Archive of SID

مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
تهران، ۲۹ خرداد ماه ۱۳۹۳ مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا
تلفن: ۸۸۶۷۱۶۷۶ - ۰۲۱ www.Reservoir.ir

بررسی آزمایشگاهی اثر دما 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 در برابر تغییرات دمای مخزن 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]

۲ – مواد فعال سطحی

اولین مواد شیمیایی که جهت تغییر ترشوندگی مورد استفاده قرار گرفتند مواد فعال سطحی یا آلکالی بودند. این مواد دارای مولکول‌های آمفیفیلیک می‌باشند. مولکول‌های آمفیفیلیک از دوبخش تشکیل شده‌اند. یک قسمت آن‌ها آب دوست بوده و در آب حل می‌شود و قسمت دیگر آن‌ها نفت دوست بوده و در نفت حل می‌شود.

قسمت نفت دوست مولکول شامل یک زنجیره بزرگ از هیدروکربن‌ها در محدود C_8-C_{20} می‌باشد. مواد فعال سطحی براساس قابلیت یونی شدن بخش آب دوست مولکول‌های آن‌ها به ۴ دسته تقسیم می‌شوند[6].

- **مواد فعال سطحی آنیونی**

این مواد در صورت حل شدن در آب تولید بار منفی (آنیون) می‌نماید. گروه‌های آنیونی عبارتند از:

سولفات‌ها ($ROSO_3^-$)

فسفات‌ها (RPO_4^-)

سولفونات‌ها ($ROSO_3^-$)

کربوکسیل‌ها ($RCOO^-$)

از جمله مواد سطحی فعال آنیونی می‌توان به مواد زیر اشاره نمود:

سدیم دودسیل سولفات یا SDS($C_{12}H_{25}SO_4^-Na^+$)

سدیم دودکانوئات($C_{11}H_{23}COO^-Na^+$)

آلکیل بنزن سولفونات ($RC_6H_4SO_3^-Na^+$)

- **مواد فعال سطحی کاتیونی**

این مواد در صورت حل شدن در آب تولید یون‌های مثبت می‌نمایند. اهمیت آن‌ها از آنیون بیش‌تر است زیرا یون‌های منیزیم و سدیم موجود در آب بر روی آن‌ها اثری ندارد. لازم به ذکر است وجود یون‌های منیزیم و سدیم در آب سازند موجب رسوب مواد فعال سطحی آنیونی می‌گردد. از جمله مواد سطحی فعال کاتیونی می‌توان به نمک‌های آمونیم کواترنری با زنجیره طولانی آلکیلی و گروه‌های متیل یا هیدوکسی اتیل اشاره نمود. برخی از نمک‌های آمونیومی چهار جزیی عبارتند از:

DTAB[3] ($C_{12}H_{25}N^+Me_3Br^-$)

C_{12}TAB ($C_{16}H_{25}N^+Me_3Br^-$)

www.SID.ir

Archive of SID

- **مواد فعال سطحی خنثی**

در صورت حل شدن این مواد در آب بستگی به مقدار PH محلول تولید یون‌های مثبت و منفی می‌شود. مثال ساده این نوع مواد 3- دی متیل دودسیل آمین پروپان سولفونات می‌باشد.

- **مواد فعال سطحی غیریونی**

موادی هستند که در صورت حل شدن در آب تولید یون نمی‌کنند. این مواد در اثر وجود گروه‌های قطبی مانند پلی‌اکسی‌اتیلن ($-CH_2CH_2O-H$) یا پلی‌یول‌ها در آب حل می‌شوند.

۳ –ترکیب مواد کاهنده کشش سطحی جهت تزریق

ترکیب توده کاهنده کشش سطحی شامل حداقل چهار بخش مجزا به شرح زیر است: یک سولفونات نفتی، آبی، فاز هیدروکربوری و یک هم سورفکانت Cosurfactant می‌باشد. همه اجزا بجز هم سورفکانت با میزان مشخص به درون تانک ذخیره ریخته شده و خوب با یکدیگر مخلوط می‌شوند. عملیات فیلتر و گرم کردن با هدف تثبیت مخلوط و جلوگیری از رسوب پارافین در زمان تزریق انجام می‌شود. این ماده باعث افزایش پایداری و کاهش گرانروی می‌شود که از ضروریات افزایش تحرک‌پذیری سیال در مخزن است. سپس این محلول به درون چاه تزریق می‌گردد. در مورد مواد پلیمری نیز این مواد با میزان مشخص آب ترکیب شده و یک مخلوط همگن را بوجود می‌آورند. بدلیل اینکه سرعت انحلال پلیمر غلیظ کم است در بعضی موارد نیاز به همزن و گاهی فیلتر خواهد بود. محلول پلیمری پس از آماده‌سازی تزریق می‌گردد.[7]

