فصلنامه علمی، پژوهشی زمین‌شناسی و محیط‌زیست
سال سوم، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۸

بررسی علل آبدهی مخزن آسماری در چاه‌های میدان نفتی دورود

اصغر قبادی دیزجیکان[۱]، جعفر آلی[۲]، محمدرضا رجلی[۳]، زینب عالیشوندی[٤]

۱) کارشناس ارشد زمین شناسی نفت، اداره نمودارگیری شرکت ملی حفاری

۲) عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد و سرپرست پتروفیزیک شرکت پترو ایران

۳) کارشناس ارشد اداره زمین شناسی و پتروفیزیک شرکت نفت فلات قاره ایران

٤) کارشناس ارشد زمین شناسی نفت، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

در این پژوهش، با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی، نتایج حاصل از ارزیابی پتروفیزیکی و اطلاعات تولید مخزن آسماری، به بررسی علل آبده شدن مخزن آسماری در چاه‌های میدان نفتی دورود پرداخته شده است و با توجه به ماهیت آبدهی، به ارائه راهکارهای مناسب جهت کنترل آبدهی و صیانت از مخزن مبادرت گردیده است.

بر اساس این مطالعه، علت اصلی آبدهی مخزن آسماری در چاه‌های میدان دورود، پدیده مخروطی شدن شناخته شد. که عوامل اصلی وقوع پدیده مخروطی شدن بالا بودن نفوذپذیری عمودی سازند مخزنی و بالا بودن افت فشار در نزدیکی چاه تشخیص داده شده است.

کاهش اندازه کاهنده سرچاهی به عنوان اولین گام برای جلوگیری پدیده مخروطی شدن، استفاده از روش‌های تکمیل دوگانه چاه و تزریق ژل به عنوان دو شیوه کنترل کننده مکمل پیشنهاد گردید.

واژگان کلیدی: میدان نفتی دورود، مخزن آسماری، آبدهی، مخروطی شدن، کنترل آبدهی.

مقدمه

با در نظر گرفتن اهمیت سیاسی و اقتصادی نفت به عنوان مهمترین منبع درآمد کشور، شناخت مسائل مربوط به مهندسی نفت و پیش‌بینی رفتار مخازن برای بهره‌برداری بهینه و صیانت از آنها امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. مشکل تولید آب در میادین نفت و گاز یکی از معضلات بزرگ اقتصادی بوده که پیامدهای منفی بسیاری را به همراه دارد. با تولید آب ناخواسته، از یک سو فشار مخزن، متناسب با حجم آب خروجی کاهش و در نتیجه، عمر چاه‌های تولیدی نفت و گاز و بهره‌دهی زون بهره ده کاهش می یابد، از سوی دیگر باعث بروز چندین مشکل، شامل تحمیل هزینه‌های ناشی از ایجاد خوردگی تأسیسات فلزی داخل چاه و بیرون چاه، هزینه‌های جداسازی، پالایش، تصفیه و دوباره بازگرداندن این آب به مخزن و یا تخلیه در محیط مسائل زیست محیطی و... می‌شود[4]، که می‌بایست با نگرش همه جانبه و مدیریت صحیح، در راستای شناخت ماهیت، کنترل آن و صیانت از مخازن نفتی گام‌های اساسی برداشته شود.

قبل از انجام هر اقدام پیشگیرانه در خصوص آبدهی چاه‌ها باید با دلایل بروز مشکل آبدهی چاه‌ها آشنا شد، در گام بعدی ماهیت و منشاء ورود آب باید شناسایی شود، تا در نهایت بتوان نسبت به تعریف و طراحی استراتژی‌های مناسب و انتخاب گزینه موثرتر و مقرون به صرفه‌تر، از نظر زمانی و اقتصادی جهت کنترل و مدیریت مشکل اقدام نمود [8].

هدف اصلی از اجرای این پروژه در حقیقت بررسی ماهیت و علل آبده شدن مخزن آسماری در میدان نفتی درود و ارائه راهکارهای عملی برای پیشگیری و کنترل آبده شدن مخزن و صیانت از مخزن آسماری می‌باشد.

لازم به یادآوری می‌باشد که میدان دورود از میادین نفتی مهم حوضه خلیج فارس محسوب می‌شود که بخش شمالی آن در جزیره خارگ واقع در ۵۷ کیلومتری شمال غربی بوشهر و بخش جنوبی آن در آب‌های خلیج فارس واقع گردیده است. (شکل ۱)

مخزن اصلی این میدان را سازند فهلیان (یاماما) به سن نئوکومین و مخزن دوم آن را سازند آسماری به سن الیگومیوسن تشکیل می‌دهد [6].

شکل ۱- موقعیت میدان نفتی دورود در خلیج فارس

روش

اولین اقدام در بررسی پدیده آبدهی در میادین نفتی شناسایی چاه‌هایی است که دچار آبدهی شده‌اند. به همین منظور با بررسی عملکرد مخزن آسماری، ترسیم و مطالعه نمودارهای تولید میزان آب- نفت، بر اساس زمان و مشاهده تغییرات غیر معمول، چاه‌هایی که دچار آبدهی شده‌اند مشخص گردیدند. سپس به منظور شناخت ماهیت و منشاء آبدهی، با توجه به اهمیت موضوع در صیانت از مخزن، به تلفیق داده‌های زمین‌شناسی سازند آسماری و نتایج حاصل از تفسیر نمودارهای چاه پیمایی و ارزیابی پتروفیزیکی مخزن آسماری پرداخته شد و با بررسی ویژگی‌های دینامیکی و استاتیکی مخزن، نقش آنها در وقوع مشکل آبدهی مطالعه گردید. در ادامه، با استفاده از اطلاعات تولید و عملکرد مخزن و ترسیم نمودار متقاطع (cross plot) نسبت آب- نفت در برابر زمان و مقایسه آن با نمودارهای متقاطع استاندارد ترسیم شده بر اساس یافته‌های تجربی چان (Chan, K.S) به تشخیص علت اصلی آبدهی مخزن پرداخته شد و در نهایت با توجه به ماهیت آبدهی، به ارائه راهکارهای متداول و مطمئن و مقرون به صرفه از نظر زمان و هزینه، جهت پیشگیری و کنترل آبدهی و صیانت از مخزن مبادرت گردید.

