



روش نوین شبیه‌سازی مخازن نفتی شکاف‌دار ناهمگن با اکلپس

عباس هاشمی‌زاده^{۱*}، مهدی فدائی^۲، علیرضا دولتیاری^۳

۱- استادیار مهندسی نفت، دانشگاه حکیم سبزواری

۲- دانشجوی دکترای مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

پیام نگار: a.hashemizadeh@hsu.ac.ir

چکیده

بخش عمده‌ای از مخازن هیدروکربوری کشور را مخازن شکاف‌دار تشکیل می‌دهند. مدل‌های ارائه‌شده برای مدل‌سازی مخازن شکاف‌دار از جمله تخلخل دوگانه و تراوایی دوگانه، پراکندگی شکاف‌ها را در مخزن به صورت همگن منظور کرده، ابعاد شکاف را نسبت به ابعاد ماتریکس بسیار کوچکتر در نظر می‌گیرند. اگر شکاف‌های ناهمگن با ابعاد بزرگ در مخزن وجود داشته باشد، استفاده از این مدل‌ها نتایج قابل قبولی برای شبیه‌سازی مخزن ارائه نمی‌دهد. در نرم‌افزار اکلپس ۳۰۰، شبیه‌سازی مخزن شکاف‌دار ناهمگن با طول شکاف‌های زیاد با استفاده از دستور CONDFRAC برای مشخص کردن شکاف تراوایی با طول زیاد استفاده می‌شود که در قسمت‌هایی از مخزن که خمیدگی دارد به دلیل تشخیص ندادن صحیح صفحه خاص عمود بر صفحه شکاف و هم‌پوشانی شکاف‌ها، در نتایج شبیه‌سازی مخزن خطا صادر می‌شود. در این مطالعه به منظور رفع کاستی‌های موجود، روش جدیدی با استفاده از تعریف جعبه‌ای^۱ مشخصات شبکه ماتریکس و شکاف در نرم‌افزار اکلپس ۱۰۰ ارائه می‌شود؛ که باعث سهولت فرایند شبیه‌سازی مخزن و کاهش مدت زمان اجرای برنامه می‌شود. مخزن نفتی مورد مطالعه از نوع کریناته و در سازند عرب است که شامل شکاف‌های ناهمگن با طول زیاد است. نتایج شبیه‌سازی بین دو روش ارائه‌شده در این مطالعه، مقایسه می‌شوند. با مقایسه بین نتایج از روش ناحیه مجزا و روش جدید ارائه‌شده، مشاهده شد که مقدار اختلاف متوسط نتایج ارائه‌شده به وسیله این دو روش برای مقدار نفت در جای مخزن کمتر از ۱/۱٪ بوده و باعث کاهش حدود ۴۰ درصدی زمان اجرای شبیه‌سازی شده که نشان‌دهنده عملکرد بهینه روش جدید ارائه شده است.

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۷/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۲۱

شماره صفحات: ۷۶ تا ۸۱

کلیدواژه‌ها: روش نوین،

شبیه‌سازی، مخازن نفتی،

شکاف‌دار ناهمگن، اکلپس

۱. مقدمه

تشکیل می‌دهند؛ از این رو، تلاش زیادی برای تشخیص حضور شکاف‌ها و تأثیر آن بر تولید انجام گرفته؛ با این حال، تبدیل این تشخیص به تصمیمات توسعه میدان، از راه شبیه‌سازی مخزن انجام می‌شود [۲]. مخازن شکاف‌دار طبیعی رفتار بسیار متفاوتی

بخش زیادی از مخازن نفتی و گازی کشور را مخازن شکاف‌دار

* سبزواری، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده مهندسی نفت و پتروشیمی

