دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال نهم، شماره‌ی ۳۳
زمستان ۱۳۹۶، صفحات ۵۹-۵۳

بررسی علل و روش‌های جلوگیری از مخروطی شدن آب و شبیه‌سازی آن در یکی از مخازن گازی ایران با استفاده از نرم‌افزار اکلیپس

مجید نیک‌پی
گروه مهندسی نفت، واحدگچساران، دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران، ایران
Email: nikpeymajid@gmail.com

سید روح الله تقی‌زاده
گروه مهندسی نفت، واحدگچساران، دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران، ایران

چکیده

حرکت مخروطی یکی از شایع‌ترین مشکلات در تولید هیدروکربن از مخازن ایران به خصوص مخازن شکاف‌دار می‌باشد. می‌توان با استفاده از راه‌کارهای گوناگونی نظیر کاهش دبی تولید، تغییر محل بازه تولیدی یا بستن چاه، حفر چاه‌های افقی، تکمیل دوگانه چاه‌ها، تولید همزمان آب و نفت، کاهش دبی تولید و استفاده از ژل پلیمر اثرات این پدیده را کاهش داد. در این تحقیق با استفاده از داده‌های واقعی یک چاه تولیدی در یکی از میادین گازی شکاف‌دار ایران، که مشکل تولید آب داشته است، مدل میدان به کمک نرم افزار ECLIPSE 300 شبیه‌سازی شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان دادند که دلیل اصلی تولید آب در این چاه مخروطی شدن آب می‌باشد. لذا، ابتدا پدیده مخروطی شدن آب و عوامل مؤثر بر آن در مخازن معمولی و شکاف‌دار نفتی مورد بررسی قرار گرفته است. سپس، به منظور بررسی بهتر عوامل مؤثر بر پدیده مخروطی شدن، آنالیز حساسیت روی پارامترهای مختلف شکاف و ماتریکس از جمله تراوایی و تخلخل انجام گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دادند که عواملی چون تراوایی عمودی و افقی شکاف، تراوایی افقی ماتریکس، تخلخل شکاف و ماتریکس تأثیر به‌سزایی در زمان میان شکنی آب و تولید آن دارند که درک مناسب آن‌ها، به تشخیص بهتر پدیده مخروطی شدن منجر می‌گردد.

کلیدواژه: مخازن گازی، مخروطی شدن آب، مخازن ترک‌دار، شبیه‌سازی، نرم افزار اکلیپس.

مقدمه

پدیده مخروطی شدن[1] عموماً در مخازن گازی و نفتی تحت رانش آب و کلاهک گازی[2] رخ می‌دهد. در این پدیده آب و گاز از پایین و بالای محل مشبک کاری شده وارد چاه می شود و باعث بروز مشکلاتی در درون چاه، مخزن و تاسیسات سر چاهی می‌شود.

پدیده مخروطی شدن می‌تواند در نتیجه گرادیان فشار[3] اضافی در دهانه چاه باشد. این گرادیان فشار می‌تواند ناشی از تولید بالاتر از دبی بحرانی باشد که باعث بالا آمدن سطح تماس آب- نفت[4] و گاز- نفت[5] به سمت محل مشبک کاری شده و ورود آب و گاز به درون چاه شود. همچنین یک آبده[6] قوی و تراوایی عمودی بالا می‌تواند در به‌وجود آمدن این پدیده نقش مضاعفی داشته باشد.

خاصیت ترشوندگی[7] سنگ مخزن نیز بسیار مهم است. اگر سنگ مخزن آب‌دوست باشد باعث بیش‌تر شدن نیروی موئینگی در آبده می‌شود و آب سریع‌تر به چاه می‌رسد. معمولاً این پدیده هنگامی رخ می‌دهد که دبی تولید بالایی به چاه تحمیل می‌شود و از این رو عاملی است که سبب محدود کردن دبی تولید نفت از چاه می‌گردد.

