



تحلیل پارامترهای مؤثر بر سیلاب‌زنی آب در مخازن نفتی با استفاده از شبیه‌سازی خطوط جریان

بروین انتظاری ملکی^۱، دانشگاه علوم تحقیقات واحد آذربایجان شرقی

امید عامری^۲، شرکت سپانیر

فانزه همایون افشار^۱، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

شبیه‌سازی با استفاده از خطوط جریان امکان پایش روند حرکت سیال را میسر می‌سازد که نتیجه آن مدیریت بهتر مخزن و جلوگیری از صرف هزینه‌های اضافی است. یکی از مواردی که شبیه‌سازی به وسیله خطوط جریان می‌تواند بهترین نتایج را در اختیار یک مهندس قرار دهد، شبیه‌سازی سیلاب‌زنی است. به این ترتیب می‌توان چگونگی حرکت سیال تزریقی را لحظه به لحظه بررسی کرد و حالت ایده‌آل را انتخاب و اجرا کرد. در این مقاله سعی شده تا با بررسی پارامترهای مؤثر بر نحوه سیلاب‌زنی مواردی را نشان دهیم که بررسی آن‌ها برای یک پروژه واقعی بسیار حیاتی است و اهمیت ندادن به اثرات این پارامترها می‌تواند نتایجی کاملاً متضاد در پی داشته باشد. پارامترهایی که در این مقاله بررسی شده، می‌تواند دیدی جامع و کلی نسبت به سیلاب‌زنی در اختیار قرار دهد. با در اختیار داشتن مدل‌های دینامیک توسط شبیه‌ساز خطوط جریان، روند حرکت سیال تزریقی به خوبی مشخص می‌شود و این قابلیت است که دیگر روش‌های شبیه‌سازی از آن برخوردار نیستند.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی خطوط جریان، سیلاب‌زنی با آب، زمان برونزد سیال تزریقی

مقدمه

روش معادلات در کمترین زمان ممکن و با امکانات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری ساده قابل حل هستند [۴] و [۷].
آنالیز حساسیت^۸ خطوط جریان، اطلاعات ارزشمندی را در اختیار یک مهندس قرار می‌دهد. بهترین راه برای آنالیز حساسیت خطوط جریان، رسم نمودار خطوط جریان است؛ زیرا درک نحوه تأثیر هر یک از پارامترها با مشاهده نمودار خطوط جریان برای حالات مختلف آن پارامتر بسیار آسان خواهد بود. در این مقاله به بررسی برخی از پارامترهای مؤثر بر خطوط جریان می‌پردازیم. تمامی نتایج ذکر شده در این مقاله، توسط برنامه ترسیم دو بعدی خطوط جریان که توسط برنامه ++C نوشته شده، به دست آمده است [۲] و [۶].

۱- معرفی روش خطوط جریان

طی سال‌های اخیر روش خطوط جریان به عنوان یک روش قوی‌تر برای مدل‌سازی جریان سیال نسبت به روش‌های شبیه‌سازی کلاسیک

از مرسوم‌ترین روش‌های شبیه‌سازی روش تفاضل محدود^۴ و عناصر محدود^۵ است. در این روش‌ها، مخزن به بلوک‌هایی تقسیم شده و جریان ورودی و خروجی هر بلوک در بازه‌های زمانی معین محاسبه می‌شود. یکی از معایب این روش‌ها این است که با وجود اطلاع از نوع و مکان قرارگیری سیال مخزن، دید درستی از نحوه حرکت سیال ارائه نمی‌دهد. همچنین استفاده از این روش‌ها نیازمند حل معادلات پیچیده‌ای است که برای حل آن‌ها به امکانات سخت‌افزاری قوی و زمان طولانی نیاز است. هر چه تعداد بلوک‌ها افزایش یابد، تعداد معادلاتی که باید حل شود بیشتر شده و در نتیجه زمان شبیه‌سازی افزایش می‌یابد. به همین دلیل سالهاست که برای بهینه‌سازی زمان و سرمایه‌ی نیاز به یک روش شبیه‌سازی جایگزین احساس می‌شود [۱].

طی سال‌های اخیر، شبیه‌سازی بر پایه خطوط جریان^۶ پیشنهاد شده است. مدل‌سازی جریان با استفاده از خطوط جریان برای اولین بار توسط Muskat در سال ۱۹۳۷ انجام شد [۴]. شبیه‌سازی بر پایه خطوط جریان بر اساس اینکه سیال به کجا می‌رود در واقع یک روش تقسیم بندی عددی است. در این روش محور جدیدی برای یک خط جریان به نام زمان پرواز^۷ تعریف می‌شود. زمان پرواز زمانی است که طول می‌کشد تا جبهه جریان در طول خط جریان حرکت کند. این پارامتر جدید کمک می‌کند تا نحوه حرکت سیال در مخزن مدل شود. در این

^۱ f.h.afshar@aut.ac.ir

^۲ ameri_omid@aut.ac.ir

^۳ pari_pleiades@yahoo.com

^۴ Finite Difference

^۵ Finite Elements

^۶ Streamline Simulation

^۷ Time of flight

^۸ Sensitivity Analysis

به آن سطح رسیده باشد. با استفاده از سرعت‌های به دست آمده می‌توان کوتاه‌ترین زمان سیر و در نتیجه مسیر حرکت ذره را حدس زد. بدین گونه خطوط جریان از چاه تزریقی تا چاه تولیدی مورد نظر تعقیب می‌شوند.

