Archive of SID

مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
۷ خرداد ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا ۸۸۶۷۱۶۷۶ – ۰۲۱
www.Reservoir.ir

استفاده از فیزیک آماری در صنعت نفت با کاربرد و بهینه سازی تئوری پرکولاسیون در پیش بینی زمان میان‌گذر[1]

۱- مرتضی شگفت فرد*، فوق لیسانس مهندسی مخازن، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب
m.shegeftfard@gmail.com

۲- محمود خردو، فوق لیسانس مهندسی مخازن، شرکت نفت فلات قاره
m.khordoo@yahoo.com

۳- سیدمحمد زمانزاده، دکترای زمین شناسی، جهاد دانشگاهی شهید بهشتی
sm.zamanzadeh@gmail.com

چکیده:

تئوری پرکولاسیون یک روش جدید بر مبنای ریاضی عمومی است که در تخمین و پیش بینی پارامترهای مخزنی کاربرد دارد. مزیت این روش بیشتر زمانی است که مخزن در اوایل دوره تولیدی خود است؛ به عبارتی دیگر داده‌های مخزن محدود می‌باشد. در این صورت می‌توان پارامترهای مخزنی همچون تراوایی مؤثر، زمان میان گذر و رفتار تولیدی بعد از زمان میان‌گذر را تخمین زد. در این مقاله، از رابطه ریاضی مربوط به تخمین زمان نفوذ سیالات تزریقی به درون چاه تولیدی -برگرفته از تئوری پرکولاسیون- استفاده شده و پارامترها و ضرائب این رابطه جهت کاربرد بیشتر این تئوری در میادین ایران، تغییر و بهینه گردید. هدف اصلی این است که نشان داده شود هنگام استفاده از روش پرکولاسیون در یک مدل واقعی، نتایجی همانند نتایج متعارف و وقت‌گیر شبیه‌سازی، اما به شیوه‌ای بسیار سریع‌تر قابل دستیابی است. در نتیجه، از این گونه روش‌های مبتنی بر تخمین سریع ریسک، می‌توان در شرایط مهندسی عملی و کاربردی برای کمک به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی میدانی همچون پروژه‌های حفاری و تعیین موقعیت چاه با توجه به زمان میان گذر تخمین زده شده از این روش استفاده کرد.

واژگان کلیدی:

زمان میان‌گذر، ماسه سنگ[2]، نسبت خالص به ناخالص[3]، شبیه سازی، تئوری پرکولاسیون

1. Breakthrough Time
2. Sandbody
3. Net to Gross (NTG)

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

در فیزیک آماری روش‌های کاربردی و عملی متعددی وجود دارند که در صنعت نفت مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، ایده‌های نرمال‌سازی مجدد[1] فضای واقعی برای به دست آوردن پارامترهای جریان در مقیاس بزرگ که توصیف زمین شناسی جامعی از مخزن نفتی را ارائه می‌کنند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین مفاهیمی چون مدل‌های پاتز[2] برای نشان دادن ساختار دقیق زمین شناسی موجود در مخازن و یا شناخت تشکیل اُلگو در مواد دانه‌ای[3] برای درک فرایندهای زمین شناسی، دینامیک غیرخطی رشته‌های حفاری به منظور کاهش هزینه‌های حفاری و در نهایت، گداخت[4] شبیه سازی شده به منظور بهینه سازی تصمیمات تجاری که موجب افزایش صدها میلیون دلار به ارزش پروژه‌ها می‌گردند، از جمله مواردی است که بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲]. کاربردهای بسیار متعددی در این زمینه وجود دارند که بحث کامل در مورد آنها در این مقاله نمی‌گنجد. در اینجا، بر روی مسئله پیش‌بینی عدم قطعیت در بازیافت با توجه به بی نظمی موجود در مخازن نفتی بحث می‌کنیم.

متداول ترین روش بازیافت نفت، از طریق جابجائی است. آب یا یک گاز امتزاج پذیر به درون چاه تزریق می‌گردد تا نفت را به چاه‌های تولیدی براند. نهایتاً سیال تزریق شده، در چاه‌های تولیدی نفوذ کرده و با تولید هر چه بیشتر سیال تزریقی، میزان نفتی که می‌توان تولید کرد را کاهش می‌دهد. به دلیل ملاحظات فنی و اقتصادی، دانستن اینکه چه زمانی سیال تزریقی نفوذ خواهد کرد و اینکه نرخ کاهش تولید نفت چه مقدار خواهد بود، از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مقاله، با بهره گیری از فیزیک آماری و تئوری پرکولاسیون، بر روی تخمین زمان میان گذر متمرکز شده و فقط یک جفت چاه تزریقی و تولیدی که با فاصله ثابت "r" جدا شده‌اند مورد توجه و بررسی قرار می‌گیرد و با ایجاد حالات مختلف از این جفت چاه در موقعیت‌های مکانی گوناگون در مخزن، احتمال زمان میان‌گذر برای مخزن مورد مطالعه نشان داده می‌شود.

