

بررسی تأثیر بهینه اسیدکاری ماتریسی در انگیزش مخازن کربناته سازند داریان میدان نفتی اهواز

امیر حسین زاده هلاله^{۱*}، عباسعلی چنگلواوی^۲

۱- کارشناس ارشد مهندسی مخازن هیدروکربوری، شرکت نفت فلات قاره ایران

۲- استادیار مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد امیدیه

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۳/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۴/۰۳

پیام نگار: amir.hosseinzadeh@yahoo.com

چکیده

به دلیل عدم موفقیت برخی از عملیات انگیزشی انجام شده در مخزن کربناته سازند داریان میدان اهواز، تأثیر غلظت‌های مختلف اسید کلریدریک ۱۰، ۱۵ و ۲۸ درصد، در رفع آسیب و افزایش نفوذپذیری سنگ مخزن بررسی شده است. با استفاده از آزمایش‌های مربوط به تجزیه و تحلیل مغزه و گزارش‌های دستگاه ریزعکس از سازند^۱ و مطالعات آزمایش چاه^۲ با استفاده از نرم افزار PanSystem v۳/۴، نوع تخلخل این سازند نیز بررسی شد. نتایج بررسی نشان داد که استفاده از اسید هیدروکلریک با غلظت ۱۵٪ بهترین حالت برای اسیدزنی این چاه است و باید غلظت بهینه را با در نظر گرفتن شرایط چاه و مخزن مورد نظر مشخص کرد. کاهش ضریب پوسته از ۵ به ۴/۴۵ - موفقیت‌آمیز بودن این عملیات را نیز روشن کرد. ارزیابی نتایج به دست آمده نشان داد که علیرغم کربناته بودن سازند داریان، فرض بودن تخلخل یگانه^۳ در این سازند منطقی تر به نظر می‌رسد.

کلیدواژه‌ها: انگیزش، اسیدکاری، نفوذپذیری، ضریب پوسته، آزمایش چاه، کربناته

۱. مقدمه

کلریدریک اسید و یا مخلوطی از این دو است [۱-۲]. نخستین اسیدکاری آزمایشی در سال ۱۸۹۵ توسط هرمان فراج^۴ و وان دایک^۵ به منظور افزایش دبی تولیدی یکی از چاه‌های مخازن کربناته کراسلی فارم^۶ در ایالت اوهایو^۷ انجام شد. در این عملیات، ۶۵ بشکه اسید هیدروکلریک با فشار ۸۰۰ psi تا ۹۰۰ psi به درون سازند تلمبه شد. در ابتدا، به دلیل سختی سازند و مسدود بودن آن، تزریق به کندی صورت گرفت ولی به محض تماس اسید با سازند،

در تاریخچه انگیزش چاهها، اسیدکاری را می‌توان از جمله قدیمی ترین روشهایی به شمار آورد که تاکنون از آن استفاده شده است. اسیدکاری موفقیت آمیز مخازن کربناته با توجه به وسعت و تعداد، یکی از عوامل مؤثر در بازگشت سریع سرمایه به شمار می‌آید. اسیدکاری ماتریسی، یکی از روشهای متداول برای برطرف کردن آسیب‌های سازند است که معمولاً حاوی فلوریدریک اسید و

* جزیره سیری، شرکت نفت فلات قاره ایران

4. Herman Frasch
5. Van Dyke
6. Crosley Farm
7. Ohio

1. Formation Micro Imager (FMI)
2. Well Testing
3. Single Porosity

اضافی ورودی به دهانه چاه هستند. رفع آسیب وارد بر سازند در چاههای افقی بسیار دشوار و هزینه‌برتر از چاههای عمودی است و به همین دلیل ملاحظه آسیب سازندی بالقوه و جلوگیری از آن کلید طراحی تکمیل چاه به شمار می‌آید. هدف از انجام عملیات اسیدکاری چاههای نفت و گاز را می‌توان مشتمل بر احیاء کردن چاه، گشودن خلل و فرج، افزایش تولید، افزایش میزان نفوذ پذیری، تمیزکاری چاه و شستشو، تمیز سازی لوله‌ها، آزاد سازی لوله‌های حفاری و به‌طور کلی کاهش ضریب پوسته دانست [۱۰]. زمان مورد نیاز به منظور عملیات انگیزش پس از تزریق اسید به سازند به آهنگ واکنش اسید با سنگ مخزن بستگی دارد که این آهنگ واکنش از طریق عوامل مختلفی از جمله دما، غلظت اسید، ترکیب ماتریس، فشار و نسبت سطح به حجم سنگ و اسید بستگی دارد [۱۱]. بسته به داده‌های قابل دسترس، نفوذپذیری می‌تواند به کمک مطالعات آزمایش چاه، تجزیه و تحلیل مغزه و یا چاه نگاری تعیین شود. تفسیر نتایج آزمایش چاه میزان نفوذپذیری متوسط را در محل تعیین می‌کند. هنگامی که اطلاعات آزمایش چاه در دسترس نباشد، تجزیه و تحلیل مغزه در آزمایشگاه می‌تواند راه دیگری برای تخمین میزان نفوذپذیری مخزن باشد [۱۲].

در این پژوهش، عملیات انگیزش بر روی یک چاه موردنظر در سازند داریان میدان نفتی اهواز بررسی شد. نوع حفاری چاه افقی است و از این رو در بررسی نوع و علل آسیب، شرایط خاص چنین چاه‌هایی را باید مد نظر قرار داد. در این مطالعه، ابتدا داده‌های پتروفیزیکی و سنگ شناسی مخزن بررسی شده است. سپس، با بهره‌گیری از مغزه‌گیری و تجزیه و تحلیل زمین‌شناختی، چگونگی توزیع کانیه‌ها و نوع شکستگی‌های درون سنگ مغزه به دست آمد. همچنین، با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی، آزمایش‌های خوردندگی مربوط به سه نوع اسید با درصدهای مختلف و آزمون سازگاری افزاینده‌های اسیدکاری مربوط به هر سه نوع اسید ارزیابی، و در نهایت تغییرات نفوذپذیری مختلف هر سه نمونه اسید نسبت به زمان اندازه‌گیری شد. از نتایج کلی به دست آمده، درصد بهینه اسید متناسب با آهنگ نفوذپذیری مؤثر در جهت انجام عملیات انگیزش مشخص شد. سپس، با استفاده از مطالعات آزمایش چاه، تأثیر استفاده از این نوع اسید برای سازند داریان در هر دو حالت تخلخل یگانه و مخزن شکافدار^{۱۰} بررسی شد. نتایج به دست آمده برای هر دو حالت کاهش ضریب پوسته، افزایش نفوذپذیری و در نتیجه موفقیت‌آمیز بودن

دبی تزریق افزایش یافت. پس از اسیدکاری چاه، تولید افزایش چشمگیری یافت و طی سال‌های بعد این عمل بارها تکرار شد [۳]. در سال ۱۹۲۸، عملیات اسیدکاری به شیوه مدرن، توسط شرکت‌های نفتی داو کمیکال^۱ و پیور دریل^۲، و به‌طور جدی در مخازن اکلاهاما^۳، آغاز شد. بعد از آن شرکت‌های داو^۴ و هالیبرتون^۵ بین سال‌های ۱۹۳۲ و ۱۹۳۳ به همین منظور تاسیس شدند [۴]. اهمیت جلوگیری از آسیب‌های وارد بر سازند، باعث شد تا اولین همایش آسیب سازند توسط جامعه مهندسان نفت، در فوریه ۱۹۷۴ برگزار شود. سپس، یک کمپانی در گلف کاست^۶ با کوشش‌های خود در بهبود روش‌های جلوگیری از آسیب رسیدن به سازند، توانست شاخص بهره دهی^۷ را از ۲ به ۲۰ برساند [۵]. کمپانی دیگری نیز با بهبود روش‌های تکمیل چاه^۸، تولید را از ۵۰۰۰ به ۱۱۰۰۰ بشکه در روز رسانید [۶].

