

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

عنوان پایان نامه

اسیدکاری در سازندهای کربناته و تاثیر آن برروی ضریب پوسته

نام و نام خانوادگی دانشجو

افشین محمدی

استاد راهنما:

دکتر حسن قاسم زاده

پایان نامه برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته مهندسی معدن گرایش ژئومکانیک نفت

بهار ۱۴۰۱

چکیده

طی هر یک از مراحل تولید، تکمیل و تحریک چاه‌های نفت و گاز ممکن است سازند دچار آسیب گردد و در نتیجه میزان تولید کاهش یابد. این آسیب‌ها می‌توانند ناشی از مهاجرت ذرات سازند، رسوبات ناشی از مواد نامحلول در آب بر اثر تغییرات دمایی و فشاری، رسوبات پارافین و آسفالتین، امولسیون‌ها، محصولات فرعی ناشی از واکنش، گل حفاری و بسیار عوامل دیگر باشند. روش‌های زیادی جهت رفع این آسیب‌ها و ازدیاد برداشت وجود دارد که یکی از آنها اسیدکاری است. اسید به‌منظور تحریک لایه‌های تولیدکننده نفت و گاز به درون چاه تزریق می‌گردد تا بخشی از سازند را در خود حل نموده و مسیرهای جدیدی جهت تولید نفت یا گاز ایجاد نماید و یا معابری که دچار آسیب شده‌اند را باز نماید.

اطلاعات مخزن و چاه استفاده شده در این پژوهش از برنامه عملیات اسیدکاری اولیه‌ای گرفته شده است که شبیه‌سازی عملیات اسیدکاری را با استفاده از مدل Doerler مورد بررسی قرار داده است. در این پژوهش برای شبیه‌سازی عملیات اسیدکاری با استفاده از مدل نیمه‌تجربی و مقایسه آن با مدل Doerler پارامترهای مستقلی (ورودی) مانند نرخ و حجم سیالات تزریقی در مراحل اسیدکاری انحرافی، اصلی و پس‌شویی را در محدوده‌های حداقلی و حداکثری در نرم‌افزار DesignExpert در نظر گرفته‌ایم و با استفاده از روش پاسخ سطح (RSM) و به کمک مدل مرکب مرکزی (CCD) تعداد ۷۷ اجرا را طراحی نمودیم تا مطالعه کامل و جامعی در مورد عملیات اسیدکاری در مخزن مورد نظر انجام گیرد و پارامترهای وابسته (خروجی) که شامل ضریب پوسته نهایی مخزن، حداکثر فشار ته‌چاهی ایجاد شده و کمترین مقدار رشد کرم‌چاله را بعد از هر آزمایش با استفاده از نرم‌افزار Stimpro2018 محاسبه نموده‌ایم و به کمک آنالیز واریانس (ANOVA) داده‌های پرت موجود در آزمایش‌های صورت گرفته را حذف کرده و در نهایت با توجه به محدودیت‌های موجود در عملیات اسیدکاری همانند بالا بودن فشار ته‌چاهی به شرط عبور نکردن از فشار شکست سازندی، حداقل رشد کرم‌چاله در زیرلایه‌های کم تراوا به اندازه ۳ft و بیشترین مقدار کاهش ضریب پوسته نهایی زیرلایه‌های مخزنی کاندیدای مناسب برای انجام عملیات اسیدکاری انتخاب شده و با استفاده از نرم‌افزار Stimpro2018 و به کمک مدل نیمه‌تجربی (SE) عملیات اسیدکاری در مخزن مورد نظر را شبیه‌سازی نموده‌ایم و نتایج بدست آمده از آن را با مدل Doerler مورد مقایسه قرار داده‌ایم و مشخص گردید که برنامه عملیات اسیدکاری صورت گرفته با استفاده از مدل نیمه‌تجربی به علت زمان و میزان مصرف کمتر سیالات تزریقی از نظر اقتصادی به صرفه بوده و به عنوان مدل مناسب‌تر می‌توان آن را در میدان نفتی برای ازدیاد برداشت مخزن مورد نظر که دچار آسیب شده است مورد استفاده قرار دهیم.

واژه‌های کلیدی:

ازدیاد برداشت، اسیدکاری ماتریسی، ضریب پوسته، کرم‌چاله، نرم افزار Stimpro2018، مدل نیمه‌تجربی، نرم‌افزار Design Expert.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول	۱
۱-۱- کلیات	۲
۲-۱- هدف تحقیق	۲
۳-۱- ضرورت و اهمیت تحقیق	۳
۴-۱- روش انجام تحقیق	۳
۵-۱- محدودیت‌های تحقیق	۴
۶-۱- ساختار تحقیق	۴
فصل دوم	۵
۱-۲- سازندکربناته	۶
۲-۲- انواع روش‌های اسیدکاری در مخازن	۷
۱-۲-۲- شکافدهی با اسید	۷
۲-۲-۲- اسیدکاری ماتریسی	۷
۳-۲- اسیدکلریدریک	۸
۴-۲- انحراف مسیر سیالات اسیدی	۹
۱-۴-۲- انحراف مکانیکی	۹
۲-۴-۲- انحراف شیمیایی	۱۰
۱-۲-۴-۲- سیال خود انحراف پایه پلیمری	۱۱
۲-۲-۴-۲- سورفکتانت ویسکوالاستیک	۱۱
۳-۲-۴-۲- اسیدکلریدریک ژل شده	۱۲
۳-۴-۲- انواع الگوهای انحلال	۱۴
۵-۲- مراحل اصلی انجام عملیات اسیدکاری	۲۰
۱-۵-۲- نموداردردختی دستورالعمل‌های پیش‌شویی	۲۰
۱-۵-۲-۱- کاهش هرزروی گل حفاری	۲۰
۵-۲-۱-۲- حل کردن رسوبات آلی	۲۰

۲۱.....	۲-۵-۱-۳- حل کردن امولسیون
۲۱.....	۲-۵-۱-۴- کاهش گازهای ترش
۲۱.....	۲-۵-۱-۵- کاهش رسوبات معدنی
۲۱.....	۲-۵-۱-۶- درمان آلودگی ناشی از باکتری
۲۱.....	۲-۵-۱-۷- چاه‌های نفتی و گازی با تولید بالای آب
۲۲.....	۲-۵-۱-۸- چاه‌های گاز خشک
۲۴.....	۲-۵-۲- دستورالعمل‌های اسیدکاری اصلی
۲۴.....	۲-۵-۲-۱- اسیدکاری معمولی با اسیدکلریدریک
۲۵.....	۲-۵-۲-۲- اسیدکاری در مخازن‌هایی با دما و گاز ترش بالا
۲۶.....	۲-۵-۲-۳- اسیدکاری مخازن دارای آب و حفرات بالا
۲۸.....	۲-۵-۳- دستورالعمل‌های انحراف سیالات تزریقی
۲۸.....	۲-۵-۳-۱- سازندهای ناهمگن نسبتاً نازک
۲۸.....	۲-۵-۳-۲- مخازن دارای گاز ترش و تولید بالای آب
۲۸.....	۲-۵-۳-۳- مخزن کربناته دارای شکاف، حفرات بزرگ و آهن
۲۹.....	۲-۵-۳-۴- چاه‌های تکمیل شده به صورت مشبک‌کاری شده
۲۹.....	۲-۵-۳-۵- چاه‌های تکمیل شده به صورت حفره باز
۳۱.....	۲-۵-۴- دستورالعمل‌های پس شویی
۳۳.....	۲-۶- مدل‌سازی فرآیند عملیات اسیدکاری به روش نیمه تجربی
۳۳.....	۲-۶-۱- مدل نیمه تجربی در چاه حفره باز در مخازن همگن
۳۳.....	۲-۶-۱-۱- سرعت سیال و سرعت رشد کرم‌چاله در جریان خطی
۳۵.....	۲-۶-۱-۲- سرعت سیال و سرعت رشد کرم‌چاله در جریان شعاعی
۳۶.....	۲-۶-۱-۳- ضریب پوسته نهایی برای جریان خطی و شعاعی
۳۷.....	۲-۶-۲- مدل نیمه تجربی در چاه مشبک‌کاری شده در مخازن همگن
۳۹.....	فصل سوم
۴۰.....	۳-۱- طراحی آزمایش‌ها به روش متدولوژی سطح پاسخ
۴۱.....	۳-۱-۲- طرح مرکب مرکزی
۴۲.....	۳-۱-۳- طرح باکس بنکن
۴۲.....	۳-۲- معرفی نرم‌افزار Stimpro2018
۴۴.....	۳-۲-۱- مزایای نرم‌افزار Stimpro 2018
۴۴.....	۳-۲-۲- معایب نرم‌افزار Stimpro 2018
۴۴.....	۳-۳- معرفی چاه حفاری شده

