

آنالیز اطلاعات تولید جهت تعیین علل و کنترل تولید آب در چاه‌های یکی از میادین نفتی فلات قاره ایران

محمد محمدی فرد، محمد هاشم کمالی، سجاد کاظم شیروزی، شرکت نفت فلات قاره ایران

مجتبی اسدیپور، فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی نفت دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

چکیده

آب به عنوان سیال موجود در تمامی انواع سنگ مخزن یافت می‌شود. با توجه به مشکلات بسیاری که تولید آب به همراه خواهد داشت، شرکت‌های تولید کننده نفت همواره در تلاش هستند تا از تولید آن جلوگیری نمایند. در غیر این صورت برای فرآورش و دفع آن مجبور به برنامه‌ریزی و صرف هزینه‌های گزاف خواهند بود. تولید آب ناخواسته در میادین نفت و گاز سبب محدود شدن عمر چاه‌های تولیدی شده و هزینه‌های بسیاری را نیز در پی خواهد داشت. کلید یافتن یک راه حل مناسب جهت کنترل آبدی چاه‌های تولیدی، تشخیص ماهیت و منشأ تولید آب ناخواسته در میدان می‌باشد. تاریخچه تولید مناسب از مخزن اطلاعات ارزشمندی را در راستای کمک به تشخیص علت آبدی در اختیار قرار خواهد داد. از این رو ارزیابی یکپارچه اطلاعات تولیدی نقش بسیار مهمی را در طراحی استراتژی مناسب و مؤثر جهت کنترل تولید آب در میدان ایفا خواهد نمود. این مقاله ابتدا با استفاده از آنالیز اطلاعات تولید، راه‌های شناسایی مشکلات تولید آب ناخواسته در چاه را معرفی می‌کند و سپس کاربرد تلفیقی این روش‌ها را جهت شناسایی و کنترل آبدی در یکی از میادین نفتی فلات قاره ایران ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی تولید آب ناخواسته، نمودارهای تشخیصی، نمودار بازیافت، آنالیز منحنی کاهش، تاریخچه تولید، کاناله شدن آب

مقدمه

اگرچه فناوری‌های متعددی به منظور کنترل تولید آب ناخواسته از میادین نفتی گسترش یافته‌اند، اما به منظور طراحی یک روش پیشگیرانه مؤثر می‌بایست ماهیت و منشأ تولید آب در میدان شناخته شود. پس از شناخت مکانیزم تولید آب می‌توان نسبت به تعریف استراتژی‌های مختلف و انتخاب بهترین گزینه برای کنترل آن اقدام نمود. امروزه شرکت‌های نفتی هزینه‌های سنگینی را به علت تولید آب از مخازن متحمل می‌شوند که در بسیاری از موارد فناوری‌های نوین کنترل آب می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه هزینه‌ها شده و تولید نفت را بهبود بخشد. دلیل اصلی عدم توانایی در کنترل دائمی تولید آب، عدم شناخت کافی مشکلات مختلف مربوط به آبدی و متعاقباً به کارگیری راه‌حل‌های نامناسب در رابطه با آن بوده است. با مطالعه مقالات فنی متعددی که به بررسی این مشکل پرداخته‌اند می‌توان دریافت که اساسی‌ترین اشکال در تلاش برای بررسی و حل این مشکل، کم توجهی این مطالعات به مسائل شناخت مخزن، زمین‌شناسی سازند و علل تولید آب می‌باشد. بنابراین ارزیابی یکپارچه اطلاعات موجود از مخزن در تشخیص علت آبدی در میدان و سپس کنترل آن بسیار ضروری می‌باشد.

۱- راه‌های شناسایی مشکلات تولید آب ناخواسته در چاه با استفاده از اطلاعات تولید

کلید کنترل تولید آب از چاه استفاده از ابزار تشخیصی مناسب به منظور شناخت مشکل آبدی می‌باشد. به منظور تشخیص و کنترل نوع خاص مشکل آبدی، عیب‌یابی در چاه در سه مرحله انجام می‌پذیرد:
- مشخص کردن چاه‌های آبدی که کنترل آبدی در آن‌ها ضروری است.

- تعیین علت تولید آب به منظور اتخاذ روش مناسب جهت کنترل آبدی

در چاه.

- مشخص کردن محل ورود آب به چاه تولیدی جهت انجام عملیات تعمیری در محل مناسب.

در صورت وجود تاریخچه تولید مناسب از مخزن، داده‌های ارزشمندی جهت تشخیص علت آبدی در اختیار خواهد بود. تکنیک‌های متعددی با استفاده از آنالیز اطلاعات تولیدی نظیر داده‌های نسبت آب به نفت^۱، نرخ تولید نفت و آب در طی زمان و نتایج اندازه‌گیری نمودارهای درون چاهی عرضه شده‌اند تا بتوانند منابع مختلف تولید آب ناخواسته را مشخص نمایند [۵].