1. Box Definition

نسبت به مخازن همگن (بدون شکاف) از خود نشان می‌دهند [۳]. وجود تخلخل دوگانه شامل محیط متخلخل (تخلخل زیاد/تراوایی کم) و شبکه شکافها (تخلخل کم/تراوایی زیاد) با خصوصیات فیزیکی متفاوت سبب شده است که ساختار این مخازن بسیار پیچیده‌تر از مخازن معمولی باشد [۴ و ۹]. در صورتی که شکافها دارای طول زیاد و توزیع ناهمگن باشند، استفاده از روش‌های شبیه‌سازی متداول مانند تخلخل دوگانه و یا تراوایی دوگانه نمی‌تواند رفتار مخزن را به درستی پیش‌بینی کند [۵ و ۸]. در نرم‌افزار اقلیپس ۳۰۰، شبیه‌سازی مخزن شکاف‌دار ناهمگن با طول شکافهای زیاد با استفاده از کلمه کلیدی CONDFRAC برای مشخص کردن شکاف تراوایی با طول زیاد استفاده می‌شود که نیازمند ورود تعداد مؤلفه‌های زیادی از جمله عنوان شکاف، شماره جدول اشباع مورد استفاده برای محاسبات، بازشدگی مؤثر شکاف، تراوایی شکاف، مختصات نقاط ابتدایی و انتهایی شکاف و محور عمود بر صفحه شکاف است که در قسمت‌هایی از مخزن که خمیدگی دارد به دلیل عدم تشخیص صحیح صفحه خاص عمود بر صفحه شکاف، باعث صدور خطا در نتایج شبیه‌سازی مخزن می‌شود [۱۰]. هم‌چنین در مواقعی که تعداد شکافهای طویل در مخزن زیاد می‌شود باعث هم‌پوشانی شکافها و خطا در خواندن فایل ورودی نرم‌افزار اقلیپس و ارائه نتایج ناصحیح شبیه‌سازی می‌شود. در این مطالعه به منظور رفع کاستی‌های موجود در شبیه‌سازی مخازن شکاف‌دار ناهمگن با طول شکاف زیاد با نرم‌افزار اقلیپس ۳۰۰ و کلمه کلیدی CONDFRAC، روش جدیدی با استفاده از تعریف جعبه‌ای مشخصات شبکه ماتریکس و شکاف در نرم‌افزار اقلیپس ۱۰۰ ارائه می‌شود که باعث راحتی و سهولت بیشتر نگارش فایل داده^۱ مربوط به شبیه‌سازی مخزن و کاهش مدت زمان اجرای برنامه اقلیپس می‌شود. کاظمی و همکاران [۶] از شبیه‌ساز عددی چندچاهی سه‌بعدی برای شبیه‌سازی جریان تک‌فاز و دوفاز (آب و نفت) در مخازن شکاف‌دار استفاده کردند. از جمله کاستی‌های مطالعه آنان [۶] همگن در نظر گرفتن توزیع و پراکندگی شکافها در مخزن بود؛ در صورتی که باید تأثیر شکافهای ناهمگن و با طول زیاد مطالعه شود که در این مقاله روش نوین مطالعه تأثیر شکافهای با طول زیاد بحث و بررسی می‌شود. سعیدی و همکاران [۷] نیز برای تکمیل تحقیقات انجام شده کاظمی و همکاران [۶] یک شبیه‌ساز مخزنی سه‌بعدی را در حالت سه‌فازی