شناسایی چاه‌های آبده

تشخیص مسأله تولید آب در بسیاری از موارد از نظارت معمول بر مخازن، شرایط و اطلاعات چاه‌ها در مراحل مختلف تولید، همچنین از نمودارهای تولید (Production Logging Tolls) قابل حصول می‌باشد.

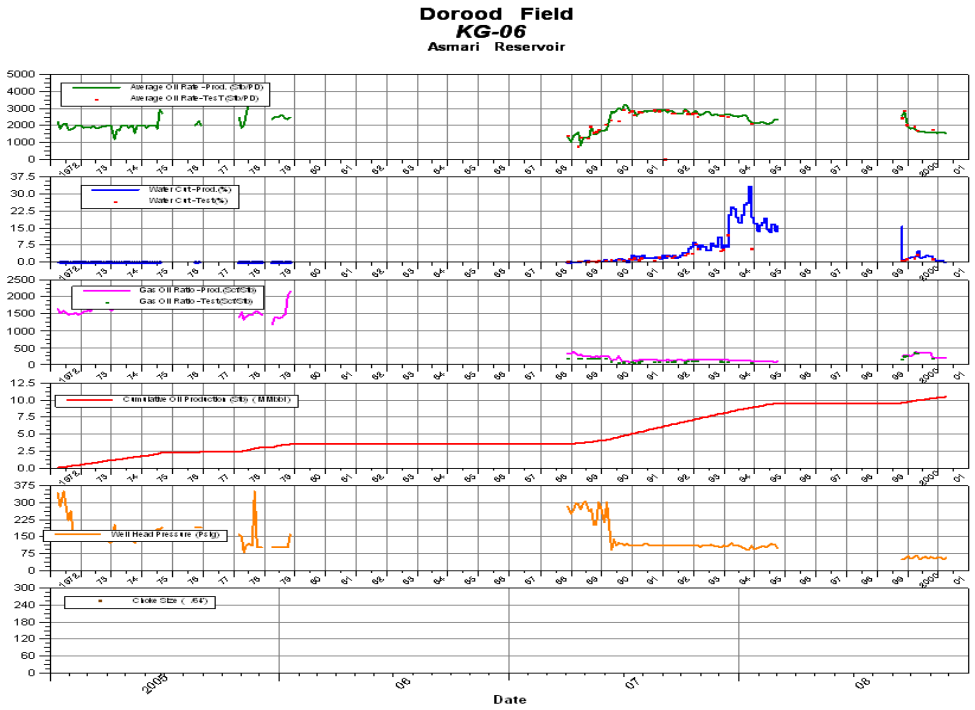
بررسی عملکرد مخزن آسماری در چاه KG-06 نشان می‌دهد روند آبدهی از اواخر سال ۱۳٦۷ به میزان ناچیز آغاز گردیده و به مرور زمان سیر فزاینده داشته است، تا اینکه متوسط آبدهی در سال ۱۳۸۵ در حدود ۱۵ درصد گزارش شده است [۳]. (شکل۲)

همچنین ترسیم و مطالعه نمودارهای تولید میزان آب- نفت در برابر زمان، برای مخزن آسماری در سایر چاه‌های میدان نفتی دورود، تغییرات غیرمعمول و فزاینده را در روند تولید آب و متناسب با آن، افت فشار مخزن به ویژه در چاه‌های D-21H, KG-5H و KG-45H را به وضوح نشان می‌دهد (اشکال٤،۳و۵). در حقیقت پدیده آبدهی در همه چاه‌های حفاری شده در مخزن آسماری، با روند متفاوت اتفاق افتاده است.

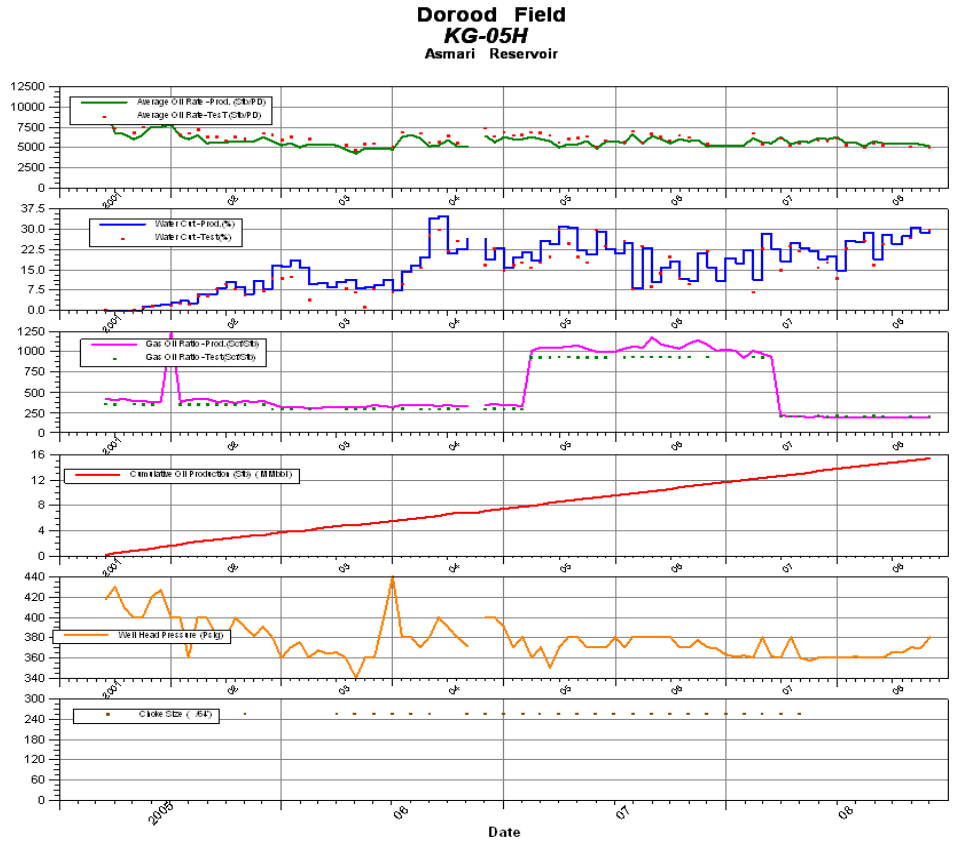
در شکل ٦ موقعیت چاه‌های مورد مطالعه در نقشه عمقی راس سازند آسماری نشان داده شده است.

