



## تأثیر الگوی چاه بر عملکرد سیلاب‌زنی پلیمری

سید شهرام خلیلی‌نژاد<sup>۱</sup>، میلاد امیدوار، سرخ‌آبادی، جواد عوفانی<sup>۲</sup>، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان

چکیده

سیلاب‌زنی شیمیایی از پیچیده‌ترین روش‌های ازدیاد برداشت نفت و جزء فرآیندهای با ریسک عملیاتی زیاد است که از دلایل عمده‌ی این طبقه‌بندی، بی‌ثباتی قیمت نفت و مواد شیمیایی و عدم وجود شناخت کافی از بازده این روش است. امروزه با بهبود ابزار شبیه‌سازی و بهینه‌سازی و همچنین افزایش قیمت نفت، اجرای سیلاب‌زنی شیمیایی از دیدگاه اقتصادی و فنی، عملیاتی‌تر و اقتصادی‌تر خواهد بود. بهینه‌سازی سیلاب‌زنی شیمیایی نیازمند مطالعات هم‌زمان مشخصات سنگ و سیال مخزن و همچنین عوامل شیمیایی است. عدم قطعیت‌های تعداد زیادی از این متغیرها و در نظر گرفتن هم‌زمان آثار آنها طی اجرای یک پروژه‌ی سیلاب‌زنی شیمیایی، نیازمند شبیه‌سازهای قدرتمندی است. هدف این تحقیق بررسی تأثیر الگوی چاه بر عملکرد سیلاب‌زنی پلیمری است. در همین راستا الگوهای مختلف چاه جهت شبیه‌سازی سیلاب‌زنی پلیمری در یک مخزن ناهمگن و لایه‌ای بررسی شد و حساسیت‌سنجی مشخصات الگوهای چاه به‌طور کامل انجام گردید. همچنین مطالعاتی نیز به‌منظور بررسی تأثیر هم‌زمان الگوی چاه و غلظت‌های مختلف پلیمر انجام شد و شبیه‌سازی با استفاده از یک شبیه‌ساز سیلاب‌زنی شیمیایی چندفازی، چندجزئی و سه‌بعدی نیز انجام گرفت. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که از لحاظ نحوه‌ی قرارگیری چاه‌های تزریقی و تولیدی در سیلاب‌زنی پلیمری، با توجه به ضریب بازیافت نفت و مدت زمان تزریق، الگوهای Inverted Two-Five spot و Six well-line drive به‌ترتیب بهینه‌ترین و کم‌بازده‌ترین الگوی چاه در بازیافت نفت برای سیلاب‌زنی پلیمری هستند.

واژگان کلیدی: الگوی چاه، شبیه‌سازی مخزن، سیلاب‌زنی پلیمری، ازدیاد برداشت نفت

مقدمه

در میدان Chateaufrenard<sup>۱</sup> آنها همچنین تأثیر جذب پلیمر و مقدار ضریب کاهش تراوایی<sup>۳</sup> را برای این پروژه ارزیابی کرده و نشان دادند که مقدار جذب پلیمر روی سنگ مخزن از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد سیلاب‌زنی پلیمری است.

هاه و همکاران [۴] مجموعه‌ای از سیلاب‌زنی‌های پلیمری را در حالت‌های ثانویه و ثالثیه انجام دادند. طبق نتایج با وجود اینکه سیلاب‌زنی پلیمری در زمان ثالثیه<sup>۴</sup>، اشباع نفت باقیمانده پس از سیلاب‌زنی نمی‌تواند آب را در یک مغزه‌ی آب‌دوست<sup>۵</sup> و همگن جاروب کرده و اشباع نفت را کاهش دهد. اما سیلاب‌زنی پلیمری در زمان ثانویه<sup>۶</sup> پس از سیلاب‌زنی آب در یک مغزه‌ی مشابه، می‌تواند اشباع نفت را تا مقداری کمتر از اشباع نفت باقیمانده کاهش دهد و این مقدار کاهش اشباع باقیمانده‌ی نفت در حالت ثانویه نتیجه‌ی ترکیبی از تأثیر مثبت بهبود جاروبی و کاهش اشباع نفت باقیمانده است. به عبارت دیگر بازیافت نفت در روش تزریق محلول پلیمری در زمان ثانویه نسبت به زمان ثالثیه به‌مراتب بیشتر خواهد بود.

قربانی با استفاده از شبیه‌ساز چندجزئی شیمیایی UTCHEM، روشی جهت بهینه‌سازی طراحی سیلاب‌زنی سورفکتانت توسعه داد [۵] که در بخشی از آن تأثیر الگوی چاه بر عملکرد سیلاب‌زنی سورفکتانت نیز بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که الگوی Nine Spot بهترین نتایج را در بازیافت نفت از طریق سیلاب‌زنی سورفکتانت دارد.