۴- 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 حجم آب تزریق شده به مغزه برابرست با 9ccو 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.

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

www.SID.ir

Archive of SID

۵- 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

۶- انجام آزمایشات بهینه سازی:

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

جدول ۱ مشخصات طول مغزه و IFT سیال تزریقی:

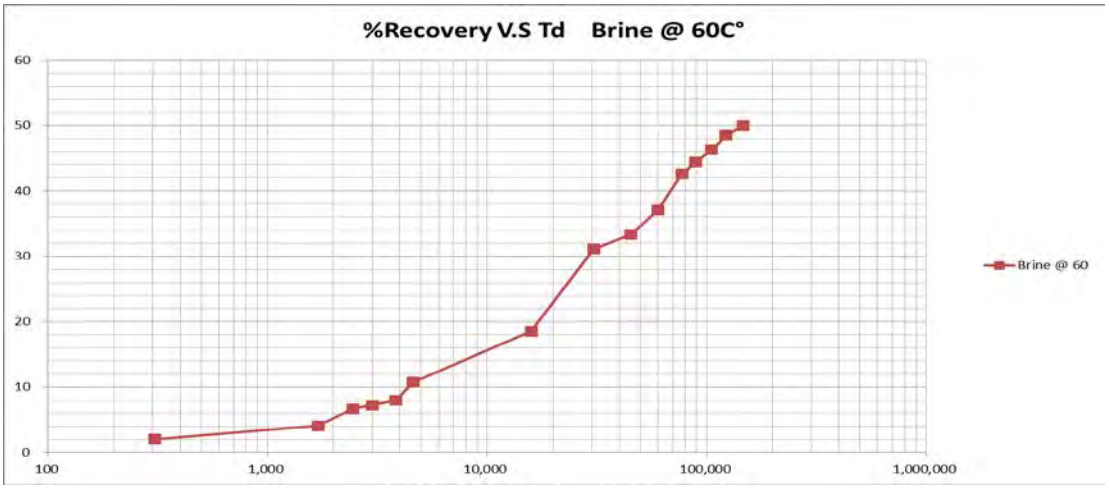
L	IFT
6 cm	30 mN/m

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

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار1 میزان تولید نفت در آموت سل در دمای 60C°

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

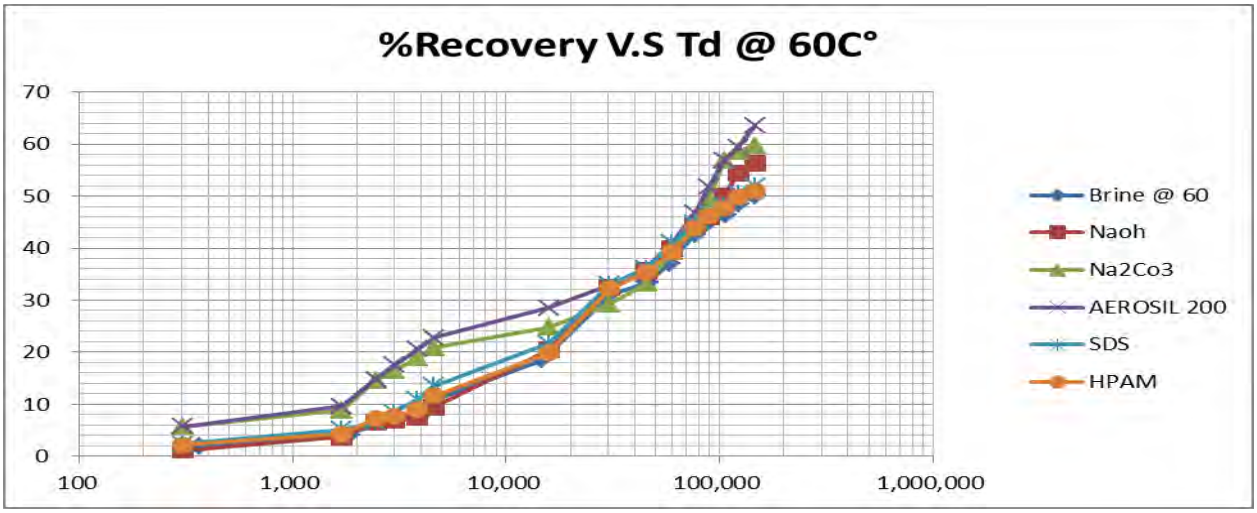
Alkaline		Surfactant		Polymer
Naoh	Na2Co3	AEROSIL 200	SDS	HPAM
1000 ppm	1000 ppm	200 ppm	500 ppm	1000 ppm
IFT=4.25	IFT=7.75	IFT=0.85	IFT=1.7	IFT=30

