

مقاله پژوهشی

بهینه سازی پارامترهای مؤثر بر تزریق متناوب آب و گاز نیتروژن در ازدیاد برداشت نفت از یکی از مخازن جنوب غرب ایران

امین سعیدی

گروه فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات نفت و انرژی، واحد امیدیه، دانشگاه آزاد اسلامی، امیدیه، ایران

چکیده

افزایش تقاضای جهانی برای انرژی، بهبود روش‌های بهره‌برداری از منابع هیدروکربنی را ضروری کرده است. یکی از روش‌های مؤثر برای افزایش ضریب بازیافت نفت، تزریق متناوب آب و گاز به مخازن است. این پژوهش به بررسی تأثیر تزریق متناوب آب و گاز نیتروژن بر ضریب بازیافت نفت از مخازن کربناته جنوب غرب ایران پرداخته است. ابتدا مغزه‌های سنگی از مخازن منتخب استخراج و پس از آماده‌سازی در آزمایشگاه، تحت آزمایش‌های تزریق قرار گرفتند. در این فرآیند، پارامترهایی نظیر دبی تزریق، تغییرات فشار، و میزان اشباع نفت بررسی شدند. نتایج نشان داد که استفاده از گاز نیتروژن به‌عنوان سیال تزریقی، همراه با آب، تأثیر بسزایی در بهبود برداشت نفت دارد. دبی بهینه تزریق نیتروژن برابر با 0.2 سی‌سی بر دقیقه تعیین شد که منجر به افزایش ضریب بازیافت نفت تا ۵۶ درصد گردید. این روش با کاهش تنش‌های سطحی و بهبود جریان سیالات در مخازن کربناته، عملکردی قابل‌توجه نشان داده است.

پژوهش حاضر نشان می‌دهد که تزریق متناوب آب و گاز نیتروژن، به‌عنوان یک فناوری کارآمد، می‌تواند در بهره‌برداری از مخازن نفتی با پیچیدگی‌های ساختاری بالا مؤثر باشد. توصیه می‌شود تحقیقات بیشتری در مقیاس‌های میدانی برای بهینه‌سازی این فرآیند انجام شود.

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



واژه‌های کلیدی:

تزریق متناوب آب و گاز، بهبود بازیافت نفت، گاز نیتروژن

* نویسنده مسئول: امین سعیدی

پست الکترونیکی: aminsaedi001100@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.82281/jnec.2024.1209562>

مقدمه

صنعت نفت به‌عنوان یکی از ارکان اصلی اقتصاد جهانی و منبعی حیاتی برای تأمین انرژی، نقش بسیار مهمی در توسعه اقتصادی و صنعتی کشورها ایفا می‌کند. افزایش روزافزون جمعیت جهان و توسعه صنایع مختلف باعث شده است که تقاضا برای انرژی، به‌ویژه انرژی‌های فسیلی، رشد چشم‌گیری داشته باشد. در این راستا، بهره‌برداری بهینه از مخازن نفت و گاز به‌منظور تأمین نیازهای انرژی جهانی به یکی از چالش‌های اصلی مهندسی نفت تبدیل شده است. مخازن کربناته، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین انواع مخازن نفتی، سهم قابل‌توجهی از ذخایر هیدروکربنی جهان را در اختیار دارند. این مخازن به دلیل ویژگی‌های خاص سنگ‌شناسی، همچون تخلخل دوگانه و وجود شکستگی‌های طبیعی، چالش‌های فراوانی در برداشت نفت ایجاد می‌کنند [۱]. به‌طور معمول، برداشت اولیه از این مخازن با فشار طبیعی مخزن انجام می‌شود، اما با کاهش فشار، نرخ تولید نفت به‌صورت قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. در این مرحله، استفاده از روش‌های بهبود برداشت نفت به‌عنوان یک راهکار ضروری مورد توجه قرار می‌گیرد. یکی از روش‌های مؤثر برای افزایش ضریب بازیافت نفت، تزریق متناوب آب و گاز است. این روش با بهبود جریان سیالات در مخزن و کاهش تنش‌های سطحی، امکان برداشت حداکثری از نفت را فراهم می‌آورد. در میان گازهای مورد استفاده، نیتروژن به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی همچون در دسترس بودن، هزینه کمتر و بی‌اثر بودن از نظر شیمیایی، جایگاه ویژه‌ای دارد. تزریق نیتروژن به همراه آب، با ایجاد تعادل فشار و تسهیل حرکت نفت در ماتریکس و شکستگی‌های سنگ، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی میزان تولید نفت را افزایش دهد. در این پژوهش، تأثیر تزریق متناوب آب و گاز نیتروژن بر ضریب بازیافت نفت از مخازن کربناته جنوب غرب ایران مورد بررسی قرار گرفته است. این مخازن به دلیل ساختار پیچیده و وجود شکستگی‌های متعدد، به رویکردهای نوآورانه در بهره‌برداری نیاز دارند [۲]. در این تحقیق، آزمایش‌های متعددی با استفاده از نمونه‌های مغزه‌ای استخراج‌شده از مخازن موردنظر انجام شده است تا تأثیر دبی تزریق و سایر پارامترهای مؤثر بر ضریب بازیافت نفت مشخص شود. هدف اصلی این تحقیق، ارائه راهکاری مؤثر و عملی برای بهبود عملکرد مخازن کربناته و افزایش ضریب بازیافت نفت است [۳]. با توجه به اهمیت اقتصادی و استراتژیک مخازن نفتی جنوب غرب ایران، نتایج این پژوهش می‌تواند نقش مهمی در بهینه‌سازی فرآیندهای بهره‌برداری و کاهش هزینه‌های تولید ایفا کند.

