



## اسید کاری سازند جهت بهبود بازیافت نفت در یکی از مخازن جنوب ایران

عبداله اسماعیلی\* شرکت ملی نفت مناطق نفت خیز جنوب

### چکیده

عملیات اسید کاری با هدف تحریک طبقات تولید کننده نفت و گاز و جریان یافتن این طبقات به درون چاه انجام می شود. بخشی از اهداف انجام اسید کاری سازندهای تولیدی در میدان نفت و گاز را می توان مشتمل بر احیاء کردن چاههای تولیدی، باز کردن خلل و فرج سازندهای تولیدی، افزایش تولید، افزایش نفوذپذیری سازند، تمیز کاری چاه، شستشو و تمیز سازی لوله ها، آزاد سازی لوله های حفاری و به طور کلی کاهش ضریب پورته در سازند دانست. متداول ترین روش های اسید کاری که امروزه با توجه به اهداف مد نظر انجام می گیرد عبارتند از الف) اسید کاری گسترده که از طریق شیرهای کناری واقع بر روی تاج چاه انجام می شود و در آن اسید به کمک پمپ به درون چاه رانده شده و تمامی ستون چاه را در بر می گیرد. ب) اسید کاری موضعی که در آن اسید به کمک لوله مغزی سیار به درون چاه رانده می شود و تنها حد فاصل های معین مدنظر را اسید کاری می کند. بسته به نوع سازند و هدف مدنظر از عملیات اسید کاری، انتخاب نوع اسید، روش و سیستم اسید کاری مناسب، استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری که ویژه این کار طراحی شده اند و شناخت هر چه بهتر پدیده های فیزیکی و شیمیایی که در فرآیند اسید کاری روی می دهند در افزایش بازده عملیات اسید کاری بسیار مؤثر است. در این مقاله با استفاده از نرم افزار PANSYS عملیات اسید کاری و تأثیر آن بر میزان بازیافت نفت در یکی از چاه های نفت یکی از مخازن نفتی ایران مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان می دهد که اسید کاری سازند تولیدی باعث افزایش تولید نفت از این چاه شده است.

واژگان کلیدی: اسید کاری، میدان نفت و گاز، بازیافت نفت، سازند های تولیدی، مخزن

### مقدمه

چاه باشد. این عملیات ممکن است هم در چاه های قدیمی و هم در چاه های جدید به منظور بهبود وضعیت چاه و افزایش تولید انجام گردد. نرخ تزریق و فشار اسید تزریقی باید به گونه ای تنظیم گردد که باعث ایجاد شکاف و آسیب دیدن سازند نشود. اسید یکی از سیالات مناسب برای تمیز سازی دهانه چاه و منافذ سازند از مواد، سنگ ریزه ها و دیگر آلاینده های حفاری است. تماس اسید با قسمت های فلزی چاه ممکن است باعث ایجاد خوردگی در آنها شود؛ بنابراین برای جلوگیری از این آسیب در حین عملیات اسید کاری از مواد ضد خوردگی استفاده می شود. نخستین ماده بازدارنده از خوردگی که در عملیات اسید کاری استفاده شد ترکیبی آرسنیک بود که پس از مدتی به دلیل سمی بودن و اثرات سوء آن بر محیط زیست استفاده از این مواد متوقف شد. پس از این ماده از مواد دیگری که دارای منشاء آلی بودند مانند ترکیبات الکل های استیلنیک با مولکول های بسیار فعال و پیوند سه گانه کربن-کربن استفاده شد. میزان توانایی این الکل ها برای محافظت فلزات در

اسید با هدف تحریک طبقات تولید کننده نفت و گاز و جریان یافتن این طبقات به درون چاه تزریق می گردد تا در سازندهای کربناته، بخشی از طبقه را در خود حل نموده و مسیرهای جدیدی جهت تولید هیدروکربن ایجاد نموده یا در سازندهای ماسه سنگی معابری که دچار آسیب شده و مسدود گشته اند را باز کند. اسیدها می توانند با فلزات واکنش داده و ضمن حل کردن آنها، گاز هیدروژن و نمک های فلزی تولید کنند. بنابراین باید در انتخاب نوع اسید و سیستم اسید کاری مناسب دقت نمود. در اسید کاری حجم مدنظر از مواد شیمیایی لازم (اسید و افزایه ها) را به چاه تزریق می کنند تا با سازند واکنش دهد. پس از انجام عملیات، چاه احیاء شده و در مدار تولید قرار می گیرد [۱]. در صورت موفقیت آمیز بودن عملیات، آسیب از بین می رود و تراوایی بهبود می یابد. در عملیات اسید کاری، ممکن است انگیزش سازند در اطراف دهانه چاه، مدنظر باشد یا هدف عملیات تحریک سازند مخزن در منطقه ای دور از دهانه

\* نویسنده عهده دار مکاتبات (esmaily\_ab@yahoo.com)

این ماده در مسیرها و منافذ سازند رسوب کرده و باعث مسدود شدن آنها می‌گردد. بنابراین ممکن است در عملیات اسیدکاری از عوامل کاهش دهنده مختلفی استفاده شود تا ضمن کنترل این گونه واکنش‌ها میزان محصولات ناخواسته به حداقل ممکن کاهش یابد [۴].

