

بررسی ازدیاد برداشت نفت در مخزن نفتی «بی بی حکیمه» واقع در ایران

محمد دباغ یزدی*، حمید گلشنی*، ستار نامجو*، سعید صالحیان*

* کارشناسی مهندسی نفت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قوچان، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده:

استفاده صحیح از منابع نفتی کشور، به منظور افزایش طول عمر آنها و برخورداری نسل های آینده از این ذخایر خدادادی، ایجاب می کند تا با مدیریت صحیح این منابع آشنا شویم. از نکات قابل توجه در مدیریت مخازن، اتخاذ روش هایی برای حفظ و صیانت مخزن، بالابردن راندمان تولید و سعی بر نگه داشتن آن در حد مطلوب در طول زمان می باشد. از آن جا که بیشتر مخازن کشور در نیمه دوم عمر خود به سر می برند و هر چه از عمر مخزن می گذرد برداشت از آن دشوارتر می شود باید با روش های خاصی با توجه به شرایط مخزن، برداشت از آن را بهتر و بیشتر کرد، البته نباید فراموش کرد که در روش های ازدیاد برداشت باید از میان روش های مختلف بهترین آن را از لحاظ عملی و اقتصادی انتخاب کرد.

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۰۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۲۰

تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۰۱

واژگان کلیدی:

ازدیاد برداشت نفت

مخازن نفتی ایران

ماتریکس زمان

Investigating the increase in oil extraction in the ((Bibi Hakime)) oil reservoir located in Iran

Mohammad Dabagh Yazdi*, Hamid Golshani*, Sattar Namjoo*, Saeed Salehian*

* Bachelor of Petroleum Engineering, Islamic Azad University, Qochan branch, Iran

Abstract:

The correct use of the country's oil resources, in order to increase their lifespan and ensure that future generations enjoy these God-given reserves, requires us to learn about the proper management of these resources. One of the significant points in reservoir management is to adopt methods to preserve and maintain the reservoir, increase the production efficiency and try to keep it at the optimal level over time. Since most of the country's reservoirs are in the second half of their life, and as the life of the reservoir passes, it becomes more difficult to harvest it, so it should be harvested with special methods according to the conditions of the reservoir. better and more, of course, we should not forget that in the methods of increasing the harvest, the best one should be chosen from the various methods in terms of practicality and economy.

۱- مقدمه

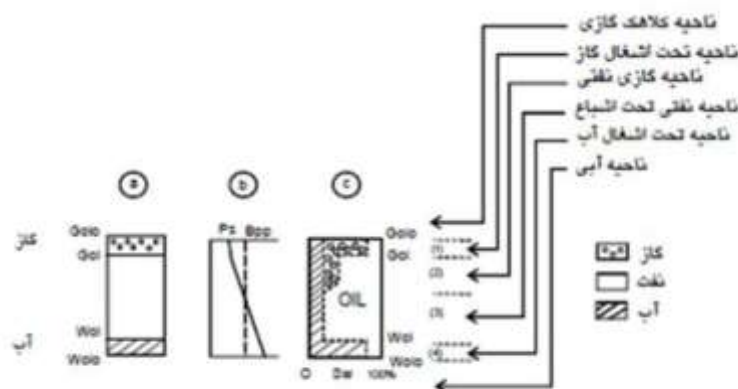
مهندسين مخازن غالباً سعی می کنند رفتار یک مخزن شکاف دار را با استفاده از گذشته و تخمین رفتار آینده آن بر اساس روش و رویکردها برای مخزن معمولی پیش بینی نمایند. اما متأسفانه نتایج حاصل از محاسبات مربوط به یک مخزن معمولی به ندرت با تاریخچه گذشته یک مخزن شکافدار مطابقت پیدا می کند. یک همخوانی و تطابق درست زمانی حاصل می شود که اطلاعات پایه به طور غیر واقعی تغییر داده شوند. بنابراین به عنوان یک مثال، یک همخوانی ممکن است به طور ساختگی با چندین برابر نمودن نفت در جای مخزن به دست آید. غیر ممکن بودن یک همخوانی درست نتیجه مستقیم روش های پیش بینی رفتار یک مخزن معمولی برای مخازن شکاف دار در فرآیند تولید است، زیرا در یک مخزن شکافدار توسعه بر اساس مشخصات ماتریکس شکاف می باشد. این تفاوت ها را می توان با مقایسه رفتار یک مخزن معمولی که مشخصات سنگ و سیال آن مشابه یک مخزن شکافدار بوده اما در سرتاسر مخزن شبکه ای از شکاف ها با مشخصات خیلی متفاوت به طور گسترده توسعه یافته است، درک نمود (Wu, 2017).