مخازن کربناته به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع ذخایر هیدروکربنی جهان، سهم چشم‌گیری در تأمین انرژی دارند. این مخازن بیش از ۶۰ درصد نفت و ۴۰ درصد گاز جهان را در خود جای داده‌اند [۴]. در ایران نیز حدود ۷۰ درصد ذخایر هیدروکربنی در مخازن کربناته قرار دارند، که بسیاری از آن‌ها در مناطق جنوب غربی واقع شده‌اند. مخازن کربناته به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود مانند تخلخل دوگانه، نفوذپذیری کم ماتریکس و شکستگی‌های طبیعی، همواره چالش‌های پیچیده‌ای را در بهره‌برداری ایجاد می‌کنند [۵]. یکی از مشکلات اصلی این مخازن، کاهش سریع فشار و افت قابل توجه نرخ تولید پس از برداشت اولیه است. با توجه به اینکه تولید از این مخازن به‌طور مستقیم بر اقتصاد کشورهایی چون ایران تأثیر می‌گذارد، یافتن راهکارهای نوین برای بهره‌برداری از آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است [۶].

در دهه‌های اخیر، روش‌های بهبود برداشت نفت به‌عنوان یکی از ابزارهای کلیدی برای استخراج بهینه از مخازن توسعه یافته‌اند. این روش‌ها شامل تزریق آب، گاز، مواد شیمیایی و حرارتی است. تزریق آب به‌طور سنتی به‌عنوان یکی از ساده‌ترین و ارزان‌ترین روش‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. اما این روش در مخازن کربناته به دلیل مشکلاتی همچون ترشوندگی نفتی و نفوذپذیری کم ماتریکس، کارایی محدودی دارد.

تزریق گاز، به‌ویژه گازهایی مانند نیتروژن و دی‌اکسید کربن، به‌عنوان یک جایگزین مؤثر شناخته شده است. گاز نیتروژن به دلیل ویژگی‌هایی مانند دسترسی بالا، هزینه نسبتاً کم و عدم واکنش شیمیایی با نفت، در بسیاری از موارد نسبت به دی‌اکسید کربن ترجیح داده می‌شود. تزریق متناوب آب و گاز یک روش نوآورانه است که با ترکیب مزایای هر دو روش، توانسته است بهبود قابل‌توجهی در برداشت نفت ایجاد کند. در این روش، آب به‌عنوان سیال مرطوب‌کننده و گاز به‌عنوان سیال رانشی عمل می‌کنند [۷]، که منجر به جابجایی بهتر نفت از ماتریکس و شکستگی‌های سنگ می‌شود.

مطالعات متعددی درباره تأثیر تزریق آب و گاز بر افزایش ضریب برداشت نفت انجام شده است. در پژوهش‌های اولیه، عمدتاً تأثیر تزریق آب به‌تنهایی بررسی شده بود [۸]. اما این مطالعات نشان دادند که در مخازن کربناته، تزریق آب به‌تنهایی نمی‌تواند بهینه‌ترین نتایج را ارائه دهد. در سال‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای بر روی روش‌های ترکیبی مانند تزریق متناوب آب و گاز انجام شده است. نتایج نشان داده‌اند که این روش نه تنها باعث افزایش ضریب برداشت نفت می‌شود، بلکه به پایداری فشار مخزن نیز کمک می‌کند [۹]. با این حال، بسیاری از این پژوهش‌ها به‌صورت آزمایشگاهی و در مقیاس محدود انجام شده‌اند و نیاز به بررسی‌های بیشتری در شرایط واقعی و مخازن ایران وجود دارد.