بررسی پدیده مخروطی شدن آب در مخازن شکاف‌دار به منظور تعیین دبی بحرانی و t_{BT} بر اساس خواص مخزن انجام می‌شود. در مخازن شکاف‌دار به دلیل ناهمگن بودن و توزیع غیریکنواخت شکاف‌ها، نحوه توسعه مخروط به سمت بازه تولیدی چاه غیر منظم می‌باشد. تخمین دبی بحرانی و t_{BT} نیاز به مدل کردن مخزن همراه با دانستن نحوه توزیع شکاف‌ها در اطراف چاه تولیدی دارد.

در قسمت‌هایی که تراوایی بالا می‌باشد، صعود و پیش‌روی سیال در آن منطقه بالاتر خواهد بود و احتمال مخروطی شدن از آن منطقه بالاتر می‌رود.

به همین دلیل وجود ناهمگنی در مخازن شکاف‌دار سبب می‌شود که معادلات ارائه شده در مخازن معمولی در مخازن شکاف‌دار کاربرد چندانی نداشته باشد.

تعیین زمان رسیدن مخروط به بازه تولیدی نیاز به بررسی اشباع در شکاف‌ها و ماتریس دارد. در مخازن با سیستم دوگانه، هم‌زمان با شروع تولید، دو مخروط سریع و آهسته در مخزن به‌وجود می‌آید. مخروط سریع در شکاف‌ها و مخروط آهسته در ماتریس‌ها شکل می‌گیرند. موقعیت این دو مخروط نسبت به یکدیگر به دبی، خواص مخزن و خواص شکاف‌ها بستگی دارد. زمان t_{BT}، در سیستم‌های شکاف‌دار، کوتاه‌تر و دبی بحرانی در آن‌ها کم‌تر می‌باشد، در نتیجه تولید نفت با دبی کم‌تر از دبی بحرانی، دبی بسیار کمی می‌باشد که غیر اقتصادی است. در مخازن شکاف‌دار، تراوایی شکاف‌ها در جهت عمودی تأثیر زیادی بر رفتار مخروطی شدن دارد. مخروط در مسیری توسعه می‌یابد که کم‌ترین مقاومت در مسیر حرکت وجود داشته باشد. به همین دلیل ناهمگنی سبب توسعه نامنظم مخروط می‌شود. در نتیجه تعیین موقعیت بهینه بازه تولیدی و رابطه آن با تولید نفت و آب پیچیده‌تر می‌باشد. علاوه بر این، تابع سایز بلوک‌های ماتریس و دانسیته شکاف‌ها در جهت عمودی و افقی نیز است. در این مخازن، جریان سیال در نزدیک چاه به دلیل سرعت بالای جریان در شکاف‌ها نسبت به ماتریس، به طور معمول به صورت آشفته می‌باشد و افت فشار اضافی در سیستم بوجود می‌آید که این افت فشار تابعی از دبی می‌باشد.

عوامل موثر بر ایجاد پدیده مخروطی شدن سیال

مخروطی شدن آب در مخازن نفتی بستگی به پارامترهای مختلفی از قبیل اختلاف دانسیته میان آب و نفت، نسبت

1- Water Coning
2- Gas Cap
3- Pressure Drawdown
4- WOC
5- GOC
6- Aquifer
7- Wettability

ویسکوزیته نفت و آب، نسبت رخنه چاه، نسبت تحرک‌پذیری، نسبت نفوذپذیری سازند، فشار موئینگی، ترشوندگی سنگ مخزن، دبی تولید نفت، ضخامت آبران و ضریب پوسته دارد.

مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی مخازن

شبیه‌سازی ایجاد مدل ریاضی است که تا حد زیادی با مدل واقعی شباهت دارد و از این مدل ریاضی می‌توان برای پیش‌بینی رفتار آینده مدل واقعی استفاده کرد. در این صورت می‌توان به‌راحتی سناریوهای مختلف را برای مخزن ایجاد کرد و نتایج حاصل را به‌دست آورد و مشخصات مخزن را بعد از اجرای سناریوها دید. بنابراین می‌توان از بین نتایج مختلف حالت بهینه را پیدا کرد. اجرای یک سناریو به‌صورت واقعی زمان و هزینه زیادی را به‌همراه دارد و ممکن است، سناریوی مطلوبی نباشد. در شبیه‌سازی مخازن برای آن‌که بتوانیم از رفتار آینده مخزن شناخت پیدا کنیم باید مدلی ایجاد کنیم که این مدل با توجه به اطلاعات مخزن واقعی شناخته شده ایجاد شده باشد و رفتار گذشته مخزن را بتواند نشان دهد. با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از بخش‌های مختلف زمین شناسی، ژئوفیزیک، حفاری، آزمایش‌های چاه، آزمایش‌های مغزه، آزمایش‌های سیالات مخزن و تاریخچه تولید مخزن و ... می‌توان این مدل را ایجاد کرد. به‌طور کلی دلایل استفاده از شبیه‌سازی عبارتند از:

- دستیابی به دید سه بعدی
- پیش‌بینی عملکرد مخزن در سناریوهای مختلف
- آگاهی از رفتار فازی سیالات مخزن
- مواجه بودن با فاکتورهای زیاد در محاسبات
- ارزان بودن روش
- بررسی روش‌های مختلف تولید و انتخاب بهترین روش EOR
- بهینه‌سازی محل حفر چاه‌ها، تکمیل چاه‌ها و حفر چاه‌های میانی
- امکان بررسی تأثیر پارامترهای مختلف

نگاهی بر مدل‌های شبیه‌ساز پدیده مخروطی شدن آب

پدیده مخروطی شدن آب یکی از مهم‌ترین مسائل در شبیه سازی رفتار مخزن می‌باشد. به سبب حرکت شعاعی در اطراف چاه، سرعت سیال در این ناحیه بسیار بالا می‌باشد. در ناحیه اطراف چاه اندازه بلوک‌ها کوچک در نظر گرفته می‌شود و از آن‌جا که معادلات حرکت سیال به‌صورت غیر خطی می‌باشند، کوچک بودن بلوک می‌تواند باعث عدم پایائی سیستم گردد. طی سالیان متمادی محققین بسیاری در مورد شبیه‌سازی پدیده مخروطی شدن آب تحقیق نموده‌اند. در سال ۱۹۶۹ Blair و Weinhang مدلی را بر اساس روش ضمنی در مورد پدیده مخروطی شدن ارائه دادند. مدل آن‌ها به‌صورت روابط محدود در هر فاز به‌صورت زیر می‌باشد.

$$\Delta_{xy}[C\rho_1 k_{r1}(\Delta xy\rho_1 - \rho_1 g\Delta h)]^{n+1} + q\rho_1 - \frac{Q}{\Delta t}t[(\rho_i S_i)^{n+1} - (\rho_i S_i)^n] = r_h \quad (۱)$$

روابط تفاضل محدود به‌وسیله روش تکرار نیوتن به‌صورت خطی در می‌آید و معادلات به‌دست آمده به‌وسیله روش‌های تکرار حل می‌گردند. روش دیگر تحت عنوان نیمه ضمنی می‌باشد که در سال ۱۹۷۰ معرفی گردید. در این روش سعی گردید که غیر خطی بودن معادلات مربوط به تراوایی نسبی و فشار موئینگی به‌صورت زیر در آیند:

$$K_{r1}^{n+1} = K_r^n + \frac{\partial k_n}{\partial s_1}\Delta_t\delta_1 \quad (۲)$$

$$P_c^n = P_c^n + \frac{\partial P_c}{\partial S_1}\Delta_t S_1 \quad (۳)$$

معادلات دیفرانسیل برای یک فاز به‌صورت زیر نوشته می‌شود.

$$P_w^{n+1} = P_o^{n+1} - \left[P_c^n + \frac{\partial P_c}{\partial S_w}\Delta_t S_w\right] \quad (۴)$$

در سال ۱۹۷۳ Letkemean و Ridings معادله بالا را به‌صورت خطی و به شکل زیر در آورد:

$$\Delta_{xy}P_1^{n+1}\Delta_t \approx \Delta_{xy}P_1^{n}\Delta_t S_1 \qquad (۵)$$

ارائه دهندگان این روش به منظور بیان تقریب مشتق تراوایی از شیب متوسط استفاده نمودند. اگر تغییرات در شیب تراوایی نسبی در یک مرحله زمانی زیاد باشد میزان آن مرحله زمانی کاهش پیدا می‌کند.