۲. مواد و روش‌ها

مخزن نفتی شکاف دار ناهمگن مورد مطالعه از نوع کرناته و واقع در سازند عرب است که به صورت تک‌لایه مستطیلی شکل با ابعاد ۱۰ کیلومتر در ۲۲ کیلومتر در نظر گرفته می‌شود با بلوک‌هایی با ابعاد ۲۵۰ متر در ۲۵۰ متر که شامل تعداد شکافهای طویل زیادی است که در شکل (۱) نشان داده شده است [۱]. خطوط ضخیم نشان‌دهنده نواحی شکاف‌خورده طولانی هستند. در این مطالعه تخلخل شکاف (خطوط ضخیم) برابر با ۱ در نظر گرفته شده است. از جمله خصوصیات دیگر شکافهای طویل، بازشدگی شکاف^۲ و تراوایی شکاف است. در شکل (۱)، بلوک‌هایی که تحت تأثیر شکاف هستند با رنگ خاکستری نشان داده شده‌اند. تخلخل، تراوایی و منحنی‌های تراوایی نسبی این بلوک‌های خاکستری به دلیل وجود شکافها تحت تأثیر قرار می‌گیرند. تغییراتی نیز بر روی قابلیت گذردهی سیال^۳ بین بلوک‌های شکاف‌خورده و شکاف‌نخورده اعمال می‌شود. در این مطالعه تراوایی بلوک تحت تأثیر شکاف در روش نوین ارائه شده طبق رابطه (۱) حساب می‌شود [۱].

$$K_b = K_m + \frac{K_f n_f d_f}{d_b} \quad (1)$$

که اندیس b ، m و f به ترتیب بیان‌کننده بلوک شبکه‌بندی، ماتریکس و شکاف هستند. K_b تراوایی بلوک شبکه‌بندی، K_m تراوایی بلوک ماتریکس، K_f تراوایی شکاف، d_f بازشدگی شکاف، n_f تعداد شکافهای موجود در هر بلوک از شبکه‌بندی و d_b برابر با ابعاد

1. Data File

2. Aperture
3. Transmissibility

به‌عنوان مثال برای ۵ بلوک تحت تأثیر شکاف طویل که نقطه ابتدایی آن دارای مختصات (۷ و ۲) و نقطه انتهایی آن دارای مختصات (۶ و ۶) است در اکلیپس ۳۰۰ با کلمه کلیدی CONDFRAC و در روش نوین ارائه‌شده با اکلیپس ۱۰۰ به صورت نشان داده‌شده در رابطه (۳) و (۴) تعریف می‌شوند.

$$\begin{aligned} & \text{CONDFRAC} \\ & / \text{FR13 1 1000} \\ & 6 8 6 3 1 1 'z' / \end{aligned} \quad (3)$$

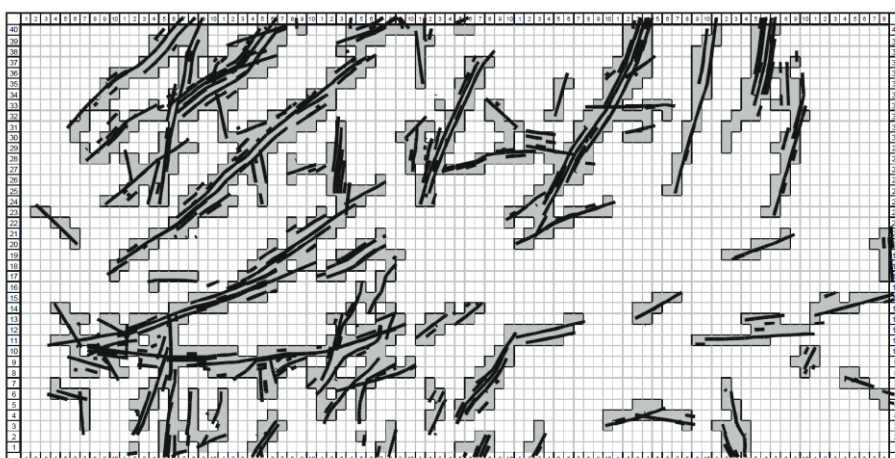
که پس از کلمه کلیدی CONDFRAC در اکلیپس ۳۰۰ به ترتیب ابتدا نام دسته شکاف، بازشدگی مؤثر شکاف، تراوایی شکاف و در خط بعدی مختصات نقاط ابتدایی و انتهایی شکاف و محور عمود بر صفحه شکاف نوشته می‌شود. چنان‌که که ملاحظه می‌شود با استفاده از کلمه کلیدی CONDFRAC نیازمند وارد کردن مشخصه‌های شکاف در ابتدایست و این مشخصه را برای کل شکاف‌های تعریف شده اثر می‌دهد [۱۰]؛ اما در حالی که تراوایی یا به عبارتی بازشدگی شکاف در نقاط خاصی از مخزن تغییر کند استفاده از روش نوین تعریف جعبه‌ای مفید خواهد بود؛ زیرا می‌توان برای هر دسته شکاف مشخص، خصوصیات خاصی در نظر گرفت. در رابطه (۴) استفاده از روش نوین تعریف جعبه‌ای نشان داده شده است که تراوایی و تخلخل بلوک‌های تحت تأثیر شکاف به وسیله روابط (۱) و (۲) به دست می‌آیند.