۲- توصیف مخزن در خلال تولید (تخلیه)

هرگاه در یک مخزن شبکه شکاف / ترک وجود نداشته باشد، به دلیل پائین بودن تراوایی مخزن تولید از آن عملاً با مشکل مواجه می گردد، اما با وجود شکاف ها به یک مخزن بسیار خوب تبدیل می شود. شکاف ها باعث جریان یافتن هیدروکربن ها از ماتریکس و تجمع آنها در چاه می شوند، سپس نفت ذخیره شده به سطح منتقل می گردد. در حالت کلی شبکه شکاف ها به چند دسته ی کلی تقسیم می شوند که هر ناحیه فقط با یک فاز اشباع شده است، در حالی که درون هر ناحیه ماتریکس ممکن است با یک، دو و حتی سه فاز اشباع شده باشند. قبل از اینکه از یک مخزن تولید شود در آن یک ناحیه بندی (زون بندی) وجود دارد (در حالت ساکن) و ناحیه بندی دیگری هم هنگام اکتشاف و تولید آزمایشی از مخزن (در حالت دینامیک) نتیجه خواهد شد. تبادل سیال بین ماتریکس - شکاف بستگی به موقعیت نسبی یک بلوک در مخزن و سطح تماس آب - نفت و گاز - نفت خواهد داشت (Liang, 2016).

۳- ناحیه بندی مخزن بر اساس فرایند تولید

در چهار ناحیه ای که هنگام تخلیه مخزن تشکیل می شوند (شکل ۱)، بدیهی است که وجود چهار فرآیند متفاوت، تولید عمدتاً ناشی از اختلاف بین اشباع سیال در ماتریکس و شکاف ها می باشد (Veluswamy, 2016). (شکل ۲)

