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

بررسی مخروطی شدن آب در یکی از چاههای مخازن شکافدار جنوب ایران

[۱]سجاد ربانی فرد، [۲]کریم حمید
[۱]مهندس مطالعات مخازن، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب، ایمیل: Sajjad_2020@yahoo.com
[۲] کارشناس ارشد مطالعات مخازن، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب

چکیده

در هنگام تولید نفت از یک چاه، افت فشاری در اطراف آن ایجاد می شود که باعث می شود علاوه بر نفت، آب و گاز نیز به سمت دهانه چاه حرکت کنند. این افت فشار باعث تغییر شکل سطوح تماس آب-نفت و گاز-نفت به صورت مخروط می شود و این پدیده به مخروط شدگی آب و مخروط شدگی گاز معروف است.

هدف از این مقاله، بررسی پدیده های مخروط شدگی آب و گاز در یکی از مخازن شکافدار جنوب ایران به کمک ابزار شبیه ساز عددی مخزن است. از آنجا که روابط جریان در محیط متخلخل شکافدار پیچیده است و استفاده از شکل های ساده معادلات جریان در محیط متخلخل، که مختص مخازن ماسه سنگی است، در مخازن شکافدار با خطای زیادی همراه است لذا تنها روش دقیق برای مطالعه جریان سیال در چنین مخازنی استفاده از شبیه سازهای عددی مخزن می باشد.

دو روش مهم و عملی برای جلوگیری از مخروط شدگی آب و گاز، کاهش دبی تولید نفت و رساندن آن به مقدار بهینه و تکمیل چاه در فاصله مناسب از سطح تماس آب-نفت و گاز-نفت است. در این مقاله این دو روش برای مخزن مورد مطالعه بهینه سازی می شوند.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

تولید آب یکی از مشکلات بزرگ و مهم فنی، زیست محیطی و اقتصادی در هنگام تولید نفت و یا گاز از مخازن است. تولید آب می تواند عمر تولیدی چاه های نفت و گاز را محدود کند و مشکلات حادی مانند خوردگی لوله ها، حرکت دانه های سنگ و افت فشار هیدروستاتیکی ایجاد کند. آب بزرگترین جریان سیال در فرایند تولید نفت و گاز است. به عنوان مثال، تنها در ایالات متحده امریکا به طور میانگین ۸ بشکه آب به ازای هر بشکه نفت تولید می‌شود. اثر زیست محیطی انتقال، پالایش و دفع آب تولید شده می تواند به طور جدی سودآوری طرح های تولید نفت و گاز را تحت تاثیر قرار دهد. هزینه سالانه دفع چنین آب آلوده ای فقط در آمریکا بین ۵ تا ۱۰ میلیارد برآورد می‌شود [۱].

در فرایندهای تولید نفت گاهی آنقدر آب ناخواسته تولید می شود که جریان نفت بخش کوچکی از جریان کل سیال تولیدی را تشکیل می دهد. تولید جهانی نفت به طور میانگین ۷۵ میلیون بشکه در روز است که طبق برآوردهای مختلف بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلیون بشکه در روز نیز آب تولید می شود. به عبارت دیگر میانگین جهانی تولید آب، ۵ تا ۶ شبکه آب به ازای هر بشکه نفت است[۱].

بزرگی مشکل تولید آب در این واقعیت می تواند منعکس شود که هر ساله بیش از ۴۵ میلیارد دلار صرف هزینه های مربوط به تولید آب ناخواسته در صنعت نفت می شود. این هزینه ها شامل: زیان های خوردگی، پالایش، تزریق و یا دفع، تاسسیات سطح الارضی،خطوط لوله، و نیز مخاطرات زیست محیطی می شود[۱].

تئوری مخروط شدگی آب

مخروطی شدن[1] آب و گاز یکی از مشکلات مهم هنگام تولید نفت از مخازن زیرزمینی می باشد که به طور کلی باعث افزایش هزینه های تولید و کاهش انرژی مخزن می شود. تولید آب ناخواسته باعث ایجاد خوردگی در لوله ها و تاسیات فراورش نفت و مشکلات زیست محیطی می شود، به طوری که لازم است آب تولید شده دوباره به آبده یا مخزن تزریق شود. علاوه براین وجود آب در ستون چاه باعث افت فشار سرچاهی و کاهش توان مخزن برای تولید نفت می شود.

آبده در زیر مخزن و کلاهک گازی در بالای مخزن هر دو از انرژی های طبیعی مخزن و مکانیزم های مهم تولید محسوب می شوند ولی این نیروها تا زمانی با ارزش هستند که آب یا گاز وارد چاه تولیدی نشود.

معمولاً عبارت مخروط شدگی برای توصیف مکانیسم بالا آمدگی آب یا پایین رفتگی گاز به درون مشبکهای تولیدی چاه بکار می رود. مخروط شدگی اثر بزرگی در کاهش بهره دهی چاهها و به دنبال آن کاهش میزان تخلیه[2] و راندمان بازیافت کلی[3] مخازن نفتی دارد. عمده ترین مشکلاتی که در اثر وقوع پدیده مخروط شدگی آب و گاز ایجاد می شوند به شرح زیر است:

- در اثر مخروط شدگی آب و گاز، تولید ناخواسته و اضافی آب و گاز افزایش می یابد.
- در اثر مخروط شدگی گاز، تولید گاز از کلاهک گازی اولیه یا ثانویه افزایش یافته و موجب کاهش فشار مخزن می گردد.
- پدیده مخروط شدگی موجب کاهش راندمان مکانیسم تخلیه مخزن می گردد.
- آب اضافی تولید شده در اثر مخروط شدگی ممکن است بدلیل خورنده بودن زیانهای زیادی به تسهیلات درون چاهی و سر چاهی وارد آورد.