سازندهای ماسه‌سنگی ترکیب نامتجانسی از کوارتز به‌عنوان کانی اصلی و کربنات‌ها، کانی‌های رسی و فلدسپات‌ها به‌عنوان کانی‌های محکم‌کننده ذرات سنگ به یکدیگر هستند. علاوه بر آن، کانی‌های رسی ممکن است در فضاهای خالی یا به‌صورت معلق در سیال موجود در فضای خالی سازند نیز وجود داشته باشند. این ذرات می‌توانند در هنگام تماس با سیالاتی که به‌درون سازند تزریق می‌شوند انحلال جزئی یابند یا واکنش تبادل یونی انجام دهند. این امر در بیشتر مواقع باعث متورم شدن این ذرات و در نتیجه مسدود شدن فضاهای خالی می‌شود. برای حل این مشکل در سیستم اسیدکاری از مواد تثبیت‌کننده کانی‌های رسی استفاده می‌شود. از جمله ساده‌ترین این مواد نمک‌ها (مانند کلرید آمونیم و کلرید پتاسیم) هستند. با این وجود هنگامی که در سیستم اسیدکاری از اسید فلوریدریک استفاده می‌شود نمی‌توان از کلرید پتاسیم به‌عنوان ماده تثبیت‌کننده کانی‌های رسی استفاده کرد؛ چراکه ممکن است این ماده با اسید واکنش داده و رسوباتی مانند فلوروسیلیکات پتاسیم تولید کند که می‌تواند باعث مسدود شدن منافذ و مسیرهای عبور سیال در سازند گردد. استفاده از مواد مصنوعی دیگری نیز مانند پلیمرها و آمین‌ها به‌عنوان مواد ممانعت‌کننده از متورم شدن ذرات رسی متداول است. از آنجایی که تجمع ذرات رسی متحرک و ذرات سیلیکاتی ریز در اطراف دهانه چاه می‌تواند باعث مسدود شدن بخشی از مسیر عبور سیال و کاهش تولید از چاه گردد، ممکن است افزایش‌هایی نیز به‌عنوان مواد بازدارنده از حرکت این ذرات در سیستم اسیدکاری مورد استفاده قرار گیرند [۵].

علاوه بر عوامل فوق، ممکن است با اهداف خاصی افزایش‌های دیگری نیز به سیستم اسیدکاری اضافه شوند. از جمله این افزایش‌ها می‌توان به عوامل ایجاد کف، عوامل آب‌دوست، عوامل نفت‌دوست، تعلیق‌کننده‌ها، تعلیق‌شکن‌ها و عوامل جلوگیری‌کننده از توده‌ای شدن محلول اشاره کرد. همه این عوامل دارای تأثیراتی بر کشش سطحی و کشش بین سطحی هستند. به‌عنوان مثال عوامل آب‌دوست، جاذب آب بوده و با کاهش کشش سطحی سیالات در محلول آبی، توانایی سیال اسیدکاری را در نفوذ به درون منافذ ریز و واکنش با ذرات سازند فراهم می‌سازند. مواد تعلیق‌شکن برای جلوگیری از تشکیل محلول‌های معلق از طریق شکستن پیوندهای تشکیل شده بین مولکول‌های نفت خام و سیال اسیدکاری یا جلوگیری از تشکیل این پیوندها به سیستم اسیدکاری

مقابل خوردگی به چگونگی توزیع آنها در اسید بستگی دارد. این توزیع باید به‌طور یکنواخت صورت گیرد به‌گونه‌ای که این ماده بتواند یک لایه ممانعت‌کننده از خوردگی روی سطح فلز به‌وجود آورد. ملاحظات فنی و زیست‌محیطی باعث تولید انواع مختلفی از مواد بازدارنده از خوردگی در سیستم‌های اسیدکاری شد [۲].

