مطالعه آزمایشگاهی فرایند تزریق حلال به نفت سنگین در محیط‌های متخلخل همگون و شکافدار ربع پنج نقطه‌ای بوسیله میکرومدل شیشه‌ای

سید امیر فرزانه[1]، ریاض خراط[1*] و محمد حسین غضنفری[2]

۱- مرکز تحقیقات نفت دانشگاه صنعت نفت

۲- دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت

پیام‌نگار: **kharrat@put.ac.ir**

چکیده

در این تحقیق، از میکرومدل شیشه ای که در ابتدا از نفت سنگین اشباع شده برای مطالعه و بررسی اثر پارامتر های فیزیکی شکاف و استراتژی های مختلف تزریق حلال های هیدروکربنی نظیر هگزان، دکان و همچنین حلال مخلوط در الگوهای ربع پنج نقطه ای همگون و شکاف دار استفاده شده است. تاثیر پارامترهای مختلف از قبیل شدت جریان تزریقی و نوع حلال تزریقی، ساختمان حفره ها و پارامتر های فیزیکی شکاف، شامل جهت، ناپیوستگی، فاصله، تعداد و همپوشانی شکاف در بازدهی فرایند تزریق حلال مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین استراتژی های مختلف، تزریق همزمان آب و حلال، تزریق متناوب حلال و آب، غوطه وری نفت در حلال، طراحی و انجام شده است. نتایج نشان می دهد که با افزایش شدت جریان تزریقی حلال، میزان بازیافت نفت کمتر می شود. در حالی که با افزایش گرانروی حلال تزریقی، میزان بازیافت بیشتر می شود. همچنین اگر شکل حفره ها در الگوی جریان، لوزی باشد بازیافت نفت، بیشتر از حالتی است که شکل حفره ها مربع است. میزان بازیافت نفت در حالتی که زاویه قرار گرفتن حفره ها و گلوگاه ها ۳۰ درجه است بیش ازحالتی است که این زاویه ۹۰ یا ۴۵ درجه باشد. نتایج به دست آمده تایید می کند که برای شکاف با زاویه ۴۵ درجه، میزان برداشت نفت بیشتر از حالتی است که جهت شکاف در مسیر جریان است. همچنین مشاهده گردید که ناپیوستگی و همپوشانی شکاف ها و یا افزایش فاصله بین آنها باعث کاهش میزان برداشت نفت می شود. در حالی که توزیع شکاف ها باعث افزایش میزان بازیافت می شود. میزان ضریب بازیافت نفت در استراتژی تزریق متناوب آب و حلال، در مقایسه با تزریق همزمان آب و حلال، بیشتر است و غوطه وری نسبت به هر دو استراتژی مذکور میزان بازیافت بیشتری را نشان می دهد.

کلمات کلیدی: نفت سنگین، مدل پنج نقطه ای، میکرومدل، محیط متخلخل شکافدار، حلال

۱- مقدمه

در حال حاضر مخازن نفت سنگین به تعداد زیاد در جهان وجود دارند که میزان نفت درجای[1] آنها ۳ برابر نفت درجای مخازن معمولی است[۵-۱]. با توجه به اینکه این نوع نفت می تواند برای سال های آینده به عنوان منبع عمده انرژی مورد استفاده قرار گیرد، در سال های اخیر توجه زیادی به روش های ازدیاد برداشت از این نوع مخازن معطوف شده است[۶]. از طرفی ایران دارای ۸۹ میلیارد بشکه نفت سنگین درجا است که به طور عمده در مخازن کربناته شکافدار با تراوایی کم ماتریس[2] قرار دارند و این در حالی است که اثر وجود شکاف در محیط متخلخل و پارامترهای فیزیکی شکاف در فرایند

1. OOIP

2. Matrix

تزریق حلال به نفت سنگین، در مراجع به خوبی مورد بررسی قرار نگرفته است.

فرایندهای تزریق غیر امتزاجی حتی اگر بصورت کاملا موفق اجرا شوند ممکن است باعث شوند مقدار قابل ملاحظه ای از نفت بخاطر وجود نیروهای مویینگی در مخزن باقی بماند. لذا فرایندهای تزریق امتزاجی بخاطر عدم وجود نیروهای مو یینگی، در مقایسه با فرایندهای تزریق غیر امتزاجی، می توانند بسیار موثرتر باشند[۷]. معمولا گرانروی حلال تزریقی کمتر از گرانروی نفت است[۸] به همین دلیل جبهه حرکت همواره ناپایدار است و پدیده انگشتی شدن[1] اتفاق می افتد[۹] و در نتیجه عمل جاروب کردن به درستی انجام نمی شود [۱۰،۱۱]. در سال های اخیر، تزریق حلال به عنوان یکی از روش های ازدیاد برداشت از مخازن نفت سنگین مطرح و مورد توجه قرار گرفته است. در این فرایند، نفوذ و پراکندگی حلال در نفت، کنترل کنندهٔ میزان بازیافت است [۱۲].

میکرومدل شیشه ای، یک محیط متخلخل شفاف است که برای بررسی و مطالعه رفتار حرکت سیال و همچنین مکانیزم جابجایی فازها در مقیاس حفره استفاده می شود. طبیعت شفاف این دستگاه آنرا برای مشاهده وقایع در مقیاس حفره بسیار سودمند و در نتیجه در مقایسه با سایر دستگاه ها در مطالعات مهندسی مخازن نفت و گاز بسیار متمایز می نماید. همانطور که می دانیم درمخازن زیرزمینی از قبیل نفت، گاز وآب، نحوه حرکت سیالات مشخص نیست لذا استفاده از میکرومدل شیشه ای می تواند امکان انجام مطالعات پایه و توسعه تئوری های انتقال پدیده ها و همچنین مشاهده کمی و کیفی وقایع در این سیستمها را میسر سازد. از مزایای این دستگاه می توان مواردی از قبیل امکان مطالعه مشاهده ای، امکان ایجاد و استفاده از محیط های متخلخل متفاوت و شبه واقعی، طولانی نبودن مدّت انجام آزمایش، استفاده کمتر از حجم سیال مخزن و سیال تزریقی، امکان تکرار انجام آزمایش به دفعات، امکان بررسی وقایع و مکانیزم جابجایی فازها در محیطهای متخلخل متفاوت در مقیاس حفره را نام برد و از آنجا که بازدهی در مقیاس حفره در فرایندهای ازدیاد برداشت از مخازن نفت و گاز، اهمیت ویژه ای دارد و کنترل کنندهٔ بازدهی نهایی مخزن می باشد،اهمیت دستگاه میکرومدل به عنوان تنها دستگاه موجود برای مطالعه در مقیاس حفره مشخص می شود. میکرومدل شیشه ای با حکاکی الگوی شبکه ای و یا عکس های حاصل از مقطع نازک سنگ بر روی شیشه ساخته می شود. ابعاد حفره و گلوگاه ها در میکرومدل شیشه ای در حدود چند میکرون است. ساخت الگوهای مناسب جریان، مهمترین و مشکل ترین مرحله در انجام مطالعات توسط دستگاه میکرومدل شیشه ای است. در گذشته بیشترین مطالعات انجام شده بوسیله دستگاه میکرومدل شیشه ای شامل مطالعات کیفی بوده است. اما در این تحقیق، از میکرومدل برای بررسی و به دست آوردن میزان نفت بازیافتی در محیط متخلخل شکاف دار پرداخته ایم. علاوه بر آن، در مطالعات گذشته از الگوی جریان یک بعدی استفاده شده در حالی که در این مطالعه از الگوهای جریان ربع پنج نقطه ای بهره گیری شده است.

