Archive of SID

بررسی آزمایشگاهی ترکیبات پلیمر و سورفکتنت و آلکالاین و عوامل محیطی بر روی فرمولاسیون ASP

خسرو رحیمی[۱] ، محمود همتی [۲]، حمیرا شریعت پناهی[۳]، شهاب گرامی[۴]

استاد دانشگاه علوم و تحقیقات تهران-دانشکده نفت

*آدرس پست الکترونیکی:*KHR.RAHIMI@gmail.com

چکیده

مخازن شکافدار قسمت عظیمی از ذخایر نفت و گاز در سطح جهان را در خود جای داده و سهم عمده‌ای از تولید نفت و گاز را در اختیار دارند. اینگونه مخازن از نظر ناهمگونی دارای ساختار پیچیده‌ای می‌باشند. اگرچه شکافها می‌توانند سهم بسزایی در تولید داشته باشند لیکن نفت برجای مانده در داخل ماتریس سبب می‌شود بازیافت نهایی بشدت کاهش یابد. یکی از عوامل مهم که در عملکرد ضعیف اینگونه مخازن اثرگذار است عامل ترشوندگی می‌باشد زیرا مخازن کربناته اغلب نفت دوست و میانه هستند. فرایند تزریق آب در مخازن شکافدار چندان موفق نیست زیرا توانایی ماتریس در آشام آب تزریقی و جابه‌جایی نفت به سمت سیستم شکاف ضعیف است. روش‌های شیمیایی ازدیاد برداشت از قبیل تزریق مواد ASP در مخازن شکافدار نفت دوست استفاده می‌شود. ASP به چندین روش باعث افزایش برداشت نفت تولیدی در مخازن نفت می‌شود. یکی کاهش کشش سطحی بین نفت بدام افتاده در حفره‌های کوچک و آب اطراف حفره‌ها و دیگری تغییر ترشوندگی ماتریس به سمت آب دوست است که خود باعث افزایش آشام خودبه‌خودی آب می‌شود و در نتیجه نفت تولیدی افزایش می‌یابد. هدف از انجام این تحقیق بررسی آزمایشگاهی بهینه سازی فرمولاسیون ASP بر افزایش برداشت مخزن می‌باشد.

کلمات کلیدی : ازدیاد برداشت, مواد فعال سطحی, سیستم قلیایی / فعال سطحی / پلیمر

---

[۱]- دانشجوی کارشناسی ارشد،دانشگاه آزاد اسلامی،واحد علوم و تحقیقات، تهران ،گروه مهندسی نفت،ایران

[۲]- عضو هیأت علمی پژوهشگاه صنعت نفت

[۳]- عضو هیأت علمی پژوهشگاه صنعت نفت

[۴]- عضو هیأت علمی پژوهشکده ازدیاد برداشت

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

با روند روزافزون افزایش جهانی تقاضای نفت، ضروری به نظر می‌رسد که از اینگونه مخازن بصورتی بهتر و با بازدهی بیشتر بهره‌برداری گردد. این در حالی است که موفقیت‌های نسبتاً کمی در زمینه‌ی افزایش میزان بازدهی و بهره‌برداری از اینگونه مخازن پیچیده صورت گرفته است.

فرآیندهای ثانویه‌ی تولید (همانند سیلاب‌زنی با آب)، مقادیر نفت بسیار بالایی را درون مخازن باقی می‌گذارند. این مقادیر نفت باقیمانده، بخصوص در مخازن شکافدار بسیار بالاتر می‌باشد، چرا که آب تنها از درون شکاف‌های موجود در محیط حرکت کرده و به سمت چاه‌های تولیدی جریان می‌یابد. این امر باعث می‌گردد تا مقادیر نفت بسیار زیادی درون ماتریس‌ها باقی مانده و توسط آب جابجا نشوند. از این رو، افزایش تولید نیازمند بکارگیری فرآیندهای ازدیاد برداشت می‌باشد. به طور کلی درون مخازن، سه نیرو بر چگونگی حرکت سیال درون محیط متخلخل و در نتیه میزان بازیافت نفت تأثیر گذارند: نیروهای لزجی، نیروهای جاذبه و نیروهای مویینه.[1-5]