خلیلی‌نژاد مجموعه‌ای از شبیه‌سازی‌های سیلاب‌زنی شیمیایی را برای مدلی

با توجه به تغییرات قیمت نفت و کاهش تولید میادین مختلف دنیا (از جمله میادینی که در نیمه‌ی دوم عمر خود قرار دارند) استفاده از روش‌های منجر به افزایش بازیافت نفت ضروری به‌نظر می‌رسد. با توجه به خصوصیات هر میدان یا مخزن نفتی، بررسی اطلاعات تولید و امکان‌سنجی عملیاتی و اقتصادی می‌توان روش‌هایی برای افزایش ضریب بازیافت نفت مخزن ارائه کرد. یکی از روش‌های ارائه شده پس از تزریق آب، سیلاب‌زنی پلیمری است. این روش در میادین مختلفی از جمله در کشور چین اجرا شده است [۱]. نتایج عملی در میادین مختلف و همچنین مطالعات آزمایشگاهی نشان داده که می‌توان سیلاب‌زنی پلیمری را به‌عنوان یکی از مؤثرترین روش‌ها در بهبود برداشت نفت به‌ویژه در مخازن ناهمگن در نظر گرفت. از سوی دیگر موفقیت یک پروژه‌ی ازدیاد برداشت مثل سیلاب‌زنی پلیمری به عوامل متعددی بستگی دارد که بررسی تأثیر آنها قبل از اجرای سیلاب‌زنی پلیمری حائز اهمیت است. ارزیابی کاربرد سیلاب‌زنی پلیمری برای یک میدان به عواملی مثل گرانی و نفت، اشباع نفت متحرک، توانایی پلیمر برای توزیع در مخزن، تطابق پلیمر با سیال و سنگ مخزن در شرایط درجا، ناهمگنی مخزن، فاصله‌ی چاه‌ها، نرخ جریانی، دما و فشار و شوری مخزن و هزینه‌ی پلیمر بستگی دارد. ارزیابی و طراحی سیلاب‌زنی پلیمری نیازمند ترکیبی از مشخصه‌سازی مخزن، مطالعات آزمایشگاهی و شبیه‌سازی فرآیندی است [۲].

تا کاجی و همکاران [۳] به بررسی شبیه‌سازی چندجزئی سیلاب‌زنی پلیمری

\*نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (Sh.Khalilinezhad.srbiau@gmail.com)

انجام سیلاب‌زنی آب در محدوده‌ی ۰/۳۳-۰/۲۴ متغیر است و مخزن در حالت تحت اشباع قرار دارد. در جدول ۱- مشخصات سنگ و سیال مخزن ارائه شده است. در شکل ۱- می‌توان تغییرات تراوایی مخزن و شکل قرارگیری چاه‌ها در زمان تزریق آب را مشاهده نمود.

### ۳- اعتبارسنجی مدل شبیه‌ساز

اهرنفرید به منظور بررسی تأثیر سیلاب‌زنی پلیمری بر مقدار نفت باقیمانده در نمونه‌های ماسه‌سنگی چندین آزمایش سیلاب‌زنی پلیمری در مغزه انجام داد [۹] که در این بخش یکی از آنها به منظور اعتبارسنجی مدل شبیه‌ساز استفاده می‌شود. طول و قطر نمونه‌ی انتخابی به ترتیب ۱۱/۴۵ و ۱/۹۴۲ اینچ و تخلخل و تراوایی مغزه‌ی مورد استفاده به ترتیب ۰/۱۹ و ۱۶۱ میلی داریسی است. پلیمر استفاده شده در این فرآیند از نوع زانتان است که می‌توان خواص رئولوژیکی آن را در منابع یافت [۱۰]. غلظت پلیمر در محلول پلیمری ۱۰۰۰ ppm، شوری محلول NaCl ۱/۵ درصد و گرانیوی نفت ۳۰۰ cp اندازه‌گیری شده است. محلول مدنظر با نرخ تزریق ۰/۱ میلی لیتر بر دقیقه به مقدار ۲/۲ برابر حجم حفرات خالی<sup>۱۳</sup> درون مغزه تزریق شده است. مقدار اشباع نفت باقیمانده پس از سیلاب‌زنی پلیمری تقریباً ۳۵/۱ درصد است [۹]. به منظور تطبیق تاریخچه‌ی نتایج این آزمایش از شبیه‌ساز UTCHEM استفاده می‌شود. مدل ساخته شده ۱۰۰ بلوک در جهت X دارد و تمامی مشخصات مدل آزمایشگاهی در آن لحاظ شده است. با استفاده از تغییر دادن متغیرهای نمودارهای تراوایی نسبی، فشار مویینه و نمودار اشباع‌زدایی مویینگی در محدوده‌ای مجاز، تطبیق نتایج مدل ساخته شده در شبیه‌ساز و آزمایشگاه به دست آمد. شکل ۲- نمودار تراوایی تنظیم شده<sup>۱۴</sup> در شبیه‌سازی یک‌بعدی را نشان می‌دهد. در شکل ۳-

