

غربالگری روش‌های ازدیادبرداشت برای یکی از مخازن دریایی ایران

سید مجید هاشمی^{*}، سعید رشید، غلامرضا بشیری، شهاب گرامی • پژوهشکده ازدیاد برداشت از مخازن نفت و گاز

چکیده

غربالگری روش‌های ازدیاد برداشت، نوعی امکان‌سنجی فنی و اقتصادی برای انتخاب بهترین گزینه‌ی ازدیادبرداشت در مخازن هیدروکربنی به‌شمار می‌رود. در این مطالعه، غربالگری روش‌های ازدیادبرداشت برای یکی از مخازن دریایی ایران انجام شد. مرحله‌ی ابتدایی غربالگری به کمک نرم‌افزار "انتخاب ازدیادبرداشت"^[۱] انجام گرفت و روش‌های تزریق آب و تزریق غیرامتزاجی گاز به ترتیب به‌عنوان روش‌های ازدیادبرداشت مناسب مشخص گردید. جهت ارزیابی دقیق‌تر روش‌های ازدیادبرداشتِ محتمل، با استفاده از شبیه‌ساز تجاری اکلیپس-۱۰۰^۲، روش‌های منتخب به کمک شبیه‌سازی عددی مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، روش تزریق متناوب آب/گاز غیرامتزاجی به‌عنوان روش برتر ازدیادبرداشت از مخزن مورد مطالعه، معرفی گردید.

اطلاعات مقاله

* دریافت:

۹۴/۶/۱۱

* ارسال برای داوری:

۹۴/۹/۷

* پذیرش:

۹۴/۹/۱۶

واژگان کلیدی

ازدیادبرداشت نفت

غربالگری

شبیه‌سازی عددی

*نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (smh2006@gmail.com)

مقدمه

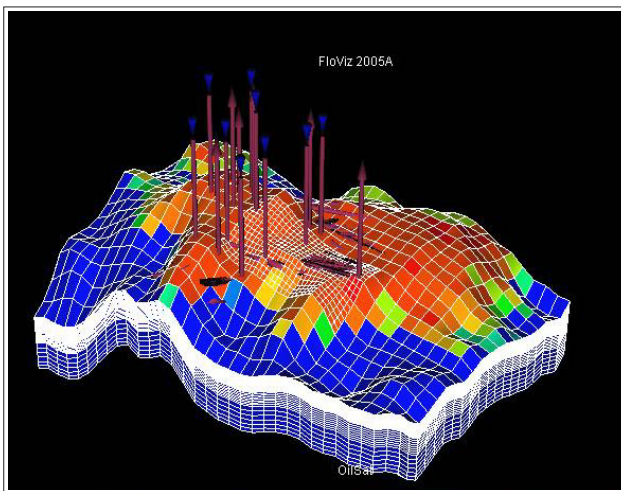
مخزن مورد مطالعه را مقدر می‌سازد. از ویژگی‌های اصلی این نرم‌افزار که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته، می‌توان به امکان غربالگری سریع^۴ روش‌های ازدیادبرداشت به صورت تأیید/رد^۵ با توجه به انطباق یا عدم انطباق پارامترهای مخزنی با معیارهای غربالگری^۶ اشاره کرد. جدول-۱، پایگاه داده‌ی مورد استفاده در غربالگری اولیه‌ی مخزن مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار "انتخاب ازدیادبرداشت" را نشان می‌دهد. برخی از پارامترها به صورت توصیفی برای غربالگری مورد استفاده قرار گرفتند که توصیف به کار رفته برای آن‌ها در جدول-۲ ارائه شده است:

اکنون، نتایج حاصل از غربالگری اولیه‌ی روش‌های ازدیادبرداشت برای مخزن مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار "انتخاب ازدیادبرداشت نفت" مورد بررسی قرار می‌گیرد. جدول-۳، نتایج به دست آمده از غربالگری روش‌های ازدیادبرداشت شیمیایی در مخزن مورد مطالعه