2- مرور مطالعات قبلی

اولین بار کاربرد مواد قلیایی در ازدیاد برداشت توسط الکینسون H.Alkinson در سال ۱۹۲۷ به ثبت رسید با وجود این حتی قبل از انتشار نظریه او، در سال ۱۹۱۷ اسکوییز F.Squins گفته بود که اضافه کردن مواد قلیایی به آب باعث بهتر جابجا شدن نفت خواهد شد. افراد دیگری هم راجع به استفاده از نمکهایی مثل کربنات سدیم، سیلیکات سدیم و یا محلول‌هایی از هیدروکسیدهای سدیم و پتاسیم توضیح داده بودند. در سال ۱۹۴۲ سابکاو P.Subkaw استفاده از عوامل امولسیون کننده در محلول‌های آب برای تزریق به مخازن نفت سنگین یا قیر را ثبت کرد. علیرغم تصدیق زود هنگام این مطلب که تزریق مواد قلیایی باعث افزایش برداشت نفت می‌شود میزان موفقیت آن در کاربردهای عملی ثبت نشده بود. اولین امتحان عملی این فرایند در سال ۱۹۲۵ بود که محلول کربنات سدیم به مخزن برادفورد Brad ford تزریق گردید. نتیجه ناامید کننده بود و هیچ‌گاه جزئیات آن منتشر نشد.

در سال۱۹۲۷ ال.سی.یورن L.C Uren و ای. اچ. فامی E.H.Fahmy به این نتیجه رسیدند که رابطه مشخصی بین نیروهای کشش بین سطحی نفت و سیال سیلابه‌زنی با درصد بازیافت در فرایند سیلابه زنی وجود دارد. بدین ترتیب که راندمان سیلابه‌زنی با کاهش نیروی کشش سطحی افزایش می‌یابد. در همان سال الگویی توسط اچ. اکینسون H.Atkinson ارائه گردید که پیش‌بینی می‌کردد محلول آب و صابون یا محلول‌های آبی دیگر کشش سطحی بین نفت و سیال سیلابه‌زنی را کاهش می‌دهند و باعث افزایش بازیافت نفت می‌گردند. قبل از این مطالعات گزارش شده بود که محلول‌های قلیایی در عملیات سیلابه‌زنی باعث بازیافت نفت بیشتری می‌گردد و ناتینگ Nutting ادعا کرده بود که واکنش‌های سطوح تماس جامد – مایع باعث افزایش تولید نفت شده است. در سال ۱۹۳۱ محلول آب و صابون به مغزه ماسه سنگ‌های میادین برادفورد Brad Ford و نانگو Venango تزریق شد و نتیجه قطعی بدست نیامد و به مطالعات بعدی موکول شد. در سال ۱۹۵۲ پرستون Preston و کالون Calhoun انتقال مواد کاهنده کشش سطحی را با استفاده از روش‌های کروماتوگرافی مورد بحث قراردادند. در سال ۱۹۵۴ اجدا Ojeda و همکارانش موفق شدند رابطه بین نفت پسماند در مغزه با نسبت کشش سطحی به افت فشار را در عملیات سیلابه‌زنی مدل نمایند. مطالعات دیگری نیز براساس تزریق محلول کاهنده کشش سطحی در حلال‌های آلی (هلم و برنارد ۱۹۵۹) Holm & Bernard، استفاده میکروامولسیون‌های حاوی مواد کاهنده کشش سطحی (گوگارتی و اولسون ۱۹۶۲) Gogarty & Olson و روش‌های دیگر انجام شد. نتایج حاصل از این مطالعات حاکی از آن است که ضرورتاً دو مفهوم مختلف جهت استفاده از مواد کاهنده کشش سطحی در ازدیاد برداشت از مخازن نفتی متصور است. اولین مفهوم آن است که محلولی که دارای غلظت پائینی از سورفکتانت می‌باشد تزریق می‌شود. مواد کاهنده کشش سطحی در آب یا نفت حل می‌شوند و در حالت تعادل با توده سورفکانت که ریزساز Micelle نامیده می‌شود شناخته می‌گردد. درصد بالایی از حجم متخلخل (حدود ۱۵ تا ۶۰ درصد) از محلول به منظور کاهش نیروی کشش سطحی بین نفت و آب به درون مخزن تزریق

