

## بررسی تأثیر غلظت بسیار بر بازیافت نفت در مدل شن فشرده

وحید جهانگیر، اقبال صحرایی\*، علیرضا طباطبایی نژاد

تبریز، دانشگاه صنعتی سهند، دانشکده مهندسی شیمی

پیام‌نگار: sahraei@sut.ac.ir

### چکیده

امروزه استفاده از روش‌های ازدیاد برداشت، به منظور برداشت بیشتر از مخازن نفتی از اهمیت بسیاری برخوردار است. از جمله روش‌های ازدیاد برداشت تزریق بسیار می‌باشد که به تنهایی یا به همراه دیگر روش‌های ازدیاد برداشت از آن استفاده می‌شود. در این مقاله استفاده از بسیار به عنوان یکی از روش‌های ازدیاد برداشت مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور از محلول بسیاری پلی‌اکریل آمید با غلظت‌های ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ ppm استفاده شده است. تزریق بسیار به عنوان بازیابی مرتبه سوم است. در این تحقیق پس از سیلابزنی با آب، هنگامی که ۸۰٪ میزان بازیافت سیال را برش آب تشکیل داد ۰/۳ حجم فضای خالی محلول بسیاری به مدل تزریق شده و مجدداً تزریق آب از سر گرفته شده است. کلیه آزمون‌ها در دمای ۶۰°C انجام گرفته‌اند و نتایج حاصله نشان‌دهنده افزایش بازیافت به میزان ۱۵ تا ۲۶٪ بیش از تولید تحت سیلابزنی با آب می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** ازدیاد برداشت نفت، تزریق بسیار، پلی‌اکریل آمید، مدل شن فشرده

### ۱- مقدمه

ازدیاد برداشت مورد استفاده قرار می‌گیرد. [۲]

بسیار تزریقی، با کاهش تحرک آب و در نتیجه افزایش کسر جریان نفت، موجب افزایش بازدهی جاروبزنی حجمی، و به صورت مستقیم، موجب افزایش بازیافت نفت می‌شود. همچنین در بخشی از مخزن که بسیار نفوذ می‌کند، بعثت افزایش گرانیروی و کاهش نفوذپذیری، در برابر جریان مقاومت می‌کند و باعث می‌شود تا آب تزریق شده به قسمتی از مخزن که قبلاً جاروب نشده است یا بطور ضعیفی جاروب شده است منحرف شود. [۳] در کل، اشباع نفت کم‌تحرک، یک عامل نامطلوب برای سیلابزنی با بسیار و همچنین تزریق آب است. نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده به وسیله نیدهام<sup>۲</sup> نشان می‌دهند که اشباع نفت متحرک، یک متغیر کلیدی برای تشخیص توفیق یا عدم توفیق تزریق بسیار است. [۳] براساس نتایجی که تا به حال منتشر شده‌اند،

در چهل سال گذشته، مطالعات وسیعی در زمینه تزریق بسیار انجام شده است. بازدهی تزریق آب، با کاهش نسبت تحرک آب به نفت در سیستم به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. چنین تغییری باعث افزایش بازدهی جاروب زنی و جابه‌جایی بیشتر در ناحیه جاروب زده شده خواهد شد. با افزودن محلول بسیاری مناسب به آب تزریقی، تحرک آب کاهش یافته و بازیافت نفت، افزایش خواهد یافت. [۱]

عامل مهم در بهبود بازدهی جاروبزنی، کنترل تحرک سیال جاروب‌کننده یا کاهش نسبت تحرک<sup>۱</sup> می‌باشد. برای تغییر نسبت تحرک افزایش گرانیروی سیال جابه‌جاکننده ساده‌ترین راه ممکن است. افزودن بسیار به آب تزریقی موجب بالا رفتن گرانیروی سیال شده و از این جهت به عنوان کنترل‌کننده تحرک در فرایندهای