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

www.SID.ir

Archive of SID



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

4-فرآیند آشام خود به خود با آب سازند با شوری ترکیبات گوناگون با استفاده از ASP در دمای 60C°:

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.

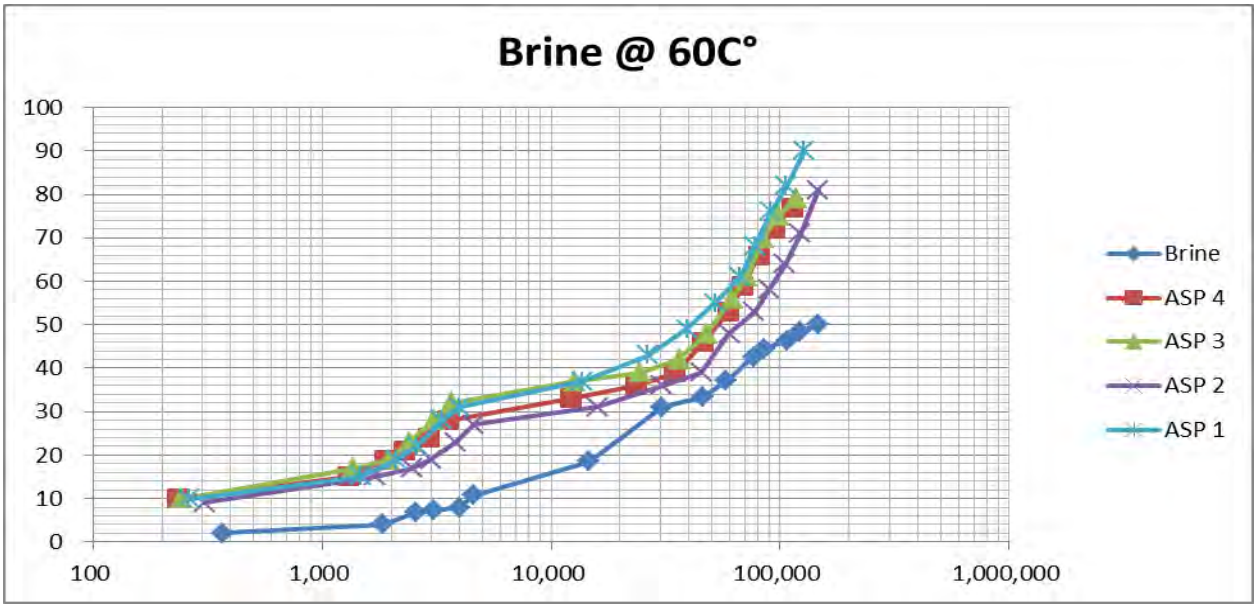
ASP	Surfactant	Alkaline	Polymer	IFT
1	AER 200 ppm	Na2Co3 500ppm	HPAM 500ppm	23
2	AER 100 ppm	Naoh 500ppm	HPAM 500ppm	22
3	SDS 500 ppm	Na2Co3 500ppm	HPAM 500ppm	26
4	SDS 200ppm	Naoh 500ppm	HPAM 500ppm	24