گام سوم: اشباع فازها - که از قبل روی شبکه مخزن تعریف شده بود - روی خطوط جریان نگاشته می‌شوند و معادله بقا در امتداد هر خط جریان با صرف نظر از تأثیر جاذبه حل می‌شود.

گام چهارم: اشباع فازها مجدداً روی شبکه مخزن نگاشته می‌شوند و این بار معادله بقا با در نظر گرفتن اثر جاذبه حل می‌شود.

گام پنجم: شبیه‌سازی در این مرحله تمام می‌شود و یا در صورت نیاز به گام اول بر می‌گردد.

۲- شبیه‌سازی مدل تزریقی به وسیله خطوط جریان

مدل اصلی که در این مقاله بررسی می‌شود یک مدل مصنوعی است که به منظور بررسی پارامترهای مختلف بر روی آن تا حدودی ساده شده است. در این مدل چاه تولیدی واقع در مختصات (۰، ۰) با دبی ۲۵۰ فوت مکعب در روز تولید می‌کند و در چاه تزریقی واقع در مختصات (۰، ۳۰۰) با همین دبی آب تزریق می‌شود. مدل اصلی همسانگرد^۹ و در آن k_x/k_y برابر با یک است. تخلخل سنگ مخزن ۰٫۳ و ضخامت لایه تولیدی برابر ۱۰۰ فوت در نظر گرفته می‌شود. از جمله مواردی که در سیلاب‌زنی بسیار اهمیت دارد، زمان برونزد سیال تزریقی^{۱۱}، حجم جاروب شده^{۱۲} توسط سیال تزریقی یا به عبارت دیگر راندمان جابجایی حجمی^{۱۳} توسط فرآیند سیلاب‌زنی است.

۱-۲ حجم جاروب شده

$$V_{\text{swept}} = \frac{q}{N_{\text{st}}} \sum_{n=1}^{N_n} t_n \quad \begin{cases} t_n = t & \text{if } t < t_{b,t} \\ t_n = t_{b,t} & \text{if } t > t_{b,t} \end{cases} \quad (1)$$

به طوریکه V_{swept} حجم جاروب شده (ft^3) ، N_{st} تعداد کل خطوط جریان برای تزریق کننده مورد نظر، $t_{b,t}$ زمان رسیدن اولین جبهه تزریق به چاه تولیدی (Days)، t_n تعداد روزهای شبیه‌سازی (Days) می‌باشند.

۲-۲ تأثیر همسانگردی تراوایی بر زمان برونزد سیال تزریقی

مفهوم حجم جاروب شده میزان فضایی است که خطوط جریان در طول حرکت خود آن را اشغال می‌کنند [۵].

در این قسمت مدل اصلی ($k_x/k_y=1$) با مدل‌هایی که نسبت تراوایی‌ها ۱۰ و ۱۰۰ است، مقایسه می‌شود. در شکل ۱ پارامتر D

مورد توجه قرار گرفته است. عوامل موفقیت این روش را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱. تصویرسازی جریان: یکی از مهم‌ترین عوامل موفقیت این روش تصویر کردن مسیر جریان سیال از چاه تزریقی تا چاه تولیدی است که با استفاده از آن می‌توان نقش چاه‌ها، ژئومتری مخزن و ناهمسانگردی آن در تعیین مسیر جریان را بررسی کرد.

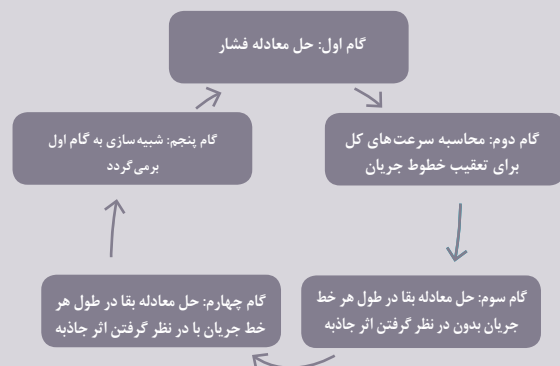
۲. سرعت محاسباتی بیشتر نسبت به روش‌های کلاسیک

۳. مدل‌سازی کلی در مقابل مدل‌سازی جزئی میدان به عنوان مکمل روش تفاضل نامحدود

۴. شروع شبیه‌سازی از ساده‌ترین مدل: در روش خطوط جریان اثرات فیزیکی دارای درجه اهمیت هستند، یعنی به صورت گام به گام فرض‌ها پیچیده‌تر می‌شوند. روش کار در شبیه‌سازهای کلاسیک کاملاً برعکس است، یعنی کار را با پیچیده‌ترین مدل شروع کرده و سپس اثر هر کدام از متغیرها را از هم تفکیک می‌کنند.

۵. داده‌های مهندسی جدید: خطوط جریان داده‌های مهندسی جدیدی تولید کرده‌اند که با شبیه‌سازهای قدیمی در دسترس نبوده‌اند. تعدادی از این داده‌های جدید عبارتند از: مقدار سهم هر تزریق کننده در یک تولید کننده خاص، حجم همراه هر تزریق/تولید کننده، تقسیم مخزن به مناطق تخلیه^۱ متصل به هر چاه.

به طور کلی می‌توان روش خطوط جریان را به صورت الگوریتم ساده‌ای که در شکل زیر آورده شده، بیان کرد.