۴-۳- معرفی مخزن تولیدی	۴۶
۵-۳- برنامه عملیات اسیدکاری اولیه با استفاده از مدل Doerler	۴۹
۶-۳- طراحی آزمایش با استفاده از زوش مرکب مرکزی	۵۰
۷-۳- نتایج حاصل از بهینه سازی عملیات اسیدکاری	۵۱
۸-۳- جمع بندی فصل	۶۶
فصل چهارم	۶۷
۱-۴- تعیین نرخ و حجم بهینه سیالات تزریقی به درون مخزن	۶۸
۱-۱-۴- حجم و نرخ سیال پیش شوینده	۶۸
۲-۱-۴- حجم و نرخ سیال انحراف دهنده	۷۰
۳-۱-۴- حجم و نرخ سیال اصلی	۷۳
۴-۱-۴- حجم و نرخ سیال پس شوینده	۷۶
۲-۴- تعیین نوع سیالات تزریقی به درون مخزن	۷۸
۱-۲-۴- نوع سیال پیش شوینده و پس شوینده	۷۸
۲-۲-۴- نوع سیال انحرافی	۷۹
۳-۲-۴- نوع سیال اصلی	۸۲
۳-۴- تعیین غلظت سیالات تزریقی	۸۴
۱-۳-۴- تعیین غلظت پلیمر سیال انحرافی	۸۴
۲-۳-۴- غلظت سیال اصلی	۸۵
۴-۴- شرایط مخزن برای ایجاد عملیات اسیدکاری بهینه	۸۸
۱-۴-۴- قطر مشبک	۸۸
۲-۴-۴- تعداد مشبکها به ازای هر فوت	۹۰
۳-۴-۴- قطر داخلی و خارجی حفاری شده قسمت تولیدی مخزن	۹۲
۵-۴-۴- ویسکوزیته سیال مخزنی	۹۴
۶-۴-۴- تراکم پذیری زیرلایه های مخزنی	۹۶
۷-۴-۴- دمای مخزن	۹۷
۸-۴-۴- درصد کانی های تشکیل دهنده سنگ مخزن	۹۹
۹-۴-۴- تعداد مراحل تزریق سیالات به درون مخزن	۱۰۲
۵-۴- مقایسه مدل Doerler و مدل نیمه تجربی	۱۰۳
۶-۴- جمع بندی فصل	۱۰۵
فصل پنجم	۱۱۳

۱۱۴..... ۵-۱- نتیجه گیری

۱۱۶..... ۵-۲- پیشنهادات

۱۱۶..... منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۲-۱- درصد اجزای سنگ کربناته..... ۷
- شکل ۲-۲- ایجاد کرم‌چاله در مخازن کربناته با اسیدکاری ماتریسی و شکاف‌دهی با اسید..... ۸
- شکل ۲-۳- (a) انحراف مکانیکی با مسدود کننده‌های تویی ۱۰
- شکل ۲-۳- (b) مجرا بندهای سوار شده بر روی لوله مغزی سیار ۱۰
- شکل ۲-۴- انحراف سیالات اسیدی با روش شیمیایی به نواحی کم تراوا ۱۰
- شکل ۲-۵- نحوه عملکرد سیال انحرافی VDA از لحظه تزریق تا تولید هیدروکربن ۱۲
- شکل ۲-۶- تجمع ذرات میله‌ای و تبدیلیشان به حالت کروی بعد از عملیات انحراف ۱۲
- شکل ۲-۷- (a) منافذ سنگ قبل از تزریق پلی ساکارید و اسید..... ۱۳
- شکل ۲-۷- (b) منافذ سنگ بعد از تزریق پلی ساکارید و اسید ۱۳
- شکل ۲-۸- رابطه بین نرخ تزریق اسید و نوع الگوی انحلال ایجاد شده در سنگ مخزن ۱۴
- شکل ۲-۹- رابطه کاهش ضریب پوسته با نوع الگوی انحلال ایجاد شده در مخازن کربناته ۱۵
- شکل ۲-۱۰- حداقل حجم اسید لازم برای ایجاد کرم‌چاله غالب برای سه نوع اسید تزریقی ۱۶
- شکل ۲-۱۱- نواحی ایجاد شده در سرعت‌های تزریق مختلف اسید ژل درجا به درون مغزه ۱۷
- شکل ۲-۱۲- تغییرات فشار در اثر تزریق اسید ژل شده برای سرعت‌های مختلف ۱۷
- شکل ۲-۱۳- تغییرات pH در طول تزریق اسید ژل شده ۱۸
- شکل ۲-۱۴- تاثیر نفوذپذیری اولیه بر روی مقدار حجم اسید ژل شده در جای تزریقی..... ۱۹
- شکل ۲-۱۵- تاثیر دمای مخزن بر روی حجم اسید ژل شده تزریقی به درون مغزه ۱۹
- شکل ۲-۱۶- نمودار درختی برای انجام دستورالعمل‌های پیش شویی ۲۳
- شکل ۲-۱۷- نمودار درختی برای انجام دستورالعمل‌های اسیدکاری اصلی ۲۷
- شکل ۲-۱۸- نمودار درختی برای انجام دستورالعمل‌های سیالات انحرافی ۳۰
- شکل ۲-۱۹- نمودار درختی برای انجام دستورالعمل‌های پس شویی ۳۲
- شکل ۲-۲۰- تغییرات حجم منفذی در مقابل سرعت سیال منفذی بهینه در شرایط مختلف ۳۵
- شکل ۲-۲۱- سرعت رشد کرم‌چاله‌ها در مقابل سرعت سیال منفذی در مخازن کربناته در شرایط مختلف ۳۵
- شکل ۳-۱- طراحی فاکتورها با استفاده از طرح مرکب مرکزی ۴۱
- شکل ۳-۲- طراحی فاکتورها با استفاده از طرح باکس بنکن ۴۲
- شکل ۳-۳- نحوه عملکرد نرم‌افزار Stimpro 2018 برای انجام عملیات اسیدکاری در مخازن کربناته ۴۳
- شکل ۳-۴- شماتیک یک بعدی چاه حفاری شده ۴۶
- شکل ۳-۵- ضریب پوست اولیه زیرلایه‌های مخزنی ۴۸
- شکل ۳-۶- نفوذپذیری اولیه زیرلایه‌های مخزنی ۴۸
- شکل ۳-۷- تخلخل اولیه زیرلایه‌های مخزنی ۴۹
- شکل ۳-۸- تغییرات ضریب پوسته بعد از عملیات اسیدکاری بهینه در مدل Doerler ۵۰
- شکل ۳-۹- نمودار مقادیر پیش‌بینی شده به مقدار واقعی برای پاسخ اول ۵۴
- شکل ۳-۱۰- نمودار مقادیر پیش‌بینی شده به مقدار واقعی برای پاسخ دوم ۵۴
- شکل ۳-۱۱- نمودار مقادیر پیش‌بینی شده به مقدار واقعی برای پاسخ سوم ۵۵
- شکل ۳-۱۲- ناحیه اطمینان از نظر حجم و نرخ سیال انحرافی برای ایجاد عملیات اسیدکاری بهینه ۵۶