۴-۱ در دمای 60C°

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

www.SID.ir

Archive of SID

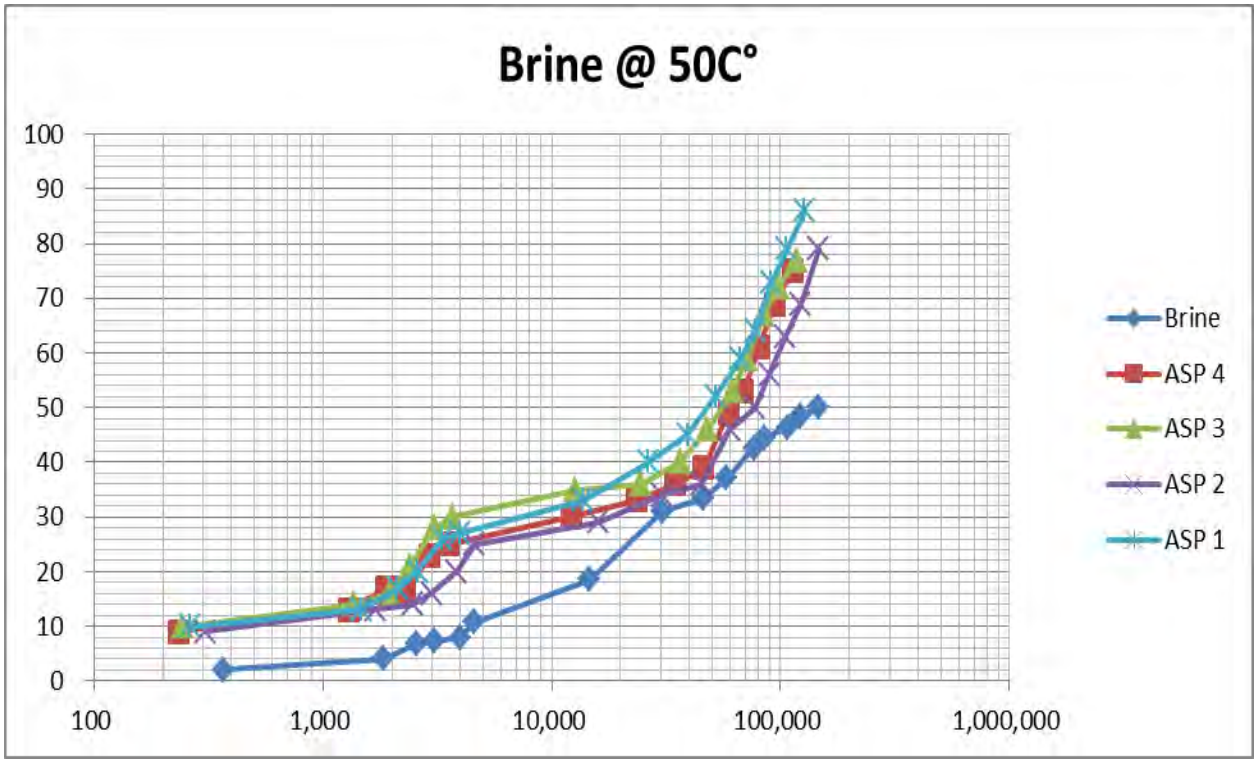


2-4 در دمای 50C°

ASP 1		ASP 2		ASP 3		ASP 4	
% Recovery	Td	% Recovery	Td	% Recovery	Td	% Recovery	Td
-	-	-	-	-	-	-	-
10	265	9	306	10	245	9	234
13	1,474	13	1,700	14	1,360	13	1,304
17	2,129	14	2,457	16	1,966	17	1,884
20	2,597	16	2,997	21	2,398	16	2,298
26	3,324	20	3,835	28	3,068	23	2,940
27	3,986	25	4,599	30	3,680	25	3,526
33	13,766	29	15,884	35	12,707	30	12,178
40	26,504	34	30,582	36	24,465	33	23,446
45	39,226	36	45,261	40	36,209	36	34,700
52	51,948	46	59,940	46	47,952	39	45,954
59	66,790	50	77,066	53	61,653	49	59,084
64	77,392	56	89,299	59	71,439	53	68,462
73	91,174	63	105,201	67	84,161	61	80,654
79	106,017	69	122,327	72	97,861	69	93,784
86	127,220	79	146,792	77	117,434	75	112,541