گام اول: در آغاز هر بازه زمانی خواص مخزنی از قبیل اشباع اولیه سیالات، تراوایی نسبی فازها و تخلخل سنگ مخزن روی شبکه مخزن تعریف می‌شوند. سپس معادله فشار در هر بلوک با استفاده از قانون بقای جرم به دست می‌آید و روی شبکه مخزن با شرایط مرزی مشخص حل می‌شود.

گام دوم (استفاده از روش پالاک): با حل معادله فشار و استفاده از معادله دارسی می‌توان سرعت کل را در هر وجه از هر بلوک به دست آورد. در روش پالاک برای تعقیب خطوط جریان از این ایده استفاده می‌شود که ذره از وجهی خارج می‌شود که خط جریان زودتر

⁹ Drainage area

¹⁰ Isotropic

¹¹ Breakthrough Time

¹² Swept Volume

¹³ Volumetric sweep

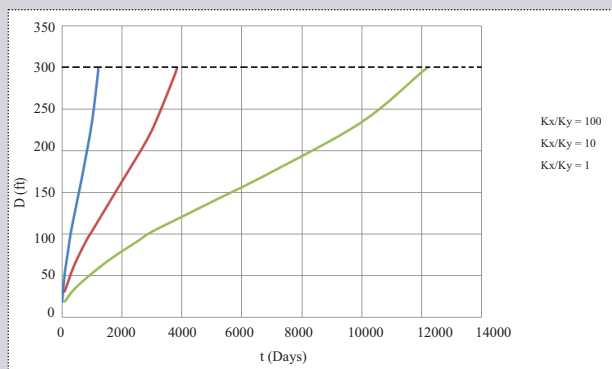


ناهمسانگردی زیاد مخزن در این حالت است.

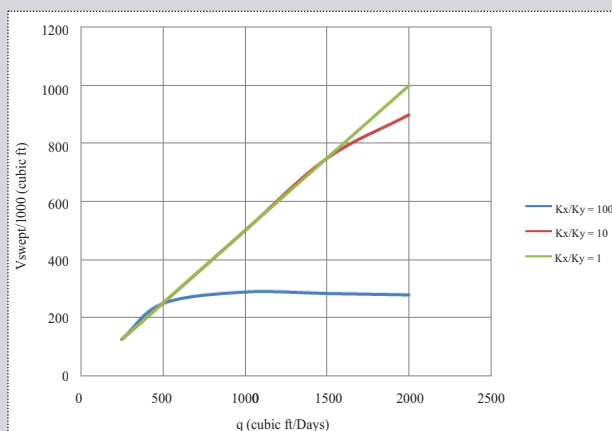
همچنین با کاهش نسبت تراوایی از ۱۰۰ به ۱۰، حجم جاروب شده برای این دو نسبت در دبی‌های برابر افزایش بسیار چشمگیری داشته است. در صورتی که با کاهش نسبت تراوایی‌ها از ۱۰ به ۱ میزان حجم جاروب شده تغییر چندانی نمی‌کند [۳]. بنابراین افزایش نسبت تراوایی و ناهمسانگردی سنگ مخزن با کاهش میزان حجم جاروب شده توسط سیال تزریقی رابطه خطی ندارد؛ که این ناشی از پیچیدگی‌های هندسه سنگ مخزن در ناهمسانگردی‌های شدید است.

۲-۴ تأثیر فاصله چاه تزریقی از چاه تولیدی بر زمان برونزد سیال تزریقی

برای بررسی تأثیر فاصله چاه تزریقی از چاه تولیدی مورد نظر، مخزنی را با نسبت تراوایی $k_x/k_y=100$ و تخلخل ۰٫۳ در نظر بگیرید. فرض کنید یک چاه تولیدی در مختصات (0,0) وجود دارد. فاصله چاه تزریقی را از ۳۰۰ فوت به ۱۰۰۰ فوت افزایش می‌دهیم تا اثر این فاصله را بر زمان رسیدن اولین جبهه موج به چاه تولیدی بررسی کنیم. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود در حالت اول (۳۰۰ فوت)



۱ | تأثیر همسانگردی و ناهمسانگردی تراوایی مخزن بر زمان برونزد سیال تزریقی [۳]



۲ | تأثیر دبی تزریقی بر حجم جاروب شده [۳]

فاصله اولین جبهه تزریق تا چاه تولیدی است. محل برخورد هر نمودار با خط افقی ($Y=300ft$) نشان دهنده زمان رسیدن این جبهه تزریقی به چاه تولیدی است. بنابراین با استفاده از محور افقی زمان می‌توان زمان رسیدن این جبهه به چاه تولیدی را به ازای نسبت‌های مختلف تراوایی به دست آورد. در حالت $k_x/k_y=100$ جبهه تزریق با سرعت بالاتری نسبت به دو حالت دیگر به سمت چاه تولیدی پیش می‌رود؛ به طوری که اولین جبهه تزریق پس از ۱۲۰۰ روز از آغاز تزریق به چاه تولیدی می‌رسد. در صورتی که اولین جبهه تزریق برای نسبت تراوایی‌های ۱۰ و ۱ به ترتیب پس از ۳۸۰۰ و ۱۲۰۰۰ روز از آغاز تزریق مسافت مشابه را می‌پیماید و به چاه تولیدی می‌رسد. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، با افزایش نسبت تراوایی سرعت پیشروی جبهه افزایش می‌یابد. نکته قابل توجه این است که بزرگ بودن اندازه هر یک از تراوایی‌ها به تنهایی نشان دهنده بالا بودن سرعت پیشروی جبهه تزریق نیست؛ بلکه بالا بودن نسبت این تراوایی‌ها نشان دهنده سرعت بالای پیشروی جبهه تزریق است.