این مطالعه آزمایشگاهی شامل چندین بخش است: در ابتدا به بررسی پارامترهایی که در میزان بازیافت فرایند تزریق امتزاجی حلال به نفت سنگین موثر می باشند پرداخته می شود. از جمله این عوامل، می توان اثر شدت جریان حلال تزریقی، نوع حلال تزریقی، شکل حفره ها و زاویه قرار گرفتن حفره ها و گلوگاه ها نسبت به یکدیگر را نام برد. در بخش بعدی، اثر پارامترهای فیزیکی شکاف، شامل زاویه شکاف با جریان سیال، ناپیوستگی شکاف ها، همپوشانی شکاف ها، فاصله بین شکاف ها و توزیع شکاف ها در میزان بازیافت نفت، مطالعه و بررسی شده است. در انتها، استراتژی های مختلف برای بهینه کردن فرایند تزریق حلال و تاثیر آنها بر میزان بازیافت نفت مورد بررسی قرار گرفته است.

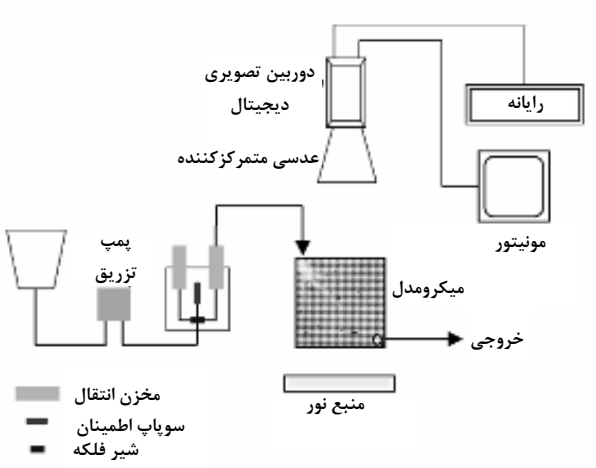
۲- دستگاه و شرح آزمایش ها

۲-۱ دستگاه میکرومدل

دستگاه میکرومدل، شامل اجزایی است که در شکل (۱) نشان داده شده‌اند. بخش تصویر برداری شامل دوربین متصل به رایانه است که عکس های گرفته شده از فرایند تزریق حلال را بر روی دیسک سخت رایانه ذخیره می کند. پمپ کوئیزیکس[2] سیالات تزریقی را به درون میکرومدل تزریق می کند. در این آزمایش ها از حالت شدت جریان ثابت استفاده کرده ایم. دامنهٔ تغییرات شدت جریان تزریقی پمپ، بین ۰/۰۰۰۱ تا ۱۰ میلی لیتر بر دقیقه است.

1. Fingering

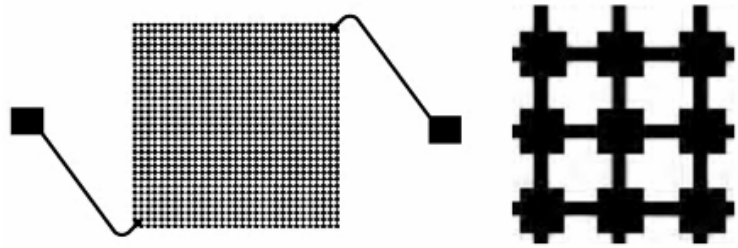
2. Quizix



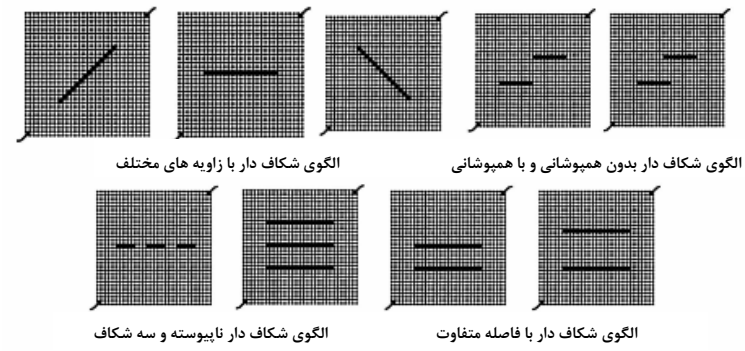
شکل ۱- طرح اجمالی اجزای دستگاه میکرومدل

۲-۲ طراحی الگو

طراحی الگو اولین و مهمتر ین گام در آزما یش های میکرومدل است. ابتدا باید مدل محیط متخلخل توسط رایانه طراحی شود و سپس با چاپ آن و طی مراحل عملیات خاص, نظیر قرار دادن در مقابل پرتوهای فرا بنفش و استفاده از اسیدهای نیتریک و فلوئورهیدریک آن را بر رو ی شیشه حک کرد . الگوی همگون مورد استفاده در این مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است. در این مطالعه ما الگوهای مختلفی با ساختمان حفره متفاوت، زوایای متفاوت حفره و گلوگاه ها نسبت به یکدیگر و همچنین شکافدار با خواص فیزیکی متفاوت طراحی کرده‌ایم. پارامتر های مختلف خواص فیزیکی شکاف، نظیر جهت شکاف، توزیع شکاف، ناپیوستگی شکاف، توزیع و ناپیوستگی شکاف، فاصله شکاف و همپوشانی شکاف در فرایند تزریق حلال در الگوی پنج نقطه ای مورد بررسی قرار گرفته است. عرض های شکاف های استفاده شده در این مطالعه مبتنی بر داده های موجود در مراجع می باشند [۱۳]. میکرومدل های شکاف دار استفاده شده در این تحقیق در شکل (۳) نشان داده شده اند. طراحی الگو شامل مراحل زیر است: اولین مرحله، آماده کردن ماسک است که برای انتقال الگو به شیشه با کیفیت بالا به کار می رود و در آن دانه ها شفاف و مسیر جریان، تیره است. مرحله بعدی، برداشتن رنگ از پشت آینه با استفاده از رنگ بر، استفاده از لمینت و قرار دادن در مقابل پرتوهای فرابنفش، استفاده از اسید نیتریک و در آخرین مرحله استفاده از اسید فلوروهیدریک در فواصل زمانی مشخص جهت حکاکی با عمق مناسب بر روی شیشه می باشد.