بلوک شبکه‌بندی است که در جهات x و y برابر در نظر گرفته می‌شود. با توجه به شکل (۱) با در نظر گرفتن گوشه پایین سمت چپ مخزن به‌عنوان مبدأ مختصات، هر بلوک دارای i و j مشخص است. هر شکاف طویل نیز دارای نقاط ابتدایی و انتهایی مشخصی است.

تخلخل بلوک‌های تحت تأثیر شکاف به صورت رابطه (۲) تعیین می‌شود [۱].

$$\phi_b = \phi_m + \frac{\phi_f d_f l_f}{d_b^2} \quad (2)$$

که l_f طول تجمعی شبکه شکاف در گرید بلوک مورد نظر، ϕ_f تخلخل شکاف است که برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شود و d_f و d_b به ترتیب طول گرید بلوک^۱ ماتریکس و بازشدگی تجمعی شبکه شکاف موجود در ماتریکس^۲ است. با توجه به شکل (۱) مختصات تمامی شکاف‌ها در طول محورهای x و y تعیین می‌شود. با استفاده از رابطه (۱) تراوایی و انتقال‌پذیری بلوک‌های تحت تأثیر شکاف تعیین می‌شود. با استفاده از رابطه (۲) تخلخل بلوک‌های تحت تأثیر شکاف تعیین می‌شود. با توجه به مختصات و خواص به دست آمده برای بلوک‌های تحت تأثیر شکاف، در قسمت GRID در فایل داده اکلیپس^۳ بلوک‌های تحت تأثیر شکاف به صورت جعبه‌ای با استفاده از کلمه کلیدی BOX تعریف می‌شوند و تراوایی حساب شده با استفاده از رابطه (۱) در هر سه جهت x، y و z و هم‌چنین تخلخل حساب شده با استفاده از رابطه (۲) به آن‌ها نسبت داده می‌شود.



شکل ۱. مخزن نفتی شکاف‌دار ناهمگن مورد مطالعه با بلوک‌های شبکه‌بندی ۲۵۰ متر در ۲۵۰ متر [۱].

پیداست میزان اختلاف متوسط بین نتایج حاصل از اکلیپس ۳۰۰ و روش جدید با استفاده از اکلیپس ۱۰۰، کمتر از ۱/۱٪ است که نشان‌دهنده دقت بالای روش جدید ارائه‌شده در این پژوهش است.

جدول ۱. خصوصیات نفت و آب موجود در مخزن.

خصوصیات نفت مخزن		
فشار [BAR]	ضریب حجمی سازندی نفت $\left[\frac{rm^3}{sm^3}\right]$	گران‌روی نفت [cP]
۲۵۰	۱/۳	۱/۲
۳۰۰	۱	۱
خصوصیات آب موجود در مخزن		
فشار [BAR]	ضریب حجمی سازندی آب $\left[\frac{rm^3}{sm^3}\right]$	گران‌روی آب [cP]
۲۵۰	۱	۰/۴۹
۱۰۰	۱	۱