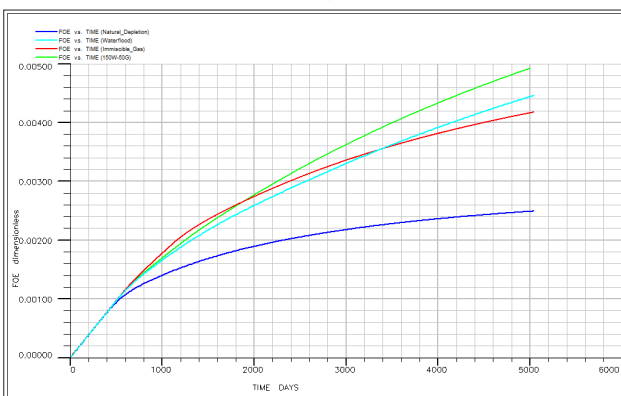
امروزه رشد و توسعه‌ی جوامع بشری و نیاز به انرژی در زندگی از یک سو و از سوی دیگر، محدود بودن منابع هیدروکربوری، موجب اهمیت روزافزون مباحث ازدیادبرداشت نفت شده است. با توجه به ارتباط و پیوستگی مراحل مختلف تولید از مخازن هیدروکربنی، نمی‌توان ازدیادبرداشت نفت را جدا از مراحل اولیه دانست؛ در سایه‌ی عنوان کلی بهبود برداشت نفت [۲]، باید طراحی مناسب برنامه‌ی تولید را از آغاز برداشت اولیه تا پایان روش‌های ازدیادبرداشت در نظر گرفت. از طرفی، به دلیل تعدد روش‌های ازدیادبرداشت و تنوع خواص سنگ و سیال مخازن، انتخاب روش بهینه و مناسب ازدیادبرداشت برای هر مخزن، یک مسأله‌ی بسیار اساسی است [۳]. به عبارت دیگر، برای موفقیت عملیات ازدیادبرداشت لازم است که ابتدا با توجه به ویژگی‌های مخزن مورد مطالعه (از جمله خصوصیات سنگ و سیال، ضخامت سازند، عمق مخزن، دما، شوری، فشار، ...) تمام روش‌های ازدیادبرداشت ارزیابی گردد تا با هدف تولید بیشینه‌ی هیدروکربور، بهترین روش انتخاب گردد. از سوی دیگر، تأخیر در تصمیم‌گیری ممکن است سبب از دست رفتن فرصت ازدیادبرداشت گردد، چرا که "هیچ مخزنی در طول مراحل توسعه ایستا نیست، اگرچه ما کاری انجام ندهیم" [۴]. غربالگری روش‌های ازدیاد برداشت، یک بررسی علمی و همه‌جانبه به منظور انتخاب بهترین گزینه‌ی ازدیاد برداشت در مخازن هیدروکربنی است. اعمال بهینه‌ی روش‌های ازدیاد برداشت در میدان‌های نفتی، علاوه بر صیانت از ذخایر، توجیه اقتصادی طرح‌های مزبور را نیز در بردارد و از آنجایی که اعمال هر کدام از روش‌ها، مستلزم اجرای طرح‌های توسعه بوده و بسیار سرمایه‌بر است، لذا انجام این گونه بررسی‌ها و مطالعات جامع، در راستای غربالگری روش‌های ازدیاد برداشت در اولویت بوده و در رأس برنامه‌های مطالعاتی قرار دارد. این مطالعه به غربالگری روش‌های ازدیادبرداشت برای یکی از مخازن دریایی ایران، اختصاص یافته است. برای این مهم ابتدا غربالگری اولیه‌ی روش‌های ازدیادبرداشت با استفاده از نرم‌افزار "انتخاب ازدیادبرداشت" انجام شد. در گام بعدی، روش‌های محتمل (تأیید شده در غربالگری اولیه) به کمک شبیه‌سازی عددی اکلیس-۱۰۰ مورد بررسی قرار گرفته و مجدداً غربال گردیدند.