[1] Coning
[2] Depletion
[3] Ultimate oil recovery

www.SID.ir

Archive of SID

- بروز پدیده مخروط شدگی آب و گاز در یک چاه ممکن است به متروکه شدن چاه منجر شود.
- بطور کلی بروز پدیده مخروط شدگی موجب کاهش شدید بازیافت کلی یک میدان نفتی می شود.

عدم تولید یا تاخیر در تولید آب و گاز ناخواسته در یک میدان نفتی یکی از عوامل افزایش بازیافت نهایی نفت می باشد.

پدیده مخروط شدگی در اثر حرکت سیالات در جهتی که حداقل مقاومت وجود دارد ایجاد می شود. مخروط شدگی در مخازن نفتی برای دو سیال آب و گاز به وجود می آید. چنانچه شرایط اولیه و طبیعی مخزن در نظر گرفته شود معمولاً پذیرفته شده است که در اثر اختلاف بین چگالی سیالات، آب پایین تر از نفت و گاز بالاتر از نفت قرار می گیرد. چنانچه فرض شود یک چاه تولیدی نفت بصورت جزیی[4] در مخزن حفر شده باشد، فواصل عمقی تولیدی بین دو سطح تماس سیالات (سطح تماس آب-نفت و گاز-نفت) قرار خواهد داشت. تولید از چاه موجب ایجاد گرادیان های فشار و به تبع آن باعث پایین‌تر رفتن سطح تماس گاز – نفت و بالاتر آمدن سطح آب – نفت می شود. درحالت متوازن و طبیعی با وجود ایجاد این گرادیان‌های فشار، گاز بدلیل دارا بودن چگالی کمتر از نفت در بالا و آب بدلیل دارا بودن چگالی بیشتر از نفت در پایین باقی خواهند ماند، اما در شرایط که نوعی عدم توازن ایجاد می شود این پایین رفتگی گاز و بالا آمدگی آب بصورت مخروطی شکل اتفاق می افتد.

دبی بحرانی دبی است که بیشتر از آن گرادیان فشاری که موجب ایجاد مخروط آب یا گاز می شود بوجود می آید. به عبارت دیگر، دبی بحرانی به عنوان حداکثر دبی که بوسیله آن می توان بدون تولید آب یا گاز اضافی به تولید نفت ادامه داد تعریف می شود. در شرایط بحرانی، مخروط ایجاد شده از نوع مخروط باثبات می باشد ولی در موقعیتی قرار دارد که احتمال نزدیک شدن و وارد شدن آن به چاه زیاد است.

پدیده مخروطی شدن آب در چاه های عمودی

تولید نفت از طریق چاه عمودی که به صورت جزیی در مخزن تکمیل شده باشد باعث ایجاد اختلاف فشار میان چاه و مخزن می شود. اگر چنین مخزنی بوسیله آبده پشتیبانی شده باشد اختلاف فشار بین چاه و مخزن باعث تغییر شکل و بالا آمدن سطح تماس آب-نفت به شکل مخروط می شود. در چاه های افقی یا مایل به جای مخروط آب به صورت ستیغ بالا می آید.

هنگامی که دبی تولیدی نفت افزایش می یابد اختلاف فشار در جهت عمودی بیشتر شده و قله مخروط آب آنقدر بالا می آید تا در چاه نفوذ نماید. در این حالت همراه نفت مقدار زیادی آب نیز از چاه تولید می شود. نفوذ، رسیدن یا رسوخ آب به چاه را میانشکن شدن آب می‌نامند. هنگامی میانشکن رخ می دهد که مخروط آبی به دلیل اختلاف فشار عمودی زیاد به حالت ناپایدار درآمده باشد.

مدل های ریاضی متعددی برای پیش بینی رفتار چاه و مخزن در پدیده مخروطی شدن آب و پس از میانشکن شدن آب ارائه شده است. Muskat و Wyckoff [۲۲] مشاهده کردند که مخروطی شدن یک پدیده وابسته به دبی است که فقط هنگامی رخ می دهد که شرایط تعادلی خاصی به دلیل افزایش اختلاف فشار بین چاه و مخزن نامتوازن شوند. آنها چنین نتیجه گرفتند که شرایط تعادلی لازم برای جلوگیری از رسیدن آب به چاه مستلزم آن است که اختلاف فشار عمودی درناحیه نفتی که توسط نیروهای ویسکوز ایجاد می شود به وسیله اختلاف فشار ناشی از گرانش در ناحیه آبی زیر آن متوازن شود. در این صورت مخروط آبی تشکیل شده مخروط پایدار نامیده می شود.

تفاوت ها وتغییرات زیادی در نتایج مطالعات متعدد جهت پیش بینی پدیده مخروطی آب وجود دارد. این تفاوت ها به طور عمده به دلیل فرضیاتی است که برای ساده سازی معادلات پیچیده ریاضی جریان سیالات دوفازی و سه فازی در نظر گرفته شده است. Joshi [۲۵] نتایج معادلات و روابط مختلف دبی بحرانی نفت و نیز زمان رسیدن آب به چاه (زمان میانشکن) را بررسی نموده است. او تفاوت هایی به بزرگی ۹۰٪ در محاسبه دبی بحرانی نفت و ۱۴۰٪ درمحاسبه زمان میانشکن آب را مشاهده کرده است.