نکته دیگر این است که با کاهش نسبت تراوایی‌ها، زمان برونزد اولین جبهه تزریقی با سرعت بیشتری افزایش می‌یابد. مطابق شکل ۱ با کاهش نسبت k_x/k_y از ۱۰۰ به ۱۰ زمان رسیدن اولین جبهه تزریقی تنها ۲۶۰۰ روز افزایش یافته است، اما با کاهش این نسبت از ۱۰ به ۱ زمان رسیدن اولین جبهه تزریق به چاه تولیدی حدود ۸۰۰۰ روز افزایش پیدا کرده است. به عبارت دیگر در نسبت‌های تراوایی پایین، تأثیر نسبت تراوایی بر زمان برونزد بیشتر است. این امر به این دلیل است که هرچه تراوایی در یک جهت بیشتر باشد تمایل سیال برای حرکت در آن جهت بیشتر است. بنابراین هرچه نسبت تراوایی‌ها به یک نزدیک تر باشد تمایل سیال برای حرکت در هر دو جهت به یک اندازه می‌شود. در نتیجه هرچه مخزن همسانگردتر باشد، از سرعت جبهه تزریقی کاسته می‌شود و مقدار حجم جاروب شده توسط سیال افزایش می‌یابد. کاهش سرعت جبهه تزریق به معنای افزایش زمان برونزد سیال تزریقی است.

۲-۳ تأثیر دبی تزریقی بر حجم جاروب شده

برای بررسی تأثیر دبی تزریقی بر حجم جاروب شده در سه میدان یا مخزن فرضی یاد شده، دبی‌های تزریقی به تدریج از ۲۵۰ تا ۲۰۰۰ فوت مکعب در روز افزایش می‌یابد. فرض می‌کنیم که در هر سه میدان، پانصد روز از آغاز تزریق گذشته است. نمودار حجم جاروب شده بر حسب دبی تزریقی برای هر سه میدان در شکل ۲ نشان داده شده است. در حالت $k_x/k_y=100$ ابتدا با افزایش دبی، حجم جاروب شده افزایش می‌یابد و در دبی ۱۰۰۰ فوت مکعب در روز به بیشترین مقدار خود می‌رسد که این دبی همان دبی بهینه برای تزریق خواهد بود. پس از آن با افزایش دبی، حجم جاروب شده کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد این به علت وجود

در حالت همسانگرد ($k_x=k_y$)، توانایی محیط متخلخل برای عبور دادن جریان از خود در دو جهت x و y یکسان است. بنابراین جریان به طور یکنواخت در هر دو جهت منتشر می‌شود. به همین دلیل است که نمودارها در حالت همسانگرد در راستای هیچ کدام از محورها دارای کشیدگی نیستند. اما در واقعیت هیچ محیط متخلخلی کاملاً همسانگرد نیست. بنابراین برای پیش بینی شکل خطوط جریان باید تراوایی را در هر دو جهت x و y بدانیم.

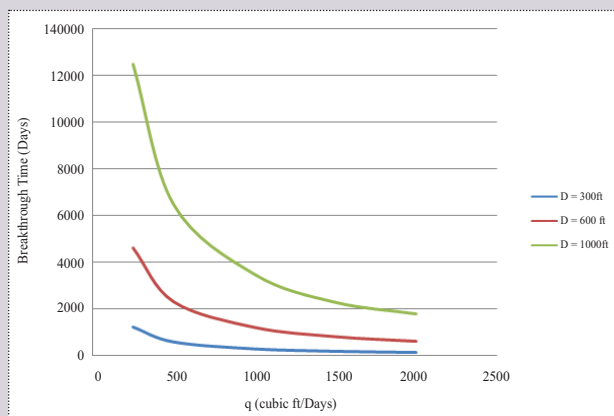
موضوع مهم دیگری که باید به آن توجه کرد این است که تراوایی کم یا زیاد در هر یک از جهت‌ها به تنهایی نمی‌تواند مبنای پیش‌بینی شکل خطوط جریان باشد؛ آنچه که مهم است نسبت تراوایی هاست. برای مثال دو حالت زیر را در نظر بگیرید:

$$a) \begin{cases} k_x = 100 \\ k_y = 10 \end{cases} \Rightarrow k_x/k_y = 10$$

$$b) \begin{cases} k_x = 10 \\ k_y = 1 \end{cases} \Rightarrow k_x/k_y = 10$$

در حالت a و b با اینکه تراوایی‌ها متفاوت هستند، اما نسبت تراوایی برای آن‌ها یکسان است. بنابراین شکل خطوط جریان برای این دو حالت کاملاً مشابه و الگوی دو نقطه‌ای تزریق برای آن‌ها مطابق شکل ۵ (سمت چپ) خواهد بود [۵]. در این الگوی دو نقطه‌ای یک چاه تولیدی در مختصات (10,10) و یک چاه تزریقی با دبی ۵۰۰ فوت مکعب در روز در مختصات (50,10) واقع شده است.

