مقایسه و بررسی ضریب بازیافت نفت با استفاده از شبیه‌سازی تزریق گاز امتزاجی و غیرامتزاجی در یک مخزن نفت شکاف‌دار در ایران

سید عبد العظیم تقوی[1]، علی مرادی[2*]، هادی پرویزی[2]

۱- کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی، بخش مهندسی شیمی

۲- اهواز، شرکت Schlumberger

پیام‌نگار: **moradi@mail.uk.ac.ir**

چکیده

بخش بزرگی از نفت جهان در سنگ‌های مخازنی وجود دارد که بطور طبیعی شکاف‌دار می‌باشند. درک اثر متقابل شکاف و ماتریکس یک چالش منحصر بفرد در ازدیاد برداشت نفت است. مخزن مورد مطالعه یکی از مخازن شکاف‌دار ایران با تخلخل دوگانه و دارای یک سفره آب زیر زمینی فعال می‌باشد. به علت ناهمگونی سازندهای تولیدی، کل بازیافت تا سال ۲۰۰۸ تنها در حدود ۸/۰۴ درصد با تولیدی معادل ۲۴۰ میلیون بشکه می‌باشد. در این مطالعه الگوهای متفاوت تزریق بر اساس بهینه کردن موقعیت چاه‌های تزریقی مورد بررسی قرار گرفت. بهترین الگوی تزریق بر اساس بیشترین ضریب بازیافت انتخاب و سناریوهای تزریق امتزاجی و غیر امتزاجی در دبی (شدت جریان)های متفاوت با سناریوی تخلیه طبیعی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که تزریق گاز امتزاجی در این مخزن، در مقایسه با سناریوهای تزریق گاز غیرامتزاجی و تخلیه طبیعی، دارای ضریب بازیافت بیشتری است.

کلمات کلیدی: شبیه سازی، مخازن شکاف‌دار، تزریق گاز امتزاجی و غیرامتزاجی، ضریب بازیافت

۱- مقدمه

مخازن شکاف‌دار همیشه کاندیداهای ضعیفی برای ازدیاد برداشت نفت در نظر گرفته می‌شوند. این موضوع به دلیل پیچیدگی در پیش‌بینی بهره‌دهی مخازن شکاف‌دار می‌باشد. تزریق گاز روشی است که ممکن است به طور قابل توجهی ضریب بازیافت نفت را افزایش دهد. یکی از مکانیسم‌های مهم در ازدیاد برداشت از مخازن شکاف‌دار ، تزریق گاز امتزاجی است. تزریق گاز امتزاجی ممکن است مقادیر قابل توجهی از نفت خام به دام افتاده در ماتریکس[1] را بازیافت کند. مکانیسم‌های بازیافت سیستم‌های ماتریکس و شکاف[2] در مقیاس آزمایشگاهی از سال ۱۹۷۰ شروع شد. تامسون و مونگان[3] نتایج یک مطالعه آزمایشگاهی با مکانیسم ریزش ثقلی در محیط متخلخل شکاف‌دار را تحت شرایط اولین تماس امتزاج‌پذیر مورد بررسی قرار دادند. آنها

1. Matrix
2. Fracture
3. Thompson, Mungan

اساساً سرعت جابجایی را با سرعت بحرانی مقایسه کرده و اثر آن را بر بازدهی بازیافت نفت، بررسی کردند[۱]. فیروز آبادی و مارکست[1] اثر پیکربندی (ماتریکس / شکاف) و دهانه شکاف را بر بازدهی امتزاج‌پذیری در اولین تماس بررسی نمودند.. آنها همچنین اختلاف نیروی موئینگی (ماتریکس / شکاف) را به عنوان یک نیروی رانش مهم نتیجه گیری کردند[۲]. یک مدل کلی توسط بدریکوفسکی[2] و همکارانش، شامل بررسی اثرات گرانشی[3]، نفوذ مولکولی و جابجایی مورد بررسی قرار گرفت در حالی که آنها فرضیات زیادی برای حل معادله جریان در محیط های متخلخل شکاف‌دار را در نظر نگرفته بودند[۳]. فیروز آبادی و تن[4] با بررسی جابجایی امتزاجی در محیط متخلخل شکاف‌دار نتیجه گرفتند که تقابل فشار موئینگی بین شکاف و ماتریکس مهمترین پارامتری است که سبب بازدهی پایین تولید در مخازن شکاف‌دار می باشد[۴].