۱- غربالگری اولیه‌ی روش‌های ازدیادبرداشت برای مخزن مورد مطالعه

نرم افزار "انتخاب ازدیادبرداشت" که توسط تیم تحقیقاتی آلبرتا^۳ توسعه یافته است، امکان‌سنجی استفاده از روش‌های ازدیادبرداشت در



شکل ۱ | موقعیت چاه‌های تزریق و تولید در سکتور انتخابی (چاه ۶ تولیدی و ۹ چاه تزریقی)



شکل ۲ | نمودار بازده تولید نفت در سناریوهای مورد بررسی

را نشان می‌دهد.

جدول ۴- نتایج به‌دست آمده از غربالگری روش‌های ازدیادبرداشت تزریق گاز در مخزن مورد مطالعه را ارائه می‌کند.

در جدول ۵- نتایج به‌دست آمده از غربالگری روش‌های ازدیادبرداشت حرارتی در مخزن مورد مطالعه ارائه گردیده است.

جدول ۶- نتایج به‌دست آمده از غربالگری روش‌های تزریق آب و

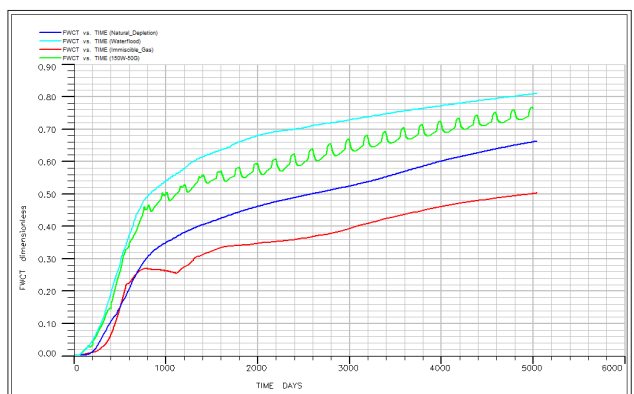
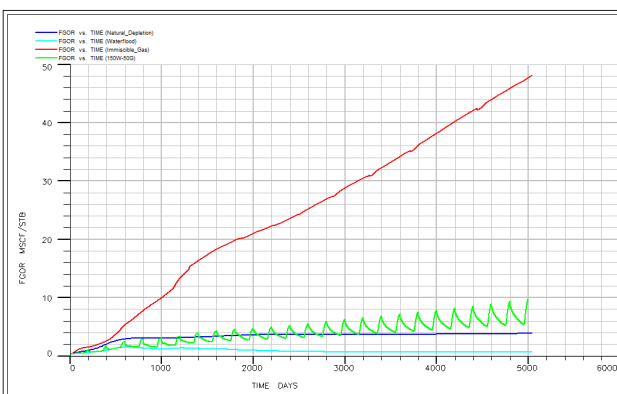
حفر چاه افقی به‌عنوان روش‌های بهبود برداشت در مخزن مورد مطالعه، ارائه گردیده است.

نتایج این غربالگری نشان می‌دهد که مناسب‌ترین روش‌های ازدیادبرداشت برای سازند مورد مطالعه عبارتند از: فرآیند تزریق آب، فرآیند تزریق غیرامتزاجی گاز. همچنین، مزیت استفاده از چاه‌های افقی به‌عنوان یک روش بهبود برداشت در مخزن مورد نظر

پارامتر	توصیف مورد استفاده برای غربالگری
ترکیب نفت	High % C ₂ -C ₇
نوع سازند	کربناته
سیلاب‌زنی انجام شده یا در حال انجام	خیر
کلاهک گازی	ندارد
آبده زیرین	جزیی
شکاف	خیر
محتوای رس	ندارد
رانش آب فعال	ندارد

روش ازدیادبرداشت	تأیید/رد	علت عدم تأیید
تزریق پلیمر	رد	تراوایی پایین، سختی و شوری آب سازندی
تزریق آلکالین/پلیمر	رد	نوع سازند، تراوایی پایین، سختی و شوری آب سازندی
تزریق سورفکتانت/پلیمر	رد	تراوایی افقی پایین، سختی و شوری آب سازندی
تزریق آلکالین/پلیمر/سورفکتانت	رد	نوع سازند، تراوایی افقی پایین، سختی و شوری آب سازندی

