

و اعمال عدم قطعیت‌های ارزیابی مخازن در محیط‌های اکتشافی به‌ویژه در آب‌های عمیق نیست.

جایگزینی آزمایش Production/Build up با آزمایش Water injection/Fall off مشکل آلودگی محیط را حل خواهد کرد اما از طرفی دیگر این تکنولوژی آزمایش چاه‌ها را با مشکلات زیادی به شرح زیر روبه‌رو خواهد کرد:

- مشخصات سیستم مخزن تغییر می‌کند زیرا به جای جریان تک‌فازی، در این حالت با جریان ۲ فازی آب-نفت و تراوایی‌های نسبی (Relative Permeabilities) آنها مواجه خواهیم شد.

- تزریق آب سرد درجه حرارت مخزن را تغییر داده و مشکلات زیادی برای رفتار فشاری مخزن و در نتیجه ویسکوزیته نفت و آب به وجود می‌آورد.

- در صورت عدم توجه به مکانیک سنگ مخزن و مقدار سیال تزریقی، تزریق آب احتمال ایجاد شکاف (Fracture) و وارد شدن خسارت به سازند را بالای می‌برد.

بنابراین برای انجام یک آزمایش موفق و تفسیر آن و جلوگیری از خسارت دیدن مخزن، تزریق آب در زیر فشار شکاف سازند، کاملاً ضروری به نظر می‌رسد.

رفتار فشار گذرا در طول آزمایش Water inj./Fall off به کرات توسط صاحب نظران مهندسی نفت مورد مطالعه قرار گرفته و بیشتر تلاش‌ها بر مخازن همگن و جریان شعاعی (Radial Flow) متمرکز شده است و بیشتر چشم‌اندازها به سوی حل با روش محاسبات عددی بوده است. بنابراین راه‌حل جدیدی برای توسعه روش تحلیلی (Analytical Method) که

این مشکلات می‌توان به غیرخطی شدن فشار گذرا (Pressure Transient) و منع استفاده از تکنیک‌های مرسوم برای پیدا کردن راه‌حل محاسبه فشار با توجه به مقادیر مختلف تولید اشاره کرد. لازم به ذکر است مشکل فشار گذرای ایجاد شده برای جریان‌های دوفازی هنگام آزمایش Water inj./Fall off توسط روش‌های تحلیلی قابل دفع است.

آزمایشات Water inj./Fall off معمولاً هنگام انجام پروژه‌های تزریق آب صورت می‌پذیرد. اخیراً علاقه‌مندی به این نوع آزمایشات چاه‌ها، استفاده از آن در فاز ارزیابی مخازن فراهم شده است. در اغلب فعالیت‌های اکتشافی، تسهیلات فراساختاری و تجهیزات درجا برای جمع‌آوری و ارسال هیدروکربورهای تولیدی در زمان آزمایش چاه‌ها وجود ندارد و تجربه صنعتی نشان می‌دهد هیدروکربور سوزانده می‌شود. از طرف دیگر تقاضای کاهش انتشار آلودگی هنگام آزمایش چاه‌ها، تلاش فراوانی را برای جلوگیری از آزمایشات یک‌جای طلبد که عدم قطعیت‌های زیادی را در ارزیابی مخازن و افزایش خطر سرمایه‌گذاری هنگام توسعه یک میدان، به وجود می‌آورد.

در اکثر موارد، حفاری چاه‌های اضافی برای کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، پیش شرط مناسبی در مقایسه با هزینه‌های سرسام‌آور حفر چاه

کاربرد آزمایشات Water Injection / Fall off در چاه‌های توصیفی به جای Draw Down / Build up

عباس آذرکیش - کارشناس مخازن
مدیریت برنامه‌ریزی تلفیقی شرکت نفت

۱. مقدمه

رقابت برای حذف و یا کاهش آلودگی‌های عملیات آزمایش چاه‌ها به هنگام انجام فاز ارزیابی و توصیف مخازن، استفاده از آزمایش Water injection/Fall off، علاقه‌مندی شدیدی در بین مهندسين نفت پدیده آورده است.