هدف از این مطالعه بررسی الگوهای متفاوت تزریق است. باید بهترین الگوی تزریق بر اساس بیشترین ضریب بازیافت انتخاب گردد. برای این منظور می توان سناریوهای تزریق امتزاجی و غیرامتزاجی در دبی(شدت جریان)های متفاوت را با سناریوی تخلیه طبیعی مورد مقایسه قرارداد.

۲- تئوری

در یک فرایند امتزاج ناپذیر، برای نمونه سیلاب زنی با آب، عموماً بازدهی جابجایی میکروسکوپی بسیار کمتر از یک است. قسمتی از نفت اولیه که با آب تماس پیدا می‌کند، به صورت قطرات مجزا در آمده و غیر قابل تولید می‌گردد. در این شرایط، نفوذپذیری نسبی نفت به سمت صفر میل می‌کند و تزریق بیشتر آب باعث تولید بیشتر نمی‌شود و این آب در اطراف نفت به دام افتاده حرکت می‌کند. این محدودیت را می‌توان با استفاده از فرایند جابجایی امتزاج‌پذیر از بین برد، در فرایند جابجایی امتزاج‌پذیر، سطح مشترک سیال جابجا شونده و سیال جابجا کننده از بین می رود و کشش بین سطحی، مساوی صفر می‌شود. هرگاه دو سیال به هر نسبتی با هم ترکیب نشوند تا تشکیل یک فاز را بدهند فرایند را امتزاج‌ناپذیر می‌خوانیم.

۲-۱ فرایندهای جابجایی امتزاجی در مخازن نفت معمولاً به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۲-۱-۱ فرایندهای امتزاج‌پذیری در اولین تماس[5]:

فرایندهایی هستند که در آنها سیال تزریقی در اولین تماس با نفت مخزن با هر نسبتی که مخلوط شوند تنها یک فاز تشکیل می‌دهند.

۲-۱-۲ فرایند امتزاج‌پذیر دینامیکی[6]:

یک فرایند امتزاج پذیر دینامیکی، فرایندی است که در شرایط امتزاج پذیری درتماس های متعدد وانتقال جرم درمخزن ایجاد می شود .

فرایندهای امتزاج پذیر دینامیکی به دو دسته تقسیم می شوند :

۱- فرایند جابجایی تبخیر[7]

۲-فرایند جابجایی تقطیر[8]

در فرایند اول، سیال تزریقی عموماً گاز فقیر[9] (شامل مقدار زیادی متان و دیگر هیدروکربورها) می‌باشند. در این روش ترکیب گاز تزریقی در طول حرکت در مخزن تغییر می کند و بالاخره بعد ازچند مرحله تماس با نفت خام اولیه امتزاج‌پذیر می‌شود. دلیل این امر آن است که بعد از چند مرحله تماس، هیدروکربورهای میانی (C_2-C_6) از نفت خام تبخیر شده و به سیال تزریقی اضافه می‌شوند که به این فرایند غنی شدن گفته می شود. در فرایند دوم، سیال تزریقی شامل مقدار بیشتری هیدروکربورهای میانی (C_2-C_6) و بنابراین، بسیار گران قیمت است. در این روش، در نزدیک چاه تزریقی، ترکیب نفت غنی‌تر می‌شود. پس از چند مرحله تماس نفت با گاز تزریقی، اجزای هیدروکربوری از داخل گاز تقطیر شده و به نفت اضافه می‌شوند. به این خاطر نام این فرایند، فرایند تقطیر نام گرفته است. تحت شرایط مناسب، ترکیب نفت تغییر کرده و با گاز تزریقی امتزاج‌پذیر می‌شود. فرایند تقطیر از لحاظ عملیاتی در فشاری کمتر از فشار فرایند، تبخیر صورت می‌گیرد[۵و۶].

۲-۲ محاسبه و تعیین حداقل فشار امتزاج پذیری[10]

بازدهی جابجایی برای تزریق گاز تا حدود زیادی به حداقل فشار امتزاج‌پذیری وابسته است. این فشار، پایین ترین فشاری است که در

1. Firoozabadi , Markeset
2. Bedrikovetsky
3. Gravity
4. Firoozabad , Tan

5. First Contact Miscible
6. Multi contact Miscible
7. Vaporizing Gas Process
8. Condensing Gas Process
9. Lean Gas
10. Minimum Miscibility Pressure

کمتر از آن، سیال تزریقی با نفت مخزن ممزوج نمی‌شود. روش‌های آزمایشگاهی و روابط تجربی متعددی برای محاسبه این فشار وجود دارد. حداقل فشار امتزاج‌پذیری را می‌توان در آزمایشگاه با استفاده از آزمایش لوله باریک[1] و یا آزمایش دستگاه حباب بالا رونده[2] و یا از روابط تجربی فاکین و همکاران[3] و فیروزآبادی و همکاران[4] و گلاسو[5] محاسبه کرد.