پارامتر	واحد پارامتر	مقدار پارامتر
وزن مخصوص نفت	°API	۲۱
گرانروی نفت	cp	۷/۴
اشباع نفت	fraction	۰/۶۷
عمق	ft	۳۴۵۰
دما	°F	۱۵۱
تراوایی افقی	mD	۱۰
تراوایی عمودی	mD	۵
سختی آب	ppm	۲۴۸۷۹
شوری آب	ppm	۱۶۲۷۳۰
نسبت آب به نفت تولیدی	bbl/bbl	۰
فشار شکست سازند	psi	۲۲۰۰
تخلخل	fraction	۰/۲۷
فشار اولیه مخزن	psi	۱۷۰۲
فشار فعلی مخزن	psi	۱۶۵۲
ضخامت خالص لایه تولید	ft	۵۴
نسبت ضخامت خالص به ضخامت کل لایه تولیدی	ft/ft	۱



شکل ۴ | نمودار نسبت گاز به نفت تولیدی در سناریوهای مورد بررسی

شکل ۳ | نمودار کسر تولید آب در سناریوهای مورد بررسی



ممکن و رسیدن به محدودیت فشاری چاه‌های تولیدی تأمین کنند. همچنین، بر اساس نتایج مطالعات صورت گرفته، ظرفیت تزریق آب در کل میدان ۱۵۰۰۰ بشکه در روز تشخیص داده شده است که حجم سیال تزریقی در سناریوی تزریق آب برابر با همین مقدار می‌باشد. در سناریوی تزریق گاز نیز، حجم معادل آن در شرایط مخزن برابر ۱۰ میلیون فوت مکعب در روز برآورد گردیده و بنابراین همین عدد در نظر گرفته شد. همچنین بنا گردید سناریوی تزریق متناوب آب/گاز به عنوان یک روش ازدیادبرداشت مورد بررسی قرار گیرد. بر اساس مطالعات صورت گرفته، بهترین چرخه‌ی تزریق در فرآیند تزریق متناوب آب/گاز در مخزن مورد مطالعه، تزریق آب به مدت ۱۵۰ روز و سپس، به‌طور متناوب تزریق گاز به مدت ۵۰ روز با حداکثر ظرفیت تزریق هر دو سیال می‌باشد. جدول ۷- خلاصه‌ای از سناریوهای مورد بررسی و نتایج آن را نشان می‌دهد:

۴ نتایج غربالگری روش‌های ازدیادبرداشت تزریق گاز		
روش ازدیادبرداشت	تأیید/رد	علت عدم تأیید
تزریق امتزاجی گاز دی‌اکسیدکربن	رد	چگالی نفت، فشار شکست سازند
تزریق امتزاجی گاز هیدروکربنی	رد	عمق مخزن، چگالی نفت، گرانروی نفت
تزریق امتزاجی گاز نیتروژن	رد	عمق مخزن، چگالی نفت، گرانروی نفت، فشار شکست سازند
تزریق غیر امتزاجی گاز	تأیید	-

۵ نتایج غربالگری روش‌های ازدیادبرداشت حرارتی		
روش ازدیادبرداشت	تأیید/رد	علت عدم تأیید
تزریق چرخه‌ای بخار	رد	فشار مخزن، گرانروی نفت، تراوایی افقی پایین
تزریق بخار	رد	فشار مخزن، گرانروی نفت، تراوایی افقی پایین
ریزش ثقلی تقویت شده با بخار (SAGD)	رد	فشار مخزن، گرانروی نفت، تراوایی افقی پایین، تراوایی عمودی
احتراق درجا	رد	تراوایی پایین افقی

۶ نتایج غربالگری روش‌های بهبود برداشت تزریق آب و حفر چاه افقی		
روش ازدیادبرداشت	تأیید/رد	علت عدم تأیید
تزریق آب	تأیید	-
حفر چاه افقی	تأیید	-

مشخص گردید. در ادامه و با بهره‌گیری از نتایج مطالعات صورت گرفته در زمینه‌ی شبیه‌سازی عددی مخزن مورد مطالعه، روش‌های ازدیادبرداشت محتمل (تأیید شده در غربالگری اولیه برای این لایه) به کمک شبیه‌سازی عددی اکلیس-۱۰۰ مورد بررسی قرار گرفته و مجدداً غربال شدند.