مخازن هیدروکربوری به علت فرایندهای رسوبی بسیار پیچیده که در طول میلیون‌ها سال رخ می‌دهد بسیار ناهمگون هستند. ناهمگونی‌ها[5] در مخازن هیدروکربوری ممکن است در تمام مقیاس‌ها از میکرون تا کیلومتر دیده شود. بنابراین عدم قطعیت[6] بسیار زیادی در توزیع فضایی خواص و همین‌طور در توزیع هندسی ناهمگونی‌ها وجود

1. Space Renormalization
2. Potts
3. Granular
4. Annealing
5. Heterogeneities
6. Uncertainty

www.SID.ir

Archive of SID

خواهد داشت که می‌تواند به طور موثر بر پیش بینی رفتار جریان سیال تأثیر گذار بوده و روی پارامترهای مرتبط با مخزن تاثیر بگذارند. تشخیص صحیح اثر عدم قطعیت‌های زمین شناسی برکارایی مخزن می‌تواند منجر به یک روشی در تخمین سریع ریسک قابل استفاده در تصمیم گیری‌های مدیریتی شده که امروزه این بخش از حوزه‌های فعال تحقیقاتی است که در این راستا می‌تواند در مورد تجزیه و تحلیل اثرات عدم قطعیت در توزیع فضایی ناهمگونی‌های موجود (مثلاً واحدهای جریانی) بر بازیافت بالقوه نفت، راندمان جاروبی، زمان گذر و رفتار مخزن بعد از زمان گذر[1] در چاه‌های تولیدی و یا بین دو وضعیت چاه تولیدی و تزریقی و هم چنین تصمیم گیری در خصوص حفاری میان چاهی[2] باشد [۲]. روش متعارف در بررسی و ارزیابی تأثیر عدم قطعیت‌های زمین شناسی بر بازدهی آینده مخزن، ساخت مدل زمین شناسی همراه با جزئیات مخزن با به کارگیری کلیه اطلاعات زمین شناسی و ژئوفیزیکی در دسترس، افزایش مقیاس[3] و سپس شبیه سازی جریان سیال در مخزن می‌باشد. به منظور دستیابی به پیش بینی قابل اعتماد از پارامترهای بازدهی مخزن و یا برای اهداف حساسیت سنجی نسبت به پارامترهای مخزنی، لازم است مدل‌های زمین شناسی مخزن ساخته شده و سپس شبیه سازی جریان سیال برای هر مدل جداگانه اجرا گردد که این فرایند معمولاً بسیار طولانی مدت و مستلزم هزینه بسیار زیادی است. بنابراین انگیزه بسیار بالایی به خصوص برای اهداف مهندسی در ارائه روش‌های بسیار ساده‌تر، بر مبنای فیزیک حاکم بر حرکت سیال در محیط متخلخل، به منظور تخمین و ارزیابی سریع بازدهی مخزن وجود دارد. در هرحال مشخصه سازی و ارزیابی مخزن خصوصاً در طول مدت مراحل اولیه توسعه مخزن به علت کمبود شدید اطلاعات، بسیار نامطمئن و با عدم قطعیت زیادی همراه است. درحالی که شبیه سازی موفق مخازن هیدروکربوری نیازمند جمع آوری کلیه داده‌های موجود از هر جنس و اندازه است؛ معمولاً اندازه‌گیری‌های مستقیم از خواص جریان مخزن معدود هستند. از روش‌های مستقیم اندازه‌گیری خواص سنگ مخزن، استفاده از مغزه‌ها است. به طور مثال در آزمایشات مغزه می‌توان تراوایی را مستقیماً اندازه‌گیری کرد اما مقدار بدست آمده، نماینگر حجم بسیار کوچکی در حدود 10^{-13} از حجم یک مخزن است. این اطلاعات محدود یک بُعدیِ استخراج شده همچنین می‌بایست به منظور کاربردی شدن در ابعاد بالاتر با روش‌های مناسب برون‌یابی گردد. اطلاعات استخراجی از سایر روش‌ها مانند روش‌های لرزه نگاری، نمودارگیری چاه و چاه آزمایی مقادیر عددی وسیع‌تری را ارائه می‌کنند و نمایانگر حجم بیشتری (10^{-4} تا 10^{-7} از حجم یک مخزن) بوده ولی نتایج حاصله به منظور دسترسی به خواص جریان سیال، احتیاج به تفسیر و تشریح دارند؛ از طرفی خود جریان سیال در مقیاس اندازه حفرات (که در حدود 10^{-21} جزء از حجم یک مخزن است) اتفاق می‌اُفتد. نتیجه این امر، مقدار زیادی عدم قطعیت در توزیع فضایی و خواص هندسی ناهمگونی‌ها بوده که می‌تواند به طور موثر بر رفتار جریان اثر گذار بوده و همچنین بر پارامترهای مرتبط با کارایی مخزن تاثیر بگذارد [۲].

