بررسی پدیده مخروطی شدن آب در یکی از مخازن گازی شکافدار ایران

مهدی حسن‌زاده[۱]، شهاب گرامی[۲*] و محمدهادی پرهام‌وند[۳]

۱- شرکت بهره‌برداری نفت و گاز زاگرس جنوبی، شرکت نفت مناطق مرکزی ایران، شرکت ملی نفت ایران

۲- پژوهشکده ازدیاد برداشت، شرکت ملی نفت ایران

۳- شرکت مهندسی و خدمات چاه پیمایی مهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۸

چکیده

یکی از مشکلات دائمی در تولید نفت و گاز از مخازن هیدروکربوری تولید آب ناشی از پدیده مخروطی شدن می‌باشد. چنانچه چاهی با این مشکل مواجه شود، میزان تولید نفت و گاز آن تحت تاثیر قرار خواهد گرفت و هزینه‌های مربوطه را به شدت افزایش می‌دهد. مطالعات ثابت می‌کند برای هرگونه سناریوهای تولیدی یا توسعه یک میدان، مطالعه پارامترهای مخزنی جهت کنترل مخروطی شدن آب یا به تأخیر افتادن زمان میان‌شکنی بسیار مهم و ضروری می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق نشان دادن تاثیر پارامترهای کلیدی بر روی این پدیده در یکی از میادین گازی شکافدار ایران می‌باشد. بدین منظور یک مدل مصنوعی با استفاده از داده‌های واقعی در یک سیستم شعاعی ساخت و شبیه‌سازی شد، سپس تاثیر پارامترهای مختلف مخزنی روی میزان درصد برش آب تولیدی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها این نتیجه به دست می‌آید که تزریق جریان سیال غیر تراوا در لایه‌های زیرین سازندهای تولیدی باعث کاهش میزان درصد برش آب تولیدی شده و زمان رسیدن مخروط به دهانه چاه را افزایش می‌دهد. همچنین ثابت شد که تراوایی شکاف، ضخامت ستون گاز، نرخ جریان گاز، تعیین موقعیت تکمیل چاه و قدرت آبده از مهمترین پارامترهای تشکیل‌دهنده و تشدید کننده این پدیده هستند. همچنین مشخص شد که افزایش تخلخل ماتریس نسبت به تخلخل شکاف، افت فشار کمتری به مخزن وارد می‌کند و تولید آب را کاهش می دهد.

کلمات کلیدی: مخروطی شدن آب، مخازن شکافدار گازی، نیروی گرانشی، نیروی گرانروی، درصد برش آب.

مقدمه

پدیده مخروطی شدن آب در اثر عدم توازن بین نیروهای گرانروی[1] و گرانشی[2] رخ می‌دهد و در آن سطح تماس آب - گاز در نزدیکی دهانه چاه تغییر شکل داده و به صورت یک مخروط به سمت فاصله تکمیل چاه پیشروی می‌کند و نهایتاً آب وارد چاه می‌شود. یکی از مکانیزم‌های تولید آب اضافی در میادین نفت و گاز، آب ناشی از پدیده مخروطی

*مسؤول مکاتبات
آدرس الکترونیکی sg.petroleum@hotmail.com

1. Viscosity
2. Gravity

Archive of SID
www.SID.ir

شدن است که هزینه‌های بسیاری را به همراه دارد، هزینه‌های ناشی از ایجاد خوردگی، پایین آمدن میزان تولید، هزینه‌های پالایش، انجام آزمایشات و عملیات‌های مربوطه همگی به واسطه مشکل تولید آب نمک در میادین هیدروکربوری است [۱]. در کنار مشکلات ایجاد شده برای چاه و واحدهای بهره‌برداری، تولید آب و دفع آن اثرات زیان‌باری بر روی محیط زیست دارد به طوری که در ایالات متحده سالیانه بین ۵ تا ۱۰ میلیارد دلار صرف هزینه های دفع آن می‌شود [۲]. بررسی این پدیده و راهکارهای عملی مقابله با آن از اهمیت خاصی برخوردار است. از طرفی قیمت پایین گاز در طی دهه قبل باعث شده تا توجه به این مشکل در مخازن گازی کمتر مورد توجه و بررسی قرار گیرد. پژوهشگران صنایع نفت و گاز همزمان با افزایش تدریجی قیمت گاز به دنبال بالا رفتن تقاضای گاز طبیعی و کاهش در تأمین آن، مطالعات خود را به سمت کنترل و کاهش تولید آب در مخازن گازی گسترش داده‌اند. این در حالیست که بنا به اعلام موسسه اطلاعات انرژی در سال ۲۰۰۳، افزایش تقاضا برای گاز طبیعی سبب افزایش تولید سالیانه به میزان ۱/۸٪ بین سال‌های ۲۰۰۱ الی ۲۰۲۵ می‌باشد [۳]. با این روند افزایش رو به رشد مصرف گاز در بخش‌های صنعتی و خانگی تولید آب اضافی کماکان از مهمترین چالش‌هایی است که علی رغم تمام پیشرفت‌های به دست آمده در این زمینه با آن روبرو هستیم. وجود ناهمگنی در مخازن شکافدار سبب می‌شود که معادلات ارائه شده در مخازن معمولی، در این گونه مخازن کاربرد چندانی نداشته باشد. در مخازن شکافدار به دلیل ناهمگن بودن و توزیع غیر یکنواخت شکاف‌ها، نحوه توسعه مخروط به سمت بازه تولیدی چاه غیر منظم و دارای پیچیدگی‌های خاص خود می‌باشد. برای تخمین دبی بحرانی و زمان میان‌شکنی می‌بایست مخزن به همراه نحوه توزیع شکاف‌ها مدل‌سازی شود. با آنکه مطالعات بسیار گسترده‌ای در رابطه با مخازن معمولی وجود دارد اما تحقیقات اندکی در رابطه با مخازن شکافدار انجام شده که به طور نمونه می‌توان از تئوری بیرک نام برد [۴ و ۵]. تعیین زمان رسیدن مخروط به بازه تولیدی، نیاز به بررسی اشباع در شکاف‌ها و ماتریس دارد که در این گونه مخازن همزمان با شروع تولید، دو مخروط سریع و آهسته به وجود می آید، مخروط سریع در شکاف‌ها و مخروط آهسته در ماتریس شکل می‌گیرند. موقعیت این دو مخروط نسبت به یکدیگر به دبی تولیدی، خواص مخزن و خواص شکاف‌ها بستگی دارد [۶]. متأسفانه در مقایسه با چاه‌های نفتی مطالعات بسیار محدودی در مورد مخروطی شدن آب در چاه‌های گازی گزارش شده است، به همین علت بسیاری از محققان و کارشناسان صنایع نفت و گاز مخروطی شدن آب در چاه‌های گازی را به عنوان یک پدیده مشابه با مخروطی شدن آب در چاه‌های نفتی در نظر می‌گیرند. موسکات معتقد بود که مکانیزم فیزیکی مخروطی شدن آب در چاه‌های گازی مشابه با چاه‌های نفتی است، علاوه بر این او عقیده داشت که مخروطی شدن آب در چاه‌های گازی سبب بروز مشکلات کمتری نسبت به چاه‌های نفتی است [۷]. کبیر در سال ۱۹۸۳ با ساخت یک مدل در سیستم شعاعی و در حضور یک آبده قوی عملکرد یک چاه گازی را جهت بررسی پدیده مخروطی شدن آب مورد شبیه‌سازی قرار داد. او طی مطالعات خود به این نتیجه رسید که تراوایی و ضخامت ستون گازی مهمترین پارامترهای حاکم در این پدیده هستند، ولی پارامترهای از قبیل نرخ تولید گاز، وجود لایه های شیلی غیرتراوا، فواصل چاه و نقش تراوایی عمودی نسبت به افقی تاثیر کمتری در این پدیده دارند [۸]. در ادامه بئاتی و همکارانش در سال ۱۹۹۶ تاثیر پارامترهای مختلف مخزنی را بر روی این پدیده در یکی از مخازن گازی شکافدار مورد بررسی قرار دادند، آنها طی مطالعات