روند آبدهی در طول زمان

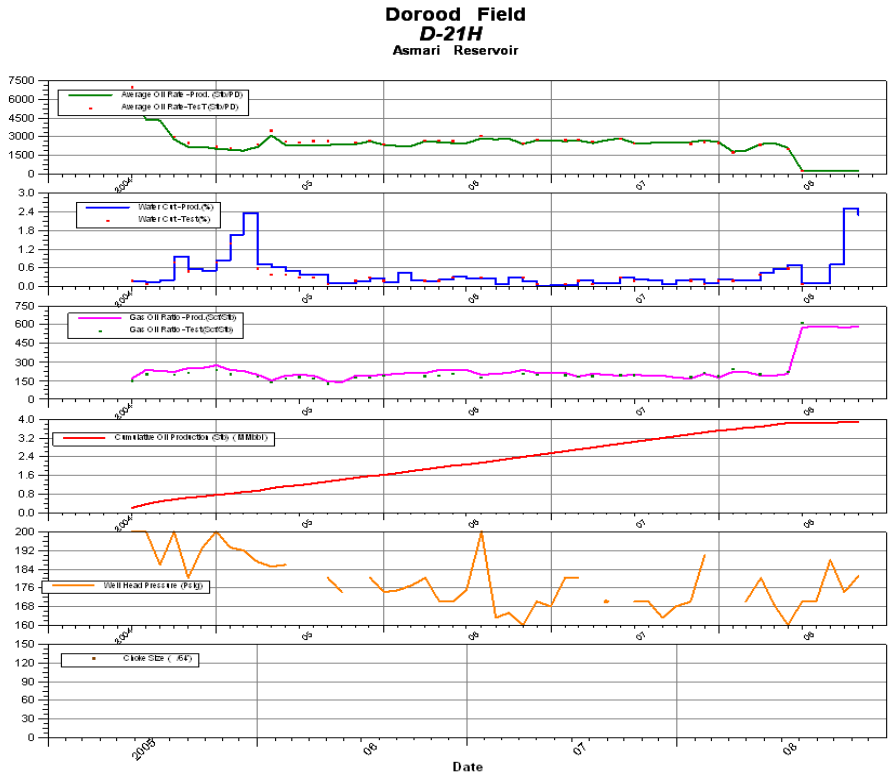
روند افت فشار مخزن



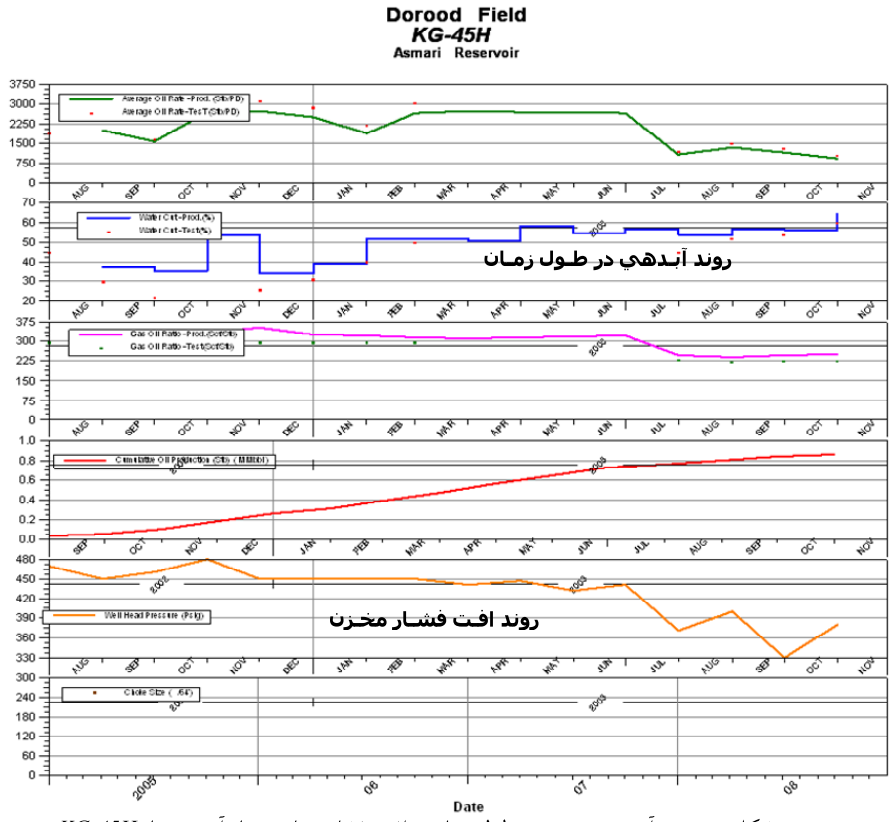
شکل۲- روند آبدهی مخزن در طول زمان و افت فشار متناسب با آن در چاه *KG-06*



