



تأثیر فشار تزریق دی اکسید کربن در بازیافت نفت به جامانده در یک مدل ماتریس-شکاف ماسه سنگی

مریم خروئی^۱ پژوهشکده‌ی ازدیاد برداشت

کیوان کاظمی^۲، یزاد رستمی^۳ دانشگاه تهران

چکیده

حین تزریق گاز در مخزن، به علت وجود انواع ناهمگونی‌ها (سنگ و سیال)، نفت در ابعاد ماکروسکوپی^۳ و میکروسکوپی^۴ به تله می افتد. نفت به جامانده را می توان با نیروها و مکانیزم‌هایی نظیر تبخیر، نفوذ/انتشار، تورم و جریان‌های متقاطع (ویسکوز، ثقلی و موئینه) تولید کرد. میزان بازیافت نفت به خواص گاز تزریقی، رژیم تزریق (غیرامتزاجی، نزدیک امتزاجی و امتزاجی)، حضور آب و میزان حفرات ته‌بسته بستگی دارد.

در این مطالعه با استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی خاص، تأثیر فشار تزریق دی اکسید کربن در بازیافت نفت به جامانده بررسی شده است. به علاوه با استفاده از محاسبات تحلیلی با اعداد بدون بُعد، تأثیر نیروها و مکانیزم‌های غالب مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایش‌ها نشان می دهد که با افزایش فشار، ضریب بازیافت نفت به صورت غیر یکنواخت تغییر می کند و در شرایط نزدیک امتزاجی وجود پدیده‌ی ترشوندگی نزدیک بحرانی^۵ باعث می شود بازیافت نفت حداکثر گردد.

واژگان کلیدی: نفت به جامانده، تزریق دی اکسید کربن، تخلیه‌ی ثقلی، تبخیر

مقدمه

خواص گاز تزریقی نیز می تواند در بهبود بازیافت نفت به جامانده مؤثر باشد و روی مکانیزم‌های اصلی تأثیر بگذارد. اگر گاز تزریقی دی اکسید کربن باشد بازیافت نفت در اثر تبخیر، تورم و کاهش گرانیوی نفت بهبود می یابد [۱۱]. تزریق دی اکسید کربن مزایای دیگری از قبیل فشار امتزاجی نسبتاً کم با سیالات مخزنی، قیمت ارزان تر نسبت به گازهای هیدروکربنی و در دسترس بودن (مخازن طبیعی و تولیدات کارخانه‌ها) نسبت به سایر گازهای تزریقی دارد. به علاوه، تزریق دی اکسید کربن به مخازن روش مناسبی به منظور ترسیب^۶ و کاهش انتشار دی اکسید کربن در جو^۷ است [۱۲].

بیش از ۳۰ درصد نفت تولیدی جهان از مخازن شکاف دار انجام می شود [۱۳]. یکی از ناهمگونی‌های اصلی سنگ، در مخازن شکاف دار طبیعی است. اختلاف زیاد نفوذپذیری بین شکاف و ماتریس باعث می شود سیال تزریقی از شکاف عبور کرده و مقدار زیادی از نفت در ماتریس باقی بماند. مطالعات آزمایشگاهی و شبیه‌سازی‌های متعددی در زمینه‌ی بازیافت نفت به جامانده با استفاده از مدل‌های ماتریس-شکاف انجام شده است. بسیاری از این مطالعات با استفاده از یک یا چند مغزه به عنوان ماتریس که توسط یک شکاف در اطراف آن احاطه شده، انجام گرفته‌اند. این نوع از مدل‌های ماتریس-شکاف بیشتر به منظور مطالعه‌ی اثر ریزش ثقلی و نفوذ در مخازن شکاف دار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مورل و همکاران [۱۴]، برای بررسی پدیده‌ی نفوذ در مخازن شکاف دار، از مدل ماتریس-شکاف خاصی استفاده کرده‌اند. در این مدل، شکاف در یک طرف مغزه قرار گرفته که تزریق و تولید از همان