تزریق آب و ایجاد محیط دوفازی در مخزن، باعث کاهش درجه حرارت مخزن هنگام عملیات تست چاه‌ها شده و مشکلاتی را به وجود می‌آورد. از جمله

حل مشکل مقدار ریت‌های متفاوت به وسیله چندین صاحب‌نظر آرایه و پیشنهاد شده است. این راه‌حل بر اساس ترکیبی از راه‌حل Superposition و یک تقریب شبه‌ایستا (Quasi-Stationary) برای مشکل حد مرز متحرک می‌باشد. از طرف دیگر اعمال روش حل تقریبی نه ساده است و نه منجر به یک الگوریتم محاسباتی ساده و سریع خواهد شد. ارزیابی مخازن معمولاً ترتیب خاصی از آزمایشات را می‌طلبد که شامل پیوندهای متوالی تزریق و نزول است. تفسیر این‌گونه رفتارهای فشاری گذرا برای مراحل آزمایش چاه‌ها نیازمند روش‌های محاسباتی تحلیلی جریان دوفازی تزریق به همراه یک شکل کلی از تغییرات میزان تزریق می‌باشد.

در این روش با اتکاب به فرضیات Buckley-leverett در فرایند جابه‌جایی آب - نفت Pressure Transient Solution برای تزریق آب در مخازن نفتی (محیط دوفازی) با پیوندهای مختلفی از میزان تولید و تزریق در نظر گرفته شده است. این روش برای تزریق آب در کلیه مخازن که توسط تراوایی نسبی و جابه‌جایی Piston-like کنترل می‌شود قابل استفاده است.

۲- عملکرد رفتار فشار:

در بررسی‌های تست چاه‌ها، درک خصوصیات واقعی رفتار فشار گذرا (Pressure Transient) بهترین وسیله برای تفسیر نمودار مشتق فشار است. عموماً نمودار مشتق فشار، ۲ مشخصه کلی از رفتار فشار در طول پیوند جریان تک‌فازی را نشان می‌دهد.

- ۱- تغییرات فشار (ΔP) از ابتدای مرحله تولید و جریان یافتن سیال
- ۲- مشتق فشار با در نظر گرفتن زمان

Superposition

Horne, Bratvold این توانایی را پیدا کردند این محدودیت را از بین برده (توزیع اشباع ثابت تدریجی) و با توسعه یک راه‌حل تحلیلی (Analytical) برای مشکل تزریق بانرخ ثابت، تغییرات اشباع متصل را برای منطقه Water-invaded امکان پذیر سازند.

اندازه منطقه Water-invaded در طول مدت زمان تزریق با زمان افزایش می‌یابد همچنین اشباع آب و توزیع تحرک پذیری سیال (Fluid Mobility) نیز در این ناحیه با زمان تغییر می‌کند. جدا از این مسایل، این خصوصیات وابسته به زمان، شخص را در استفاده روش Superposition برای یافتن راه‌حل مشکلات تزریق با ریت‌های متفاوت از روی راه‌حل‌های تزریق باریت‌های ثابت را محدود می‌کنند و مطابق روشی است که برای حالت جریان تک‌فازی انجام می‌پذیرد.

آزمایشات عددی نشان می‌دهد که پروفایل اشباع و تحرک پذیری (mobility) طی فرایند Pressure Fall off تغییر چندانی نخواهند کرد. در این حالت راه‌حل برای فشار فرایند Fall off به وسیله حل معادله Pressure Diffusivity برای یک مدل ناهمگن Hetrogeneous به دست می‌آید که به وسیله توزیع ضریب Storativity و Mobility که در پایان پیشروی دوره زمانی تزریق، توسعه یافته است تعریف می‌شود.

شرایط اولیه برای مشکل Fall off، توزیع فشار مخزن در پایان توسعه پیشروی دوره تزریق است. عباس‌زاده و کمال از این خط‌مشی در جهت حل مشکل فشار Fall off استفاده نموده‌اند اما بسط این خط‌مشی در این حالت از تغییرات مقدار ریت‌های کلی، مشکل است. به همین خاطر یک راه‌حل تقریبی برای

اساس آن معادلات جریان ساده شده با کنترل رفتار فشار گذرا می‌باشد، در برنامه مطالعه قرار می‌گیرد. در یکی از چندین مطالعات انجام شده توسط (Verigin) جریان دوفازی طی تزریق آب به عنوان یک سیستم با دویانک سیال عمل کرده به طوری که آب تزریقی، سیال سازند را به صورت یک پیستون جابه‌جا می‌کند (این مدل بعد از مدتی به عنوان فشار Fall off عمل می‌کند).