- شکل ۳-۱۳- ناحیه اطمینان از نظر حجم و نرخ سیال اصلی برای ایجاد عملیات اسیدکاری بهینه..... ۵۷
- شکل ۳-۱۴- ناحیه اطمینان از نظر حجم و نرخ سیال پس‌شوینده برای ایجاد عملیات اسیدکاری بهینه..... ۵۸
- شکل ۳-۱۵- نمودار دو بعدی تاثیر نرخ و حجم سیال انحرافی بر روی ضریب پوسته نهایی زیرلایه‌های مخزنی..... ۵۹
- شکل ۳-۱۶- نمودار دو بعدی تاثیر نرخ و حجم سیال انحرافی بر روی رشدکرم‌چاله در زیرلایه‌های مخزنی..... ۵۹
- شکل ۳-۱۷- نمودار دو بعدی تاثیر نرخ و حجم سیال انحرافی بر روی حداکثر فشار ته‌چاهی در چاه مورد نظر..... ۶۰
- شکل ۳-۱۸- نمودار دو بعدی تاثیر نرخ و حجم سیال اصلی بر روی ضریب پوسته نهایی زیرلایه‌های مخزنی..... ۶۱
- شکل ۳-۱۹- نمودار دو بعدی تاثیر نرخ و حجم سیال اصلی بر روی رشدکرم‌چاله در زیرلایه‌های مخزنی..... ۶۱
- شکل ۳-۲۰- نمودار دو بعدی تاثیر نرخ و حجم سیال اصلی بر روی حداکثر فشار ته‌چاهی در چاه مورد نظر..... ۶۲
- شکل ۳-۲۱- نمودار دو بعدی تاثیر نرخ سیال انحرافی و اصلی بر روی ضریب پوسته نهایی زیرلایه‌های مخزنی..... ۶۳
- شکل ۳-۲۲- نمودار دو بعدی تاثیر نرخ سیال انحرافی و اصلی بر روی رشدکرم‌چاله در زیرلایه‌های مخزنی..... ۶۳
- شکل ۳-۲۳- نمودار دو بعدی تاثیر نرخ سیال انحرافی و اصلی بر روی حداکثر فشار ته‌چاهی در چاه مورد نظر..... ۶۴
- شکل ۳-۲۵- نمودار دو بعدی تاثیر حجم سیال انحرافی و اصلی بر روی رشدکرم‌چاله در زیرلایه‌های مخزنی..... ۶۵
- شکل ۴-۱- شماتیک تک بعدی چاه بعد از تزریق سیال پیش‌شوینده..... ۶۹
- شکل ۴-۲- نمودار فشار ته‌چاهی ایجاد شده بعد از تزریق سیال پیش‌شوینده به درون مخزن..... ۶۹
- شکل ۴-۳- تغییرات ضریب پوسته زیرلایه‌های مخزنی بعد از تزریق سیال پیش‌شوینده..... ۷۰
- شکل ۴-۴- شماتیک تک بعدی چاه بعد از تزریق سیال انحرافی..... ۷۱
- شکل ۴-۵- نمودار فشار ته‌چاهی ایجاد شده بعد از تزریق سیال انحرافی به درون مخزن..... ۷۱
- شکل ۴-۶- تغییرات ضریب پوسته زیرلایه‌های مخزنی بعد از تزریق سیال انحرافی..... ۷۲
- شکل ۴-۷- ضریب پوسته نهایی زیرلایه‌های مخزنی بعد از تزریق اسید انحرافی به درون مخزن..... ۷۲
- شکل ۴-۸- شماتیک تک بعدی چاه بعد از تزریق سیال اصلی..... ۷۴
- شکل ۴-۹- نمودار فشار ته‌چاهی ایجاد شده بعد از تزریق سیال اصلی به درون مخزن..... ۷۴
- شکل ۴-۱۰- تغییرات ضریب پوسته زیرلایه‌های مخزنی بعد از تزریق سیال اصلی..... ۷۵
- شکل ۴-۱۱- ضریب پوسته نهایی زیرلایه‌های مخزنی بعد از تزریق اسید اصلی به درون مخزن..... ۷۵
- شکل ۴-۱۲- شماتیک تک بعدی چاه بعد از تزریق سیال پس‌شوینده..... ۷۶
- شکل ۴-۱۳- نمودار فشار ته‌چاهی ایجاد شده بعد از تزریق سیال پس‌شوینده به درون مخزن..... ۷۷
- شکل ۴-۱۴- تغییرات ضریب پوسته زیرلایه‌های مخزنی بعد از تزریق سیال پس‌شوینده..... ۷۷
- شکل ۴-۱۵- ضریب پوسته نهایی زیرلایه‌های مخزنی بعد از تزریق سیال پس‌شوینده به درون مخزن..... ۷۸
- شکل ۴-۱۶- فشار ته‌چاهی ایجاد شده برای اسیدکلریدریک ژل شده ۵ درصد..... ۷۹
- شکل ۴-۱۷- ضریب پوسته زیرلایه‌های مخزنی بعد از تزریق اسیدکلریدریک ژل شده ۵درصد..... ۸۰
- شکل ۴-۱۸- ضریب پوسته نهایی زیرلایه‌های مخزنی بعد از تزریق اسیدکلریدریک ژل شده ۵درصد..... ۸۰
- شکل ۴-۱۹- فشار ته‌چاهی ایجاد شده برای اسیدکلریدریک ژل شده ۱۰درصد..... ۸۱
- شکل ۴-۲۰- ضریب پوسته زیرلایه‌های مخزنی بعد از تزریق اسیدکلریدریک ژل شده ۱۰درصد..... ۸۱
- شکل ۴-۲۱- ضریب پوسته نهایی زیرلایه‌های مخزنی بعد از تزریق اسیدکلریدریک ژل شده ۵ درصد..... ۸۲
- شکل ۴-۲۲- فشار ته‌چاهی ایجاد شده در دما ۱۵۰ درجه فارنهایت برای اسیدکلریدریک ۱۵درصد..... ۸۳
- شکل ۴-۲۳- فشار ته‌چاهی ایجاد شده در دما ۲۵۰ درجه فارنهایت برای اسیدکلریدریک ۱۵درصد..... ۸۳
- شکل ۴-۲۴- فشار ته‌چاهی ایجاد شده برای اسیدکلریدریک ژل شده ۱۵درصد با غلظت ۰/۱درصد حجمی پلیمر..... ۸۴
- شکل ۴-۲۵- فشار ته‌چاهی ایجاد شده برای اسیدکلریدریک ژل شده ۱۵درصد با غلظت ۰/۳درصد حجمی پلیمر..... ۸۵

- شکل ۴-۲۶- فشار ته‌چاهی ایجاد شده برای اسیدکلریدریک ۵ درصد ۸۶
- شکل ۴-۲۷- تغییرات ضریب پوسته زیرلایه‌های مخزنی بعد از تزریق اسیدکلریدریک ۵ درصد ۸۶
- شکل ۴-۲۸- فشار ته‌چاهی ایجاد شده برای اسیدکلریدریک ۱۰ درصد ۸۷
- شکل ۴-۲۹- تغییرات ضریب پوسته زیرلایه‌های مخزنی بعد از تزریق اسیدکلریدریک ۱۰ درصد ۸۷
- شکل ۴-۳۰- فشار ته‌چاهی ایجاد شده برای مشبک‌هایی به قطر 0.2 in ۸۹
- شکل ۴-۳۱- تغییرات ضریب پوسته زیرلایه‌های مخزنی برای مشبک‌هایی به قطر 0.2 in ۸۹
- شکل ۴-۳۲- فشار ته‌چاهی ایجاد شده برای مشبک‌هایی به قطر 0.4 in ۹۰
- شکل ۴-۳۳- فشار ته‌چاهی ایجاد شده تعداد ۱۵۰۰ مشبک در مخزن مورد نظر ۹۱
- شکل ۴-۳۴- تغییرات ضریب پوسته زیرلایه‌های مخزنی برای تعداد ۱۵۰۰ مشبک در مخزن مورد نظر ۹۱
- شکل ۴-۳۵- فشار ته‌چاهی ایجاد شده تعداد ۳۰۰۰ مشبک در مخزن مورد نظر ۹۲
- شکل ۴-۳۶- فشار ته‌چاهی ایجاد شده برای قطر داخلی 6 in و قطر خارجی $5/672 \text{ in}$ در مخزن مورد نظر ۹۳
- شکل ۴-۳۷- فشار ته‌چاهی ایجاد شده برای قطر داخلی 8 in و قطر خارجی $7/628 \text{ in}$ در مخزن مورد نظر ۹۳
- شکل ۴-۳۸- تغییرات ضریب پوسته ایجاد شده برای قطر داخلی 8 in و قطر خارجی $7/628 \text{ in}$ در مخزن مورد نظر ۹۴
- شکل ۴-۳۹- فشار ته‌چاهی ایجاد شده برای سیال مخزنی با ویسکوزیته $1/4 \text{ cp}$ ۹۵
- شکل ۴-۴۰- فشار ته‌چاهی ایجاد شده برای سیال مخزنی با ویسکوزیته 1 cp ۹۵
- شکل ۴-۴۱- فشار ته‌چاهی ایجاد شده برای تراکم پذیری 1 psi در 10^{-7} در زیرلایه‌های مخزنی ۹۶
- شکل ۴-۴۲- فشار ته‌چاهی ایجاد شده برای تراکم پذیری 1 psi در 10^{-3} در زیرلایه‌های مخزنی ۹۷
- شکل ۴-۴۳- بهینه سازی فشار ته‌چاهی برای دمای 120°C درجه فارنهایت توسط اسیدکلریدریک ۱۰ درصد ۹۸
- شکل ۴-۴۴- بهینه سازی ضریب پوسته زیرلایه‌های مخزنی در دمای 150°C درجه فارنهایت با اسیدکلریدریک ۱۰ درصد ۹۸
- شکل ۴-۴۵- فشار ته‌چاهی ایجاد شده برای سنگ مخزنی با ۶۰ درصد کلسیت و ۴۰ درصد دولومیت قبل از بهینه سازی ۱۰۰
- شکل ۴-۴۶- فشار ته‌چاهی ایجاد شده برای سنگ مخزنی با ۶۰ درصد کلسیت و ۴۰ درصد دولومیت بعد از بهینه سازی ۱۰۱
- شکل ۴-۴۷- تغییرات ضریب پوسته زیرلایه‌های مخزنی با ۶۰ درصد کلسیت و ۴۰ درصد دولومیت بعد از بهینه سازی ۱۰۱
- شکل ۴-۴۹- تغییرات ضریب پوسته زیرلایه‌های مخزنی در تزریق سیالات به صورت دو مرحله‌ای به درون مخزن ۱۰۳
- شکل ۴-۵۰- مقایسه مدت زمان عملیات اسیدکاری برای دو مدل SE و Doerler ۱۰۴
- شکل ۴-۵۱- مقایسه سیالات مصرفی در عملیات اسیدکاری برای دو مدل SE و Doerler ۱۰۴