[4] Partial penetration

www.SID.ir

Archive of SID

با این وجود، نقاط مشترک و مورد توافق همه مطالعات انجام شده در مورد مخروطی شدن آب در چاههای عمودی می تواند به صورت زیر جمع بندی شود:

۱. اختلاف فشار زیاد و سرعت زیاد سیال که نتیجه دبی تولیدی بالا می باشند، پدیده مخروطی شدن آب را ایجاد می کنند.
۲. تکمیل چاه در بالاترین بخش ناحیه نفتی (ترجیحاً در ۴۵٪ بالایی) و دور از سطح تماس آب – نفت زمان میانشکن آب را به تاخیر می اندازد.
۳. دبی بحرانی تولید نفت در اکثر موارد برای تولید بدون سیال بدون آب از نظر عملی غیر اقتصادی است.
۴. پس از رسیدن آب به چاه میزان تولید آب به سرعت افزایش می یابد و منابع و تلاش زیادی باید برای جداسازی و دفع آب مصرف می شود.

محاسبه دبی بحرانی در چاه های عمودی

طبق تعریف، دبی بحرانی (q_{oc}) حداکثر دبی است که بوسیله آن می توان بدون تولید آب یا گاز اضافی به تولید نفت ادامه داد. روشهای مختلفی برای محاسبه دبی بحرانی وجود دارد که مهمترین آنها عبارتند از:

- روش Craft and Hawkins
- روش Meyer-Garder
- روش Hoyland-Ppapatzacos-Skjaeveland
- روش Chaperson
- روش Schols

پنج روش بالا به صورت مستقیم می توانند q_{oc} را محاسبه کنند ولی روشهای Bournazel and Jeanson و Sobocinski and Cornelius می توانند به طور غیر مستقیم q_{oc} را پیش بینی کنند. Joshi در سال ۱۹۹۰ روشی پیشنهاد نمود که با استفاده از این دو معادله و محاسبه زمان میانشکن آب، بتوان دبی بهینه نفت را نیز محاسبه نمود. شایان ذکر است که برای محاسبه موارد ذکر شده در چاه های مایل (انحرافی) و افقی و نیز در مخازنی که دارای پیچیدگی در ساختار زمین شناسی و یا خواص سنگ و سیال می باشند بهترین راه استفاده از نرم افزارهای تخصصی شبیه سازی مخازن مانند Eclipse و CMG است.

مدلسازی چاه در مخزن شکافدار

برای ساختن مدل عددی شبیه سازی از مدل تک چاهی استفاده شده است. از آنجا که شعاع تخلیه در مخزن مورد بررسی حدود ۱۱۰۰ فوت است لذا مخزن به صورت مدل مربعی با ضلع ۱۹۰۰ فوت در نظر گرفته شده است تا مساحت ناحیه تخلیه برابر با دایره ای به شعاع ۱۱۰۰ فوت باشد. خواص سنگ و سیال در مدل برابر با مقادیر میانگین مخزن مورد بررسی در نظر گرفته شده اند.

شبیه سازی پدیده مخروطی شدن آب در این مخزن به وسیله شبیه ساز Eclipse صورت گرفته است. چاه هم ارز چاه های واقعی در مخزن ولی به صورت حفره باز (با ضریب پوسته صفر) فرض شده است و در مرکز مدل مربعی قرار داده شده است.

ارتفاع مدل ۷۵۰ فوت در نظر گرفته شده که ۶۲۵ فوت آن در مخزن و ۱۲۵ فوت آن در بخش آبده قرار دارد. بنابراین مدل مخزن در شبیه سازی ۱۹۰۰ × ۱۹۰۰ × ۵۷۰ فوت مکعب می باشد. از آنجا که سنگ مخزن در میدان مورد بررسی بیشتر از نوع کربناته و شکافدار است، محیط متخلخل در مدل شبیه سازی به صورت تخلخل دوگانه در نظر گرفته شده که بیانگر قابلیت تولید از شکاف های طبیعی است. شکل۱ نمای مدل تخلخل دوگانه را از بالا نشان می دهد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، سلول های

www.SID.ir

Archive of SID

مدل در اطراف چاه خیلی کوچکتر از سایر سلول ها در نظر گرفته شده اند تا دقت محاسبات فشار و میزان اشباع آب در ناحیه اطـراف چاه بیشتر شود.

از نظر عملیاتی دو روش برای مهار تولید آب به کار می رود. روش اول کاهش دبی تولیـد نفـت و روش دوم بـاز و بسـته نمـودن چـاه تولیدی به صورت دوره ای (تناوبی) است. استفاده از روش اول موجب تولید مستمر نفت می شود در حالی کـه در روش دوم نفـت بـه صورت منقطع (مثلاً هر پانزده روز) تولید می شود. بنابراین در این فصل فقط روش اول یعنی تولید مداوم نفت مطالعـه و بررسـی مـی شود.

در این فصل دو موضوع اثر دبی کل بر زمان میانشکن آب و ارتفاع فاصله مشبک شده مورد بررسی قرار می گیرد. در بخش اول تلاش می شود با تغییر دبی تولیدی کل، دبی بهینه تولید نفت مشخص شود. از جمله نتایج جانبی این بخش مطالعه نحوه ی رشد و بالاآمدگی مخروط آبی و روند تغییرات متغیرهای تولیدی در مخزن است. در بخش دوم اثر ارتفاع فاصله ی مشبک شده بر رشد و بالا آمدگی سطح تماس آب – نفت و عملکرد مخزن پس از مخروطی شدن آب بررسی می شود.

بررسی اثر دبی تولیدی بر مخروطی شدن آب

برای یافتن دبی بهینه تولیدی، حالت های مختلـف تولیـد بـا دبـی هـای کـل ۱۰۰۰، ۱۲۵۰، ۱۵۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۴۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۶۰۰۰ بشکه در روز شبیه سازی گردید. زمان تولید برای همه حالت ها ۴۴۰۰ روز (۱۲ سال) در نظر گرفتـه شـد. سـایر متغیرهـا در همه ی حالت ها ثابت فرض شد. جدول ۱ خلاصه نتایج این شبیه سازی ها را نشان می دهد.