تزریق نزدیک امتزاجی به تزریقی گفته می شود که در آن فشار یا غنای سیال تزریقی کمی کمتر از حداقل فشار امتزاجی یا حداقل غنای تزریقی است. فشار و غنای امتزاجی معمولاً با استفاده از آزمایش‌های لوله قلمی یا با استفاده از معادلات حالت تعیین می شود [۱]. مکانیزم‌های خاصی نظیر کم بودن تنش میان‌رویه و در نتیجه کم بودن فشار موئینه [۲]، بهبود جاروب در اثر ایجاد جریان دو فازی نسبت به تزریق تک‌فاز در حالت امتزاجی [۳ و ۲]، جریان هم‌زمان نفت و گاز در حفرات که باعث ادامه یافتن بازیافت نفت در پشت جبهه‌ی اصلی می شود [۴ و ۵] و پدیده‌ی ترشوندگی نزدیک بحرانی [۶] سبب افزایش بازیافت تزریق نزدیک امتزاجی می شوند.

طی تزریق در مخزن، سیال تزریقی از برخی مسیرها حرکت می کند و ممکن است با تمامی نفت مخزن در تماس قرار نگیرد و در نتیجه نفت به تله بیفتد. به تله افتادگی نفت ممکن است در ابعاد میکروسکوپی^۴ و ماکروسکوپی^۳ و به دلایلی نظیر انگشتی شدن (تحرک زیاد سیال تزریقی نسبت سیال مخزن)، رورانندگی ثقلی (اختلاف چگالی سیالات)، ناهمگونی سنگ مخزن و فشار موئینه‌ی زیاد (در اثر تنش میان‌رویه‌ی زیاد و نفوذپذیری کم سنگ) رخ دهد.

نفت به جامانده را می توان با نیروها و مکانیزم‌هایی نظیر نفوذ/انتشار [۷]، جریان‌های متقاطع ویسکوز [۸]، ثقلی [۹] و موئینه [۱۰] تولید کرد. میزان بازیافت نفت به رژیم تزریق (غیرامتزاجی، نزدیک امتزاجی و امتزاجی)، حضور آب و میزان حفرات ته‌بسته بستگی دارد.

*نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (kazemi.ipe@ut.ac.ir)

سیستم سیالات ساده استفاده شده است. قبل از انجام آزمایش‌ها، فشار امتزاجی و خواص فیزیکی سیستم دکان-دی اکسید کربن با استفاده از نرم‌افزار PVTi و از طریق معادله‌ی حالت سه پارامتری پنگ-رابینسون محاسبه شده است.

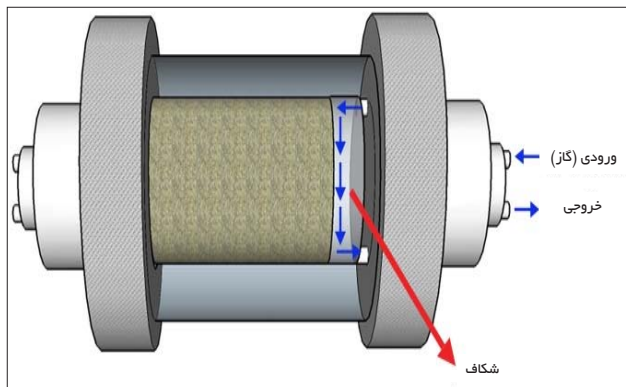
۱-۲- تجهیزات آزمایشگاهی

در شکل ۱- شماتیک تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده نشان داده شده است. تجهیزات آزمایشگاهی شامل گرمکن^۷ (به همراه کنترل کننده‌ی دما)، پمپ، سل‌های انتقال، مغزه‌ی نگهدار، رگلاتور تثبیت فشار (BPR)^۸، تفکیک گر اتمسفری، مبرد، فشارسنج و دستگاه سنجش اختلاف فشار (DP) است.