روش تحقیق

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تزریق متناوب آب و گاز نیتروژن بر ضریب بازیافت نفت از مخازن کربناته جنوب غرب ایران انجام شده است. روش‌شناسی این تحقیق شامل مراحل مختلفی از جمع‌آوری نمونه‌های مغزه‌ای تا انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی و تحلیل نتایج بوده است. در این بخش، مراحل مختلف روش‌شناسی با جزئیات شرح داده می‌شود.

– جمع‌آوری و آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌های مغزه‌ای از مخازن کربناته جنوب غرب ایران استخراج شدند. این مخازن به دلیل ساختار پیچیده و شکستگی‌های طبیعی انتخاب شدند. پس از استخراج، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و فرآیندهای آماده‌سازی شامل برش مغزه‌ها، شستشو و خشک کردن آن‌ها انجام شد. برای حذف آلاینده‌ها و مواد زائد از دستگاه سوکسوله استفاده شد. این فرآیند به اطمینان از صحت نتایج آزمایش‌ها کمک می‌کند.

– چیدمان آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی با استفاده از تجهیزات پیشرفته انجام شدند. دستگاه‌هایی شامل:

- * دستگاه تزریق بالا فشار برای تزریق آب و گاز.
- * دستگاه اندازه‌گیری تخلخل و تراوایی.
- * دستگاه سوکسوله برای شستشوی مغزه‌ها.
- * سیستم اندازه‌گیری فشار و دما.

این تجهیزات به گونه‌ای طراحی شده‌اند که بتوانند شرایط مخزن را شبیه‌سازی کنند و تغییرات پارامترهای مهم مانند فشار، دما و اشباع نفت را اندازه‌گیری کنند. در ادامه خصوصیات سنگ و سیال مخزن آورده شده است.

جدول ۱- خصوصیات مغزه

پارامتر	نماد اختصاری	واحد اندازه‌گیری	مقدار کمی
طول مغزه	L	cm	۶/۸۰
قطر مغزه	d	cm	۳/۷۵
حجم کل مغزه	V _b	cc	۷۵/۰۶
حجم دانه‌ها	V _g	cc	۶۰/۹۴
حجم فضاهای خالی	V _p	cc	۱۴/۱۰
تخلخل	ϕ	%	۱۹/۳۰
تراوایی	K	md	۶۱۷

جدول ۲- خصوصیات نفت

پارامتر	نماد اختصاری	واحد اندازه‌گیری	مقدار کمی
چگالی	ρ	gr/ml	۰/۹۰
گرانروی	μ	cp	۱
API	-	degree	۲۵/۷۲

جدول ۳- ترکیبات شیمیایی آب سازند

(ppm) آب هوشمند	(ppm) آب دریا	(ppm) آب سازند	یون‌های اصلی
۳۵۲۰	۱۸۵۰	۶۴۳۰۰	Ca
۵۶۵	۲۷۱	۲۷۵۰	Mg
۰	۲۶۱۴	۶۴۳۰۰	Na
۴۵۷۰	۲۲۳۰	۹۸	SO ₄
۵۸۰۰	۶۲۶۸	۱۳۷۰۰۰	Cl
۱۱۷۲۰	۱۲۹۵۰	۲۲۴۷۰۰	TDS

جدول ۴- درصد اشباع سیالات

پارامتر	نماد اختصاری	واحد اندازه‌گیری	مقدار کمی
حجم فضاهای خالی مغزه	V_p	cm^3	۱۴/۱۰
حجم آب همزاد (کاهش نیافتنی)	V_{wi}	cm^3	۵/۷
حجم نفت درجای اولیه	V_{oi}	cm^3	۸/۴
درصد اشباع آب همزاد	S_{wi}	%	۴۱
درصد اشباع نفت درجای اولیه	S_{oi}	%	۵۹

روش انجام آزمایش‌ها

آزمایش‌ها به‌صورت مرحله‌ای انجام شدند تا تأثیر پارامترهای مختلف بر ضریب بازیافت نفت مشخص شود. مراحل آزمایش‌ها شامل موارد زیر بود:

اشباع نمونه‌های مغزه‌ای با نفت مخزن: نمونه‌ها ابتدا با استفاده از نفت مخزن به‌طور کامل اشباع شدند. تزریق آب: به‌عنوان مرحله اولیه، آب با دبی مشخص به نمونه‌ها تزریق شد تا نفت قابل برداشت جابه‌جا شود. تزریق متناوب آب و گاز نیتروژن: تزریق گاز نیتروژن و آب به‌صورت متناوب با دبی‌های مختلف انجام شد. در هر مرحله، تغییرات فشار، میزان اشباع نفت و ضریب بازیافت ثبت شد. اندازه‌گیری نتایج: مقدار نفت برداشت‌شده در هر مرحله با استفاده از سیستم‌های اندازه‌گیری دقیق ثبت و تحلیل شد.

تحلیل داده‌ها

داده‌های به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری تحلیل شدند. پارامترهایی نظیر:

* دبی تزریق (سی سی بر دقیقه)

* میزان اشباع نفت

* تغییرات فشار در مخزن

مورد ارزیابی قرار گرفتند. هدف از تحلیل داده‌ها، تعیین دبی بهینه تزریق گاز نیتروژن برای افزایش ضریب بازیافت نفت و بررسی تأثیر آن بر تعادل فشار مخزن بود.

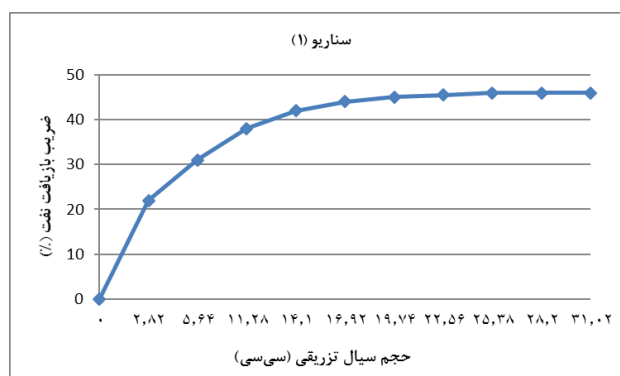
اعتبارسنجی و اطمینان از نتایج

برای اطمینان از دقت و صحت نتایج، آزمایش‌ها چندین بار تکرار شدند. همچنین، از نمونه‌های مختلف برای بررسی تأثیر ساختارهای متفاوت مخازن کربناته استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده با داده‌های منتشرشده در پژوهش‌های مشابه مقایسه شدند تا اعتبار آن‌ها تأیید شود.

نتایج و بحث

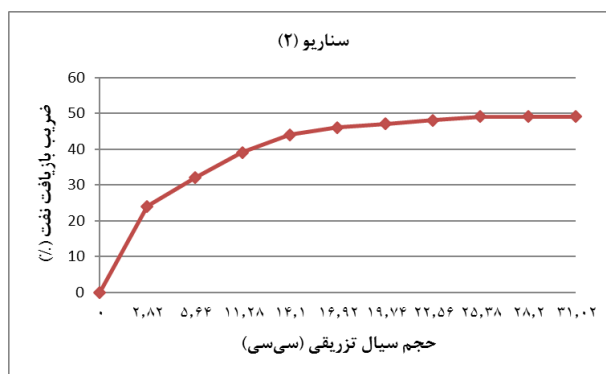
۱- تجزیه و تحلیل سناریوی (۱): تزریق متناوب آب با دبی 0.5 (cc/min) و گاز نیتروژن با دبی 0.4 (cc/min) همانگونه که در نمودار شماره ۱ نشان داده شده است، ضریب بازیافت نفت^۱ از مغزه مورد مطالعه با جنس کربناته در تزریق متناوب آب با دبی 0.5 (cc/min) و گاز نیتروژن با دبی 0.4 (cc/min) معادل با ۴۶ درصد است. در این سناریو و همانگونه که پیش از این نیز اشاره گردید، مطابق تزریق متناوب آب و گاز به شکل سنتی، ابتدا یک توده آب و سپس یک توده گاز نیتروژن به درون مغزه تزریق گردیده است و پس از اینکه ضریب بازیافت نفت به ۴۶ درصد نفت درجای اولیه رسید، تولید نفت به طور کامل متوقف شد. نکته قابل توجه در این فرآیند آن است که علت اصلی در توقف تولید نفت، پدیده میان‌شکنی گاز نیتروژن می‌باشد یعنی گاز نیتروژن درون توده نفت و آب موجود درون مغزه یک کانال می‌زند و از محل تزریق به محل تولید می‌رسد. ایجاد این کانال باعث می‌شود که از آن به بعد آب نیز نتواند کارایی مناسبی داشته باشد و از طریق این کانال حرکت نماید بدون آنکه بتواند باعث حرکت نفت شود. بنابراین برای آنکه بتوانیم به دبی بهینه برای تزریق گاز نیتروژن