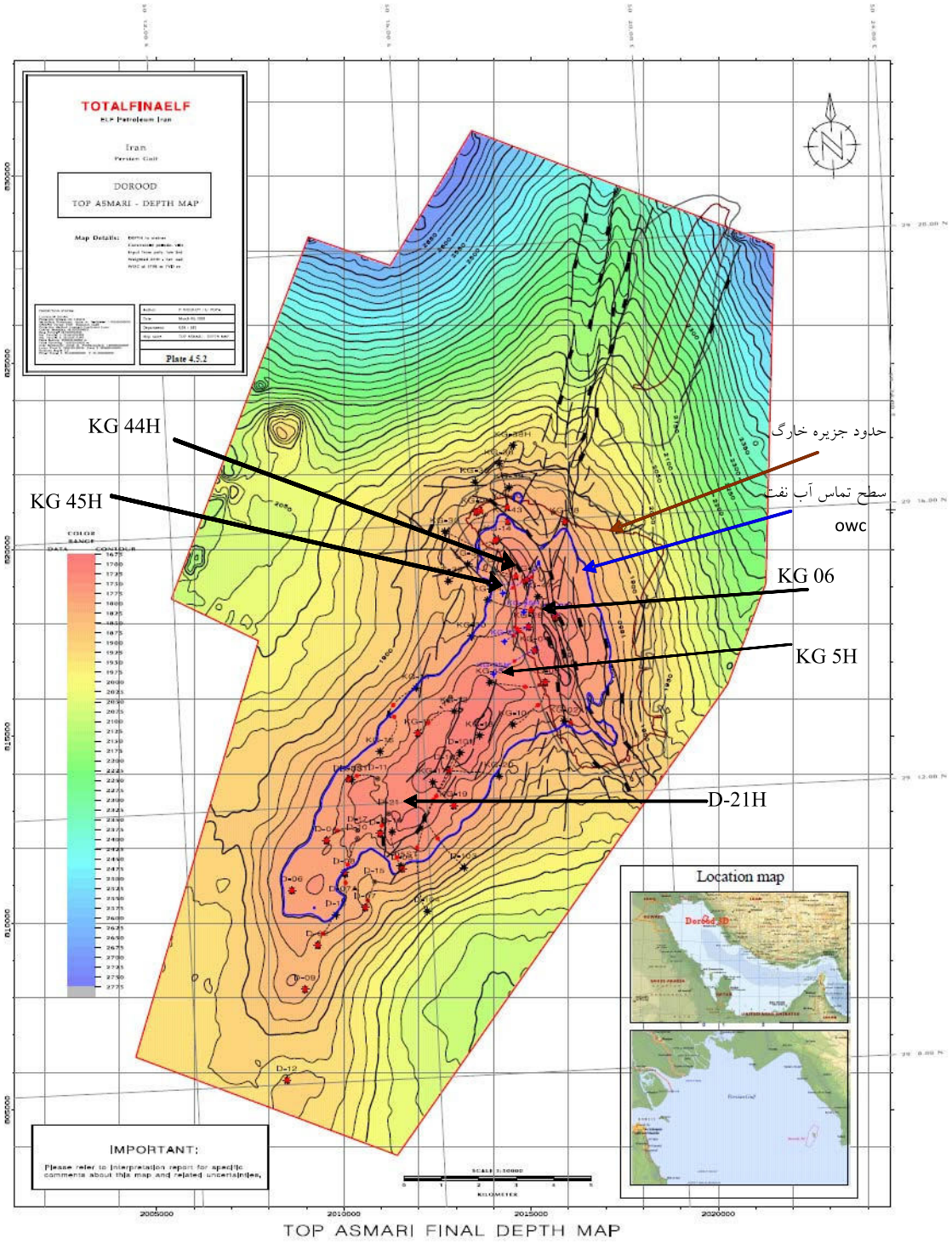
شکل ۲ – روند آبدهی مخزن در طول زمان و افت فشار متناسب با آن در چاه *KG-06*



شکل٤- روند آبدهی مخزن در طول زمان D-21H (منحنی آبی رنگ)



شکل٥- روند آبدهی مخزن در طول زمان و افت فشار متناسب با آن در چاه *KG-45H*



شکل٦-موقعیت چاه های مورد مطالعه در نقشه عمقی راس سازند آسماری در میدان نفتی دورود

ماهیت و منشاء آب تولیدی مخزن آسماری

در فرایند بررسی تولید آب ناخواسته از مخازن، مرحله دوم مشخص نمودن این مسئله است که مشکل تولید آب از کجا ناشی می‌شود. باید متذکر گردید که کمبود زمان یا عدم سرمایه‌گذاری مناسب به منظور شناسایی و درک صحیح ماهیت و منشاء آبدهی، منجر به تشخیص ناقص یا نادرست می‌شود و در واقع تشخیص نادرست و ناقص، یکی از دلایل اصلی عدم کارایی روش‌های کنترل آب است. بنابراین مهمترین مرحله در پیش‌گیری و کنترل مسئله آبدهی، درک صحیح از ماهیت و منشاء ورود آب در چاه‌های آبده می‌باشد [8].

در این زمینه آشنایی با علل تولید ناخواسته آب از مخازن نفتی به منظور بررسی موردی آنها ضروری است که ضمن اشاره‌ای گذرا به آنها به بررسی موردی آنها در میدان نفتی دورود می‌پردازیم.

دلایل بروز مشکل تولید آب ناخواسته

بر اساس مطالعه امینیان (Aminian,k) تولید آب ناخواسته، به دلایل زیر اتفاق می‌افتد [4].

۱) مشکلات مکانیکی

۲) مشکلات مرتبط با تکمیل چاه‌ها (در اثر تکمیل نادرست چاه در لایه آبی یا مجاورت آن، عدم دقت در ایجاد عملیات شکاف القایی مانند شکاف هیدرولیکی، بهینه نبودن عملیاتی مانند اسیدکاری و گسترش شکستگی‌های خارج از زون تولیدی)

۳) مسائل مرتبط با مخزن (در اثر کانالی شدن و پیشروی آب در لایه‌های با نفوذپذیری بالا و شکافها، مخروطی شدن و تیزشدگی، تخلیه شدن مخزن)

در رابطه با وجود مشکلات مکانیکی و تأثیرگذاری آن در آبده شدن مخزن آسماری، نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد با توجه به انجام آزمایش‌های لازم، و تأیید تسلسل مکانیکی چاه (عدم نشتی به واسطه ضعف سیمان‌کاری یا فرسودگی لوله‌های جداری و آستری) و همچنین با توجه به اینکه همه چاه‌های حفاری شده پس از مدتی دچار مشکل آبدهی شده بودند، احتمال نشتی از پشت لوله‌های جداری بسیار ضعیف دانسته شده است.

در رابطه با تأثیر نحوه تکمیل چاه‌ها، بر اساس گزارشات تکمیل چاه‌های حفاری شده در مخزن آسماری، عملیات ایجاد شکاف القایی و اسید کاری و یا مواردی از این قبیل انجام نگردیده است که باعث گسترش شکستگی‌های بیرون از زون تولیدی به داخل زون تولید و نفوذ آب از طریق آنها شده باشد.

