

## بهینه‌سازی بازده عملیات اسیدکاری ماتریس در یکی از مخازن کربناته جنوب غرب ایران به کمک نرم‌افزار StimCADE

شهریار عبدالهی\*، دانشجوی دانشکده صنعت نفت اهواز ■ دکتر خلیل شهبازی، دانشیار دانشکده صنعت نفت اهواز

### چکیده

از جمله روش‌های کاربردی جهت افزایش میزان بهره‌دهی چاه‌ها عملیات اسیدکاری است. به خوبی فهمیده شده است که در اسیدکاری ماتریس در سازندهای کربناته یک شرایط بهینه وجود دارد. هنگامی که اسیدکاری در شرایط بهینه پمپاژ نشود، بازده تحریک کاهش می‌یابد. تزریق اسید کمتر از نرخ تزریق بهینه در اسیدکاری ماتریس کربناته‌ها می‌تواند با محدود کردن قابل توجه کاهش نهایی ضریب پوسته، بر تولید و تزریق، اثر منفی بگذارد. برای طراحی اسیدکاری کربناته که باعث ایجاد کرم‌چاله‌هایی برای بهبود عملکرد چاه می‌شود، ابتدا باید نرخ تزریق بهینه بر اساس شرایط میدانی تعیین شود. در مواردی که نرخ تزریق بهینه به دلیل محدودیت تجهیزات پمپاژ و غیره حاصل نمی‌شود، با تغییر غلظت اسید، نوع اسید یا مواد افزودنی می‌توان نرخ تزریق بهینه‌ی اسید را کاهش داد. کاهش قدرت اسید می‌تواند منجر به کندتر شدن سرعت واکنش و نفوذ عمیق‌تر کرم‌چاله شود. با این وجود محدودیت‌هایی وجود دارد زیرا کاهش قدرت اسید نه تنها باعث کاهش سرعت بهینه می‌شود بلکه به دلیل قدرت کمتر اسید در حل کردن سنگ، باعث افزایش حجم اسید موردنیاز برای دستیابی به عملیات موفق می‌شود.

در این مطالعه، با کمک نرم‌افزار شبیه‌ساز StimCADE شرایط ایجاد اسیدکاری بهینه‌ی مخازن کربناته بررسی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که در مواردی که نرخ تزریق کمتر از حد بهینه باشد، شبیه‌سازی، ضریب پوسته‌ی بهینه را کمتر از میزان پیش‌بینی شده نشان می‌دهد. هنگام تزریق با نرخ‌های کم، استفاده از بالاترین غلظت اسید لزوماً منجر به کارآمدترین انتشار کرم‌چاله نمی‌شود و محدودیت مشخصی برای کاهش قدرت اسید وجود دارد.

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۹/۰۵/۰۸

تاریخ ارسال به داور: ۹۹/۰۵/۱۲

تاریخ پذیرش داور: ۹۹/۰۷/۳

### واژگان کلیدی:

عملیات اسیدکاری، سازند کربناته، نرم‌افزار StimCADE، نرخ تزریق، ضریب پوسته، کرم‌چاله.

### مقدمه

موجود در سنگ با هدف اصلی از بین بردن آسیب در نزدیکی چاه است. از این رو بازگرداندن نفوذپذیری طبیعی و بهبود چشمگیر بهره‌وری است. ناهمگونی مخزن به دلیل تاثیر آن در مکانیسم‌های دفع آسیب نقش مهمی در موفقیت عملیات اسیدکاری دارد و به شدت با الگوی انحلال ماتریس مرتبط است. درمان‌های استاندارد اسید مخلوط هیدروکلریک اسید (HCl) برای حل کردن مواد معدنی کربناته و فرمولاسیون HCl-HF برای حمله به مواد معدنی، به طور عمده سیلیکات‌ها (خاک‌رس و فلدسپات) هستند. [۴]