۳- روش تحقیق

در این مطالعه افزایش تولید نفت با استفاده از روش های تزریق گاز امتزاجی (گاز غنی شده) و گاز غیرامتزاجی (تزریق گاز خود مخزن) در یک مخزن زیر اشباع شکاف‌دار ایران مورد بررسی قرار گرفت. گاز تزریقی برای سناریوی امتزاجی، یک گاز غنی شده از ترکیبات هیدروکربورهای میانی است. سناریوهای مختلفی برای تزریق گاز امتزاجی و غیرامتزاجی تعریف شده‌اند و در ادامه این سناریوها، شبیه‌سازی و نتایج شبیه‌سازی (بدون در نظر گرفتن شرایط اقتصادی) با یکدیگر مقایسه می‌شوند و درنهایت، بهترین روش جهت تولید بیشینه از این مخزن، مشخص می‌گردد.

۴- خصوصیات ماتریکس و شکاف مخزن

قُله مخزن ft ۹۲۸۹ زیر سطح آب آزاد، سطح تماس نفت و آب ft۱۱۴۸۸ و نفت درجای مخزن MMMbbl ۲/۹۸ است. تخلخل متوسط ماتریکس ۰/۱ و متوسط تراوایی افقی ماتریکس برای همه لایه ها md ۱ است. تخلخل متوسط شکاف ها تقریباً ۰/۰۰۱ درصد و متوسط تراوایی شکاف ها md ۱۰۰۰ است.

۴-۱ خصوصیات سیال مخزن

فشار اولیه مخزن در عمق ۱۱۲۰۰ فوت، psi ۵۷۱۰ و دمای مخزن ۲۱۴°F است. فشار نقطه حباب مخزن بین ۲۴۲۵ و psi ۲۷۱۵ و نسبت گاز محلول به نفت مخزن نیز بین ۰/۵۶ و Mscf/Stb ۰/۶۴ است. چگالی و API نفت نیز به ترتیب lb/ft^3 ۵۴/۶۱ و ۳۰/۲۴ است. برای آب مخزن در فشار psi ۵۷۱۰، ضریب حجمی آب سازند bbl/Stb ۱/۰۳، ضریب تراکم پذیری آب psi^{-1} $۲/۹۶۲۸\times۱۰^{-۶}$ و ویسکوزیته آب cp ۰/۶۶ گزارش شده است. ضریب تراکم پذیری سنگ مخزن در فشار psi ۵۷۱۰ مقدار psi^{-1} $۱/۶۵\times۱۰^{-۵}$ گزارش شده است[۷].

۵- نتایج شبیه سازی مخزن و بحث

شبیه سازی مدل دینامیک مخزن با استفاده از نرم افزار Eclipse ۳۰۰ (ترکیبی) و Eclipse ۱۰۰ (نفت سیاه)، سه بعدی، سه فازی و روش حل معادلات کاملاً صریح[6] انجام شده است. برای شبیه‌سازی مخزن S، این مخزن به تعداد زیادی بلوک تقسیم شده است. تعداد بلوک‌ها در راستای X، Y و Z به ترتیب ۲۴، ۱۰۰ و ۱۰۰ عدد می باشد. بر اساس نتایج زمین شناسی و تفسیرهای چاه‌آزمایی مشخص شد که این مخزن یک مخزن شکاف‌دار است. ۵۰ عدد بلوک اول در راستای Z مربوط به ماتریکس و ۵۰ عدد دوم مربوط به شکاف‌هاست همچنین این مخزن با تخلخل دوگانه[7] در نظر گرفته شده که این موضوع به این مفهوم است که جهت جریان از ماتریکس به سوی شکاف است و نفت از شکاف‌ها تولید می شود.

۵-۱ اجرای تزریق گاز امتزاجی

ترکیب گاز استفاده شده برای فرایند جابجایی امتزاجی در جدول (۱) نشان داده شده است. تعیین و محاسبه حداقل فشار امتزاجی با استفاده از رابطه ایکین و همکاران[8] انجام شده است. این رابطه تجربی برای گازهای غنی شده، در مقایسه با دیگر روابط تجربی موجود، دارای دقت بالاتری است. حداقل فشار امتزاج‌پذیری، psi ۴۱۰۴ بدست آمده است. این فشار، پایین تر از فشار متوسط مخزن (psi ۴۴۸۴) در سال ۲۰۰۸ است. بنابراین امتزاج پذیری برای شرایط فعلی مخزن با ترکیب گاز بیان شده دست یافتنی است.