همچنین بررسی روند تولید آب نشان می‌دهد در چاه‌های KG-5H و KG-45H (شکل۳و۵) تولید آب بلافاصله پس از شروع برداشت از مخزن، روند فزاینده به خود می‌گیرد، بنابراین تکمیل نادرست چاه در مجاورت لایه آبی یکی از مواردی می‌باشد که توانسته است در آبده شدن این چاه‌ها نقش داشته باشد.

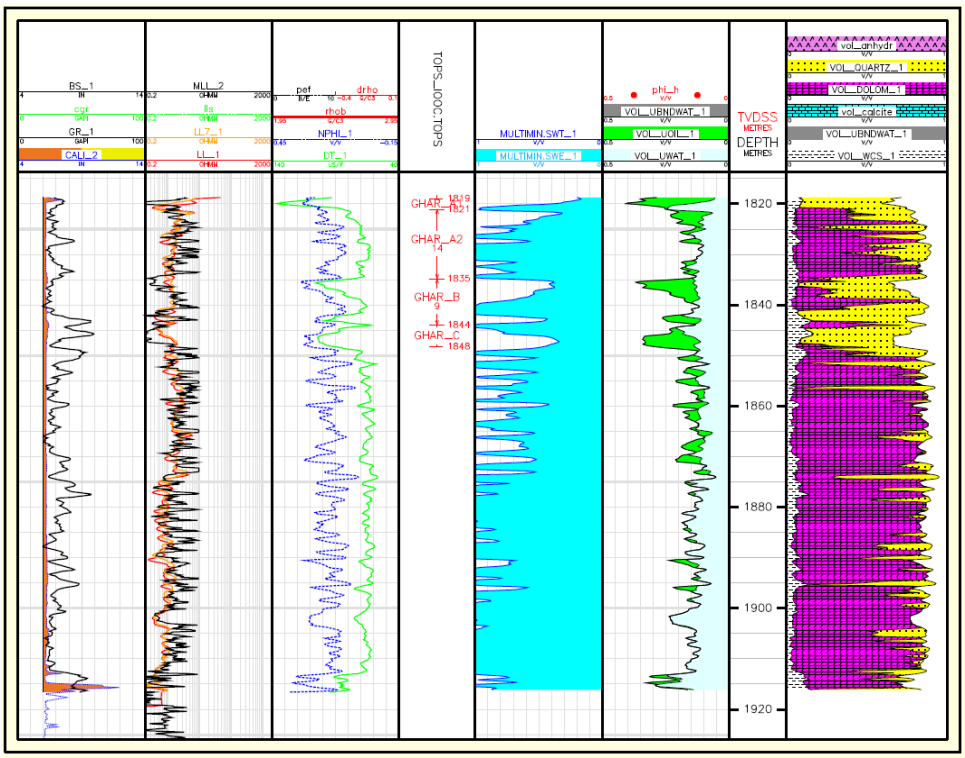
در زمینه مسائل مرتبط با مخزن و نقش آنها در فرایند آبده شدن مخزن آسماری و رسیدن به نتایج و استدلال‌های منطقی، نیازمند تلفیق داده‌های استاتیکی و دینامیکی مخزن بودیم.

مطالعه داده‌های زمین‌شناسی از جمله نمودارهای سرچاهی (Graphic well log)، خرده‌های حفاری (cutting) و مغزه‌گیری‌های انجام شده در محدوده

عمقی بخش غار (Ghar Member) از سازند آسماری (بخش تولیدی) نشان می‌دهد این سازند در چاه‌های مورد مطالعه از نظر لیتولوژی شامل دولومیت‌ها و ماسه‌سنگ‌هایی با تخلخل ذاتی بالا و نفوذپذیری عمودی زیاد می‌باشد [۲]. ارزیابی پتروفیزیکی انجام شده نیز تأیید کننده وضعیت لیتولوژی موجود می‌باشد. (شکل۷و۸ – ستون۱ از سمت راست)

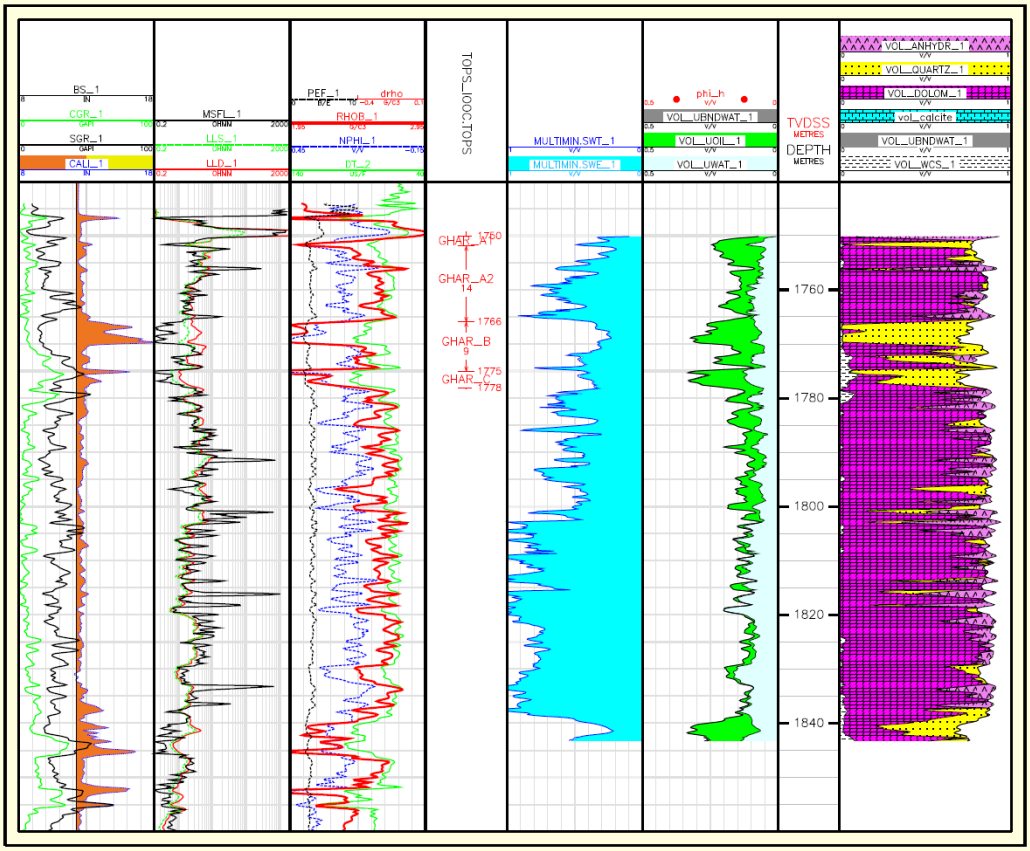
ارزیابی پتروفیزیکی سازند آسماری در چاه‌های KG06, KG45 با استفاده از نگارهای چاه‌پیمایی و بهره‌گیری از نرم افزار تخصصی Geolog 6.6 نشان می‌دهد حداکثر اشباع آب در بخش‌های شمالی میدان بوده و سطح تماس آب و نفت (Oil Water Contact) نزدیک لایه تولیدی قرار گرفته است، یعنی منطقه‌ای که در آن چاه‌ها دچار آبدهی شده‌اند (شکل۷و۸– ستون٤) [۲]. از نظر دینامیک مخزن این وضعیت به شدت مستعد مخروطی شدن می‌باشد و با توجه به اینکه نفت مخزن سنگین (API=20) [۳] و ویسکوزیته آن نسبت به آب بیشتر می‌باشد در این حالت چون قدرت سیالیت و تحرک آب بیشتر است اگر برداشت از مخزن بیش از دبی بهینه تولید انجام گیرد باعث افت فشار شدید در مجاورت دهانه چاه و نفوذ آب و شن به داخل چاه می‌شود.