این مدل با دویانک سیال، ممکن است به عنوان یک تقریب منطقی از شرایط جریان برای نسبت تحرک پذیری (Mobility Ratio) خیلی مطلوب، وقتی تحرک پذیری آب تزریقی (Water Mobility) خیلی کمتر از تحرک پذیری سیال مخزن (Fluid Mobility) است عمل کند.

لازم به ذکر است که مدل دویانکی، تغییرات اشباع در ناحیه Water-invaded را در نظر نمی‌گیرد. محاسبات آزمایشگاهی عددی، نشان می‌دهد تغییرات اشباع که در طی تزریق آب توسعه پیدامی‌کند، اثر مهمی بر رفتار فشار گذرا ندارد. همچنین تشخیص داده شده است که مدل Buckley-Leverett در فرایند جابه‌جایی آب - نفت تخمین دقیقی از توزیع اشباع آب، در ناحیه Water-invaded فراهم می‌سازد. عباس‌زاده و کمال با در نظر گرفتن تغییرات اشباع آب در منطقه Water-invaded، تبدیل مدل دویانکی به مدل چند بانکی را توسعه داده‌اند.

در یک مدل چند بانکی منطقه مورد تجاوز (invaded region) به چندین بانک تقسیم شده که مقدار اشباع آب در هر بانک ثابت در نظر گرفته و پروفایل اشباع آب به عنوان یک تابع ثابت تدریجی تخمین زده می‌شود.

اصطلاح Self-Similar Regime نامیده می‌شود. اگر پریود تزریق به اندازه کافی طولانی باشد معمولاً در انتهای زمان به این مرحله سوق پیدامی‌کند.

Self-Similar Regime که در طی پریود تزریق ثابت صورت می‌گیرد بلافاصله بعد از شروع مرحله تزریق تشکیل نمی‌شود بلکه کمی بعد از تغییر مقدار تولید جدید، تشکیل می‌گردد.

در ابتدای تزریق آب

وقتی که هیچ بانک آبی وجود ندارد و یا منطقه آبی کوچک است، فشار گذرا معمولاً به منطقه نفتی رفته و Water Front را نشان می‌دهد، به این دلیل که زمان اولیه از نمودار مشتق فشار برای هردو پریود در نمودار بالا Mobility در ناحیه نفت را نشان می‌دهد. در ابتدای تزریق پریود شماره ۱، منطقه آب

وجود ندارد و پریود گذرا بسیار کوتاه است. در آغاز پریود تزریق شماره ۲ بانک کوچکی از آب موجود و زمان گذرا برای تثبیت در Self-Similar Regime این حالت طولانی‌تر خواهد بود.

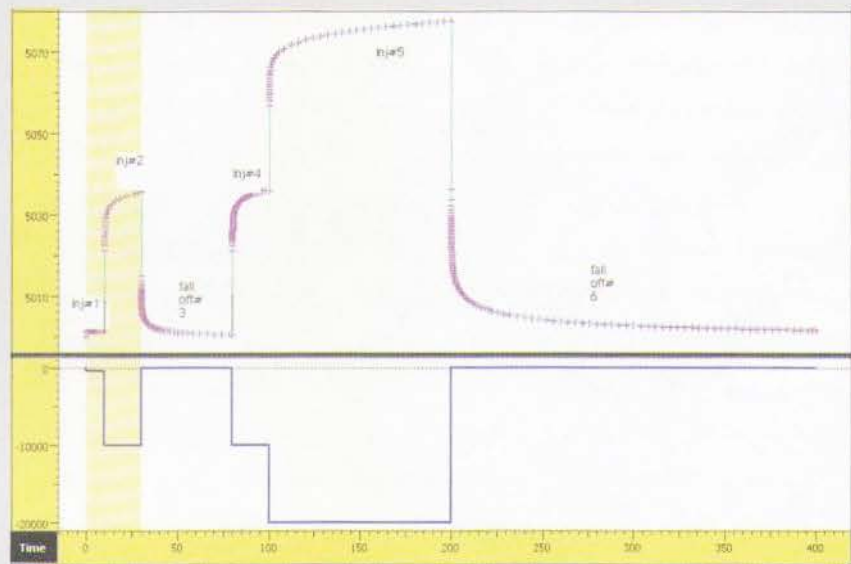
در شکل (۳) همان‌طور که مشاهده می‌کنید مقایسه بین پریودهای ۲ و ۵ تزریقی نشان می‌دهد اندازه رژیم آب در آغاز پریود