سیلندرهای انتقال، مغزه‌ی نگهدار و رگلاتور تثبیت فشار در داخل گرمکن قرار می‌گیرند. از پمپ جابجایی مثبت جهت تزریق پیوسته و با نرخ ثابت سیالات استفاده شده است. مغزه‌ی نگهدار مخصوصی با قابلیت کارکرد در فشار زیاد طراحی شده است. طبق شکل ۲- مغزه‌ی نگهدار دارای یک درپوش شکاف با عمق ۰/۳ میلی‌متر در یک طرف مغزه است و می‌توان سیالات را به ماتریس سنگ یا شکاف تزریق کرد. گاز از ورودی بالای درپوش شکاف تزریق شده، از کنار مغزه عبور کرده و در نهایت از خروجی پایین درپوش شکاف خارج می‌شود. تجهیزات آزمایشگاهی مذکور به منظور مطالعه‌ی جنبه‌های مختلف بازیافت نفت به تله‌افتاده، توسط مورل و همکاران [۱۴]، لرومنسر و همکاران [۱۶]، برگر و همکاران [۳]، خسروی و همکاران [۱۷] استفاده شد. به منظور تثبیت فشار سیستم از رگلاتور تثبیت فشار (BPR) استفاده شده است. جریان تولیدی از سیستم در فشار اتمسفری فلش شده و مایعات تولیدی در بورت مدرج جمع می‌گردند.

۱-۳- روش آزمایشگاهی

قبل از انجام هر آزمایش، با تزریق ۱۰ حجم تخلخل ایزوپروپانول مغزه را می‌شویند. سپس مغزه به مدت ۲۴ ساعت در گرمکن خشک



شکل ۲ | شماتیک مغزه‌ی نگهدار و درپوش شکاف

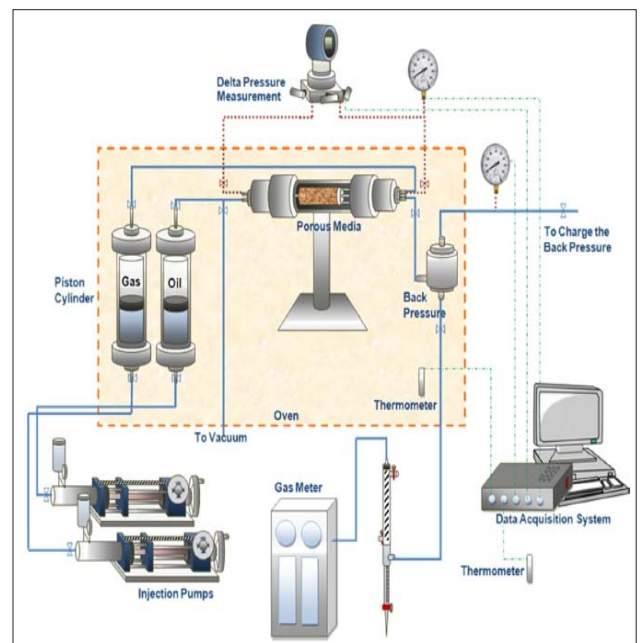
طرف صورت می‌گرفت. برگر و همکاران [۱۵] نیز با استفاده از این مدل، تأثیر رفتار فازی را بر انتقال جرم از محیط به تله‌افتاده بررسی کردند. در این مطالعه با استفاده از مدل مشابه ماتریس-شکاف مورل و همکاران، اثر فشار تزریق دی اکسید کربن در بازیافت نفت به جامانده بررسی شده است. با تغییر فشار تزریق دی اکسید کربن، تنش میان‌رویه‌ی بین گاز و نفت تغییر می‌کند. آزمایش‌های انجام شده در فشارهای مختلف، نماینده‌ی شرایط امتزاجی مختلف هستند که بر اساس مقدار تنش میان‌رویه به سه دسته‌ی غیرامتزاجی، نزدیک امتزاجی و امتزاجی تک‌تماسه تقسیم می‌شوند. بر اساس سیستم سیالاتی ساده و آزمایش‌های تحت فشار و دمای زیاد، نقش نیروها (ویسکوز، ثقلی و موئینه) و مکانیزم‌های مختلف تولید نفت به جامانده (تورم و تبخیر) بررسی شده‌اند.

۱- مواد و روش‌ها

۱-۱- خواص سنگ و سیال

در این مطالعه از یک نمونه مغزه‌ی استوانه‌ای استخراج شده از یک رخنمون ماسه‌ای به طول ۸ سانتی‌متر و قطر ۳/۸ سانتی‌متر استفاده شده است. تخلخل و نفوذپذیری مغزه به ترتیب برابر ۱۷/۶ درصد و ۱۵۰ میلی‌داری است.