1. Post breakthrough
2. Infill drilling
3. Upscaling

www.SID.ir

Archive of SID

تاکنون مفاهیم پرکولاسیون در ارزیابی خواص بهم پیوستگی و تراوایی موثر مخزن در موارد متعددی در منابع به کار گرفته شده است. در اینجا بایستی به این نکته اشاره نمود که پرکولاسیون قادر است فراتر رفته و سایر شاخص‌های کارایی مخازن مانند زمان رخنه و رفتار تولیدی (مثلاً میزان برش آب تولیدی) پس از زمان رخنه را پیش بینی نماید. مطالعات اولیه توسط داخلین[1] و همکاران، کینگ[2] و همکاران، لی[3] و همکاران و اندرید[4] و همکاران نشان می‌دهد که استفاده از مدل بر پایه پرکولاسیون، پیش بینی‌های مفیدی می‌دهد [۱]. این روش جدید دارای این مزیت است که نتایج پیش بینی‌ها از پارامترهای بازدهی مخزن، می‌تواند در کسری از ثانیه در نرم افزارهای صفحه گسترده[5] (مانند اِکسل) در مقایسه با ساعت‌ها زمان لازم در روش متعارف شبیه سازی مخزن بدست آید. با انجام مرحله اعتبارسنجی با به کارگیری داده‌های میدانی واقعی می‌توان از این روش در کاربردهای عملی مهندسی به منظور تخمین سریع ریسک و کمک در فرایند تصمیم گیری برای مسائل میدانی واقعی بهره برد.

۲- فرضیه‌های تحقیق

طبیعت جریان سیال در مخازن هیدروکربوری به دلیل فضای پیچیده هندسی تشکیل شده در طول سالیان زیاد در اثر فرآیندهای رسوب گذاری بسیار پیچیده می‌باشد. این مسئله شدیداً وابسته به توزیع فضایی ناهمگونی‌هایی است که در تمام مقیاس‌ها ظاهر می‌شود و لازم است برای پیش بینی قابل اعتماد کارایی مخزن، مدل سازی گردد. کانون توجه این مقاله کاربرد مدل سازی بر مبنای تئوری پرکولاسیون به منظور تخمین سریعی از عدم قطعیت است که به طور خاص، به تخمین زمان میان‌گذر سیال تزریقی (آب) در یک جفت چاه تزریقی و تولیدی پرداخته می‌شود. این روش، در مقیاس میدانی قابل کاربرد بوده و در آن برای ارزیابی پارامترهای کلیدی مخازن با شکل هندسی پیچیده خصوصاً در مراحل اولیه توسعه مخزن که داده‌های موجود بسیار محدود است، از اطلاعات ساده و پایه‌ای بدست آمده از زمین شناسی مخزن در چارچوب فرم پیوسته تئوری پرکولاسیون استفاده می‌کند. در روش جدید، فیزیک جریان و مدل زمین‌شناسی ساده می‌شود به طوری که بتوان پیش‌بینی‌های شبه تحلیلی عدم قطعیت را با سرعت زیاد انجام داد. مزیّت این کار این است که تأثیرات ناشی از هندسه پیچیده موثر بر جریان را می‌توان سریعاً در کسری از ثانیه در یک صفحه گسترده برآورد نمود. بدیهی است که اشکال این کار این است که بخش زیادی از فیزیک جریان و ظرایف توزیع ناهمگنی‌ها نادیده گرفته می‌شوند؛ اما نشان داده خواهد شد که این مدل ساده وقتی که برای مجموعه‌ای از داده‌ها و اطلاعات واقعی به کار می‌رود، می‌تواند برآوردهایی معقول از عملکرد تخمین زمان میان‌گذر را ارائه کند. این روش

1. Dokholyan
2. King
3. Lee
4. Andrade
5. Spreadsheet

www.SID.ir

Archive of SID

مهندسی، فرضیه‌ای را بکار می‌گیرد که بر مبنای آن، تراوایی مخزن را می‌توان به عوامل با تراوایی بالا (مانند ماسه سنگ‌ها در مخازن معمولی و یا شکاف‌ها در مخازن ترکدار) و عوامل بسیار کم تراوا (مانند شیل در مخازن معمولی یا ماتریکس در مخازن ترک‌دار) تقسیم بندی کرده و همچنین فرض می‌کند که بهم پیوستگی واحدهای جریان (با تراوایی بالا)، حرکت جریان سیال را در محیط متخلخل کنترل می‌کند. برای مثال می‌توان به مخازن شکاف‌دار و یا مخازن با میزان خالص به ناخالص کم تا متوسط (سیستم‌های توربیدیت‌ها[1] یا رودخانه‌ای[2]) و یا مخازن با موانع[3] به هم پیوسته جریان (مانند شیل‌ها) اشاره کرد [۱]، [۲]. ثابت شده است که جریان در محیط متخلخل ناهمگن تا حد زیادی بوسیله تفاوت در تراوایی و موانع جریان مثل شیل‌ها و یا گسل‌ها کنترل می‌شود. هرچند که عوامل دیگر نیز وجود دارد، ولی موارد ذکر شده ویژگی‌های غالب در جریان سیال هستند. با اطلاع از این موضوع، برای مدل‌سازی و ساده کردن جریان، با درنظر گرفتن این فرض که تراوایی را می‌توان به "سنگ خوب" یعنی تراوایی بالا (مانند ماسه سنگ‌ها در مخازن معمولی و یا شکاف‌ها در مخازن ترک‌دار) و "سنگ ضعیف"، یعنی تراوایی پایین (مانند شیل در مخازن معمولی یا ماتریکس در مخازن ترکدار) تقسیم کرد، ناهمگنی سنگ را می‌توان ساده کرد. برای کلیه شرایط عملی و کاربردی، بهم پیوستگی واحدهای جریان (با تراوایی بالا)، حرکت جریان سیال را در محیط متخلخل کنترل می‌کند. در واقعیت هم جریان اصلی نفت در طی بازیافت، میان همین ماسه سنگ‌ها است و جریان میان شیل‌ها و سنگ‌های دارای تراوایی کم از نظر اقتصادی به صرفه نمی‌باشد [۱]،[۲].