1. Critical Flow Rate
2. Breakthrough Time

Archive of SID

www.SID.ir

خـود بـه ایـن نتیجـه رسـیدند کـه بـالا بـودن نـرخ تولیـد گاز، وجـود یـک آبـده قـوی، بـالا بـودن تراوایـی عمـودی شـکاف و نزدیـک بـودن سـطح تمـاس آب - گاز بـا فواصـل مشـبک کاری باعـث تسـریع در تشـکیل ایـن پدیـده می‌شـود [۹]. جهـت کنتـرل تولیـد آب در پدیـده مخروطـی شـدن در مخـازن شـکافدار، فراگاچـن و واسـموت عملکـرد تزریـق ژل را مـورد بررسـی قـرار دادنـد. آنهـا طـی مطالعـات خـود بـه نتایـج موفقیـت آمیـزی در کنتـرل مخروطـی شـدن آب دسـت یافتنـد [۱۰ و ۱۱]. ریچـارد سـچ و همکارانـش بـا سـاخت یـک مـدل شـعاعی تولیـد آب در یـک چـاه گازی افقـی را مورد بررسـی قـرار دادنـد، مـدل آنهـا در مجـاورت یـک آبـده عـددی قـرار داشـت. نتایـج شبیه‌سـازی‌ها ثابـت کـرد کـه پارامترهـای نـرخ تولیـد گاز، قـدرت آبـده، ضخامـت سـتون گازی و موقعیـت تکمیـل چـاه عواملـی هسـتند کـه بـا افزایـش آنهـا تولیـد آب در یـک چـاه گازی افقـی تشـدید می‌شـود [۱۲]. نعمانـی و همکارانـش پدیـده مخروطـی شـدن آب بـر روی مخـازن نفتـی شـکافدار ایـران را بـا سـاخت دو مـدل شـعاعی و کارتزیـن مـورد بررسـی و شـبیه سـازی قـرار دادنـد. آنهـا بـه ایـن نتیجـه رسـیدند کـه ضخامـت سـتون نفتـی، تعییـن موقعیـت تکمیـل چـاه، تراوایـی شـکاف، نـرخ تولیـد نفـت و نسـبت تحـرک از عوامـل تاثیرگـذار در ایـن پدیـده محسـوب می‌شـود [۱۳]. اوکان پدیـده مخروطـی شـدن آب در مخـازن نفتـی شـکافدار را بـا سـاخت یـک مـدل شـعاعی مـورد بررسـی و شـبیه سـازی قـرار داد. نتایـج شبیه‌سـازی‌ها ثابـت کـرد بـا افزایـش تراوایـی شـکاف و نـرخ تولیـد نفـت، میـزان بـرش آب تولیـدی افزایـش پیـدا می‌کنـد از طرفـی عـرض شـکاف‌ها تاثیـری بـر روی بـرش آب تولیـدی در مخـازن شـکافدار نـدارد [۱۴]. وی- جـون شـن و همکارانـش مخروطـی شـدن آب را در یـک مخـزن ماسـه سـنگی شـکاف‌دار بررسـی و شـبیه سـازی کردنـد و بـه ایـن نتیجـه رسـیدند کـه تراوایـی ماتریـس و شـکاف، نسـبت تراوایـی عمـودی بـه افقـی، سـایز آبـده و نـرخ تولیـد گاز تأثیـر قابـل توجـه‌ای روی مخروطـی شـدن آب دارنـد [۱۵]. نصیـری و جعفـری بـه مطالعـه تولیـد آب از یـک مخـزن گازی در ایـران پرداختنـد. آنهـا بـا اسـتفاده از چـاه هـای افقـی توانسـتند زمـان میان‌شـکنی را افزایـش دهنـد و تولیـد بـا زیـر نـرخ بحرانـی را بـرای چاه‌هـای عمـودی توصیـه کردنـد [۱۶].

همـان طـور کـه در مباحـث بـالا اشـاره شـد، متأسـفانه محققـان صنایـع نفـت و گاز بیشـترین تحقیقـات خـود را بـر روی شناسـایی و کنتـرل پدیـده مخروطـی شـدن آب در چاه‌هـای نفتـی انجـام داده‌انـد. از آن جـا کـه کشـور عزیزمـان، دومیـن دارنـده ذخایـر اثبـات شـده گاز دنیـا می‌باشـد، انجـام مطالعـات پایـه ای و مفهومـی بـا اسـتفاده از داده هـای واقعـی امـری ضـروری و مهـم اسـت. بنابرایـن بررسـی پارامترهـای مختلـف جهـت دانسـتن مکانیـزم پدیـده مخروطـی شـدن آب ضـروری اسـت و بـا شـبیه سـازی ایـن پارامترهـا مـی تـوان زمـان میان‌شـکنی آب را بهینـه کـرد. در ایـن تحقیـق تأثیـر تزریـق جریـان سـیال غیـر تـراوا در لایه‌هـای زیریـن سـازند تولیـدی، تراوایـی شـکاف، ضخامـت سـتون گاز، نـرخ جریـان گاز، موقعیـت تکمیـل چـاه، قـدرت آبـده، نسـبت تخلخـل ماتریـس بـه شـکاف بـر روی پدیـده مخروطـی شـدن آب در یکـی از میادیـن گازی شـکافدار جنـوب ایـران بررسـی می‌شـود.