از مخازن نفتی ایران اجرا کرد [۶]. در این مطالعه از شبیه‌ساز UTCHEM استفاده شد و عملکرد تمامی روش‌های سیلاب‌زنی شیمیایی بررسی گردید. همچنین تأثیر الگوهای مختلف چاه بر عملکرد سیلاب‌زنی شیمیایی در یک مدل مخزنی بررسی و الگوهای بهینه برای سیلاب‌زنی شیمیایی (سیلاب‌زنی پلیمری و سیلاب‌زنی سورفکتانت-پلیمر) معرفی شدند.

یوآن و همکاران پس از انجام یک مطالعه‌ی حساسیت‌سنجی<sup>۷</sup> کامل، عنوان کردند که در مدل شبیه‌ساز برای سیلاب‌زنی آب نسبت به سیلاب‌زنی پلیمری، تأثیر ابعاد بلوک‌ها<sup>۸</sup> بیشتر است [۷]. مقادیر بازیافت نسبت به اندازه بلوک‌ها بی‌تغییر خواهند ماند. زمانی که محلول پلیمری برای مدت زمان زیادی (به مقدار یک برابر حجم حفرات خالی یا بیشتر) تزریق شود، رئولوژی پلیمر و شرایط عملیاتی چاه تزریقی نسبت به اندازه‌ی بلوک، تأثیر بیشتری بر نتایج شبیه‌سازی دارد.

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر الگوی چاه بر عملکرد سیلاب‌زنی پلیمری است و در آن الگوهای مختلف چاه برای شبیه‌سازی سیلاب‌زنی پلیمری در یک مخزن ناهمگن و لایه‌ای بررسی شده و حساسیت‌سنجی مشخصات الگوهای چاه به‌طور کامل انجام می‌گردد. علاوه بر این مطالعاتی نیز به منظور بررسی تأثیر هم‌زمان الگوی چاه و غلظت‌های مختلف پلیمر انجام می‌شود. شبیه‌سازی توسط یک شبیه‌ساز سیلاب‌زنی شیمیایی چندفازی، چندجزیی و سه‌بعدی انجام شد و نتایج آن نشان داد که با توجه به ضریب بازیافت نفت و مدت زمان تزریق، از لحاظ نحوه‌ی قرارگیری چاه‌های تزریقی و تولیدی به‌منظور انجام سیلاب‌زنی پلیمری، الگوی Inverted Two-Five spot الگوی بهینه‌ی چاه و الگوی Six well-line drive کم‌بازده‌ترین الگوی چاه در بازیافت نفت برای سیلاب‌زنی پلیمری است.

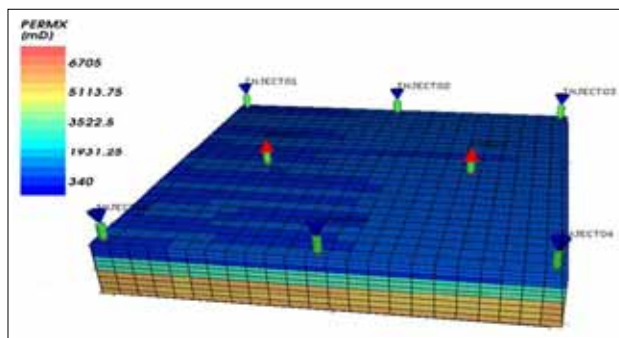
### ۱- توصیف شبیه‌ساز

برای سیلاب‌زنی آب و سیلاب‌زنی پلیمری، از شبیه‌ساز سه‌بعدی و چندجزیی شیمیایی UTCHEM دانشگاه تگزاس آستین استفاده شد. این شبیه‌ساز پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی شامل رفتار فازی میکروامولسیون، مدل‌های کشش سطحی، مدل‌های گرانیوی چندجزیی فازی، مدل‌های به‌دام‌افتادگی فازها<sup>۹</sup>، مدل‌های تراوایی سه‌فازی (که وابسته به عدد به‌دام‌افتادگی<sup>۱۰</sup> هستند)، مدل‌های جذب شیمیایی و مدل‌های رئولوژیکی پلیمری را مدل‌سازی می‌کند. همچنین چگونگی وابستگی مستقیم و غیرمستقیم این مدل‌ها به متغیرهایی مانند شوری (غلظت یون‌های دو ظرفیتی) و سایر متغیرها مانند غلظت حلال همراه<sup>۱۱</sup> قابل بررسی و شبیه‌سازی است [۸].