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۲	- خصوصیات سیالات اسیدکلریدریک، اسید ژل شده و اسید ژل درجا	۱۵
جدول ۱-۳	- سرعت سیال و حجم منفذی در حالت بهینه برای سیالات مختلف در دمای متفاوت	۴۳
جدول ۲-۳	- نحوه عملیات حفاری صورت گرفته در چاه مورد نظر	۴۵
جدول ۳-۳	- نحوه عملیات لوله‌گذاری در چاه مورد نظر	۴۵
جدول ۴-۳	- اطلاعات مربوط به عملیات مشبک‌کاری در لایه مخزنی	۴۵
جدول ۵-۳	- اطلاعات مربوط به لوله مغزی	۴۵
جدول ۶-۳	- اطلاعات پتروفیزیکی مربوط به مخزن	۴۷
جدول ۷-۳	- اطلاعات مربوط به مقدار و عمق آسیب موجود در زیرلایه‌های مخزنی	۴۷
جدول ۸-۳	- برنامه عملیات اسیدکاری اولیه با وجود سیال انحرافی	۴۹
جدول ۹-۳	- سطوح طراحی آزمایش مرکب مرکزی	۵۱
جدول ۱۰-۳	- طراحی و پاسخ مراحل مختلف تزریق سیالات به درون مخزن	۵۱
جدول ۱۱-۳	- آنالیز واریانس برای پاسخ اول (ضریب پوسته)	۵۳
جدول ۱۲-۳	- آنالیز واریانس برای پاسخ دوم (بیشترین مقدار فشار ته‌چاهی)	۵۳
جدول ۱۳-۳	- آنالیز واریانس برای پاسخ سوم (میزان رشد کرم‌چاله)	۵۳
جدول ۱۴-۳	- نرخ و حجم سیالات بهینه برای انجام عملیات اسیدکاری موثر	۵۵
جدول ۱-۴	- برنامه عملیات اسیدکاری بهینه	۶۸
جدول ۲-۴	- خصوصیات سیالات تزریق شده به درون مخزن مورد نظر	۸۸
جدول ۳-۴	- اطلاعات سنگ مخزن	۹۹
جدول ۴-۴	- برنامه عملیات اسیدکاری بهینه برای سنگ مخزنی با ۶۰ درصد کلسیت و ۴۰ درصد دولومیت	۱۰۰
جدول ۵-۴	- برنامه عملیات اسیدکاری طی دو مرحله تزریق سیالات به درون مخزن مورد نظر	۱۰۲

فصل اول

مقدمه

۱-۱- کلیات

امروزه برداشت بیشینه از مخازن نفت و گاز با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی، بیش از هر زمان دیگری اهمیت یافته است. رفع موانع موجود در مسیر تولید از مخازن، از ملزومات دستیابی به تولید مطلوب است؛ یکی از موانع و مشکلاتی که همواره موجب ایجاد افت فشار اضافی و در نتیجه کاهش نرخ تولید در چاه‌های نفتی می‌شود، پدیده‌ی آسیب سازند می‌باشد. موثرترین راه برای مقابله با آسیب سازند، استفاده از روش‌های تحریک و انگیزش چاه است. عملیات تحریک چاه شامل گستره‌ی وسیعی از روش‌ها می‌باشد که متداول‌ترین آنها استفاده از اسیدها به عنوان مواد محرک برای انحلال رسوبات و رفع انسدادها می‌باشد. در کشور ایران، به دلیل آنکه مخازن کربناته بیش از ۸۰ درصد از تعداد کل مخازن در حال تولید را تشکیل می‌دهند، می‌توان از عملیات اسیدکاری به بهترین شکل بهره‌گیری نمود؛ چرا که بازدهی فرآیند اسیدکاری در سازندهای کربناته، به مراتب بیش از سایر انواع لیتولوژی هاست.

انجام عملیات اسیدکاری در مخازنی که فقط دارای یک زیرلایه‌ی مخزنی هستند به علت داشتن شرایط پتروفیزیکی یکسان برای مهندسين قابل درک است به‌طوری که نرخ، حجم و غلظت سیالات تزریقی برای انجام عملیات اسیدکاری در آن قابل پیش‌بینی است. اما در مخازنی که دارای چندین زیرلایه‌ی مخزنی با شرایط پتروفیزیکی مختلف هستند به علت دریافت متفاوت سیالات در زیرلایه‌های کم تراوا و پرتراوا کار عملیات اسیدکاری را از نظر نرخ، نوع، حجم و غلظت سیالات تزریقی پیچیده خواهد کرد.

۲-۱- هدف تحقیق

باتوجه به پیشرفت‌هایی که در سال‌های اخیر در نرم‌افزارهای موجود صورت گرفته است این امکان را فراهم نموده تا رفتار کرم‌چاله‌های ایجاد شده در اطراف دهانه چاه را با دقت بیشتری مدل‌سازی کنیم. این نرم‌افزارها به محققین این امکانات را خواهند داد که با شبیه‌سازی چاه و مخزن مورد نظر در کمترین زمان و هزینه شرایط مناسبی از نظر نوع، حجم، غلظت و... برای سیالات تزریقی را ایجاد نمایند و بهینه‌ترین حالت را برای انجام عملیات اسیدکاری میدانی برای افزایش چندین برابری تولید از چاهی که دچار آسیب شده است محقق سازند.

در این پژوهش برنامه عملیات اسیدکاری اولیه را که با استفاده از مدل Doerler صورت گرفته است با استفاده از مدل نیمه‌تجربی از نظر نرخ و حجم سیالات تزریقی بهینه برای ایجاد کرم‌چاله‌هایی که بتوانند عمق آسیب موجود در اطراف دهانه چاه را پوشش دهند و ضریب پوسته زیرلایه‌های مخزنی را به حداقل مقدار خود برسانند مقایسه کرده و در نهایت مدل مناسب‌تر را برای استفاده در شرایط میدانی از نظر زمان و میزان حجم سیالات مصرفی مورد استفاده قرار خواهیم داد.

۱-۳- ضرورت و اهمیت تحقیق

آسیب‌های ایجاد شده در مخازن کربناته میزان قابل ملاحظه‌ای از تولید هیدروکربن چاه را کم می‌کنند و برای احیای چنین مخازنی باید هزینه زیادی را متحمل شد و حتی با زیاد شدن آسیب موجود در اطراف چاه با گذشت زمان با هزینه کردن مقرون به صرفه نخواهد بود و چاه مورد نظر باید تخلیه شود. با افول روزافزون حجم ذخایر هیدروکربنی و کاهش چشمگیر فشار مخازن نفتی و برای تثبیت نرخ تولید، بهینه‌سازی فرآیند تولید از مخازن نقش بسزایی در صنعت نفت خواهد داشت.

انجام دادن این تحقیق به منظور کاهش آسیب موجود در اطراف دهانه چاه و احیا کردن مخازن کربناته که هنوز دارای ذخایر هیدروکربنی زیادی هستند، ضروری است. نتایج حاصل از انجام این تحقیق زودباز، هدفمند، کم هزینه و اقتصادی است و باعث می‌شود که برنامه عملیاتی را قبل از انجام دادن در میدان‌های نفتی با توجه به کاندیداهای مختلفی از نظر نوع، حجم، نرخ و غلظت اسیدهای تزریقی با استفاده از نرم‌افزارهای موجود شبیه سازی کنیم و در نهایت مناسب‌ترین شرایط را از نظر زمان و هزینه انتخاب کنیم و در شرایط میدانی مورد استفاده قرار دهیم تا نتایج بهینه‌ای از عملیات اسیدکاری حاصل شود و حداکثر هیدروکربن قابل استحصال در مخازن کربناته استخراج شوند.

۱-۴- روش انجام تحقیق

اطلاعات و مطالب موجود در این پژوهش از مطالعه بر روی منابع‌های داخلی و خارجی، اطلاعات موجود از مقالات و گزارشات موجود در اینترنت و تعدادی پایان‌نامه در جهت مطالعه کارهای مشابه مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

برای شبیه سازی عملیات اسیدکاری بهینه با استفاده از مدل نیمه‌تجربی در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار آماری DesignExpert و به کمک مدل مرکب مرکزی مطالعه کامل و جامعی در مورد تمام احتمالات ممکن برای ایجاد عملیات اسیدکاری بهینه با در نظر گرفتن پارامترهای مستقل به عنوان ورودی در محدوده‌ی حداقلی و حداکثری با انجام تعدادی آزمایش و با در نظر گرفتن پارامترهای وابسته به عنوان خروجی که با استفاده از نرم‌افزار Stimpro2018 حاصل شده‌اند مناسب‌ترین کاندیدا برای انجام عملیات اسیدکاری را انتخاب می‌نماییم و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار Stimpro2018 نرخ و حجم سیالات انتخاب شده را از نظر تغییراتی که در ضریب پوسته زیرلایه‌های مخزنی، حداکثر فشار ته‌چاهی ایجاد شده در طی هر مرحله تزریق و میزان کاهش ضریب پوسته نهایی ایجاد می‌نمایند را شبیه‌سازی می‌کنیم.