در این تحقیق دست یابیم، در سناریوی بعدی با کاهش دبی تزریقی گاز و افزایش زمان میان‌شکنی به بالا رفتن ضریب بازیافت نفت کمک خواهیم نمود.



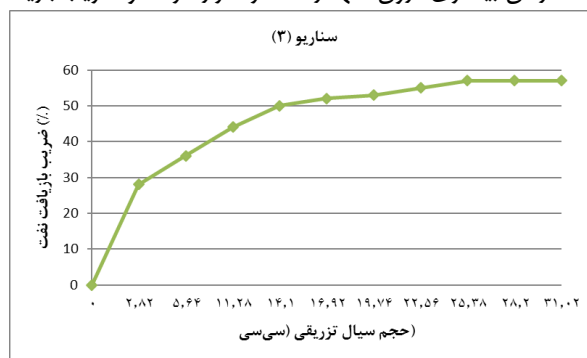
شکل ۱- ضریب بازیافت نفت در سناریو (۱)

۲- تجزیه و تحلیل سناریوی (۲): تزریق متناوب آب با دبی 0.5 (cc/min) و گاز نیتروژن با دبی 0.3 (cc/min) همانگونه که در نمودار شماره ۲ نشان داده شده است، ضریب بازیافت نفت از مغزه مورد مطالعه با جنس کربناته در تزریق متناوب آب با دبی 0.5 (cc/min) و گاز نیتروژن با دبی 0.4 (cc/min) معادل با ۵۰ درصد است. در این سناریو با توجه به کاهش دبی تزریقی گاز نیتروژن، مدت زمان میان‌شکنی گاز افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه گاز می‌تواند مدت زمان بیشتری درون نگهدارنده مغزه قرار گرفته و ضریب بازیافت نفت افزایش می‌یابد.



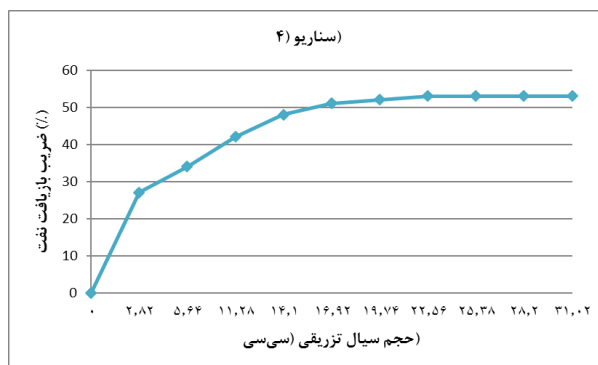
شکل ۲- ضریب بازیافت نفت در سناریو (۲)

۳- تجزیه و تحلیل سناریوی (۳): تزریق متناوب آب با دبی 0.5 (cc/min) و گاز نیتروژن با دبی 0.2 (cc/min) همانگونه که در نمودار شماره ۳ نشان داده شده است، ضریب بازیافت نفت از مغزه مورد مطالعه با جنس کربناته در تزریق متناوب آب با دبی 0.5 (cc/min) و گاز نیتروژن با دبی 0.2 (cc/min) معادل با ۵۶ درصد است یعنی نسبت به سناریو (۲)، میزان ضریب بازیافت نفت حدوداً ۶ درصد افزایش می‌یابد. در این سناریو نیز مانند سناریوی قبل با توجه به کاهش دبی تزریقی گاز نیتروژن، مدت زمان میان‌شکنی گاز افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه گاز می‌تواند مدت زمان بیشتری درون نگهدارنده مغزه قرار گرفته و ضریب بازیافت نفت افزایش می‌یابد.