شکل ۲- نمای کلی و از نزدیک الگوی اصلی استفاده شده در این آزمایش



شکل ۳- نمای کلی الگوهای شکاف دار

۲-۳ خواص میکرومدل

تراوایی مطلق الگوهای استفاده شده در این آزمایش بـه کمـک قـانون دارسی اندازه گیری می شود. آب مقطر در دمای اتاق به مـدل تزریـق می شود و در شدت جریان های مختلف تزریق افت فشار ها ثبت مـی شود. با چهار شدت جریان تزریقی مختلف، افت فشار اندازه گیری مـی شود بهترین خط که از این نقاط می گذرد می تواند تراوایـی مطلـق را مشخص نماید. تخلخل میکرومدل با استفاده از آنالیز تصاویر، محاسـبه می شود.عمق حکاکی شده بر روی مدل، ثابت است و آنالیز تصویر بـه وسیله نرم افزار های گرافیکی معمولی انجام می شود. میـزان تخلخـل، بـر حـسب درصـد، و تراوایـی مطلـق، بـر حـسب دارسـی، مربـوط بـه میکرومدل شیشه ای همگون و شکاف دار در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- خواص فیزیکی میکرومدل

خواص/نوع الگو	تخلخل ماتریس	تخلخل شکاف	تراوایی ماتریس	تراوایی شکاف
همگون	۴۲/۲۴	-	۲/۳	-
شکاف دار	۴۲/۲۴	۱۰۰	۲/۳	۱۳۳۸۵

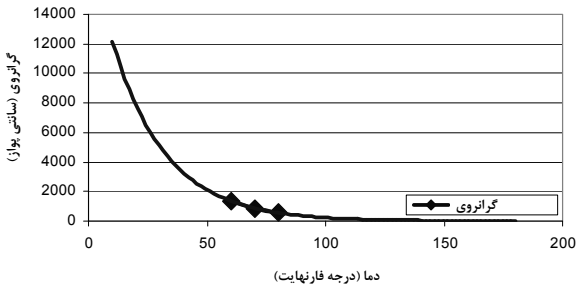
۲-۴ شرح آزمایش ها

قبل از هر آزمایش میکرومدل ربع پنج نقطه ای شیشه ای به ترتیب بـا تولوئن، الکل و سپس آب مقطر شسته می شـود تـا اگـر مـواد اضـافی داخل میکرومدل شده باشد خـارج گـردد و در هنگـام انجـام آزمـایش گرفتگی درون میکرومـدل رخ ندهـد. در مرحلـه بعـد، اشـباع کـردن الگوهای جریان از نفت انجام می شود که یکی از مشکلترین مراحل این آزمایشهاست. برای اشباع کردن، نفت سنگین را در یک ظرف مخصوص ریخته و آن را توسط لوله رابط به کپسول نیتروژن متـصل مـی کنـیم. نیتروژن بر روی نفت اعمال فشار می کند و باعث انتقال نفت به داخـل الگو می شود که ایـن انتقـال از طریـق لولـه دیگـر متـصل بـه ظـرف مخصوص انجام می شود. در هنگام اشباع کردن میکرومدل، باید فـشار گاز نیتروژن را پایین نگاه داشت، چون فشار زیاد باعـث خـروج سـریع نفت از میکرومدل، و در نتیجه باعث اشباع نشدن برخی قـسمت هـای الگو می شود. نمای ظرف تحت فشار در شکل (۴) آمده است.

۲-۵ سیالات مورد استفاده

در اینجا از نفت مرده واقعی یکی از مخازن دریایی ایـران اسـتفاده شـده اسـت کـه درجـه ای.پـی.آی (A.P.I)[1] آن ۱۹ و چگـالی آن ۹۴۲/۲ کیلوگرم بر متر مکعب است. نمـودار تغییـرات گرانـروی ایـن نفـت در مقابل دما در شکل (۵) نشان داده شده اسـت. حـلال هـای هگـزان ، دکان و حلال مخلوط جهت تزریق مورد استفاده قـرار گرفتـه اسـت و همچنین برای مقایسه فرایند تزریق امتزاجی و غیر امتزاجی، آب نیز به نفت سنگین تزریق شده است برای افزایش وضوح و قابلیـت تـشخیص فاز ها در هنگام عکس برداری، بـه حلالهـا و آب تزریقـی، مـاده رنگـی اضافه می کنیم تا به ترتیب به رنگ قرمز و آبی تغییر رنگ دهند. رنگ نفت به طور طبیعی تیره است.

شکل ۴- ظرف تحت فشار برای اشباع کردن میکرومدل از نفت سنگین



شکل ۵- گرانروی نفت سنگین در برابر دما

1. °API

۳- نتایج آزمایشها و بحث

در این مطالعه بعضی حلالها مانند هگزان، دکان و حلال مخلوط برای جابجا کردن نفت سنگین مورد استفاده قرار گرفته است. نفت سنگین مورد استفاده دارای گرانروی ۱۳۷۵ سانتی پواز است.حلال ها با شدت جریان های مختلفی به الگو تزریق شده اند. در انتخاب شدت جریان تزریقی به دو عامل توجه شده است: نخست اینکه سرعت سیال تزریقی در میکرومدل در محدودهٔ سرعت سیال در مخزن باشد و دیگر اینکه، فرایند به صورتی پیش می رود که عامل قالب نفوذ باشد.

۳-۱ اثر شدت جریان تزریق آب به الگوی پنج نقطه ای

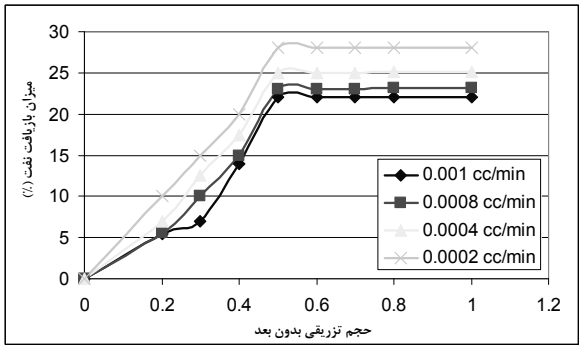
اولین آزمایش ما بعد از اشباع کامل الگو با نفت، تزریق آب رنگی است. آب، معمولا از حفره و گلوگاه هایی با مقاومت کمتر عبور می کند. از طرفی به علت تفاوت قابل توجه تحرک آب، در مقایسه با نفت، جابجایی نفت توسط آب کاملا پیستونی نیست و مقدار نفت زیادی به علت پدیده انگشتی شدن و به علت وجود نیروی مویینگی در میکرومدل باقی می ماند. همچنین بعد از خروج اولین قطره آب از مدل، میزان بازیافت نفت دیگر افزایش نمی یابد. همانطور که در شکل (۶) مشاهده می شود با افزایش شدت جریان تزریق آب، میزان بازیافت نفت کاهش می یابد.