۵-۲ بهینه کردن موقعیت چاههای تزریقی

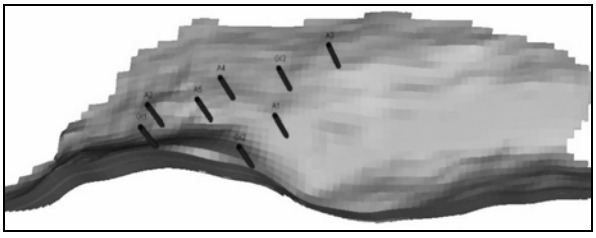
۵ عدد چاه تولیدی در این مخزن وجود دارد و ۳ عدد چاه تزریقی در این مخزن تعریف شد. سناریوهای متفاوتی به منظور بررسی موقعیت و تعداد چاه‌های تزریقی بررسی گردید. شدت جریان تزریق برای هر

1. Slim Tube
2. Rising Bubble Apparatus
3. Eakin et al
4. Firozabadi et al.
5. Glaso
6. Fully Implicit
7. Dual Porosity
8. Eakin et al

چاه در تمام سناریوها 2×10^{6} scf/day در نظر گرفته شد. سناریو با ۲ چاه تزریقی در قله مخزن و ۱ چاه در قسمت پایین مخزن، به عنوان بهترین سناریو جهت تزریق انتخاب شد. این سناریو به دلیل این که شیب مخزن در این مکان، بسیار مناسب است باعث نفوذ دیر هنگام‌تر گاز در چاه‌های تولیدی، در مقایسه با سناریوهایی که در موقعیت‌هایی با شیب کم قرار دارند، می‌شود. همچنین اگر در قله مخزن تعداد چاه‌های تزریقی را افزایش دهیم ضریب بازیافت نهایی نفت افزایش پیدا نمی‌کند و فقط باعث نفوذ زود هنگام گاز در چاه‌های تولیدی می‌شود. سناریوی ۴ و به علت دارا بودن ضریب بازیافت بیشتر در مقایسه با دیگر سناریوها به عنوان الگوی مناسب جهت تزریق انتخاب شد. موقعیت و مکان چاه‌های تزریقی و تولیدی در شکل (۱) و موقعیت چاههای تزریقی در سناریوهای مختلف در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱- ترکیب گاز تزریقی امتزاج پذیر

ترکیب	جزء مولی Mol%
N_2	۳/۹۵
C_1	۶۴/۰۹۸
C_2	۱۱/۹۸
CO_2	۰/۳۶۲
C_3	۶/۵۲
$i\,C_4$	۱/۹۹۷
$n\,C_4$	۲/۳۵۱
$i\,C_5$	۱/۲۷۳
$n\,C_5$	۰/۷۸۴
C_6	۱/۵۰۲
C_7+	۵/۱۸۳



شکل ۱- موقعیت و مکان چاه‌های تزریقی و تولیدی

جدول ۲- سناریوهای مختلف چاههای تزریقی در مخزن

شماره سناریو	شماره چاه	جهت X	جهت Y
۱	۱	۱۳	۷۲
	۲	۱۴	۸۷
	۳	۱۱	۶۰
۲	۱	۱	۸۸
	۲	۱۱	۶۰
	۳	۱۴	۸۷
۳	۱	۱	۷۶
	۲	۱۱	۶۰
	۳	۱۴	۸۷
۴	۱	۱	۸۸
	۲	۱	۷۶
	۳	۱۳	۷۲
۵	۱	۱	۷۶
	۲	۱۴	۸۷
	۳	۱۱	۶۰
۶	۱	۱	۸۸
	۲	۱	۷۶
	۳	۱۱	۶۰