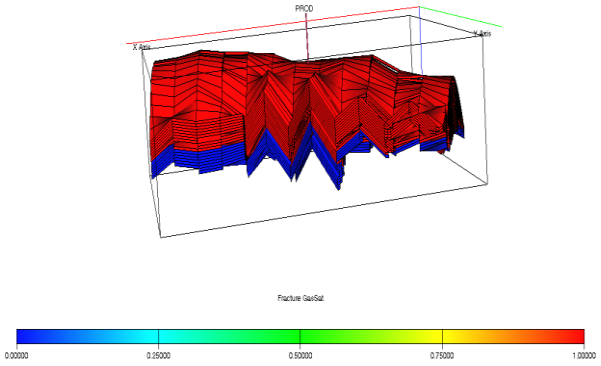
مدل‌سازی مخزن مورد نظر

مخزن مورد نظر یکی از مخازن جنوب کشور می‌باشد. ترکیب سیال فوق در جدول ۱ داده شده است:

جدول۱-ترکیب سیال گازی مخزن مورد مطالعه

Componets	Mole fraction	Molecular weights
N2	/۰۳۵	۲۸/۰۱۳
C1	/۸۸۸۳	۱۶/۰۴۳
C3+	/۰۵۲۹	۳۳/۲۵۸۵
C3	/۰۱۰۶	۴۴/۰۹۷
C4+	/۰۰۷۹	۶۲/۷۴۰۴
C6	/۰۰۱۶	۸۴
C7+	/۰۰۳۱۰۲۰۵	۱۱۳/۳۰۶۲
C12+	/۰۰۰۵۷۹۵	۱۸۷/۹۶۳۵۰

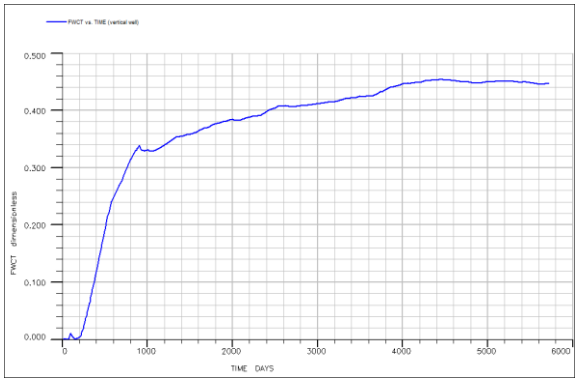
مخزن مورد نظر به‌صورت سه بعدی در نظر گرفته شده و گریدبندی در ۳ جهت انجام پذیرفته است به‌طوری‌که در جهت‌های X، Y و Z تعداد ۱۲، ۲۴ و ۵۰ گرید در نظر گرفته شده است. چون پدیده مخروطی شدن آب فقط در قسمت مشبک‌کاری شده یک چاه و زیر آن رخ می‌دهد و جهت بررسی آن تنها بلوک‌های اطراف چاه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل ۱ نمایی سه بعدی از مخزن مورد نظر ارائه شده است. اطلاعات تراوایی نسبی، فشار مویینه، مشخصات سیال و ... به مدل داده شده است. نرم‌افزار استفاده شده جهت مدل‌سازی ترمودینامیکی گاز مخزن نرم افزار PVTi می‌باشد. معادله حالت استفاده شده معادله Peng Robinson(3-Parameter) می‌باشد و از معادله Lohrenz-Bray-Clark جهت پیش‌بینی گرانروی استفاده شده است. پس از انجام شبیه‌سازی تست تطبیق تاریخچه جهت اطمینان از صحت پیش بینی مدل ایجاد شده انجام پذیرفت.