این پدیده به ویژه در چاه‌های KG-44 و KG-45 که به دلیل تولید آب زیاد و شن بسته شدند و تعمیر آنها نیز در سال ۱۳۸۵ موفقیت‌آمیز نبوده است، کاملاً مشهود می‌باشد [۳].



شکل۷ – نتیجه نهایی ارزیابی کیفیت مخزنی بخش غار از سازند آسماری در چاه KG06.

از سمت راست، وضعیت لیتولوژی درستون۱، محدوده عمق نهایی در ستون۲، وضعیت نفت در ستون۳، وضعیت اشباع آب در ستون٤، زون بندی انجام شده در ستون۵ و مجموعه نگارهای استفاده شده برای ارزیابی در ستون ٦و۷و۸ نشان داده شده است.

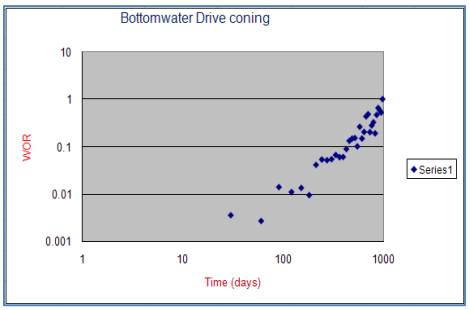


شکل۸ – نتیجه نهایی ارزیابی کیفیت مخزنی بخش غار از سازند آسماری در چاه KG44.

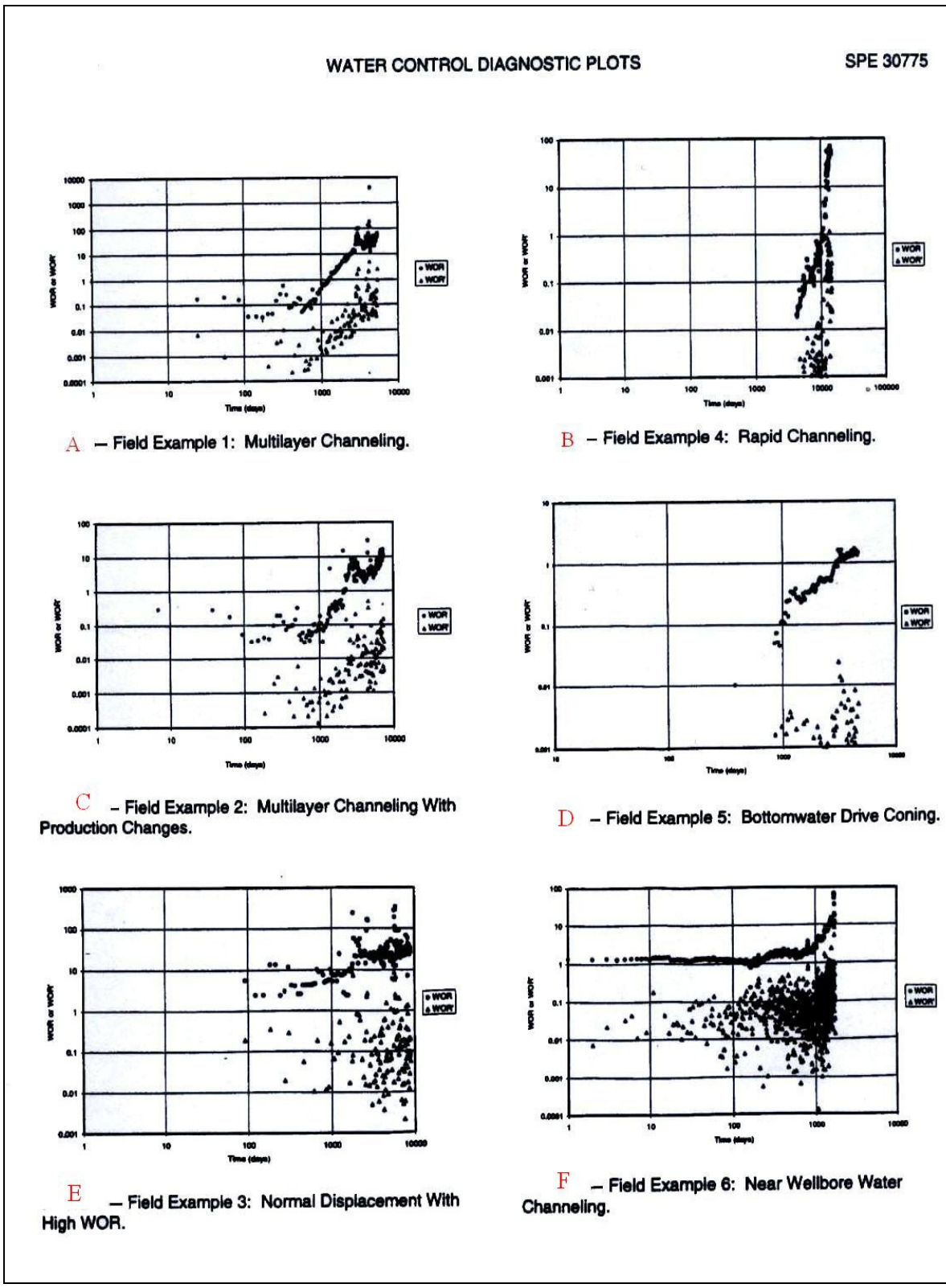
از سمت راست، وضعیت لیتولوژی درستون۱، محدوده عمق نهایی در ستون۲، وضعیت نفت در ستون۳، وضعیت اشباع آب در ستون٤، زون بندی انجام شده در ستون٥ و مجموعه نگارهای استفاده شده برای ارزیابی در ستون ٦و٧و٨ نشان داده شده است.