### ۲- توصیف مشخصات مخزن

طول و عرض و ضخامت مدل مخزنی ساخته شده<sup>۱۲</sup> در این مطالعه به ترتیب برابر با ۱۸۹۰ و ۱۷۵۰ و ۶۰ فوت است و مخزن در عمق ۲۸۰۰ فوتی از سطح زمین قرار دارد. محدوده‌ی تغییرات تخلخل مخزن نیز ۰/۳۳-۰/۲۱ است. از طرفی تغییرات تراوایی مخزن در محدوده‌ی ۵۵۰۰-۳۴۰ میلی داریسی است که این مقدار در جهات X، Y و Z متفاوت است. با توجه به مقادیر حجم مخزن و همچنین تخلخل و مقدار اشباع آب موجود در مدل، مقدار نفت در جا در ابتدای سیلاب‌زنی آب حدود ۵/۹ میلیون بشکه محاسبه شده است. فشار اولیه‌ی مخزن در زمان آغاز سیلاب‌زنی آب ۳۰۱۰ psi بوده و اشباع اولیه‌ی آب قبل از

مقدار	کمیت (واحد)
۱۷۵۰	طول (ft)
۱۸۹۰	عرض (ft)
۶۰	ضخامت (ft)
۲۸۰۰	عمق (ft)
۳۰۱۰	فشار اولیه (psi)
۰/۲۴-۰/۳۳	تخلخل
۱۰۰۰-۵۵۰۰	تراوایی در جهت X (md)
۰/۹۵۳۸	گرانیوی آب (cp)
۳۰۰	گرانیوی نفت (cp)

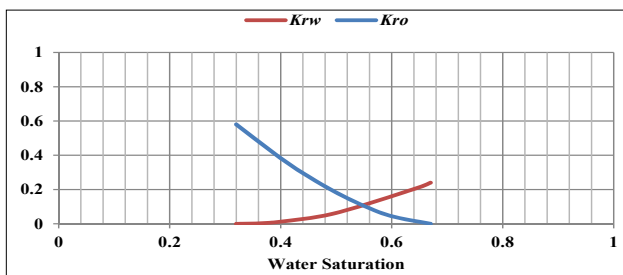


شکل ۱ | تغییرات تراوایی در مخزن مورد مطالعه

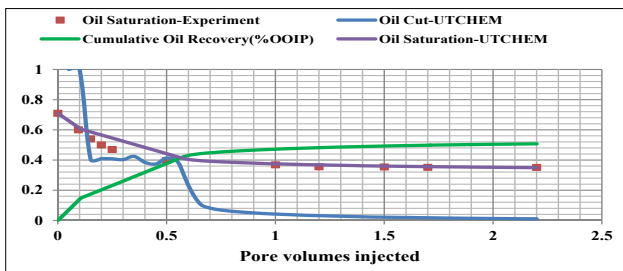
از این الگو ۲۸/۲۹ درصد از نفت باقیمانده است. نتایج ضریب بازیافت نفت حاصل از سیلاب‌زنی پلیمری برای الگوهای مختلف چاه در شکل ۸-ارائه شده است. بنابر نتایج شبیه‌سازی، برش و نرخ تولید نفت در این الگوی چاه، در بیشینه‌ی مقدار خود به ترتیب ۰/۳ و ۱۷۵۰ بشکه در روز است. تغییرات برش نفت حاصل از سیلاب‌زنی پلیمری برای الگوهای مختلف چاه در شکل ۹- قابل مشاهده است.

#### ۲-۵- الگوی Six Well-Line drive

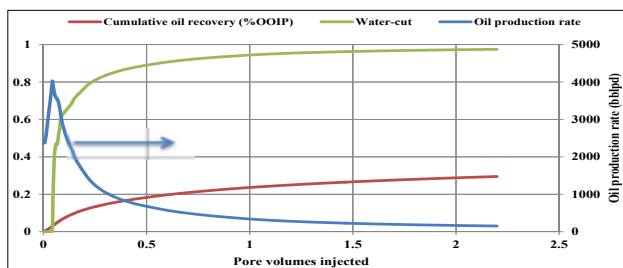
در این الگو چهار چاه تزریقی و دو چاه تولیدی وجود دارد. شکل ۵-نحوه‌ی قرارگیری چاه‌ها در این الگو را نشان می‌دهد. با توجه به مشخصات عنوان شده برای سیلاب‌زنی پلیمری، تزریق محلول پلیمری انجام شد. در این الگو، ضریب بازیافت نفت برای سیلاب‌زنی پلیمری ۲۱/۰۵ درصد از نفت باقیمانده است. نتایج ضریب بازیافت نفت حاصل از سیلاب‌زنی پلیمری برای الگوهای مختلف چاه در شکل ۸-ارائه شده است. همچنین برش و نرخ تولید نفت در این الگوی چاه در بیشینه‌ی مقدار خود به ترتیب ۰/۱۱ و ۴۵۷ بشکه در روز است. نتایج تغییرات برش نفت حاصل از سیلاب‌زنی پلیمری برای این الگو، در شکل ۹-