شکل۱: نمایی سه بعدی از مخزن مورد مطالعه

شبیه‌سازی دینامیکی مخزن

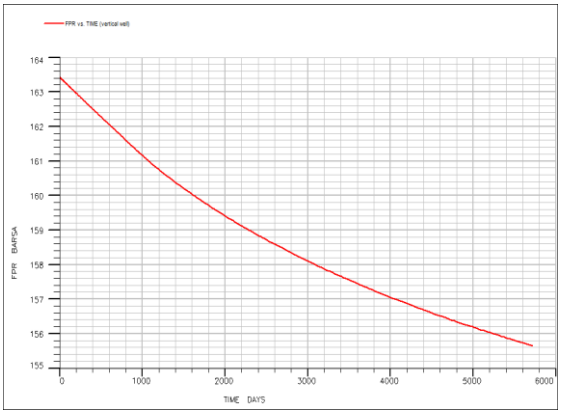
در نمودار ۲ میزان برش آب در برابر زمان درکنار تولید روزانه گاز از این چاه نشان داده شده است.



نمودار ۲: نمودار برش آب در مقابل زمان در حالت تولید عادی

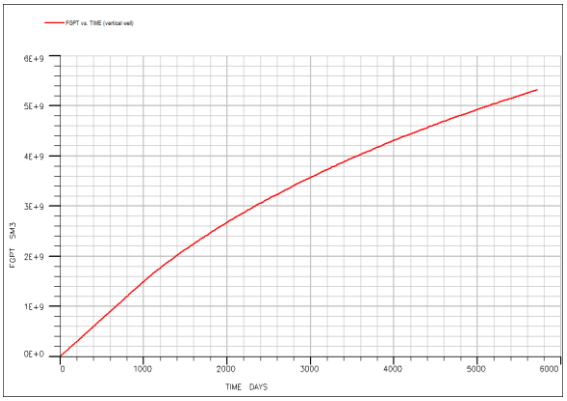
در نمودار بالا میزان برش آب در این مدت نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل هم مشاهده می‌نمائید به فاصله ۱۹۸ روز از شروع تولید چاه شروع به تولید آب کرده است. تولید آب در واقع نشانه‌ای برای رخ دادن پدیده مخروطی شدن در اطراف این چاه در مخزن مورد مطالعه می‌باشد. چون همراه گاز، آب نیز تولید می‌شود و این آب به‌عنوان نیروی پیشران در تولید گاز ایفای نقش می‌کرده است لذا مخزن در طی عمر خود با افزایش افت فشار نیز مواجه شده است. فشار اولیه گاز در عمق ۱۲۰۰متری، برابر با ۱۶۳ BAR می‌باشد.

فشار مخزن هم اکنون ۱۵۵ BAR می‌باشد. نمودار افت فشار مخزن در طول دوره تولید به‌صورت نمودار ۳ می‌باشد.

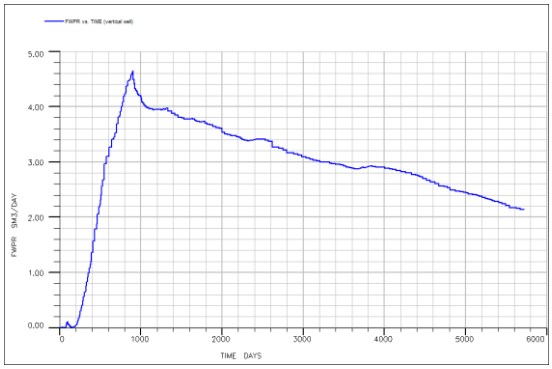


نمودار ۳: نمودار فشار مخزن در برابر زمان برای تولید عادی

سناریوهای کنترل پدیده مخروطی شدن از ابتدای شروع تولید از چاه به‌کار گرفته شده‌اند و شبیه‌سازی از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ انجام شده است. سپس این سناریوها با حالتی که در چاه هیچ روش پیشگیری از مخروطی شدن در آن بکار گرفته نشده است مقایسه شده‌اند. نمودارهای (۴ و ۵) تولید آب و کل گاز تولیدی برای چاه شماره یک را تا سال ۲۰۲۰ نشان می‌دهد.