۳- رفتار فشار تزریق

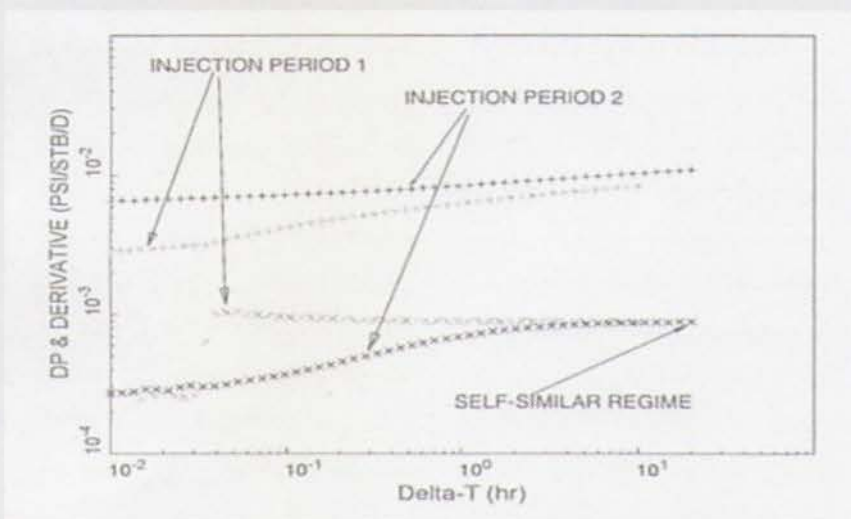
(Injection Pressure Behaviour): شکل (۲) نمودارهای مشتق فشار را برای ۲ پریود تزریق متوالی ۱ و ۲ و Mobility Ratio برابر با ۰/۳ نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود نمودار مشتق برای این ۲ پریود تزریقی خیلی متفاوت است. ولی نهایتاً هردو نمودار در انتها به خط افقی یکسانی نزدیک می‌شوند که در

هردوی این مشخصات به عنوان تابعی از زمان بر روی نمودارهای log-log رسم می‌شود. زمان Superposition یک شکل از زمان تغییر شکل یافته می‌باشد که به طور دقیق توسط توالی جریان چاه تعریف می‌شود. امکان تفسیر نمودار مشتق فشار با یک میزان ثابت از تزریق آب و یا تولید نفت امکان پذیر نیست بلکه جریان‌های متفاوت تولیدی و مقدار تزریق‌های متفاوت مورد نیاز است. (شکل ۱)



شکل ۱- توالی جریان در این مثال شامل ۴ پریود Injection (۱ و ۲ و ۳ و ۴) و ۲ پریود Fall off (۳ و ۴) است. توده سیال تزریقی در این مراحل جریان مابین پریودهای تزریقی ۳ و ۴ و ۵ و بین دو پریود فشاری Fall off ۳ و ۴ رخ می‌دهد (Mobility Ratio 0.3 می‌باشد).



شکل ۲- پریود تزریق متوالی ۱ و ۲ (Mobility Ratio برابر با 0.3 می‌باشد).

۲۸
شماره ۲۵ - شهریور ۱۳۸۴

در زمان آغازین، رفتار فشار چاه، Mobility سیال در منطقه آب نزدیک چاه و در زمان انتهایی، Mobility سیال در منطقه نفت Buckley Leverett Front را نشان می دهد.

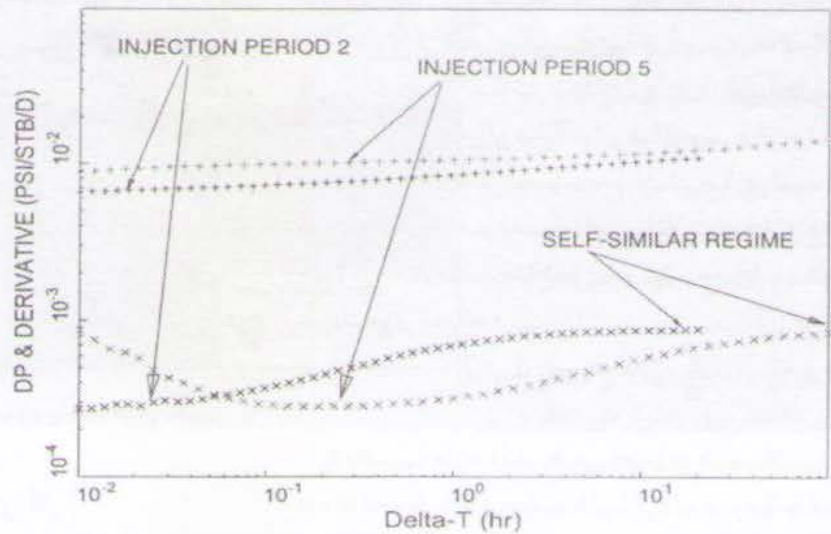
همان طور که در شکل ۴ می بینید زمان انتقال گذرا از ابتدا تا انتها بستگی به اندازه منطقه آب دارد. هرچه منطقه آبی بزرگتر باشد مرحله انتقال گذرا دیرتر اتفاق می افتد. ■