مقایسه برش آب در حالت های مختلف نشان می دهد که دبی ۱۰۰۰ بشکه در روز تا پایان ۴۴۰۰ روز باعث تولید آب نمی شود و در تمام این مدت فقط نفت تولید می شود، ولی در دبی های بالای ۱۲۰۰ بشکه در روز در انتهای این دوره مخروط آب تشکیل شده و به سوی چاه حرکت می کند.

بررسی ارتفاع فاصله مشبک شده بر مخروطی شدن آب

علاوه بر تغییر دبی تولیدی عامل دیگر در کنترل تولید آب تغییر و بهسنه سازی فاصله مشبک ها از سطح تمـاس آب- نفـت و ارتفـاع آنهاست. در این بخش فاصله های مشبک کاری به طول ۷۵، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ فوت در نظر گرفته است.

ازنظر نوع جریان هر چه فاصله مشبک کاری کوتاه تر باشد نفوذ جزیی تر است و جریان به حالت کروی تبدیل می شود. از سوی دیگر، اگر فاصله مشبک کاری شده بیشتر باشد خطوط جریان به صورت عمود بر مشبک ها وارد چاه می شوند و جریان افقی و شعاعی است. به صورت تئوری، اگر چاه در تمام ضخامت مخزن تکمیل شده باشد جریان به صورت کاملاً شعاعی خواهد بـود. نزدیکـی پـایین تـرین نقطه ی مشبک کاری شده به سطح تماس آب- نفت باعث رسوخ سریع آب به چاه و تولید آب به طـور زود هنگـام مـی شـود. درایـن حالت مخروط آبی به سرعت تشکیل می شود و به سوی چاه تولیدی بالا می آید.

ارتفاع فاصله ی مشبک کاری شده به طور کلی تاثیر مستقیم بر دبی تولیدی دارد. هر چه ارتفاع فاصله ی مشبک کـاری شـده زیـادتر باشد دبی تولیدی بیشتر می شود، بنابراین در طراحی یک چاه باید میان ارتفاع مشبک کاری و فاصله ی آن تا سطح تماس آب – نفت از یک سو و میزان آب تولیدی از سوی دیگر بهینه سازی نمود.

در شکل ۵ نسبت حجم آب به کل حجم سیال تولیدی (برش آب) درهر یک حالت های مختلف h_p به تصویر کشیده شده است. زمان شروع تولید آب به h_p وابسته است و پس از شروع تولید آب منحنی ها با آهنگی تقریباً برابر افزایش می یابند.

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه روش های پیش بینی دبی بحرانی

به منظور مقایسه روش های بالا با همدیگر و همچنین با نتایج شبیه ساز عددی، دو سری داده های محیط متخلخل ماتریس سنگ و محیط شکاف ها از اطلاعات مخزن مورد مطالعه تهیه شد و به عنوان ورودی به برنامه داده شد. برنامه برای محاسبه دبی بحرانی یا بهینه با استفاده از هر دو دسته اطلاعات اجرا شد. شکل های ۸ و ۹ به ترتیب نتایج محاسبات را برای دو محیط ماتریس و شکاف نشان می دهند. لازم به ذکر است که این روش ها زمانی ارائه شده بودند که شبیه سازهای عددی مخازن به شکل امروزی در دسترس و دقیق نبودند و این روش ها به عنوان تنها ابزار پیش بینی دبی بحرانی مورد استفاده قرار می گرفتند. در اینجا هدف بررسی میزان دقت هر یک از این روش ها و مقایسه با نتایج شبیه ساز Eclipse است.

بررسی شکل های ۸ و ۹ نشان می دهد که روش های ارائه شده دبی بحرانی را با اختلاف زیادی محاسبه می کنند. از میان این روش ها، روش Craft and Hawkins دبی بحرانی را در دو حالت ماتریس و شکاف بسیار بیشتر از سایر روش ها محاسبه می کند که غیر عادی است. از سوی دیگر روش Meyer and Garder نتایج را هم در ماتریس و هم در شکاف ها بسیار کمتر از سایر روش ها محاسبه می کند.

تفاوت محیط های ماتریس و شکاف در تراوایی (مطلق، عمودی و افقی) و تخلخل آنهاست و از آنجا که تراوایی مهم ترین متغیر در محاسبات مخروط شدگی آب است، تفاوت زیادی در نتایج روش ها برای دو محیط ماتریس و شکاف حاصل شده است به طوری که دبی هر روش در محیط شکاف حدود ۲۰ برابر دبی محاسبه شده در ماتریس سنگ است.

به دلیل اینکه در مخازن شکافدار طبیعی عمده‌ی جریان سیال از شکاف ها وارد چاه می شود، در اینجا نیز محاسبات دبی بهینه در محیط شکاف ها را به عنوان نماینده مخزن کربناته در نظر می گیریم. همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، روش های ارائه شده مقادیر مختلفی از ۲۲۹۱ تا ۸۲۰۰۰ بشکه در روز را پیش بینی می کنند. از سوی دیگر بررسی های شبیه سازی نشان می دهد در دبی های بالای ۱۱۰۰ بشکه در روز پدیده مخروط شدگی اتفاق می افتد. لذا به نظر می رسد استفاده از این معادله ها منجر به محاسبه بیش از اندازه دبی بحرانی در مخازن شکافدار می شود و این روش برای این منظور مناسب نیست.