عوامل کنترل‌کننده آهن نیز ممکن است در سیستم اسیدکاری مورد استفاده قرار گیرند. آهن عنصری است که به‌فوق در میدین نفتی و گازی یافت می‌شود و بنابراین در عملیات اسیدکاری در چاه‌های نفت و گاز باید به این مورد توجه داشت. به‌طور کلی در اثر انحلال فلزات، یون‌های فلزی تولید می‌شوند که این یون‌ها در صورت ترکیب با اکسیژن می‌توانند مشکل‌ساز شوند. در نتیجه واکنش اسید با آهن، ممکن است چندین محصول به‌وجود آید که این امر بستگی به قدرت اسید (PH) و نحوه توزیع آن در سازند دارد. هر چه قدرت اسید بیشتر بوده و توزیع آن در سازند بهتر صورت گرفته باشد تعداد و مقدار این محصولات نیز بیشتر خواهد بود [۳]. معروف‌ترین موادی که در هنگام اسیدکاری سازند در اثر واکنش اسید با آهن به‌وجود می‌آیند هیدروکسیدهای فلزی هستند که با افزایش قدرت اسید باعث ایجاد ماده‌ای ژله‌مانند می‌شوند.

مشخصات مخزن	
نوع سیال مخزن	نفت (تک فاز)
جهت چاه	عمودی
تعداد چاه‌ها	۱
تعداد لایه‌ها	۱
جنس لایه	کربنات - دولومیت - ماسه

داده‌های مخزن و چاه	
ضخامت مفید لایه (فوت)	۴۷/۶
ضخامت کل لایه (فوت)	۱۲۱/۴
تخلخل متوسط سازند	۰/۱۴۵
تراکم پذیری کل (psi)	۶×۱۰ <sup>-۶</sup>
شعاع چاه (فوت)	۰/۲۰۸۳

داده‌های سیال مخزن	
کمیت (واحد)	مقدار
گرانروی نفت (cp)	۰/۵۵
ضریب حجمی نفت (Rbbl/STB)	۱/۵۴



بنابراین در این گونه موارد باید از سیال اسید کاری نوع کند کار استفاده کرد تا در طول مسیر حرکت بتواند قدرت واکنش دهندگی خود را تا نقطه نهایی مورد نظر در عمق سازند حفظ نموده و انگیزش سازند را به موقع انجام دهد [۷].

برای آنکه سیال اسید کاری بتواند به خوبی به همه لایه‌های مورد نظر برسد عوامل تقسیم کننده به آن اضافه می کنند تا جریان سیال را بین لایه‌ها تقسیم بندی کند. در این حالت، نخست بخشی از سیال اسید کاری به لایه‌های دارای تراوایی زیاد و سپس بخش دیگری از آن به لایه‌های دارای تراوایی کم وارد می شود. موادی که عموماً بدین منظور استفاده می شوند موادی غیر قابل حل در اسیدها هستند ولی جهت سهولت تمیز سازی، در هیدروکربن‌ها قابل حل می باشند. از جمله این مواد می توان به اسید بنزوئیک، نفتالین، رزین‌های قابل حل در نفت و مواد پلیمری اشاره کرد [۸].

#### ۱- طراحی عملیات اسید کاری

در عملیات اسید کاری دقت در انتخاب نوع اسید مورد استفاده در عملیات از اهمیت زیادی برخوردار است. اسید کاری در سازندهای کربناته معمولاً با استفاده از اسید کلریدریک انجام می شود؛ مگر در جاهایی که دما خیلی بالا بوده و احتمال وقوع خوردگی زیاد باشد. در چنین مواردی از اسیدهای آلی مانند اسید استیک یا اسید فرمیک که خاصیت خوردگی کمتری دارند استفاده می شود. به طور کلی از نظر کاربرد در عملیات اسید کاری، اسیدها را می توان به دو دسته اسیدهای کند کار و اسیدهای تند کار تقسیم کرد. اسیدهای تند کار خیلی سریع با سازند واکنش می دهند و اسیدهای کند کار به مرور زمان و به کندی با سازند واکنش می دهند. بنابراین اگر در عملیات اسید کاری هدف تمیز سازی اطراف دهانه چاه باشد از اسیدهای تند کار استفاده می کنیم تا در کوتاه ترین زمان ممکن به نتیجه مورد نظر برسیم. اما اگر هدف تمیز سازی در عمق سازند و تا مسافتی دور از دهانه چاه باشد از اسیدهای کند کار استفاده می شود تا اسید فرصت کافی برای طی مسیر و رسیدن به نقطه مدنظر و سپس واکنش با سازند را داشته باشد [۹].