ساده کردن فیزیک جریان، دومین ساده سازی ا ست که صورت می‌گیرد. در اینجا فرض می شود که جابجائی، همانند انتقال ردیاب منفعل[4] می‌باشد. به عبارت دیگر، یک جریان تک فاز از تزریق کننده به تولید کننده وجود دارد و فرض بر این ا ست که سیال تزریق شده بصورت منفعل در طول این خطوط اصلی جریان[5]، بوسیله جریان همرفتی حرکت کرده و جابجا می‌شود [۲].

حالت‌های زیادی وجود دارند که این شیوه تقریب بسیار خوبی بدست می‌دهد. به عنوان مثال، مخزن ممکن است توسط یک کمربند رودخانه‌ای پیچ وخم‌دار[6] بطوری که ماسه سنگ‌های خوب بصورت بسته‌های قرار گرفته در یک پس زمینه غیرقابل نفوذ ته‌نشین شده، تشکیل شده باشد. ناهمگونی دیگری که می‌تواند در نظر گرفته شود، شکاف‌ها هستند که اساساً جریان در آنها از طریق شبکه به هم متصل شکاف‌ها صورت می‌گیرد. این را "رویه تئوری

1. Turbidites
2. Fluviatile
3. Bariers
۴. Passive Tracer
۵. Streamlines
6. Meandering river

www.SID.ir

Archive of SID

پرکولاسیون در مدل سازی مخزن" می‌نامند؛ چرا که مدل ریاضی اولیه به هم پیوستگی در سیستم‌های پیچیده هندسی توسط این تئوری ارائه می‌شود [۳].

مدل مخزن نمادینی را تصور کنید که به وسیله تکنیک شیء گرا[1] مدل‌سازی شده باشد. یعنی در این مدل سازی اشیاء هندسی (نماینگر واحدهای مختلف زمین شناسی مانند ماسه سنگ‌ها) به طور تصادفی در فضا قرار داده می‌شوند. سپس پارامترهای بهم پیوستگی و رسانایی جریان (تراوایی موثر) می‌توانند به طور مستقیم توسط تئوری پرکولاسیون تخمین زده شوند. به طور خاص، تئوری پرکولاسیون قادر است که عدم قطعیت‌ها را در حداقل زمان تخمین بزند؛ کاری که از عهده سایر روش‌های مدل‌ساز مخزن با ساختن فقط یک مدل بر نمی‌آید.

۳- مدل جریان

همان‌طور که توضیح داده شد به‌منظور ساده سازی مدل، فرض بر این است که تراوایی یا صفر است (شیل) و یا یک (ماسه سنگ). معمولاً توده‌های ماسه سنگی، مکعبی شکل هستند و از نظر شکل، همسانگرد می‌باشند. آنها به صورت مستقل و بطور تصادفی در فضا تا کسر حجمی "p" توزیع می‌شوند. ضمناً فرض می‌شود که سیّال جابجا کننده دارای ویسکوزیته و دانسیته‌ای مشابه سیّال جابجا شونده است. مزیت این ویژگی این است که وقتی سیال تزریق شده، نفت را جابجا می‌کند میدان فشار تغییری نمی‌کند. این میدان فشار از طریق حل کردن معادلات جریان تک فازی ($\nabla.K\nabla P=0$)، تعیین می‌گردد. جریان تزریق شده فقط مسیرهای اصلی این جریان را دنبال نموده و از آنها تبعیت می‌کند. در واحدهای بی بُعد، تراوایی (K) یا صفر است یا یک. شرایط مرزی، فشار ۱+ را در چاه تزریق و فشار ۰ را در چاه تولید تثبیت می‌کند. همان‌طور که گفته شد فقط یک جفت چاه منفرد مورد توجه می‌باشد؛ لذا زمان میان‌گذر مطابق با اولین زمان عبور برای انتقال بین تزریق‌کننده و تولیدکننده می‌باشد [۱]. برای یک مدل مخزنی، می‌توان برای حالات مختلفی از موقعیت‌های مکانی چاه‌ها، نمونه برداری کرد و نمودار توزیع زمان‌های میان‌گذر را ترسیم نمود. این در واقع احتمالی شرطی است برای اینکه زمان میان‌گذر، t_{br} باشد البته با فرض اینکه اندازه و ابعاد مخزن L باشد و نسبت خالص به ناخالص نیز p باشد؛ یعنی $P(t_{br}|r,L,p)$، این توزیع از رابطه زیر تبعیت می‌کند [۵]،[۶]:

$$P(t_{br}|r,L,p)\approx\frac{1}{\mathrm{r}^{\mathrm{d_t}}}\left(\frac{t_{br}}{\mathrm{r}^{\mathrm{d_t}}}\right)^{-g_t} f_1\left(\frac{t_{br}}{\mathrm{r}^{\mathrm{d_t}}}\right) f_2\left(\frac{t_{br}}{\mathrm{L}^{\mathrm{d_t}}}\right) f_3\left(\frac{t_{br}}{\xi^{\mathrm{d_t}}}\right) \qquad (۱)$$