نتایج

۱. برای طراحی نحوه ی تکمیل یک چاه از نظر مخروطی شدن آب لازم است طول فاصله ی مشبک شده و فاصله پایین ترین نقطه مشبک ها را از سطح تماس آب – نفت بهینه سازی گردد. در مورد مخروط شدگی گاز لازم است فاصله بالاترین نقطه ی مشبک ها از سطح تماس گاز – نفت بهینه گردد.

۲. عامل اصلی برای جلوگیری از مهار مخروط شدن آب و گاز کاهش دبی تولیدی است اما برای آنکه این پدیده ها اتفاق نیفتد لازم است دبی تولیدی خیلی پایین باشد که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست. برای غلبه بر این مشکل می توان در دبی های بالاتر نفت تولید کرد و با سایر روش ها (مانند طراحی مناسب طول و فاصله مشبک ها) زمان رسیدن آب یا گاز به چاه را تا حد امکان تاخیر انداخت.

۳. روش های مختلفی تا کنون برای محاسبه دبی بهینه تولید برای جلوگیری از مخروط شدگی آب و گاز ارائه شده است که براساس فرض مخزن ایزوتروپیک فرمول بندی شده اند. برخی از این روش ها حتی متفاوت بودن تراوایی افقی و عمودی را هم در نظر نمی گیرند. بنابراین کاربرد این روش ها برای مخزن واقعی نتیجه ی نادرستی می دهد. از سوی دیگر این روش ها برای مخازن ماسه سنگی که دارای سیستم تخلخل یگانه هستند قابل کاربرد است و برای مخازن شکافدار طبیعی مناسب نیستند.

www.SID.ir

Archive of SID

۴. هیچ یک از روش های پیش بینی دبی بهینه تولیدی وجود آبده و ویژگی های جریانی آن را در نظر نمی گیرند. به نظر می رسد این مهم ترین ضعف این روش ها در پیش بینی مخروط شدگی آب است زیرا قدرت آبده در جریان آب به مخزن، حجم آب موجود در آبده، تراوایی سنگ آبده، و تراکم پذیری سنگ و سیال آبده از خواص تعیین کننده در مخروط شدگی آب هستند و در هیچ یک از معادلات و روش های اشاره شده آورده نشده اند.

۵. تا کنون روشی که بتواند دبی تولید بهینه و یا زمان رسیدن آب به چاه را در مخازن شکافدار طبیعی به خوبی پیش بینی کند ارائه نشده است. این موضوع به دلیل پیچیدگی جریان در محیط متخلخل با سیستم جریان تخلخل دو گانه و یا تراوایی دوگانه است. از سویی شبکه های شکاف ها در یک مخزن شکافدار طبیعی به خوبی شناخته شده نیست و ویژگی های مانند عرض شکاف، چگالی شکاف ها – جهت و گسترش شکاف ها به صورت خیلی محدود فقط در نزدیکی چاه قابل محاسبه هستند از سوی دیگر به دلیل تروایی بالای شکاف ها نسبت به بلوک های ماتریس سنگ، آب و یا گاز از شبکه های شکاف ها سریعتر حرکت می کند و به چاه می رسد به همین خاطر سطح تماس آب- نفت در شکاف ها بالاتر از ماتریس ها و سطح تماس گاز – نفت در شکاف ها پایین تر از ماتریس هاست.

منابع و مراجع:

1. Di Lullo, G., and P. Rae, “New Insights into Water Control – A Review of the State of the Art”, Paper SPE 77963 presented at SPE Asian Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Melbourne, Australia, 8-10 October, 2002.

2. Wheatley, M.J., “An Approximate Theory of Oil/Water Coning”, Paper SPE 14210 presented at the 60th Annual Technical Conference and Exhibition, Las Vegas, September 22-25, 1985.
3. Guo, B., and R.L.H. Lee, “A Simple Approach to Optimization of Completion Interval in Oil/Water Coning Systems’, Paper SPE 23994, SPE Reservoir Engineering, November 1960.
4. Craft, B.C., and M.F. Hawkins, “Applied Petroleum Reservoir Engineering”, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1959.

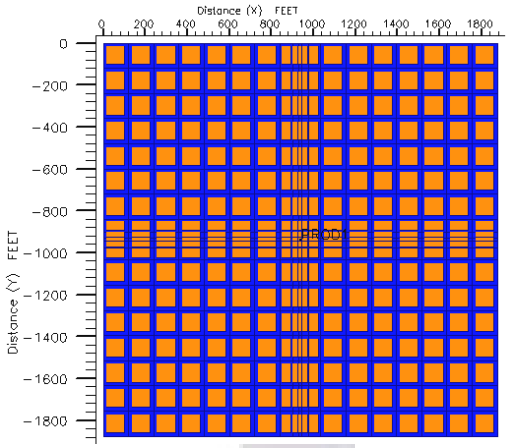
5. Meyer, H.L., and A.O. Garder, “Mechanics of Two Immiscible Fluids in Porous Media”, Journal of Applied Physics, Vol.25, No.11, November 1954.
6. Pirson, S.J., “Oil Reservoir Engineering”, Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington, NY, 1977.
7. Slider, H.C., “Practical Petroleum Reservoir Engineering Methods”, Pennwell Publishing Company, Tulsa, OK, 1976.
8. Chierichi, G.L., G. M. Ciucci, and G. Pizzi, “A Systematic Study of Gas and Water Coning by Potentiometric Models”, Paper SPE 871, Journal of Petroleum Technology, August 1964.
9. Hoyland, L.A., P. Papatzacos, and S.M. Skjaeveland, “Critical Rate for Water Coning: Correlation and Analytical Solution”, Paper SPE 15855, SPERE, November 1989.
10. Chaney, P.E., et al., “How to Perforate Your Wells to Prevent Water and Gas Coning”, Oil and Gas Journal, May 1956.
11. Chaperson, I., “Theoretical Study of Coning Toward Horizontal and Vertical Wells in Anisotropic Formations: Subcritical and Critical Rates”, Paper SPE 15377 presented at the SPE 61st Annual Fall Meeting, New Orleans, October 5-8, 1986.
12. Sobocinski, D.P., and A.J. Cornelius, “A Correlation for Predicting Water Coning Time”, Paper SPE 894, Journal of Petroleum Technology, May 1965.

www.SID.ir

Archive of SID

13. Bournazel, C., and B. Jeanson, “Fast Water Coning Evaluation”, Paper SPE 3628 presented at the 46th Annual Fall Meeting, New Orleans, October 3-6, 1971.