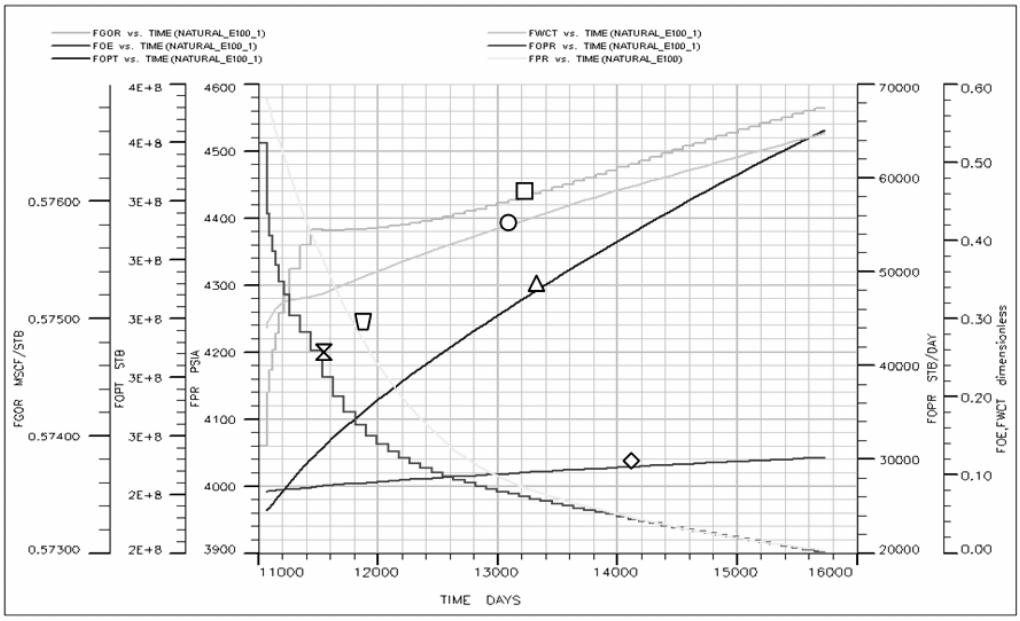
۵-۳ شبیه سازی و پیشگویی عملکرد مخزن

در این مطالعه، تولید مخزن با تزریق گاز امتزاجی، گاز غیرامتزاجی و تخلیه طبیعی شبیه‌سازی شد. مدت تولید برای پیشگویی عملکرد مخزن از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۰ می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی تخلیه طبیعی مخزن در شکل (۲) نشان داده شده است. تولید نهایی مخزن در این سناریو معادل ۴۱۱۳۱۲۲۰۰ بشکه، نسبت گاز به نفت تولیدی تقریباً ثابت و مساوی ۵۷۶۸ Mscf/Stb /۰ است، فشار مخزن از ۴۵۸۰ به ۳۹۰۰ psi کاهش یافت و همچنین نسبت برش آب در این سناریو ۰/۵۵۸۴ محاسبه شد.

۵-۴ سناریوهای تزریق گاز امتزاجی

یکی از مهمترین پارامترهایی که بر فرایند جابجایی امتزاجی و غیرامتزاجی گاز و بازدهی آن تاثیر دارد شدت جریان تزریق گاز است. شدت جریان پایین در تزریق، ممکن است به فرایند جابجایی آهسته منجر شود که منتج به بازیافت اندک نفت در زمان طراحی شده برای پروژه می‌باشد. دبی (شدت جریان) تزریق بالا نیز ممکن است به نفوذ

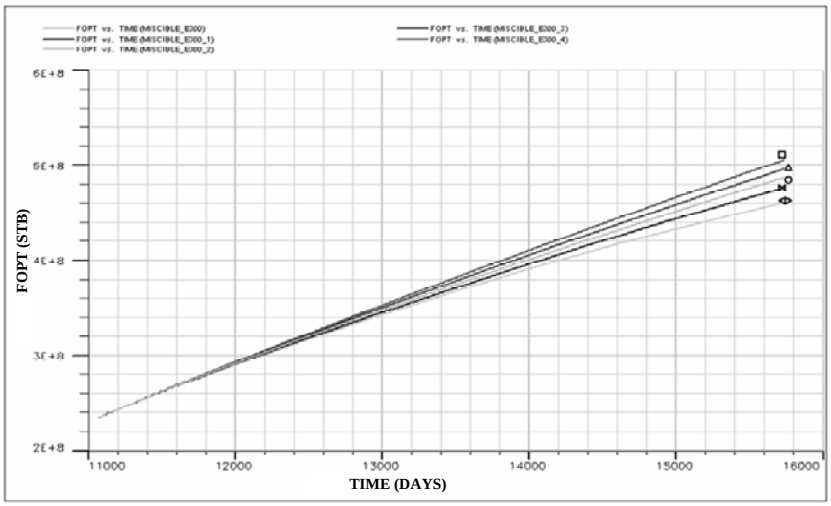
زود هنگام گاز در چاه‌های تولیدی منجر شود. بدین دلیل ۵ سناریوی مختلف جهت تزریق گاز، مورد مطالعه قرار گرفت. شدت تزریق گاز در سناریوهای ۱ تا ۵ به ترتیب با شدت جریان‌های ثابت $۱۰^۷$، $۱/۵\times۱۰^۷$، ۲×۱۰^۷، $۲/۵\times۱۰^۷$ و ۳×۱۰^۷ scf/day به مدت ۱۲ سال انجام شد. بازیافت نفت در این شدت جریان‌های تزریق در جدول (۳) و شکل (۳) نشان داده شده است. با افزایش شدت جریان تزریق گاز، نسبت گاز به نفت تولیدی و فشار مخزن افزایش می‌یابد. برش آب به دلیل افزایش شدت جریان تزریق و افزایش فشار مخزن، کاهش می‌یابد. همچنین در سناریوهای تزریق گاز امتزاجی افزایش شدت جریان تزریق باعث افزایش بازیافت نهایی می‌شود.