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود که باعث افزایش میزان استحصال نفت می‌گردد. اشباع نفت پس ماند در مخزن پس از عبور حجم زیادی از محلول به سمت صفر میل خواهد کرد. در روش دیگر درصد کمی از حجم متخلخل (حدود ۳ تا ۲۰ درصد) از یک محلول کاهنده کشش سطحی با غلظت بالاتر در مخزن تزریق می‌گردد. در غلظت بالاتر ریز ساز تبدیل به یک محلول کاهنده کشش سطحی در پلیمر و برعکس می‌گردد. در حال حاضر مطالعات آزمایشگاهی در مورد انتخاب روش بهینه جهت تزریق مواد کاهنده کشش سطحی در مخازن با هدف افزایش ضریب استحصال نفت در حال انجام است.[7-6]

۳- مراحل انجام آزمایش

ابتدا مغزه مورد نظر را بوسیله تولوئن شستشو داده و با استفاده از گاز نیتروژن آن را خشکانده تا مابقی تولوئن موجو در آن از مغزه خارج گردد.سپس این مغزه تمیز را جهت انجام ادامه ازمایش با آب مخزن مورد نظر اشباع میکنیم برای این کار از دستگاه Core Flood استفاده میکنیم،جهت تعیین مقدار آب ورودی به مغزه از استوانه مدرج بهره می بریم. برای ادامه این منظور مغزه مورد نظر را با چند دبی مانند ۲۰cc/hr و۴۰ cc/hr و ۶۰ cc/hr ادامه میدهیم تا فضاهای خالی قابل اشغال با آب پر شود و همچنین با داشتن رابطه دارسی و خصوصیات آب مخزن میتوان تراوایی آن را محاسبه کرد. کل جحم آب تزریق شده به مغزه برابرست با 9cc و با توجه به ابعاد مغزه که قطر ان ۱،۵ اینچ و طول آن ۶سانتی متر میباشد،که حجم کل سنگ برابرست با 68.24cc که با در اختیار داشتن رابطه تخلخل برابرست با ۱۳،۲٪ و تراوایی آن برابرست با 24 mD. برای اشباع مغزه با نفت مخزن مغزه مورد نظر را در درون Core holder قرار داده و با دبی متغیرcc/hr ۱۰ الی ۶۰cc/hr سیال مورد نظر را به مغزه تزریق میکنیم،برای جلوگیری از اثر end effects جهت تزریق جریان را معکوس کرده.به میزانی این روند را ادامه میدهیم تا دیگر آبی تولید نشود،که همان میزان تولید آب برابرست با میزان نفت موجود در مغزه که برابرست با 5.4cc که اشباع نفت با توجه به رابطه آن Soi=60% و Swr=40% . سپس برای انجام تست های آشام خود به خود مغزه را برای فرایند aging به مدت ۴۰ روز درون آون با دمای 65C° قرار داده تا به نیروهای میکرومدل به حالت تعادل برسند. ابتدا مغزه مورد نظر را در درون آموت سل قرار داده که با سیال مورد نظر جهت تولید نفت پر شده است قرار داده و تولید نفت را به مدت ۱۰ روز بررسی کرده لازم به ذکر است که جهت داشتن مبنایی برای اینکار ابتدا با آب مخزن و در دمای 25C° و سپس در دمای مخزن 60C° این فرآیند را ادامه میدهیم و با تغییر در فرمولاسیون ASP به بهینه ترین حالت رسیده و با بدون بعد کردن زمان و میزان تولید میتوان دید بهتری به نتایج داشت.

$$Td = t\frac{\delta * \sqrt{\frac{K}{\Phi}}}{\mu o * L^{2}}$$

۴- خصوصیات سیالات مورد استفاده شده

ویسکوزیته نفت	API	میزان شوری آب
7 cp	35.5	40,450 ppm

ترکیب آب سازند						
Na	K	Ca	Mg	HCo3	Cl	So4
۱۴۰۰۰	۲۵۰	۷۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۲۰۰۰۰	۴۷۵۰

www.SID.ir

Archive of SID

۵- انجام آزمایشات بهینه سازی:

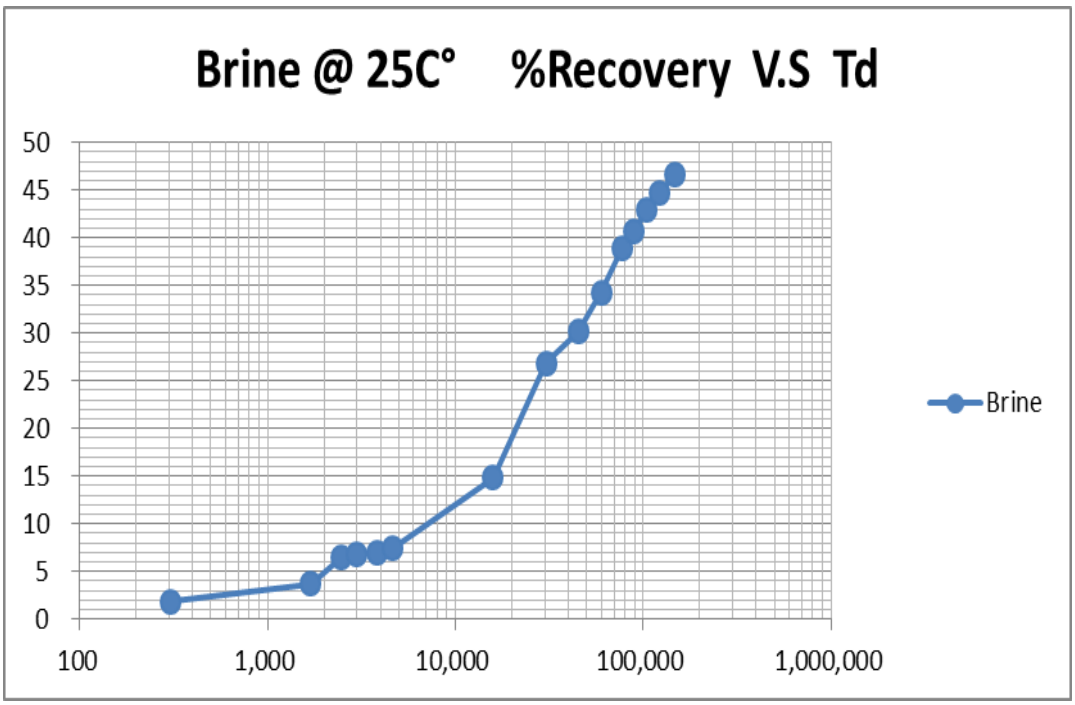
۱-فرآیند آشام خود به خود با آب سازند در دمای 25C°:

جدول ۱ مشخصات طول مغزه و IFT سیال تزریقی:

L	IFT
6 cm	30 mN/m

تولید/cc	زمان/دقیقه	% Recovery	Td
0.00	0	0.00	0
0.10	30	1.85	306
0.20	167	3.70	1,700
0.35	241	6.48	2,457
0.37	294	6.85	2,997
0.38	376	7.04	3,835
0.40	451	7.41	4,599
0.80	1,558	14.81	15,884
1.45	3,000	26.85	30,582
1.63	4,440	30.19	45,261
1.85	5,880	34.26	59,940
2.10	7,560	38.89	77,066
2.20	8,760	40.74	89,299
2.32	10,320	42.96	105,201
2.41	12,000	44.63	122,327
2.52	14,400	46.67	146,792

جدول ۲ میزان تولید نفت در آموت سل در دمای 25C°



نمودار۱ میزان تولید نفت در آموت سل در دمای 25C°

2-فرآیند آشام خود به خود با آب سازند در دمای 60C°:

جدول 3 مشخصات طول مغزه و IFT سیال تزریقی:

www.SID.ir

Archive of SID

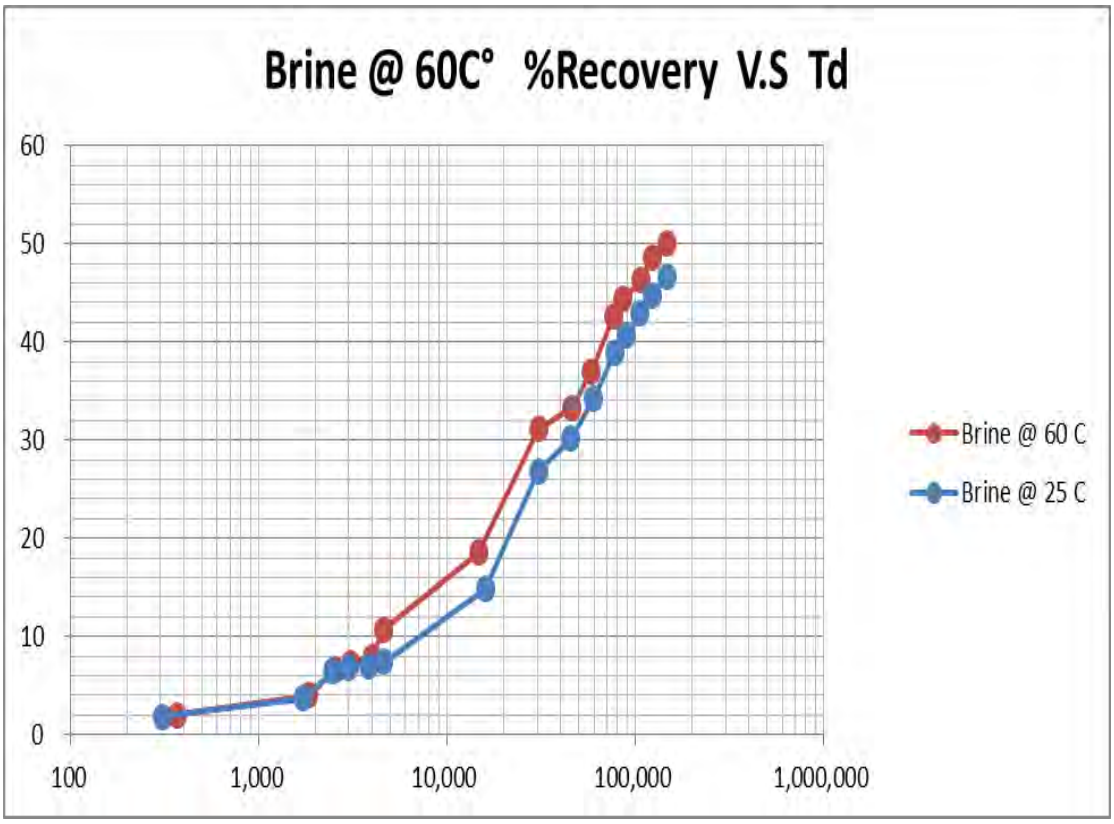
L	IFT
6 cm	30 mN/m

تولید/cc	زمان/دقیقه	% Recovery	Td
0	0	0.00	0
0.11	36	2.04	367
0.22	180	4.07	1,835
0.36	252	6.67	2,569
0.39	300	7.22	3,058
0.43	390	7.96	3,976
0.58	450	10.74	4,587
1.00	1,440	18.52	14,679
1.68	3,000	31.11	30,582
1.80	4,500	33.33	45,873
2.00	5,700	37.04	58,105
2.30	7,500	42.59	76,454
2.40	8,400	44.44	85,629
2.50	10,500	46.30	107,036
2.62	12,000	48.52	122,327
2.70	14,400	50.00	146,792

جدول 4 میزان تولید نفت در آموت سل در دمای 60C°

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار2 میزان تولید نفت در آموت سل در دمای 60C°

3-فرآیند آشام خود به خود با آب سازند با ترکیبات الکالاین،سورفکتنت و پلیمر در دمای 60C°:

Alkaline		Surfactant		Polymer
Naoh	Na2Co3	AEROSIL 200	SDS	HPAM
1000 ppm	1000 ppm	200 ppm	500 ppm	1000 ppm
IFT=4.25	IFT=7.75	IFT=0.85	IFT=1.7	IFT=30