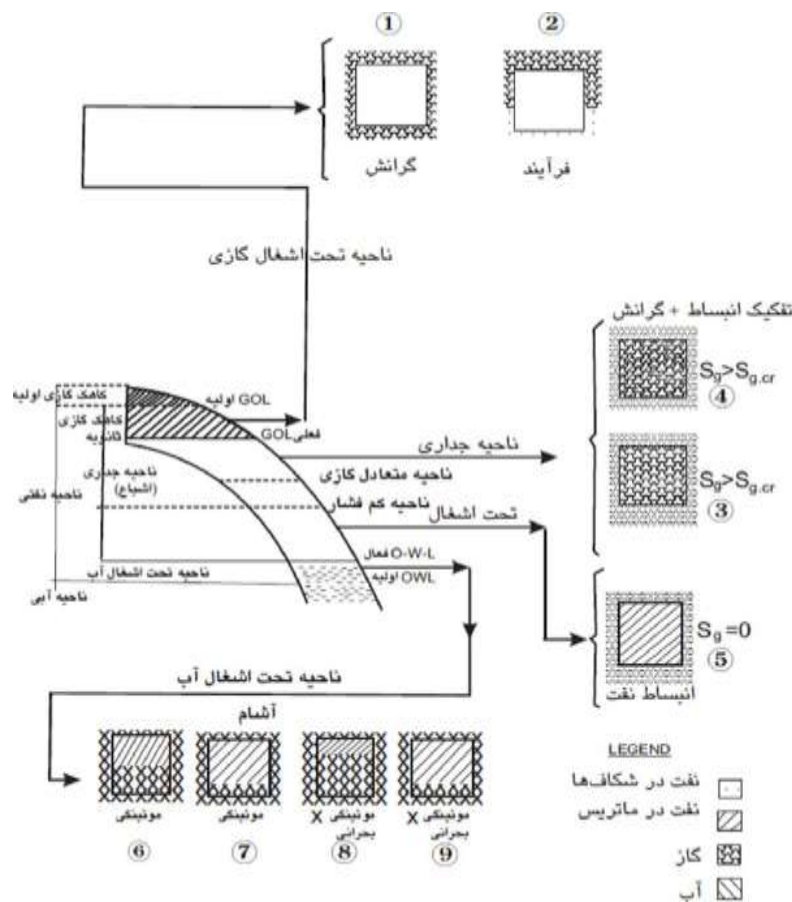


شکل ۱- نمایش نواحی در شرایط دینامیک: (a) توزیع سیال در سطوح تماس در شکاف ها؛

(b) فشار بر حسب عمق در مخزن و رابطه P_s بر حسب Bpp (c) توزیع اشباع در ماتریکس (Veluswamy, 2016)

در تفسیر گرادبان فشار، با ثبت پیوسته فشار در چاه های مشاهده ای در تولید دوره تولید از مخزن، نواحی با مکانیزم های تولید متفاوت می شوند. یک مدل ساده در شکل ۲، نشان داده شده که در آن شکل نواحی مختلف مخزن بر اساس رفتار یک بلوک مجزا بررسی شده است.

تاریخچه کاهش اشباع بلوک های ماتریکس را می توان با تغییر اشباع و ترشوندگی که بین ماتریکس و اطراف آن (شبکه شکاف ها) اتفاق می افتد بررسی نمود (Yan, 2017)



شکل ۲- نمایی از چهار ناحیه اصلی و فرآیند تولید در ۹ بلوک ارایه شده در موضوعات (Yan, 2017)

نواحی تولیدی و فرآیند آنها به صورت زیر می باشد:

- ناحیه تحت اشغال گاز: فرآیند جابجایی ریزش ثقلی

در ناحیه تحت اشغال گاز، بین GOL و GOLO (جایی که کلاهیگ گازی ثانویه در شبکه شکاف ها در حال تشکیل است) بلوک های ماتریکس به صورت جزئی و یا به طور کامل توسط گاز احاطه خواهند شد. (شکل ۲) اگر ماتریکس به صورت جزئی یا به طور کامل توسط گاز احاطه شود، رفتار متفاوتی را به خود خواهد گرفت. (بلوک های ۱ و ۲ در شکل ۲) اما فشار مویینه و ارتفاع بلوک هنوز هم مهم ترین پارامترهایی خواهند بود که ناحیه پسماند بلوک به آنها وابستگی دارد (Perrin, 2017)

ناحیه گازدار: انبساط گاز آزاد شده + شناوری + آشام + مکانیزم های همرفت

ناحیه گازدار (در قسمت بالایی) به وسیله GOL و Bpp محدود شده است. در ناحیه فرعی نتیجه اشباع بحرانی گاز بر اساس اشباع مؤثر آن در ماتریکس تشکیل می شود. اگر شرایط مخزن به گونه ای باشد که انبساط گاز آزاد شده مکانیزم رانش غالب باشد، بلوک ماتریکس در زیر ناحیه بالایی باید گاز بیشتری را نسبت به ناحیه فرعی پایینی در مدت زمان یکسان تولید کند. بنابراین احتمال بیشتری وجود دارد که در ناحیه اصلی بالایی (بلوک ۴) اشباع گاز به صورت $Sg > Sgc$ باشد، در حالی که در ناحیه فرعی پایینی (بلوک ۳) $Sg > Sgc$ خواهد بود. (شکل ۲) علاوه بر مکانیزم گاز آزاد شده (در بلوک ماتریکس درونی، سایر مکانیزم ها از جمله تفکیک گاز داخل بلوک ماتریکس و مبادله سیال بین ماتریکس و شکاف ها به وجود می آید. در واقع، گردش گاز آزاد شده در ترک های اشباع شده از نفت و همچنین تماس بین نفت سنگین تر ترک ها با نفت سبک تر باقی مانده در ماتریکس، فرآیندهای پیچیده تری تشکیل می دهد. همچنین مشاهده شده که در مورد توزیع غیر یکنواخت منافذ و سرعت افت فشار مخزن، پدیده فشار فوق اشباع اتفاق افتاده است. بنابراین در حالتی که فشار مخزن زیر فشار نقطه حباب باشد، گاز به صورت محلول باقی می ماند. جزئیات این مکانیزم در بخش بعد توضیح داده شده است (Wu, 2017).