روش کار

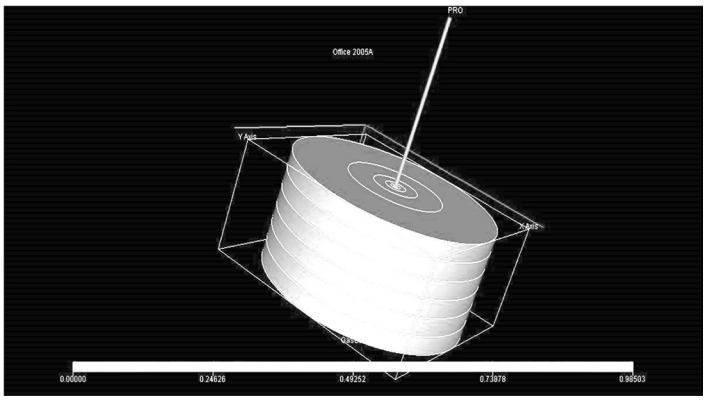
شبیه سازی و ساخت مدل

بـرای بررسـی و تعییـن پارامترهـای کلیـدی در مخروطـی شـدن آب در مخـازن شـکافدار ابتـدا یـک مـدل مصنوعـی شـکافدار در حالـت نفـت سـیاه[1] بـا اسـتفاده از نـرم افـزاری تجـاری سـاخته شـد و از آن جایـی کـه تقریبـا تمـام مخـازن نفتـی یـا گازی بـه صـورت کامـل یـا جزئـی در ارتبـاط بـا یـک آبـده قـرار دارنـد، بـرای اتصـال آبـده بـه مخـزن از مـدل تحلیلـی فتکوویـچ اسـتفاده گردیـد [۱۷]. ایـن مـدل در سیسـتم شـعاعی و در حضـور یـک آبـده می‌باشـد. دارای شـش لایـه بـا ضخامـت یکسـان اسـت، کـه لایـه انتهایـی آبـده در نظـر گرفتـه شـده اسـت . در شـکل ۱ شـماتیک چـاه و مخـزن در حالـت سـه بعـدی نشـان داده شـده اسـت.

1. Black Oil

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱ شماتیک مدل مخزن در حالت سه بعدی.

داده‌های به کار رفته در مدل مربوط به یکی از میادین گازی شکافدار در جنوب ایران می‌باشد. جدول ۱ داده‌های مربوط به مخزن گازی شکافدار و جدول ۲ داده‌های مربوط به آبده هستند. خواص PVT [1] گاز و آب به ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ آمده اند. با استفاده از مدل‌های ساخته شده تأثیر پارامترهای مورد بررسی بر روی درصد برش آب تولیدی[2] در یک بازه زمانی شش ساله مورد حساسیت سنجی قرار گرفتند. در حساسیت سنجی یک پارامتر مخزنی در ابعاد مختلف مورد تغییر قرار می‌گرفت، این در حالی است که سایر پارامترها ثابت در نظر گرفته می‌شدند.

جدول ۱ مدل پایه مخزن گازی شکافدار.

جفت شدگی ماتریس و شکاف	۰/۱۲	ضخامت مخزن	۲۴۰ (ft)
تخلخل ماتریس	۰/۱	عمق تکمیل چاه	۲۰۰ (ft)
تخلخل شکاف	۰/۰۱۵	ضریب حجمی آب سازند	۱/۰۰۳ (RB/STB)
تراوایی ماتریس	۰/۵ (md)	حد فشار ته چاهی BHP	۵۰۰ (psi)
تراوایی شکاف	۲۰۰۰ (md)	فشار اولیه	۵۱۰۰ (psi)
نرخ تولید	۸۰۰۰ (Mscf/day)	چگالی آب	۶۲/۴۲ (lb/ft^3)
چگالی گاز	۰/۰۵۱۸ (lb/ft^3)	چگالی نفت	۵۰/۹۴ (lb/ft^3)
روش عددی	کاملاً ضمنی	شعاع چاه	۰/۲۵ (ft)
شعاع خارجی مخزن	۲۰۵۰ (ft)	نوع گریدبندی	شعاعی
نوع مدل	شکافدار	تعداد گریدها	۶۰

جدول ۲ آبده مدل مخزن گازی شکافدار.

نوع آبده	فشار اولیه (psi)	حجم اولیه (stb)	قابلیت تراکم‌پذیری کل (psi^{-1})	ضریب بهره‌وری ((stb/day)/psi))
فتکوویچ[3]	۶۲۰۰	1.00E+10	5.00E-06	۸۰

1. Fetkovich
2. Water Cut
3.Condensate Blockage

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳ داده‌های مربوط به خواص PVT گاز.

گرانروی (cp)	FVF (RB/Mscf)	OGR (STB/Mscf)	Pg (Psi)
۰/۰۱۵۴۶	۱/۹۸۶۸	۰/۰۰۰۵۴۵۸	۱۵۱۴
۰/۰۱۷۰۱	۱/۴۲۶	۰/۰۰۰۸۸۹۷	۲۰۵۹
۰/۰۱۸۶۸	۱/۱۵۳۴	۰/۰۰۱۳۴	۲۵۱۵
۰/۰۲۰۸۸	۰/۹۵۶۲	۰/۰۰۲۰۴۶	۳۰۱۵
۰/۰۲۳۴	۰/۸۲۰۷	۰/۰۰۳۰۰۰۸	۳۵۱۵
۰/۰۲۶۱۸	۰/۷۲۳	۰/۰۰۴۲۶۲	۴۰۱۶
۰/۰۲۹۱۷	۰/۶۵۰۶	۰/۰۰۵۸۲۱	۴۵۱۰
۰/۰۳۳۱۷	۰/۵۸۳۶	۰/۰۰۸۲۲۲	۵۱۱۷

جدول ۴ داده‌های مربوط به خواص PVT آب.

گرانروی (cp)	تراکم‌پذیری (Psi)	FVF (RB/STB)	فشار مرجع (Psi)
۰/۹۶	3E-6	۱/۰۰۳۴۱	۳۶۰۰

صحت سنجی[1] مدل مخزن شکافدار

در بخش قبل به ساخت یک مدل مخزن شکافدار و داده‌های به کار رفته در آن پرداخته شد. این مدل که یک مدل پایه در نظر گرفته شده است، می‌بایست پیش از شبیه‌سازی مورد اعتبار سنجی قرار گیرد. بدین منظور تعداد بلوک های موجود در مدل پایه به ترتیب ۲۵٪ کاهش و افزایش داده شد. نتایج مربوط نشان می‌دهد با اعمال تغییرات در شبکه مدل تفاوت اندکی نسبت به مدل پایه حاصل شده است. بنابراین با حصول اطمینان از اعتبار مدل پایه، تاثیر پارامترهای مختلف مخزنی بر روی میزان درصد برش آب تولیدی در یک بازه زمانی شش ساله مورد شبیه‌سازی و حساسیت سنجی قرار گرفت. نتایج مربوط به صحت‌سنجی مدل در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵ داده‌های مربوط به صحت‌سنجی و حساسیت‌سنجی گریدها.