سیستم سیالات مورد استفاده در این مطالعه شامل نرمال دکان خالص به عنوان نفت و دی اکسید کربن به عنوان سیال تزریقی است. به منظور کاهش پیچیدگی‌های مکانیزم‌های مختلف طی تزریق دی اکسید کربن و معلوم بودن خواص ترمودینامیکی دکان و دی اکسید کربن، از یک



شکل ۱ | شماتیک تجهیزات آزمایشگاهی تزریق دی اکسید کربن در شکاف (مشابه سیستم خسروی و همکاران)



استفاده شده است. جدول ۱- خواص سیالات و آنالیز ابعادی در مقیاس حفره را در فشارهای مختلف نشان می‌دهد. مقدار عدد موئینگی و باند در شرایط غیرامتزاجی باید به ترتیب در بازه‌ی 10^{-7} و 10^{-4} باشد که با مقادیر آن در شرایط غیرامتزاجی آزمایش‌ها مطابقت دارد. [۱۷]

$$\mu_v = \text{عدد موئینگی} \quad (1)$$

در رابطه ۱-، v و μ به ترتیب سرعت و گرانشی سیال تزریقی و σ تنش میان‌روی بین دو فاز است.

$$\Delta \rho g D_h^2 = \text{عدد باند} \quad (2)$$

$\Delta \rho$ اختلاف چگالی بین دو سیال، g شتاب گرانش، σ تنش میان‌روی بین دو سیال و D_h طول مشخصه و برابر با شعاع هیدرولیکی است. آنالیز ابعادی در مقیاس مغزه بیانگر اهمیت نسبی نیروها و مکانیزم‌های فعال است. مقادیر آنالیز ابعادی در مقیاس مغزه در جدول ۲- گزارش شده‌اند. عدد پکلت^{۱۱} (رابطه ۳-) به منظور تشخیص زمان لازم برای تأثیر مکانیزم نفوذ نسبت به نیروهای همرفتی استفاده شده است. با توجه به جدول ۳-، بزرگ بودن اعداد پکلت محاسبه شده نشان می‌دهد که در آزمایش‌های انجام شده می‌توان از نفوذ در مقابل نیروهای همرفتی صرف نظر کرد.

$$N_{peG} = \frac{L^2 D_{CO_2}}{H U_{drainage}} = \frac{\text{زمان نیروهای نفوذ}}{\text{زمان نیروهای همرفتی}} = \text{عدد پکلت} \quad (3)$$

در رابطه ۳-، U سرعت تخلیه، D ضریب نفوذ مولکولی دی‌اکسید کربن در نفت (با استفاده از رابطه اصلاح شده سیگموند^{۱۲} محاسبه شده) و D و L به ترتیب قطر و طول مغزه هستند. سرعت تخلیه‌ی ثقلی به عنوان تنها نیروی همرفتی سیستم به صورت تحلیلی از رابطه ۴- قابل محاسبه است. در این رابطه $\Delta S_0 = 1$ برابر با تغییرات اشباع نفت در سیستم است و چگالی و گرانشی نفت ثابت فرض می‌شود.

$$\text{سرعت تخلیه} = \frac{k \Delta \rho g}{\mu_0 \phi \Delta S_0} \quad (4)$$

نیروهای موئینه برخلاف تخلیه‌ی ثقلی عمل می‌کنند و رابطه ۵- اهمیت نسبی این دو نیرو را نشان می‌دهد. λ و همکاران بیان کردند هنگامی که مقدار N_{peG} کمتر از 0.2 یا بیشتر از 5 باشد به ترتیب نیروهای ثقلی و موئینه غالب هستند [۱۷ و ۱۸]. در صورتی که مقدار N_{peG} بین 0.2 و 5 باشد نیروهای ثقلی و موئینه در تعادل هستند. مقادیر N_{peG} نشان می‌دهد که در شرایط غیرامتزاجی جریان در تعادل ثقلی-موئینه است ولی در شرایط نزدیک امتزاجی و امتزاجی نیروهای ثقلی غالب هستند.

$$N_{peG} = \frac{P_c}{H \Delta \rho g} \quad (5)$$

شده و به مدت ۲۴ ساعت توسط پمپ خلأ، هواگیری می‌شود. پس از آن دکان به مغزه تزریق می‌شود تا مغزه ۱۰۰ درصد اشباع گردد. طی این مرحله از آماده‌سازی، جهت محاسبه‌ی تخلخل سنگ، حجم دکان تزریقی و پس از آن نفوذپذیری سنگ اندازه‌گیری می‌شود. این روش برای آزمایش‌های بدون حضور آب انجام شد.