۱-۵- محدودیت‌های تحقیق

برای شبیه سازی فرآیند عملیات اسیدکاری در مخازن کربناته مدل‌های مختلفی وجود دارد که برای هر کدام از آنها روابط ریاضی خاصی برای محاسبه ضریب پوسته‌نهایی، طول کرم‌چاله‌های ایجاد شده، نفوذ سیالات، حجم سیالات استفاده شده است. در این تحقیق از مدل نیمه تجربی با بهره‌گیری از نرم‌افزار Stimpro2018 در جهت محاسبه نرخ، حجم و نوع سیالات تزریقی استفاده شده است و می‌توان عملیات اسیدکاری همگنی را با ایجاد کرم‌چاله‌هایی غالب در مخازنی که دارای زیرلایه‌هایی با شرایط پتروفیزیکی مختلف هستند ایجاد نمود.

۱-۶- ساختار تحقیق

در فصل دوم مراحل اصلی عملیات اسیدکاری همراه با تعیین نوع سیالات تزریقی متناسب با نوع محدودیت در مخازن ذکر شده است و سپس مدل‌سازی فرآیند عملیات اسیدکاری به روش نیمه تجربی مورد بررسی قرار گرفته است.

در فصل سوم با استفاده از نرم‌افزار Design Expert به آنالیز آماری پارامترهای ورودی و خروجی پرداخته شده و با توجه به محدودیت‌های موجود در عملیات اسیدکاری و مخزن مورد نظر نرخ و حجم سیالات تزریقی را برای ایجاد عملیات اسیدکاری بهینه انتخاب کرده‌ایم.

در فصل چهارم به شبیه‌سازی عملیات اسیدکاری مخزن مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار Stimpro2018 توسط مدل نیمه تجربی با استفاده از نرخ و حجم بهینه سیالات تزریقی به دست آمده توسط نرم‌افزار Design Expert پرداخته خواهد شد و در نهایت نتایج به دست آمده توسط مدل نیمه تجربی را با مدل اولیه (Doerler) مورد مقایسه قرار خواهیم داد.

در فصل پنجم خلاصه تحلیل‌های انجام شده و نتایج به دست آمده از تحقیق مورد نظر بیان شده و پیشنهادات برای تحقیقات آتی ارائه شده است.

فصل دوم

ادبیات تحقیق

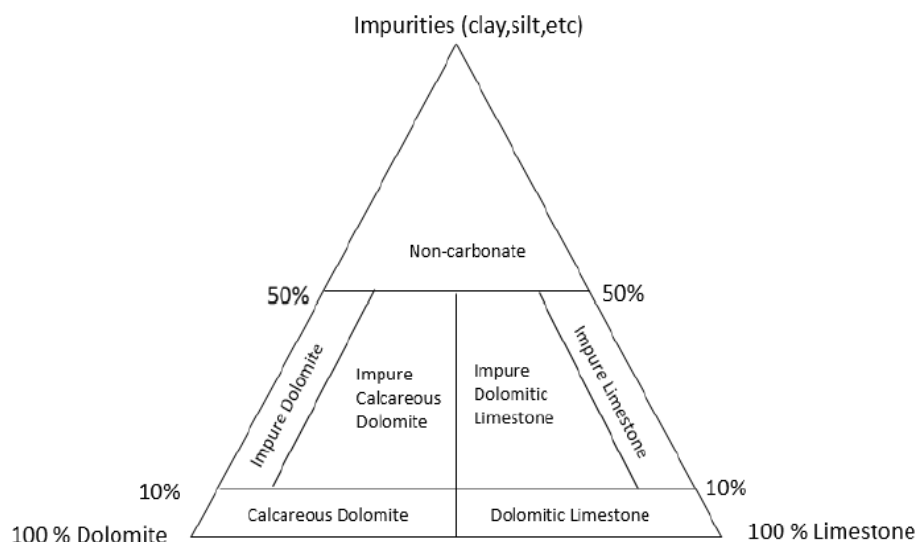
اسید به منظور تحریک لایه‌های تولیدکننده نفت و گاز به درون چاه تزریق می‌گردد تا بخشی از سازند را در خود حل نموده و مسیرهای جدیدی جهت تولید نفت یا گاز ایجاد نماید و یا معابری که دچار آسیب شده و مسدودگشته اند را باز نماید. هدف از انجام عملیات اسیدکاری چاه‌های نفت و گاز را می‌توان مشتمل بر احیا کردن چاه، باز کردن خلل و فرج، افزایش تولید، افزایش میزان نفوذپذیری، تمیزکاری چاه و به‌طور کلی کاهش ضریب پوسته دانست. استفاده از روشهای بهینه در اسیدکاری چاه‌ها برای محاسبه دقیق پارامترهای طراحی عملیات اسیدکاری از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد که می‌تواند اثرات خوبی در افزایش بهره‌افزایی چاه‌های نفت و گاز را به دنبال داشته باشد. بهسازی ایده‌آل زمانی صورت خواهد گرفت که تراوایی سازند در نواحی اطراف چاه به مقدار برابر تراوایی اولیه در حالت فاقد آسیب برسد. طراحی فرآیند باید به گونه ای باشد که با کمترین هزینه‌های احتمالی به این شرایط ایده‌آل دست یابیم. طراحی این کار نیاز به بررسی برهم‌کنش‌های شیمیایی و فیزیکی متعدد سیال تزریقی با کانی‌ها و سیال مخزنی دارد. لذا بررسی جنبه‌های مختلف انتقال جرم، سرعت واکنش، پدیده انحلال، تغییر در ساختار حفرات، رسوب محصولات واکنش و بسیاری موارد دیگر از اهمیت بالایی برخوردار هستند.

۲-۱- سازند کربناته^۱

سنگ‌های کربناته از ته‌نشینی شیمیایی و بیوشیمیایی در محیط‌های رسوبی یا از انتقال ذرات تخریبی تشکیل می‌شوند. سنگ مخازن کربناته که از رسوب شیمیایی ایجاد می‌شوند معمولاً سنگ آهکی^۲ و دولومیتی^۳ می‌باشند. برخی سنگ‌های کربناته خالص هستند درحالی که برخی دیگر دارای مواد سلیسی (چرت‌های رسوبی، فسیل‌های رسوبی، کوارتز و مواد شیلی) هستند. با افزایش درصد اجزای سلیسی در سنگ‌های کربناته، آن‌ها را در گروه دولومیت قرار می‌دهند. ترکیب سنگ کربناته و دسته‌بندی آن در شکل ۱-۲ نشان داده شده است که باتوجه به شکل مشخص می‌شود که سازندهای کربناته می‌توانند دارای کلسیت یا دولومیت خالص باشند اما اگر کلسیم موجود در کلسیت به صورت جزئی جایگزین منزیم در دولومیت بشود سنگ ایجاد شده آهک دولومیتی است و اگر سنگ مخزنی بیش از ۵۰ درصد دولومیت داشته باشد آن را دولومیت آهکی گویند [۱].

1- Carbonate Formation
2 - CaCO₃

3- CaMg(CO₃)₂



شکل ۱-۲- درصد اجزای سنگ کربناته [۱]

۲-۲- انواع روش‌های اسیدکاری در مخازن

۲-۲-۱- شکافدهی با اسید^۱

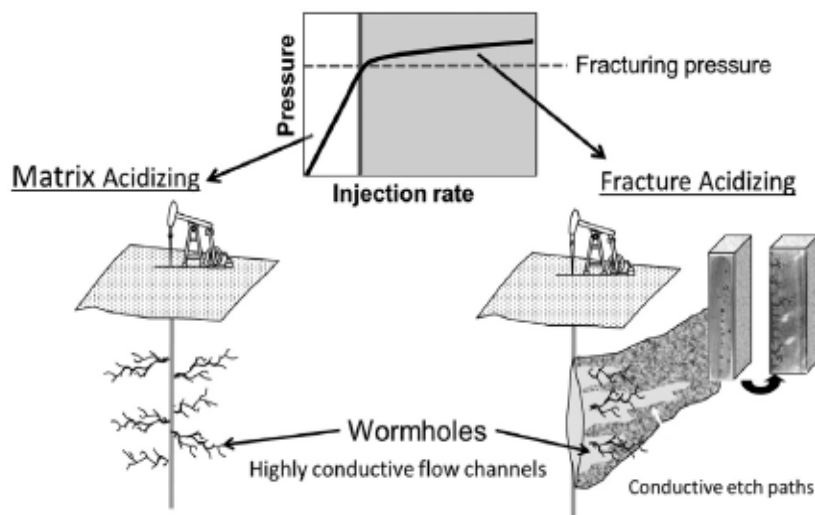
در شکافدهی با اسید یا همان اسیدکاری به منظور ایجاد شکاف، همانگونه که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است اسید با فشار بیشتر از فشار شکست سازندی به مخزن تزریق می‌شود و انگیزش زمانی حاصل می‌شود که کانال‌های جریانی با هدایت‌پذیری بالا ایجاد شده و این کانال‌ها بعد از انجام دادن عملیات همچنان باز نگه داشته شوند. این کانال‌ها از واکنش اسید بر روی دیواره‌ها ایجاد می‌شوند؛ به عبارت دیگر هنگامی که اسید از درون شکاف عبور می‌کند با دیوار واکنش داده و آن را حل می‌کند [۲].