مدل با کاهش ۲۵٪ گریدها	مدل پایه	مدل با افزایش ۲۵٪ گریدها	زمان (Days)
برش آب (٪)	برش آب (٪)	برش آب (٪)	
-	میان شکنی	-	۲۱۹/۶
میان شکنی	۰/۲۳	-	۲۲۰/۳
۰/۵۹	۰/۶۳	میان شکنی	۲۲۳/۷
۶/۱	۶/۶	۶/۴	۵۰۰
۲۲/۳	۲۱/۵	۲۱/۷	۸۰۰
۳۵/۹	۳۵/۷	۳۵/۱	۱۱۰۰
۵۰/۴	۵۰/۳	۴۹/۲	۱۴۰۰
۷۲/۳	۷۲/۷	۷۱/۸	۱۷۰۰
۹۴/۶	۹۴/۹	۹۳/۷	۲۱۹۶

1. Grid Sensitivity Check

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج و بحث

تأثیر وجود لایه غیر تراوا

یکی از روش‌های کنترل مخروطی شدن آب، تزریق ژل و فوم جهت ایجاد یک لایه غیر تراوا در لایه‌های زیرین سازندهای تولیدی می‌باشد. از نتایج مطالعات این بخش می‌توان به عنوان یک مدل مبنا در بررسی تزریق ژل و فوم استفاده کرد. بدین منظور هشت مدل شامل چهار مدل با در نظر گرفتن اثر لایه غیر تراوا در لایه‌های زیرین سازندهای تولیدی و چهار مدل دیگر بدون در نظر گرفتن لایه‌های غیر تراوا ساخته و مورد مقایسه قرار گرفتند. در مدل‌های ساخته شده تمام لایه‌های تولیدی مورد بررسی قرار گرفت، به طوری که همواره یک لایه غیر تراوا در بخش زیرین لایه‌های تولیدی وجود دارد. در نهایت نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که وجود یک لایه غیر تراوا زمان رسیدن مخروط به دهانه چاه را افزایش می‌دهد و میزان درصد برش آب را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد اما هر چه به لایه‌های پایینی که در مجاورت سطح تماس گاز - آب هستند، نزدیک‌تر می‌شویم، میزان درصد برش آب تولیدی افزایش و زمان میان‌شکنی را کاهش می‌دهد. جهت درک هر چه بیشتر داده‌های مربوط به شبیه‌سازی در جدول‌های ۶ و ۷ آمده است. به طور مثال شبیه‌سازی‌ها نشان داد در صورت وجود لایه غیر تراوا در لایه دوم و تولید از لایه اول زمان میان شکنی برابر ۶۲۰ day و درصد برش آب برابر ۴۹٪ است، این در حالی است که در صورت تولید از همین لایه ولی بدون وجود لایه غیر تراوا زمان میان‌شکنی به ۴۱۰ day کاهش می‌یابد و میزان درصد برش آب به ۷۶٪ افزایش پیدا می‌کند. شکل‌های ۲ تا ۵، تأثیر لایه غیر تراوا بر درصد برش آب را هنگامی که لایه پایینی غیر تروا است و از لایه بالایی تولید می شود را نشان می‌دهند.

تأثیر تراوایی شکاف

یکی از پارامترهای مهم مخازن شکافدار نقش تراوایی شکاف است که تاثیر بسیار مهمی در مخروطی شدن آب دارد. در این گونه مخازن به دلیل ناهمگن بودن و توزیع غیر یکنواخت شکاف‌ها، نحوه توسعه مخروط به سمت بازه تولیدی چاه غیرمنظم می‌باشد. جهت بررسی این پارامتر پنج مدل مختلف ساخته و مورد حساسیت سنجی قرار گرفت، نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد افزایش تراوایی شکاف باعث تسریع در مخروطی شدن و میزان برش آب تولیدی می‌شود به طوری که با افزایش تراوایی شکاف از ۲۰۰ md به ۱۰۰۰ md میزان برش آب تولیدی از ۳۴٪ به ۶۱٪ افزایش پیدا کرد چون مخروط در مسیری شروع به حرکت و توسعه می‌کند که کمترین مقاومت در مسیر حرکت وجود داشته باشد. نتایج مربوط به میزان درصد برش آب در شکل ۶ آمده است.

جدول ۶ تأثیر لایه‌های غیر تراوا در مدل.

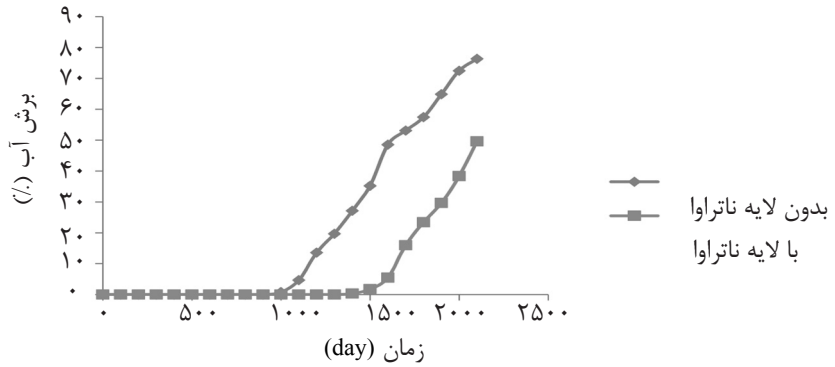
مدل	لایه غیرتراوا	لایه تولیدی	زمان میان‌شکنی (day)	درصد برش آب	نرخ آب تولیدی (STB/dAY)	کل آب تولیدی (STB)
۱	LAYER 2	LAYER 1	۶۲۰	۴۹	۴۷	۴۲۰۴۸
۲	LAYER 3	LAYER 2	۴۱۸	۶۱	۷۵	۸۲۳۳۵
۳	LAYER 4	LAYER 3	۱۳۵	۷۴	۱۳۸	۲۰۵۷۰۷
۴	LAYER 5	LAYER 4	۰	۷۷	۱۶۵	۴۲۹۷۰۲

جدول ۷ عدم وجود لایه‌های غیر تراوا در مدل.

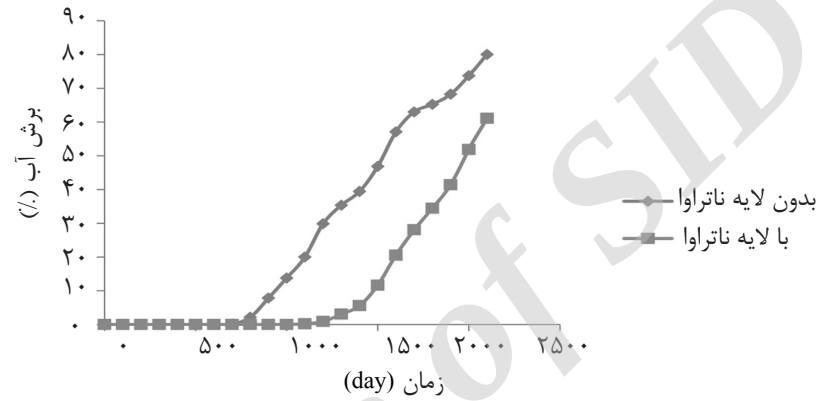
مدل	لایه تولیدی	زمان میان‌شکنی (day)	درصد برش آب	نرخ آب تولیدی (STB/dAY)	کل آب تولیدی (STB)
۱	LAYER 1	۴۱۰	۷۶	۱۵۵	۲۱۵۹۴۶
۲	LAYER 2	۱۹۰	۸۰	۱۸۹	۲۹۵۷۸۲
۳	LAYER 3	۳۵	۸۳	۲۳۴	۴۸۶۱۶۶
۴	LAYER 4	۰	۸۴	۲۳۹	۷۳۷۲۲۴