۱-۱- نمودار بازیافت^۲

نمودار بازیافت، نموداری در مقیاس نیمه لگاریتمی است که در آن مقادیر نسبت آب به نفت تولیدی در برابر مقادیر تولید انباشتی نفت^۳ رسم می‌شوند (شکل ۱). در این نمودار روند تولید نفت می‌تواند تا حداکثر مقدار نسبت آب به نفت که پس از آن تولید از چاه اقتصادی نخواهد بود برون‌یابی شود تا میزان جمعی نفت تولیدی در صورت عدم به کارگیری هرگونه روش کنترل آب تعیین گردد. اگر میزان تولیدی که از برون‌یابی این نمودار حاصل می‌شود برابر یا بیش از میزان تولید مورد انتظار برای چاه باشد، آن‌گاه نوع آبی که در چاه تولید می‌شود، آب مطلوب^۵ بوده و نیاز به اعمال هیچ‌گونه روش کنترل تولید آب نمی‌باشد. اما اگر مقدار حاصل بسیار کمتر از میزان بازیافت مورد انتظار باشد، چاه در وضعیت تولید آب ناخواسته^۴ است. با توجه به هزینه‌های سنگین انجام عملیات کنترل آبدی تنها در صورتی که میزان ذخیره نفت باقی مانده قابل توجه باشد برنامه‌ریزی و انجام



عملیات کنترل تولید آب منطقی و ضروری خواهد بود [۱].

۱-۲- نمودار تاریخچه تولید^۲

نفت در مقابل زمان جهت تشخیص علل تولید آب به کار گرفته می‌شوند. از مقایسه نمودارهای حاضر با الگوهای رفتاری مشخص این نمودار، برای تشخیص انواع مشکلات تولید آب استفاده می‌شود. این نمودارها در واقع با ارائه یک الگوی منحصر به فرد برای هر یک از انواع رایج تولید آب ناخواسته، چگونگی تشخیص آن‌ها را از یکدیگر امکان‌پذیر می‌سازند. به عبارت دیگر سه شکل متمایز این نمودار، بیانگر مکانیزم‌های متفاوت نفوذ آب به چاه تولیدی هستند:

۱- جریان باز^{۱۱} آب از طریق گسل‌ها و شکاف‌ها یا کاناله شدن آب در پشت لوله جداری.

۲- جریان خطی^{۱۲} که می‌تواند بیانگر جریان آب حاشیه‌ای^{۱۳} یا تغییر سطح تماس آب و نفت باشد.

۳- پدیده مخروطی شدن.
نمودار مشتق نسبت آب به نفت در مقابل زمان نیز می‌تواند به منظور تشخیص علل آبدی به کار گرفته شود [۴]، اما معمولاً عدم قطعیت یا طبیعت به هم ریخته اندازه‌گیری‌ها در میدان، کاربرد این روش را محدود می‌سازد [۲]. شکل ۴ تفاوت‌های اصلی بین انواع مشکلات مذکور را بر روی نمودارهای تشخیصی بیان می‌کند.

نمودار بالایی در شکل ۴ یک مسیر جریان باز آب را نمایش می‌دهد که در نتیجه جریان آب از طریق یک گسل، شکاف و یا کانال پشت لوله جداری رخ می‌دهد. این مشکل می‌تواند در هر زمانی در طول عمر چاه رخ دهد و بیانگر یک افزایش بسیار شدید در میزان نسبت آب به نفت تولیدی می‌باشد. نمودار میانی در شکل ۴ جریان آب حاشیه‌ای را نمایش می‌دهد. این وضعیت با توجه به افزایش سریع نرخ جریان آب مشخص می‌شود و با یک منحنی خطی مستقیم دنبال می‌شود. برای مخازن چند لایه‌ای، این خط ممکن است یک شکل پلکانی داشته باشد که بستگی به نفوذپذیری متقابل لایه‌ها دارد. نمودار پایینی بیانگر پدیده مخروطی شدن در چاه می‌باشد. وضعیتی که یک افزایش تدریجی در میزان نسبت آب به نفت تولیدی، شکل‌گیری زود هنگام یک مخروط آبی را در طول عمر چاه نشان می‌دهد. این افزایش معمولاً تا مقادیر بین ۱ تا ۱۰ ادامه می‌یابد و سپس شیب منحنی نسبت آب به نفت کاهش می‌یابد [۳]. پس از تثبیت مخروط آبی، منحنی نسبت آب به نفت رفتاری شبیه به منحنی معرفی شده برای جریان آب حاشیه‌ای خواهد داشت.