در جدول (۲) مقایسه بین زمان اجرای شبیه‌سازی مخزن شکاف‌دار ناهمگن با شکاف‌های ناهمگن با اکلیپس ۳۰۰ و روش جدید ارائه‌شده با اکلیپس ۱۰۰ نشان داده شده است. با توجه به جدول (۲) مشاهده می‌شود که روش جدید ارائه‌شده با اکلیپس ۱۰۰ باعث کاهش حدود ۴۰ درصدی زمان اجرای شبیه‌سازی شده است و در حالی که اختلاف بین نتایج ارائه‌شده به‌وسیله اکلیپس ۳۰۰ و روش جدید ارائه‌شده با اکلیپس ۱۰۰، کمتر از ۱/۱٪ است که نشان‌دهنده عملکرد مناسب و بهینه روش جدید ارائه‌شده با اکلیپس ۱۰۰ است.

BOX
/6 8 6 3 1 1
PORO
5*0.49/
PERMX
5*1000/
PERMY
5*1000/
PERMZ
5*1000/

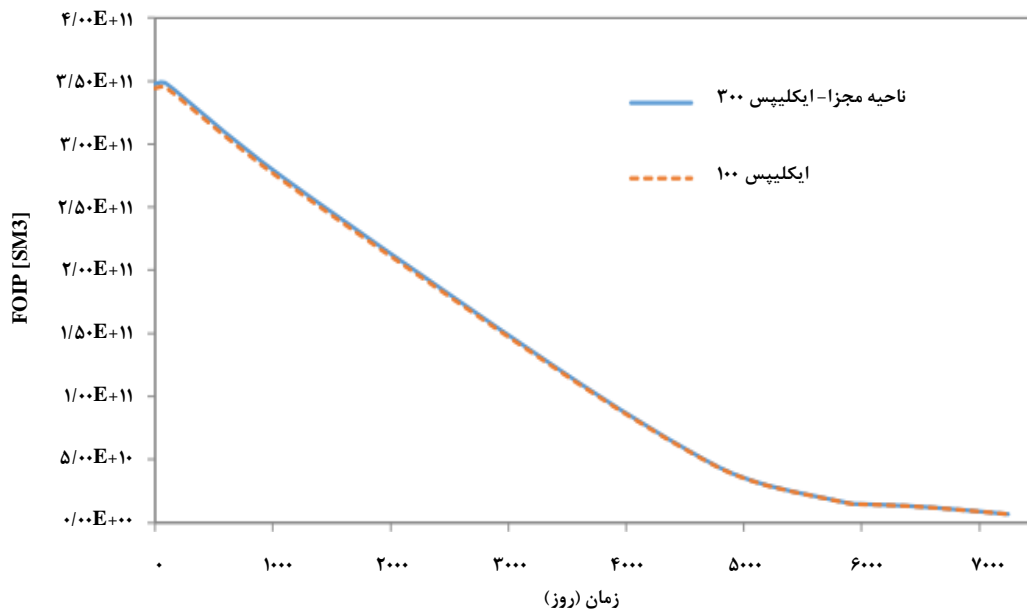
(۴)

چنان‌که در روابط (۳) و (۴) نشان داده شده است، در تعریف جعبه‌ای به هر دسته بلوک تحت تأثیر شکاف می‌توان تراوایی و تخلخل خاصی نسبت داد؛ در حالی که با کلمه کلیدی CONDFRAC در اکلیپس ۳۰۰ این امر امکان‌پذیر نیست. سایر مشخصات مخزن از جمله ابعاد کلی مخزن، خواص سیالات نفت و آب موجود در مخزن و فشار مخزن در هر دو مدل اکلیپس ۳۰۰ و ۱۰۰ با هم مشابه است. در جدول (۱) خصوصیات نفت و آب مخزن نشان داده شده است.