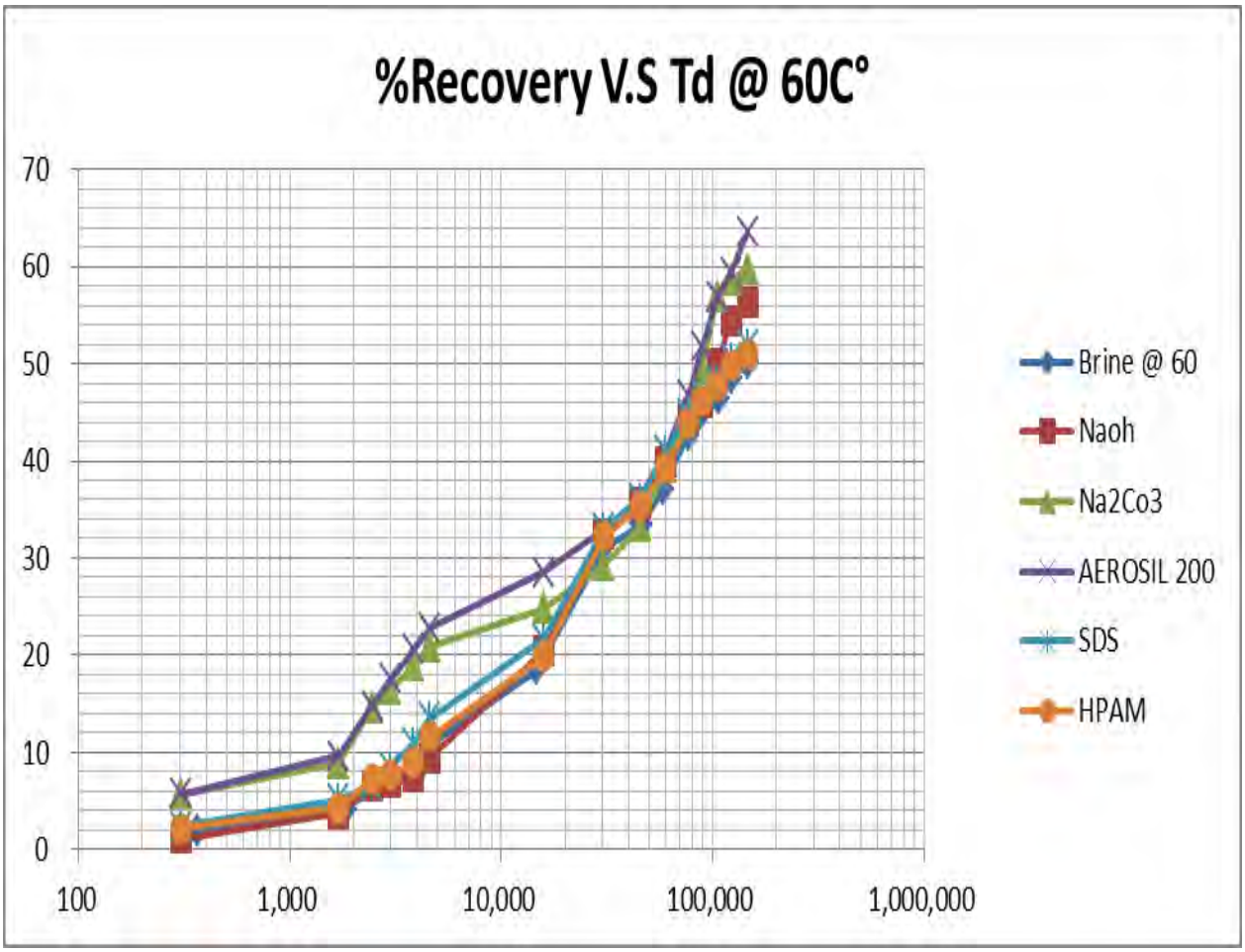
Naoh		Na2Co3		AEROSIL 200		SDS		HPAM	
% Recovery	Td	% Recovery	Td	% Recovery	Td	% Recovery	Td	% Recovery	Td
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
2.22	306	2.41	306	5.74	306	5.74	306	1.11	306
4.26	1,700	5.19	1,700	9.63	1,700	8.89	1,700	3.70	1,700
7.22	2,457	6.48	2,457	14.81	2,457	14.63	2,457	6.48	2,457
7.59	2,997	8.52	2,997	17.59	2,997	16.48	2,997	6.85	2,997
9.07	3,835	10.93	3,835	20.56	3,835	18.89	3,835	7.41	3,835
11.67	4,599	13.52	4,599	22.78	4,599	20.93	4,599	9.44	4,599
19.81	15,884	21.67	15,884	28.52	15,884	24.81	15,884	20.37	15,884
32.22	30,582	32.96	30,582	32.96	30,582	29.26	30,582	32.41	30,582
35.37	45,261	36.11	45,261	35.00	45,261	33.15	45,261	35.74	45,261
39.26	59,940	41.11	59,940	41.11	59,940	39.26	59,940	39.81	59,940
43.89	77,066	44.81	77,066	46.85	77,066	45.00	77,066	44.44	77,066

www.SID.ir

Archive of SID

46.11	89,299	46.85	89,299	51.67	89,299	49.44	89,299	45.93	89,299
47.78	105,201	48.33	105,201	56.85	105,201	56.85	105,201	50.00	105,201
49.81	122,327	50.56	122,327	59.44	122,327	58.52	122,327	54.44	122,327
50.93	146,792	51.85	146,792	63.52	146,792	59.81	146,792	56.30	146,792

جدول ۵ میزان تولید نفت در آموت سل در دمای 60C°



نمودار 3 میزان تولید نفت در آموت سل در دمای 60C°

4-فرآیند آشام خود به خود با آب سازند با ترکیبات گوناگون الکالاین،سورفکتنت و پلیمر در ساخت ASP در دمای 65C°.
در اینجا با توجه به ترکیبات متفاوت اجزا برای ساخت ASP با توجه به مطالعات کارهای گذشته گزیده ای از فعالیت های انجام شده بصورت مختصر ارایه میگردد.