14. Kuo, C.T., and C.L. DesBrisay, “A Simplified Method for Water Coning Predictions”, Paper SPE 12076 presented at the Annual SPE Technical Conference, San Francisco, October 5-8, 1983.



شکل ۱: نمای مدل تخلخل دوگانه از بالا.

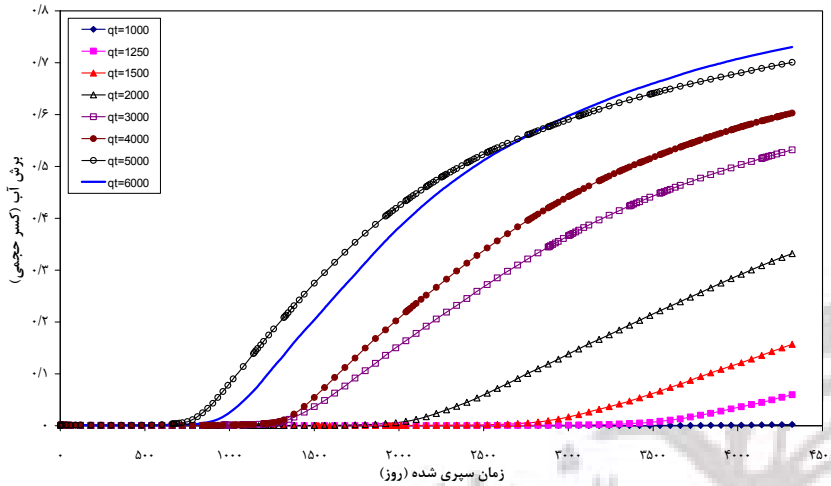
جدول ۱: خلاصه نتایج هشت شبیه سازی.

تولید انباشتی پس از ۱۲ سال (بشکه)	زمان رسیدن به برش آب پنج درصد (روز)	زمان رسیدن به برش آب یک درصد (روز)	دبی کل (بشکه در روز)
4318097	-	-	1000
5363561	4203	3587	1250
6302844	3383	2884	1500
7859923	2436	2067	2000
10146820	1566	1329	3000
12784065	1484	1309	4000

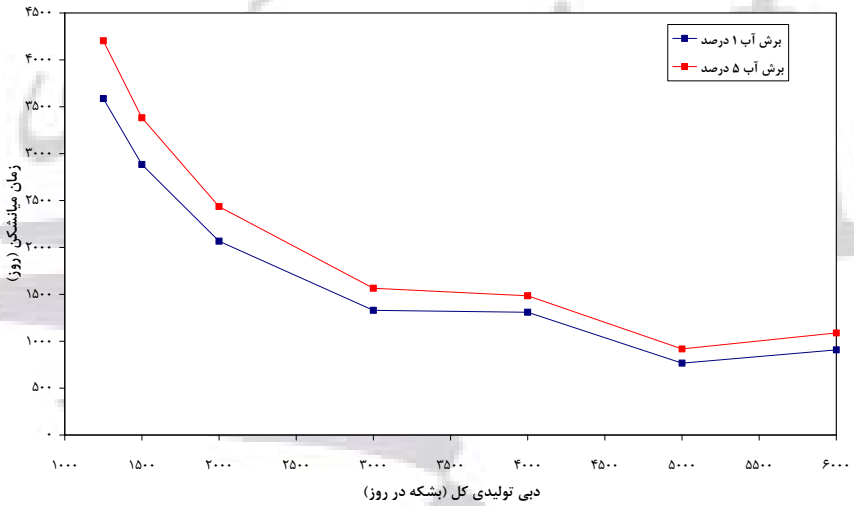
www.SID.ir

Archive of SID

13247158	918	767	5000
11216444	1088	909	6000



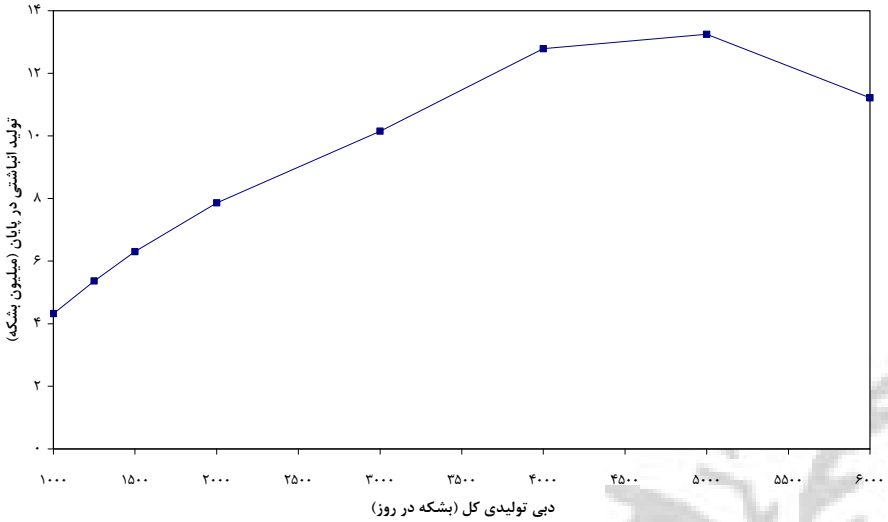
شکل ۲: مقایسه تولید برش آب در حالت های مختلف دبی کل.