طراحی سیستم‌های اسید کاری مناسب در سازندهای ماسه سنگی نیز دشوار بوده و بسیار حائز اهمیت می باشد. بخشی از این دشواری به طبیعت پیچیده و ناهمگون این گونه سازندها برمی گردد. واکنش‌هایی که بین اسید و سازند صورت می گیرد نه تنها به ترکیب شیمیایی اسید و سازند بلکه به دما، فشار، سطح تماس و نحوه توزیع منافذ و فضاهای خالی در سازند نیز بستگی دارد. امروزه تجارب حاصل نشان می دهد که برای اسید کاری در چاه‌هایی که دمای زیادی دارند، استفاده از

اضافه می شوند. این محلول‌های معلق ممکن است گرانیوی زیادی داشته باشند و حتی در بعضی موارد نیمه جامد بوده و مسیرهای عبور سیال اسید کاری را مسدود کنند [۶].

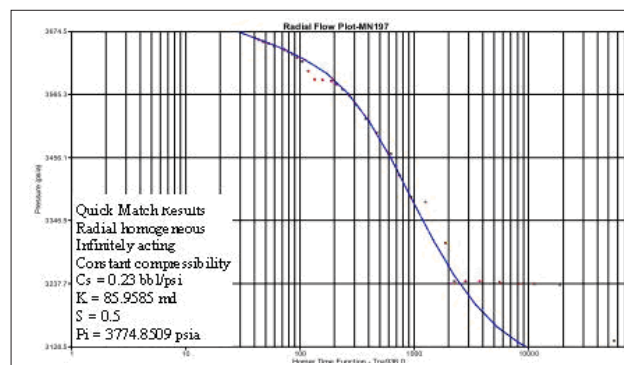
از جمله افزایه‌های دیگری که ممکن است به سیال اسید کاری اضافه شوند عوامل کند کننده یا تند کننده قدرت واکنش سیال اسید کاری هستند. اگر منظور از عملیات اسید کاری چاه‌های نفت یا گاز، انگیزش سازند از طریق نفوذ سیال اسید کاری تا شعاع کوتاهی از اطراف دهانه چاه باشد از سیال اسید کاری نوع تند کار استفاده می شود. بدین منظور به سیال اسید کاری افزایه‌هایی اضافه می شود که می تواند قدرت واکنش کنندگی آنرا افزایش داده و انگیزش سازند در اطراف دهانه چاه را به حداکثر ممکن برسانند. هنگامی که منظور از عملیات اسید کاری، انگیزش سازند تا مسافتی دور از دهانه چاه باشد، ضروری است سیال اسید کاری بتواند تا عمق مورد نظر در سازند نفوذ نموده و در آن عمق نیز قدرت واکنش دهندگی با سازند و انگیزش سازند را داشته باشد.

تغییرات نرخ تولید قبل از اسید کاری

نرخ تولید (STB/day)	فشار (psia)	زمان (hr)
۰	۳۰۶۵	-۹۳۰
۲۰۰۰	۳۰۶۵	۰
۰	۳۶۶۰	۲۴

تغییرات نرخ تولید بعد از اسید کاری

نرخ تولید (STB/day)	فشار (psia)	زمان (hr)
۰	۳۳۰۰	-۶۴۰
۲۸۰۰	۳۳۰۰	۰
۰	۳۶۶۰	۴۸



نمودار جریان شعاعی قبل از اسید کاری

رسوب این مواد زائد در درون فضاهای خالی سازند اتفاق بیافتد. این مواد زائد حتی ممکن است در اثر اختلاف فشار زیاد وارد سازندهای تراوا نیز شده و منافذ آنها را مسدود نماید [۱۱]. معمولاً در اسیدکاری سازندهای ماسه‌سنگی از اسید کلریدریک استفاده می‌شود. به دلیل آنکه این اسید می‌تواند ذرات به‌جا مانده گل حفاری در سازند و بسیاری دیگر از اجزاء آنرا در خود حل کند. انحلال این مواد باعث بازگشایی منافذ سازند و برقراری مجدد جریان سیال در آنها می‌شود. با این وجود احتمال واکنش سریع این اسید با کانی‌های رسی و سیلیکاتی و به‌وجود آمدن محصولات رسوبی در سازند، استفاده از این اسید را با محدودیت‌هایی مواجه ساخته است. هدف اصلی در اسیدکاری این‌گونه سازندها برطرف کردن آسیب دیدگی سازند در اثر عملیات حفاری و تعمیرات و بهبود تراوایی آن در اطراف دهانه چاه می‌باشد [۱۲].