نمودار شکل ۵ تفاوت رفتار منحنی نسبت آب به نفت برای پدیده‌های مخروطی شدن و کاناله شدن آب در یک لایه نفوذپذیر را نمایش می‌دهد. در طی زمان‌های اولیه، منحنی نسبت آب به نفت برای هر دو حالت یک خط مستقیم

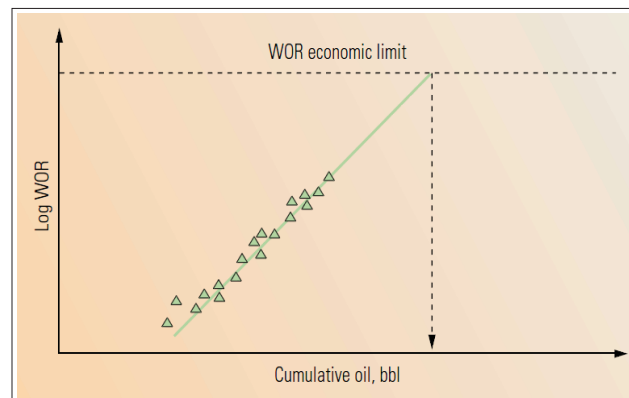
این نمودار که در مقیاس لگاریتمی رسم می‌شود، مقادیر نرخ تولید آب و نفت^{۱۴} را در مقابل زمان نشان می‌دهد (شکل ۲). چنانچه در بررسی رفتار چاه به کمک این نمودار، افزایشی در منحنی میزان تولید آب و هم‌زمان کاهش در میزان تولید نفت مشاهده شود، مؤید آن خواهد بود که این چاه گزینه مناسبی برای انجام عملیات کنترل آبدی است.

۱-۳- آنالیز منحنی کاهش^۱

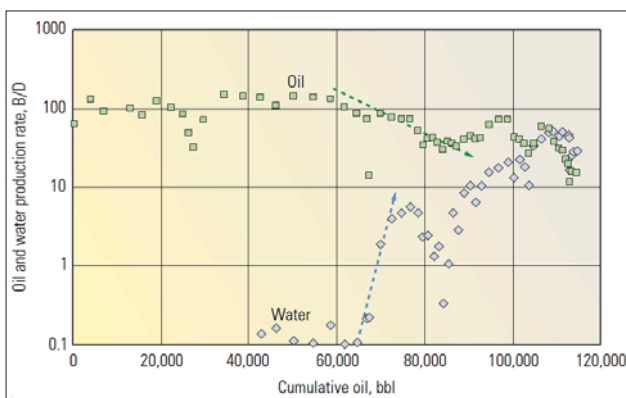
این نمودار که در مقیاس نیمه لگاریتمی رسم می‌شود، مقادیر نرخ تولید نفت را در مقابل مقادیر تجمعی تولید نفت نمایش می‌دهد (شکل ۳). در صورت تولید طبیعی مخزن، روند کاهش به شکل یک خط مستقیم بر روی نمودار خواهد بود. شدت یافتن روند کاهش نمودار تولید نفت ممکن است نشان دهنده مشکلی غیر از تولید آب مانند افت فشار شدید یا وجود یک آسیب مخزنی باشد. با رسم مقادیر تولید آب در برابر مقادیر تجمعی تولید نفت، می‌توان مشکل افزایش ناگهانی تولید آب در چاه (در کنار افت تولید نفت) را تشخیص داد.

۱-۴- نمودارهای تشخیصی^{۱۰}

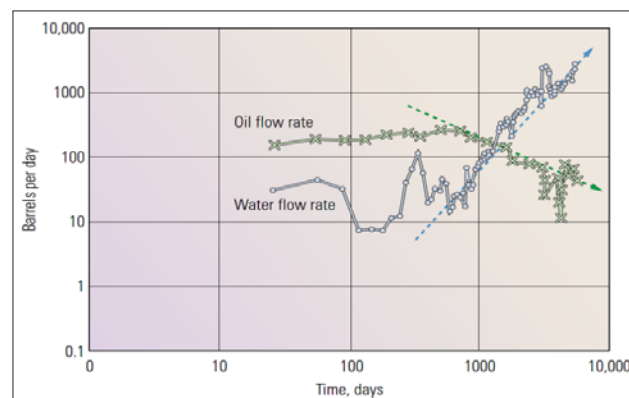
نمودارهای تشخیصی در مقیاس لگاریتمی و با ترسیم مقادیر نسبت آب به



شکل ۱ | نمودار باز یافت: روند افزایشی نسبت آب به نفت با افزایش تولید تجمعی و استفاده از آن در تشخیص مشکل تولید آب ناخواسته در چاه تولیدی [۲]



شکل ۲ | نمودار آنالیز منحنی کاهش: کاهش ناگهانی در نرخ تولید نفت می‌تواند نشانگر مشکل تولید آب در چاه باشد [۲].