۲-۲-۲- اسیدکاری ماتریسی^۲

در این نوع عملیات همانگونه که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است اسید با فشار بالا به درون چاه پمپ می‌شود ولی نباید فشار پمپ شده از فشار شکست سازندی تجاوز کند. این نوع عملیات با حل کردن مواد و جامدات موجود در خلل و فرج که جهت حرکت سیال از مخزن به چاه را گرفته اند عمل می‌کنند. در مخازن کربناته در روش اسیدکاری ماتریسی کانال‌هایی موسوم به حفره کرمی یا کرم‌چاله^۳ ایجاد خواهند شد که ارتباط بین چاه و ناحیه بدون آسیب را فراهم می‌کنند و باعث تولید دوباره هیدروکربن در چاه‌های دچار آسیب می‌شوند [۲].

1 - Fracture Acidizing
2 - Matrix Acidizing

3 - Wormhole

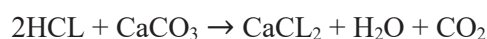


شکل ۲-۲- ایجاد کرم چاله در مخازن کربناته با اسیدکاری ماتریسی و شکافدهی با اسید [۲]

۳-۲- اسیدکلریدریک^۱

متداول ترین اسیدی که در عملیات تحریک به کار برده می شود اسیدکلریدریک است چون قابلیت بالایی برای ترکیب با کلسیم و منیزیم دارد، معمولاً درسازندهای کربناته و آهکی قابل استفاده می باشد. اسیدکلریدریک چون یک اسید قوی است و بر فلزات اثر می گذارد همیشه باید همراه آنها از افزاینده های ضد خوردگی استفاده شود [۲]. واکنش حل شدن کلسیت (CaCO_3) و دولومیت ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) با اسیدکلریدریک به صورت زیر است:

(۱-۲)



(۲-۲)



استفاده از اسیدکلریدریک با غلظت های پایین بیشتر برای برداشتن رسوبات، پلاگ های نمکی و امولسیون ها استفاده می شود و در غلظت های بالا جهت به دست آوردن واکنش های طولانی تر و ایجاد کانال ها و حفره های بزرگ در سنگ مخزن استفاده می شود. غلظت رایج اسیدکلریدریک در عملیات اسیدکاری ۱۵ درصد می باشد که به دلایل زیر است [۳]:

1 - Hydrochloric acid (HCL)

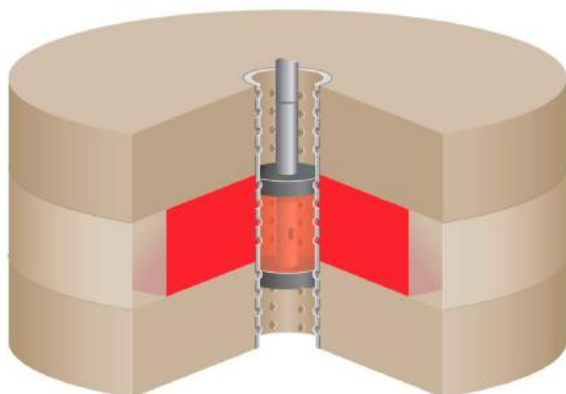
- از نظر اقتصادی اسیدکلریدریک ۱۵ درصد مقرون به صرفه بوده و به سادگی در دسترس می‌باشد و روش استفاده از آن بسیار ساده است.
- محافظت اولیه از لوله‌ها و تجهیزات در مقابله این اسید حتی دردهماهای بالا پیشرفت زیادی کرده است.
- هزینه پایین افزایش‌های مورد استفاده در عملیات اسیدکاری با وجود این غلظت از اسیدکلریدریک.
- سمیت کم و کم خطر بودن در هنگام عملیات.
- نگه داشتن حجم بالایی از نمک به صورت محلول در خود و بعد از مصرف رسوب نمی‌دهد.
- کنترل مناسب‌تر امولسیون‌ها و معلق نگه داشتن گل و لای.
- محصولات این اسید با سنگ‌مخزن کربناته CaCl_2 و MgCl_2 است که محلول در آب هستند و هیچ آسیبی در طول عملیات اسیدکاری ایجاد نمی‌کنند.

۲-۴- انحراف مسیر سیالات اسیدی

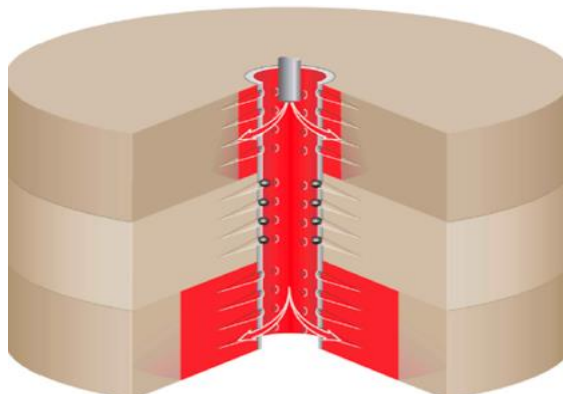
هدف از اسیدکاری ایجاد ارتباط بیشتر بین سازند و دهانه چاه در تمامی نواحی تولیدی مخزن مورد نظر است. بنابراین عملیاتی موفق است که در آن اسید به تمامی نواحی مورد نظر برسد. وقتی اسید به درون مخازن تزریق می‌شود به طور طبیعی اسید در مناطقی جریان می‌یابد که بیشترین تراوایی یا کمترین آسیب را داشته باشند. تجربیات میدانی نیز نشان می‌دهد که بدون منحرف کردن جریان سیالات، هیچ تضمینی نیست که اسید به تمامی مناطق مورد نظر برسد بنابراین منحرف کردن جریان همواره در عملیات اسیدکاری توصیه می‌شود. روش‌های انحراف مسیر جریان اسید به دو دسته مکانیکی و شیمیایی تقسیم می‌شوند:

۲-۴-۱- انحراف مکانیکی^۱

این نوع منحرف کننده‌ها شامل پلاگ‌های پلی و مسدودکننده‌ها بوده که لایه‌های خاص را مسدود و اسید به لایه مورد نظر رسانده می‌شود. این روش موثرترین تکنیک و درعین حال گرانترین روش می‌باشد. شکل ۲-۳-۱ نشان می‌دهد که مسدود کننده‌های تویی (نایلون و لاستیک سخت) در مدت عملیات به درون چاه پمپ می‌شوند و این مواد بطور خاصی مشبک‌هایی که بیشترین حجم سیال عملیاتی را دریافت می‌کنند را مسدود خواهند کرد و در نتیجه این مواد، انحراف مکانیکی را توسعه می‌دهند. مجرابندهای باز شونده همانگونه که در شکل ۲-۳-۲ نشان داده شده است می‌توانند روی لوله مغزی سیار^۲ قرارگیرند تا فواصل عملیاتی مشخص شده‌ای را مسدود کنند و سپس برای مسدود کردن قسمت بعدی به سمت بالا کشیده می‌شوند [۴].



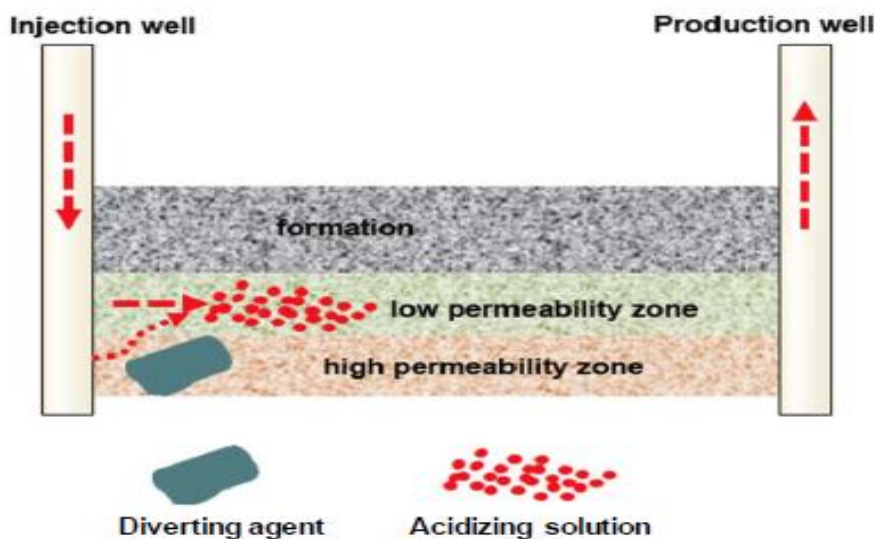
شکل ۲-۳-ب) مجرا بندهای سوار شده بر روی لوله مغزی سیار [۴]



شکل ۲-۳-ا) انحراف مکانیکی با مسدود کننده های توپی [۴]

۲-۴-۲- انحراف شیمیایی^۱

در این روش همانگونه که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است از سیالاتی با ویسکوزیته بالا، مواد افزودنی که بر روی دیواره حفرت کیک ایجاد می کنند، کف و یا ژل جهت کاهش نفوذ اسید در حفرت پرتراوا استفاده می شود. این عوامل باعث افزایش ضریب پوسته موقت شده و مسیر جریان اسید تزریقی را انحراف می دهند. منحرف کننده های شیمیایی مهم عبارتند از: SDA ، VDA ، اسید کلریدریک ژل شده [۵].