ASP	Surfactant	Alkaline	Polymer	IFT
1	AER 200 ppm	Naoh 500ppm	HPAM 500ppm	23
2	AER 100 ppm	Na2Co3 500ppm	HPAM 500ppm	22
3	SDS 500 ppm	Na2Co3 500ppm	HPAM 500ppm	26
4	SDS 200ppm	Naoh 500ppm	HPAM 500ppm	24

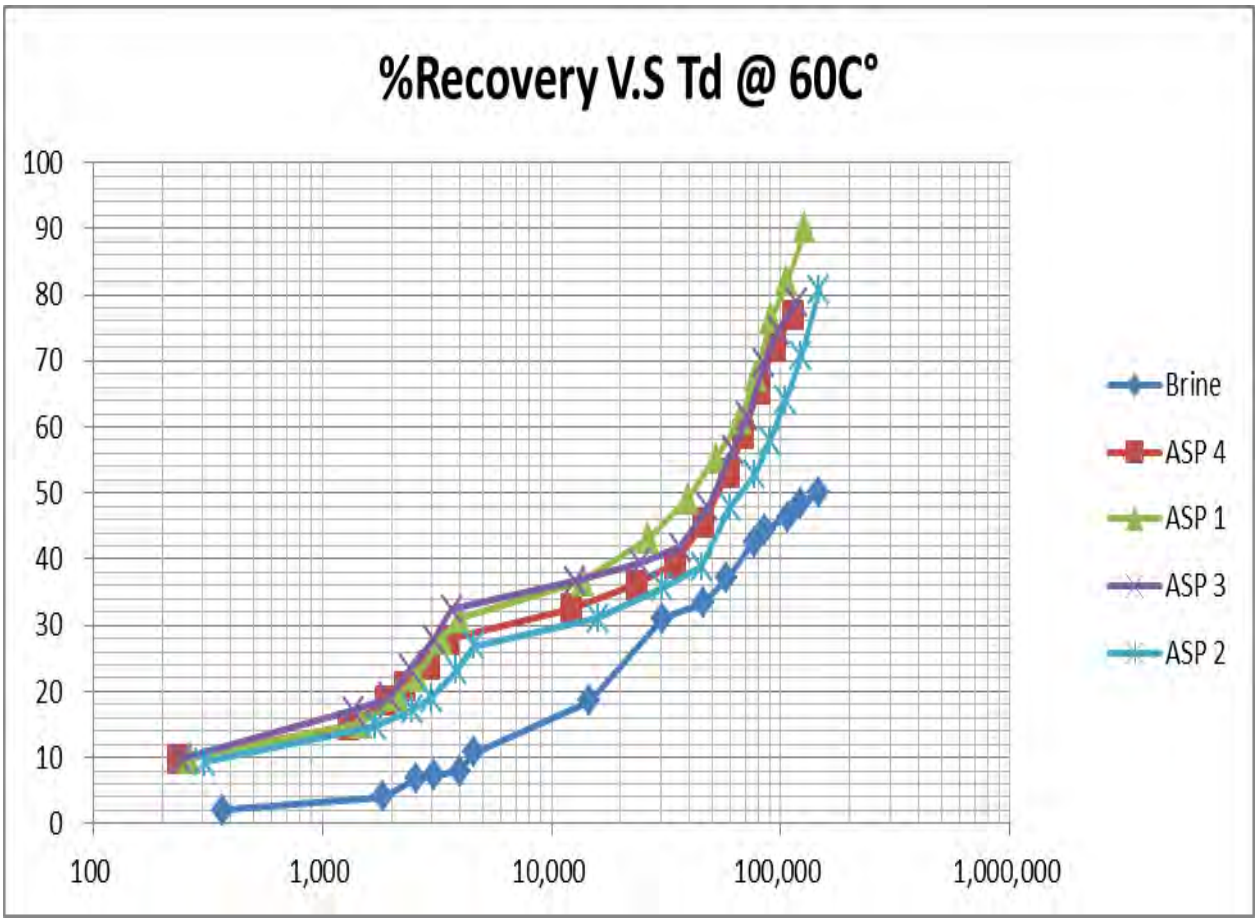
ASP 1		ASP 2		ASP 3		ASP 4	
%	Td	%	Td	%	Td	%	Td