1. Object based technique

www.SID.ir

Archive of SID

$$f_1(x) = \exp(-ax^{-\phi})$$
$$f_2(x) = \exp(-bx^{\psi})$$
$$f_3(x) = \exp(-cx^{\pi})$$

در حال حاضر، ضرایب و توان‌های مختلف موجود در این رابطه عبارتند از [۵]،[۶]:

$$d_t = 1.33 \pm 0.05,\ g_t = 1.90 \pm 0.03,\ a = 1.1,\ b = 5.0,\ c = 1.6(p < p_c)\ 2.6(p > p_c)$$
$$\varphi = 3.0, \psi = 3.0, \pi = 1.0, \xi = |p - p_c|^{-\nu}\ \ \nu = 4/3$$
$$p_c = 0.668 \pm 0.003$$

که بعد از تغییر و بهینه سازی پارامترها و ضرائب رابطه (۱) با صرف نظر از جزییات فرایند بهینه سازی، بهترین برآوردها بصورت زیر پیشنهاد می‌شود:

$d_t = 1.5 \pm 0.05$
$g_t = 1.9 \pm 0.05$
$a = 2.5,\ b = 2.3$
$c = 1.6(p < p_c), 2.6(p > p_c)$
$\varphi = 2.0,\ \psi = 1.33$
$\pi = 1.5,\ \xi = |p - p_c|^{-\nu}$
$\nu = 0.875 \pm 0.005$
$p_c = 0.276 \pm 0.05$

رابطه (۱) در واقع برای پیدا کردن توزیع احتمال برای کوتاه‌ترین مسیر روی یک کلاستر احاطه کننده میان دو نقطه (یا بعبارتی دو چاه) است. برای سیستم حرکت تصادفی[۱] در فرمول مربوطه، یک تابع f_1 تعریف شده است که بیانگر این است که وقتی سیال از یک نقطه شروع به حرکت می‌کند دیگر نتواند در حرکت خود به جای قبلی برگردد. یعنی اگر سیال در فضای دو بُعدی بخواهد حرکت کند می‌تواند به سه جهت برود. در حقیقت تمام سیستم‌ها محدود هستند از این رو تابع f_2 موجود در فرمول بیانگر این است که سیستم خطوط، مسیر طولانی را طی نکند و در واقع کوتاه‌ترین مسیر را برگزینند. به عبارت دیگر چون طول سیستم بینهایت نیست، اثر اندازه محدود[۲] اعمال می‌شود. تابع f_3 جهت نمایش اندازه نمادی کلاستر احاطه کننده است. یعنی دامنه حرکت تصادفی می‌بایست در محدوده اندازه کلاستر احاطه کننده، محدود شود؛ در غیر این صورت با ایجاد یک برش[۳]

۱. Random Walk
2. Finite size
3. Cut-Off

www.SID.ir

Archive of SID

محدود کننده نمی‌گذاریم حرکت آن بیشتر از محدوده کلاستر احاطه کننده باشد. بنابراین معلوم می‌شود که نقطه حرکت تصادفی در خارج از کلاستر احاطه کننده نیست [۲].

در این مقاله، در مورد پیش زمینه مربوط به اثبات رابطه (۱) و دیگر رابطه‌های موجود در این زمینه بحث نمی‌شود و فقط بر میزان موفقیت این تئوری در پیش‌بینی زمان میان‌گذر متمرکز می‌شویم.

۴- کاربرد تئوری پرکولاسیون برای پیش‌بینی زمان میان‌گذر در یک میدان نفتی واقعی

به عنوان مثال، یک میدان نفتی واقعی در جنوب غرب ایران در نظر گرفته می‌شود. این مخزن به طور تقریبی ۴ کیلومتر طول، ۲,۵ کیلومتر عرض و ۲۷۴ متر ضخامت دارد. در فرآیند شبیه‌سازی این مخزن، در راستای x، y و z به ترتیب ۳۰، ۱۸، ۶ گریدبندی شد.

کانال‌های نفوذپذیر ما سه سنگی که در صد عمده‌ای از ق سمت‌های خالص (سنگ خوب) در مخزن را تشکیل می‌دهند، نوعاً دارای ۱ کیلومتر طول، ۱,۵ کیلومتر عرض و ۱۲۵ متر ضخامت هستند و تراوایی آنها در حدود ۱ دار سی ا ست که این مشخصات تو سط مهند سین زمین شناس این میدان مشخص و گزارش شده ا ست. این کانال‌ها دارای محورهای طویلی می‌با شند که با محور طویل مخزن، هم تراز و هم ردیف شده است.