به‌طور کلی، آن بخش از ناحیه تولیدی در مخزن که تراوایی آن از طریق آسیب سازندی تحت تاثیر قرار گرفته است، به پوسته^۹ نسبت داده می‌شود. میزان کاهش تراوایی به مقدار آسیب و عمق آسیب بستگی دارد. گل و صافاب آن می‌تواند هم در هنگام حفاری و هم در انجام برخی عملیات درون چاهی باعث انسداد گلوگاه‌های خلل و فرج شدند [۷]. مته حفاری نیز می‌تواند از لحاظ فیزیکی ساختار خلل و فرج را در نزدیکی دهانه چاه تغییر دهد و واکنش‌های شیمیایی زینانبار سیال با سیال می‌تواند باعث ایجاد بلوکهای امولسیون- آب و رسوب مواد غیر آلی، بخصوص در شرایط بازیافت توسعه یافته شود [۸]. توجه و دقت کمتری به آسیب سازندی در چاههای افقی نسبت به چاههای عمودی می‌شود. دلیل اصلی این مساله اساساً بخاطر جریان تولید بسیار بیشتر است که اغلب در اینگونه چاهها وجود دارد. با این حال، تعدادی از چاههای افقی در شرایط مساوی نسبت به چاههای عمودی، نهایتاً تولیدی معادل چاههای عمودی دارند. علت این امر احتمالاً آن است که آسیب بر سازندی اغلب در این چاهها نسبت به چاههای عمودی بیشتر است [۹]. طول ناحیه تولیدی بالاتر به معنی شانس بیشتر برای آسیب سازند است و مشبکهای ضعیف به‌عنوان مخزن جمع‌آوری کننده مواد جامد

1. Dow Chemical
2. Pure Drill
3. Oklahoma
4. Dowel
5. Halliburton
6. Gulf Coast
7. Productivity Index
8. Well Completion
9. Skin

10. Fractured Reservoir

جدول ۱. توزیع نفوذپذیری-تخلخل در انواع سنگ مخزن سازند داریان.

نوع سنگ مخزن	تخلخل (%)			نفوذپذیری (md)		
	کمترین	متوسط	بیشترین	کمترین	متوسط	بیشترین
۱	۱۸/۰۰	۲۹/۴۶	۳۵/۳۲	۱/۶۹	۵/۸۷	۱۱/۹۲
۲	۸/۵۵	۲۱/۱۳	۳۳/۷۶	۰/۰۶	۲/۳۱	۱۰/۴۰
۳	۸/۸۸	۱۷/۳۳	۲۶/۶۴	۰/۱۶	۱/۰۳	۳/۷۱
۴	۱۵/۴۲	۲۶/۳۰	۳۰/۱۰	۰/۷۸	۹/۳۵	۲۰/۳۰
۵	۱۰/۶۶	۱۳/۷۸	۱۶/۷۸	۰/۵۹	۴/۷۱	۱۲/۷۳

همچنین، اطلاعات به دست آمده از نصب یک دستگاه کاهنده^۴ بر روی چاه، حاکی از آن بود که مقدار فشار سر چاهی ۱۴۷psi و میزان آب و رسوب پایه^۵ معادل ۱٪ است.

۱.۲ نتایج مغزه‌گیری

در برآورد آسیب وارد بر سازند، ابتدا لازم است اطلاعاتی در زمینه زمین شناسی و کانی شناسی مخزن کسب کنیم. اطلاع از نوع سنگ، نفوذپذیری، تخلخل و چگونگی توزیع آنها در طول ناحیه تولید، مهم است. در این چاه، سازندهای سروک کژدمی و داریان ارزیابی شدند که نتایج مغزه‌گیری در جدول (۲) درج شده است. از نظر سنگ شناسی، سنگهای این مخزن از دولومیت به مقدار کم و آهک و درصدی شیل و در برخی فواصل به همراه فشردگی سنگها تشکیل یافته است. سنگهای مخزن دارای تخلخل بالای چون گچها، به ایجاد فضاهای خالی بزرگ با منافذ بسیار کوچک گرایش دارند و در این موارد یک محلول اسید رقیق تر (اسیدکلریدریک ۱۰ الی ۱۵ درصد) ارجحیت دارد، زیرا اسید فقط باید گلوگاهها را بزرگتر کند و واکنش سریع و انحلال سنگ مخزن می‌تواند ساختار را تخریب کند و موجب ریزش سنگ مخزن شود.

عملیات را نشان داد. همچنین، مطالعات زمین‌شناختی نیز دلایلی را در جهت تعیین نوع تخلخل سازند داریان بر مبنای نوع شکستگی‌ها روشن کرد.

۲. بحث و تفسیر

سازند داریان با سن آپتین، یکی از سه سازند مخزن خامی بالائی است. این سازند در میدان اهواز دارای ضخامتی معادل با ۴۹ متر، تناوبی از دولومیت و سنگ آهک دارد که در بعضی قسمت‌ها سنگ آهک‌ها حالت رسی پیدا کرده‌اند. در میدان مارون نیز این سازند دارای ضخامتی ۳۷ متری است و دارای لیتولوژی سنگ آهک است که مانند میدان اهواز در قسمت‌هایی رسی قرار دارد. از عوامل مهم در وارد آمدن آسیب، هرزروی گل حفاری و آسیب ناشی از سیمانکاری چاه است که البته بیشتر این نوع آسیب‌ها باعث کاهش نفوذپذیری درجای^۱ سازند می‌شود. برای حفاری چاه مورد مطالعه نیز از گل حفاری پایه روغنی استفاده شده است. استفاده از این گل، اگرچه از لحاظ پیش نیامدن مشکل آماس رسها و نیز هجوم سیالات پایه آبی به داخل سازند و انسداد آبی^۲ مؤثر و مطلوب است، ولی در صورتی که به نحو مطلوبی اجرا نشود، ممکن است آسیب وارد بر سازند از نوع تغییر در خاصیت ترشوندگی باشد. وجود اختلاف فشار بالا بین گل حفاری و سازند، قطعاً باعث نفوذ فوق العاده زیاد گل به داخل سازند شده است. همچنین، در هنگام مشبک کاری نیز چاه از سیال پایه روغنی (گازوئیل) پر بوده است که انجام مشبک کاری در چنین شرایطی و نیز تحت اختلاف فشار زیاد می‌تواند باعث نفوذ هر چه عمیق تر آسیب سازند شود. از سوی دیگر، نفت تولیدی از این مخازن از لحاظ ترکیبی بسیار سنگین است و به ایجاد امولسیون و نشن رسوب ترکیبات پارافینی و آسفالتینی گرایش دارد. آسیب سازند ناشی از تغییر در خاصیت ترشوندگی و آسیب سازند در اثر رسوب ذرات آسفالتینی و ایجاد امولسیونها در خلل و فرج، آسیب وارد بر سازند در این چاهها چندگانه شناسایی شده است. بر اساس مشخصات سنگ‌شناختی و فیزیک سنگ، میزان تخلخل و نفوذپذیری انواع سنگ مخزن^۳ در سازند داریان در جدول (۱) درج شده است.

1. Native Permeability
2. Water Blocking
3. Reservoir Rock Type

4. Choke
5. Basic Sediment and Water (BS&W)

جدول ۲. نتایج مغزه گیری از چاه X.