شکل ۲ | نمودار تراوایی نسبی آب و نفت مورد استفاده در شبیه‌سازی سیلاب‌زنی پلیمری



شکل ۳ | تطبیق نتایج تغییرات اشباع نفت بین مدل آزمایشگاه و مدل شبیه‌ساز، نتایج شبیه‌ساز برای ضریب بازیافت و برش نفت



شکل ۴ | ضریب بازیافت نفت، برش آب و نرخ تولید نفت طی سیلاب‌زنی آب (بر حسب حجم فضای متخلخل تزریقی)

تطبیق تاریخچه‌ی نتایج تغییرات اشباع نفت نشان داده شده است. در این شکل می‌توان تغییرات برش نفت<sup>۱۵</sup> و ضریب بازیافت آنرا نیز مشاهده کرد. در شکل ۳ تطبیق قابل قبولی بین نتایج تغییرات اشباع نفت مدل آزمایشگاه و مدل شبیه‌ساز مشاهده می‌شود. در نتیجه اعتبار نتایج شبیه‌سازی این مدل در مقیاس میدانی می‌تواند قابل قبول باشد.

#### ۴- شبیه‌سازی سیلاب‌زنی با آب

در این قسمت شبیه‌سازی فرآیند سیلاب‌زنی با آب در مدل ذکر شده و با استفاده از یک الگوی Two-Five spot به منظور ایجاد حالت ثالثه برای آغاز سیلاب‌زنی پلیمری انجام می‌شود. با توجه به خصوصیات سنگ و سیال مخزن مورد مطالعه، سیلاب‌زنی با آب با نرخ تزریقی ۱۰۰۰ بشکه در روز آغاز می‌شود و تزریق آب تا زمانی که برش آب<sup>۱۶</sup> به ۹۷ درصد برسد ادامه خواهد یافت. فشار ته‌چاهی چاه نیز ۱۶۰۰ psi تثبیت شده است. با توجه به شرایط عنوان شده و الگوی چاه مورد استفاده برای سیلاب‌زنی با آب، مدت زمان تزریق برای این فرآیند در حدود ۲۹۴۷ روز معادل با تزریق به مقدار ۲/۲ برابر حجم حفرات خالی است. نتایج تغییرات ضریب بازیافت نفت، نرخ تولید نفت و برش آب طی سیلاب‌زنی با آب برای مدل مورد مطالعه در شکل ۴- نشان داده است. طبق این شکل ضریب بازیافت نفت در پایان سیلاب‌زنی آب ۲۹/۵ درصد از نفت در جای مخزن<sup>۱۷</sup> است که این مقدار برابر با بازیافت حدود ۱/۷۴ میلیون بشکه نفت تجمعی بوده و میانگین اشباع نفت باقیمانده در مخزن پس از سیلاب‌زنی آب حدود ۵۲ درصد است. در شکل ۴- همچنین تغییرات برش آب در چاه‌های تولیدی ارائه شده است. برش آب پس از زمان کوتاهی از آغاز تزریق، به شدت افزایش یافته و هم‌زمان نرخ تولید نفت نیز به شدت کاهش می‌یابد. با توجه به این شکل، حجم زیادی از آب تزریقی به چاه‌های تولیدی، پس از تزریق، دوباره تولید می‌شود. در نتیجه تأثیر تزریق آب پس از ۲۹۴۷ روز به شدت کاهش یافته و در نهایت سبب کاهش تولید نفت نیز می‌شود.

#### ۵- الگوهای چاه

اکنون با انجام مجموعه‌ای از شبیه‌سازی‌ها، تأثیر الگوی چاه بر عملکرد سیلاب‌زنی پلیمری بررسی می‌شود. چهار الگوی مختلف در سیلاب‌زنی پلیمری استفاده شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی تأثیر الگوی چاه بر عملکرد سیلاب‌زنی پلیمری تجزیه و تحلیل خواهد شد. برای تمامی الگوها مشخصات سیستم تزریق سیلاب‌زنی پلیمری به شرح زیر است:

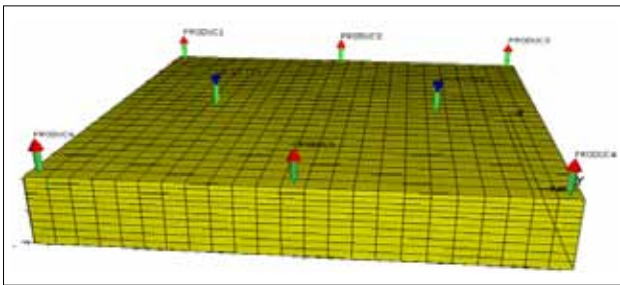
محلول پلیمری با نرخ تزریق ۱۰۰۰ بشکه در روز، به مقدار یک برابر حجم حفرات خالی و با غلظت ۲۰۰۰ ppm تزریق شده و سپس به مقدار ۰/۵ برابر حجم حفرات خالی آب تزریق می‌شود. بنابر این مدت زمان تزریق در مجموع ۱/۵ برابر حجم حفرات خالی است. مقدار شوری محلول پلیمری نیز شبیه به مدل یک‌بعدی (در قسمت قبل) می‌باشد.