### اصول اسیدکاری ماتریس

اسیدکاری ماتریکس یکی از قدیمی‌ترین تکنیک‌های تحریک چاه است که برای از بین بردن آسیب در اطراف چاه استفاده می‌شود. در ابتدا در مخازن کربناته اعمال می‌شد و طی سالیان متمادی به کانی‌شناسی‌های پیچیده‌تری گسترش یافته است. تاکنون، اسیدکاری ماتریس معمولاً برای بسیاری از سازندها به دلیل داشتن ماهیت ناهمگن مواد معدنی تشکیل‌دهنده و درجه‌ی

از تکنیک‌های تحریک چاه<sup>۱</sup> برای تقویت بهره‌وری و به حداکثر رساندن باز یافت در چاه‌های نفت و گاز استفاده می‌شود. [۱] در بین این تکنیک‌ها، اسیدکاری ماتریس<sup>۲</sup> به دلیل کم بودن هزینه‌ی نسبی آن در مقایسه با ایجاد شکاف هیدرولیکی<sup>۳</sup> و همچنین مناسب بودن هر دو برای ظرفیت تولید اضافی و برای بازگرداندن بهره‌وری اصلی در چاه‌های آسیب‌دیده، بیشترین کارایی را دارد. روند اسیدکاری منجر به افزایش ذخایر اقتصادی و بهبودی نهایی در هر دو سازند ماسه‌سنگ و کربناته می‌شود. [۲و۱]

اسیدکاری ممکن است قدیمی‌ترین تکنیک تحریک چاه در نظر گرفته شود، شکاف هیدرولیک دارای پیشرفت‌های اخیر است. اولین کارهای اسیدی در سال ۱۸۹۰ برای تحریک سازندهای آهکی با استفاده از هیدروکلریک اسید انجام شد. در دهه‌ی ۱۹۳۰ اسیدکاری به عنوان یک روش مناسب برای حذف ضریب پوسته<sup>۴</sup> ظاهر شد و مهارکننده‌های خوردگی<sup>۵</sup> نیز توسعه یافتند. [۳و۱] اسیدکاری ماتریس شامل تزریق محلول اسید با حجم بالا به داخل سازند، با فشار کمتر از فشار شکست سازند برای حل کردن برخی از مواد معدنی

\* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (Shahryarabdollahi1990@gmail.com)

شامل درک کانی‌شناسی سازند، نفوذپذیری، تخلخل و دینامیک سیال مخزن است. ارزیابی آسیب سازند به نوبه‌ی خود شامل تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی، سازگاری سیال و آزمایش مغزه است. [۷]

#### ■ عملیات اسیدکاری

سه اصل هنگام انجام عملیات اسیدکاری نیاز است به آن توجه ویژه شود: (۱) همه‌ی محلول‌هایی که قرار است تزریق شوند باید آزمایش شده تا اطمینان حاصل شود که مطابق با فرمولاسیون‌های طراحی هستند. (۲) همه‌ی مراحل لازم باید انجام شوند تا آسیب ایجاد شده توسط خود فرآیند اسیدکاری حداقل شود.

(۳) فرآیند اسیدکاری باید به وسیله‌ی اندازه‌گیری فشار و دبی (سر چاه و یا ته چاه) کنترل شود. [۱۳، ۱۴ و ۱۵]

قبل از اینکه اسیدکاری انجام شود باید شواهد مشخص وجود داشته باشد که نشان دهد حداقل بخشی از بهره‌دهی کم چاه ناشی از آسیب سازند قابل حل در اسید است. این را می‌توان با یک آزمایش گذار فشار<sup>۱۰</sup> قبل از عملیات برای تعیین ضریب پوسته، تعیین منابع احتمالی دیگر پوسته و ارزیابی منبع آسیب سازند تعیین کرد. نمودار نگار تولیدی قبل از تحریک نیز در بعضی موارد در برنامه‌ریزی عملیات و به عنوان مبنایی برای آنالیز بعد از عملیات یاری‌دهنده می‌باشد. [۱۴ و ۱۵]

#### ■ آزمایشات لازم به منظور عملیات اسیدکاری

##### الف) آزمایش تزریق‌پذیری سازند:

همیشه قبل از انجام عملیات اسیدکاری، آزمایش تزریق‌پذیری<sup>۱۱</sup> به کمک سیال‌های بی‌ضرری مانند گازوییل و غیره انجام می‌شود تا میزان تزریق‌پذیری سازند و اصول امکان انجام عملیات اسیدکاری را بسنجند. [۸]