به‌طور کلی عملیات اسیدکاری در سه مرحله زیر انجام می‌شود:  
الف) نخست مقدار کمی محلول اسیدی در دهانه چاه ریخته شده و این محلول با سیال دیگری مانند گازوئیل به درون سازند رانده می‌شود تا ذرات کربناته و هرگونه مواد زائد دیگری را که در مسیر وجود دارد در خود حل نموده و میزان تزریق پذیری سازند را نیز مشخص سازد.  
ب) در مرحله دوم بقیه محلول اسیدی نیز به‌درون دهانه چاه ریخته می‌شود.

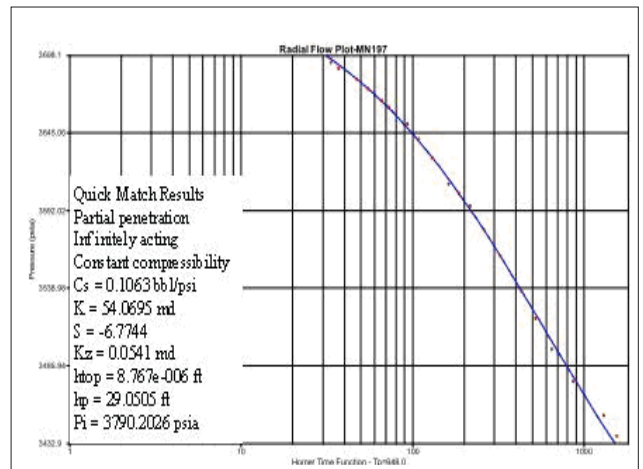
ج) در مرحله آخر این محلول اسیدی توسط سیال دیگری مانند گازوئیل به درون سازند رانده می‌شود [۱۳].

در سازندهای ماسه‌سنگی، پاسخ چاه‌های نفتی و پاسخ چاه‌های گازی به عملیات اسیدکاری متفاوت است. در چاه‌های نفتی در ابتدا برای یک حجم معینی از اسید تزریقی، تراوایی سازند به حداکثر مقدار

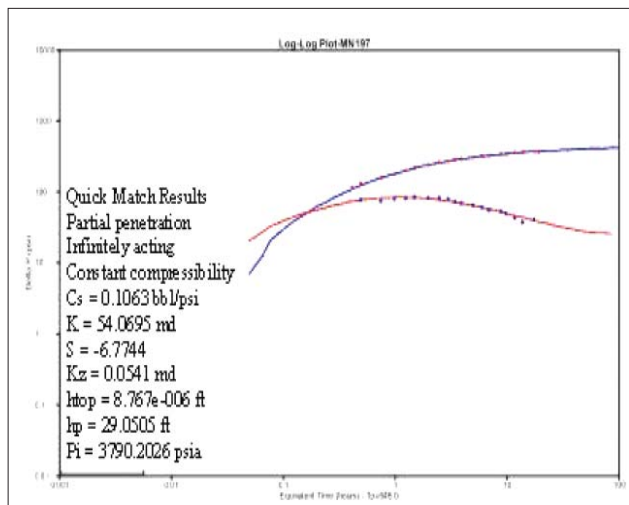
اسیدهای آلی مانند اسید فرمیک و اسید استیک به‌جای اسیدهای معدنی مؤثرترین راه خواهد بود؛ چراکه این اسیدها تجزیه‌پذیر هستند و قدرت واکنش‌دهندگی خوبی نیز دارند [۱۰].

## ۲- اسیدکاری در سازندهای ماسه‌سنگی

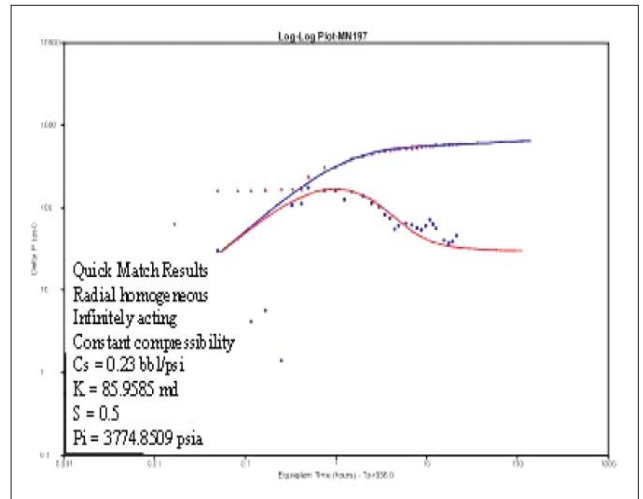
سازندهای ماسه‌سنگی عموماً از کانی‌هایی مانند کوارتز، سیلیکات‌ها، فلدسپات‌ها، میکا و غیره تشکیل شده‌اند. بین این کانی‌ها، کانی‌های دیگری مانند کربنات‌ها و کانی‌های رسی قرار گرفته‌اند که ضمن پر کردن فضاهای خالی، آنها را به یکدیگر متصل ساخته‌اند. در هنگام حفاری چاه، تکمیل آن یا انجام هرگونه کار تعمیراتی روی چاه ممکن است تراوایی سازند در اثر نفوذ مواد زائد به‌درون آن کاهش یابد. این کاهش تراوایی ممکن است از طریق متورم شدن کانی‌های رسی یا