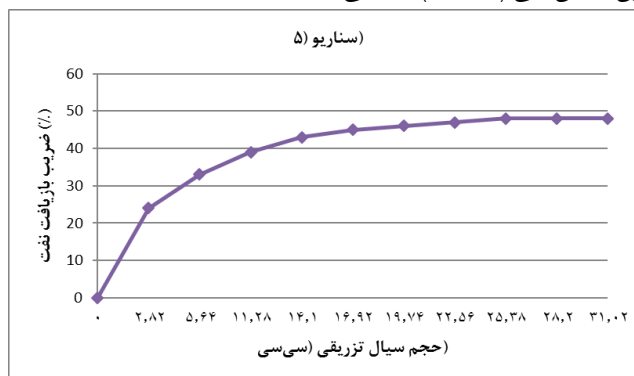
شکل ۳- ضریب بازیافت نفت در سناریو (۳)

۴- تجزیه و تحلیل سناریوی (۴): تزریق متناوب آب با دبی 0.5 (cc/min) و گاز نیتروژن با دبی 0.1 (cc/min) همانگونه که در نمودار شماره ۴ نشان داده شده است، ضریب بازیافت نفت از مغزه مورد مطالعه با جنس کربناته در تزریق متناوب آب با دبی 0.5 (cc/min) و گاز نیتروژن با دبی 0.1 (cc/min) معادل با 53% درصد است یعنی نسبت به سناریو (۳)، میزان ضریب بازیافت نفت حدوداً 3% درصد کاهش می‌یابد. در این سناریو با وجود پایین آمدن دبی تزریق گاز ما شاهد کاهش ضریب بازیافت نفت هستیم. البته برای اطمینان از اینکه آیا دبی 0.2 سی‌سی بر دقیقه بهترین دبی تزریقی گاز است یا خیر، این تست مجدداً انجام شد و نتیجه‌ای مشابه حاصل گردید که به همین دلیل تست تزریق متناوب آب و گاز در دبی 0.5 سی‌سی بر دقیقه نیز انجام گردید تا از بهینه بودن دبی تزریقی گاز در این سناریو اطمینان حاصل شود.



شکل ۴- ضریب بازیافت نفت در سناریو (۴)

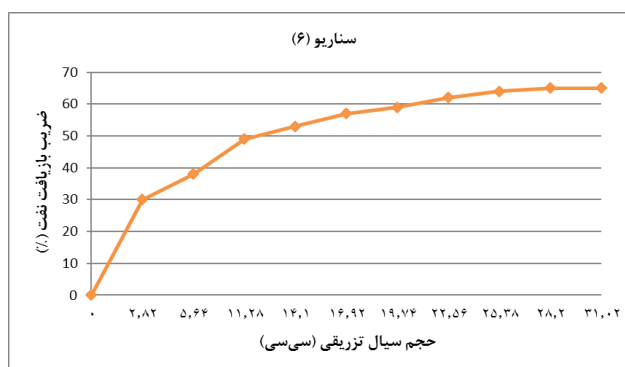
۵- تجزیه و تحلیل سناریوی (۵): تزریق متناوب آب با دبی 0.5 (cc/min) و گاز نیتروژن با دبی 0.05 (cc/min) همانگونه که در نمودار شماره ۵ نشان داده شده است، ضریب بازیافت نفت از مغزه مورد مطالعه با جنس کربناته در تزریق متناوب آب با دبی 0.5 (cc/min) و گاز نیتروژن با دبی 0.1 (cc/min) معادل با 49% درصد است یعنی نسبت به سناریو (۴)، میزان ضریب بازیافت نفت حدوداً 4% درصد کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان اینگونه بیان نمود که با کاهش دبی تزریقی گاز به مقادیر کمتر از 0.2 (cc/min) ، انرژی گاز برای به حرکت درآوردن نفت به شدت کاهش می‌یابد که این موضوع باعث پایین آمدن ضریب بازیافت نفت خواهد شد. بنابراین می‌توان گفت که بهترین دبی تزریق برای گاز نیتروژن، همان دبی 0.2 (cc/min) می‌باشد.