2. Needham

1. Mobility Ratio

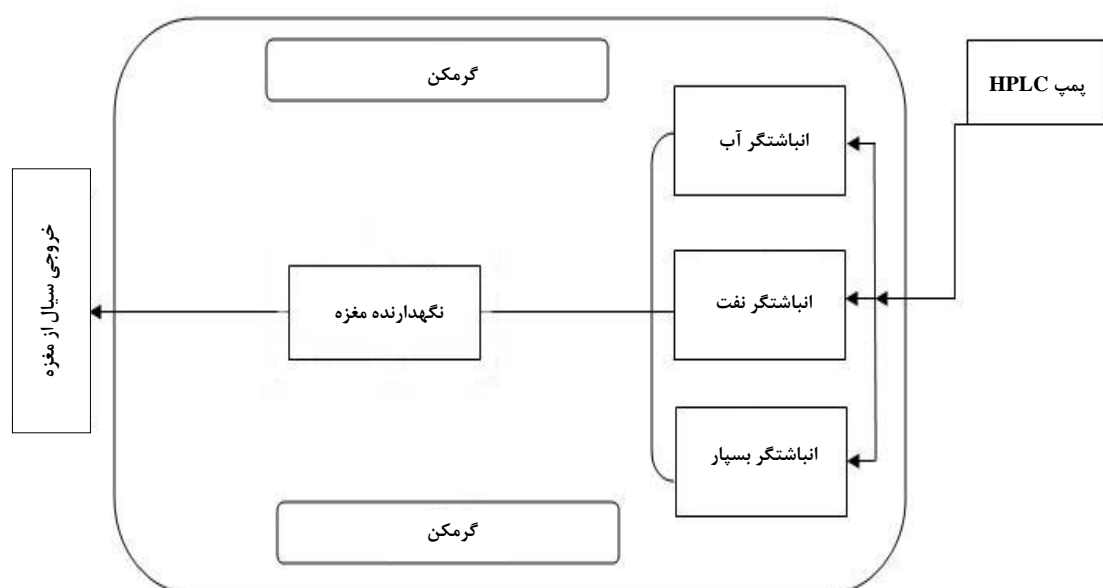
کنترل‌کننده دما می‌باشد. این سیستم وظیفه تأمین گرمای مورد نیاز به منظور شبیه‌سازی دمای مخزن را بر عهده دارد و دمای یکنواختی را در حمام دمایی برقرار می‌سازد. مدل شن فشرده و مجموعه انباشتگرها در محفظه این حمام هوا قرار می‌گیرند. در سیستم آزمایشگاهی از سه انباشتگر با پیستون متحرک که در داخل حمام دمایی نصب می‌شود استفاده شده است. این سه انباشتگر به ترتیب جهت ذخیره و تزریق آب نمک، نفت و بسیار استفاده می‌شود. با تزریق آب مقطر به زیر پیستون، پیستون به سمت بالا رانده می‌شود و در نتیجه سیال موجود در قسمت بالایی پیستون از طریق خروجی خارج و به داخل مدل تزریق می‌شود. در شکل (۱) نمای اجمالی دستگاه آورده شده است.

به منظور تزریق سیال لازم است از پمپی با دقت بالا استفاده شود. در این سیستم از پمپ HPLC با توانایی تزریق با دقت  $0.001$  (cc/min) استفاده شده است. در آزمون‌های انجام شده از نمونه نفت مرده سازند آسماری مخزن اهواز با چگالی نسبی  $0.8848$  استفاده شده است. همچنین آب نمک مورد استفاده کلرید سدیم با غلظت  $200$  (g/Lit) می‌باشد که از آن برای اشباع اولیه و همچنین به‌عنوان سیال تزریقی در مرحله ثانوی ازدیاد برداشت استفاده شده است.

تزریق ثانویه، منجر به تولید نفت بیشتری نسبت به تزریق مرتبه سوم می‌شود مضافاً اینکه مصرف بسیار نیز کمتر خواهد بود. در نتیجه بهتر است تزریق بسیار تا حد امکان در ابتدای تزریق آب انجام پذیرد. [۴] در مخازن ناهمگن، استفاده از غلظت‌های بالای بسیار، نتایج بهتری در پی داشته و هرچه ناهمگنی مخزن کمتر باشد، استفاده از بسیار با غلظت کمتر مؤثرتر است. [۵] مطالعاتی که بر روی تأثیر غلظت بسیار تزریق شده بر بازیافت نفت انجام شده است نمایانگر آن است که تزریق بسیار با غلظت بالاتر می‌تواند بازیافت نفت را بیشتر افزایش دهد و تولید بیشتری را به همراه داشته باشد. [۶] یکی از مهم‌ترین موانع استفاده از مواد شیمیایی نظیر بسیارها در ازدیاد برداشت نفت، هزینه بالای مواد مصرفی است؛ استفاده از غلظت‌های پایینتر محلول بسیاری یکی از راههای کاهش هزینه‌های تمام شده است. در تحقیق حاضر اثر تغییر غلظت بسیار در غلظت‌های کم (کمتر از  $500$  ppm) بر بازیافت نهایی نفت در مدل شن فشرده مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- شرح سیستم آزمایش