Archive of SID

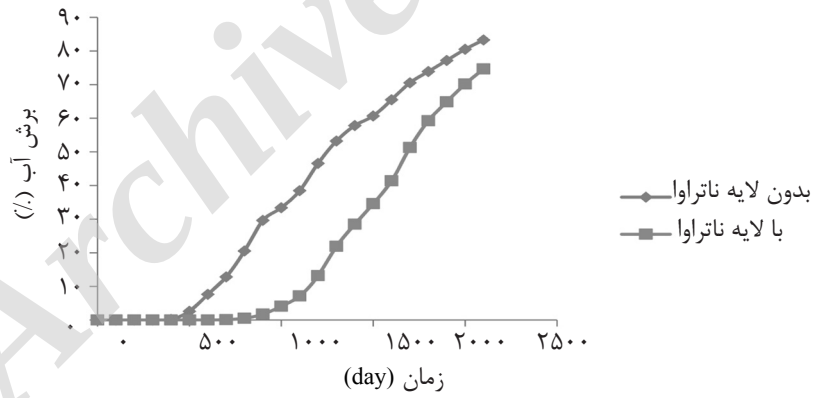
www.SID.ir



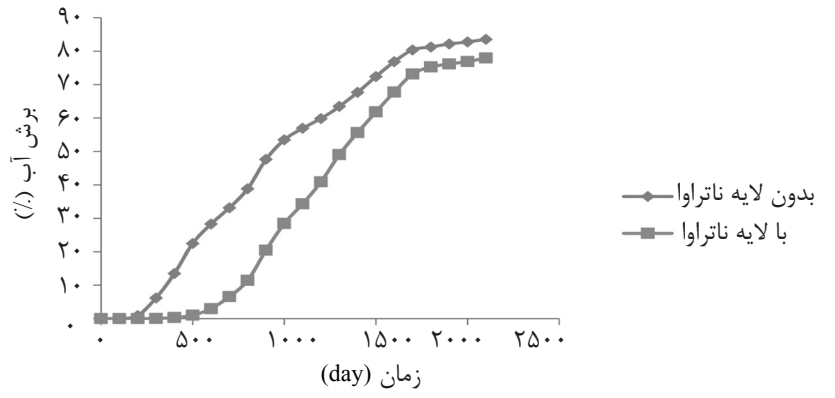
شکل ۲ مقایسه تأثیر لایه غیر تراوا بر درصد برش آب (لایه دوم غیر تراوا و تولید از لایه اول).



شکل ۳ مقایسه تأثیر لایه غیر تراوا بر درصد برش آب (لایه سوم غیر تراوا و تولید از لایه دوم).

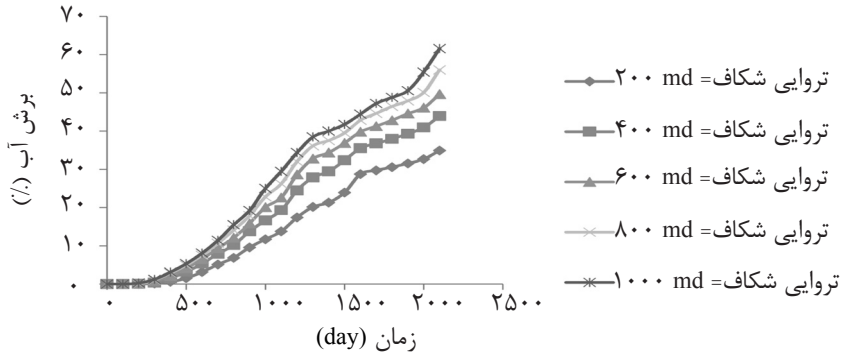


شکل ۴ مقایسه تأثیر لایه غیر تراوا بر درصد برش آب (لایه چهارم غیر تراوا و تولید از لایه سوم).



شکل ۵ مقایسه تأثیر لایه غیر تراوا بر درصد برش آب (لایه پنجم غیر تراوا و تولید از لایه چهارم).

Archive of SID
www.SID.ir



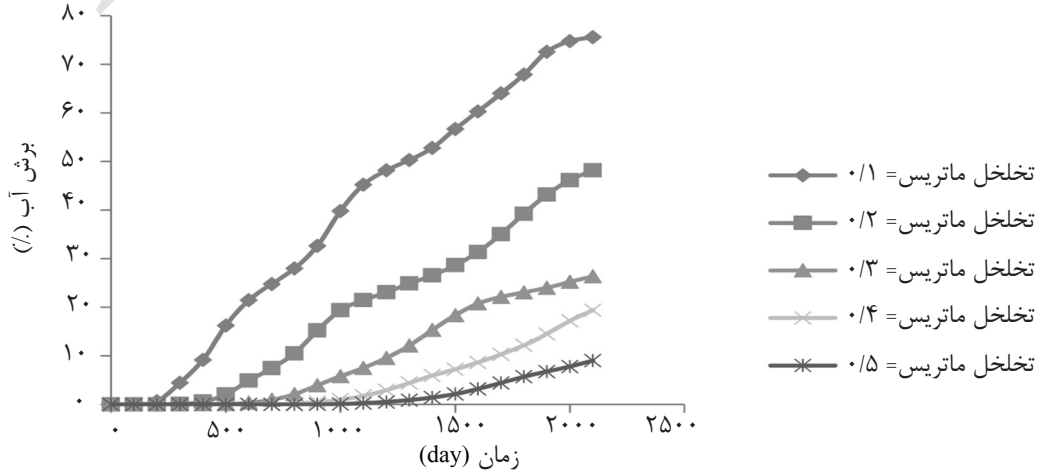
شکل ۶ نمودار تأثیر تراوایی شکاف روی درصد برش آب تولیدی.

تأثیر تخلخل ماتریس

مخـازن شـکاف‌دار شـامل بلوک‌هـای ماتریسـی مـی باشـند کـه بـه وسـیله شـکاف‌ها از یکدیگـر جـدا شـده انـد. یکـی از پارامترهـای مخـازن شـکافدار تخلخـل ماتریـس اسـت. در واقـع ماتریس‌هـا بـه صـورت مسـتقیم در تولیـد مشـارکت ندارنـد و تولیـد از درون شـکاف‌ها صـورت می‌گیـرد. ماتریس‌هـا بـه عنـوان یـک منبـع، حجـم قابـل توجهـی از نفـت و گاز درون مخـازن شـکافدار را در خـود جـای می‌دهنـد. بـرای بررسـی تأثیـر تخلخـل ماتریـس پنـج مـدل مختلـف سـاخته شـد .نتایـج شبیه‌سـازی‌ها نشـان داد کـه افزایـش تخلخـل ماتریـس تغییـرات فشـار نسـبت بـه زمـان را کاهـش می‌دهـد در حقیقـت ایـن امـر بـه دلیـل شـرکت کـردن بیشـتر ماتریس‌هـا در تولیـد و کاهـش تأثیـر شـکاف‌ها می‌باشـد. بـه طـوری کـه بـا افزایـش تخلخـل ماتریـس از ۰/۱بـه ۰/۵ درصـد بـرش آب تولیـدی از ۷۵٪ بـه ۹٪ کاهـش یافـت. نتایـج مربـوط بـه میـزان درصـد بـرش آب در شـکل۷ آمـده اسـت.