شکل ۲- نسبت گاز به نفت تولیدی □، ضریب بازیافت ◇، تولید نهایی △، فشار مخزن ▽، برش آب ○ و تولید روزانه ⧖ در سناریوی تخلیه طبیعی

جدول ۳- نتایج پیشگویی سناریوهای تزریق گاز امتزاجی

شماره سناریو	لایه های تزریق	شدت جریان تزریق (MMscf)	FOPT*E-8 (stb)	FGOR (Mscf/Stb)	FPR (psi)	FWCT (dim. less)
۱	۱،۲،۳	۱۰	۴/۶۲۳۱۲۲	۰/۸۹۱۶۷۱۶	۳۹۴۴/۶۱۲	۰/۴۹۲۶۴۳
۲	۱،۲،۳	۱۵	۴/۷۶۵۳۱۶۹	۱/۰۳۰۰۰۴۳	۳۹۸۱/۳۳۱۱	۰/۴۵۲۱۵
۳	۱،۲،۳	۲۰	۴/۸۷۸۲۰۳۹	۱/۲۱۲۸۷۸۱	۴۰۴۴/۳۷۹۶	۰/۴۱۷۸
۴	۱،۲،۳	۲۵	۴/۹۶۶۵۹۱۰	۱/۳۲۳۴۰۲	۴۱۳۸/۷۶۱۵	۰/۴۰۲۹۶۵
۵	۱،۲،۳	۳۰	۵/۰۶۲۵۹۳	۱/۴۱۲۹۸۲۷	۴۲۳۰/۸۲۵۷	۰/۳۸۵۰۰۲



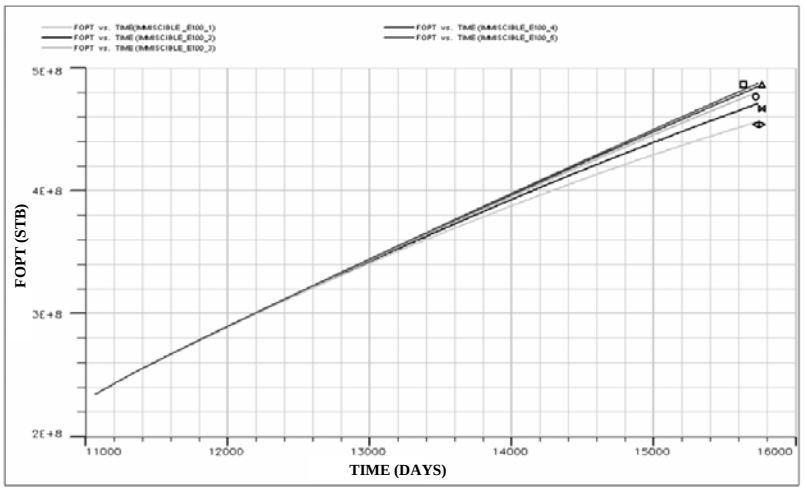
شکل ۳- نتایج تولید نهایی نفت در سناریوهای ۱(◆)، ۲(■)، ۳(○)، ۴(▲) و ۵(□) تزریق گاز امتزاجی