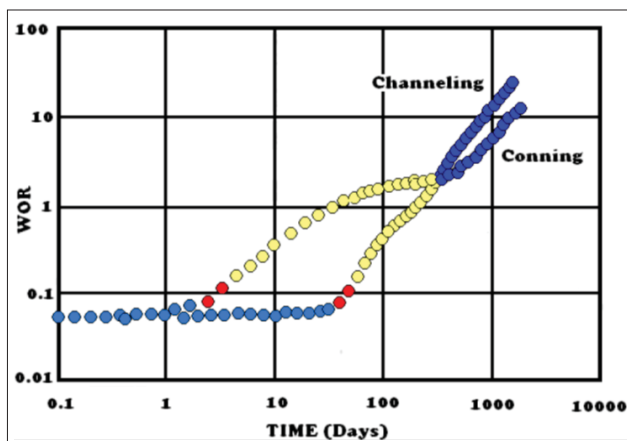
شکل ۳ | نمودار تاریخچه تولید: یک افزایش ناگهانی در میزان تولید آب و هم‌زمان کاهش در میزان تولید نفت مؤید تولید آب ناخواسته در مخزن است [۲].

پلکانی برای اطلاعات روی نمودار می شود [۲].

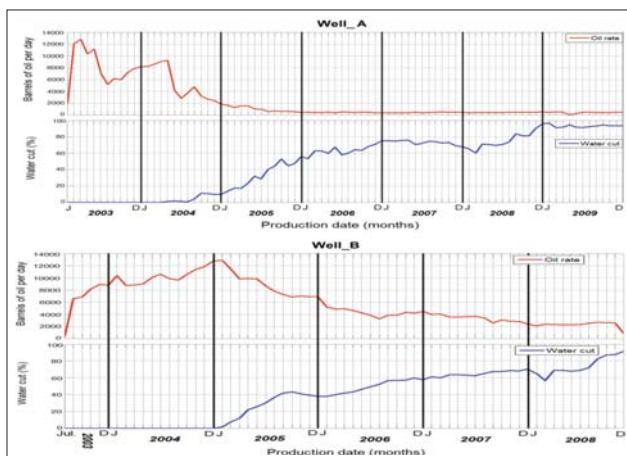
۲- بررسی عوامل آبدهی و کنترل آب در میدان مورد مطالعه

به منظور بررسی مشکل تولید آب در چاه‌های تولیدی میدان مورد مطالعه، اطلاعات تولید مربوط به دو چاه تولیدی A و B مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفتند. در اولین گام به منظور مشخص نمودن مشکل تولید آب در میدان می بایست در جستجوی یک افزایش تولید ناگهانی آب در چاه‌های تولیدی بود. با رسم نمودارهای میزان تولید نفت و درصد تولید آب^{۱۴} در مقابل زمان (ماه) برای هر یک از چاه‌های تولیدی، مشاهده شد که برای چاه A در اواسط سال ۲۰۰۴ و پس از گذشت حدود یک سال از آغاز تولید و برای چاه B از اوایل سال ۲۰۰۵ با گذشت حدود یک سال و نیم از ابتدای تولید میزان آب تولیدی در چاه‌ها شروع به افزایش نموده است (شکل ۶). به همراه روند افزایشی تولید آب در چاه‌ها، کاهش نسبتاً شدیدی در میزان تولید نفت در هر دو چاه مشاهده شد و لذا ضرورت بررسی نوع و علت تولید آب در آن‌ها مشخص گردید. برای این منظور تکنیک‌های مختلف آنالیز داده‌های تولید - که پیش از این به بحث درباره آن‌ها پرداختیم - به کار گرفته شد.