www.SID.ir

Archive of SID

Recovery		Recovery		Recovery		Recovery	
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
10	265	9	306	10	245	10	234
15	1,474	15	1,700	17	1,360	15	1,304
19	2,129	17	2,457	19	1,966	19	1,884
22	2,597	19	2,997	23	2,398	21	2,298
28	3,324	23	3,835	28	3,068	24	2,940
31	3,986	27	4,599	32	3,680	28	3,526
37	13,766	31	15,884	37	12,707	33	12,178
43	26,504	36	30,582	39	24,465	36	23,446
49	39,226	39	45,261	42	36,209	39	34,700
55	51,948	48	59,940	48	47,952	46	45,954
61	66,790	53	77,066	56	61,653	53	59,084
68	77,392	58	89,299	61	71,439	59	68,462
76	91,174	64	105,201	70	84,161	66	80,654
82	106,017	71	122,327	75	97,861	72	93,784
90	127,220	81	146,792	79	117,434	77	112,541

جدول 6 میزان تولید نفت در آموت سل در دمای 60C°



نمودار4 میزان تولید نفت در آموت سل در دمای 60C°

5- نتیجه گیری

در بررسی میزان بازیافت نفت موجود در مغزه، اثر مواد مختلف را مورد آزمایش قرار دادیم،که نتایج زیر حاصل شد:

۱-در استفاده از نوع آلکالاین Naoh دارای PH بالاتری نسبت به Na2Co3 میباشد اما میزان رسوب کمتری تولید میکند.

www.SID.ir

Archive of SID

۲-هر دو آلکالاین مورد استفاده قرار گرفته تقریبا دارای قدرت بازیافت یکسانی میباشد اما استفاده از Na2Co3 بسیار ارزانتر میباشد.
۳-پلیمر استفاده شده در ابتدای آزمایش دارای بازیافت کمتری نسبت به آب محزن میباشد اما با گذشت زمان دارای بازیافت بیشتری میشود که دلیل آن سرعت حرکت پایین ان در ابتدای فرآیند بدلیل وزن مخصوص بالاتر آن نسبت به نفت میباشد.
۴-ترکیبات ASP استفتده شده به مراتب نسبت به سورفکتنت ها مقرون به صرفه بوده و داری بازیافت بیشتری میباشد.
۵-در شوری و دمای ثابت مخزن بیشترین را روی ASP سورفکتنت ها دارند.
۶-دربین ASP های ساخته شده نوع اول بیشترین باز دهی را دارد و دلیل اصلی آن نوع سورفکتنت مورد استفاده در این ASP میباشد که کمترین میزان نسبت به SDS جذب سنگ میشود.
۷-در ASP نوع چهارم تفاوت اندک در بازیافت نفت نشان دهنده اثر تقریبا یکسان آلکالاین ها می باشد، وهمچنین میتوان میزان بهینه SDS را 200ppm منظور کرد.
۸-با توجه به اختلاف زیاد تولید در نوع اول و دوم ASP میزان بهینه سورفکتنت همان 200ppm نوع اول باید منظور کرد.

7- مراجع

[1] Green,D.W. and Willhite,G.P.:Enhanced Oil Recovery,Textbook Series,SPE,Richardson, TX,1988,6.

[2] Hite,J. Roger, Avasthi, S.M. and Bondor, Paul L.,"Planning Successful EOR Projects," Journal of Petroleum Technology, March 2005.

[3] Moritis, g.:"new technology , Improved Economics Boost EOR Hopes",Oil & Gas Journal.(April 15,1996)94,39-61

[4] "Oil Research Program Implementation Plan ," U.S, DOE,Washington DC (April 1990).

[5] Moritis,G.,"CO_2 and HC Injection Lead EOR Production Increase,"Oil & Gas Journal.(April 23.1990)88,49-82.

[6] Willhite,G.P."Waterflooding",Textbook Series,SPE,Richardson, TX,1988,6.

[7] Moor,T.F.and Slobod.R.C."The Effectof Viscous and Capillary on the Displacement of Oil by Water ",Production monthly (Aug.1975)437-47

www.SID.ir