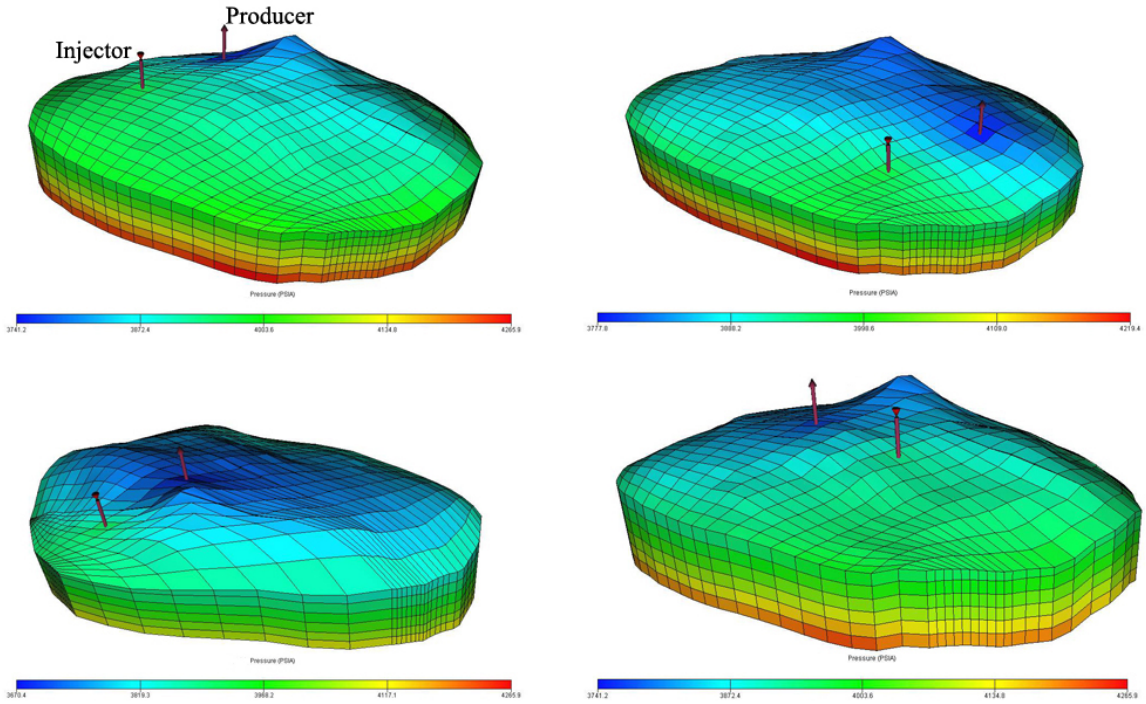
نسبت خالص به ناخالص در این مخزن ۴۳٪ می‌باشد. تراوایی مخزن از ۵۰۰-۱۵۰۰ میلی دارسی متغیر ا ست و تقریباً هم‌سانگرد ا ست یعنی تراوایی آن در را ستای x، y و z تقریباً برابر ا ست. متو سط میزان تخلخل در این مخزن ۲۲٪ می‌باشد. فاصله هر جفت چاه تزریقی و تولیدی در هر پیکربندی ۱ کیلومتر در نظر گرفته شده ا ست (شکل-۱). قطر داخلی چاه‌ها نیز ۰,۱۵ متر ا ست. به منظور تو ضیح و توجیه ناهم‌سانگردی موجود در شکل میدان و توده‌های ما سه سنگی، ابتدا از طریق مقیاس‌بندی با بُعد توده ما سه سنگی در جهت منا سب، تمامی واحدهای طولی بدون بُعد می شوند (بنابراین ابعاد میدان عبارتند از L_z, L_y, L_x در جهت‌های منا سب). حال معادله (۱) را می‌توان با حداقل مقدار این سه پارامتر به کار برد ($L=Min(L_x,L_y,L_z)$). سپس این ابعاد در رابطه (۱) وارد می‌گردند. در ضمن علاوه براین‌ها، ف شار چاه تزریقی ۴۶۰۰ پام، فشار چاه تولیدی ۳۰۰۰ پام نسبت به فشار مخزن در عمق مبنا[1] که ۴۱۰۰ پام می‌باشد که برای تمام پیکربندی‌ها ثابت در نظر گرفته شد. ویسکوزیته نفت ۱۲,۲ سانتی پویز از ویژگی‌های دیگر این مخزن می‌باشد.

1. Datum depth

www.SID.ir

Archive of SID

لازم به ذکر است که فرایند جابجائی واقعی، مانند انتقال ردیاب منفعل ساده نیست. به منظور توجیه این مسئله، جابجائی باکلی– لورت[۱] در طول سریع‌ترین مسیر اصلی جریان فرض می‌گردد (به عبارت دیگر از پیوند جابجایی ویسکوز و اُلگوی جریان صرف‌نظر شده است). به این ترتیب، توزیع احتمال زمان میان‌گذر برای این مخزن (با انتخاب شرایط مذکور مانند فاصله چاه‌ها و فشارهای تزریق و تولید)، که در شکل-۲ بصورت منحنی نشان داده شده است، از طریق روش پرکولاسیون به راحتی به دست آمد. علاوه بر این، شبیه‌سازی‌های عددی معمولی نیز برای این میدان به وسیله نرم افزار شبیه ساز اکلیپس ۱۰۰ انجام گرفت. لذا آماری برای زمان‌های میان‌گذر مربوط به جفت چاه‌های تزریقی و تولیدی جمع‌آوری گردید. نتایج شبیه‌سازی، ۹۰ پیکربندی از مکان‌های مختلف جفت چاه‌های تزریقی و تولیدی که با فاصله ثابت ۱ کیلومتر از یکدیگر قرار گرفته‌اند را نشان داد تا آنها با پیش‌بینی تئوری پرکولاسیون مقایسه شوند.