www.SID.ir

Archive of SID

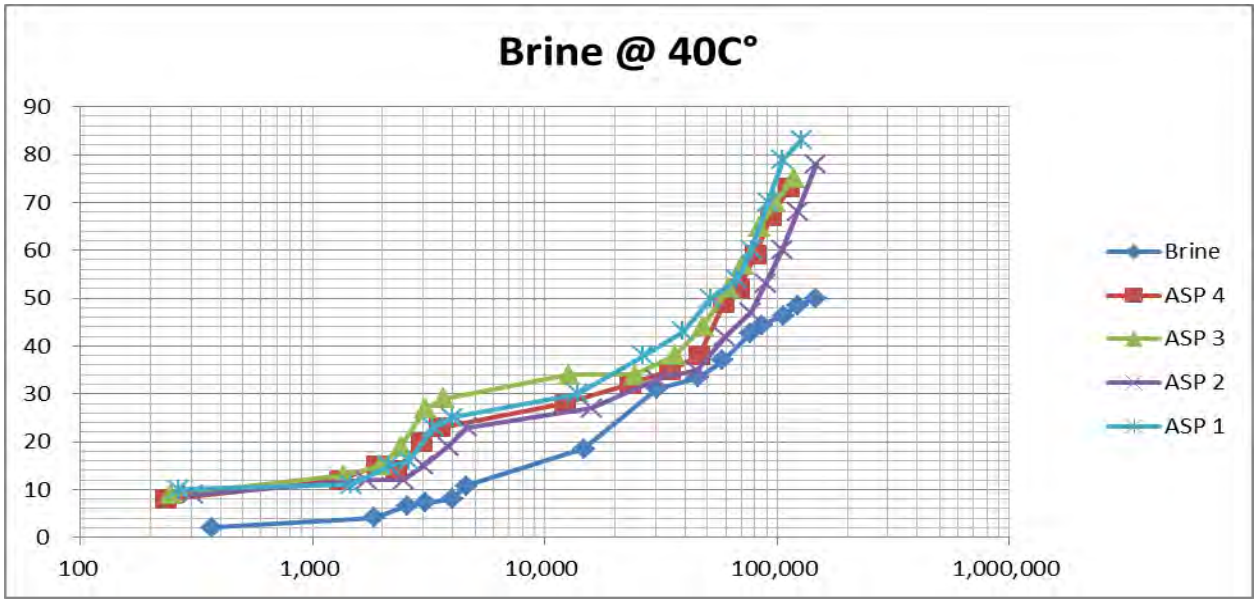


3-4 در دمای 40C°

ASP 1		ASP 2		ASP 3		ASP 4	
% Recovery	Td	% Recovery	Td	% Recovery	Td	% Recovery	Td
-	-	-	-	-	-	-	-
10	265	9	306	9	245	8	234
11	1,474	12	1,700	13	1,360	12	1,304
15	2,129	12	2,457	15	1,966	15	1,884
16	2,597	15	2,997	19	2,398	14	2,298
23	3,324	19	3,835	27	3,068	20	2,940
25	3,986	23	4,599	29	3,680	23	3,526
30	13,766	27	15,884	34	12,707	28	12,178
38	26,504	33	30,582	34	24,465	32	23,446
43	39,226	35	45,261	38	36,209	35	34,700
50	51,948	42	59,940	44	47,952	38	45,954
54	66,790	47	77,066	52	61,653	49	59,084
60	77,392	53	89,299	57	71,439	52	68,462
70	91,174	60	105,201	65	84,161	59	80,654
79	106,017	68	122,327	70	97,861	67	93,784
83	127,220	78	146,792	75	117,434	73	112,541