نمودار ۴: نمودار کل گاز تولیدی در مقابل زمان برای تولید عادی



نمودار ۵: نمودار دبی تولید آب در مقابل زمان برای تولید عادی

البته باید توجه داشت که تولید با دبی‌های کم تنها باعث می‌شود که میان شکنی آب به تاخیر بیفتد و نمی‌تواند تأثیری در تشکیل یک مخروط پایدار داشته باشد. پس یک مخروط پایدار نمی‌تواند تشکیل شود مگر این‌که دبی تولید صفر باشد. هدف اصلی به‌کار گیری روش‌های کنترل مخروطی شدن آب در این چاه به حداقل رساندن برش، دبی و تولید نهایی آب و به حداکثر رساندن دبی و تولید نهایی گاز است. پس بهترین روش آن است که همه این خصوصیات را یکجا داشته باشد.

بررسی تأثیر پارامترهای مخازن شکاف‌دار بر مخروطی شدن آب

در این بخش با استفاده از نرم افزار اکلیپس ۳۰۰ به بررسی تاثیر پارامترهای مخازن شکاف‌دار بر رفتار مخروطی شدن آب در یکی از مخازن شکاف‌دارگازی جنوب ایران پرداخته شده است که نتیجه آن در بررسی پدیده مخروطی شدن درمخازن شکاف‌دار می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد علاوه بر این با توجه به شناخت تأثیر هر یک از پارامترها بر زمان رسیدن مخروط به بازه تولیدی چاه وبرش آب تطبیق تاریخچه تولید آب ازمخازن شکاف‌دار به طور مناسبی می‌تواند انجام گیرد.

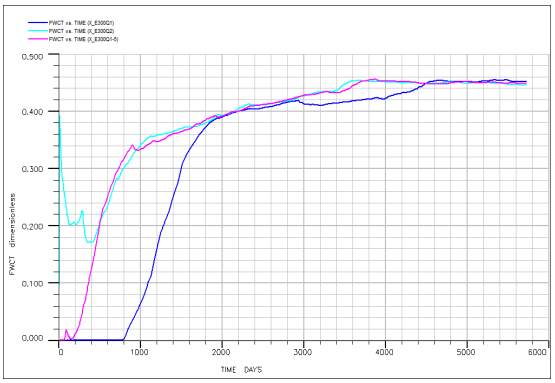
تاثیر دبی تولید

یکی از پارامترهای قابل کنترل در پدیده مخروطی شدن آب، دبی تولید می‌باشد. در مخازن گازی Conventional برای هر

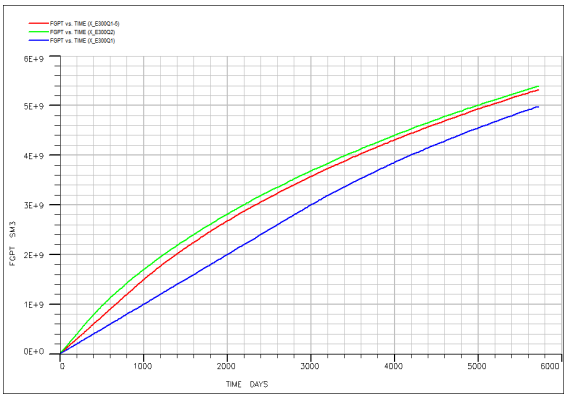
چاه، دبی بحرانی تولید وجود دارد که مخروطی شدن آب را می‌توان به‌وسیله آن کنترل نمود. روابط ریاضی و تجربی بسیاری توسط پژوهشگران برای دبی بحرانی در مخازن Conventional به‌دست آمده است اما در مخازن شکافدار چون بیش‌تر چاه‌ها توانایی تولید بالایی دارند، بحث دبی بحرانی از لحاظ شرایط اقتصادی کم اهمیت است.

بنابراین بهینه کردن دبی تولید برای کنترل مخروطی شدن آب با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی امکان‌پذیر خواهد بود. نتایج تحقیقات نشان داده است که کم شدن دبی تولید زمان میان گذر شدن آب را به تأخیر می‌اندازد و شیب نمودار تولید آب با افزایش دبی تولید، افزایش می‌یابد.

نمودار مقایسه‌ای برش آب و تولید تجمعی گاز برای مقادیر مختلف دبی تولیدی به‌صورت نمودارهای (۶ و ۷) می‌باشند. همچنین نتایج مقایسه در جدول ۲ آورده شده است.