#### ۵-۱- الگوی Two-Five spot

در این الگو چهار چاه تزریقی و دو چاه تولیدی وجود دارد. در شکل ۱- می‌توان نحوه‌ی قرارگیری چاه‌ها را در این الگو مشاهده نمود. با توجه به مشخصات عنوان شده برای سیلاب‌زنی پلیمری، تزریق پلیمر انجام شد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی، ضریب بازیافت نفت برای سیلاب‌زنی پلیمری با استفاده

### ۵-۴- الگوی Inverted Two-Five spot

در این الگو دو چاه تزریقی و چهار چاه تولیدی وجود دارد. در شکل ۷- نحوه‌ی قرارگیری چاه‌ها در این الگو مشاهده می‌شود. با توجه به مشخصات عنوان شده برای سیلاب‌زنی پلیمری، تزریق محلول پلیمری انجام شد. ضریب بازیافت نفت برای سیلاب‌زنی پلیمر با استفاده از این الگو ۳۳ درصد از نفت باقیمانده است. نتایج ضریب بازیافت نفت حاصل از سیلاب‌زنی پلیمر برای الگوهای مختلف چاه در شکل ۸- ارائه شده است. همچنین برش و نرخ تولید نفت در این الگو در بیشینه‌ی مقدار خود به ترتیب ۰/۲۸ و ۵۵۸ بشکه در روز است. نتایج تغییرات برش نفت حاصل از سیلاب‌زنی پلیمر برای این الگو در شکل ۹- قابل مشاهده است. همان‌طور که در شکل‌های ۹و-۸ ملاحظه می‌شود طی زمان تزریق محلول پلیمری، مقادیر ضریب بازیافت و برش نفت برای هر الگوی چاه متفاوت است. بنابراین نتایج، الگوی

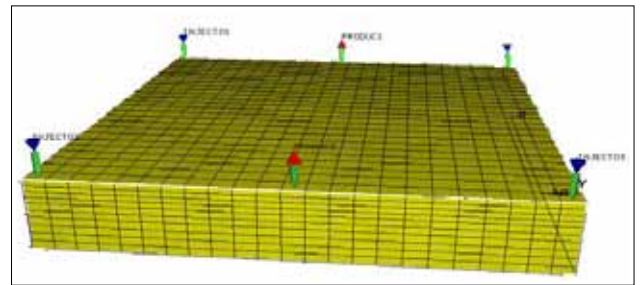


شکل ۷ | الگوی Inverted Two-Five spot

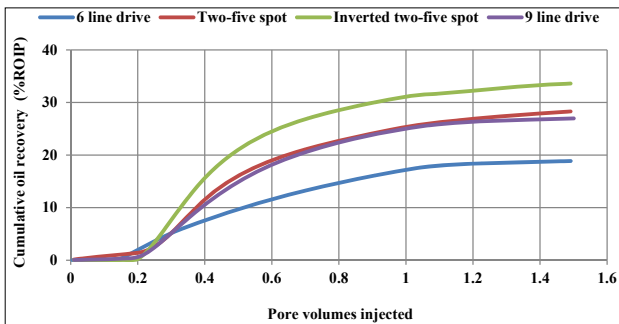
قابل مشاهده است. همان‌طور که در شکل‌های ۹و-۸ دیده می‌شود در این الگو ضریب بازیافت و برش نفت نسبت به الگوی قبل به شدت کاهش یافته است.

### ۵-۳- الگوی Nine Well-Line drive

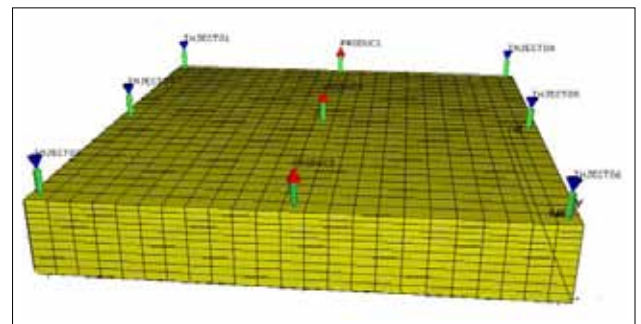
در این الگو شش چاه تزریقی و سه چاه تولیدی وجود دارد. در شکل ۶- نحوه‌ی قرارگیری چاه‌ها در این الگو مشاهده می‌شود. با توجه به مشخصات عنوان شده برای سیلاب‌زنی پلیمری، تزریق محلول پلیمری انجام شد. ضریب بازیافت نفت برای سیلاب‌زنی پلیمر با استفاده از این الگو ۲۸/۵۳ درصد از نفت باقیمانده است. در شکل ۸- نتایج ضریب بازیافت نفت حاصل از سیلاب‌زنی پلیمری مشاهده می‌شود. با توجه به نتایج شبیه‌سازی، برش و نرخ تولید نفت در این الگو در بیشینه‌ی مقدار خود به ترتیب ۰/۲۴ و ۱۴۶۳ بشکه در روز است. نتایج تغییرات برش نفت حاصل از سیلاب‌زنی پلیمری برای این الگو، در شکل ۹- قابل مشاهده است.