به منظور بررسی مشکل تولید آب در دو چاه A و B ارزیابی یکپارچه



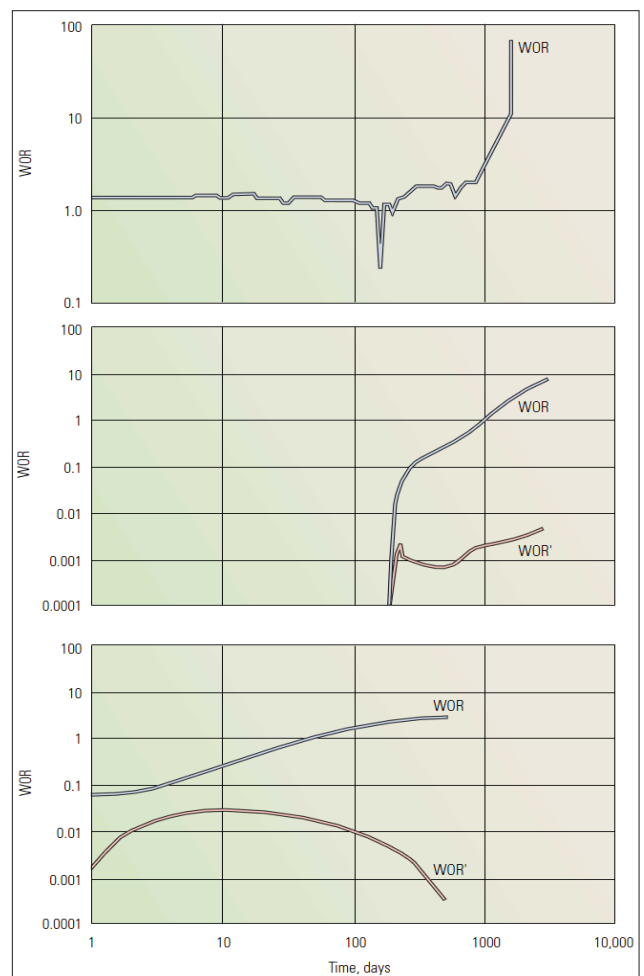
شکل ۵ | مقایسه بین دو پدیده مخروطی شدن و کاناله شدن جریان آب بر روی نمودار تشخیصی WOR [۱۴]



شکل ۶ | نمودار میزان تولید نفت و درصد تولید آب در مقابل زمان در چاه‌های A و B میدان مورد مطالعه

می باشد که مربوط به تولید اولیه آنهاست. در حالت مخروطی شدن آب، معمولاً زمان انحراف - زمانی که مخروط آبران پایین^{۱۵} به پایین ترین قسمت مشبک کاری شده در چاه تولیدی می رسد - کوتاه می باشد. پس از آن روند افزایشی در مقدار نسبت آب به نفت نسبتاً آهسته بوده و تا انتهای این مرحله تدریجاً به یک مقدار ثابت نزدیک می شود. در طی این مرحله مخروط آبران پایین همواره به سمت بالا حرکت می کند و به صورت شعاعی نیز گسترش می یابد. اشباع نفت نیز به صورت تدریجی تا اشباع نفت باقی مانده^{۱۵} کاهش می یابد. پس از مدتی مخروط، یک کانال هادی جریان آب ایجاد می کند که از آن نقطه به بعد مقدار نسبت آب به نفت به سرعت افزایش می یابد [۳].

در حالت کاناله شدن جریان آب، زمان انحراف - زمانی که آب از طریق یک لایه در یک سازند چند لایه‌ای جریان می یابد و مسیر کوتاه تر تا چاه را پیدا می کند - عموماً طولانی تر از زمان انحراف برای حالت مخروطی شدن می باشد. با تولید آب از مسیر کوتاه شده، میزان نسبت آب به نفت به طور سریعی افزایش می یابد. شیب منحنی در این حالت به تراوایی نسبی و شرایط اشباع اولیه بستگی دارد. میزان نسبت آب به نفت در یک نرخ مشخص ادامه می یابد تا زمانی که اولین لایه کاناله شده تخلیه شود. افزایش بعدی در منحنی نسبت آب به نفت، میان شکنی^{۱۶} مسیر آب در لایه بعدی را نشان می دهد که باعث ایجاد یک حالت