پس از آماده‌سازی سیستم در دما و فشار مدنظر، تزریق دی‌اکسید کربن در شکاف آغاز شده و عبور گاز از کنار مغزه‌ی فرآیند، بازیافت نفت به‌جامانده را شبیه‌سازی می‌کند. تمامی آزمایش‌ها در دمای ۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و نرخ ۱۰ سی‌سی در ساعت انجام شده‌اند. به‌منظور بررسی تأثیر حضور اشباع آب اولیه در فشارهای مختلف امتزاجی ۲۳۰۰، ۲۰۰۰، ۱۹۰۰ و ۱۶۰۰ پام، سه دسته آزمایش طراحی شده‌اند. بر اساس نتایج معادله‌ی حالت تصحیح شده، فشار امتزاجی سیستم دکان-دی‌اکسید کربن ۲۰۶۵ پام است. بنابراین در فشارهای ۱۶۰۰ و ۱۹۰۰ تزریق غیرامتزاجی، در فشار ۲۰۰۰ تزریق نزدیک امتزاجی و در فشار ۲۳۰۰ تزریق امتزاجی تک‌تماسه است.

۲- گروه‌های بدون بُعد

برای اینکه نشان داده شود نتایج آزمایشگاهی معرف رویدادهای مخزن هستند از آنالیز ابعادی در مقیاس حفره (عدد موئینگی^۹ و باند^{۱۰})

عدد بوند	عدد موئینگی	تنش میان‌روی	گرانشی دکان	چگالی دکان	گرانشی دی‌اکسید کربن	چگالی دی‌اکسید کربن	فشار (پام)
۴/۴E-۰۴	۱/۵E-۰۷	۲/۱۵۰	۲/۱۵۰	۰/۷۰۲	۰/۰۲۳	۰/۲۶۲	۱۶۰۰
۲/۴E-۰۳	۱/۱E-۰۶	۰/۳۳۱	۰/۳۳۱	۰/۷۰۴	۰/۰۲۶	۰/۳۴۰	۱۹۰۰
۱/۳E-۰۲	۶/۸E-۰۶	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶	۰/۷۰۵	۰/۰۲۷	۰/۳۶۷	۲۰۰۰
---	---	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۷۰۷	۰/۰۳۲	۰/۴۴۴	۲۳۰۰

N_{peG}	عدد پکلت	زمان نیروهای ثقلی	سرعت تخلیه	نفوذپذیری‌های ثقلی	ضریب نفوذ ملکولی	فشار (پام)
۱/۷۸	۵۱۵/۱	۱/۱	۹/۳E-۰۶	۲۴/۳	۳/۲E-۰۵	۱۶۰۰
۰/۳۳	۵۴۱/۸	۱/۴	۷/۳E-۰۶	۲۷/۲	۲/۸E-۰۵	۱۹۰۰
۰/۰۶	۵۴۰/۷	۱/۶	۶/۷E-۰۶	۳۵/۶	۲/۲E-۰۵	۲۰۰۰
۰/۰۰	---	---	۵/۰E-۰۶	---	---	۲۳۰۰

بازیافت نهایی	بازیافت (۲ حجم تخلخل)	بازیافت (۵ حجم تخلخل)	رژیم تزریقی	فشار (پام)	شماره‌ی آزمایش
۱۵/۰۳	۹/۰۸	۷/۸۸	IM	۱۶۰۰	۱
۲۵/۳۷	۱۰/۶۹	۵/۵۱	IM	۱۹۰۰	۲
۹۱/۵۹	۳۹/۵۲	۱۲/۰۰	NM	۲۰۰۰	۳
۸۱/۷۳	۲۱/۴۳	۶/۸۳	FCM	۲۳۰۰	۴