##### ب) آزمایش مغزه:

پیش از عملیات اسیدکاری برای مشخص کردن رسوبات و اکشن اسید با سنگ سازند باید ابتدا تاثیر مستقیم اسید بر سنگ سازند مشاهده شود تا بتوان غلظت و نوع اسید مناسب هر سنگ را مشخص کرد که این کار به کمک آزمایش مغزه<sup>۱۲</sup> انجام می‌شود. [۸]

##### پ) آزمایش بطری:

آزمایش بطری<sup>۱۳</sup> به منظور تعیین و مشاهده‌ی تاثیر اسید تزریقی بر روی نفت سازند انجام می‌شود که در این آزمایش، اسید را در تماس مستقیم نفت سازندی قرار می‌دهیم و امکان ایجاد رسوبات لجنی، آسفالتینی و یا امولسیون‌های چند فازی بررسی می‌شود. [۸]

قابل‌ملاحظه‌ای از غیرقابل پیش‌بینی بودن پاسخ آنها به فرمولاسیون اسید، بسیار ریسک‌پذیر است. [۲] با این حال، این یک روش تحریک نسبتاً ساده است که به یکی از مقرون‌به‌صرفه‌ترین روش‌ها برای بهبود چشمگیر بهره‌وری چاه و از این رو بازیابی هیدروکربن‌ها تبدیل شده است. [۱]

در حین عملیات اسیدکاری ماتریس، اسید در فشارهای زیر فشار شکست سازند تزریق می‌شود تا از ایجاد شکست در طول تحریک و از نفوذپذیری در اطراف چاه به جای تاثیرگذاری بر مخزن تا حد زیادی جلوگیری شود. اسید چند اینچ اطراف چاه در ماسه‌سنگ‌ها و چند فوت در کربنات‌ها واکنش نشان می‌دهد. [۴]

در سازندهای ماسه‌سنگی، اسیدکاری ماتریس ممکن است با از بین بردن آسیب اطراف چاه، در درجه‌ی اول با وصل کردن منافذ بسته شده توسط ذرات سیلیسی به عنوان نتیجه‌ی حفاری<sup>۶</sup>، تکمیل چاه<sup>۷</sup>، تحریک، مشبک‌کاری<sup>۸</sup> و عملیات تولید<sup>۹</sup>، عملکرد چاه را به میزان قابل‌توجهی افزایش دهد. بنابراین، می‌توان نفوذپذیری طبیعی اطراف چاه را احیا کرد. [۵ و ۱] مهمترین مواد معدنی محلول در هیدروکلریک اسید، کلسیت، دولومیت و سیدریت هستند که علاوه بر این باعث ایجاد رسوب نمی‌شوند. [۶]

هدف نهایی از توسعه‌ی میدان‌های بزرگ، به حداکثر رساندن اقتصادی برای بازیابی هیدروکربن‌ها است. برای انجام این کار، باید مشخصات جریان بهینه‌ی تولید را که پوسته‌ی کم و یکنواخت در کل بازه تولید می‌کند، هدف قرار دهیم. ضریب پوسته‌ی به دست آمده تاثیر مستقیمی بر بهره‌وری چاه دارد. میزان تاثیر ضریب پوسته بر بهره‌وری و تزریق‌پذیری کلی اساساً به هندسه‌ی دهانه‌ی چاه نسبت به مخزن بستگی دارد.

علاوه بر این، به دست آوردن یک ضریب پوسته در محدوده‌ی ۱- تا ۲- نمی‌تواند برای اسیدکاری کربناته موفقیت‌آمیز باشد. ضریب پوسته به ترتیب ۳- تا ۴- حفره‌های گرمی به ترتیب با طول ۱۰ تا ۲۰ فوت قابل‌دستیابی هستند. [۱۸] توجه به این نکته مهم است که رابطه‌ی بین ضریب پوسته و شاخص بهره‌وری، خطی نیست.