۳-۲ اثر شدت جریان تزریق حلال به الگوی پنج نقطه‌ای

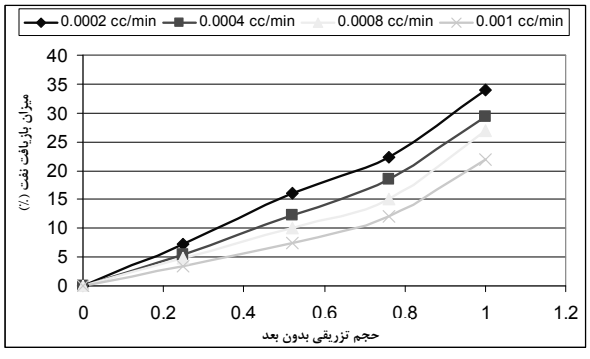
در فرایند تزریق حلالهای هیدروکربنی در میکرومدل ممکن است اثرات پخش شدن، در مقایسه با نفوذ، مهمتر باشد. اگر شدت جریان تزریق در الگو بسیار زیاد باشدآنگاه زمان کافی برای نفوذ حلال به درون نفت موجود در منافذ وجود ندارد لذا باید شدت جریان تزریق طوری تنظیم شود که عامل نفوذ غالب باشد. معمولا پخش طولی با افزایش شدت جریان تزریق زیاد می شود. در تزریق با شدت جریان کمتر، نفوذ جانبی نیز اتفاق می افتد که نقش مهمی را در جاروب کردن نفت ایفا می کند. در این مرحله ما قصد داریم اثر شدت جریان تزریق را بر بازدهی نفت سنگین مورد بررسی قرار دهیم به همین علت، نوع نفت، الگوی محیط متخلل ونوع سیال تزریقی مشابه است و ما فقط شدت جریان تزریق را تغییر داده ایم. شدت جریان های مورد استفاده ۰/۰۰۱ ، ۰/۰۰۰۸، ۰/۰۰۰۴ ، ۰/۰۰۰۲میلی لیتر بر دقیقه انتخاب شده اند. نتیجه آنالیز فرایند تزریق حلال در شدت جریان های مختلف تزریق در شکل (۷) نشان داده شده است. مشاهده می شود که هر چه شدت جریان تزریق حلال کمتر باشد فرایند، بازدهی بالاتری دارد و همچنین مشاهده می شود که با گذشت زمان تفاوت این دو نمودار بیشتر می شود زیرا در زمان های طولانی تر فرصت برای نفوذ حلال به درون نفت بیشتر است. با توجه به این نتایج، در بقیه آزمایش ها فقط از شدت جریان تزریق ۰/۰۰۰۴ میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شده است. لازم به ذکر است که شدت جریان ۰/۰۰۰۴ میلی-لیتر بر دقیقه از نظر آنالیز ابعادی سرعت ۱ فوت بر روز را دارد که همان سرعت حرکت سیال در مخازن نفتی است.

۳-۳ اثر نوع حلال تزریقی

هگزان، دکان و حلال مخلوط برای جابجا کردن نفت سنگین مورد استفاده قرارگرفته اند. تفاوت اصلی در تزریق آب و حلال، از بین رفتن

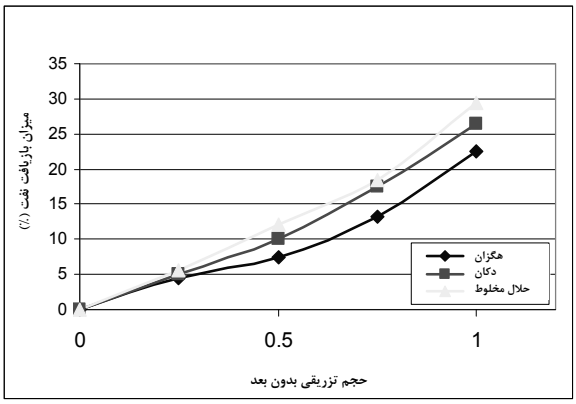


شکل ۶- تاثیر شدت جریان تزریق آب بر بازیافت نفت در تزریق آب



شکل ۷- تاثیر شدت جریان تزریق حلال بر بازیافت نفت در تزریق حلال

نیروی مویینگی است. در این قسمت، هدف، بررسی اثر حلالهای مختلف بر میزان بازیافت نفت است. در ضمن، نفوذ حلال در جهت حرکت سیال، بسیار کم است، به خاطر اینکه اثر حرکت سیال چندین برابر اثر نفوذ مولکولی است. اثر حلالهای مختلف بر میزان بازیافت نفت در شکل (۸) ترسیم شده است. مشاهده می شود که میزان بازیافت نفت در تزریق دکان بیشتر از هگزان است. دلیل اصلی این پدیده گرانروی بالاتر دکان در مقایسه با هگزان است، در حالی که ضریب نفوذ مولکولی هگزان بیشتر از دکان است. با توجه به نتایج این قسمت می توان گفت، در الگوی پنج نقطه ای نقش گرانروی حلال تزریقی از ضریب نفوذ آن بیشتر است. از طرفی در هنگام تزریق حلال های هیدروکربنی رسوب آسفالتین تشکیل می شود که برای رفع این مشکل از حلال مخلوط که شامل درصدی از حلال آروماتیک است استفاده شده تا از تشکیل رسوب آسفالتین جلوگیری به عمل آمده است. همچنین در شکل (۸) مشاهده می شود که میزان بازیافت نفت با تزریق حلال مخلوط، از سایر حلال ها بیشتر بوده است و به همین علت در بقیه آزمایش ها از حلال مخلوط به عنوان حلال تزریقی استفاده گردیده است.