با توجه به تعریف تراوایی، تراوایی محیط متخلخل در هر جهتی که بیشتر باشد تمایل سیال برای حرکت در آن جهت بیشتر خواهد بود. این باعث می‌شود که نمودار خطوط جریان در جهت تراوایی



۳ | تأثیر فاصله چاه تزریقی از چاه تولیدی بر زمان برونزد سیال تزریقی [۳]

با افزایش دبی تزریقی از ۲۵۰ به ۲۰۰۰ فوت مکعب در روز زمان رسیدن اولین جبهه تزریق به چاه تولیدی تنها حدود ۱۱۰۰ روز کاهش می‌یابد. در حالی که مقدار این کاهش برای فواصل ۶۰۰ و ۱۰۰۰ فوت به ترتیب برابر ۴۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ روز است. در واقع با افزایش فاصله چاه تزریقی از چاه تولیدی، تأثیر دبی بر زمان رسیدن اولین جبهه تزریق به چاه تولیدی بیشتر می‌شود یا به عبارت دیگر در فواصل نزدیک، دبی تزریقی بر زمان برونزد تأثیر چندانی ندارد.

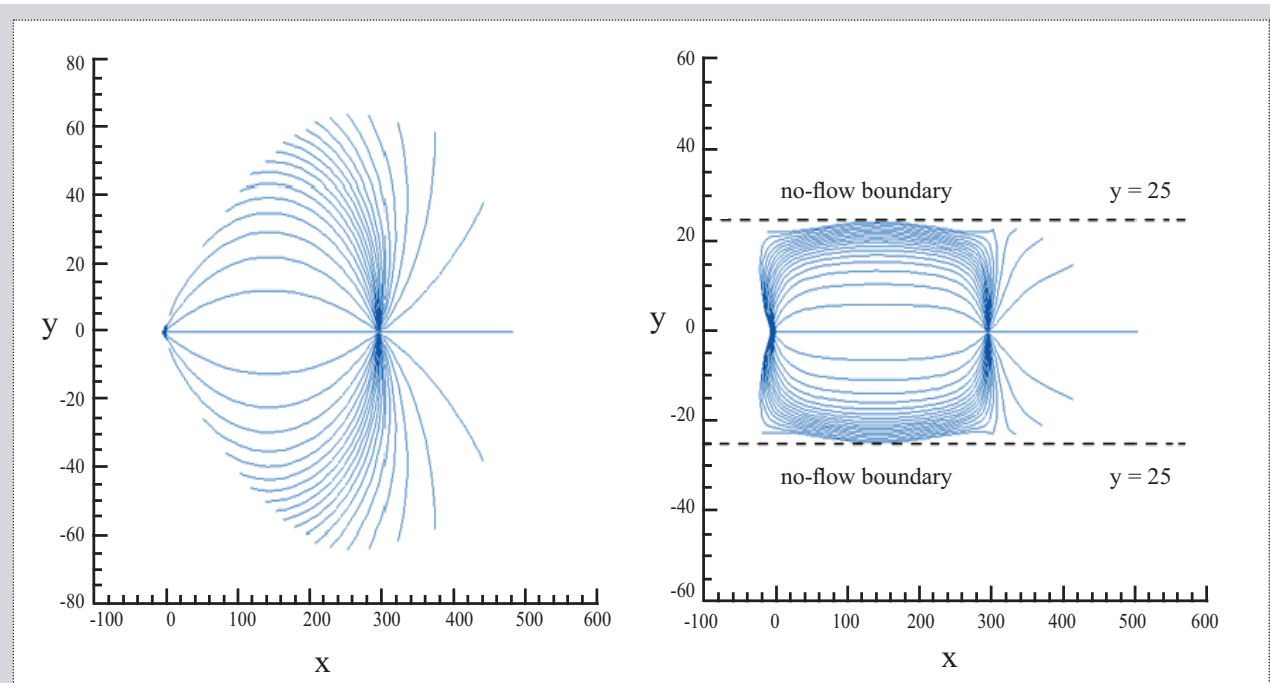
همچنین با توجه به شکل ۳ می‌بینیم که روند هر سه نمودار به گونه‌ای است که با افزایش دبی تا رسیدن به یک دبی خاص، زمان رسیدن اولین جبهه تزریق به چاه تولیدی به شدت کاهش می‌یابد و شیب نمودار بسیار تند است. اما پس از رسیدن به آن دبی، نمودار تقریباً افقی می‌شود و با افزایش بیشتر دبی، زمان رسیدن اولین جبهه تزریق به چاه تولیدی تغییر چندانی نمی‌کند [۳]. علت این امر آن است که در دبی‌های کم، سیال فرصت ورود به منافذ ریز اطراف را دارد؛ بنابراین سرعت حرکت جبهه به سوی چاه تولیدی در اثر این نفوذ کاهش می‌یابد. در حالی که پس از افزایش دبی و رسیدن به یک دبی خاص، سیال فرصت نفوذ به این منافذ را ندارد و مسیر حرکت با تراوایی بالاتر را طی می‌کند. پس از این دبی تقریباً اثر نفوذ به منافذ اطراف از بین می‌رود و زمان رسیدن جبهه به چاه تولیدی تغییر چندانی نمی‌کند.