نمودار ۶: مقایسه برش آب برای مقادیر مختلف دبی تولید



نمودار ۷: مقایسه تولید انباشتی گاز برای مقادیر مختلف دبی تولید

جدول ۲- مقایسه بین مقادیر مختلف دبی تولیدی

No	Work Over Type	Breakthroug Time(*day*)	Fwct(15 years)	FGPT(SM^3)
۱	Q=۱/۵ MM m^3	۲۰۰	۰/۴۵	۵/۳۱۸۱×۱۰^{۹}
۲	Q=۱ MM m^3	۸۰۰	۰/۴۴	۵/۷۲۲۹×۱۰^{۹}
۳	Q=۲ MM m^3	۶	۰/۴۴	۴/۹۸۱۱×۱۰^{۹}

همان‌طور که مشاهده می‌نمایید در این روش با توجه به مقادیر مختلف دبی تولیدی با افزایش مقدار دبی باعث افزایش میزان افت فشار در داخل مخزن شده و در نتیجه زمان میان گذر شدن کاهش و میزان برش آب تقریبا ثابت است. همچنین با افزایش میزان دبی تولیدی میزان تولید انباشتی گاز نیز افزایش می‌یابد.

تراوایی شکاف

تراوایی شکاف نیز یکی از پارامترهای غیر قابل کنترل بر پدیده مخروطی شدن است. زیرا در مخازن شکاف‌دار جبهه آب درون شکاف‌ها خیلی سریع‌تر از ماتریکس حرکت می‌کند.

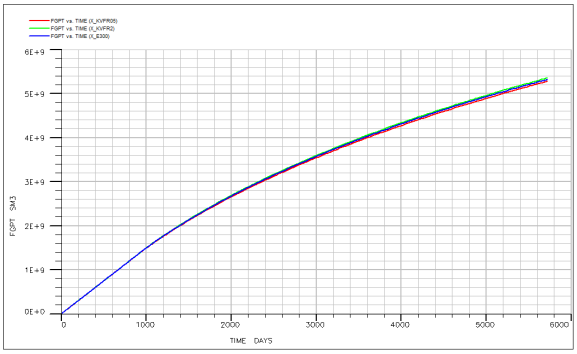
آیزوتروپیک بودن مخزن و جهت تراوایی شکاف‌ها نیز بر روی زمان میان گذر شدن موثر و قابل مطالعه می‌باشد.

تغییرات تراوایی عمودی شکاف‌ها

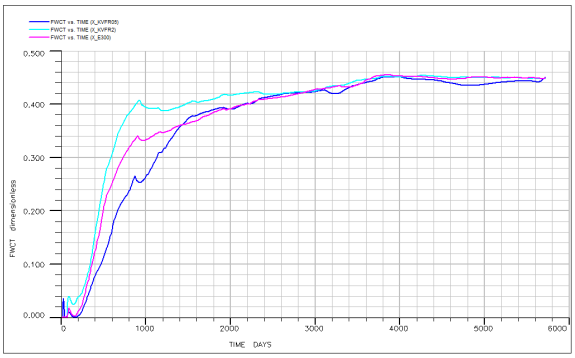
در این حالت وقتی که تراوایی عمودی کاهش می‌یابد، زمان میان‌گذر شدن افزایش می‌یابد در حالی‌که تغییرات تراوایی افقی بر روی زمان میان‌گذر شدن نسبت به تغییرات تراوایی عمودی قابل توجه نیست. در اکثر موارد شیب نمودار تولید آب بعد از زمان میان‌گذر شدن به سمت یک عدد میل پیدا می‌کند.

وقتی که تراوایی عمودی شکاف‌ها کم باشد تأثیر تراوایی افقی بر روی زمان میان‌گذر شدن بیش‌تر از حالتی است که تراوایی افقی شکاف‌ها زیاد باشد. نمودار مقایسه‌ای برش آب

و تولید تجمعی گاز برای مقادیر مختلف تراوایی عمودی شکاف به‌صورت نمودارهای (۸ و ۹) می‌باشند.