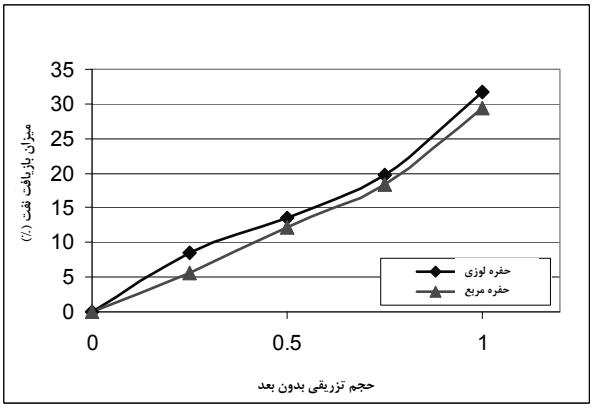
شکل ۸- تاثیر نوع حلال تزریقی بر روی بازیافت نفت در تزریق حلال

۳-۴ اثر شکل حفره

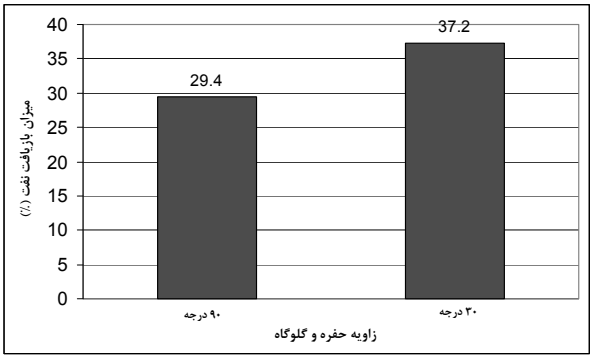
در این بخش، آزمایشها بر روی دو الگوی جریان با دو نوع شکل حفره متفاوت انجام گرفته است. به این منظور حفرات به شکل مربع (که همان الگوی اصلی است) و حفرات به شکل لوزی، طراحی و استفاده شده است. نتایج که در شکل (۹) آورده شده اند نشان می دهند که اگر شکل حفره لوزی باشد به علت کمتر بودن مقاومت در برابر حرکت سیال، میزان بهره دهی بیشتری حاصل می شود.

۳-۵ اثر زاویه بین حفرات و گلوگاه ها

در این بخش دو نوع الگوی متفاوت مورد آزمایش قرار گرفت. در الگوی اول، زاویه دهانه حفره ها عمود بر جریان ودر الگوی دوم، این زاویه ۳۰ درجه است. مشاهده می شود که هر چه از حالت مستقیم به حالت زاویه دار، متمایل شویم میزان بهره دهی بیشتر می شود. زیرا درحالت زاویه دار، حلال تزریقی دیرتر از مدل عبور می کند و همچنین ضریب نفوذ جانبی حلال در نفت در حالت زاویه دار بیشتر است. این دو دلیل باعث می شود که در حالتی که زاویه ۳۰ درجه است بازدهی نفت بالاتری داشته باشیم نتایج نشان داده شده در شکل (۱۰) این موضوع را به وضوح تأیید می کنند.



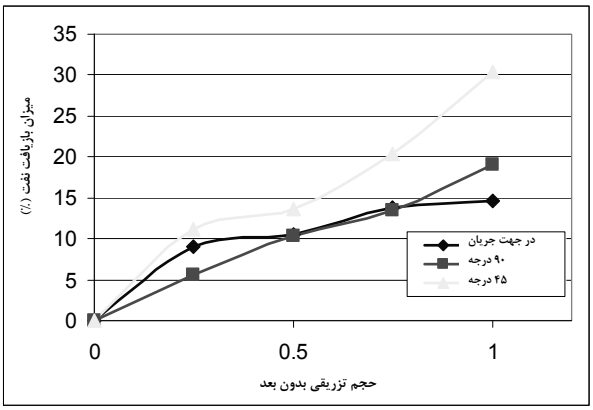
شکل ۹- تاثیر نوع حفره بر روی بازیافت نفت در تزریق حلال



شکل ۱۰- تاثیر زاویه حفره و گلوگاه بربازیافت نفت در تزریق حلال

۳-۶ اثر جهت شکاف

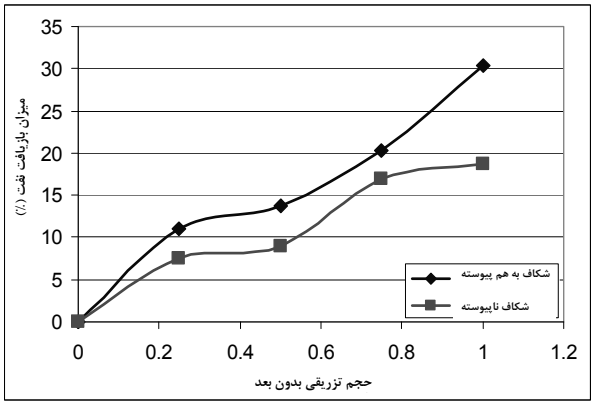
در این بخش از تحقیق، از الگوهای شکاف دار که در هر یک از آنها سه شکاف موازی وجود دارد استفاده شده است. شکاف ها، به ترتیب، زاویه های ۰، ۴۵ و ۹۰ درجه با جهت جریان می سازند. همانطور که در شکل (۱۱) مشاهده می شود وقتی که شکاف، زاویه ۴۵ درجه با جریان می سازد بازدهی نفت بیشتر است زیرا حلال به راحتی در عرض شکاف حرکت و نفت شکاف را به راحتی تولید می کند. زمانی که زاویه صفر درجه است چون حلال تزریقی از طریق شکاف به سرعت تولید می شود، حلال، زمان کافی برای نفوذ در اختیار ندارد و بازدهی کم می شود. وقتی شکاف با جهت جریان، زاویه ۹۰ درجه می سازد، با اینکه حلال به درون شکاف می رود ولی به علت اینکه جهت حرکت حلال به سمت افت فشار و چاه تولیدی می باشد به طور کلی بازیافت کمتری در مقایسه با شکاف با زاویه ۴۵ درجه دارد.



شکل ۱۱- تاثیر زاویه شکاف و مسیر جریان بربازیافت نفت در تزریق حلال

۳-۷ اثر ناپیوستگی شکاف

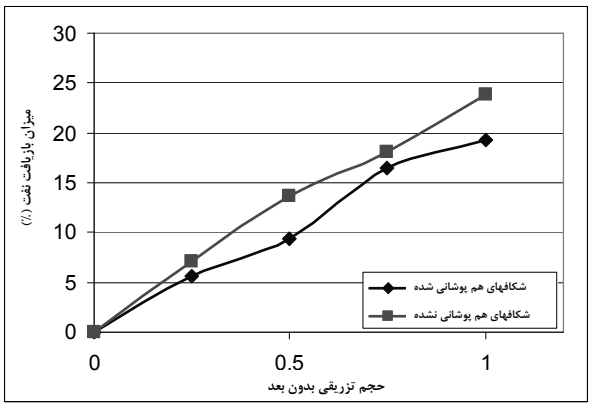
در این بخش از دو الگوی جریان شکاف دار که طول شکاف در هر دو مدل یکسان است استفاده شده است. در یکی از مدل ها شکاف در دو نقطه قطع شده، در حالی که در مدل دیگر پیوسته است. میزان برداشت نفت در فرایند تزریق حلال برای دو مدل مقایسه شده است. با توجه به مشاهدات می توان نتیجه گرفت میزان بازیافت در الگوی دارای شکاف پیوسته بیشتر از الگوی دارای شکاف ناپیوسته است. این، به آن علت است که حلال پس از نفوذ به درون شکاف، نفت درون شکاف را به راحتی ارتقا می دهد و تولید می کند و تمام شکاف از حلال پر می شود و به نفت درون ماتریس نفوذ می کند ولی در الگوی ناپیوسته به علت عدم پیوستگی، میزان نفوذ حلال از شکاف به درون ماتریس کمتر است، نتایج در شکل (۱۲) آمده است.