#### ■ آسیب سازند

در از بین بردن آسیب‌های سازند در اطراف چاه، اسیدکاری کاربرد اصلی خود را پیدا می‌کند. در یک چاه تولیدی با رژیم جریان شعاعی، بیشتر افت فشار داخل چاه در فاصله‌ی کمی از نفوذ به داخل مخزن رخ می‌دهد. در حقیقت، ۵۰ درصد از کل شیب فشار جریان در فاصله‌ی ۲۰ فوتی چاه واقع می‌شود. اگر آسیبی وجود نداشته باشد، ۲۵ درصد از شیب فشار در فاصله‌ی ۳- تا ۱- متری چاه قرار دارد. اگر آسیب سازند وجود داشته باشد، تا حد زیادی در افت فشار نقش دارد و بر عملکرد چاه تسلط خواهد یافت. [۳] مهمترین موضوعاتی که طراحی اسیدهای ماتریسی را تعیین می‌کند، توصیف مخزن است که

### ■ اسیدهای مورد استفاده در عملیات اسیدکاری

در اسیدکاری کربناته، اسیدهایی که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند، به این شرح است:

■ هیدروکلریک اسید (HCl)

■ استیک اسید (CH<sub>3</sub>COOH)

■ فرمیک اسید (HCOOH)

HCl رایج‌ترین اسید مورد استفاده است. اسیدهای آلی، اسیدهای استیک و فرمیک به دلیل اینکه قدرت خوردگی کمتری نسبت به هیدروکلراید دارند، مورد استفاده قرار گرفتند. بنابراین، مزیت اصلی آنها در کاربردهای درجه حرارت بالا است. [۳]

دو نوع اساسی برای اسیدکاری برای سازندهای کربناته وجود دارد که با نرخ تزریق و فشار، مشخص می‌شوند. اسیدکاری ماتریس فقط برای سازندهایی که دارای آسیب سازند هستند، اعمال می‌شود. موارد استثنایی ویژه‌ای وجود دارد، سازندهای با شکستگی طبیعی که اسیدکاری در نرخ ماتریس در سازند کربناته آسیب ندیده ممکن است واکنش تحریک قابل قبول باشد. [۹ و ۱۰]

### ■ اسیدکاری ماتریس

هدف اصلی اسیدکاری ماتریس بهبود ظرفیت جریان سیال از طریق منطقه‌ی آسیب‌دیده در اطراف چاه است. این امر می‌تواند با حل کردن سازند آسیب‌دیده در نزدیک چاه به دست آید. [۹] در بیشتر درمان‌های ماتریس در سازندهای کربناته از مخلوط‌های هیدروکلریک اسید (HCl) استفاده می‌شود. هیدروکلریک اسید سنگ آهک و دولومیت را در خود حل می‌کند تا کانال‌های باز و رسانا ایجاد کند. در صورت تمدید، این کانال‌ها حفره‌ی گرمی<sup>۱۴</sup> تشکیل می‌دهند که می‌توانند آسیب سازند اطراف چاه را دور بزنند و منطقه‌ی درمان شده‌ی موثر می‌تواند بسیار بزرگ‌تر از ماسه‌سنگ‌ها باشد. [۱۰]

### ■ عوامل رقابتی موثر در طراحی عملیات اسیدکاری

طراحی حجم اسید بهینه به وسیله‌ی اثرات فاکتورهای رقابتی پیچیده تعیین می‌شود. حجم اسید مورد نیاز شدیداً به عمق ناحیه‌ی آسیب‌دیده بستگی دارد و خود این عمق نیز به ندرت به طور دقیق شناخته می‌شود.