شکل ۳: مقایسه زمان رسیدن برش آب به ۱ و ۵ درصد در حالت های مختلف دبی کل.

www.SID.ir

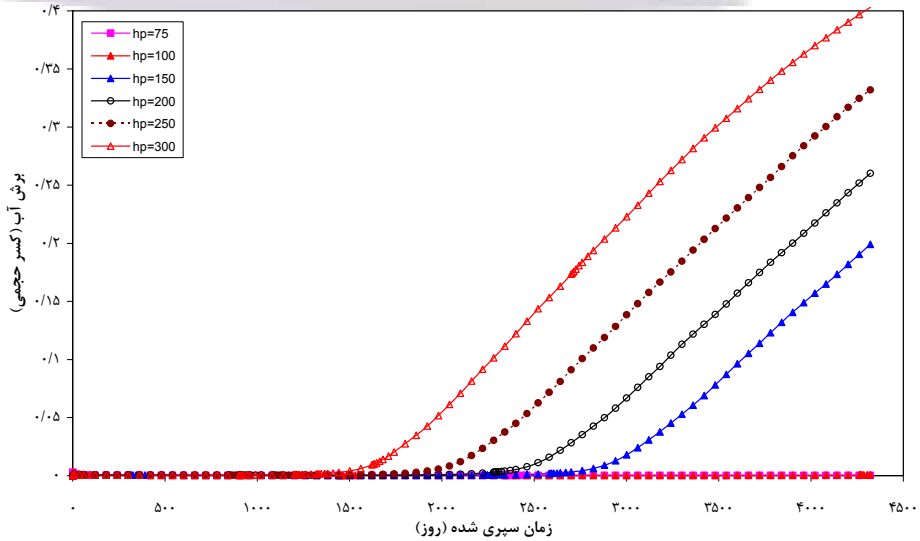
Archive of SID



شکل ۴: مقایسه میزان تولید انباشتی پس از پایان دوره شبیه سازی در حالت های مختلف دبی کل.

جدول ۲: خلاصه نتایج شبیه سازی اثر فاصله مشبک کاری شده.

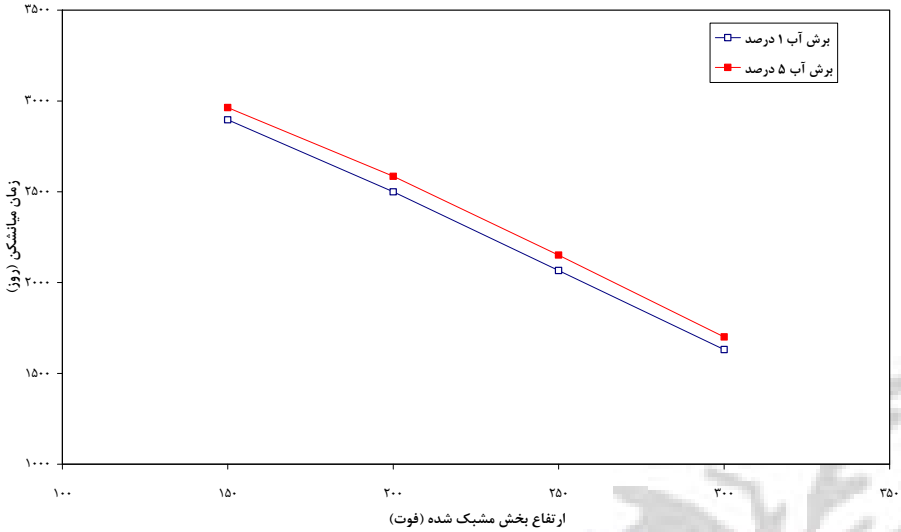
تولید انباشتی پس از ۱۲ سال (بشکه)	زمان رسیدن به برش آب پنج درصد (روز)	زمان رسیدن به برش آب یک درصد (روز)	نسبت $\frac{h_p}{h}$	ارتفاع مشبکها (فوت)
3485893	-	-	0/12	75
6792512	-	-	0/16	100
8340874	2963	2896	0/24	150
8148232	2585	2500	0/32	200
7859923	2151	2067	0/4	250
7465658	1701	1631	0/48	300



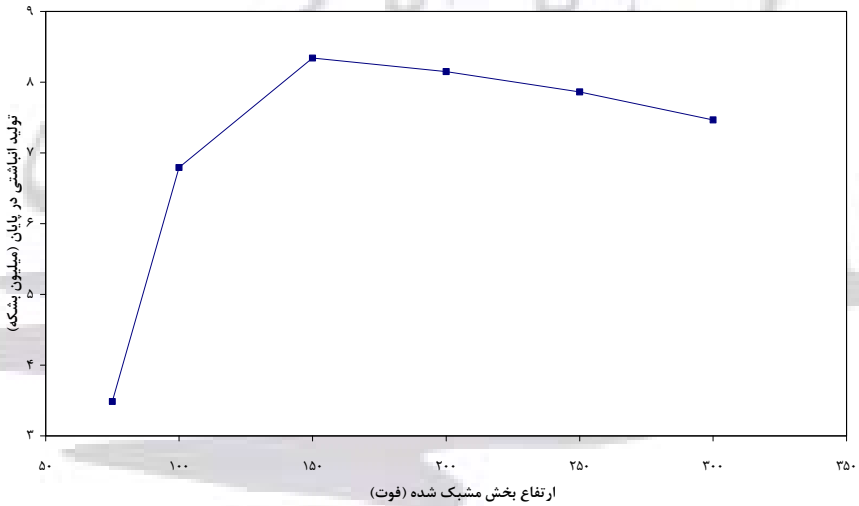
شکل ۵: مقایسه برش آب در حالت های مختلف فاصله مشبک کاری.