شکل ۱۲- تاثیر ناپیوستگی شکاف بربازیافت نفت در تزریق حلال

۳-۸ اثر همپوشانی شکاف

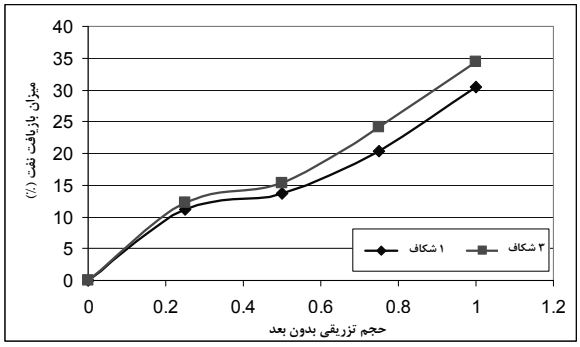
در این قسمت به منظور بررسی اثر همپوشانی شکاف بر میزان بهره دهی فرایند تزریق حلال در الگوی ربع پنج نقطه ای، از دو الگوی جریان شکافدار که هر کدام دارای دو شکاف می باشند استفاده شده است. در یکی از آنها، دو شکاف مقداری با هم همپوشانی داشتند در حالی که در دیگری همپوشانی وجود ندارد. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل (۱۳) می توان گفت همپوشانی شکاف باعث کاهش میزان تولید نفت می شود. وقتی دو شکاف همپوشانی می کنند باعث می شوند که حلال نتواند بطور کامل داخل دو شکاف را اشغال کند و در نتیجه نفت کمتری از دو شکاف خارج می شود. همچنین، مقدار نفوذ کمتری به وسیله حلال درون شکاف به نفت ماتریس صورت می پذیرد.



شکل ۱۳- تاثیر همپوشانی شکاف بربازیافت نفت در تزریق حلال

۳-۹ اثر تعداد شکاف

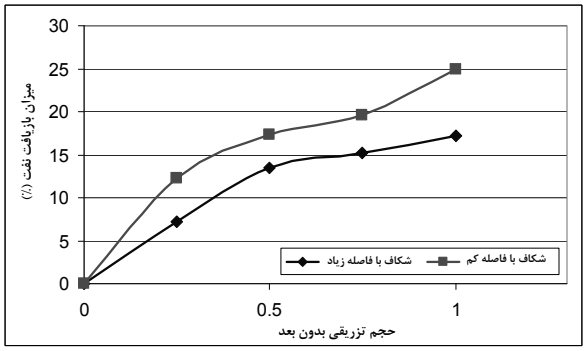
اثر تعداد شکاف بر میزان بازیافت نفت با استفاده از دو مدلی که یکی دارای سه شکاف و دیگری دارای یک شکاف بوده است، بررسی گردید. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل (۱۴) می توان گفت که هر چه تعداد شکاف بیشتر شود میزان بازیافت نیز بیشتر می شود.همانطور که در بخش ۳-۶ شرح داده شد، شکاف با زاویه ۴۵ درجه موجب افزایش ضریب بازیافت می شود، با افزایش تعداد شکاف ضریب بازیافت به مقدار قابل توجهی افزایش پیدا می کند



شکل ۱۴- تاثیر تعداد شکاف بربازیافت نفت در تزریق حلال

۳-۱۰ اثر فاصله شکاف

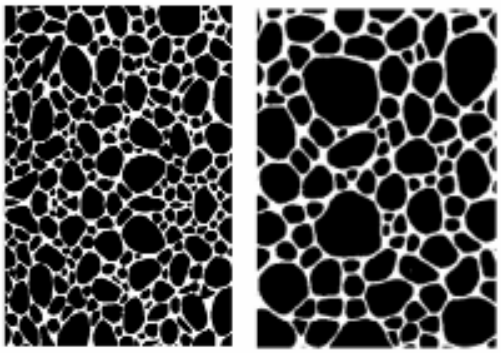
برای بررسی اثر فاصله شکاف ها بر میزان بازیافت در الگوی ربع پنج نقطه ای، دو الگوی شامل دو شکاف، که در یکی از آنها فاصله دو شکاف دو برابر دیگری است، طراحی و استفاده شده است. با توجه به نتایج، هر چه فاصله بین دو شکاف بیشتر شود میزان بازیافت کاهش می یابد.علت، آن است که وقتی فاصله دو شکاف بیشتر می شود حلال موجود در شکاف برای نفوذ به نفت موجود در ماتریس بین دو شکاف به زمان بیشتری احتیاج دارد. نتایج در شکل (۱۵) مشاهده می شوند



شکل ۱۵- تاثیر فاصله شکاف بربازیافت نفت در تزریق حلال

۳-۱۱ مدل ماسه سنگی

برای درک بهتر فرایند تزریق حلال به نفت سنگین در الگوی ربع پنج نقطه ای، از دو الگوی ماسه سنگی که از تکرار عکس های میکروسکوپی دو نمونه ماسه سنگ، حکاکی و ساخته شده اند، استفاده شده است. تصویر مقطع دو نوع ماسه سنگ در شکل (۱۶) آورده شده است. در جدول (۲) خواص فیزیکی دو مدل ماسه سنگی ساخته شده، از جمله: اندازه حفره و گلوگاه، تخلخل، تعداد گلوگاه های متصل به حفره و تراوایی مطلق که با هم متفاوت بوده اند، آورده شده است. نتایج انجام آزمایشهای تزریق در مورد هر دو الگوی بالا (شکل (۱۷)) نشان می دهند که با توجه به میزان نفت بازیافتی، الگوی شبکه ای طراحی شده، در حد قابل قبولی، نمایانگر محیط متخلخل واقعی است.