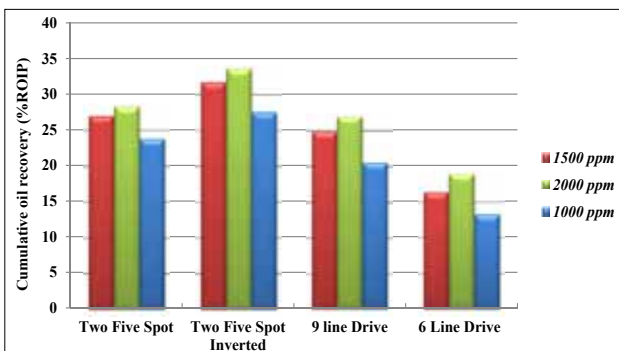
شکل ۵ | الگوی Six well-line drive



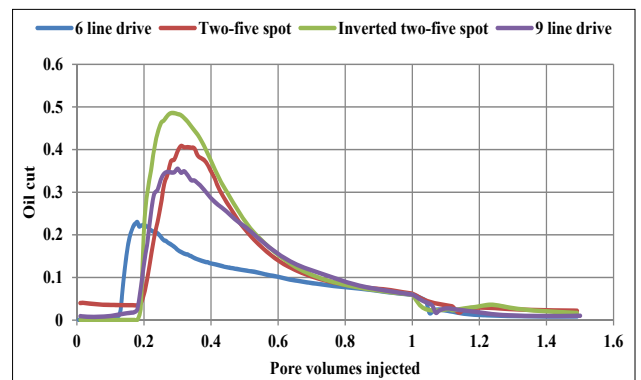
شکل ۸ | ضریب بازیافت نفت طی سیلاب‌زنی پلیمری برای الگوهای مختلف چاه



شکل ۶ | الگوی Nine well-line drive



شکل ۱۰ | مقایسه‌ی ضریب بازیافت نفت در سیلاب‌زنی پلیمری با غلظت‌های مختلف پلیمر تزریقی



شکل ۹ | تغییرات نرخ تولید نفت طی سیلاب‌زنی پلیمری برای الگوهای مختلف چاه





دیگر افزایش غلظت پلیمر از ۱۰۰۰ به ۲۰۰۰ ppm تأثیر کمتری در افزایش برداشت نفت در شرایط مشابه دارد و در نتیجه در این حالت خاص از تزریق محلول پلیمری، می‌توان با استفاده از الگوی بهینه‌ی چاه در شرایط غلظت کمتر محلول پلیمری نیز ضریب بازیافت نفت را افزایش داد. مثلاً در شرایط تزریق محلول پلیمری با غلظت مشابه ۱۰۰۰ ppm، ضریب بازیافت نفت در الگوی Inverted Two-Five spot به مراتب بیشتر از الگوی Six Well-Line drive خواهد بود.

#### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده در این مقاله و بررسی تأثیر الگوی چاه بر عملکرد سیلاب‌زنی پلیمری، می‌توان نتیجه گرفت: **همانند غلظت پلیمر، الگوی چاه نیز تأثیر عمده‌ای بر عملکرد سیلاب‌زنی پلیمری دارد.**

■ از بین چهار الگوی انتخاب شده، الگوی Six Well-Line drive کمترین و الگوی Inverted Two-Five spot بیشترین ضریب بازیافت نفت را دارند. **بر اساس نتایج حساسیت‌سنجی انجام شده با افزایش غلظت پلیمر در هر الگو، ضریب بازیافت نیز افزایش می‌یابد. همچنین افزایش ضریب بازیافت نفت تابع الگوی چاه نیز هست. به عبارت دیگر با تزریق محلول پلیمری با غلظت کمتر اما با استفاده از الگوی بهینه، می‌توان ضریب بازیافت بیشتری را نسبت به تزریق محلول پلیمری با غلظت بیشتر اما با استفاده از الگوی غیربهینه به دست آورد.**

Inverted Two-Five spot بیشترین ضریب بازیافت نفت را دارد. همچنین مقدار برش نفت در زمان تزریق محلول پلیمری با استفاده از این الگو نیز بسیار بیشتر از سایر الگوهاست. الگوی Six Well Line drive نیز منجر به تولید کمترین مقدار نفت یا همان برش نفت و در نهایت کمترین ضریب بازیافت نفت می‌شود.