شکل ۲ | نمودار جریان شعاعی بعد از اسیدکاری



شکل ۴ | نمودار log-log بعد از اسیدکاری



شکل ۳ | نمودار log-log قبل از اسیدکاری

از مخازن نفتی ایران مورد بررسی قرار گرفته که نتایج حاصل نشان می‌دهد که اسیدکاری سازند تولیدی باعث افزایش تولید نفت از این چاه شده است.

در جداول ۱- تا ۳ به ترتیب مشخصات مخزن، داده‌های چاه و داده‌های سیال مخزن که به منظور انجام شبیه‌سازی و تحلیل نتایج وارد نرم‌افزار شده ارائه گردیده‌اند. جداول ۴-۵ به ترتیب نشان‌دهنده فشار و نرخ تولید از چاه قبل و بعد از عملیات اسیدکاری هستند. با مقایسه ارقام موجود در این دو جدول درمی‌یابیم که در اثر عملیات اسیدکاری نرخ تولید چاه از ۲۰۰۰ بشکه در روز به ۲۸۰۰ بشکه در روز افزایش یافته و میزان افت فشار تحتانی نیز از حدود ۶۰۰ پوند بر اینچ مربع به حدود ۲۵۰ پوند بر اینچ مربع کاهش یافته که هر دو مطلب مؤید بهبود وضعیت چاه در اثر اسیدکاری است. همان‌گونه که در جدول-۴ مشاهده می‌شود زمان بسته شدن مورد نیاز برای چاه قبل از شروع عملیات اسیدکاری ۲۴ ساعت بوده و در این مدت زمان فشار چاه به‌طور کامل افزایش یافته و به فشار مخزن رسیده است. بدیهی است بسته ماندن چاه بعد از رسیدن فشار آن به فشار مخزن، تأثیری در افزایش بیشتر فشار آن نخواهد داشت؛ چراکه حد نهایی افزایش فشار چاه، فشار مخزن است. در مخازن مختلف مدت زمان رسیدن فشار چاه به فشار مخزن یکسان نبوده و بستگی به عوامل گوناگونی از جمله مشخصات مخزن، سیال و سنگ مخزن دارد.

#### ۴-۱- آنالیز داده‌ها با توجه به نمودارهای موجود

در نمودارهای شکل‌های ۱- تا ۴ با استفاده از نرم‌افزار تغییرات فشار نسبت به زمان و میزان افت فشار به ترتیب برای قبل و بعد از عملیات اسیدکاری نشان داده شده است. همان‌گونه که در این نمودارها دیده می‌شود، تراوایی سازند تولیدی بعد از انجام اسیدکاری نسبت به تراوایی سازند تولیدی قبل از انجام اسیدکاری افزایش یافته که نشان‌دهنده بهبود وضعیت جریانی چاه در نتیجه انجام عملیات اسیدکاری است. از سوی دیگر با توجه به اینکه ضریب پوسته متغیری است که نشان‌دهنده میزان افت فشار در سازند می‌باشد. با مقایسه این متغیر در این نمودارها برای قبل و بعد از اسیدکاری، مشاهده می‌شود که با انجام اسیدکاری ضریب پوسته کاهش یافته که این مطلب مؤید موفقیت آمیز بودن اسیدکاری چاه است.