۳- نتایج آزمایشگاهی

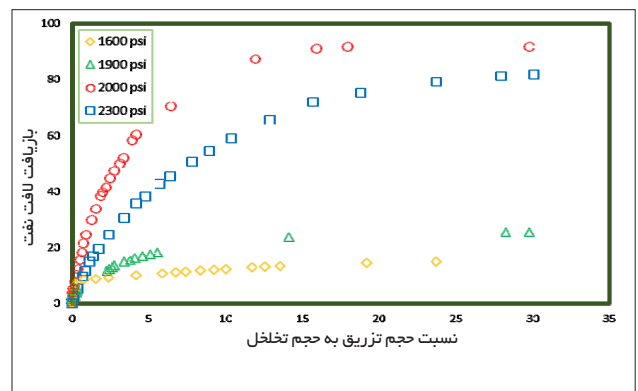
خلاصه‌ی نتایج آزمایشگاهی شامل میزان بازیافت نفت پس از تزریق ۰/۵ و ۲ حجم تخلخل دی‌اکسید کربن و همچنین مقدار بازیافت نهایی در جدول ۴ گزارش شده است.

شکل ۳- ضریب بازیافت نفت را بر حسب حجم تخلخل تزریقی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در فشارهای زیر بحرانی، افزایش فشار سبب افزایش بازیافت می‌شود اما بالای فشار بحرانی، افزایش فشار تأثیری منفی در نتایج داشته و منجر به کاهش بازیافت نفت می‌گردد. بنابراین بیشترین میزان تولید در نزدیکی فشار بحرانی رخ می‌دهد.

۴- بحث

نتایج مشاهدات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که در فرآیند بازیافت نفت با تزریق دی‌اکسید کربن در مدل ماتریس-شکاف مورد استفاده، جریان در دو بُعد برقرار می‌شود. به منظور تحلیل بهتر پدیده‌های جاری در آزمایش‌های انجام شده ابتدا لازم است مشخص شود کدام نیروها مغلوب و کدامیک غالب بوده‌اند.

مقادیر محاسبه شده‌ی پکلت ($Pe \gg 1$) و مقایسه‌ی مقیاس‌های زمانی لازم برای تأثیر نیروهای همرفتی و نفوذ که در جدول ۳- ارائه شده‌اند نشان می‌دهد که زمان لازم برای تأثیر نفوذ در فشارهای مختلف بین ۲۴ تا ۳۵ روز است؛ در حالی که نیروهای همرفتی (ثقلی) می‌توانند طی ۱ تا ۲ ساعت در قطر مغزه عمل کنند. بنابراین در آزمایش‌های انجام شده می‌توان از نفوذ در مقابل نیروهای همرفتی صرف نظر کرد. همچنین



شکل ۳ | ضریب بازیافت دکان در تزریق گاز در شکاف

۴ مقایسه‌ی سرعت تخلیه‌ی محاسبه شده از الگوی VAPEX و سرعت تخلیه‌ی آزمایشگاهی		
سرعت تخلیه‌ی آزمایشگاهی	سرعت تخلیه‌ی تحلیلی	فشار (پام)
۶/۰۳E-۰۶	۹/۳۰E-۰۶	۱۶۰۰
۳/۵۵E-۰۶	۷/۳۰E-۰۶	۱۹۰۰
۳/۴۲E-۰۶	۴/۹۵E-۰۶	۲۳۰۰

به دلیل اختلاف فشار ناچیز دو سر مغزه در آزمایش‌های انجام شده می‌توان از نیروهای ویسکوز در طول مغزه صرف نظر نمود.

از آنجا که مقادیر N_{pcG} در جدول ۳- در شرایط غیرامتزاجی و در بازه‌ی ۰/۲ تا ۵ قرار دارند جریان در تعادل ثقلی- موئینه است. اما در شرایط نزدیک امتزاجی و امتزاجی مقادیر N_{pcG} کمتر از ۰/۲ است و بنابراین نیروهای ثقلی غالب هستند.

در آزمایش‌های انجام شده نیروهای ثقلی در زمان‌های آغازین باعث ریزش ثقلی می‌شوند در حالی که نیروهای موئینه و ویسکوز در مقابل این نیروها مقاومت می‌کنند. هم‌زمان حل شدن دی‌اکسید کربن در نفت باعث تورم آن می‌شود و نیز بخشی از نفت در گاز حل می‌گردد. خسروی و همکاران [۱۷] نشان دادند که الگوی تولید در این مدل ماتریس-شکاف بسیار شبیه به الگوی VAPEX است.