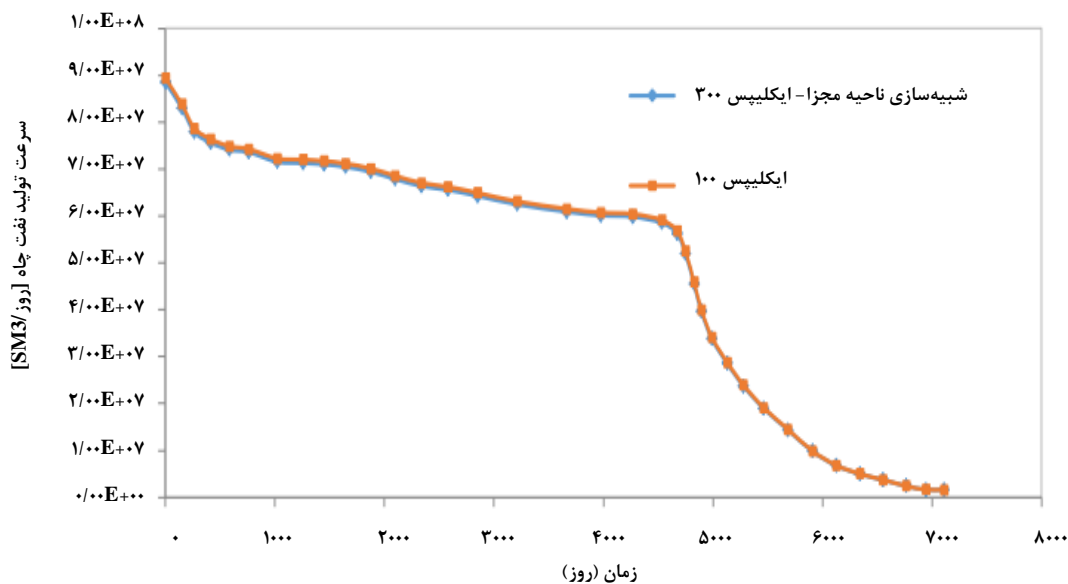
چگالی نفت و آب مخزن در شرایط سطحی به ترتیب برابر با ۴۵/۶۰ و ۶۲/۱۴ پوند بر فوت مکعب است. خواص سیالات موجود در مخزن برای هر دو روش انجام‌شده با اکلیپس ۳۰۰ و روش جدید ارائه‌شده با اکلیپس ۱۰۰ مشابه بوده و تنها تفاوت در دو مدل، تعریف و مشخص کردن خواص و موقعیت مکانی بلوک‌های تحت تأثیر شکاف و شکاف‌های طویل است.

۳. نتایج و تفسیر

با توجه به موارد گفته‌شده، پس از بررسی نتایج حاصل از فایل داده اکلیپس ۳۰۰ و روش نوین ارائه‌شده با اکلیپس ۱۰۰، در شکل (۲)، نمودار نفت در جای مخزن نسبت به زمان با استفاده از اکلیپس ۳۰۰ و روش جدید ارائه‌شده با استفاده از اکلیپس ۱۰۰ مقایسه شدند. در شکل (۳) نیز نتایج حاصل از دبی نفت تولیدی برای چاه تولیدی با اکلیپس ۳۰۰ و روش جدید با استفاده از اکلیپس ۱۰۰ مقایسه شده‌اند. همان‌طور که از شکل‌های (۲) و (۳)



شکل ۲. نمودار نفت درجای مخزن نسبت به زمان حاصله از اکلپیس ۳۰۰ و روش جدید ارائه شده با اکلپیس ۱۰۰.



شکل ۳. نمودار دبی تولیدی نفت چاه تولیدی نسبت به زمان حاصله از اکلپیس ۳۰۰ و روش جدید ارائه شده با اکلپیس ۱۰۰.

جدول ۲. مقایسه بین زمان اجرای روش جدید با اکلپیس ۱۰۰ و اکلپیس ۳۰۰.