۲- غربالگری روش‌های محتمل ازدیادبرداشت با استفاده از شبیه‌سازی عددی

مدل دینامیک سه بعدی مخزن مورد مطالعه، دارای ۱۲۲، ۷۳ و ۳۰ گرید در جهت‌های x ، y و z می‌باشد. اندازه‌ی گریدها در جهت x و y حدود ۲۵۰ متر و در جهت z حدود ۱ تا ۳ متر است. برای توسعه‌ی این مدل، از خروجی‌های مدل استاتیک و خواص سیال مخزن استفاده گردید. مدل حاصل دارای شش جدول اشباع است. با توجه به اهداف مطالعه لازم است آن بخش از مخزن برای مطالعه انتخاب گردد که دارای عدم قطعیت کمتری است. در غیر این صورت، نتایج مطالعه قابل اطمینان نبوده و به‌طور خاص نمی‌توان از مزیت شبیه‌سازی عددی در قیاس با شبیه‌سازی تحلیلی بهره برد. به همین دلیل، بخشی از مخزن که دارای بیش‌ترین مقدار ذخیره نفت بوده و بخش عمده‌ای از چاه‌های اکتشافی در آن حفر گردیده‌اند، به‌عنوان مدل بخش مخزن (سکتور) انتخاب گردید. سکتور انتخابی دارای شش چاه تولیدی افقی است که دو چاه به‌شکل تک شاخه و مابقی به‌شکل دو شاخه هستند. طی یک فرآیند بهینه‌سازی، الگوی مناسب جهت تزریق سیال در سکتور مورد نظر، مشخص گردید. شکل ۱- نمایشی از چاه‌های تزریقی و تولیدی در سکتور انتخابی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که با توجه به نتیجه‌ی غربالگری اولیه که بیان‌گر مزیت استفاده از چاه افقی نسبت به چاه عمودی در مخزن مورد مطالعه می‌باشد، هر ۹ چاه تزریقی به‌صورت افقی تعریف شدند.

نظر به نوع فرآیندهای مورد بررسی و برای صرفه‌جویی در زمان و هزینه، مدل نفت سیاه^۶ شبیه‌سازی تجاری اکلیس برای مطالعه‌ی حاضر انتخاب گردید. بازه‌ی بررسی عملکرد سناریوهای مورد نظر برابر ۱۴ سال در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از شکست سازند، حد بالایی فشار ته‌چاهی در چاه‌های تزریقی برابر با ۲۲۰۰ psia در نظر گرفته شد. همچنین، با توجه به برنامه‌ریزی صورت گرفته جهت فزونی سیال با استفاده از پمپ شناور الکتریکی، حداقل فشار ته‌چاهی در چاه‌های تولیدی برابر با ۶۰۷ psia در نظر گرفته شد. بر اساس نرخ سقف تولید پیشنهادی برای میدان مورد بررسی، چاه‌های تولیدی به‌شکل گروهی کنترل گردیده تا نرخ تولید ۱۲۰۰۰ بشکه در روز را تا حداکثر زمان

شکل‌های ۲- تا ۴، بازده تولید نفت، نمودار برش آب تولیدی میدان و نمودار نسبت گاز به نفت تولیدی میدان را در قیاس با تولید طبیعی (تولید از طریق شش چاه تولیدی موجود در مدل) نشان می‌دهند. چنانچه مشاهده می‌شود، در فرآیند تزریق آب، برش آب تولیدی بالا و در فرآیند تزریق گاز نیز نسبت گاز به نفت تولیدی، بالا می‌باشد که با توجه به برنامه‌ریزی صورت گرفته جهت استفاده از پمپ‌های شناور الکتریکی جهت فراآوری سیال، هر دو موضوع در دسرساز خواهند شد. همچنین، تولید از طریق فرآیند تزریق آب ۷۹ درصد و از طریق فرآیند تزریق گاز ۱۹ درصد نسبت به تولید طبیعی، بهبود داشته است. در این شرایط، فرآیند تزریق متناوب آب/گاز با تولید تجمعی ۳۵ میلیون بشکه نفت در طول بازه‌ی مورد بررسی، بالاترین بازده را در میان سناریوهای مورد بررسی خواهد داشت. از سوی دیگر، در این فرآیند در اثر کنترل تحرک پذیری آب و گاز، برش آب تولیدی میدان نسبت به فرآیند تزریق آب و نسبت گاز به نفت تولیدی میدان نسبت به فرآیند تزریق گاز کمتر است و لذا، این حالت یک حالت ایده‌آل