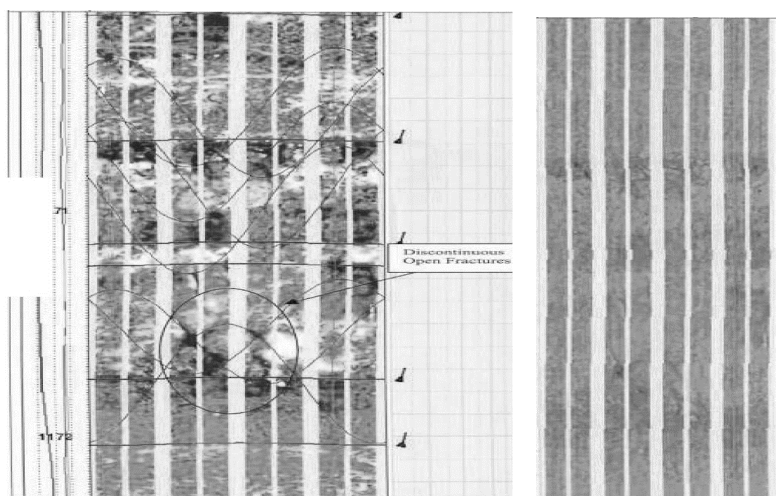
شماره مغزه	ضخامت (m)	فاصله عمقی مغزه گیری	جنس سنگ مغزه
۱	۱/۵	۹۴۴۰-۹۴۲/۵	دولومیتی- گل چسبیده به آن- سنگ دانه‌های بسیار ریز- رنگ سبز روشن- شامل رس و پیریت- آثار مواد آلی
۲	۳	۹۴۷-۹۴۴	سنگ آهک- شامل شیل- رنگ سبز، در بعضی نقاط قهوه‌ای روشن و در بعضی نقاط رگه‌های نفت سنگین- اسکلت‌های وکستون و سنگ دانه ای
۳	۱۸	۹۷۹/۳-۹۶۱/۳	سنگ آهک- وکستون و پکستون- قهوه ای روشن- دارای حفره‌ها و شکستگی‌های پر شده- تخلخل حفره‌ای کمتر از ۵٪
۴	۵	۹۷۹-۹۷۴	سنگ آهک همراه با فشردگی- رنگ خاکستری- دارای ماتریس و شکستگی و حفره‌هایی با تخلخل کمتر از ۵٪
۵	۵	۱۰۴۷-۱۰۴۲	سنگ آهک- قهوه ای تیره- رگه‌های نفت سنگین- گل چسبیده به آن- تخلخل حفره‌ای بیشتر از ۵٪
۶	۱۳	۱۰۶۰-۱۰۴۷	سنگ آهک- وکستون و پکستون- قهوه‌ای تیره- رگه‌های نفت سنگین- تخلخل حفره‌ای بیشتر از ۵٪
۷	۵	۱۰۷۳-۱۰۶۸	سنگ آهک- گل چسبیده به سنگ- تیره تا قهوه ای روشن- رگه‌های نفت سنگین و متوسط- تخلخل حفره ای بیشتر از ۵٪
۸	۱۲	۱۱۴۳-۱۱۳۱	سنگ آهک- فشردگی سنگها- رگه‌های نفت سنگین- تخلخل حفره ای کمتر از ۵٪- وجود حفره و شکستگی در عمق ۱۱۴۲-۱۱۴۰

۲.۲ مطالعات زمین‌شناختی به کمک نتایج به‌دست آمده از

دستگاه ریزعکس از سازند

تجزیه و تحلیل زمین‌شناختی که از طریق دستگاه ریزعکس از سازند از عمق ۹۳۵ تا ۱۵۵۰ متر انجام شد، حاکی از آن است که تخلخل حفره‌ای در فواصل بالایی بسیار شبیه به هم و دارای تخلخل زیادی‌اند. بیشترین اتصال تخلخل حفره ای در قسمت پایین سازند

سروک و کژدمی و قسمت بالایی و پایینی سازند داریان است. هر چند که شکستگی‌های عمده‌ای وجود ندارد، اما در فواصل بسیار کوچک از سازند سورمه شکستگی‌هایی با چگالی زیاد یافت می‌شود. همچنین، در داریان بالایی در عمق ۱۱۷۰ تا ۱۱۷۲ متر شکستگی‌های باز مشاهده می‌شود.



شکل ۱. وجود شکستگی باز در عمق ۱۱۷۰ تا ۱۱۷۲ متر.

۲.۳ آزمایشهای انجام شده

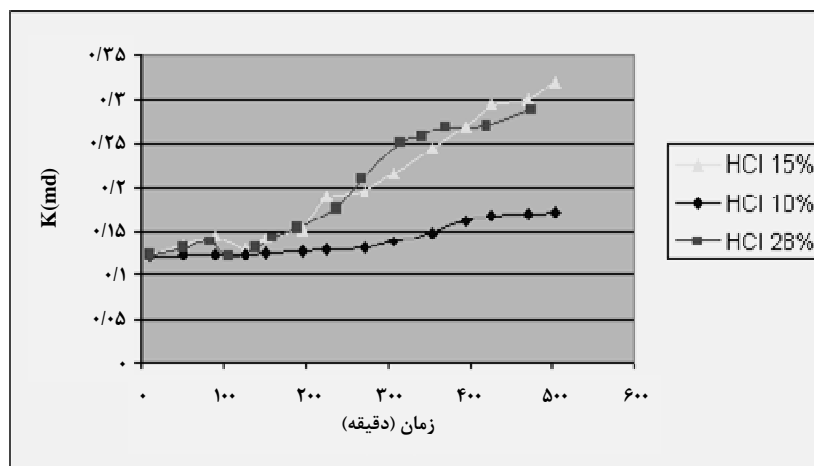
مهمترین آزمایشهایی که در این پژوهش انجام شد، شامل آزمون خوردگی، آزمون سازگاری افزایه‌ها و آزمون تزریق اسید به مغزه‌اند. آزمون خوردگی با کپن با درجه N-۸۰ صورت گرفت که از جنس لوله جداری^۲ چاه مربوطه است. همچنین، آزمایش مربوط به آزمون سازگاری افزودنی‌ها به منظور تعیین درصد بهینه اسید انجام گرفت. در هر دو مورد، آزمایش یادشده از دو نوع اسید با غلظت‌های ۱۵٪ و ۲۸٪ استفاده شد. نتایج نهایی به دست آمده از آزمایش سازگاری، مطابق با مواد مندرج در جدول (۳)، که در دمای ۱۸۰°F انجام شد، نشان داد که استفاده از اسید ۱۵ درصد در مقایسه با غلظت بالاتر این اسید مناسب‌تر است. همچنین، میزان آهنگ خوردگی^۳ با استفاده از افزایه‌های پیشتر مصرف شده پس از ۶ ساعت معادل ۰/۰۱۹ lb/ft² و پس از ۱۲ ساعت معادل ۰/۰۲۲ lb/ft² به دست آمد. اما این مقادیر با استفاده از افزایه‌های جدیدتر به کار گرفته شده، پس از ۶ ساعت ۰/۰۱۳ lb/ft² و پس از ۱۲ ساعت ۰/۰۱۶ lb/ft² به دست آمد. آزمایش مربوط به بررسی سازگاری که به منظور تعیین بهترین نوع و درصد مواد تعلیق شکن^۴ و بررسی سازگاری میان درصدهای بهینه یافته شده و نیز بررسی ایجاد و یا نبود رسوب