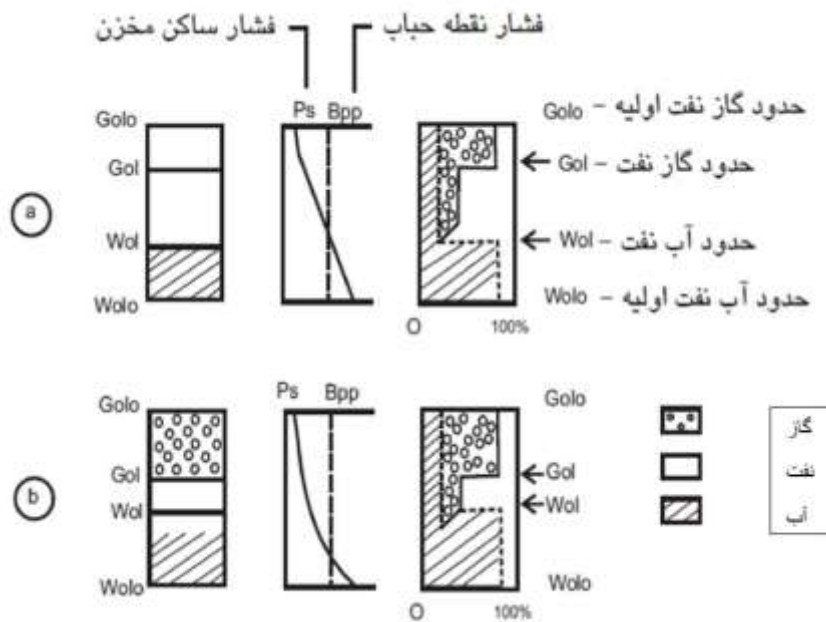
ناحیه زیر اشباع: مکانیزم رانش انبساطی ساده

این ناحیه بین Bpp و سطح WOL قرار گرفته و فقط حاوی نفت به صورت تک فاز و بدون گاز آزاد است. اختلاف فشار بین بلوک ماتریکس و فشار پائین ترک ها، انبساطی در سیستم سیال - سنگ ایجاد می کند که سیال را از منافذ به سمت شبکه شکاف می راند. اگر ابعاد بلوک کوچکتر باشد (بلوک ۵ شکل ۲) زمانی که دبی تولیدی افزایش می یابد، در صورتی که سرعت افت فشار و تراکم پذیری زیاد باشد، مکانیزم رانش انبساطی گسترده تر خواهد شد (Liang, 2016).

ناحیه تحت اشغال آب

ثقلی + مکانیزم های جابجایی آشام و مویینه در ناحیه بین سطح تماس آب و نفت فعلی WOC و سطح تماس آب و نفت اولیه WOLO بلوک های ماتریکس احاطه شده توسط شبکه شکاف ها اشباع شده از آب، طی فرآیند آشام مویینه و ثقلی نفت تولید می - کند. نفت حاصل از منافذ ماتریکس در نتیجه پیشرفت منافذ در محیط آبی در شکاف ها نسبت به سرعت پیشرفت سطح تماس آب - نفت در شکاف ها مشهودتر است.

در طرح بلوک های ۸، ۷، ۶ و ۹ در شکل ۳، سطح تماس آب و نفت در شکاف (سفره آب) با سرعت پیشروی جبهه ماتریکس مقایسه شده است. نفوذ سطح پیشرونده تماس آب و نفت در ترک و ماتریکس، بر میزان غلبه نیروهای مویینه و ثقلی و طی جابجایی آشام اثر می گذارد (Veluswamy, 2016).