#### ۶- تأثیر غلظت محلول پلیمر بر عملکرد سیلاب‌زنی پلیمری

در این قسمت به منظور بررسی تأثیر غلظت محلول پلیمر تزریقی در هر الگوی چاه بر عملکرد سیلاب‌زنی پلیمری، تزریق با غلظت‌های مختلفی از پلیمر انجام می‌شود. بدین منظور سیلاب‌زنی پلیمری برای هر چهار الگوی چاه در سه غلظت ۱۰۰۰، ۱۵۰۰ و ۲۰۰۰ ppm انجام می‌شود. اطلاعات مربوط به شرایط مدل شبیه‌سازی (مدت زمان تزریق محلول پلیمری، نرخ تزریق پلیمر، شوری محلول، نرخ و مدت زمان تزریق آب) همانند قسمت قبل است. تنها تفاوت در غلظت محلول پلیمری است که در شبیه‌سازی به سه مقدار متفاوت تعریف شده است. نتایج حاصل از این مطالعه‌ی حساسیت‌سنجی در شکل-۱۰ نشان می‌دهد که افزایش غلظت پلیمر در هر الگوی چاه سبب افزایش ضریب بازیافت نفت می‌شود. همچنین در یک غلظت مشابه، الگوی Inverted Two-Five spot بیشترین و الگوی Six Well-Line drive کمترین بازده برداشت نفت را دارند. با توجه به شکل می‌توان گفت که در الگوی Two-Five spot نسبت به سه الگوی

#### پانویس‌ها

1. Miladomidvar\_ace@yahoo.com
2. Javad\_Erfani1993@yahoo.com
3. Permeabilityreduction factor
4. Tertiary mode
5. Water-Wet
6. Secondary mode

7. Sensitivity study
8. Grid blocks
9. Phase trapping models
10. Trapping number
11. Co-Solvents
12. Synthetic model

13. Pore volumes
14. Adjusted relative permeability curve
15. Oil cut
16. Water cut
17. Initial Oil In-place

#### منابع

- [1] Yuming, W., Yamin, P., Zhenbo, Sh., Peihui, H., Rong, L., Ruibo, C Xianhua, H. (2013) "The Polymer Flooding Technique Applied At High Water Cut Stage In Daqing Oilfield" Paper Spe 164595 Presented At Spe North Africa Conference And Exhibition, Cairo, Egypt, 15 – 17 April
- [2] Kaminsky , R.D., Wantenbarger , R.C., Szafranski , R.C (2007) "Guidelines For Polymer Flooding Evaluation And Development" Paper Iptc 11200 At The International Petroleum Technology Conference, Dubai, Uae , 4 – 6 December.
- [3] Takagi, S., Pope, G.A., Sepehrmoori, K., Putz, A.G., Bendakhila, H., (1992) "Simulation Of Successful Polymer Flood In The Chateauguay Field" Paper Spe 24931 Presented At Spe Annual Technical Conference And Exhibition, Washington , Dc, Usa, 4 – 7 October.
- [4] Huh, C., Pope, G.A. (2008) "Residual Oil Saturation From Polymer Floods: Laboratory Measurements And Theoretical Interpretations" Paper Spe 113417 Presented At Spe/Doe Symposium On Improved Oil Recovery, Tulsa, Ok, Usa, 20 – 23 April.
- [5] Ghorbani, D. (2008) "Development Of Methodology For Optimization And Design Of Chemical Flooding", Phd Dissertation, University Of Texas At Austin.
- [6] Khalili Nezhad, Sh., (2013) "Comparative Simulation Study Of Chemical Enhanced Oil Recovery Methodologies For One Of The Iranian Oil Reservoir Using Utchem Simulator", M.S Thesis, Science And Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
- [7] Yuan, C., Delshad, M., Wheeler, M.F., (2010) "Parallel Simulation Of Commercial-Scale Polymer Floods." Paper Spe 132441 Presented At Spe Western Regional Meeting, Anaheim, California, Usa, And 27 – 29 May.
- [8] Utchem-9, Volume Ii: Technical Documentation For Utchem 9.0. (2000) "A Three-Dimensional Chemical Flooding Simulator.", The University Of Texas At Austin, Texas.
- [9] Ehrenfried, H.D. (2013) "Impact Of Viscoelastic Polymer Flooding On Residual Oil Saturation In Sandstones" M.S Thesis, The University Of Texas At Austin, Texas, Austin, December.
- [10] Wu, Wei-Jr, (1996) "Optimum Design Of Field-Scale Chemical Flooding Using Reservoir Simulation", Phd Dissertation, University Of Texas At Austin, Texas, Austin, August.