محسوب می‌گردد.

نتیجه‌گیری

این مطالعه به غربالگری روش‌های ازدیادبرداشت در یکی از مخازن دریایی ایران، اختصاص یافته است. برای این مهم ابتدا براساس ویژگی‌های مختلف مخزن، غربالگری اولیه‌ی روش‌های ازدیادبرداشت با استفاده از نرم‌افزار "انتخاب ازدیادبرداشت" انجام شد. نتایج این غربالگری مشخص نمود که مناسب‌ترین روش‌های ازدیادبرداشت برای سازند مورد مطالعه به ترتیب اولویت عبارتند از: فرآیند تزریق آب، فرآیند تزریق غیرامتزاجی گاز. همچنین، مزیت استفاده از چاه‌های افقی به‌عنوان یک روش بهبود برداشت در مخزن مورد نظر، تأیید گردید. در ادامه و با بهره‌گیری از شبیه‌سازی عددی اکلپس، روش‌های ازدیادبرداشت محتمل (تأیید شده در غربالگری اولیه برای این مخزن) مجدداً غربال گردیدند و ترکیبی از دو روش، فرآیند تزریق متناوب آب/گاز، به‌عنوان برترین روش ازدیادبرداشت از مخزن مورد مطالعه، انتخاب گردید. ■

۷ سناریوهای مورد بررسی جهت غربالگری روش‌های محتمل

سناریو	نوع چاه	تعداد چاه تولیدی	تعداد چاه تزریقی	استراتژی تزریق در میدان	طول دوره سقف تولید (روز)	تولید طبیعی (میلیون بشکه)	تولید تجمعی بعد از ۱۴ سال (میلیون بشکه)	بهبود تولید نسبت به تولید طبیعی (%)	ضریب بازیافت RF (%)
تزریق آب	افقی	۶	۹	۱۵ (MSTB/D)	۵۰۴	۱۵۵	۲۷,۷۱	۷۸,۷۷	۵,۶۵
تزریق گاز	افقی	۶	۹	۱۰ (MMscf/D)	۴۲۷	۱۵۵	۱۸,۴۵	۱۹,۰۳	۳,۷۶
تزریق متناوب آب/گاز	افقی	۶	۹	۱۵۰ روز آب ۱۵ (MSTB/D) ۵۰ روز گاز ۱۰ (MMscf/D)	۵۰۷	۱۵۵	۳۵,۵۳	۹۶,۹۶	۷,۲۵

پانویس‌ها

1. SelectEOR
2. ECLIPSE-100, Reservoir Simulation Software Developed by Schlumberger Co.
3. Alberta Research Council
4. Fast screening
5. Go/Not Go
6. Screening Criteria
7. Black Oil

منابع

- criteria and enhanced recovery field projects. SPE Reservoir Engineering, 1997. 12(03): p. 189198-.
- [4] Manrique, E.J., et al. Effective EOR decision strategies with limited data: field cases demonstration. in SPE Symposium on Improved Oil Recovery. 2008. Society of Petroleum Engineers.
- [۱] یک نرم افزار تجاری در زمینه انتخاب ازدیادبرداشت از مخازن.
- [2] Thomas, S., Enhanced oil recovery-an overview. Oil & Gas Science and Technology-Revue de l'IFP, 2008. 63(1): p. 919-.
- [3] Taber, J., F. Martin, and R. Seright, EOR screening criteria revisited-Part 1: Introduction to screening