شکل۱- چند پیکربندی از جفت چاه‌های تزریقی و تولیدی

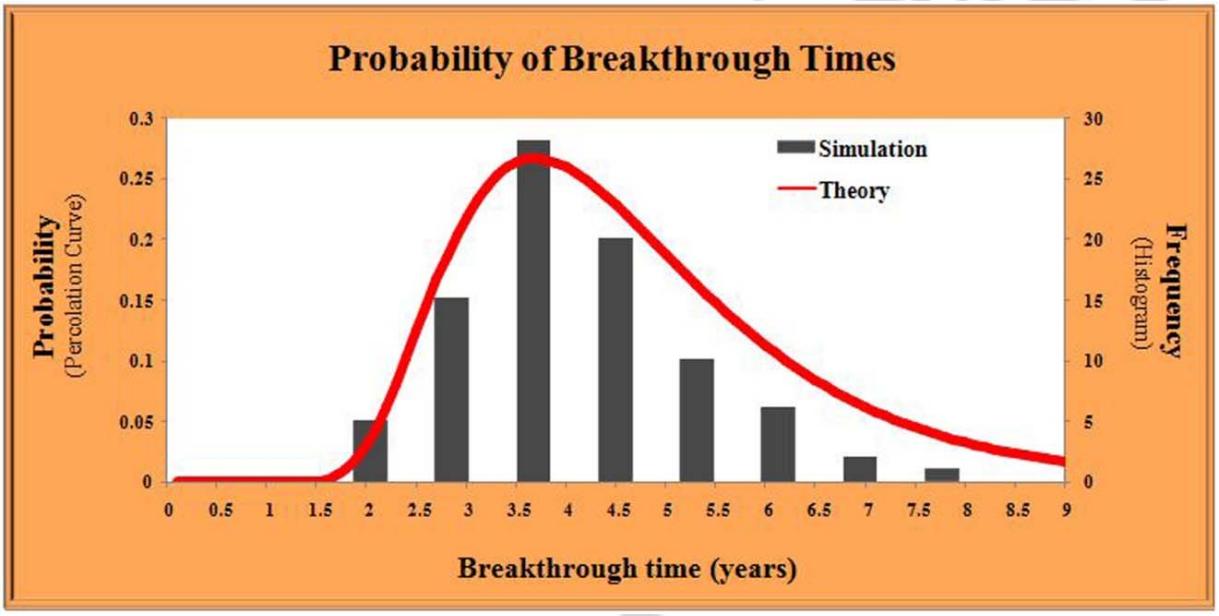
نتایج زمان‌های میان‌گذر حا صل از شبیه سازی این ۹۰ مدل به صورت هیـ ستوگرام نیز در شکل-۲ نشان داده شده است. بر اساس شکل-۲، بیشترین زمان میان‌گذر هر دو روش برای مخزن مورد مطالعه

۱. Buckley-Leverett

www.SID.ir

Archive of SID

نزدیک به هم و در حدود ۳,۵ سال بدست آمده است. این بدین معناست که با شرایط مخزنی توضیح داده شده در بالا، در صورتی که مخزن تحت تزریق آب قرار گیرد بعد از حدود ۳ سال چاه‌های تولیدی به زمان میان‌گذر خود می‌رسد. بدیهی است که شرایط تزریق نیز تأثیر مستقیمی روی زمان میان‌گذر خواهد گذاشت که توسط این روش خیلی سریع‌تر از شبیه سازهای تجاری می‌توان تخمین‌های سریع دیگری نیز با شرایط مختلف عملیاتی بدست آورد. نکته اصلی این است که پیش‌بینی‌های این روش فقط کسری از ثانیه زمان پردازنده[1] را گرفت و می‌توان آنها را در یک صفحه گسترده ساده انجام داد و نیاز به نرم‌افزارهای تخصصی نمی‌باشد؛ در حالی‌که در شبیه‌سازی معمولی، برای این کار ساعت‌ها و یا روزها وقت و هزینه‌های زیادی باید صرف شود.



شکل۲- مقایسه نتایج زمان میان‌گذر حاصل از شبیه‌سازی عددی(هیستوگرام) و تئوری پرکولاسیون (منحنی آبی)

۵- نتیجه گیری

مشاهده شد که نتایج بدست آمده از روش پرکولاسیون برای تخمین زمان میان‌گذر، سازگاری خوبی با نتایجی که از طریق شبیه‌سازی‌های وقت‌گیر بدست آمده‌اند دارد. بدیهی است که با یک مثال و چند نمونه، این نتایج را نمی‌توان جامع و قطعی تلقی نمود ولی با این حال، این روش و پارامترهای بهینه شده در رابطه پرکولاسیون برای تخمین زمان میان‌گذر، تاکنون در چند نمونه حقیقی دیگر از مخازن نفتی ایران مورد تست قرار گرفته و با مقایسه