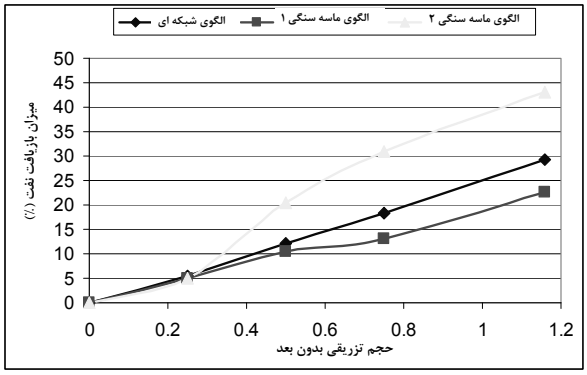


ماسه سنگ نوع ۲ ماسه سنگ نوع ۱

شکل ۱۶- تصاویر دو نوع ماسه سنگ مورد استفاده در ساخت الگوی جریان

جدول ۲- خواص فیزیکی دو نوع ماسه سنگ

نوع الگو	ماسه سنگی نوع ۱	ماسه سنگی نوع ۲
طول (میلیمتر)	۶۰	۶۰
عرض (میلیمتر)	۶۰	۶۰
عمق متوسط	۰/۰۵۰	۰/۰۵۰
تخلخل	۰/۳۴	۰/۴۰
تراوایی مطلق	۲۲۰۶	۶۰۲۲
نسبت اندازه حفره	۱/۰۲	۰/۶۰۶
تعداد گلوگاه های متصل به حفره	۲-۳-۴	۲-۳-۴



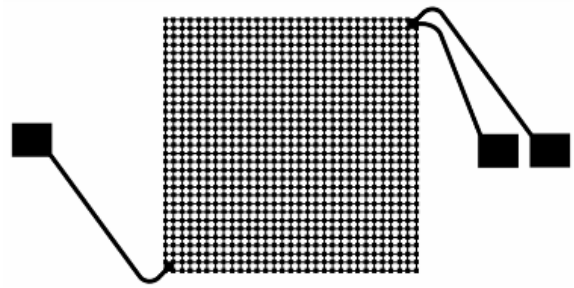
شکل ۱۷- مدل ماسه سنگی و تاثیر آن بر میزان بازیافت نفت در تزریق حلال

۳-۱۲تزریق همزمان آب و حلال

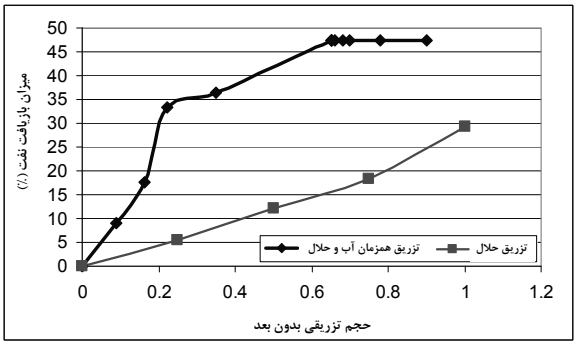
به منظور در نظر گرفتن مسایل اقتصادی و بهینه تر کردن روش تزریق حلال، در این بخش به تزریق همزمان آب و حلال پرداختیم. انجام این آزمایشها در الگوی جریان با دو ورودی (شکل (۱۸)) انجام شده است. شدت جریان تزریق حلال، ۰/۰۰۰۱ میلی لیتر بر دقیقه و شدت جریان تزریق آب، سه برابر آن یعنی ۰/۰۰۰۳ میلی لیتر بر دقیقه بوده است (مجموع شدت جریان های تزریقی همان ۰/۰۰۰۴ میلی لیتر بر دقیقه در نظر گرفته شده است). نتایج نشان می دهند که در تزریق همزمان آب و حلال، در مقایسه با تزریق پیوسته حلال، میزان بازیافت به مقدار قابل توجهی افزایش پیدا می کند و به این بدان علت است که تزریق حلال باعث کاهش گرانروی نفت سنگین می شود و آب تزریقی، نفتی را که سبکتر شده است به راحتی جابه جا می کند. این مکانیسم تا زمانی انجام می شود که آب از مدل خارج نشود. با خارج شدن آب از مدل، آب تزریقی به عنوان حایلی بین نفت و حلال عمل می کند و باعث عدم نفوذ حلال به درون نفت سنگین می شود که در نتیجه باعث عدم افزایش میزان بازیافت نفت می گردد. نتایج آزمایش در شکل (۱۹) آمده است.

۳-۱۳ تزریق متناوب آب و حلال

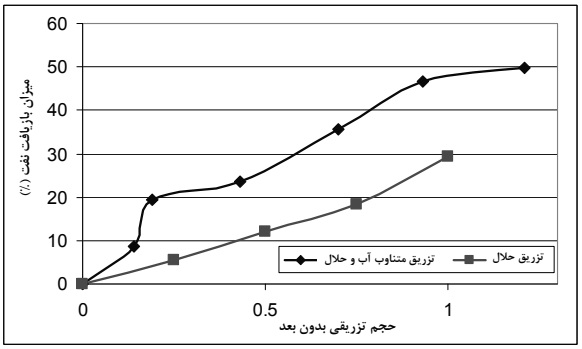
در تزریق متناوب آب و حلال، ابتدا مقدار ۰/۱۶ حجم حفره[1] حلال به درون میکرومدل اشباع از نفت سنگین تزریق می کنیم و سپس آن را با آب جاروب می کنیم. تزریق متناوب آب و حلال میزان ضریب بازیافت را در مقایسه با تزریق پیوسته حلال افزایش می دهد. حلال با کاهش گرانروی نفت سنگین باعث می شود آب بتواند عمل جاروب کردن موفق تری داشته باشد و بازدهی جاروب کردن، پیستونی تر عمل کند و در نتیجه میزان نفت بازیافتی بیشتر گردد نتایج آن در شکل (۲۰) آورده شده است.



شکل ۱۸- الگوی جریان با دو ورودی



شکل ۱۹- مقایسه میزان بازیافت نفت بین تزریق همزمان آب و حلال و حلال

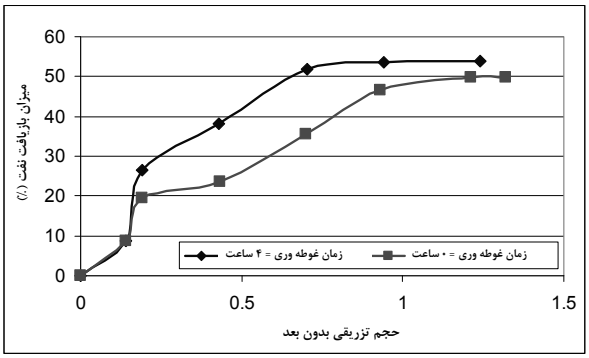


شکل ۲۰- مقایسه میزان بازیافت نفت بین تزریق متناوب آب و حلال و حلال

1. Pore Volume

۳-۱۴ اثر مدّت غوطه وری نفت سنگین در حلال

چون مکانیسم تولید در فرایند تزریق حلال بـه نفـت سـنگین، پدیـده نفوذ مولکولی حلال به درون نفت سنگین و در نتیجه کاهش گرانـروی آن می باشد، و از آنجا که فرایند نفوذ، تابعی از زمان است، به مطالعـه اثر مدّت تماس حلال با نفت سنگین بر میزان بازیافـت پرداختـه ایـم. ابتدا به اندازهٔ ۰/۱۶ حجم حفره، حلال بـه درون میکرومـدل اشـباع از نفت سنگین تزریق می کنیم، به آن، مدت ۴ ساعت اجازه می دهیم تا به طور کامل به درون نفت نفوذ کند و تا آنجا که مـی توانـد گرانـروی نفت را کاهش دهد. بعد عمل تزریق آب را انجام می دهـیم. نتـایج بـه دست آمده در شکل (۲۱) نشان می دهند که این عمل باعث می شود میزان نفت بازیافتی به مقدار قابل توجهی، در مقایسه با تزریق پیوسته حلال، افزایش یابد. در شکل (۲۲) میزان بازیافت نفت، استراتژی هـای مختلف تزریق در یک شکل با هم مقایسه شده اند که نشان می دهنـد میزان ضریب بازیافت در آزمـایش غوطـه وری، در مقایسـه بـا تمـامی استراتژی‌های تزریق، بیشتر است.