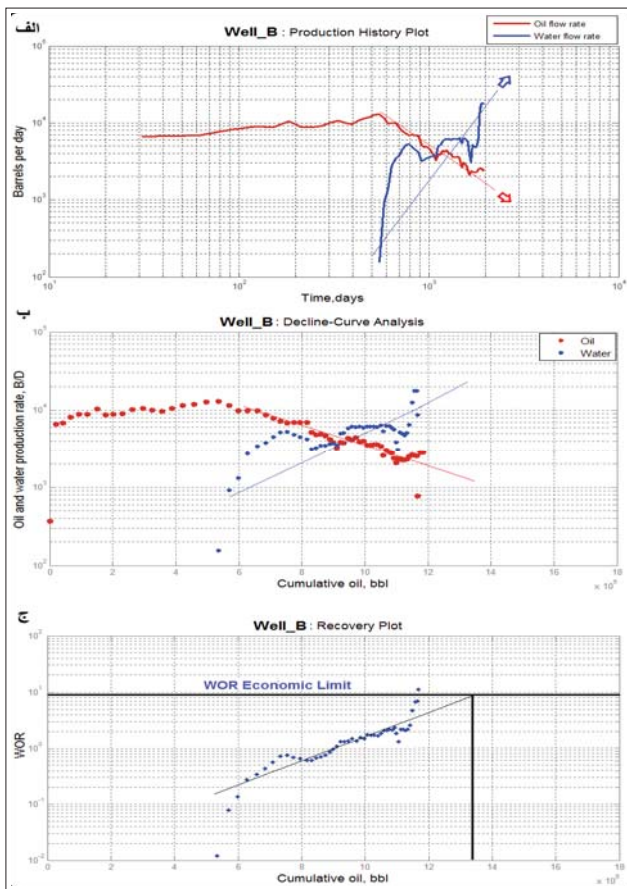


شکل ۱۴ | نمودارهای تشخیصی WOR که مقادیر نسبت آب به نفت و مشتق آن را به صورت تابعی از زمان در سه مورد از دلایل خاص تولید آب ناخواسته نمایش می دهد [۲].

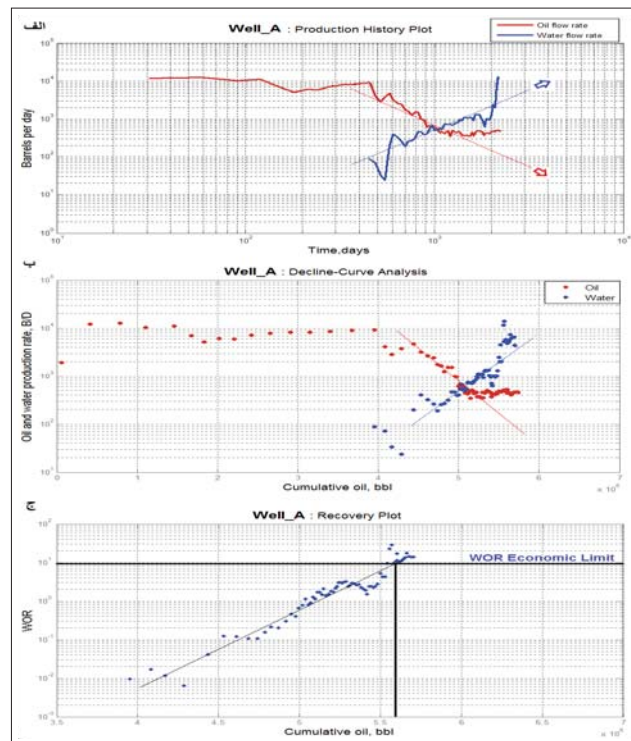


در نظر گرفته شده است ($WC = 90\%$) مشخص شد که میزان نفتی که طی این روند و با فرض عدم به کارگیری هرگونه روش کنترل تولید آب تولید خواهد شد (حدود ۵ میلیون بشکه)، بسیار کمتر از میزان تجمعی نفت تولیدی مورد انتظار از چاه خواهد بود (حدود ۲۵ میلیون بشکه). این مقایسه بیانگر تولید آب ناخواسته در چاه بوده و نشان دهنده آن است که روند افزایش نسبت تولید آب به نفت در این چاه بسیار سریع اتفاق افتاده به طوری که در صورت عدم اجرای طرح کنترل تولید آب، تولید تجمعی نفت پیش بینی شده از این چاه محقق نخواهد شد. پس از مشخص شدن مشکل تولید آب ناخواسته در چاه، به منظور تعیین علت آبدهی و اتخاذ روش مناسب کنترل تولید آب، نمودار تشخیصی نسبت آب

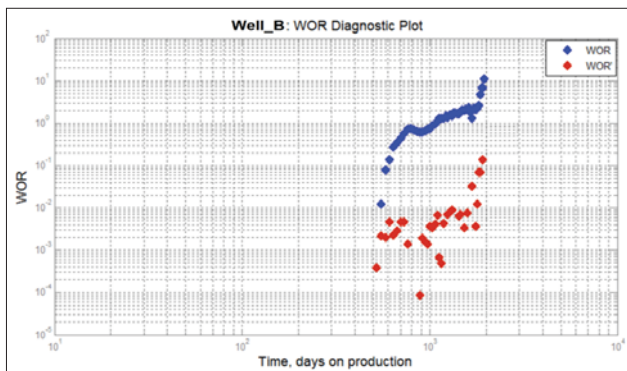
اطلاعات تولید با بهره گیری از اطلاعات موجود تولید انجام شد. شکل ۷ سه نمودار تاریخچه تولید، آنالیز منحنی کاهش و نمودار بازیافت رسم شده برای چاه A را نمایش می دهد. بر اساس نمودار تاریخچه تولید، افزایش ناگهانی و همزمان در منحنی میزان تولید آب و کاهش در میزان تولید نفت پس از گذشت مدتی از آغاز تولید، بیانگر مشکل تولید آب ناخواسته در این چاه می باشد. با آنالیز منحنی کاهش، یک کاهش ناگهانی در نمودار تولید نفت که بیانگر وجود مشکلاتی از جمله تولید آب در چاه مورد مطالعه می باشد، مشاهده شد و با افزایش ناگهانی و شدید تولید آب این موضوع تأیید شد. با رسم نمودار بازیافت و برون یابی روند تولید تا مقدار محدود کننده اقتصادی نسبت آب به نفت که در این مورد معادل ۹