(و یا جامدات نامحلول) و نیز تک فاز بودن محلول طراحی شده انجام می‌شود، در دمای ۱۷۰°F برای هر دو نوع اسید ۱۵٪ و ۲۸٪ انجام شد. نتایج به دست آمده از این آزمایش نیز بر راندمان بالای استفاده از اسید ۱۵ درصد به دلیل عدم ایجاد امولسیون در مقایسه با اسید ۲۸٪ تأکید می‌کند. در شکل (۳)، میزان تغییرات آهنگ انگیزش (K/K₀) نسبت به زمان برای سه نوع اسید ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۸٪ مشاهده می‌کنید. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مدت زمان تزریق، نفوذپذیری افزایش پیدا می‌کند که البته مقدار آن در ابتدا بعد از کمی افزایش ثابت مانده یا کاهش یافته است. این کاهش احتمالاً بر اثر واکنش‌های انجام شده و رسوب MgCl₂ و CaCl₂ است. در این مورد، میزان گرفتگی رسوب بیش از خوردگی اسید است و از این رو نفوذپذیری کاهش کمی نشان می‌دهد. همچنین، آزاد شدن گاز حاصل از واکنش، می‌تواند باعث کاهش نفوذپذیری شود که با گذشت زمان و خروج گاز از سیستم نفوذپذیری افزایش می‌یابد. بر مبنای این شکل، افزایش نفوذپذیری در تزریق با اسید ۱۵ درصد از روند بهتری برخوردار بوده و نتایج بهتری را نشان می‌دهد. این نتیجه می‌تواند به دلیل شرایط مخزن، یعنی دما و فشار بالا و نیز تخلخل پایین و متراکم بودن سنگ مخزن نیز باشد.

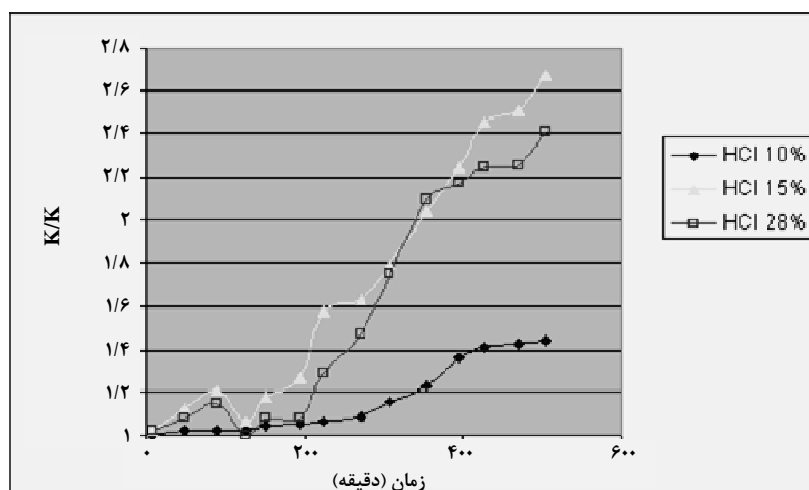
جدول ۳. آزمایش خوردگی با اسید ۱۵٪.

هیدروکلریک اسید ۱۵٪				
جدیدتر		پیشتر استفاده شده		افزایه‌ها
نسبت	نام ماده	نسبت	نام ماده	
۱	TCI-۱۲۲	۱	CI-۲۷	ضد خوردگی
۱/۲	TCI-۱۹۲۱	۱/۲	HYTEMP-O	کمکی ضد خوردگی
۰/۴	MMR-۴	۰/۴	MMR-۴	عامل تعلیق کننده
۱	NE-۳۲	۱	NE-۳۲	ضد لجن
۱	NE-۱۳	۱	NE-۱۳	ضد امولسیون
۰	MSS-۱۰۰	۰	MSS-۱۰۰	چند منظوره

1. Core Flow Test
2. Casing
3. Corrosion Rate
4. De-Emulsifier



شکل ۲. مقایسه نتایج تغییرات نفوذپذیری نسبت به زمان در اسیدکاری با غلظتهای مختلف.



شکل ۳. مقایسه نتایج تغییرات آهنگ انگیزش نسبت به زمان در اسیدکاری با غلظتهای مختلف.

آخرین نموداری که در بخش تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط این نرم‌افزار ترسیم می‌شود، نمودار لگاریتمی^۲ است. این نمودار مهمترین نمودار به کار رفته برای انجام ادامه عملیات است، به طوری که عملیات شبیه‌سازی و تطبیق^۳ کلاً بر روی این منحنی انجام می‌شود. با توجه به این که برخی مهندسان مخزن بر تخلخل یگانه مخزن داریان و برخی دیگر نیز بر دوگانه^۴ بودن تخلخل مخزن داریان اعتقاد دارند، به همین دلیل هر دو حالت به کمک این نرم‌افزار بررسی شد. باید گفت که بر روی چاه مورد نظر تاکنون هیچ گونه عملیات انگیزشی صورت نگرفته است.

2. Log-Log
3. Matching
4. Dual Porosity

۳. مطالعات آزمایش چاه

در این قسمت، هدف آن است که به کمک مطالعات آزمایش چاه میزان تأثیر اسیدکاری را در سنگ مخزن و به خصوص تأثیر آن را در ضریب پوسته مشخص کنیم. داده‌های خام به دست آمده در عملیات آزمایش چاه توسط نرم افزار PanSystem v۳.۴ مورد بررسی قرار گرفت. روش انجام گرفته به منظور انجام مطالعات آزمایش چاه از نوع آزمون افزایش فشار^۱ است که این روش طی دو مرحله در طول آزمایش یکی قبل و دیگری پس از عملیات انگیزش انجام شد و نتایج مرتبط با آن به صورت نمودارهای آزمایش چاه به دست آمد.

1. Pressure Build Up

اطلاعات مربوط به چاه تولیدی مورد مطالعه قبل از اسیدکاری و بعد از آن در جدول‌های (۴) تا (۶) درج شده است.

جدول ۴. مشخصات فنی میدان و چاه.

نوع سیال	نفث تک فاز
جهت چاه	افقی
نوع سنگ	کربناته
میزان حفره باز ^۱	۲۸۶۰ ft
ضخامت لایه بهره ده	۱۹۶ ft
تخلخل متوسط سازند	٪۲۷
تراکم پذیری نفث	$3 \times 10^{-6} \text{ psi}^{-1}$
فشار لایه	۱۶۶۵ Psi
شعاع چاه	۰/۲۷ ft
عمق عمودی چاه (TVD) ^۲	۳۵۸۹ ft
ارتفاع نقطه میانی مشبک کاری	۳۲/۸۱ ft
دمای چاه	۱۴۰ °F

جدول ۵. مشخصات سیال مخزن.

درجه API	۲۱
گرانروی ^۳ نفث	۸/YCP
ضریب حجمی نفث سازند ^۴	۱/۰۲۵ RB/STB

جدول ۶. تغییرات شدت جریان قبل از اسیدکاری.