در جدول ۴- نرخ تخلیه‌ی تحلیلی بر اساس الگوی VAPEX و همچنین نرخ تخلیه بر اساس داده‌های آزمایشگاهی در زمان‌های اولیه ارائه شده است. با افزایش فشار، به دلیل افزایش گرانی و کاهش اختلاف چگالی نفت و گاز، نرخ تخلیه‌ی تحلیلی کاهش می‌یابد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، نرخ‌های تخلیه روند یکسانی دارند اما سرعت تخلیه‌ی آزمایشگاهی کمی پایین تر است که ممکن است به دلایل کاهش اختلاف چگالی نفت و گاز در اثر اختلاط، نیروهای موئینه و جریان مختلف‌الجهت باشد.

در شرایط نزدیک امتزاجی سرعت تخلیه‌ی آزمایشگاهی از روند مقادیر تخمین زده شده با محاسبات تحلیلی تبعیت نمی‌کند. در این شرایط سرعت تخلیه بر اساس داده‌های زمان‌های آغازین برابر $۷/۴۴ \times ۱۰^{-۶}$ متر بر ثانیه بوده و بیشتر از مقدار تحلیلی آن در جدول ۲- است.

پس از تخلیه‌ی سریع در زمان‌های آغازین، بازیافت نفت با سرعت کمتری از طریق تبخیر صورت می‌گیرد. در هر دو ناحیه، تورم نفت در اثر کاهش گرانی و افزایش سطح تبخیر، به بازیافت نفت کمک می‌کند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که تنها در شرایط نزدیک امتزاجی، گاز خروجی کاملاً از دکان اشباع است. خروج گاز به صورت اشباع در فشار نزدیک امتزاجی مؤید اهمیت نقش تبخیر در این آزمایش‌هاست.

شرایط غیرامتزاجی تبخیر از سطح بسیار کمی که در جبهه‌ی گاز و نفت وجود دارد رخ می‌دهد و در شرایط امتزاجی عدم وجود میان‌رویه بین نفت و گاز باعث می‌شود نفت تنها در جبهه‌ی جریان در گاز حل گردد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در شرایط نزدیک امتزاجی مکانیزمی وجود دارد که باعث می‌شود سرعت تخلیه‌ی ثقلی در زمان‌های آغازین زیاد باشد. پس از آن گاز اشباع از دکان از سیستم خارج می‌شود و در نتیجه حداکثر بازیافت نفت در این شرایط رخ می‌دهد. خسروی و همکاران این موضوع را با استفاده از ترشوندگی نزدیک بحرانی توضیح دادند. در شرایط نزدیک امتزاجی، پدیده‌ی ترشوندگی نزدیک بحرانی



باعث می شود نفت به صورت لایه ای روی سطح سنگ پخش شود و لایه ای ترکنده ی پیوسته ای تشکیل دهد که منجر به تسریع در تخلیه ی ثقلی و افزایش سطح لازم برای تبخیر (اشباع شدن گاز) گردد [۱۷].

نتیجه گیری

به منظور بررسی اثر فشار تزریق بر بازیافت نفت به جامانده، چندین مجموعه تست آزمایشگاهی در یک مدل ماتریس-شکاف خاص انجام شد که بر اساس نتایج آزمایشگاهی، آنالیز ابعادی نتایج زیر حاصل گردید:

■ تزریق غیرامتزاجی برای بازیافت نفت به جامانده مناسب نیست اما تزریق نزدیک امتزاجی و امتزاجی سبب بهبود مؤثر بازیافت

نفت می شود.

■ در آزمایش های انجام شده، تزریق دی اکسید کربن در شکاف نفوذ تأثیر گذار نبوده و تولید در اثر تخلیه ی ثقلی، تبخیر و تورم صورت می گیرد.

■ در تزریق غیرامتزاجی دی اکسید کربن، بخش اعظم تولید در اثر تخلیه ی ثقلی انجام می شود اما در شرایط نزدیک امتزاجی نقش تبخیر بسیار برجسته است.