شکل ۵- ضریب بازیافت نفت در سناریو (۵)

۶- تجزیه و تحلیل سناریوی (۶): تزریق متناوب گاز نیتروژن با دبی 0.2 (cc/min) و آب با دبی 0.5 (cc/min) پس از تعیین دبی بهینه تزریق گاز نیتروژن و همانگونه که پیش از این اشاره گردید، برای تعیین اثر توالی سیالات تزریقی، این بار ابتدا یک توده گاز نیتروژن با دبی 0.2 (cc/min) و سپس آب سازند با دبی 0.2 (cc/min) را به طور متناوب به درون مغزه تزریق می‌کنیم. همانگونه که در نمودار شماره ۶ مشاهده می‌گردد، میزان ضریب بازیافت نفت از مغزه کربناته مورد نظر در این سناریو معادل با 65% درصد از حجم نفت درجای اولیه خواهد بود. این ضریب بازیافت بیشترین ضریب بازیافت نفت در میان سناریوهای انجام شده است و البته در مقایسه با سناریوی مشابه و البته با توالی متفاوت (یعنی سناریوی شماره (۳))، حدوداً 9% درصد بیشتر است. دلیل این امر آن است که گاز نیتروژن دارای مولکول‌های کوچکتری نسبت به آب بوده و در نتیجه می‌تواند به یک سری فضاهای خالی وارد شود که مولکول‌های آب امکان ورود به آن مناطق را ندارد.

بنابراین پس از ورود آب به این فضاها، نفت از این مناطق خارج شده و می‌تواند توسط آب جابه‌جا شود و در نتیجه ضریب بازیافت نفت افزایش خواهد یافت.



شکل ۶- ضریب بازیافت نفت در سناریو ۶

نتیجه‌گیری

این پژوهش تأثیر تزریق متناوب آب و گاز نیتروژن بر ضریب بازیافت نفت از مخازن کربناته جنوب غرب ایران را بررسی کرد. نتایج نشان داد که استفاده از این روش می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی ضریب بازیافت نفت را افزایش داده و بهره‌برداری از مخازن کربناته را بهبود بخشد. دبی بهینه تزریق گاز نیتروژن برابر با ۰/۲ سی‌سی بر دقیقه تعیین شد که در این شرایط، ضریب بازیافت نفت به ۵۶ درصد افزایش یافت. این روش علاوه بر افزایش ضریب بازیافت، توانست پایداری فشار مخزن را حفظ کرده و از افت ناگهانی آن جلوگیری کند. همچنین، جابجایی بهتر نفت از مناطق با نفوذپذیری کم در مخزن و کاهش اشباع نفت از دیگر نتایج مثبت این پژوهش بود. مقایسه این روش با سایر روش‌های مرسوم مانند تزریق آب یا تزریق مداوم گاز نشان داد که تزریق متناوب آب و گاز نیتروژن عملکرد بهتری دارد. بر اساس این نتایج، تزریق متناوب آب و گاز نیتروژن به‌عنوان یک فناوری کارآمد برای بهره‌برداری از مخازن کربناته پیشنهاد می‌شود. با این حال، پیشنهاد می‌شود تحقیقات بیشتری در مقیاس‌های میدانی و شرایط عملی مخازن انجام شود تا بهینه‌سازی بیشتری در این روش صورت گیرد.

References

- [1] Green, D. W. and Willhite, G. P., (1998), Enhanced Oil Recovery Richardson, TX: Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME, SPE.
- [2] Squiris, F. (1917), U.S. No. 1,238,355. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [3] Atkinson, H. (1927), Recovery of Petroleum from Oil Bearing Sands. U.S. No. 1.651,311, Nov. 29.
- [4] Jardine D., Wilchart J. W., "Carbonated Reservoir Description", SPE 10010 MS, 1082.
- [5] Christian, L. D. et al.: "planning a tertiary oil recovery project for Jay-Little Escambia Greek Fields unit," J.Pet.Tech. (Aug.1981) 1535-44.
- [6] Surguchev L. M. et. All: "Screening of WAG Injection Strategies for Heterogeneous Reservoirs", SPE 25075, European Petroleum Conference, France, (1992).
- [7] Sanchez N. L.: "Management of Water Alternating Gas Injection Projects", PDVSA Exploration and Production.
- [8] Larson, L. W. and Josendal, V. A.: "mechanisms of oil displacement by carbon dioxide," J. Pet. Tech. (Dec 1994) 1427-36; Trans., AIME, 257.
- [9] S.A. Shedid, R.A. Almehaideb and A.Y. Zekri: "Microscopic Rock Characterization and Influence of Slug Size on Recovery by CO2 Miscible Flooding in Carbonate Oil Reservoir", SPE 97635, SPE International Improved Oil Recovery Conference in Asia Pacific, 5-6 December, Kuala Lumpur, Malaysia, 2005 Society of Petroleum Engineers.