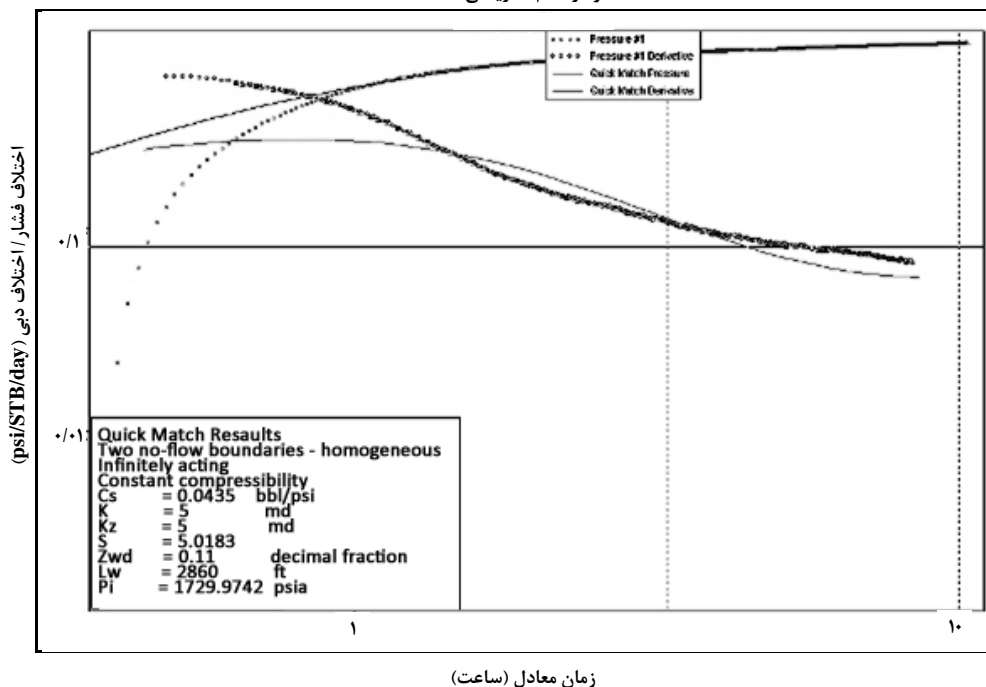
زمان (ساعت)	فشار (Psi)	شدت جریان (STB/DAY)
-۲۳	۱۷۱۳/۲۱	۸۰۰
۰	۹۳۲/۸۸	۸۰۰
۱۱/۱۱	۱۶۲۹/۲۷	۰

جدول ۷. تغییرات شدت جریان بعد از اسیدکاری.

زمان (ساعت)	فشار (Psi)	شدت جریان (STB/DAY)
-۹	۱۵۸۲/۴۸	۲۸۰۰
۰	۱۵۳۱/۱۱	۲۸۰۰
۲۰/۱۱	۱۵۷۱	۰

نمودارهای آزمایش چاه قبل از اسیدکاری در حالت همگن، با نرم‌افزار PanSys به قرار زیرند:

نمودار تمام لگاریتمی



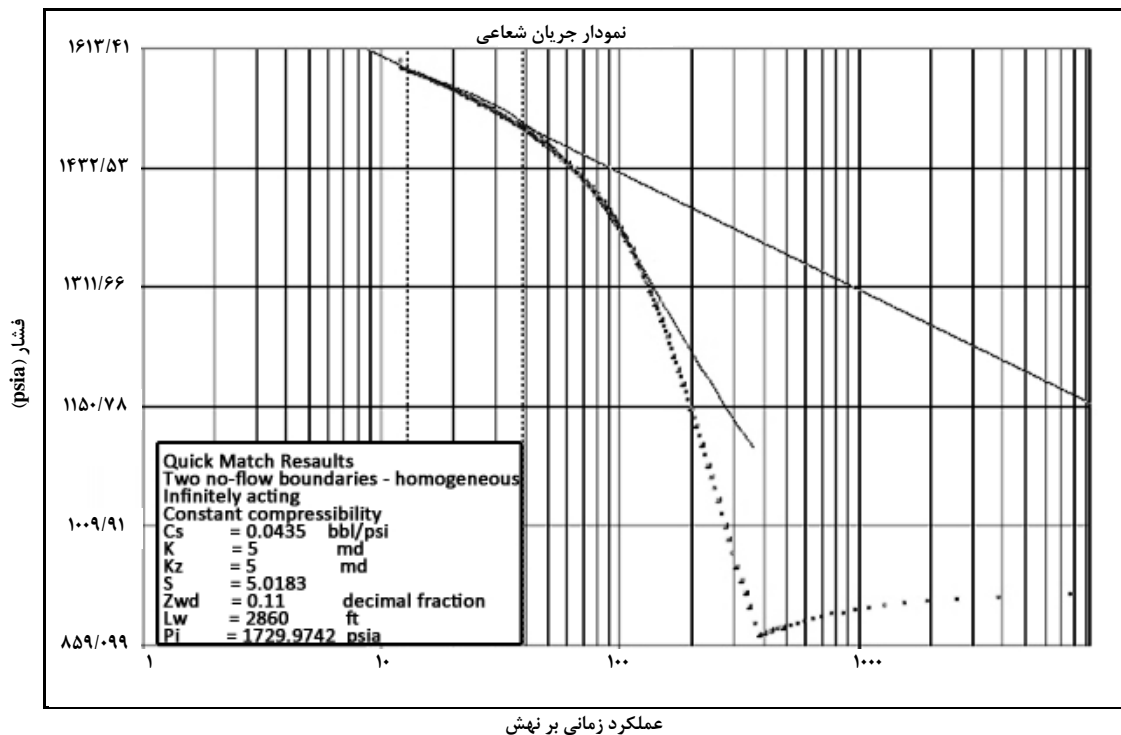
شکل ۴. نمودار لگاریتمی پس از عملیات تطبیق (قبل از اسیدکاری).