۴- رفتار فشار نزول (Fall off Pressure Behaviour)

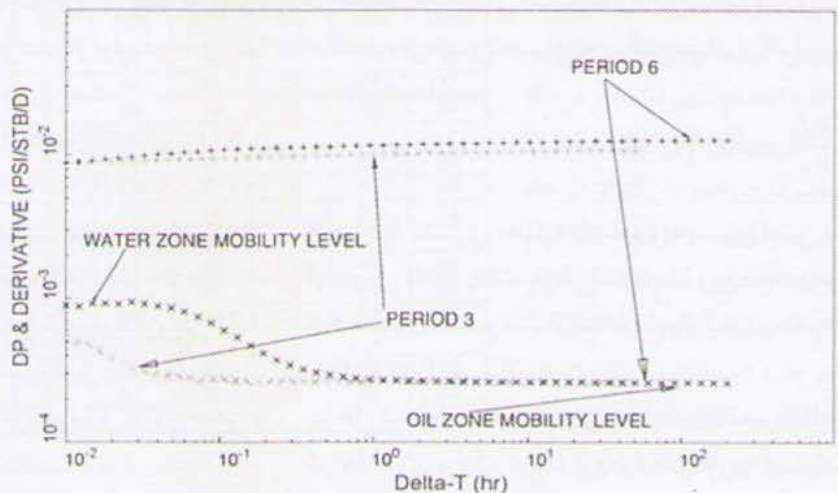
رفتار فشار در طول پرپود نزول Fall off که بعد از توقف تزریق آب صورت می گیرد نشان می دهد که با توقف تزریق آب، Water Front ایستاشده و تغییرات اشباع در مخزن صورت نمی پذیرد. در نتیجه رفتار فشار در طی پرپود نزول Fall off بیانگر توزیع mobility سیال است که هنگام شروع پرپود نزول توسعه یافته است.

تزریقی ۵ به اندازه کافی بزرگ است که کاهش در رفتار مشتق فشار در ابتدای زمان تزریق را سبب می شود. اندازه بزرگ منطقه آب در طی پرپود شماره ۵ تزریق، به دو طریق بر روی رفتار فشار اثر می گذارد:

- ۱- کاهش در شکل نمودار مشتق فشار در ابتدای تزریق
- ۲- به تاخیر انداختن آغاز Self-Similar Regime در مقایسه با پرپود تزریقی شماره ۲



شکل ۳- پرپود تزریق متوالی ۲ و ۵ (Mobility Ratio برابر با ۰.۳ می باشد).



شکل ۴- پرپود متوالی ۲ و ۵ برای فشار Fall off

منابع:

1. Olivier P. Houze, "Why We Should Stop Using Pseudopressures and Other Good Well Test Interpretation Tools After So Many Years of Good Service", SPE 77619, KAPPA.
2. J.P. Spivey, Softsearch, and W.J. Lee, Texas A & MU: "A Comparison of the Use of Pseudotime and Normalized Tie for Gas Well Build up analysis in Various Geometry", SPE 15580.
3. Ram G., Member SPE- AIME, Amoco Production Co., "Real Gas Pseudo-Time- A New Function Analysis Of MHF Gas Wells", SPE 8279.
4. Rajagopal Raghavan, SPE, Phillips Petroleum Company, and Jack R. Jones, SPE, Amoco Production Company, "Depletion Performance of Gas - Condensate Reservoirs", SPE 36352.
5. R. Raghavan, SPE, Phillips Petroleum Company, Wei Chun Chu, SPE, Marathan Oil Company and J.R. Jones, SPE, BP- Amoco, "Practical Considerations in the Analysis of Gas-Condensate Well Tests", SPE 56837.

شماره ۲۵ - شهریور ۱۳۸۲