1. CPU

www.SID.ir

Archive of SID

آن با نتایج شبیه سازهای تجاری، تطابق قابل قبولی دارند [۸]،[۹]. این نتایج در حالت کلی نشان می‌دهند که پیش‌بینی پرکولاسیون با یک مدل ساده با نتایج شبیه‌سازی عددی مدل مخزن پیچیده‌تر تناسب دارد. در نتیجه، از روش‌ها و تئوری‌هایی مانند پرکولاسیون (که بر مبنای فیزیک آماری می‌باشد) می‌توانند با سرعت بالا و دقت قابل قبول پارامترهای مخزنی را تخمین بزنند. بنابراین می‌توان جهت پیشبرد اهداف مدیریتی و تصمیم گیری‌های سریع مهندسی نفت در مسایل میدانی بهره برد و می‌توان با بررسی‌ها و تحقیقات بیشتر بر روی این روش، آن را به ابزاری کاربردی برای پیش‌بینی سریع پارامترهای مخزنی و اتخاذ تصمیم‌های مهندسی و مدیریتی تبدیل کرد.

۶- تقدیر و تشکر

بدینوسیله از شرکت ملی نفت ایران و همچنین شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب جهت حمایت‌های مربوطه سپاسگزاری می‌گردد.

۷- منابع

[۱]. کتاب "کاربردهای تئوری پرکولاسیون"[1] نوشته دکتر محمد سهیمی (دانشگاه کالیفرنیا)، ترجمه مرتضی شگفت فرد، انتشارات جهاد دانشگاهی شهید بهشتی، شابک: ۱-۰۳۳-۴۷۹-۹۶۴-۹۷۸

[2]. Andrade J.S., Buldyrev S.V., Dokholyan N.V., Havlin S., Lee Y., King P.R., Paul G. and Stanley H.E., Flow between two sites in percolation systems. Physical Review E 62, 2000, pp. 270-281.

[3]. Dokholyan N.V., Lee Y., Buldyrev S.V., Havlin S., King P.R., Stanley H.E., Scaling of the distribution of shortest paths in percolation, J. Stat. Phys. 93, 1998, pp. 603–613.

[4]. King P.R., Buldyrev S.V., Dokholyan N.V., Havlin S., Lee Y., Paul G., Stanley H.E. and Vandesteeg N., Predicting oil recovery using percolation theory. Petroleum Geosciences 7, 2001, pp. 105-107.

[5]. King P.R., Buldyrev S.V., Dokholyan N.V., Havlin S., Lopez E., Paul G. and Stanley H.E., Uncertainty in oil production predicted by percolation theory. Physica A 306, 2002, pp. 376 – 380.

[6]. King P.R., Buldyrev S.V., Dokholyan N.V., Havlin S., Lopez E., Paul G., Stanley H.E., Using percolation theory to predict oil field performance. Physica A 314, 2002, pp. 103 – 108.

[7]. López E., Buldyrev S. V., Dokholyan N. V., Goldmakher L., Havlin S., King P. R. and Eugene Stanley H., Post breakthrough behavior in flow through porous media, Physica Review E 67, 2003, 056314

[8]. Shegeftfard M. and Zamanzadeh S.M., "Utilization of Percolation Theory to Estimate Water Injection Breakthrough Time", Energy Exploration & Exploitation Journal, Volume 29, Number 5, 2011, pp. 667–678

1. Application of Percolation Theory

www.SID.ir

Archive of SID

[9]. Shegeftfard M. and Zamanzadeh S.M., "Fast estimation of Water Injection Breakthrough Time by Percolation Theory", Energy Exploration & Exploitation Journal, Volume 30, Number 5, 2012, pp. 793–802

Application of statistical physics in the oil industry by application and optimization of percolation theory for predicting breakthrough time

1. Morteza Shegeftfard*, Senior Reservoir Engineer at National Iranian South Oil Company (NISOC), Address: National Iranian South Oil Company, Ahwaz, Tel:+989121902864, m.shegeftfard@gmail.com

2. Mahmood Khordoo, Senior Reservoir Engineer at Iranian Offshore Oil Company (IOOC), Address: Iranian Offshore Oil Company, Tehran, Tel:+989126993328, m.khordoo@yahoo.com

3. Seyed Mohammad Zamanzadeh, Doctor of Philosophy in geology at Research Institute of Applied Science (RIAS), Address: Research Institute of Applied Science, Iranian ACECR Branch of Shahid Beheshti, Tehran, Tel:+989124221899, sm.zamanzadeh@gmail.com

Abstract:
Percolation theory is a new method on the basis of general mathematics and is used in estimation and prediction of reservoir parameters. It is better to apply this method at the beginning of the reservoir life; in other words when the reservoir data are scarce. If applied so, it is possible to estimate reservoir parameters such as effective permeability, breakthrough time and post breakthrough behavior.
In this paper, scale defining rules (based on percolation theory) are used to estimate the necessary time for an injected fluid into a field to sweep into a production well. Then the parameters and coefficients of the formula are optimized so that they could be applied in other Iranian oil fields. The main goal in this work is to show when percolation method is applied in a real model, similar results to conventional and time-consuming simulations are gained, but by a more rapid method. Eventually it is possible to use this quick method of estimation in real simulations to help field management decision making such as drilling projects and well location according to the estimating the breakthrough time by this method.

Keywords:
Breakthrough time, Sandbody, Net to Gross (NTG), Simulation, Percolation Theory

www.SID.ir