1. Open Hole

2. True Vertical Depth

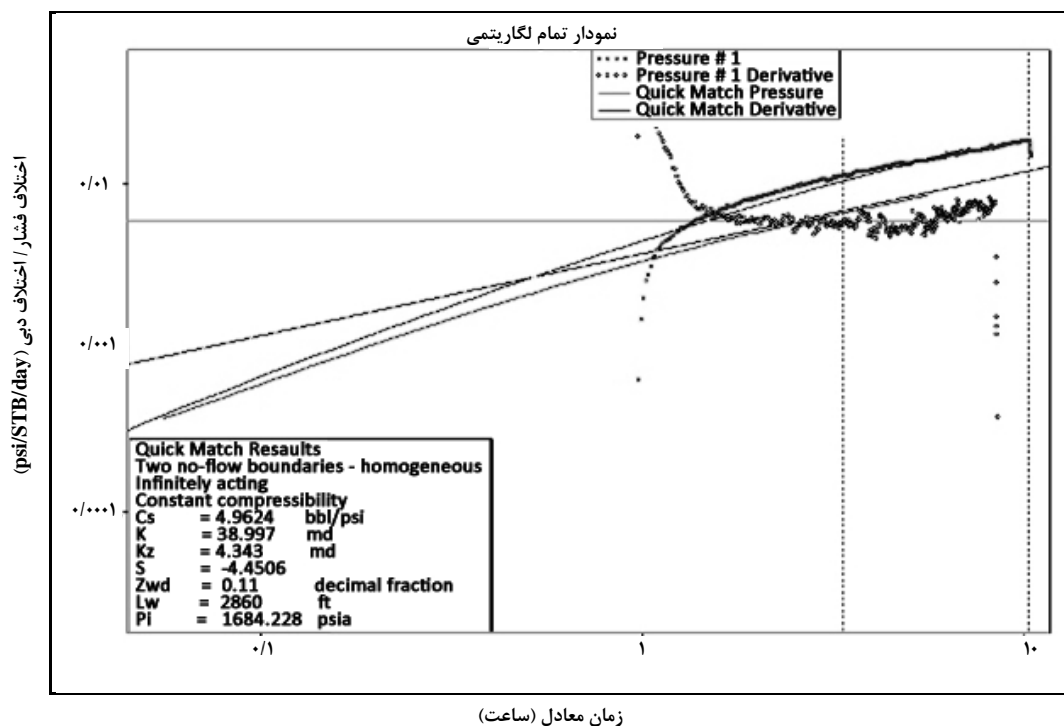
3. Oil Formation Volume Factor

4. Viscosity

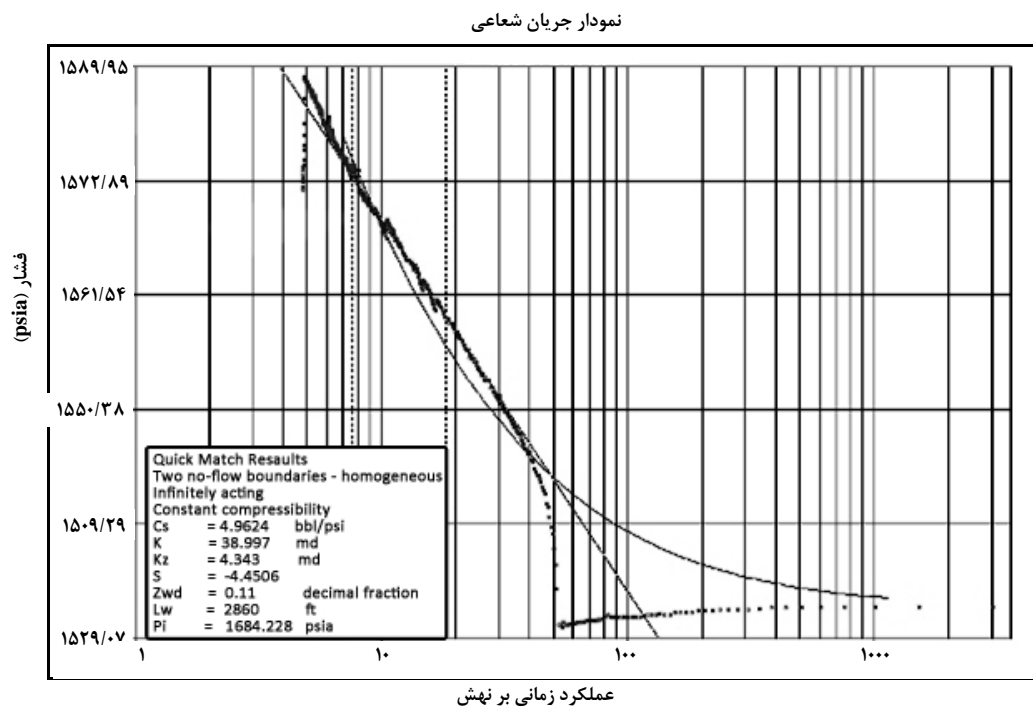


شکل ۵. نمودار جریان شعاعی پس از انجام عملیات تطبیق (قبل از اسیدکاری).

نمودارهای آزمایش چاه بعد از اسیدکاری نیز در حالت همگن با نرم افزار PanSys به قرار شکل زیرند:

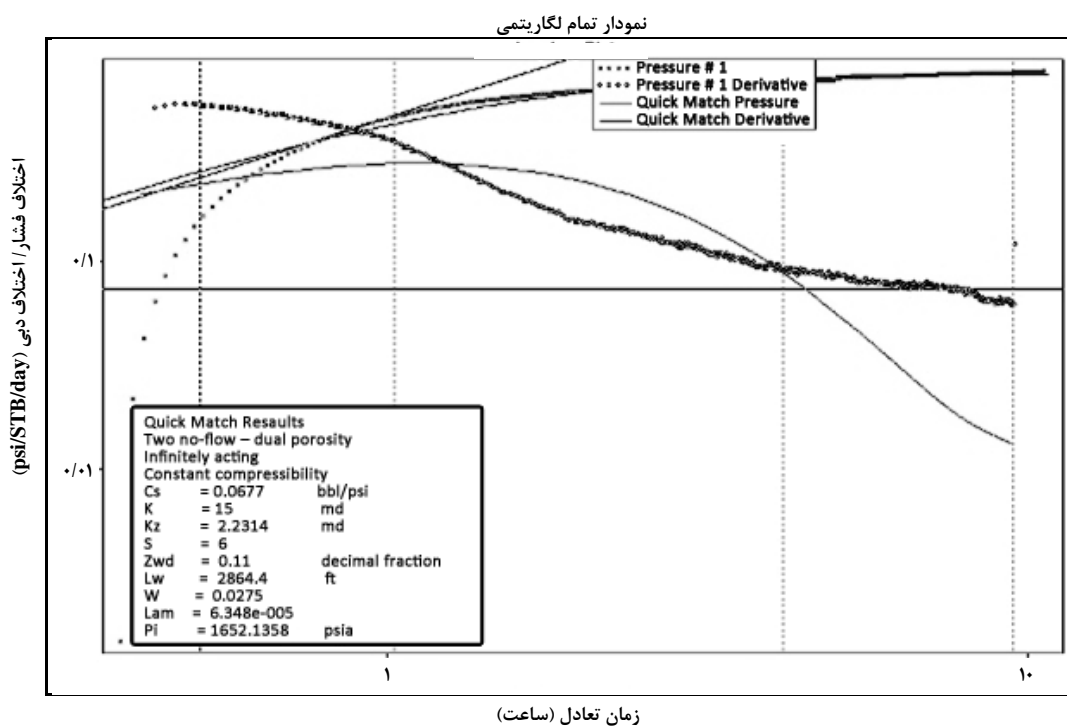


شکل ۶. نمودار لگاریتمی پس از عملیات تطبیق (بعد از اسیدکاری).

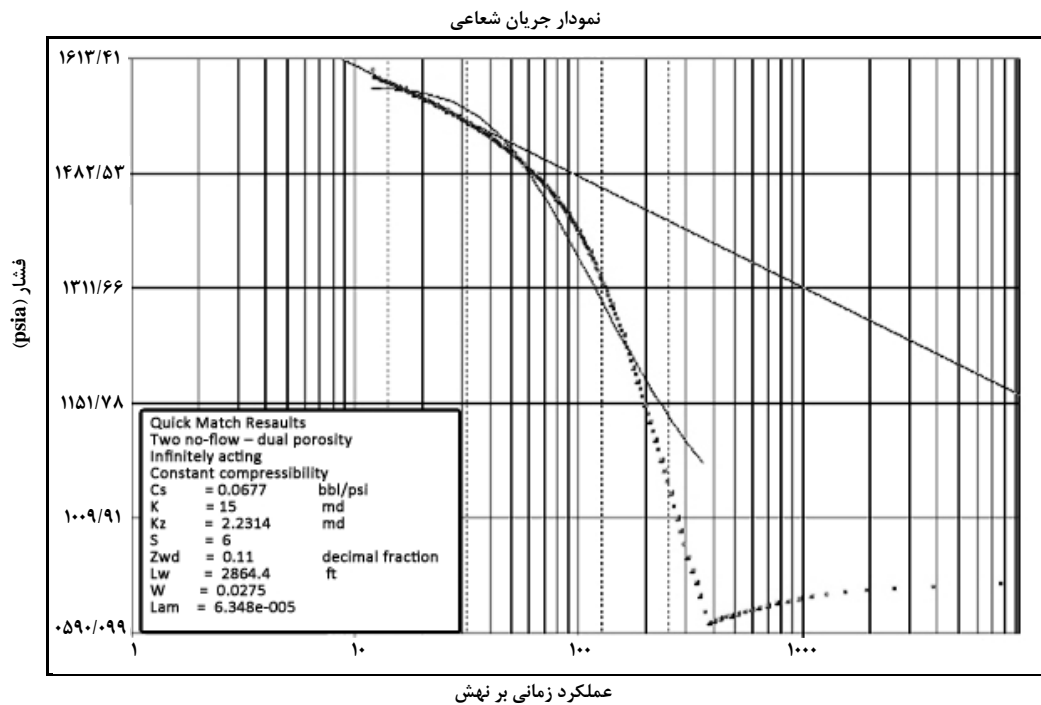


شکل ۷. نمودار جریان شعاعی پس از انجام عملیات تطبیق (بعد از اسیدکاری).