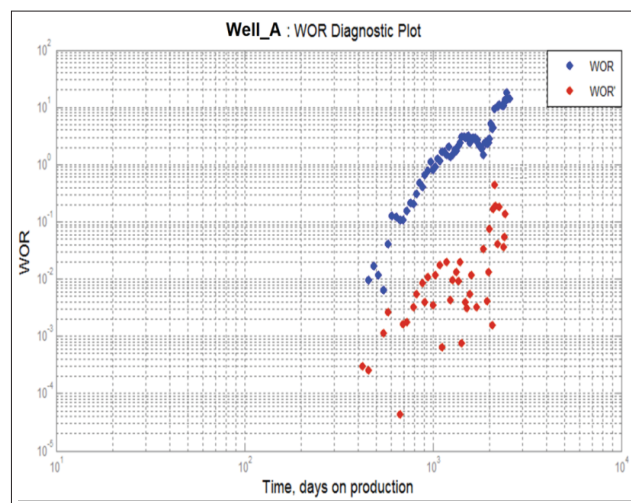
شکل ۷ | نمودارهای تاریخچه تولید، آنالیز منحنی کاهش و نمودار بازیافت در چاه A



شکل ۸ | نمودار تشخیصی WOR در چاه A



شکل ۹ | نمودار تشخیصی نسبت آب به نفت در چاه B



شکل ۱۰ | نمودار تشخیصی WOR در چاه A

تأیید گردید. بر این اساس مشاهده شد که منحنی های نرخ تولید آب و نفت به طور هم زمان به ترتیب افزایش و کاهش ناگهانی را تجربه می کنند. در نمودار آنالیز منحنی کاهش نیز با مشاهده روند کاهشی ناگهانی نرخ تولید نفت با توجه به افزایش تولید آب، مشکل آبدهی در چاه تأیید شد. همچنین بر مبنای نمودار بازیافت و مقایسه میزان نفت تجمعی تولیدی از این چاه با توجه به روند افزایش نسبت آب به نفت (حدود ۱۳ میلیون بشکه) و میزان تولید تجمعی پیش بینی شده از این چاه (حدود ۲۵ میلیون بشکه)، مشخص شد که آب تولیدی در چاه از نوع آب ناخواسته و نامطلوب می باشد. لذا به منظور تعیین علت آبدهی و انجام عملیات کنترل تولید آب نمودار تشخیصی نسبت آب به نفت برای چاه B نیز رسم گردید (شکل ۱۰) و پس از مقایسه با الگوهای موجود علت تولید آب در چاه، کاناله شدن آب در سازند چند لایه ای تعیین گردید.

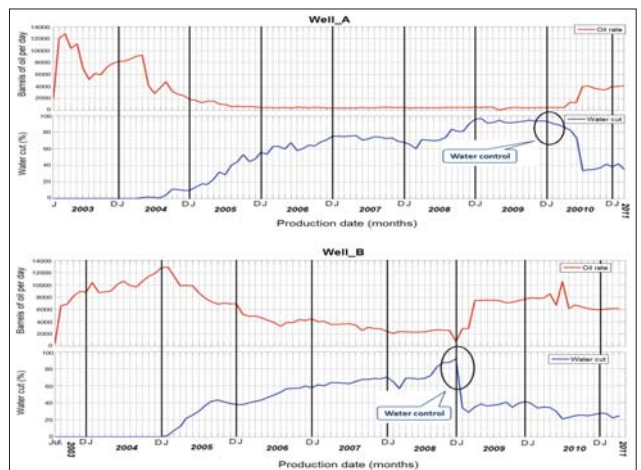
پس از مشخص شدن علت تولید آب در چاه های مورد مطالعه و اخذ و آنالیز نمودارهای تولید^{۱۸}، لایه های آبد و محل ورود آب به چاه ها شناسایی شدند. به منظور انجام عملیات کنترل تولید آب در دو چاه تولیدی A و B، لایه های آبد مشخص شده، توسط عملیات سیمانکاری مسدود گردیدند. همان طور که در شکل ۱۱ مشاهده می شود، در چاه A با کنترل تولید آب از لایه های آبد مخزن، از اوایل سال ۲۰۱۰ درصد آب تولیدی از بیش از ۹۵ درصد به حدود ۳۰ درصد و در چاه B نیز پس از انجام عملیات کنترل آب در ابتدای سال ۲۰۰۹ درصد تولید آب از ۹۰ درصد به حدود ۲۰ درصد تقلیل یافته است.