تأثیر تخلخل شکاف

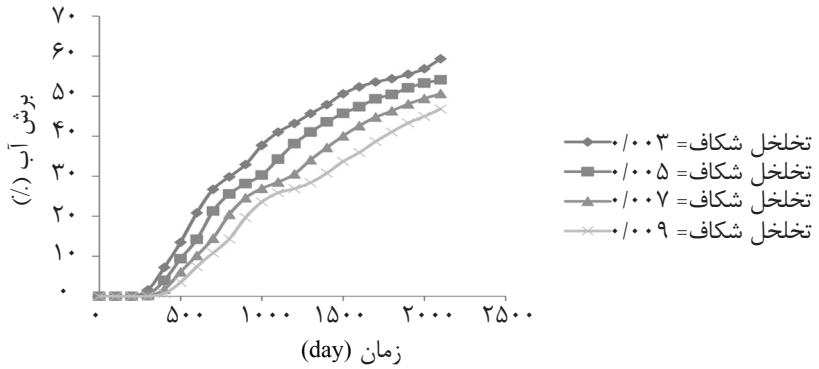
یکـی دیگـر از پارامترهـای مخـازن شـکافدار تخلخـل شـکاف اسـت. بـا ایـن کـه بخـش قابـل توجـه نفـت یـا گاز درون مخـازن شـکافدار در ماتریس‌هـا وجـود دارد امـا در شـروع بهره‌بـرداری، بخـش قابـل توجـه تولیـد از درون شـکاف‌ها صـورت می‌گیـرد. بـه طـور کلـی تبـادل همیشـگی سـیال از درون ماتریـس و انتقـال آن بـه درون شـکاف‌ها جهـت کاهـش افـت فشـار درون مخـزن از اهمیـت بالایـی برخـوردار اسـت. جهـت بررسـی ایـن پارامتـر چهـار مـدل مختلـف مـورد بررسـی قـرار گرفـت. نتایـج شبیه‌سـازی‌ها نشـان داد کـه افزایـش تخلخـل شـکاف تغییـرات فشـار نسـبت بـه زمـان را کاهـش می‌دهـد، بـه طـوری کـه بـا افزایـش تخلخـل شـکاف از ۰/۰۰۳بـه ۰/۰۰۹میـزان درصـد بـرش آب از ۵۹٪ بـه ۴۶٪ کاهـش پیـدا کـرد، نتایـج مربـوط بـه میـزان درصـد بـرش آب در شـکل ۸ آمـده اسـت.



شکل ۷ نمودار تأثیر میزان تخلخل ماتریس روی درصد برش آب تولیدی.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۸ نمودار تأثیر میزان تخلخل شکاف روی درصد برش آب تولیدی.

تأثیر نرخ تولید گاز

یکی از مهمترین پارامترهای قابل کنترل در پدیده مخروطی شدن آب نرخ تولید می‌باشد. تعیین دبی بهینه تولید با رعایت ملاحضات اقتصادی یکی از مهمترین اقداماتی است که باید برای کنترل مخروطی شدن آب مورد بررسی قرار گیرد. جهت بررسی تأثیر دبی جریان ده مدل با نرخ‌های متفاوت مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد با افزایش نرخ تولید گاز، میزان افت فشار در داخل مخزن افزایش می‌یابد. افت فشار در داخل مخزن باعث می‌شود که نیروی گرانروی ناشی از تخلیه فشار به مرور زمان بر نیروی گرانشی غلبه کند. شبیه‌سازی‌ها نشان داد هر اندازه نرخ تولید گاز افزایش پیدا کند، زمان میان‌شکنی را تسریع نموده و علاوه بر این درصد برش آب تولیدی را نیز افزایش می‌دهد. به طور مثال با تغییر نرخ تولید از MSCF/dAY 5000 به MSCF/dAY 14000 زمان میان‌شکنی از ۱۲۰۰ به ۱۰۰ روز کاهش پیدا کرد، علاوه بر آن درصد برش آب تولیدی از ۶٪ به ۹۵٪ افزایش یافت. نتایج مربوط به میزان درصد برش آب در شکل ۹ آمده است.

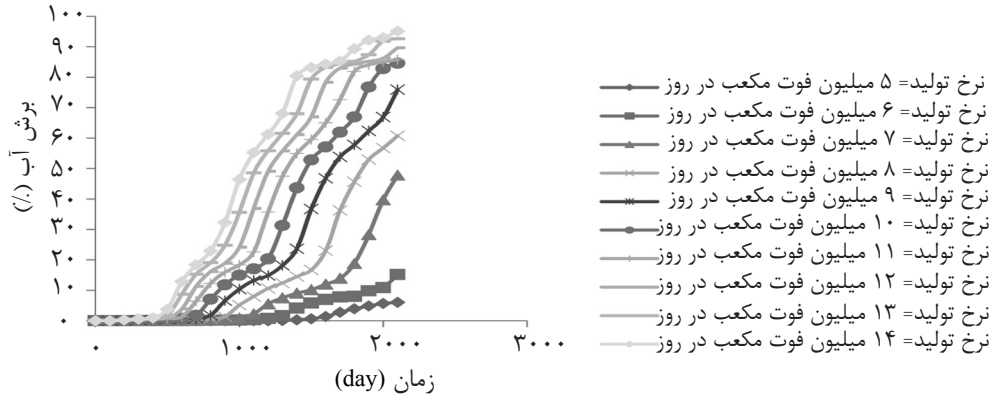
تأثیر ضخامت ستون گازی

یکی از پارامترهای مخزنی غیر قابل کنترل ضخامت ستون گازی می‌باشد. تعداد لایه‌های موجود در مدل پایه شش لایه می‌باشد که ضخامت تمام لایه‌ها در هر شبیه سازی با هم یکسان در نظر گرفته شد، به همین منظور هشت مدل با ضخامت‌های متفاوت شبیه‌سازی گردید. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که زمان میان‌شکنی و درصد برش آب مستقیماً به ضخامت ستون گازی بستگی دارد به طوری که با کاهش ضخامت ستون گازی از ۸۰ به ۱۰ فوت زمان میان شکنی آب از ۷۰۰ روز به صفر کاهش پیدا کرد و درصد برش آب از ۱۵٪ به ۹۸٪ افزایش یافت. بزرگتر بودن ضخامت ستون گازی باعث می‌شود که نیروی وزن سیال بر نیروی گرانروی غلبه کرده و تولید آب را به تاخیر بیاندازد. نتایج مربوط به میزان درصد برش آب در شکل ۱۰ آمده است.

