
9. Gravity
10. Capillarity
11. SARA oil testing measures Saturates, Asphaltenes, Resins, Aromatics in heavy crude oil.
12. Maersk
13. Floating Production, Storage and Offloading