بررسی بیشتر موضوع و بهره جستن از اطلاعات تولید مخزن آسماری و ترسیم نمودار متقاطع نسبت آب–نفت(Water Oil Ratio) در برابر زمان (شکل ۹) و مقایسه آن با نمودارهای متقاطع استاندارد تهیه شده برای تشخیص منشاء و ماهیت آبدهی، بر اساس مطالعات جامع انجام شده توسط چان (Chan,K.S) (شکل۱۰)[5]، نشان می‌دهد که علت اصلی آبدهی، بیشتر ناشی از پدیده مخروطی شدن می‌باشد و آب به صورت یکنواخت از زیر لایه تولیدی به داخل چاه نفوذ می‌کند (Bottom Water Drive Coning).

همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود نمودار متقاطع تهیه شده بر اساس اطلاعات تولید مخزن آسماری، تطابق جالبی با تصویرD ارائه شده در شکل ۱۰ دارد و بیانگر وقوع پدیده مخروطی شدن می‌باشد.

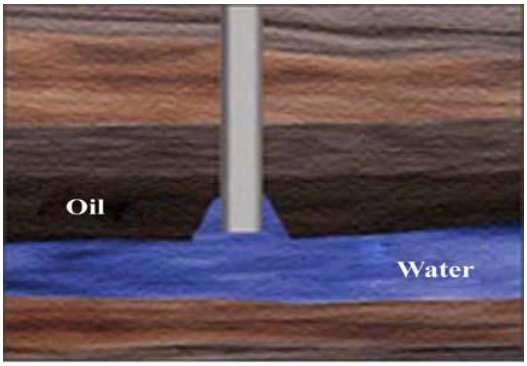


شکل ۹ – نمودار متقاطع نسبت آب– نفت در برابر زمان مخزن آسماری برای تشخیص ماهیت آبدهی



شکل ۱۰- بخشی از نمودارهای متقاطع تهیه شده توسط چان برای تشخیص ماهیت آبدهی [5]

مخروطی شدن زمانی اتفاق می‌افتد که نیروهای ویسکوزیته بر نیروی گراویته غلبه کند (نیروی موئینگی تأثیر نامحسوس در مخروطی شدن دارد) طی دوره‌های طولانی زمین‌شناسی، سیالات مخزنی (نفت، گاز و آب) تحت یک فشار استاتیک تعادلی قرار گرفته‌اند. با ادامه روند تولید از چاه و افزایش برداشت، احتمال مخروطی شدن آب به وسیله افت فشار عمودی ایجاد شده در نزدیکی دهانه چاه به خصوص، زمانی که ضخامت لایه تولیدی و فاصله آن تا سطح تماس آب و نفت کم باشد و همچنین نرخ تولید بالا و نفوذپذیری لایه‌ها بیشتر باشد زیاد می‌شود. در این هنگام چون تحرک‌پذیری آب از نفت بیشتر است، آب از لایه‌های پایین متصل به مخزن به سمت دهانه چاه کشانده شده (شکل ۱۱) و این آب از طریق مشبک‌ها پیشروی (Breakthrough) کرده و جایگزین تمام یا قسمتی از هیدروکربن تولید شده می‌شود و به این ترتیب تولید سریع و بیش از اندازه آب آغاز خواهد شد همان روندی که در چاه‌های میدان نفتی درود و مخزن آسماری اتفاق می‌افتد. ادامه تولید بعد از رسیدن به بازه تولید نیز سبب افزایش تدریجی برش آب (Water Cut) می‌شود و در نتیجه به تدریج چاه غیراقتصادی می‌شود.



شکل۱۱- ورود آب ناخواسته به چاه‌ها در اثر مخروطی شدن

روش‌های موثر برای پیشگیری و کنترل آبدهی چاه‌های میدان دورود

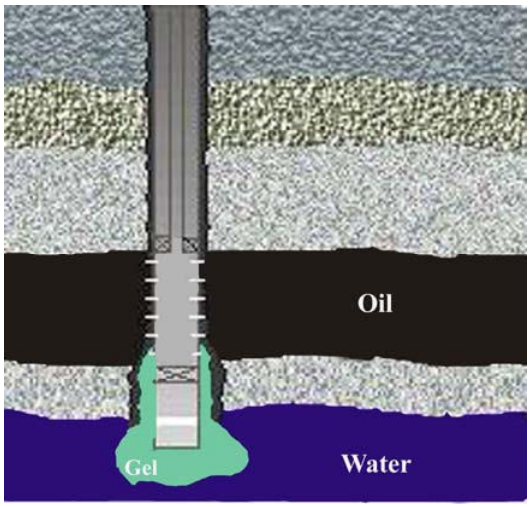
در حال حاضر هیچ تمهیدی برای پیشگیری از آبده شدن چاه‌های میدان دورود اتخاذ نشده است و صرفاً برای کنترل آبدهی، انحراف مسیر تولیدی چاه (Reentry) و حفاری افقی در دستور کار قرار گرفته است.