برای انجام آزمایش‌ها از دستگاه شبیه ساز ازدیاد برداشت، ساخته شده در دانشگاه صنعتی سهند استفاده شده است. دستگاه مورد استفاده شامل یک حمام ترموستاتیک (دمایی) و سیستم



شکل ۱- نمای اجمالی دستگاه شبیه ساز مطالعات ازدیاد برداشت

شده‌اند. میزان بازیافت به‌صورت نسبت نفت استخراج شده از مدل به میزان نفت اولیه درون مدل محاسبه شده‌است. جهت انجام محاسبات ضروری است که تصحیحات لازم مربوط به نفت موجود در اتصالات ابتدا و انتهای مدل بر میزان اشباع اولیه و میزان بازیافت در نظر گرفته شود.

دمای انجام آزمون‌ها  $60^{\circ}\text{C}$  در نظر گرفته شده است. در آزمون‌های انجام شده ابتدا اقدام به تزریق آب شده است و این تزریق تا زمان رسیدن به برش آب به بیش از  $80\%$  ادامه می‌یابد. نرخ تزریق آب  $1\text{ (cc/min)}$  در نظر گرفته شده و سپس اقدام به تزریق بسیار به میزان یک سوم حجم حفره و با شدت جریان  $0.2\text{ (cc/min)}$  شده است. در نهایت تزریق آب مجدداً با نرخ قبلی آغاز شده و تا جایی ادامه می‌یابد که تغییر محسوسی در مقدار بازیافت نفت در بازه قابل توجهی از زمان حاصل نشود.

در آزمون اول، ابتدا اقدام به تزریق آب در مدل شده است. هدف از انجام این آزمون برآورد عملکرد آب به عنوان تنها سیال تزریق شده و به‌دست آوردن بازیافت نهایی نفت به‌وسیله تزریق آب می‌باشد. تمامی پارامترها، در این آزمایش، برای آزمون‌های دیگر تکرار شده است و تنها تفاوت در انجام آزمون‌ها استفاده از بسیار به همراه تزریق آب می‌باشد.

در آزمون‌های بعد نیز ابتدا اقدام به تزریق آب شده است. پس از رسیدن نسبت آب تولیدی به  $80\%$ ، تزریق آب متوقف شده و بسیار به داخل مدل تزریق می‌شود. پس از تزریق بسیار به میزان  $0.3$  مقدار حجم حفره، تزریق بسیار قطع شده و مجدداً تزریق آب با شدت جریان حجمی برابر با قبل از تزریق بسیار از سر گرفته می‌شود. تزریق آب تا زمانی که با گذشت زمان تغییر محسوسی در بازیافت نفت حاصل نشود ادامه می‌یابد.

#### ۴- نتایج و بحث

در شکل (۲) میزان بازیافت نفت در مدل شن فشرده تحت رانش آب نشان داده شده است. این آزمایش برای سنجش میزان بازیافت نهایی در حالت تولید ثانوی (تزریق آب) انجام شده و امکان مقایسه بازیافت نهایی، بازیافت ثانوی و مرتبه سوم (تزریق بسیار) را فراهم می‌آورد. همان‌گونه که در شکل (۲) نشان داده شده‌است بازیافت نهایی تحت رانش آب در مدل آزمایش  $57\%$  می‌باشد.