#### ۴-۲- تحلیل نتایج

در چاه‌های نفتی برای به‌دست آوردن افت فشار ناشی از ضریب پوسته از فرمول زیر استفاده می‌کنیم:

خود می‌رسد و سپس با افزایش حجم اسید تزریقی، مقدار آن کاهش می‌یابد. برای چاه‌های گازی، افزایش تراوایی کاملاً متناسب با حجم اسید تزریقی می‌باشد و معمولاً نتایج رضایت‌بخش تری به‌دست می‌آید. برای بررسی اینکه عملیات اسیدکاری سازند در یک چاه نفتی یا گازی چه میزان موفقیت‌آمیز بوده می‌توان از نرم‌افزار استفاده کرد. همان‌طور که گفته شد یکی از شاخصه‌های میزان موفقیت عملیات اسیدکاری، تراوایی سازند است. برای این کار تراوایی سازند قبل و بعد از عملیات اسیدکاری توسط نرم‌افزار محاسبه شده و سپس این مقادیر با یکدیگر مقایسه می‌شوند. مقدار افزایش تراوایی نشانگر میزان موفقیت عملیات اسیدکاری است. از جمله نرم‌افزارهایی که بدین منظور از آنها استفاده می‌شود می‌توان به نرم‌افزار WellTest200 که از خانواده نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ECLIPSE است و نرم‌افزار PANSYS اشاره کرد [۱۴].

#### ۳- روش‌های انجام اسیدکاری

به‌طور کلی عملیات اسیدکاری به دو شکل انجام می‌گیرد که عبارتند از اسیدکاری گسترده و اسیدکاری موضعی. هدف از اسیدکاری گسترده انگیزش سازند در کل لایه یا لایه‌های تولیدی است. این عملیات به کمک دستگاهی به نام پمپ تراک که وظیفه پمپاژ محلول اسیدی به‌درون چاه نفت یا گاز را به‌عهده دارد انجام می‌گیرد. محلول اسیدکاری پس از پمپاژ توسط این دستگاه از طریق شیرهای کناری موجود روی تاج چاه به‌درون سازند رانده می‌شود [۱۵]. معمولاً اسیدکاری گسترده سازند بیشتر در چاه‌هایی که نحوه تکمیل آنها از نوع حفره باز است انجام می‌شود. هدف از اسیدکاری موضعی، اسیدکاری لایه یا لایه‌های تولیدی در حدفاصل بازه تولیدی یا بخشی از بازه تولیدی چاه است. این عملیات به کمک لوله مغزی سیار که وظیفه پمپاژ محلول اسیدی به‌درون چاه نفت یا گاز را به‌عهده دارد انجام می‌گیرد. لوله متحرک این دستگاه از طریق شیر عمقی واقع روی تاج چاه وارد ستون چاه شده و محلول اسیدکاری را در مقابل فاصله تولیدی مورد نظر رها ساخته آنرا به‌درون سازند می‌فرستد. سپس با استفاده از سیال دیگری مانند گازوئیل، این محلول اسیدی به عمق سازند رانده می‌شود. یکی از مزایای اسیدکاری با این روش نسبت به روش قبلی آنست که به دلیل تماس کمتر اسید با لوله جداری چاه احتمال خوردگی و آسیب‌دیدگی آن کمتر است [۱۶].

#### ۴- بررسی تأثیر اسیدکاری بر تولید از یک چاه نفت (مورد کاوی)

در این قسمت با استفاده از نرم‌افزار PANSYS عملیات اسیدکاری و تأثیر آن بر میزان بازیافت نفت از یکی از چاه‌های نفت در یکی

افزایش شاخص بهره‌دهی بعد از اسیدکاری نشان‌دهنده موفقیت این عملیات بوده و کاهش این شاخص بیانگر عدم موفقیت عملیات اسیدکاری می‌باشد.

همان‌گونه که در جدول ۶ دیده می‌شود، چاه مورد نظر قبل و بعد از عملیات اسیدکاری، تحت آزمایش‌های فشار جریانی و ساکن قرار گرفته و شاخص بهره‌دهی سازند نیز قبل و بعد از این عملیات محاسبه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با انجام اسیدکاری شاخص بهره‌دهی از ۳ بشکه در روز بر پام به ۶ بشکه در روز بر پام افزایش یافته که این مطلب مؤید موفقیت آمیز بودن عملیات است.

### نتیجه‌گیری

- کاهش افت فشار، افزایش تراوایی و افزایش شاخص بهره‌دهی چاه بعد از اسیدکاری نسبت به مقادیر آنها قبل از اسیدکاری، مؤید موفقیت آمیز بودن این عملیات است.
- شناخت هر چه بیشتر فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی اسیدکاری باعث افزایش موفقیت این عملیات خواهد شد.
- استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری ویژه برای انجام محاسبات و طراحی صحیح عملیات اسیدکاری مورد نیاز توصیه می‌گردد.
- جهت غلبه بر مشکلات عملیات اسیدکاری، طراحی و ابداع سیستم‌های اسیدکاری جدید ضروری می‌باشد. ■