شکل ۳- ناحیه بندی بعد از مرحله تخلیه (a) قبل و (b) بعد از تداخل ناحیه تحت اشغال کلاهک گازی با ناحیه تحت اشغال آب (Veluswamy, 2016)

مدل ساده شده سرعت بحرانی ماتریکس، مربوط به پیشروی معادل سطح تماس آب و نفت در ماتریکس و در شکافها (بلوک ۶ از شکل ۲)، اگر سرعت پیشروی سطح تماس آب و نفت در شکافها بیشتر از سرعت بحرانی در ماتریکس باشد، سرعت مطرح شده بالاتر از سرعت بحرانی خواهد (بلوک ۷ شکل ۲) و یا در صورتی که سطح تماس آب و نفت در شکافها کمتر باشد، سرعت بحرانی پایین تر خواهد بود. (بلوک ۸ شکل ۲)

در تمام موارد آشام آب توضیح داده شده در بالا مکانیزم تولید تابعی از نیروهای ثقلی و موئینه خواهد بود که اغلب در زمان جابجایی یکی از آنها بر دیگری غلبه می کند (Perrin, 2017).

بدون توضیح بیشتر جزئیات، در بلوک های ۶ و ۸ نیروهای غالبند، در حالی که در بلوک های ۷ و ۹ نیروهای موئینه به همراه نیروهای ثقلی عمل می کنند. اگر بلوک ها خیلی بلند باشند، همانند بلوک ۹، در فرایند آشام نیروهای ثقلی غلبه خواهند کرد. وجود همزمان تمام مکانیزم های ارایه شده یک حالت کلی را نمایان می سازد که در جدول ۱، به طور خلاصه آمده است. به سادگی می توان فرض کرد که این حالت در موردی که فقط قسمتی از یک مکانیزم تولید از یک مخزن در آن وجود داشته و قابل ساده سازی است. برای مثال در زمانی که فقط مکانیزم رانش آب و یا تنها مکانیزم انبساط گاز آزاد شده با مکانیزم تولید کلاهک گازی ترکیب شوند، پیش بینی تولید میدان اساساً ساده تر می شود (Yan, 2017).

جدول ۱- مکانیزم تولید (Yan, 2017)

اشباع					
ناحیه شکل ۱	ماتریکس	شبکه شکافدار	فرآیند رانش	شماره بلوک‌های ۱۱-۱۰	مشاهدات
اشغال گازی	نفت	گاز	ریزش رانشی	۱	$P < P_{BB}$
" "	"	گاز+نفت	" "	۲	$P < P_{BB}$
ناحیه جداری (۲)	نفت+گاز	نفت	انبساط گاز اشتقاقی	۴&۳	"
$Sg < Sga$	نفت+گاز	نفت	معمولی	۳	گاز ساکن
$Sg > Sga$	"	نفت		۴	گاز متحرک
تحت اشغال (۳)	نفت	نفت	انبساط تک فازی	۵	$P > P_{BB}$
اشغال آب (۴)	آب و نفت	آب و نفت	مویینی-آشام	۸	شکاف در سطح تماس آب و نفت پایین
				۶	بحران
			گراشی و آشام	۹، ۷	شکاف در سطح تماس آب و نفت بالای بحرانی

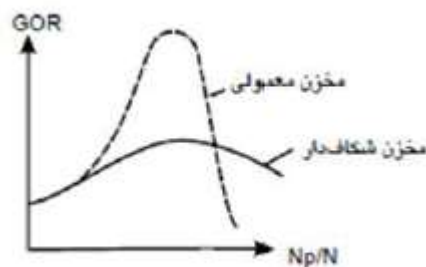
- وجود یک مکانیزم قوی رانش آب می‌تواند فشار مخزن را برای فشار اولیه مخزن نگه دارد و بدین صورت تمام مکانیزم‌های مرتبط با تخلیه فشار مخزن را کاهش می‌دهد. آنگاه بازیافت در میان نیروهای ثقلی و مویینه، تنها در اثر جابجایی آشام خواهد بود. این مربوط به مخازن GELA (ایتالیا)، AMPOSTA (اسپانیا)، NIDO (فیلیپین) است.

- اگر سفره آب محدود یا اصلاً نداشته باشد، تخلیه فشار مخزن رخ می‌دهد و نفت در نتیجه انبساط گاز آزاد شده از محل در ناحیه نفتی و ریزش ثقلی، در ناحیه تحت اشغال گاز تولید می‌شود. اگر شرایط مساعدی در ناحیه تحت اشغال گاز به وجود آید، جابجایی نفت در اثر جابجایی ریزش ثقلی اتفاق خواهد افتاد. مهمترین مشکلات در خلال جابجایی ریزشی مربوط به شرایطی است که نیروهای گراویتی با جابجایی نفت مخالفت می‌نمایند (Liang, 2016).