شکل ۲-۴- انحراف سیالات اسیدی با روش شیمیایی به نواحی کم تراوا [۵]

۲-۴-۲-۱- سیال خود انحراف پایه پلیمری^۱

اسیدهای پیونددهنده درجا را نیز به عنوان اسیدهای خودمنحرف کننده (SDA) نیز می‌شناسند. یک سیال SDA شامل مخلوطی از اسیدکلریدریک، یک عامل ژل زنی و یک پیوند دهنده عرضی حساس به pH است. در ابتدای تزریق پیوند دهنده‌های عرضی غیرفعال هستند و هنگامی که pH اسید به ۲ یا ۳ می‌رسد پیوند دهنده‌های عرضی فعال می‌شوند و باعث می‌شوند که ویسکوزیته سیال تزریقی بسیار بالا برود و به حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ سانتی پواز برسند، با فعال شدن این پیونددهنده‌های عرضی از ورود اسید به داخل مناطق پرتراوا جلوگیری می‌شود و اسید بیشتر به مناطق کم‌تراوا نفوذ می‌کنند. با رفتن pH به بیش از ۳/۵ به دلیل مصرف کامل اسیدکلریدریک موجود در سیال خود انحراف، پیونددهنده‌های عرضی رفته رفته شروع به شکستن می‌کنند و به جریان سیال برای ورود به چاه مورد نظر بعد از عملیات اسیدکاری کمک می‌کنند. مزیت SDA این است که برای تمام محدوده‌های دمایی مورد استفاده واقع می‌شود. نتایج بسیار مفید SDA برای فواصل‌های بسیار دور از دهانه چاه با شکستگی بالا بسیار عالی است که این انحراف با استفاده از اسیدهای ژله‌ای اصلاً به دست نمی‌آید. معایب SDA این است که بقایای پلیمر بعد از انجام دادن عملیات اسیدکاری محیط را ترک نمی‌کند و باعث بسته شدن مسیر کرم چاله‌ها می‌شود. با توجه به مشکلاتی که پلیمر ایجاد می‌کند از این سیال برای سازندهایی با نفوذپذیری متوسط و بالا استفاده می‌شود و در صورت استفاده از SDA در عملیات اسیدکاری برای کاهش میزان پلیمر در مرحله پس‌شویی باید حتماً از افزایشنده‌های پلیمر شکن استفاده شود [۴].

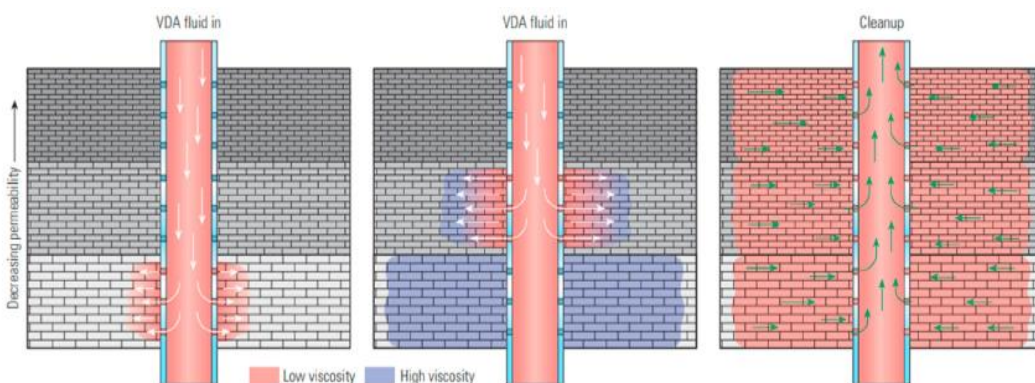
۲-۴-۲-۲- سورفکتانت ویسکوالاستیک^۲

یک جایگزین مناسب برای انحراف‌دهنده پایه پلیمری (SDA) توسعه یافت که انحراف‌دهنده مبتنی بر سورفکتانت ویسکوالاستیک (VDA) است. مزیتی که این سیال انحرافی نسبت به پایه پلیمری دارد این است که هیچ گونه بقایایی از پلیمر برجای نمی‌گذارد و همانگونه که در شکل ۲-۵ نشان داده شده است تقریباً محیط را ترک می‌کنند. سیالات انحرافی VDA از اسیدکلریدریک و عامل ژل کننده سورفکتانت برای تشکیل تجمع ذرات^۳ در داخل مخزن درست شده اند. وقتی که pH اسیدمصرفی به ۲ می‌رسد ویسکوزیته سیال شروع به افزایش می‌کند و یک ژل چسپناک ایجاد خواهند کرد. این پدیده حتی با وجود کاتیون‌های دوظرفیتی کلسیم و منیزیم که در اثر حل شدن کلسیت و دولومیت در تماس با اسیدکلریدریک به دست می‌آید نیز باعث تقویت ذرات تجمع یافته می‌شود. افزایش ویسکوزیته و مسدودکننده‌های حفرات موجود در مخازن کربناته که باعث انحراف اسید به لایه‌های کم تراوا می‌شوند به صورت موقتی هستند و به محض تولید هیدروکربن و تماس آنها با ساختارهای ذرات تجمع یافته همانگونه که در شکل ۲-۶ نشان داده شده است باعث شکسته شدن آنها و تبدیل‌شان از حالت میله‌ای به ساختار کروی می‌شود و ویسکوزیته کاهش یافته و تمیزسازی سریع‌تر صورت خواهد گرفت [۴].

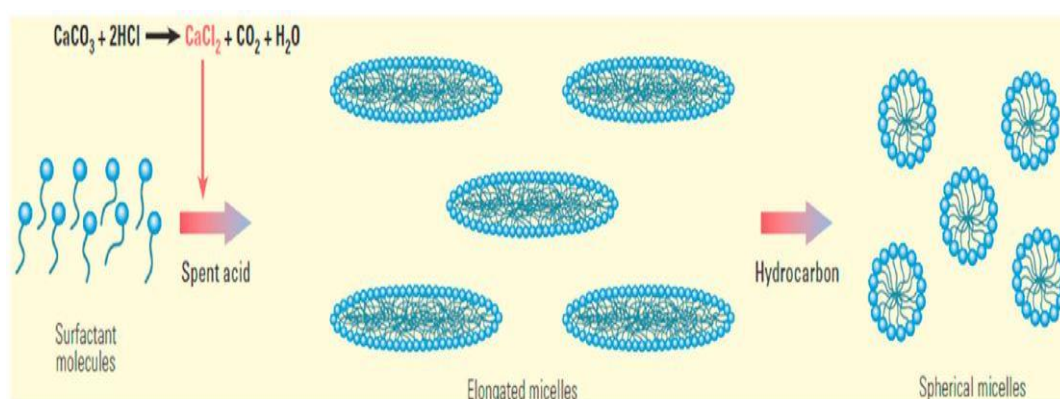
1 - Self Diverting Acid (SDA)

2 - Viscoelastic Diverting Acid (VDA)

3 - Micelles



شکل ۲-۵- نحوه عملکرد سیال انحرافی VDA از لحظه تزریق تا تولید هیدروکربن [۴]



شکل ۲-۶- تجمع ذرات میله‌ای و تبدیلیشان به حالت کروی بعد از عملیات انحراف [۴]

غلظت VDA برای اسیدکاری بهینه بسیار مهم است. در آزمایش‌های صورت گرفته نشان داده شده است که غلظت ۲ تا ۴ درصد می‌تواند ویسکوزیته لازم برای انحراف سیال را ایجاد کند. استفاده از غلظت بالای این انحراف دهنده پتانسیل ایجاد امولسیون، بلوک شدن ژل سورفکتانت و نیاز به شکستن بعد از عملیات را با استفاده از گازوئیل و حلال‌های متقابل افزایش می‌دهد. آزمایش‌های صورت گرفته نشان داده است که ویسکوزیته VDA در دماهای بالای ۱۲۵ درجه فارنهایت در حضور مواد معدنی آهنی، با وجود استفاده از افزایشنده‌های کنترل کننده آهن کاهش چشم گیری داشته است. بنابراین انحراف دهنده VDA نمی‌تواند به تنهایی انحراف موثری را در مخازن کربناته که دارای مواد معدنی آهن و شکاف‌های بزرگ هستند ایجاد کند [۴].