$$\Delta P_s = 141.2 \frac{q \cdot \mu \cdot B}{K \cdot h} \cdot S$$

q: STB

day

μ: cp

B: bbi  
STB

K: md

h: ft

همان‌گونه که در این فرمول دیده می‌شود افت فشار به‌طور مستقیم با ضریب پوسته و به‌طور معکوس با تراوایی سازند مرتبط است. این بدان معنی است که افت فشار با افزایش ضریب پوسته افزایش و با کاهش آن کاهش می‌یابد. هم‌چنین افت فشار با افزایش تراوایی کاهش و با کاهش آن افزایش می‌یابد. با انجام عملیات اسیدکاری در این چاه، تراوایی سازند افزایش و ضریب پوسته کاهش یافته که این نتایج نشان‌دهنده بهبود وضعیت جریانی چاه و مؤید موفقیت آمیز بودن این عملیات می‌باشند. به‌منظور قضاوت در مورد میزان موفقیت آمیز بودن عملیات اسیدکاری در یک چاه می‌توان نتایج آزمایش‌های فشار جریانی و ساکن چاه، قبل و بعد از اسیدکاری را نیز مدنظر قرار داد. بر این اساس با محاسبه شاخص بهره‌دهی سازند قبل و بعد از اسیدکاری و مقایسه آنها با یکدیگر می‌توان به میزان موفقیت این عملیات پی برد. بدیهی است

### منابع

- [1] Kartoatmodjo G., Caretta F., Flew S., & Jadid M., "Risk-Based candidate selection workflow improve acid stimulation success ratio in mature field", paper SPE 109278. 2007.
- [2] Wayne P. Mitchell, Dario Stemberger, & A.N. Martin, "Is Acid Placement Through Coiled Tubing Better Than Bullheading?", SPE 81731, 2003.
- [3] Garrouch A. & Malallah A.H., "An empirical model for predicting crude sludging potential caused by acidizing", International Journal of Petroleum Science and Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 23-36, 2007.
- [4] Tavassoli M., Ranjbar M. & Movaheddinian A., "Investigation of the reasons of acidizing failure in carbonate formation of Ahwaz field", 3rd Mining Engineering Conference, Kerman, pp. 401-409, 2003.
- [5] Ozkan, E. and Raghavan, R.: "New Solutions for Well Test Analysis Problems: Part I-Analytical Considerations" paper SPE 18615, SPE Formation Evaluation 6, No. 3, 359-368 (1991).
- [6] Melson, A. F., Steere, D. C.: "Method for Stimulating Hydrocarbon Production", US patent No.6390191-B1, Date of Patent May 21, 2002.
- [7] Smith, C.F. and Hendrickson, A.R., "Hydrofluoric Acid Stimulation of Sandstone Reservoirs", paper SPE 980, February 2007.
- [8] Gidley, J.L.: "Acidizing Sandstone Formations: A detailed Examination of recent Experience", Paper SPE 14164, the 60th SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Las Vegas, NV., Sept. 22-25, 1985.5- D.Nathan Meehan & Ericl.Vogel "Reservoir Engineering Manual", PennWell, 2011.
- [9] Farley, J.T., Miller, B.M. and Schoettle, V., "Design Criteria for Matrix Stimulation with Hydrochloric - Hydrofluoric Acid", SPE# 2621, JPT, April 2010.
- [10] Malekzadeh, D., Azari, M. and Day, J.J.: "Evaluation of Acid Stimulation Treatment of Horizontal Wells", Paper SPE 26038, Western Regional Meeting, Anchorage, Alaska, USA, May 26-28, 1993.
- [11] Sutton, G.D. and Lasater, R.M., "Aspects of Acid Additive Selection in Sandstone Acidizing", Paper SPE 4114, the 47th SPE Annual Fall Meeting, San Antonio, Tex., October, 8-11, 2008.
- [12] Williams, B.B., Gidley, J.L., Schechter, R.S. (1979), "Acidizing Fundamentals", Monograph, Volume 6, SPE 2009.
- [13] Muecke, T.W.: "Principles of Acid Stimulation", Paper SPE 10038, the Int. Petroleum Exhb and Tech. Sym of the SPE, Beijing, China, March 18-26, 2012.
- [14] J. W. Auk, "A New Model of the Physical and Chemical Changes in Sandstone During Acidizing," SOC. Petrol. Eng. J., 15, 361 (1999).
- [15] McCune, C. C., and H. S. Fogler, "An Experimental Technique for Obtaining Permeability-Porosity Relationships in Acidization," paper No. 52e, 74th National AIChE Meeting, New Orleans, La. (1973).
- [16] Gdanski, R., "AICL3 retards HF acid for more effective stimulations", Oil & Gas Journal, October 2010.