www.SID.ir

Archive of SID



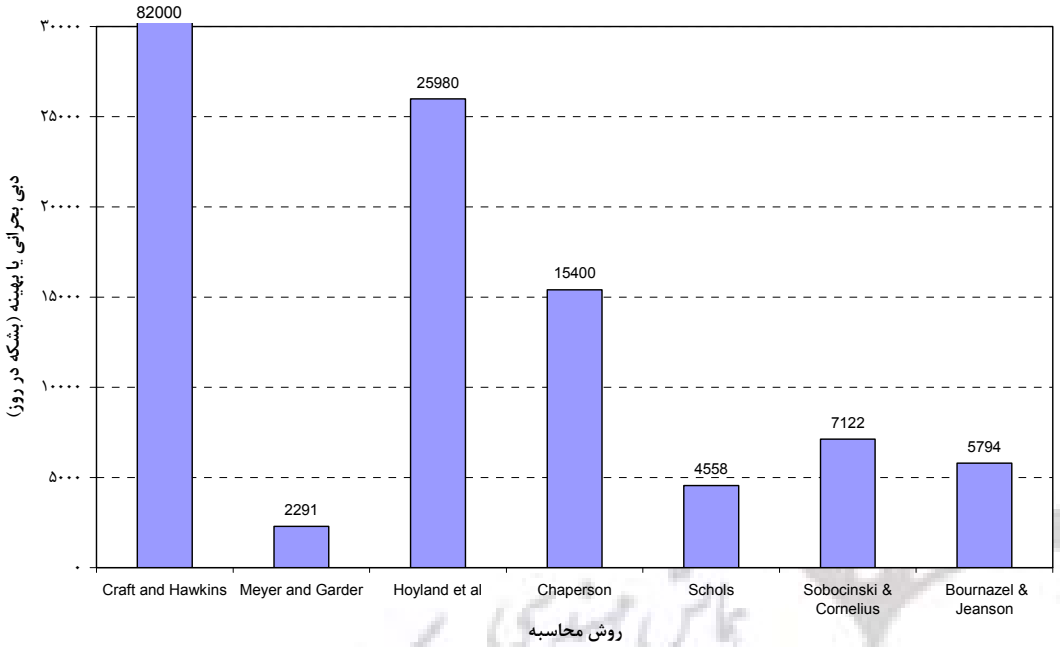
شکل ۶: مقایسه زمان رسیدن برش آب به ۱ و ۵ درصد در حالت های مختلف فاصله مشبک کاری.



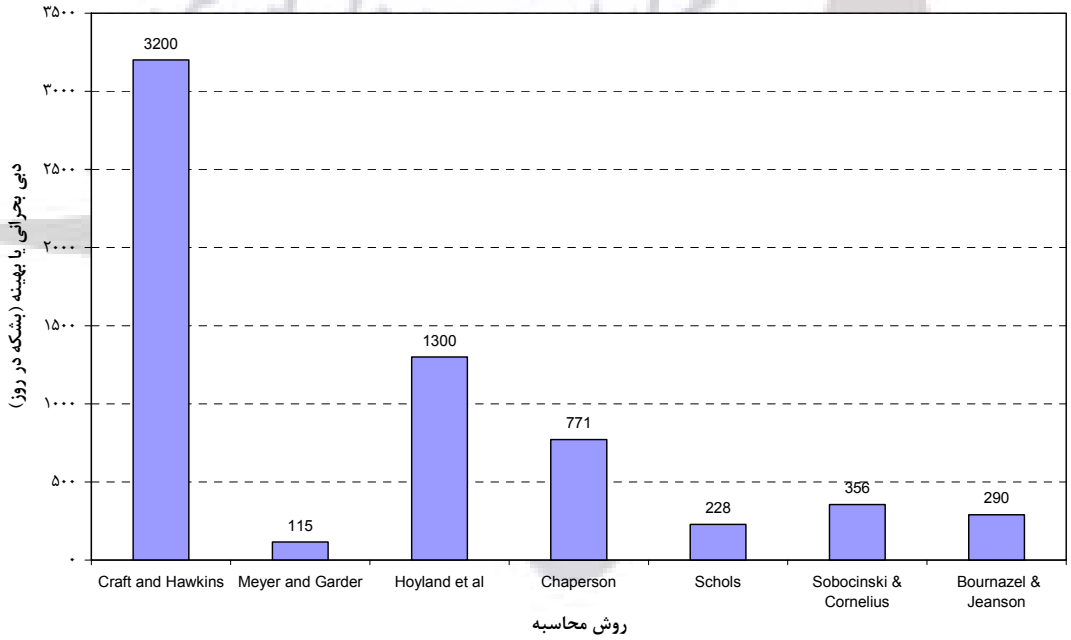
شکل ۷: مقایسه میزان تولید انباشتی در پایان دوره شبیه سازی در حالت های مختلف فاصله مشبک کاری.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸: نتایج روش های پیش بینی دبی بهینه با استفاده از داده های شبکه شکاف ها.



شکل ۹: نتایج روش های پیش بینی دبی بهینه با استفاده از داده های ماتریس سنگ.

www.SID.ir