- اگر نفت تولید شده از بلوک‌ها در خلال جابجایی ریزشی در شبکه شکاف به سمت پائین حرکت کند، در صورتی که بلوک‌های ماتریکس پائین‌تر، از نفت تخلیه شده باشند، آشام مجدد در آن‌ها به وجود می‌آید و اگر گرادیان فشار در شبکه شکاف‌ها به اندازه کافی بزرگ باشد به گونه‌ای که بر اثرات تفکیک غلبه کند، نفت به سمت چاه حرکت خواهد کرد (Wu, 2017).

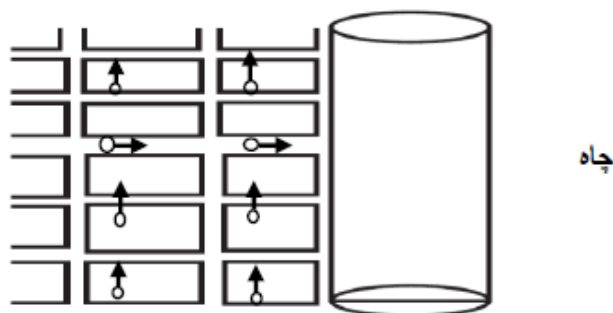
۴- برخی نتایج حاصل از اختلاف رفتار مخازن معمولی و شکافدار

- نسبت گاز به نفت GOR بر مبنای بازیافت نفت، در مخازن شکافدار اساساً کمتر از مخازن معمولی است. (شکل ۴)



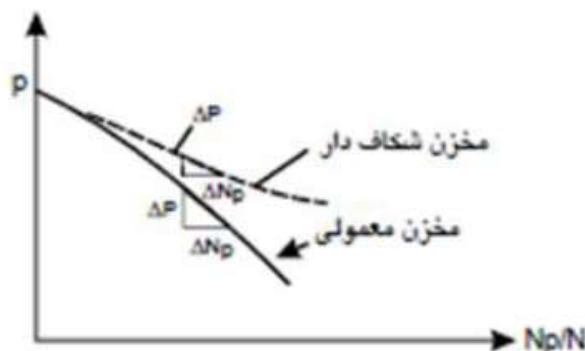
شکل ۴- مقایسه GOR بر حسب بازیافت در یک مخزن معمولی و شکافدار (Chou, 2017)

این رفتار ناشی از وجود گاز آزاد شده‌ای است که به جای جریان به سمت چاه به سرعت از میان شکاف‌ها به سمت بالای مخزن حرکت می‌نماید. (شکل ۵) تفکیک گاز هنگام جریان سیال به طرف چاه امکان پذیر است زیرا افت فشار در شبکه شکاف‌ها عموماً ناچیز است. در نتیجه شیب فشارهایی که حرکت سیال را به سمت چاه پوشش می‌دهند کمتر از شیب چگالی ناحیه پیرامون چاه می‌باشند.



شکل ۵- تمایل گاز برای حرکت به سمت بالای مخزن از طریق شکاف‌ها (Chou, 2017)

- سرعت افت فشار بر واحد حجم نفت تولیدی در یک مخزن شکافدار غالباً پایین است. (شکل ۶) چنین رفتار بهبود یافته‌ای در یک مخزن معمولی تنها زمانی تحقق می‌یابد که مقدار زیادی از گاز تولید شده مجدداً به مخزن تزریق گردد. مقایسه دو مخزن شکافدار و معمولی نشان می‌دهد اگر ۸۰٪ گاز تولید شده مجدداً به مخزن تزریق شود، مخزن معمولی ممکن است رفتاری مشابه مخزن شکافدار از خود نشان دهد. تحقق چنین رفتار بهبود یافته‌ای در یک مخزن شکافدار نتیجه نوع جدیدی از مکانیزم‌های تولید است که در مخزن با تخلخل دوگانه رخ می‌دهد. در این مکانیزم‌ها از تفکیک و جابجایی سیال شکاف‌ها از طریق ماتریکس حاصل از تغذیه، ریزش ثقلی، آشام و انبساط سیال استفاده می‌شود (Chou, 2017)