۵-۵ سناریوی تزریق گاز غیرامتزاجی

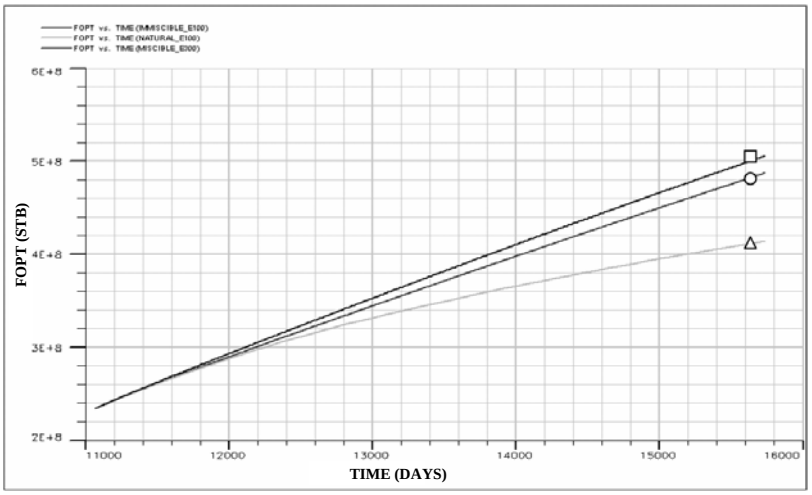
مقایسه فرایند جابجایی امتزاجی و غیر امتزاجی در شرایط عملیاتی یکسان انجام شد. موقعیت و مکان چاه‌های تزریقی و همچنین شدت جریان‌های تزریق در این سناریو مشابه سناریوی تزریق امتزاجی می‌باشد. بازیافت نفت برای شدت جریان‌های مختلف تزریق غیرامتزاجی در جدول (۴) و شکل (۴) نشان داده شده است. با افزایش شدت جریان تزریق گاز، نسبت گاز به نفت تولیدی و فشار مخزن افزایش می‌یابد. برش آب به دلیل افزایش شدت جریان تزریق و افزایش فشار مخزن، کاهش می‌یابد. همچنین در این سناریوی مشاهده شد که افزایش شدت جریان تزریق به بالای MMscf ۲۵ تاثیر زیادی در بازیافت نفت ندارد و فقط باعث افزایش نسبت گاز به نفت تولیدی می‌شود. با مطالعه و بررسی سناریوهای تزریق امتزاجی و غیر امتزاجی مشاهده شد که در شدت جریان‌های تزریق یکسان، نسبت گاز به نفت تولیدی در سناریوی تزریق گاز امتزاجی بیشتر است که یکی از عوامل این پدیده می تواند فرایند امتزاج‌پذیری دینامیکی با مکانیزم تبخیر باشد که باعث تبخیر اجزای میانی نفت و انتقال آن به فاز گاز می شود. در ادامه، با مقایسه شدت جریان‌های تزریق در سناریوهای امتزاجی و غیرامتزاجی، بهترین سناریوی تزریق امتزاجی با بهترین سناریوی غیرامتزاجی مقایسه و مشاهده شد که سناریوی تزریق امتزاجی نتایج بهتری، در مقایسه با سناریوی تزریق گاز غیرامتزاجی، به دست می دهد. در شکل (۵) مقایسه سه سناریوی تخلیه طبیعی، تزریق غیرامتزاجی و تزریق امتزاجی نشان داده شده است.

جدول ۴- نتایج پیشگویی سناریوهای تزریق گاز غیرامتزاجی

شماره سناریو	لایه های تزریق	دبی تزریق (MMscf)	FOPT*E-8 (stb)	FGOR (Mscf/Stb)	FPR (psi)	FWCT (dim. less)
۱	۱،۲،۳	۱۰	۴/۵۶۰۶۸۳	۰/۸۱۹۴۶۹۹	۳۹۶۳/۷۶	۰/۵۰۵۳۹۱
۲	۱،۲،۳	۱۵	۴/۷۰۶۰۸۹	۰/۹۰۷۳۱۶۸	۴۰۰۶/۴۲۴	۰/۴۷۲۳۲۰
۳	۱،۲،۳	۲۰	۴/۷۹۹۱۲۳	۱/۰۰۹۶۹۵۱	۴۰۶۸/۹۲۹	۰/۴۴۸۶۶۱
۴	۱،۲،۳	۲۵	۴/۸۴۴۰۵۲	۱/۰۹۸۹۴	۴۱۲۳/۷۹	۰/۴۳۳۲۱۶
۵	۱،۲،۳	۳۰	۴/۸۶۹۰۳۴	۱/۱۲۲۴۴۳۹	۴۱۶۷/۲۰۲	۰/۴۳۰۰۷۵



شکل ۴- نتایج تولید نهایی نفت در سناریوهای ۱(◈)، ۲(×)، ۳(○)، ۴(△) و ۵(□) تزریق گاز غیر امتزاجی



شکل ۵- مقایسه بهترین سناریوی تزریق امتزاجی (□)، تزریق غیرامتزاجی (○) با تخلیه طبیعی (△)

۶- نتیجه گیری نهایی

۱. با توجه به شکل (۵) مقایسه سه سناریوی تخلیه طبیعی، تزریق غیرامتزاجی و تزریق امتزاجی نشان داد که تزریق امتزاجی در مقایسه با سناریوی تخلیه طبیعی دارای بازدهی تولید بیشتر و در مقایسه با سناریوی غیرامتزاجی اندکی بهتر است.