همچنین، نمودارهای آزمایش چاه قبل از اسیدکاری در حالت تخلخل دوگانه با نرم‌افزار PanSys به قرار زیرند:

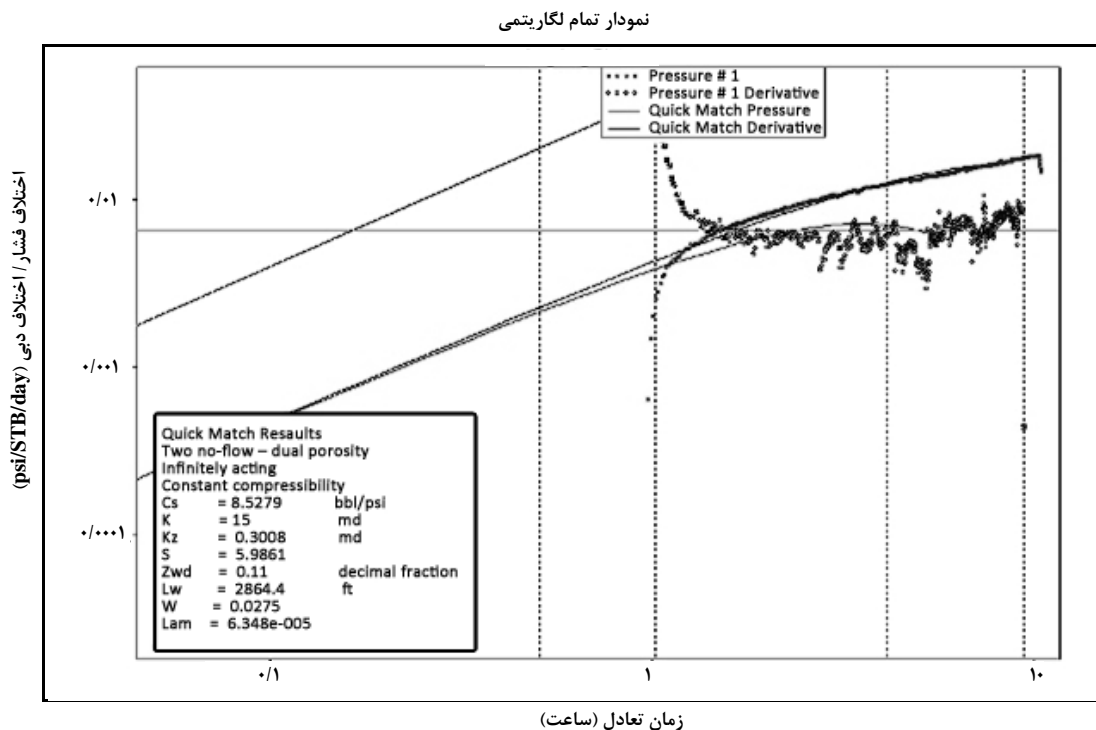


شکل ۸. نمودار لگاریتمی پس از عملیات تطبیق (قبل از اسیدکاری).

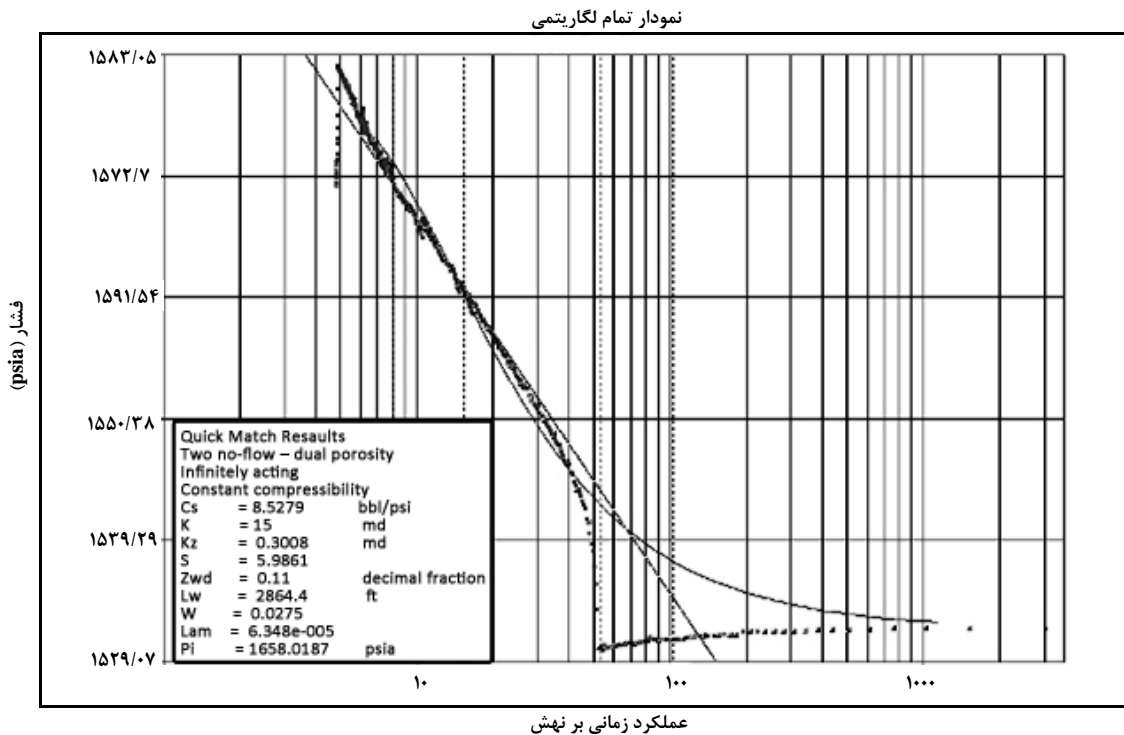


شکل ۹. نمودار جریان شعاعی پس از انجام عملیات تطبیق (قبل از اسیدکاری).

نمودارهای آزمایش چاه بعد از اسیدکاری نیز در حالت تخلخل دوگانه با نرم افزار PanSys از این قرارند:



شکل ۱۰. نمودار لگاریتمی پس از عملیات تطبیق (بعد از اسیدکاری).



شکل ۱۱. نمودار جریان شعاعی پس از انجام عملیات تطبیق (بعد از اسیدکاری).

عملیات اسیدکاری، نمایانگر وجود جریان شعاعی در مخزن است و این که مخزن به صورت نامحدود^۴ عمل می کند. این نتایج در نمودار جریان شعاعی را در شکل (۵) مشاهده می کنید.