برای آماده‌سازی مدل شن فشرده از سیلیس دانریز با مش  $100$  الی  $200$  استفاده شده است. قبل از قرار گرفتن دانه‌های سیلیس در درون مغزه‌نگهدار ابتدا دانه‌ها به‌خوبی شسته شده و کاملاً خشک شدند. جهت انجام آزمون‌ها از مدلی به طول  $34/56\text{ cm}$  و قطر  $2/376\text{ cm}$  برای آماده‌سازی مدل شن فشرده استفاده شده است. پس از آماده‌سازی مدل شن فشرده قبل از شروع آزمون، باید نسبت به اشباع اولیه مدل از آب نمک، جهت برقراری مقدار اشباع آب همزاد، و پس از آن، اندازه‌گیری تراوایی و اشباع اولیه مدل از نمونه نفت اقدام گردد. در طول این مرحله داده‌های تخلخل، مقدار اشباع آب همزاد، مقدار حجم حفره نیز مورد محاسبه قرار گرفته‌است. مقادیر پارامترهای مدل برای هر آزمون در جدول (۱) منعکس شده است.

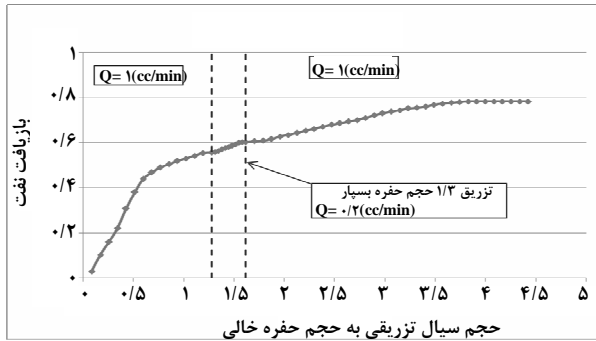
جدول ۱- پارامترهای اندازه‌گیری شده مدل در هر آزمون

شماره آزمون	غلظت بسیار	اشباع آب همزاد (%)	تراوایی مطلق (mD)	تخلخل (%)	حجم حفره (Cc)
۱	-	27/32	211/37	33/78	51/74
۲	100ppm	26/43	213/709	34/53	52/88
۳	300Ppm	30/12	197/87	30/18	46/22
۴	500Ppm	28/71	210/589	32/28	49/45

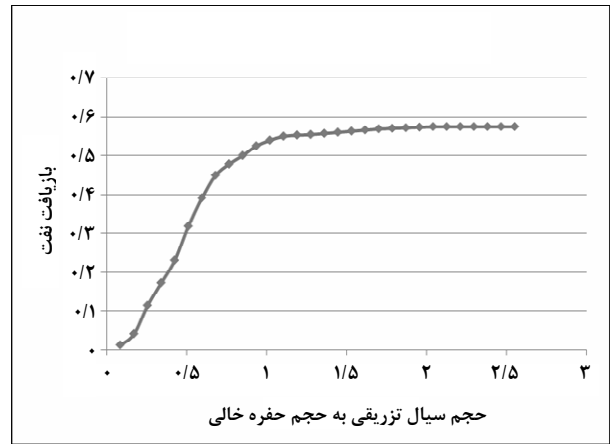
#### ۳- شرح آزمایش‌ها

در این مطالعه تأثیر تزریق پلی‌اکریل آمید با غلظت پایین در فرایند ازدیاد برداشت نفت مورد بررسی قرار گرفته است. انتخاب غلظت پایین به این علت است که در پروژه‌های ازدیاد برداشت، خصوصاً در تزریق مواد شیمیایی، هزینه از مهم‌ترین عواملی است که باید مورد توجه قرار گیرد. در این شرایط استفاده از بسیار با غلظت پایین می‌تواند گزینه مناسبی برای کاهش هزینه‌های تمام شده باشد.