۲. بازدهی های تولید امتزاجی ۱۶/۹۹ درصد، تولید غیرامتزاجی ۱۶/۳۳ درصد و تولید تخلیه طبیعی مخزن ۱۳/۸۲ درصد می‌باشند.

۳. فرایندی که در حالت تزریق امتزاجی در این مطالعه رخ می‌دهد، فرایند امتزاج‌پذیری دینامیکی با مکانیزم تبخیر است.

۴. جابه‌جایی امتزاجی در مخازن شکاف‌دار، تنها در صورتی ممکن است که مایع تزریقی، توانایی «ممزوج شدن کامل»[1] با نفت را داشته باشد. در غیر این صورت، هنگامی که در یک بلوک ماتریکس نفتی، عمل امتزاج در بخش بالایی آن صورت گیرد، میزان گرانروی نفت در آن قسمت، کمتر از میزان گرانروی در

1. First Contact Miscibility

بخش پایینی آن خواهد بود. در چنین وضعیتی، در قسمت بالای بلوک که گرانروی کمتری دارد، نفت به جای حرکت در جهت عمودی، از قسمت‌های جانبی بلوک، جریان می‌یابد که بر اثر آن، امکان ادامه فرایند امتزاجی از بین می‌رود.

۵. از دیگر عوامل پایین بودن بازدهی تولید در سناریوی امتزاجی، می‌توان به بالاتر بودن حداقل فشار امتزاج‌پذیری در مخازن شکاف‌دار، در مقایسه با مخازن معمولی، اشاره کرد. این نظریه مبتنی بر حاکم بودن فرایند نفوذ مولکولی و جریان چند بعدی در مخازن شکاف‌دار می‌باشد.

۶. به دلیل پیچیدگی مخازن شکاف‌دار، پیش بینی این موضوع که کدام یک از روش های ازدیاد برداشت مطلوب می باشد بسیار مشکل است.

۷. اثر رسوب آسفالتین و واکس در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفته است.

۸. در این مطالعه، شرایط اقتصادی در نظر گرفته نشده است در حالی که با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی، تزریق امتزاجی مقرون به صرفه نیست.

۷- نمادگذاری

FOPT = Field Oil Production Total, Stb
FOPR = Field Oil Production, Stb/day
FPR = Field Pressure, Pisa
FOE = Field Oil Efficiency
FGOR = Field Gas Oil Ratio, Mscf/Stb
FWCT = Field Water Cut

۸- تقدیر و تشکر

از جناب آقایان دکتر هاشم منفرد و مهندس ابراهیم پیرامون، بپاس همکاری های صمیمانه شان کمال تشکر را داریم.

مراجع

[1] Thompson, J.L. and Mungan, N.: "*A Laboratory Study of Gravity Drainage in Fractured Systems Under Miscible Condition*", SPE 2232, Paper Presented at the 43rd SPE Annual Fall Meeting, Houston , Texas , September (1968).

[2] Firoozabadi, A. and Markeset, T.I : "*Miscible Displacement in Fractured Porous Media : Part I-Experiments* ", SPE 27743 ,Paper Presented at the 9th IOR Symposium ,Tulsa ,ok.(1994).

[3] Bedrikovetsky P.G., Istomin G.D. and Knyazeva M.B., "*Miscible Displacement from Fractured Porous Media*", MediaIzvestiya Akademic Nauk SSSR, 6(1989),100

[4] Tan C.T., and Firoozabadi A., "*Theoretical analysis Miscible Displacement in Fractured Porous Media by a one-Dimensional Model, Part one and two*", JCPT, 34(1995) 179.

[5] Zakirov S.N., Shandrygin A.N., and Segin T.N., "*Miscible Displacement of Fluids Within Fractured Porous Reservoirs*", Paper SPE 22942 Presented at 66th Annual Technical Confrence and Exhibition of the SPE, Dallas, oct., (1991).

[6] Don W. Green and G. Paul Willhite., "*Enhanced Oil Recovery*", Second Edition, (2003).

[۷] سیدعبدالظیم تقوی، علی مرادی "شبیه سازی تزریق گاز امتزاجی و غیر امتزاجی در مخازن شکاف دار" پایان نامه کارشناسی ارشد ،دانشگاه شهید باهنر کرمان، خرداد(۱۳۸۸).