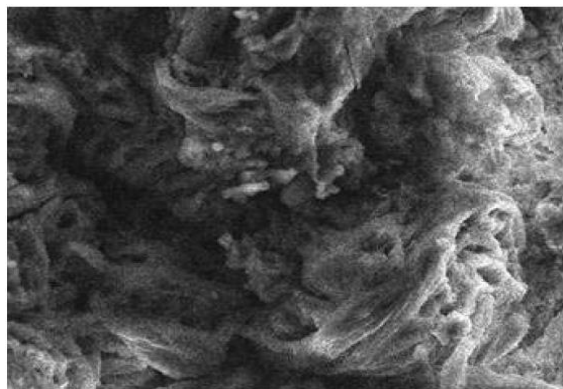
۲-۴-۳- اسید کلریدریک ژل شده^۱

اسید ژل شده از افزودن پلیمر به محلول HCL به دست می‌آید. این محلول یک سیستم اسیدی برای به تاخیر انداختن سرعت واکنش اسید با سنگ مخزن است. در عملیات اسیدی شدن مخازن کربناته پلیمرها به روش‌های مختلفی بر واکنش اسید با سنگ مخزن تأثیر می‌گذارند، به عنوان مثال می‌توان ویسکوزیته سیال را با افزایش پلیمر افزایش داد و این عامل از انتشار H^+ به سطح سنگ مخزنی جلوگیری می‌کند؛ علاوه بر این مولکول‌های پلیمری

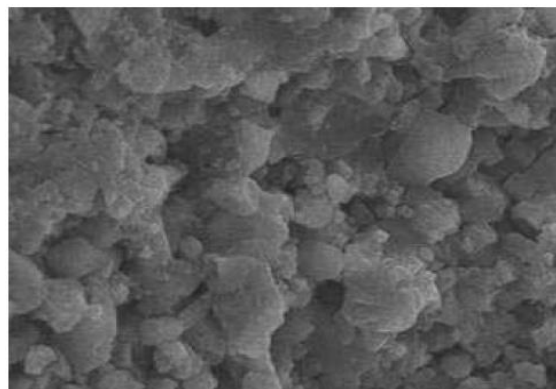
1 - HCL Gelled Acid

می‌توانند بر روی سطح سنگ جذب شوند و به صورت یک سد در مقابل سیال اسیدکلریدریک عمل کنند و از واکنش سریع این سیال با سنگ مخزن جلوگیری نمایند [۵].

امرو در سال ۲۰۰۶ تاثیر افزودن پلیمر به اسید به عنوان عامل تاخیری جهت کندکردن واکنش اسید با نمونه سنگ‌های کربناته مخازن عربستان سعودی را بررسی کرد. در این تحقیق دو پلیمر اکریلامید و پلی‌ساکارید با اسید هیدروکلریدریک مورد بررسی قرار گرفتند و محلول‌های پلیمر-اسید به عنوان تابعی از نرخ برش، شوری، دما و غلظت اسید برای تشخیص سازگاری اسید با پلیمر اندازه‌گیری شدند. با توجه به آزمایش‌ها ثابت شد که وجود پلیمر پلی‌اکریلامید در اسید، تاثیر قابل توجهی بر ویسکوزیته محلول اسید ندارد؛ درحالی که ویسکوزیته محلول پلی‌ساکارید با افزایش غلظت اسید کاهش می‌یابد. واکنش محلول‌های اسید-پلیمر با ذرات سنگ زیر میکروسکوپ مشاهده شد و به این نتیجه رسیدند که نرخ واکنش اسید و پلی‌اکریلامید در مقایسه با محلول اسیدی تفاوتی ندارد. بنابراین پلی‌اکریلامید نمی‌تواند به عنوان عامل تاخیری همراه با اسیدها استفاده شود درحالی که محلول پلی‌ساکارید-اسید نرخ واکنش با سنگ را نسبت به محلول اسید تنها کاهش می‌دهد. شکل ۲-۷-ا منافذ موجود در سنگ مخزنی قبل از تزریق مخلوط پلی‌ساکارید و اسیدکلریدریک را نشان می‌دهد که با تزریق این اسید-پلیمر همانگونه که در شکل ۲-۷-ب نشان داده شده است، پلیمر به صورت گسترده روی سطح کانی‌ها قرار گرفته و واکنش اسید با سنگ کربناته را کاهش می‌دهد. عملکرد پلیمر به تاخیر انداختن واکنش بین سنگ و اسیدهای تزریقی است نه متوقف کردن کامل واکنش شیمیایی، به عبارت دیگر تا زمانی که تمام اسید مصرف نشود انحلال کانی‌های سنگ ادامه دارد و پلیمر صرفاً زمان انجام عملیات اسیدکاری را افزایش داده و سبب می‌شود تا اسید به عمق بیشتری نفوذ کند [۵].



شکل ۲-۷-ب) منافذ سنگ بعد از تزریق پلی‌ساکارید و اسید [۵]

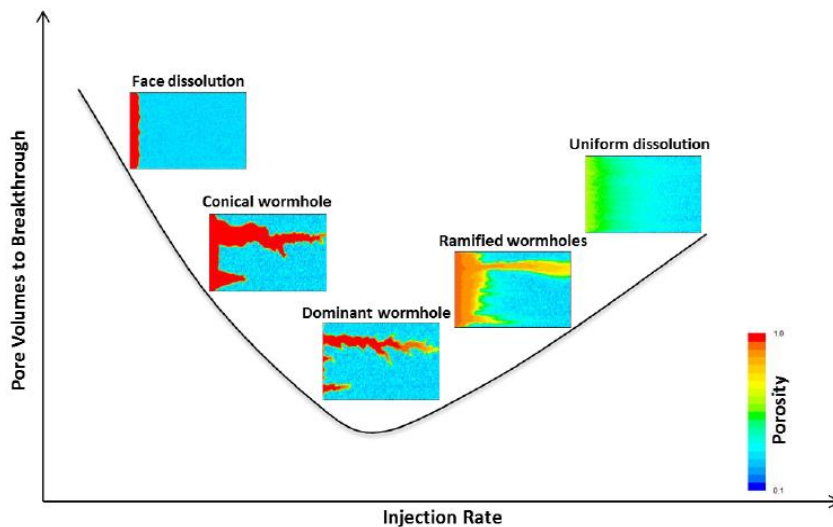


شکل ۲-۷-ا) منافذ سنگ قبل از تزریق پلی‌ساکارید و اسید [۵]

۲-۴-۳- انواع الگوهای انحلال

باتوجه به نرخ سیالات تزریقی به درون مخزن مورد نظر انواع الگوهای فشرده، مخروطی، غالب و شاخ‌دار مطابق شکل ۲-۸ ایجاد خواهند شد [۶].

در الگوی انحلال فشرده^۱ سیال اسیدی با سرعت بسیار پایین در مغزه تزریق شده و اسید قبل از نفوذ به داخل سنگ در سطح ورودی مغزه مصرف می‌شود و منجر به انحلال فشرده می‌شود و در این صورت حجم بالایی از سیال اسیدی مصرف خواهد شد. در الگوی انحلال مخروطی^۲ اگر میزان سرعت اسید تزریقی را یک مقدار افزایش دهیم، مقدار قابل توجهی از سیال اسیدی در دیواره کرم‌چاله مصرف می‌شود و عرض کرم‌چاله از طول آن بیشتر می‌شود و کانال‌های جریان بزرگی را به صورت مخروطی ایجاد خواهد کرد. در الگوی انحلال غالب^۳ نرخ تزریق و حجم اسید تزریقی در حالت بهینه قرار دارند و منجر به ایجاد کرم‌چاله‌هایی موثر در داخل سنگ مخزن می‌شود. الگوی انحلال شاخ‌دار^۴ در صورتی ایجاد خواهد شد که تزریق سیال اسیدی با سرعت بالاتر از سرعت بهینه به داخل سنگ مخزن صورت گیرد، سیال به منافذ کوچکتر حرکت کرده و منافذ موجود در سنگ را بیشتر منشعب خواهد کرد و در نتیجه کرم‌چاله‌های شاخ‌داری را در داخل سنگ ایجاد می‌کند و حجم سیال تزریقی نیز رفته رفته افزایش خواهد یافت. در الگوی انحلال یکنواخت^۵ سیال اسیدی را با سرعت بسیار بالا به محیط سازندی تزریق می‌کنیم و به علت این که سیال فرصت واکنش با سنگ مخزنی را ندارد کاملاً حجم اسید تزریقی به نوک کرم‌چاله منتقل شده و باعث ایجاد انحلال یکنواخت در سنگ مخزنی می‌شود [۶].



شکل ۲-۸- رابطه بین نرخ تزریق اسید و نوع الگوی انحلال ایجاد شده در سنگ مخزن [۶]

- 1 - Face Dissolution
- 2 - Conical Wormhole
- 3 - Dominant Wormhole

- 4 - Ramified Wormhole
- 5 - Uniform Dissolution