۲-۵ بررسی اثر مرزهای بدون جریان بر شکل خطوط جریان

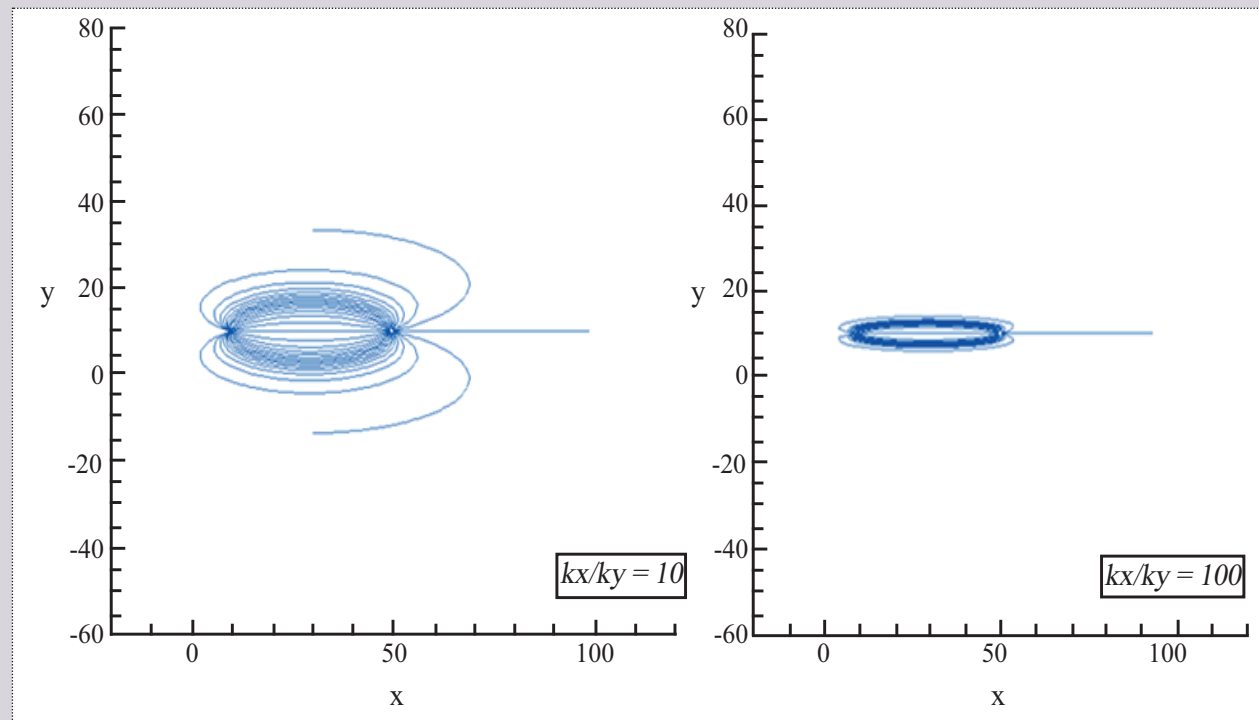
مخزنی را با نسبت تراوایی $k_x/k_y=100$ در نظر بگیرید. در ابتدا فرض می‌کنیم که هیچ مرز بدون جریانی در نزدیکی چاه‌ها وجود ندارد که باعث تغییر شکل خطوط جریان شود. با توجه به شکل ۴ (سمت چپ) در غیاب مرز بدون جریان در این مدت فقط تعداد اندکی از خطوط جریان به چاه تولیدی رسیده‌اند. حال اگر در نزدیکی چاه‌ها در میدان فرضی یاد شده دو گسل مسدود کننده در مکان‌های $Y=25$ و $Y=-25$ وجود داشته باشد، شکل خطوط جریان به دلیل وجود این مرزهای بدون جریان تغییر خواهد کرد. مطابق شکل ۴ (سمت راست) خطوط جریان با سرعت بیشتری نسبت به حالت بدون گسل مسدود کننده به سمت چاه تولیدی پیش می‌روند. پیشرفت خطوط جریان در حضور دو مرز بدون جریان موازی در نزدیکی چاه‌ها و در غیاب مرزهای بدون جریان، پس از گذشت ۳۰۰۰ روز از آغاز تزریق، در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، تمامی خطوط جریانی که به سمت چاه تولیدی در حرکت بودند، پس از ۳۰۰۰ روز به چاه تولیدی رسیده‌اند [۳].