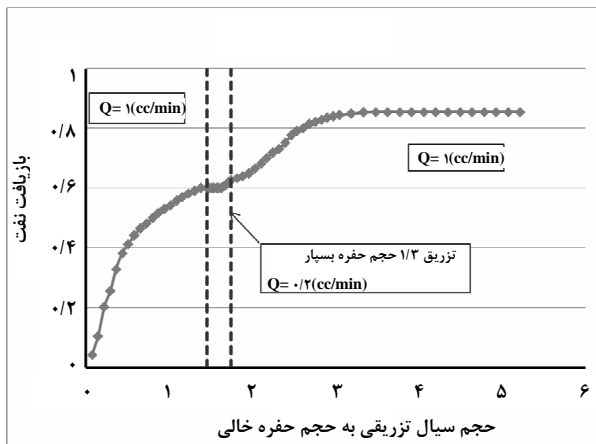
در تحقیق حاضر جهت تهیه محلول بسیاری، از پلی‌اکریل آمید با وزن مولکولی  $10^6 \times 8$  با سه غلظت  $300, 100$  و  $500\text{ ppm}$  استفاده شده است. در آزمون اول تنها اقدام به تزریق آب شده است و نتایج این آزمون به‌عنوان مرجعی برای مقایسه نتایج دیگر آزمون‌ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. سپس سه نمونه بسیار در مدل شن فشرده آزمایش شده‌اند و نتایج حاصل از بازیافت نهایی و همچنین اختلاف فشار ایجاد شده پس از تزریق بسیار نسبت به قبل مقایسه



شکل ۴- درصد بازیافت بر حسب حجم حفره تزریقی برای بسیار با غلظت ۳۰۰ ppm

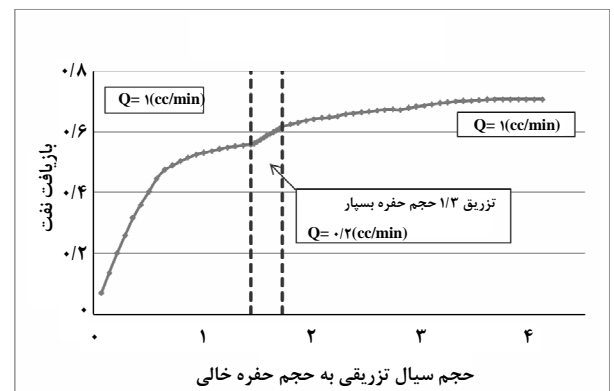


شکل ۲- بازیافت نهایی بر حسب مقدار حجم حفره تزریقی در آزمون تزریق آب



شکل ۵- درصد بازیافت بر حسب حجم حفره تزریقی برای بسیار با غلظت ۵۰۰ ppm

در شکل‌های (۳) تا (۵) به ترتیب نتیجه تزریق بسیار با غلظت‌های ۱۰۰، ۳۰۰ و ۵۰۰ ppm آورده شده است. در هر سه حالت تزریق بسیار در میزان برش آب ۸۰٪ و به میزان ۰/۳ حجم حفره مدل انجام شده است و با افزایش غلظت محلول بسیار تزریقی میزان بازیافت، افزایش نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل (۳) دیده می‌شود در غلظت ۱۰۰ ppm میزان بازیافت نفت با تزریق بسیار افزوده می‌شود که این افزایش با شیب کمی صورت می‌پذیرد و تا مقدار ۷۴/۷۰٪ ادامه پیدا می‌کند. در غلظت‌های ۳۰۰ ppm (شکل (۴)) این افزایش با شیب تندتر و تا مقدار ۷۸/۱٪ است و در غلظت ۵۰۰ ppm بازیافت با شیب تندتری نسبت به دو حالت قبل افزایش می‌یابد و به ۸۵/۴۹٪ می‌رسد که در شکل (۵) نمایش داده شده است.