پس از عملیات، دوباره روش افزایش فشار بر روی چاه انجام شد و تغییرات فشار بر حسب زمان از ابتدا در مدت زمان ۹- ساعت با فشار ۱۵۸۲/۴۸ psi بوده و بعد از ۲۰/۱۱ ساعت به مقدار ۱۵۷۱ psi رسیده است. در شکل (۶) نیز نمودار لگاریتمی بعد از عملیات تطبیق و مربوط به بعد از اسیدکاری را مشاهده می کنید. مقایسه این نمودار با شکل (۴) و نزدیکی بسیار دو منحنی فشار و دبی، حاکی از کاهش آسیب و دستیابی به مقدار منفی ضریب پوسته در چاه مورد مطالعه است. همچنین، عملیات تطبیق بر روی نمودار جریان شعاعی مربوط به بعد از اسیدکاری در شکل (۷) مشاهده می شود. میزان شیب کمتر در منطقه ای که تحت تاثیر عملکرد مخزن قرار دارد، در مقایسه با نمودار نیمه لگاریتمی^۵ قبل از اسیدکاری نمایانگر کاهش ضریب پوسته به میزان ۴/۴۵۰۶- است. همچنین، میزان اثر ظرفیت چاه معادل ۴/۹۶۲۴ bbl/psi و فشار اولیه (Pi) معادل ۱۶۸۴/۲۲۸ psi به دست آمده است. مشابه همین

آزمایش چاه با روش افزایش فشار، قبل و بعد از عملیات اسیدکاری و مقایسه نتایج حاصل، موفقیت آمیز بودن عملیات انگیزش در هر دو حالت تخلخل یگانه و دوگانه سازند داریان مشهود است. داده های سرچاهی تغییرات فشار بر حسب زمان قبل از عملیات اسیدکاری تا قبل از بسته شدن چاه با فشار ۱۷۱۳/۲۱ psi در دست اند که از زمان بسته شدن چاه با فشار ۹۲۳/۸۸ psi شروع شده و تا زمان ۱۱/۱۱ ساعت با فشار ۱۶۲۹/۲۷ psi ادامه داشته است. نمودار تمام لگاریتمی آزمون افزایش فشار قبل از اسیدکاری، بعد از تطبیق را در شکل (۴) مشاهده می کنید. وجود اختلاف زیاد میان نمودار تغییرات فشار و نمودار انحرافی^۱ حاکی از آسیب های وارد بر سازندی است که خود یکی از مهمترین عوامل ترغیب به عملیات انگیزش به شمار می آید. قبل از اسیدکاری با عملیات تطبیق بر روی نمودار جریان شعاعی^۲ (تغییرات فشار بر حسب لگاریتم زمان) ضریب ظرفیت چاه^۳ (Cs) برابر با ۰/۴۳۵ bbl/psi و با توجه به مقدار بالای عرض از مبدا، مقدار ضریب پوسته معادل ۵/۰۱۸۳ به دست آمد. مقدار Pi نیز معادل ۱۷۲۹/۹۷۴۲ psi است. همچنین، نتایج به دست آمده بعد از عملیات انتخاب مدل در نمودار لگاریتمی قبل از

4. Infinitely Acting
5. Semi Log.

1. Derivative Plot
2. Radial Homogeneous Flow
3. Wellbore Storage Coefficient

مراجع

- [1] Michael J. Economides, "Reservoir Stimulation", Schelumberger Technology, University of Houston, USA, (2000).
- [2] Zhu, D., Hill, A. D., Morgenthaler, L. N. "Assessment of Matrix Acidizing Treatment Responses in Gulf of Mexico Wells", SPE Mid-Continent Operations Symposium, 28-31 March, Oklahoma City, Oklahoma, (1999).
- [3] Medeiros Jr., F., Trevisan, O. V., "Thermal analysis in matrix acidization", Journal of Petroleum Science and Engineering, Pages 51, 85 – 96, (2006).
- [4] Leonard J. K., BJ Services; "Fracture Acidizing : History, Present state, and future", SPE, Texas, (January 2007).
- [5] Ratnakar, R. R. Kalia, N., Balakotaiah, V., "Modeling, analysis and simulation of wormhole formation in carbonate rocks with in situ cross-linked acids", Chemical Engineering Science, Volume 90, Pages 179-19, (7 March 2013).
- [6] Zou, C. J., Liao, W. J., Zhang; L., Chen, H. M., "Study on acidizing effect of β -cyclodextrin-PBTCA inclusion compound with sandstone", Journal of Petroleum Science and Engineering, Volume 77, Issue 2, Pages 219-225, (May 2011).
- [7] Hisham, A. Nasr-El-Din, Nabil, S. Alhabib; Adib, A., Al-Mumen, Jemmali, M., Samuel, M., "A New Effective Stimulation Treatment for Long Horizontal Wells Drilled in Carbonate Reservoirs", SPE Prod & Oper 21 (3): 330-338, (Aug. 2006).
- [8] Zimmermann, C., Blöcher, G., Reinicke, A., Brandt, W., "Rock specific hydraulic fracturing and matrix acidizing to enhance a geothermal system-Concepts and field results", Tectonophysics, Pages 503, 146–154, (2011).
- [9] Liu; M., Zhang, Sh., Mou, J., "Effect of normally distributed porosities on dissolution pattern in carbonate acidizing", Journal of Petroleum Science and Engineering, Volumes 94–95, (September 2012).
- [10] Al-Sadat, W., Nasser, M. S., Chang; F., Nasr-El-Di, H. A., Hussein, I. A., "Laboratory evaluation of the effects of additives and pH on the thermorheological behavior of a viscoelastic zwitterionic surfactant used in acid stimulation", Journal of Petroleum Science and Engineering, In Press, Corrected Proof, Available online, (13 August 2014).
- [11] Cruz-Maya, J. A., Rosas-Flores, J. A., Godoy-Alcantar, M., Jan-Roblero, J. Sanchez Silva, F., "A real-time virtual monitoring system of the skin factor for matrix acidizing treatments, Flow Measurement and Instrumentation", Pages 22, 413–420, (2011).
- [12] Liu, X., Ormond, A., Bartko, K., Ying, L., Ortoleva, P., "A geochemical reaction-transport simulator for matrix acidizing analysis and design", Journal of Petroleum Science and Engineering, 17, 181-196, (1997).

نتایج نیز برای حالت تخلخل دوگانه مورد بررسی قرار گرفت که همانطور که در نمودارها و مقادیر به دست آمده مشاهده می‌شود، موفقیت‌آمیز بودن عملیات انگیزش متناسب با فراهم کردن شرایط بهینه نشان داده شده است.

۴. نتیجه‌گیری کلی

۱. مهمترین نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که غلظت اسید در فرآیند انگیزش از اهمیت خاصی برخوردار است و بالا بودن غلظت، همواره هماهنگ با افزایش عملکرد آن بوده و برای هر مخزن و چاه نفتی باید طبق شرایط آن مخزن، باید غلظت بهینه را انتخاب کرد. در این مقاله هم نتایج به دست آمده با اسید هیدروکلریک با غلظت ۱۵ درصد شرایط مناسب‌تری را فراهم آورد.

۲. با توجه به این‌که برخی از مهندسان مخازن اعتقاد بر تخلخل یگانه بودن مخزن داریان و برخی دیگر نیز اعتقاد بر دوگانه بودن تخلخل مخزن داریان دارند، به همین دلیل توسط نرم افزار هر دو حالت مورد بررسی قرار گرفت. اما با توجه به مطالعه نمونه مغزه‌های گرفته شده و گزارش تجزیه و تحلیل دستگاه ریزعکس سازند، به نظر می‌رسد مخزن بیشتر به نوع تخلخل یگانه شباهت دارد.

۳. میزان تولید بر روی کاهنده ۴۴/۶۴ قبل و بعد از عملیات اسیدکاری، به ترتیب، برابر با ۸۰۰ و ۳۰۰۰ بشکه در روز بوده است. همچنین، کاهش ضریب پوسته از ۵ به ۴/۴۵ در حالت تخلخل یگانه و افزایش ضریب تولید ۱/۰۲۷ به ۲۷/۷ بشکه در روز بر پام دلایل موفقیت‌آمیز بودن عملیات اسیدکاری است.

۴. با توجه به نمودار لگاریتمی بعد از عملیات اسیدکاری، ناحیه دهانه چاه قابل تشخیص نیست و فقط ناحیه جریان شعاعی اولیه را داریم.

۵. از آنجا که درجه API نفت در مخزن مورد مطالعه حدود ۲۱ بوده است، بر این اساس نفت خام میدان مستعد تولید آسفالتین در اثر تحریک توسط اسید است.

1. Wellbore Storage
2. Early Radial Flow