زمان اجرا (ثانیه)	روش
۱۳/۷	روش جدید با اکلپیس ۱۰۰
۲۲/۵	اکلپیس ۳۰۰

۴. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مطالعه به‌منظور رفع کاستی‌های موجود در فرایند شبیه‌سازی مخازن شکاف‌دار ناهمگن با طول شکاف زیاد با اکلپیس ۳۰۰ و استفاده از دستور CONDFRAC، روش جدیدی با استفاده از تعریف جعبه‌ای مشخصات شبکه ماتریکس و شکاف در نرم‌افزار اکلپیس ۱۰۰ ارائه شد که باعث راحتی و افزایش دقت در نگارش فایل داده‌ی مربوط به شبیه‌سازی مخزن و کاهش مدت زمان اجرا می‌شود. مخزن نفتی مورد مطالعه در ابعاد ۱۰ کیلومتر در ۲۲ کیلومتر و دارای شکاف‌های ناهمگن با طول زیاد بود که نتایج شبیه‌سازی با نرم‌افزار اکلپیس ۳۰۰ و روش جدید ارائه‌شده در این مطالعه، با هم مقایسه شدند. با مقایسه بین نتایج (مقدار نفت در جای مخزن و دبی نفت تولیدی از چاه تولیدی نسبت به زمان) به‌دست‌آمده از روش ناحیه‌ی مجزا^۱ با اکلپیس ۳۰۰ و روش جدید ارائه شده با اکلپیس ۱۰۰، مشاهده شد که مقدار اختلاف متوسط بین این دو روش کمتر از ۱/۱٪ است. هم‌چنین روش جدید ارائه‌شده با اکلپیس ۱۰۰ باعث کاهش حدود ۴۰ درصدی زمان اجرای شبیه‌سازی شد که نشان‌دهنده‌ی عملکرد بهینه‌ی روش جدید ارائه‌شده با اکلپیس ۱۰۰ بود. هم‌چنین این روش باعث سهولت در فرایند شبیه‌سازی مخازن شکاف‌دار از نگارش فایل داده و تحلیل‌های ژئومکانیکی تا تفسیر نتایج می‌شود و از سویی دیگر نیز در زمان و هزینه‌ها صرفه‌جویی چشمگیری پدید می‌آورد.

مراجع

- [1] Van Lingen, P., Sengul, M., Daniel, J. M., Cosentino, L., "Single medium simulation of reservoirs with conductive faults and fractures", In SPE Middle East Oil Show. Society of Petroleum Engineers, (2001).
- [2] Bourbiaux, B., "Fractured reservoir simulation: a challenging and rewarding issue", Oil & Gas Science and Technology—Revue de l'Institut Français du Pétrole, 65(2), pp. 227-238, (2010).
- [3] Egbe, T., Appah, D., "Water Coning Diagnosis Using Spectral Analysis", In Nigeria Annual International Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, (2005).
- [4] Dean, R. H., Lo, L. L., "Simulations of naturally fractured reservoirs", SPE reservoir engineering, 3(02), pp. 638-648, (1988).
- [5] Gilman, J. R., Kazemi, H., "Improvements in simulation of naturally fractured reservoirs", Society of petroleum engineers Journal, 23(04), pp. 695-707, (1983).
- [6] Kazemi, H., Merrill Jr, L. S., Porterfield, K. L., Zeman, P. R., "Numerical simulation of water-oil flow in naturally fractured reservoirs", Society of Petroleum Engineers Journal, 16(06), pp. 317-326, (1976).
- [7] Saidi, A. M., "Simulation of naturally fractured reservoirs", In SPE Reservoir Simulation Symposium. Society of Petroleum Engineers, (1983).
- [8] Lakatos, I., Lakatos-Szabo, J., Szentes, G., Vago, A., "Restriction of Water Production in Gas Wells by Induced Phase Inversion": Field Case Studies. In SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control. Society of Petroleum Engineers, (2014).
- [9] Cinar, Y., Shehab, M. A., Dallag, M. M., Jama, A. A., "Automated Surveillance and Diagnostic Workflow for the Management of Water Production in Naturally-Fractured Carbonate Reservoirs". In SPE Annual Technical Conference and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, (2016).
- [10] GeoQuest, S., ECLIPSE reference manual. Schlumberger, Houston, Texas, (2014).