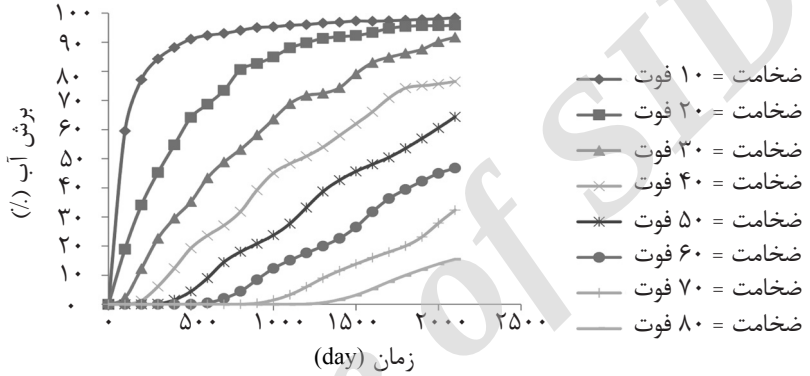
تأثیر موقعیت تکمیل چاه

یکی از پارامترهای قابل کنترل موقعیت تکمیل چاه می‌باشد. شش مدل در موقعیت‌های مختلف مخزن تکمیل گردید، نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که هر چه اندازه فاصله تکمیل چاه به سطح تماس آب - گاز نزدیک‌تر باشد زمان میان‌شکنی کاهش می‌یابد و نهایتاً میزان برش آب تولیدی افزایش می‌یابد به طوری که با افزایش بازه تکمیل چاه از ۴۰ به ۲۰۰ فوت زمان میان‌شکنی آب از صفر به ۸۰۰ روز افزایش یافت و میزان درصد برش آب از ۸۱٪ به ۶۴٪ کاهش پیدا کرد. شبیه‌سازی‌ها ثابت کرد، هر چه فاصله موقعیت تکمیل چاه با سطح تماس گاز - آب افزایش پیدا کند، نیروی گرانروی ناشی از تخلیه فشار کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه سطح تماس گاز - آب در موقعیت تثبیت شده‌ای قرار می‌گیرد. نتایج مربوط به میزان درصد برش آب در شکل ۱۱ آمده است.

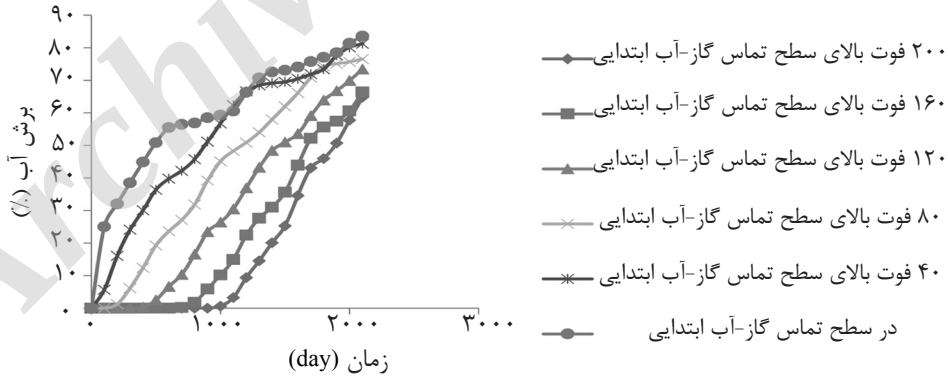
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۹ نمودار تأثیر نرخ جریان گاز روی درصد برش آب تولیدی.



شکل ۱۰ نمودار تأثیر ضخامت ستون گازی روی درصد برش آب تولیدی.



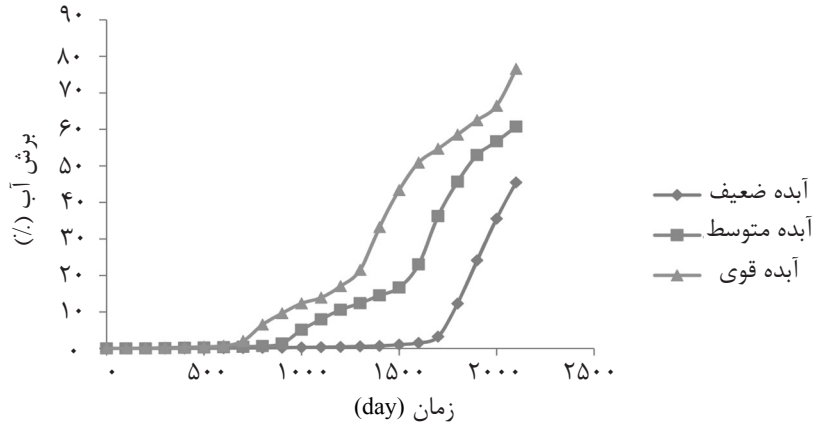
شکل ۱۱ نمودار تأثیر موقعیت تکمیل چاه روی درصد برش آب تولیدی.

تأثیر قدرت آبده

تقریباً تمام مخازن نفتی یا گازی به صورت کامل یا جزئی در ارتباط با یک آبده قرار دارند ولی حجم و قدرت آنها با یکدیگر متفاوت است. جهت بررسی این پارامتر سه مدل با قدرت‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. آبده با قدرت ضعیف، متوسط و قوی. سایر پارامترهای مخزنی و تولیدی در کلیه مدل‌ها ثابت در نظر گرفته شدند. در نهایت نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که با افزایش قدرت آبده، میزان آب ورودی به چاه افزایش پیدا می‌کند و در نهایت باعث افزایش میزان درصد برش آب تولیدی می‌شود. به طوری که از آبده ضعیف به قوی میزان درصد برش آب تولیدی از ۴۵٪ به ۷۶٪ افزایش پیدا کرد. نتایج مربوط به میزان درصد برش آب در شکل ۱۲ آمده است.

Archive of SID

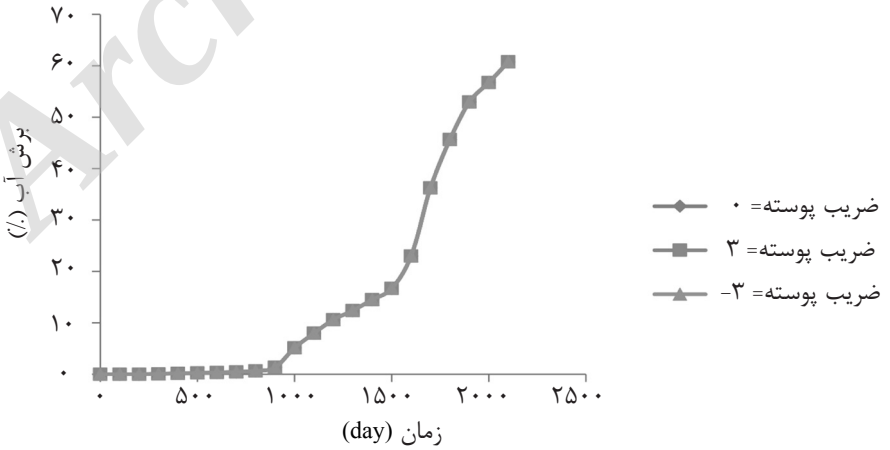
www.SID.ir



شکل ۱۲ نمودار اثر قدرت آبده روی درصد برش آب تولیدی.