نمودار ۸: مقایسه برش آب برای مقادیر مختلف تراوایی عمودی شکاف



نمودار ۹: مقایسه تولید انباشتی گاز برای مقادیر مختلف تراوایی عمودی شکاف

نتیجه‌گیری

۱- با توجه به تأثیر چشم‌گیر دبی برداشت بر روی میزان تولید آب، به نظر می‌رسد که ساده‌ترین روش به منظور کاهش پدیده مخروطی شدن آب، پایین آوردن دبی برداشت می‌باشد. البته باید مدنظر داشت که در بسیاری از موارد کاهش بیش از حد دبی برداشت، از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه نبوده بنابراین کاهش دبی به‌عنوان یک راه حل قطعی نمی‌توان در نظر داشت.

۲- با استفاده از مقایسه منحنی‌های تولید آب مشخص شد که رفتار تولید آب بیش از همه تابع تولید گاز از مخازن شکاف‌دار می‌باشد و باعث تغییرات بیش‌تری در زمان میان‌شکنی نسبت به تغییرات سایر پارامترهای سیستم شکاف‌دار می‌شود.

۳- زمانی که تراوایی افقی شکاف‌ها کم باشد شیب نمودار تولید آب بعد از زمان میان گذر شدن، افزایش می‌یابد و شیب این نمودار زمانی که تراوایی افقی شکاف‌ها افزایش می‌یابد، کم می‌شود. این پدیده بدین صورت توصیف می‌شود که افزایش تراوایی افقی شکاف‌ها به توزیع بهتر سیال در جهت افقی کمک می‌کند. بنابراین آب راحت‌تر در جهت افقی حرکت می‌کند و نیروی ثقلی می‌تواند قوی‌تر عمل کند.

۴- افزایش تخلخل شکاف زمان میان‌شکنی را افزایش می‌دهد. در حقیقت این امر به دلیل افزایش یافتن سطح مقطع شکاف‌ها است و سیال در داخل مخزن پخش شده و دیرتر به بازه تولیدی چاه می‌رسد و باعث کاهش سرعت حرکت سیال نیز می‌شود.

منابع

[1] Ahmed, T., 2001, Reservoir Engineering Handbook. Gulf Publishing Company, Texas.
[2] Muskat, M.; Wyckoff, R. D., 1935, An Approximate theory of Water Coning in Oil Production. Trans. AIME. 114-144.
[3] Meyer, H. I.; Garder, A.O., 1954, Mechanics of Immiscible Fluids in Prous Media, J. APPI. phys.. 25: 1400-1406.
[4] Sobocinski, D. P, and Cornelius, A. J., 1965, A Correlation for Predicting Water Coning Time, JPT, pp. 594–600.
[5] Schols, R.S., 1972, An Empirical Formula for the Critical Oil Production Rate. Erdoel Erdgas Z. Vol. 88, No. 1.
[6] Yang, W.; Wattenbarger, R.A., 1991, Water Coning Calculation For Vertical and Horizontal Wells. SPE 22931.
[7] Guo, B.; Lee. R. L., 1993, A Simple Approach to Optimization of Completion Interval in Oil/Water Coning System. SPE 23994.
[8] Hidalgo, O. J.; Brito, L. E.; Garrido, R.; Munoz, J.; Flamenco, F.; Aguilera, R., 2009, Critical oil rates in naturally fractured reservoirs to minimize gas and water coning: case history of a Mexican carbonate reservoir. SPE 121743.
[9] Perez-Martinez, E.; Rodrihuez-de la Garza, F.; Samaniego-Verduzco, F., 2012, Water coning in naturally fractured carbonate reservoir-a simulation study.
[10] Johnsen, S.; Frost, T. K.. Hjelsvold, M.; Utvik, T. R., 2000, The Environmental Impact Factor, a Proposed Tool for Produces Water Impact Reduction, Management and Regulation. SPE 61178.
[11] Grini, P.G.; Hjelsvold, M.; Johnsen, S., 2002, Choosing Produced Water Treatment Technologies Based on Environmental Impact Reduction. SPE 74002.