از آنجایی که پیشگیری و کنترل آبدهی گامی بسیار مهم در صیانت از مخازن هیدروکربوری به شمار می‌آید، لازم است با توجه به خصوصیات سیالات مخزنی و مخزن، دبی بهینه برای تولید از چاه مدل‌سازی و محاسبه شود تا برداشت از لایه مخزنی بر اساس دبی بهینه و از نیمه بالایی لایه نفتی انجام گیرد.

همچنین برای کنترل فرایند آبدهی در چاه‌هایی که در حال حاضر دچار آبدهی هستند، از روش تکمیل دوگانه و تولید آب از لایه‌های آبی استفاده شود. این روش یکی از موثرترین روش‌های جدید تکمیل چاه برای جلوگیری از پدیده مخروطی شدن آب است. در این روش علاوه بر تکمیل چاه در لایه‌های نفتی، چاه در ناحیه زیر سطح تماس آب و نفت نیز تکمیل می‌گردد و همزمان با شروع نفت متناسب با آن آب نیز تولید می‌شود در نتیجه افت فشاری که در ناحیه زیر سطح تماس آب و نفت ایجاد می‌شود مانع از بالا رفتن آب در اطراف چاه شده و پدیده مخروطی شدن دیرتر اتفاق می‌افتد [۱].

استفاده از ژل پلیمرهای بر پایه پلی آکریل آمید و کوپلیمرهای آن به عنوان یک فناوری مدرن که در در طی ۱۰ سال گذشته در بیش از ۱۰۰ حلقه چاه تولید نفت که مشکل زیاد بودن حجم آب خروجی داشتند با موفقیت آزمایش شده‌اند [7]، پیشنهاد می‌شود با

تزریق این نوع از ژل پلیمر و ایجاد یک ناحیه غیرقابل نفوذ در انتهای منطقه تولیدی چاه از وقوع مخروطی شدن جلوگیری شود (شکل۱۲).



شکل۱۲- عملکرد ژل پلیمر در جلوگیری از ورود آب به صورت مخروطی شدن به داخل چاه

نتیجه‌گیری

طی مطالعات و بررسی‌های انجام گرفته در این تحقیق با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی، نتایج حاصل از ارزیابی پتروفیزیکی و اطلاعات تولید مخزن آسماری، نتایج زیر حاصل شده است:

۱- سازند آسماری و بخش غار (بخش تولیدی) از نظر لیتولوژی شامل دولومیت‌ها و ماسه‌سنگ‌هایی با تخلخل ذاتی بالا و نفوذپذیری عمودی زیاد می‌باشد این وضعیت، به همراه پایین بودن ضخامت لایه تولیدی و نزدیک بودن فاصله آن تا سطح تماس آب- نفت از نظر دینامیکی مخزن را به شدت مستعد مخروطی شدن کرده است.

۲- سنگین بودن نفت مخزن (API=20) و در نتیجه بیشتر بودن سیالیت و تحرک آب و برداشت بیش از دبی بهینه تولید باعث افت فشار شدید در مجاورت دهانه چاه شده است و با توجه به مستعد بودن وضعیت مخزن برای وقوع پدیده مخروطی شدن آب به صورت یکنواخت از زیر لایه تولیدی به داخل چاه نفوذ می‌کند (Bottom Water Drive Coning).

۳- نتایج بررسی اطلاعات تولید مخزن و ترسیم نمودار متقاطع نسبت آب- نفت (WOR) در برابر زمان در برنامه Excel و مقایسه آن با کراس پلات‌های استاندارد تهیه شده برای تشخیص منشاء و ماهیت آبدهی، علت اصلی آبدهی مخزن آسماری، پدیده مخروطی شدن نشان داده است.

٤- در این مطالعه بر اساس ماهیت و منشاء تولید آب ناخواسته (مخروطی شدن)، مدل‌سازی و برآورد دبی بهینه و برداشت بر اساس آن و استفاده از روش‌های تکمیل دوگانه و ایجاد ناحیه غیر قابل نفوذ در انتهای منطقه تولیدی چاه با استفاده از تزریق ژل پلیمر به عنوان راهکارهای مطمئن (با ریسک پایین) و مقرون به صرفه از نظر زمانی و اقتصادی جهت پیشگیری و کنترل فرایند مخروطی شدن و صیانت از مخزن دانسته شد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از مسئولین محترم واحد پژوهش و توسعه، مهندسی مخزن، و اداره زمین‌شناسی و پتروفیزیک شرکت نفت فلات قاره ایران به خاطر حمایت مالی و مساعدت علمی در انجام این پروژه صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱- حسن نژاد، س (۱۳۸٦)- بررسی پدیده مخروطی شدن و راههای جلوگیری از آن در مخازن نفتی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ۱۵٦ص.

۲- قبادی دیزجیکان، ا، (۱۳۸۸)- مطالعه زمین شناسی و ارزیابی پتروفیزیکی افق غار از سازند آسماری در میدان نفتی دورود با نگرشی ویژه بر مشکل آبدهی آن، پایان نامه کارشناسی ارشد، داشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران،۱۳۵ص.

۳-گزارش شماره ۳-۱ اداره مهندسی مخزن (۱۳۸٦)، میدان نفتی دورود ۱و۲، عملکرد مخزن آسماری،۳۵ ص.

4-Aminian.K,(2002).Water production roblems and solutions- Part I , Petroleum & Natural Gas Engineering Department, West Virginia University, report I.

5- Chan K.S.,(1995).Water Control Diagnostic plots.SPE Annual Technical conference & Exhibition held in Dallas, u.s.a., spe30775., pp775-763

6- Ghazban, F., (2007)., Petroleum Geology of the Persian Gulf, Tehran University and National Iranian Oil Company,707p.

7. Reynolds, R.R.,(2003): "Produced Water and Associated Issues", A manual for the independent operator, Oklahoma Geological Survey, Open-File Report 6.

8- Seright, R.S., Lane, R.H., and Sydansk, D., (2003),:A Strategy for Attacking Excess Water Production, SPE Production and Facilities158-169.