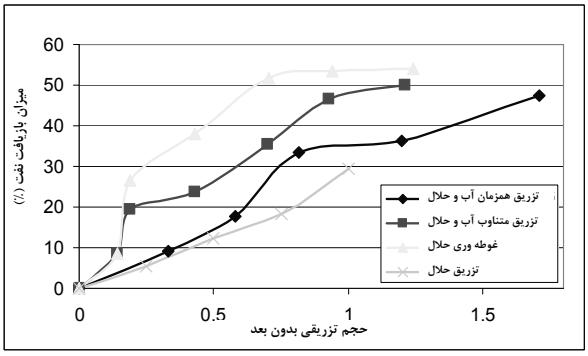


شکل ۲۱- مقایسه میزان بازیافت نفت بین آزمایش غوطه وری و حلال

۴- نتیجه گیری

از مطالعهٔ انجام شـده در مـورد فراینـد تزریـق حـلال بـه میکرومـدل شیشه‌ای ربع پنج نقطه ای اشباع شـده از نفـت سـنگین، نتـایجی بـه دست آمده است که مهم ترین آنها به شرح زیر می باشند:

- با افزایش شدت جریان تزریق آب میزان بازیافت نفت کاهش می یابد.
- هر چه شدت جریان تزریق حلال کمتر باشد، بازدهی، بـالاتر است.



شکل ۲۲- مقایسه میزان بازیافت نفت بین تمام استراتژی های تزریق حلال

- حـلال تزریقـی بـا گرانـروی بـالاتر، بازیافـت بیـشتری دارد، علیرغم اینکه حلال سبکتر از ضریب نفوذ بیشتری برخـوردار است.
- در حالتی که شکل حفره لوزی باشد میزان بهره دهی بیـشتر از حالتی است که شکل حفره مربع می باشد.
- هر چه زاویه بین حفره و گلوگاه از حالت مستقیم بـه حالـت زاویه دار نزدیک تر شود میزان بهره دهی بیشتر می شود.
- میزان بازیافت نفت در میکرومدل شکاف دار در حالت شکاف ۴۵ درجه با جریان، در مقایسه با حالتی که زاویه صفر یا ۹۰ درجه است، بازدهی بیشتری دارد.
- میزان بازیافـت در میکرومـدل بـا شـکاف پیوسـته بیـشتر از میکرومدل با شکاف ناپیوسته است.
- همپوشانی شکاف باعث کاهش میزان بهـره دهـی نفـت مـی شود.
- هر چه تعداد شکاف بیشتر شود میزان بازیافـت نفـت بیـشتر می شود.
- هر چه فاصله بـین دو شـکاف بیـشتر شـود میـزان بازیافـت کاهش می یابد.
- میزان بازیافت نفت در تزریق همزمان آب وحلال، در مقایسه با زمانی که تزریق حلال به تنهایی انجام می شود، به مقـدار قابل توجهی بیشتر است
- تزریق متناوب آب و حلال باعـث مـی شـود میـزان ضـریب بازیافت نسبت به تزریق پیوسته حلال بیشتر شود.

- بر مبنای میزان حلال تزریقی، میزان ضریب بازیافت نفت در آزمایش غوطه وری، در مقایسه با تمامی استراتژی های تزریق، بیشتر است.

۵- تشکر و قدردانی

در پایان، نویسندگان از حمایت های فنی مرکز تحقیقات نفت دانشگاه صنعت نفت کمال تشکر را دارند.

مراجع

[1] Oballa, V., Butler, R.M., "An Experimental Study of Diffusion in The Bitumen-Tulane System", Journal of Canadian Petroleum Technology ,March (1989).

[2] Koch, H and Slobod ,R.L., "Miscible Slug Process", SPE 714-G, Petroleum Branch Fall Meeting, LosAngless,Nov. (1956).

[3] Blackwell, R.J. and Terry, J.R., "Factors Influence the Efficiency of Miscible Displacement", SPE 1131-G, Annual Fall Meeting of Society of Petroleum Engineering ,Houston , Texas, Oct. (1958).

[4] Koval, E.T., "A Method for Predicting the Performance of Unstable Miscible Displacement in Heterogeneous Media", Soc. Pet. Eng. J. , June (1963).

[5] O'Steen, B.L. and E.T.S. Huang, "Modeling of Trapping and Dendritic Oil Mobilization During Miscible Displacement," paper SPE 18082, presented at the 63rd SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas ,Oct. (1988).

[6] Peaceman, D.W. and H.H. Rachford., "Numerical calculation of Multi-dimensional Miscible Displacement", Soc. Pet.Eng. J. 327-339, Dec. (1962).

[7] Slobod, R. and Hewlett, E., "The Effect of Gravity Segregation in Laboratory Studies of Miscible Displacement in rtical Unconsolidated Porous Media", SPE 743, Hudson Bay oil and gas company, Calgary, March (1963).

[8] Salama, D. and Kantzas, A., "Experimental Observation of Miscible Displacement of Heavy Oils with Hydrocarbon Solvents", SPE 97854, International Thermal Operations and Heavy Oil Symposium, Nov.2005

[9] Von Rosenberg, D. V., "On the Mechanics of Steady-State Single Phase Fluid Displacement from Porous Media", AlChE J. March (1956).

[10] Taylor, G., "Dispersion of Soluble Matter in Solvent Flowing Slowly through a Tube", Proc, Roy. Soc. A ,1953

[11] Coats, K.H. and B.D. Smith, "Dead End Pore Volume and Dispersion in Porous Media", Trans. AIME Vol 231; Soc. Pet. Eng. J. 73-84.,March (1964).

[12] Salter, SJ. and K.K. Mohanty., "Multiphase Flow in Porous Media: Microscopic Observations and Modeling," paper SPE 11017, presented at the 57th SPE Annual Technical conference and Exhibition, New Orleans, LA., Sept. (1982).

[13] Aguilera, R.: Naturally Fractured Reservoirs, *2nd edition*, Penn Well Books, NY (1995).