تأثیر ضریب پوسته[1]

شناخت علل اصلی صدمات وارد بر سازند مخزنی برای طراحی بهینه نرخ تولید از چاه و نیز در نظر گرفتن عملیات ترمیمی یا پیشگیرانه برای صدمات وارده بر سازند، امری ضروری است. صدمات وارده بر سازند که به دلایل مختلف ایجاد می‌شوند، موجب اثر پوسته در ناحیه مجاور دیواره مخزن می‌شود. سه مدل متفاوت جهت بررسی اثر ضریب پوسته ساخته و مورد بررسی قرار گرفت. مدل اول بدون تغییرات در دهانه چاه، مدل دوم با افت فشار جزئی به دلیل شرایط بهبود یافته دهانه چاه و مدل سوم با افت فشار اضافی به دلیل شرایط آسیب دیده دهانه چاه ساخته و مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که اثر ضریب پوسته تأثیری روی پدیده مخروطی شدن آب ندارد به طوری که زمان میان‌شکنی آب برای هر سه مدل برابر ۲۰۰ روز و میزان درصد برش آب برابر ۶۰٪ بود. نتایج شبیه‌سازی‌ها در شکل ۱۳ آمده است.



شکل ۱۳ نمودار اثر ضریب پوسته بر درصد برش آب تولیدی.

1. Fracture Pattern

Archive of SID
www.SID.ir

نتیجه‌گیری

۱- نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها ثابت کرد که تزریق جریان سیال غیرتراوا در لایه‌های زیرین سازندهای تولیدی باعث کاهش میزان درصد برش آب تولیدی می‌شود و زمان رسیدن مخروط به دهانه چاه را افزایش می‌دهد. شبیه‌سازی‌ها ثابت کرد که هر چه به سطح تماس گاز - آب نزدیکتر شویم، تاثیر وجود لایه غیرتراوا کاهش می‌یابد.

۲- نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها ثابت کرد که تراوایی شکاف، ضخامت ستون گاز، نرخ جریان گاز، تعیین موقعیت تکمیل چاه و قدرت آبده از مهمترین پارامترهای تشکیل و تشدید کننده پدیده مخروطی شدن آب در مخازن گازی شکافدار هستند.

۳- نتایج شبیه‌سازی‌ها ثابت کرد که افزایش تخلخل ماتریس نسبت به تخلخل شکاف از اهمیت بالایی برخوردار است. شرکت کردن ماتریس‌ها در تولید از مخزن، سبب افت فشار کمتر به مخزن شده که در نهایت باعث به تاخیر افتادن تغییرات کاهش فشار نسبت به زمان می شود.

۴-نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که پارامتر ضریب پوسته در هر سه حالت سازند آسیب یافته، بهبود یافته و بدون تغییرات در دهانه چاه تأثیری روی پدیده مخروطی شدن آب ندارد.

۵- بررسی پارامترهای تأثیرگذار برای درک مکانیزم مخروطی شدن آب ضروری است. شبیه سازی این پدیده برای توسعه یک میدان کمک می‌کند تا شرایط بهینه برای کنترل مخروطی شدن آب یا به تأخیر افتادن زمان میان‌شکنی فراهم شود.

۶- یکی از پارامترهای مهم در پدیده مخروطی شدن آب در مخازن شکافدار، تعیین الگوی شکاف در مخزن می باشد، تعیین الگوی شکاف در اطراف چاه از اهمیت بالاتری برخوردار است، به همین منظور تهیه کردن داده های دقیق از الگوی شکاف‌ها توسط ابزار های خاص، باعث بالا بردن محاسبات شبیه‌سازی می‌شود.

۷- با توجه به این که این تحقیق در مخازن گازی با خصوصیات نزدیک به مخازن گازی ایران (وجود شکاف و ترکیب گاز میعانی) صورت پذیرفته، ضرورت انجام تحقیق در حضور انسداد میعانات گازی امری لازم و ضروری است.

مراجع

[1]. Aminian A., "*Water production problems and solutions–part one*," Petroleum and Natural Gas Engineering Department, West Virginia University.

[2]. Seright R. S., Lane R. H., and Sydansk R. D., "*A strategy for attacking excess water production*", SPE Production and Facilities, pp.158-169, 2003.

[3]. Energy Information Administration, "*Annual energy outlook 2003 with projection to 2025*," www.eia.doe.gov/oiaf/aeo, January 2003.

[4]. Saad S. M., Darwich T. D. and Assad Y., "*Water coning in fractured basement reservoirs*," Society of Petroleum Engineers, Paper SPE 29808, Middle East Oil Show, 11-14 March, Bahrain 1995.

[5]. Birks J., "*Coning theory and it's use in predicting allowable producing rates of wells in a fissured limestone reservoir*", Iranian Petroleum Institute Bull, p. 12 & 13, 470, 1963.

[6]. AL Afaleg N., and Ershagi I., "*Coning phenomena in naturally fractured reservoirs*", SPE 26083, 1993.

[7]. Muskat M., "*Flow of homogeneous fluids*", in: International Human Resources Development, Boston, pp. 687-692, 1982.

[8]. Kabir C. S., "*Predicting gas well performance coning water in bottom-water drive reservoirs*," Paper SPE

Archive of SID

www.SID.ir

12068, 58th Annual Technical Conference and Exhibition, San Francisco, 1983.

[9]. Beattie D. R. and Roberts B. E., "*Water coning in naturally fractured gas reservoirs*," Paper SPE 35643, Gas Technology Conference, Calgary, Alberta, Canada, 28 April–1 May 1996.

[10]. Fragachan F., "*Controlling water production in naturally fracture reservoirs with inorganic gel*", SPE Paper 35325, Petroleum Conference and Exhibition of Mexico held in Villahermosa, Mexico, 5-7 March 1996.

[11]. Wassmuth F., "*Water abatement in gas wells*", PTAC, Technology Information Session, Alberta Research Council Inc. May 7, 2003.

[12]. Seach R. P., "*Controls on water cresting in high productivity horizontal gas wells*," Paper SPE 107169, Europec/EAGE Annual Conference and Exhibition held in London, United Kingdom, 11-14 June 2007.

[13]. Namani M. and Asadollahi M., "*Investigation of water coning phenomenon in Iranian carbonate fracture reservoirs*", Paper SPE 108254, International Oil Conference and Exhibition, Mexico, 27-30 June 2007.

[14]. Okon A., "*Water coning in fractured reservoirs: a simulation study*", MSc thesis, Norwegian University of Science and Technology , Department of Petroleum Engineering and Applied Geophysics, 2012.

[15]. Shen W. and Liu X and Lu J., "*Water coning mechanism in tarim fractured sandstone gas reservoirs*", J. Cent. South Univ. 22: 344, 2015.

[16]. Nasiri M. and Jafari I., "*Investigating the mechanism of water inflow in gas wells in fractured gas reservoirs and designing a controlling method*", International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences (IJCEBS) Vol. 3, Issue 6, 2015.

[17]. Fetkovich M. J., "*A simplified approach to water influx calculations-finite aquifer systems*," Society of Petroleum Engineers. Journal of Petroleum Technology, Vol. 23, Issue 7, (1971, July 1).

Archive of SID

www.SID.ir