نتیجه گیری

۱- آنالیز داده های تولید اطلاعات ارزشمندی را در خصوص شناسایی و ارزیابی مشکل تولید آب در تعداد زیادی از چاه های میدان در اختیار قرار می دهد.
 ۲- ترسیم نمودارهای تشخیصی نسبت آب به نفت با استفاده از اطلاعات تولیدی در دسترس و مقایسه آنها با الگوهای رفتاری مرجع، ابزار عیب یابی مناسبی جهت تشخیص علت تولید آب در میدان در اختیار قرار می دهد.
 ۳- با ارزیابی یکبارچه اطلاعات تولید در میدان مورد مطالعه، تولید آب ناخواسته در چاه های میدان تأیید و علت اصلی و عمده آن نیز کاناله شدن آب در لایه های نافوذپذیری بالا در سازندهای چند لایه ای تعیین گردید.

به نفت برای چاه A رسم گردید (شکل ۸). مقایسه این نمودار با الگوهای موجود، مشکل کاناله شدن آب در یک سازند چند لایه ای را بیان می کند. انحراف اولیه و ناگهانی مقادیر نسبت آب به نفت بر روی نمودار به وضوح مشخص می باشد. با توجه به شیب مثبت منحنی نسبت آب به نفت، مشتق آن و حالت پلکانی نمودار، مشخص می شود که پس از اینکه جریان آب از طریق یک لایه در یک سازند چند لایه ای مسیر کوتاه تر را به سمت چاه پیدا کرده، میزان نسبت آب به نفت افزایش یافته و با تخلیه اولین کانال، ورود آب از لایه دیگری رخ داده است. تغییر در شیب قسمت های مختلف نمودار به دلیل تفاوت در تراوایی نسبی و شرایط اشباع اولیه لایه ها در سازند می باشد. همچنین حالت های پلکانی کوتاه تر در قسمت های انتهایی نمودار بیانگر کاناله شدن آب طی چندین مرحله در فواصل نزدیک تر به چاه بوده است.

در ادامه مطالعه با رسم نمودارهای تاریخچه تولید، آنالیز منحنی کاهش و نمودار بازیافت برای چاه B (شکل ۹)، مشکل تولید آب ناخواسته در این چاه نیز



شکل ۱۱ | نمودار میزان تولید نفت و درصد آب تولیدی در مقابل زمان پس از عملیات کنترل آب در چاه های A و B

پانویس ها

- | | | |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1 mojtaba.asadpoor@gmail.com | 7 Production History Plot | 13 Edge water |
| 2 Water Oil Ratio (WOR) | 8 Water and Oil Flow Rate | 14 Water cone |
| 3 Recovery Plot | 9 Decline Curve Analysis | 15 Residual oil saturation |
| 4 Cumulative Oil Production | 10 Diagnostic Plot | 16 Breakthrough |
| 5 Good Water | 11 Open flow | 17 Water cut |
| 6 Bad Water | 12 Linear flow | 18 Production Logging Test |

منابع

- [1] Al Hasani, M. a., Al Khayari, S. R., Al Maamari, R. S.: "Diagnosis of Excessive Water Production in Horizontal Wells Using WOR Plots", presented at the International Petroleum Technology Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, IPTC No. 11958, December 2008.
- [2] Bailey, B., Crabtree, M., Tyrie, J., Elphick, J., Kuchuk, F., Romano, C. and Roodhart, L., "Water Control", Schlumberger Oilfield Review, Pages 30-44, Spring 2000.
- [3] Chan, K. S., "Water Control Diagnostic Plots", presented at the SPE Conference & Exhibition, Dallas, U.S.A, SPE No. 30775, October 1995.
- [4] Ghanim, A. J., Nufaili, A. A., "Middle East Field Water Production Mechanisms", presented at SPE Oil & Gas Conference, Mumbai, India, SOE No. 127934, January 2010.
- [5] Reyes, C. M., Valcon, J. L., Azuaje, E., "A Reliability-Based Systemic Method for Water Production Analysis, Diagnosis and Solution Design", presented at SPE Latin American & Caribbean PE conference, Lima, Peru, SPE No. 138935, December 2010.
- [6] Reynolds, R. Reynolds with a contribution from Robert D. Kiker, "Produced Water and Associated Issues", Oklahoma Geological Survey Open-File Report, 2003.