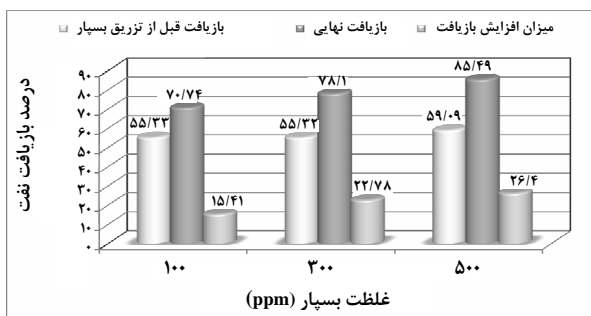


شکل ۳- درصد بازیافت بر حسب حجم حفره تزریقی برای بسیار با غلظت ۱۰۰ ppm

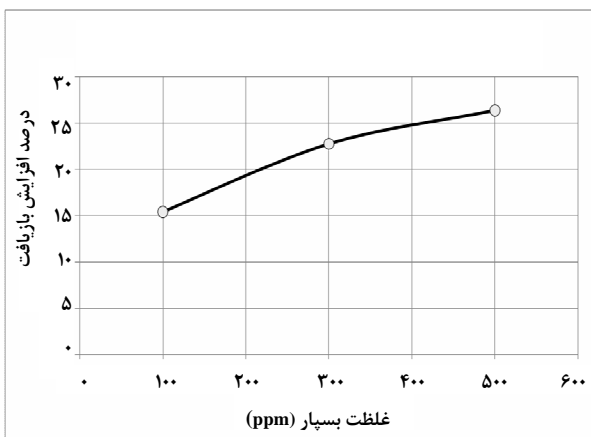
در شکل (۶)، مقدار بازیافت برای سه تزریق بسیار و به صورت مقایسه‌ای آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بازیافت تحت تزریق آب، برای تزریق ۱۰۰ ppm و ۳۰۰ ppm بسیار تقریباً یکسان است در حالی که برای تزریق ۵۰۰ ppm بسیار بیشتر است، اما با وجود این بازیافت نهایی تحت تزریق بسیار با غلظت بالاتر، بیشتر می‌باشد، هرچند که میزان بازیافت اضافه شده نسبت به افزایش غلظت بسیار خطی نیست و همان‌طور که در شکل (۷) نمایش داده شده است با افزایش غلظت بیش از ۵۰۰ ppm، میزان بازیافت چندان افزایش نخواهد یافت که این امر در ملاحظات اقتصادی تزریق، تأثیر گذار است.

## مراجع

- [1] Y Du, L Guan. "Field-scale polymer flooding: Lessons learned and experiences gained during past 40 years". Society of Petroleum Engineers. SPE International Petroleum Conference in Mexico. 7-9 November 2004. SPE Paper Number: 91787. (2004).
- [2] Don W.Green and G. Paul Willhite.: "Enhanced Oil Recovery" Second Edition. AIME. Richardson. Texas. Chapter 5. Pages 100-105, (2003).
- [3] Needham, R.B. and Doe, P.H.: "Polymer flooding review", Journal of Petroleum Technology. Volume 39, Number 12. Pages 1503-1507,(1987).
- [4] Yang Fulin, Wang Demin, Wang Gang, Sui Xingung, Lui Weijie, and Kan Chunling.: "Study on high-concentration polymer flooding to further enhance oil recovery" SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 24-27 September 2006, San Antonio, Texas USA. SPE Paper Number: 101202,(2006).
- [5] Wang, D. and Liu, H.: "Application Results and Understanding of Several Problems of Industrial Scale Polymer Flooding in Daqing Oil Field", Presented at the 1998 SPE International Conference and Exhibition in China, Beijing, 2-6 Nov. SPE Paper Number: 50928, (1998).
- [6] Yang Fulin, Wang Demin, Yang Xizhi, Sui Xinguang, Cheng Qinghai and Zhang Lei.: "High Concentration Polymer Flooding is Successful" Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition. Australia Oct. SPE Paper Number:88454, (2004).



شکل ۶- مقایسه بازیافت قبل و بعد از تزریق بسپار در سه آزمون انجام شده



شکل ۷- روند افزایش بازیافت با افزایش غلظت

## ۵- نتیجه گیری

- با استناد به آزمایشات انجام شده، استفاده از بسپار با غلظت کم در یک مدل همگن می تواند موجب افزایش بازیافت تا میزان ۲۵٪ بیش از بازیافت تحت رانش آب گردد.
- با افزایش غلظت بسپار، افزایش بازیافت نیز بیشتر می شود اما در نهایت از حد معینی فراتر نمی رود و در برآوردهای اقتصادی باید مقدار بهینه غلظت بسپار را مشخص کرد.
- با افزایش غلظت بسپار تزریقی، میزان تولید نفت با شدت بیشتری افزایش می یابد؛ بنابراین علاوه بر بازیافت نهایی بیشتر، زمان رسیدن به بازیافت نهایی نیز کمتر است.