۲-۶ بررسی اثر ناهمسانگردی بر شکل خطوط جریان

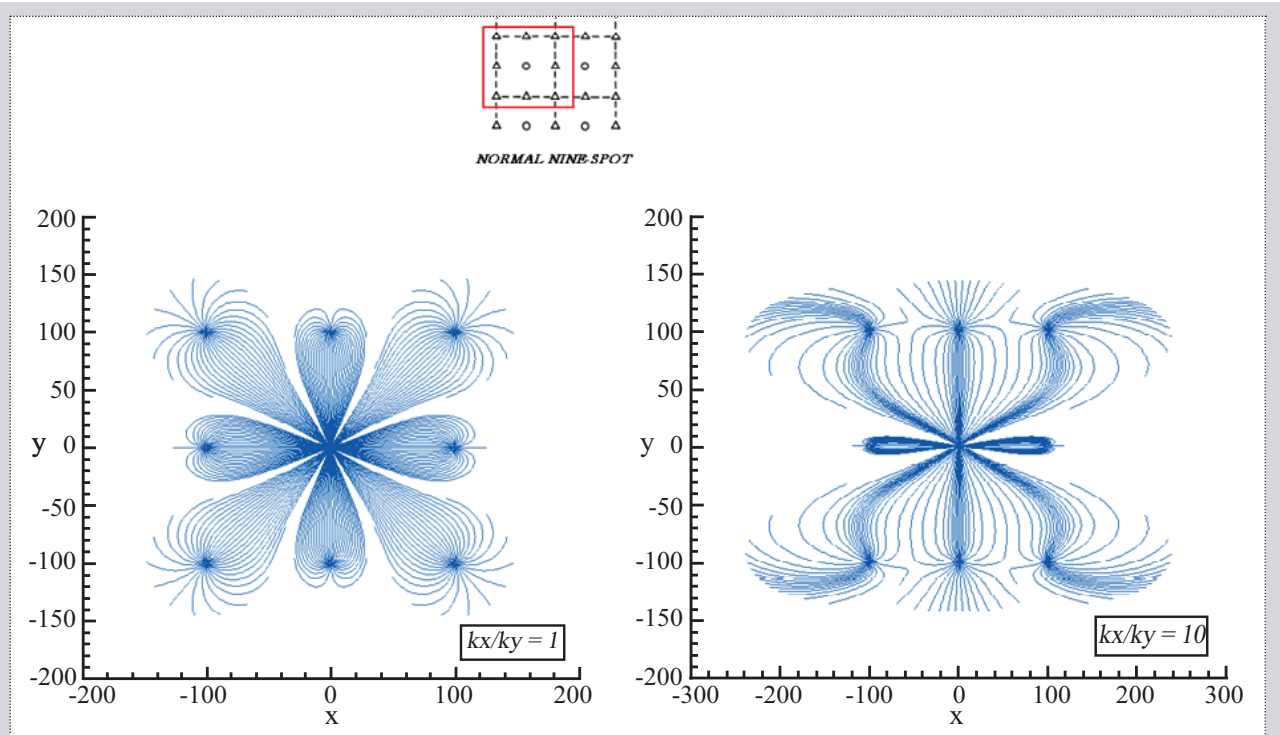
در واقع شکل خطوط جریان از چاه تزریقی تا چاه تولیدی توسط تراوایی محیط متخلخلی که سیال در آن جاری است، مشخص می‌شود.



شکل ۴ | مقایسه شکل خطوط جریان در غیاب (سمت چپ) و حضور (سمت راست) دو مرز بدون جریان [۳]



شکل ۵ | بررسی اثر ناهمسانگردی بر شکل خطوط جریان، نسبت تراوایی $K_x/K_y = 10$ (سمت چپ)، نسبت تراوایی $K_x/K_y = 100$ (سمت راست) [۳]



شکل ۶ | الگوی سیلابزنی استاندارد حالت نه نقطه‌ای عادی در دو حالت همسانگرد و ناهمسانگرد [۳] و [۵]

جاروب خواهد شد. لذا انتخاب الگوی مناسب برای تزریق به شدت وابسته به میزان ناهمسانگردی مخزن خواهد بود.

نتیجه‌گیری

طبق شبیه‌سازی‌های انجام شده، زمان برونزد سیال تزریقی در یک دبی تزریق مشخص به نسبت تراوایی‌های عمودی به افقی بستگی دارد و به اندازه مطلق آن‌ها وابسته نیست.

در نسبت‌های تراوایی پایین، میزان تأثیر نسبت تراوایی بر زمان برونزد سیال تزریقی بیشتر است. این موضوع در انتخاب الگوهای چاه‌های تزریقی و هم‌چنین در انتخاب محل تزریق چاه بسیار مهم است.

نمی‌توان گفت که همواره با افزایش دبی، حجم جاروب شده و به تبع آن میزان بازیافت افزایش می‌یابد؛ بلکه همواره نقطه بهینه‌ای وجود دارد که در آن بیشترین بازیافت صورت می‌گیرد.

تأثیر دبی تزریقی بر حجم جاروب شده در نسبت‌های تراوایی زیاد (ناهمسانگردی زیاد) بسیار بیشتر است. دانستن میزان ناهمسانگردی مخزن راهنمای خوبی در انتخاب بهترین دبی تزریق می‌باشد.