شکل ۶- افت فشار مخزن بر حسب واحد حجم نفت تولیدی ... مخزن معمولی و شکافدار (Perrin, 2017)

عدم وجود ناحیه گذرا در یک مخزن شکافدار نشان دهنده یکی از خواص ویژه این نوع مخزن است. در حقیقت دو فاز آب - نفت و گاز - نفت در یک مخزن شکافدار توسط سطوح از همدیگر جدا شده در حالی که در یک مخزن معمولی فازها به وسیله نواحی گذرا از هم جدا می گردند. (شکل ۷) در مخزن شکافدار محل تماس فازها در حالت های استاتیک و دینامیک به صورت افقی است زیرا سرعت عبور سیال در شکافها به دلیل تراوایی زیاد خیلی بالاست و هرگونه تغییری در سطوح سیالات به سرعت تعدیل خواهد شد. برعکس در یک مخزن معمولی ناحیه گذرا ممکن است در حالت های استاتیک و دینامیک وسیع باشد (Perrin, 2017)



شکل ۷- نمایی از سطوح آب - نفت و گاز - نفت در مخازن معمولی و شکافدار (Perrin, 2017)

- تولید آب آزاد و نفت در یک مخزن شکافدار اساساً تابعی از میزان حجم تولیدی است در حالی که در یک مخزن معمولی این عمل بستگی به خواص سنگ مخزن، تغییرات و پراکندگی (PVT) و دبی تولیدی دارد. بنابراین رفتار تولیدی یک مخزن شکافدار با یک مخزن ماسه سنگی معمولی متفاوت است (Veluswamy, 2016)

نتیجه گیری

نتایج حاصله نشان می‌دهند که در مخازن شکاف‌دار مکانیزم‌های ریزش ثقلی و جابجایی ویسکوز غالب ترین نیروهای رانش نفت هستند. مکانیزم‌های آشام و مویینه و انتشار در رتبه های بعد قرار می‌گیرند. البته تأثیر مکانیزم انتشار به هیچ وجه قابل مقایسه با دیگر مکانیزم‌ها نیست. با افزایش اختلاف ارتفاع سطوح تماس نفت - گاز در شکاف و ماتریکس، نیروی ثقلی نسبت به نیروی مویینگی پیشی می‌گیرد. در نتیجه، مکانیزم ریزش ثقلی فعال می‌شود و نفت را از ماتریکس خارج می‌کند. در سیستم‌های نفت - گاز، فاز تر کننده نفت است و تمایل دارد به داخل ماتریکس کشیده شود. بنابراین زمانی که ماتریکس به طور کامل توسط شکاف-های پر شده با گاز احاطه شده باشد، هیچ تولید نفتی از بلوک‌های ماتریکس توسط این مکانیزم صورت نخواهد گرفت. بنابراین، اقتصادی‌ترین و معمول‌ترین روش بازیافت نفت ماتریکس توسط مکانیزم آشام مویینه، روش تزریق آب است.

منابع

- 1) Wu, M., Wang, S., & Liu, H. (2017). A study on inhibitors for the prevention of hydrate formation in gas transmission pipeline. *Journal of Natural Gas Chemistry*, 16 (1), 81-85.
- 2) Veluswamy, H. P., Kumar, R., & Linga, P. (2016). Hydrogen storage in clathrate hydrates: Current state of the art and future directions. *Applied Energy*, 122, 112-132.
- 3) Liang, S., & Kusalik, P. G. (2016). Nucleation of gas hydrates within constant energy systems. *The Journal of Physical Chemistry B*, 117 (5), 1403-1410.
- 4) Yan, K. L., Sun, C. Y., Chen, J., Chen, L. T., Shen, D. J., Liu, B., ... & Chen, G. J. (2017). Flow characteristic and rheological properties of natural gas hydrate slurry in the presence of anti - agglomerant in a flow loop apparatus. *Chemical Engineering Science*, 106, 99-108.
- 5) Perrin, A., Musa, O. M., & Steed, J. W. (2017). The chemistry of low dosage clathrate hydrate inhibitors. *Chemical Society Reviews*, 42(5), 1996-2015.
- 6) Chou, I. M., Seal, R. R., & Wang, A. (2017). The stability of sulfate and hydrate sulfate minerals near