www.SID.ir

Archive of SID

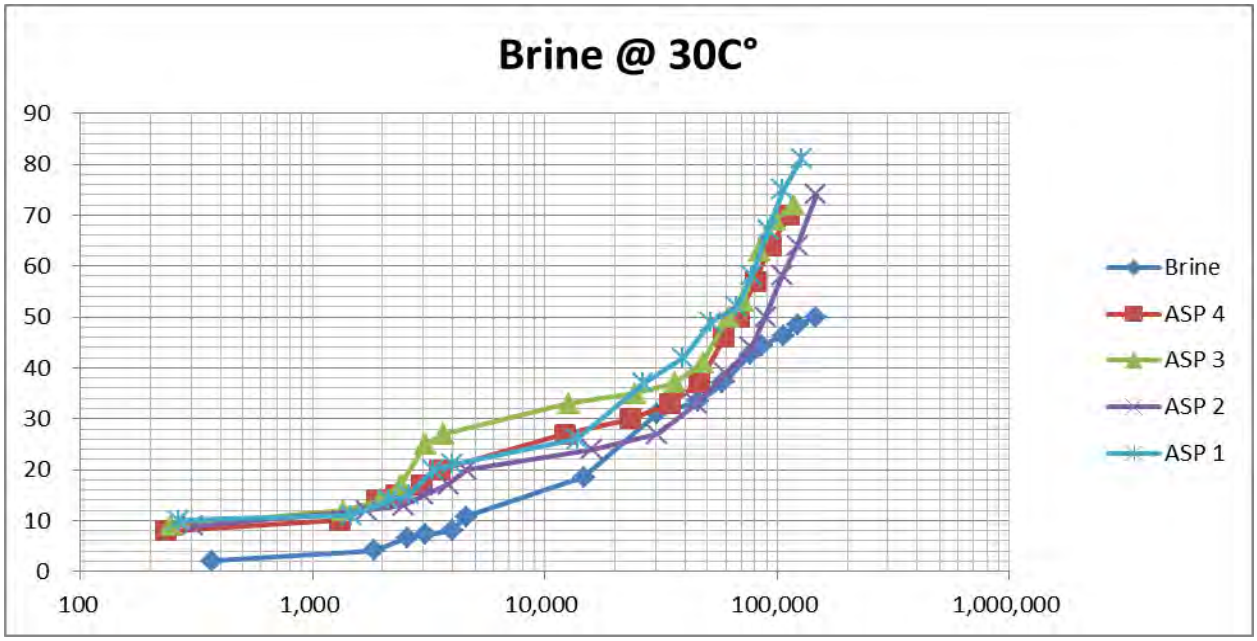


4-4 در دمای 30C°

ASP 1		ASP 2		ASP 3		ASP 4	
% Recovery	Td	% Recovery	Td	% Recovery	Td	% Recovery	Td
-	-	-	-	-	-	-	-
10	265	9	306	9	245	8	234
11	1,474	12	1,700	12	1,360	10	1,304
14	2,129	13	2,457	14	1,966	14	1,884
15	2,597	15	2,997	17	2,398	15	2,298
20	3,324	17	3,835	25	3,068	17	2,940
21	3,986	20	4,599	27	3,680	20	3,526
26	13,766	24	15,884	33	12,707	27	12,178
37	26,504	27	30,582	35	24,465	30	23,446
42	39,226	33	45,261	37	36,209	33	34,700
49	51,948	39	59,940	41	47,952	37	45,954
52	66,790	44	77,066	50	61,653	46	59,084
58	77,392	50	89,299	53	71,439	50	68,462
67	91,174	58	105,201	63	84,161	57	80,654
75	106,017	64	122,327	69	97,861	64	93,784
81	127,220	74	146,792	72	117,434	70	112,541

www.SID.ir

Archive of SID



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.

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-در بررسی بین ASP های مختلف ساخته شده نشان میدهد که با کاهش دمای آزمایش میزان بازیافت نفت کاهش می یابد و علت اصلی آن عدم کارایی بسیاری از ترکیبات موجود در ASP میباشد.

۵-با افزایش دما،گرانروی نفت کاهش پیدا کرده در ترکیب های مشابه ASP قدرت ازدیاد برداشت Na2Co3 بیشتر از Naoh میباشد و دلیل اصلی آن تولید رسوب کمتر نسبت به نوع دیگر میباشد.

۶- دمای بهینه برای ASP های ساخته شده 60C° میباشد،که با افزایش دما بیش از این کارایی پلیمر از دست میرود و با کاهش دما باعث افزایش گرانروی نفت شده و میزان بازیافت نفت کاهش می یابد.

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