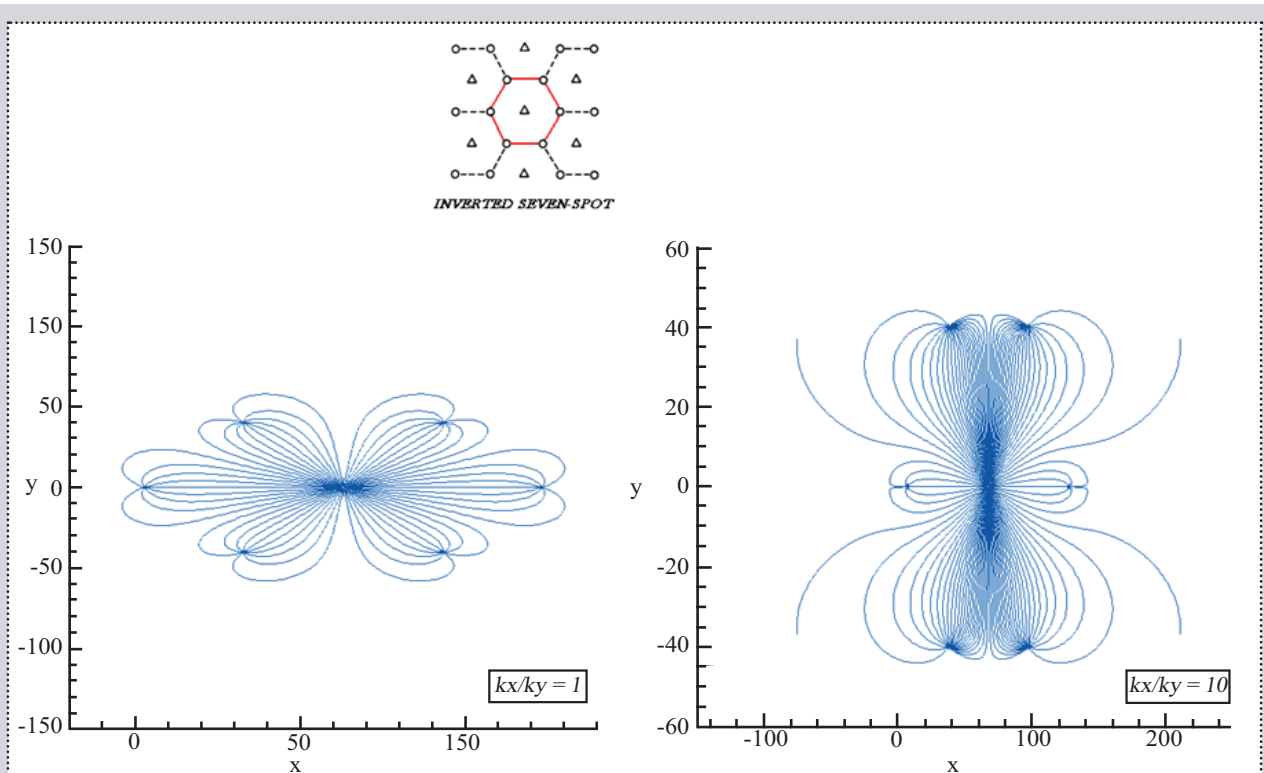
اگر فاصله میان چاه تزریقی و تولیدی زیاد باشد، اثر میزان دبی تزریقی بر زمان برونزد بیشتر خواهد بود. این نکته در ارزیابی اقتصادی پروژه‌های سیلابزنی اهمیت دارد.

بیشتر دارای کشیدگی شود.

شکل ۵ (سمت راست) همان الگوی دو نقطه‌ای رسم شده در شکل ۵ (سمت چپ) است، با این تفاوت که نسبت تراوایی افقی به عمودی از ۱۰ به ۱۰۰ افزایش یافته است. همانطور که در شکل سمت راست دیده می‌شود نمودار خطوط جریان در جهت تراوایی بیشتر، یعنی جهت x ، دارای کشیدگی بیشتری نسبت به شکل سمت چپ است. زیرا در شکل سمت راست تراوایی در جهت x ، ۱۰ برابر نسبت به حالت قبل افزایش یافته است. بنابراین سیال تمایل بسیار کمی برای حرکت در جهت y دارد. با مقایسه شکل ۵ (سمت چپ و راست) متوجه می‌شویم که با افزایش نسبت تراوایی‌ها، منطقه جاروب شده توسط سیال تزریقی کاهش می‌یابد. توجه به این نکته در طراحی مکان چاه‌های تزریقی بسیار حائز اهمیت است. یعنی در صورت وجود ناهمسانگردی زیاد در مخزن، باید مکان چاه‌ها به گونه‌ای انتخاب شود که سیال در جهت تراوایی کمتر تزریق شود. در این صورت حجم جاروب شده افزایش می‌یابد.

در ادامه نمودارهای خطوط جریان برای الگوهای استاندارد سیلابزنی چاه در دو حالت تراوایی همسانگرد و ناهمسانگرد (نسبت تراوایی به ترتیب ۱ و ۱۰) آورده شده است [۵].

مطابق شکل‌های ۶ و ۷ در بعضی از الگوها ناهمسانگردی باعث کاهش ناحیه جاروب می‌شود و در برخی دیگر باعث افزایش ناحیه



شکل ۷ | الگوی سیلاب‌زنی استاندارد حالت هفت نقطه‌ای معکوس در دو حالت همسانگرد و ناهمسانگرد [۳] و [۵]

جریان در مخازن نفتی»، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، پروژه کارشناسی، سال ۱۳۸۹.

- [4] Thiele, M.R.: "streamline simulation", 7th international forum on reservoir simulation, Germany, StreamSim Technologies, Inc. 2003
- [5] Pope, G.A.: "Fluid Flow through Permeable Media", Department of Petroleum and Geosystems Engineering, the University of Texas at Austin, January 2006.
- [6] Based on Pope, G.A. "Fluid Flow through Permeable Media": "2DS User's Guide", CPGE, UT-Austin, October 2002.
- [7] Batycky, P.R., Blunt, M.J., and Thiele, M.R.: "A 3D Field Scale Streamline-Based Reservoir Simulator," SPERE (1997) 12, No. 4, 246-254.

شناسایی نوع ناهمسانگردی مخزن در انتخاب الگوی استاندارد چاه‌های تزریقی بسیار اهمیت دارد، زیرا برخی الگوها برای مخازن همسانگرد و برخی دیگر برای مخازن ناهمسانگرد مناسبند.

منابع

- [۱] مسلم یار محمدی، «بررسی شبیه سازی مخازن با استفاده از روش خطوط جریان»، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، پروژه کارشناسی، سال ۱۳۸۸.
- [۲] مهندس رضا سربابی میانجی، «برنامه نویسی مقدماتی - پیشرفته C++»، انتشارات کتاب آوا.
- [۳] فائزه همایون افشار، «توسعه نرم افزار دو بعدی ترسیم خطوط