■ در شرایط نزدیک امتزاجی وجود پدیده ی نزدیک بحرانی باعث می شود نرخ تخلیه ی آزمایشگاهی بیشتر از مقدار محاسبه ی تحلیلی باشد و نرخ تبخیر به گونه ای افزایش یابد که گاز خروجی از دکان اشباع باشد. ■

پانویس ها

¹ brostami@ut.ac.ir

² hosravi.inbox@gmail.com

³ Macroscopic

⁴ Microscopic

⁵ Critical point wetting

⁶ Sequestration

⁷ Oven

⁸ Back pressure regulator

⁹ Capillary number

¹⁰ Bond number

¹¹ Peclet Number

¹² Sigmond

منابع

- [1] Shyeh-Yung J, Stadler M, Effect Of Injectant Composition And Pressure On Displacement Of Oil By Enriched Hydrocarbon Gases, SPE Reservoir Engineering, 10 (1995) 109115-.
- [2] Shyeh-Yung J, Mechanisms Of Miscible Oil Recovery: Effects Of Pressure On Miscible And Near-Miscible Displacements Of Oil By Carbon Dioxide, In: SPE Annual Technical Conference And Exhibition, Society Of Petroleum Engineers, 1991.
- [3] Burger J, Mohanty K, Mass Transfer From Bypassed Zones During Gas Injection, In: Society Of Petroleum Engineers. Annual Technical Conference, 1995.
- [4] Williams JK, Dawe RA, Photographic Observations Of Unusual Flow Phenomena In Porous Media At Interfacial Tensions Below 0.1 Mnm-1, Journal Of Colloid And Interface Science, 124 (1988) 691696-.
- [5] Sohrabi M, Danesh A, Tehrani DH, Jamiolahmady M, Microscopic Mechanisms Of Oil Recovery By Near-Miscible Gas Injection, Transport In Porous Media, 72 (2008) 351367-.
- [6] Cahn JW, Critical Point Wetting, The Journal Of Chemical Physics, 66 (1977) 36673672-.
- [7] Hara S, Christman P, Investigation Of A Cyclic Countercurrent Light-Oil/CO2 Immiscible Process, SPE Advanced Technology Series, 1 (1993) 159165-.
- [8] Pande K, Orr Jr F, Analytical Computation Of Breakthrough Recovery For CO2 Floods In Layered Reservoirs, Paper SPE, 20177 (1990) 2225-.
- [9] Firoozabadi A, Tan J, Miscible Displacement In Fractured Porous Media: Part II-Analysis, In: SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium, Society Of Petroleum Engineers, 1994.
- [10] Fayers F, Lee S, Crossflow Mechanisms By Gas Drive In Heterogeneous Reservoirs, In: SPE Annual Technical Conference And Exhibition, Society Of Petroleum Engineers, 1992.
- [11] Holm L, Josendal V, Mechanisms Of Oil Displacement By Carbon Dioxide, Journal Of Petroleum Technology, 26 (1974) 14271438-.
- [12] Sahimi M, Flow And Transport In Porous Media And Fractured Rock: From Classical Methods To Modern Approaches, John Wiley & Sons, 2012.
- [13] Zendejboudi S, Chatzis I, Mohsenipour AA, Elkamel A, Dimensional Analysis And Scale-Up of Immiscible Two-Phase Flow Displacement In Fractured Porous Media Under Controlled Gravity Drainage, Energy & Fuels, 25 (2011) 17311750-.
- [14] Morel D, Bourbiaux B, Latil M, Thiebot B, Diffusion Effects In Gasflooded Light-Oil Fractured Reservoirs, Speadvanced Technology Series, 1 (1993) 100109-.
- [15] Burger J, Springate S, Mohanty K, Experiments On Bypassing During Gasfloods In Heterogeneous Porous Media, SPE Reservoir Engineering, 11 (1996) 109115-.
- [16] Le Romancer J, Fernandes G, Mechanism Of Oilrecovery By Gas Diffusion In Fractured Reservoir In Presence Of Water, In: SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium, Society Of Petroleum Engineers, 1994.
- [17] Khosravi M, Bahramian A, Emadi M, Rostami B, Roayaie E, Mechanistic Investigation Of Bypassed-Oil Recovery During CO2 Injection In Matrix And Fracture, Fuel, 117 (2014) 4349-.
- [18] Burger JE, Bypassing And Mass Transfer During Gas Injection, University Of Houston, 1995.