با مشخص بودن عمق ناحیه‌ی آسیب‌دیده، حجم بهینه برای یک محل خاص در چاه بر اساس منحنی عملکرد اسید آزمایشگاهی با یک مدل اسیدکاری انتخاب می‌شود. چنین آنالیزی می‌تواند کمترین حجم اسید پیشنهادی مانند ۲۵ گالن در هر فوت یا ۵۰ گالن در هر فوت ضخامت سازند را نتیجه دهد. اما به طور کلی اسید به طور مساوی در همه‌ی قسمت‌های سازند توزیع نمی‌شود. برای اطمینان از اینکه اسید به مقدار کافی با سطح سازند تماس می‌یابد ممکن است عمدتاً با توجه به روش‌های به کار رفته برای قرارگیری مناسب اسید، حجم بیشتری لازم باشد. [۱۶ و ۱۷]

آزمایش‌ها نشان می‌دهد که تزریق زیر سرعت بهینه می‌تواند بسیار مضر باشد. این می‌تواند چندین برابر به اسید بیشتری نیاز داشته باشد تا کرم‌چاله با طول خاص ایجاد شود و حتی ممکن است ضریب پوسته‌ی نهایی که قابل دستیابی است را محدود کند. [۱۹] شرایط اسیدکاری تأثیر زیادی بر عملکرد کلی دارد زیرا بر ساختار کرم‌چاله تأثیر می‌گذارد. با تزریق اسید به روشی که باعث ایجاد الگوی انحلال نامطلوب می‌شود، دستیابی به نفوذ عمیق کرم‌چاله و با استفاده از ضریب پوسته‌ی پایین، برای کلیه‌ی اهداف عملی امکان‌پذیر نیست. میزان تزریق غالباً با استفاده از روش قرارگیری یا مخزن محدود می‌شود. [۱۹ و ۲۰] (که اگر میزان تزریق بیش از حد زیاد باشد، فشار می‌تواند به شکست مخزن منجر شود و جلوگیری از کرم‌چاله) حتی اگر بتوان شرایط ایده‌آل کرم‌چاله را برآورده کرد، چالش بعدی دستیابی به این شرایط در کل بازه‌ی درمانی است. این مشکل به دلیل ناهمگنی، گسل‌زدایی و سازندهای شکاف‌دار موجود در مخزن پیچیده می‌شود.

اسید به صورت ترجیحی به مناطقی با نفوذپذیری زیاد وارد می‌شود. این باعث می‌شود اسید کمتری به مناطق نفوذپذیری پایین وارد شود. نرخ جریان پایین‌تر، الگوهای انحلال نامطلوب را ایجاد می‌کند و به همین دلیل ممکن است چنین کرم‌چاله در جایی که مورد نیاز است تشکیل نشود. این مشکل می‌تواند با فشار بیش از حد مخازن یا مدت زمان طولانی بیش از حد درمان اسیدکاری پیچیده شود. برای حل این مسئله می‌توان از تکنیک‌های انحرافی استفاده کرد. [۲۰]

از این رو نتیجه می‌گیریم که گرچه اسیدکاری در ساختارهای کربناته بسیار موثر است، باید چالش‌های احتمالی را با دقت در نظر گرفت. طراحی درمان اسید مناسب باید کاملاً جامع باشد تا بتواند چالش‌ها را شناسایی کرده و از هر فرصتی برای به حداکثر رساندن ارزش درمان اسیدکاری استفاده کنیم. با توجه به رویکرد ارائه شده توسط این مقاله امید است تا بتوان از فرصت‌هایی که بدون افزایش هزینه‌ی درمان اسیدکاری بهره‌وری را بهبود بخشند، بهره برد.

### ■ اصلاح قدرت اسید

به طور معمول اولین جنبه‌ای که به نظر می‌رسد اصلاح شود، قدرت اسید است. محققانی که تأثیر غلظت اسید یا نوع آن را با استفاده از تست سیلاب‌زنی مغزه بررسی کرده‌اند، به طور کلی نتیجه گرفته‌اند که اسیدهای با غلظت کمتر می‌توانند منجر به نفوذ عمیق‌تر شوند و برای موارد با نرخ تزریق محدود مناسب‌تر هستند در حالی که اسیدهای با غلظت بالاتر به اسید کمتری نیاز دارند، هزینه و زمان تزریق را کاهش می‌دهند. [۲۰]

تغییر غلظت یا نوع اسید می‌تواند منجر به بهبود قابل توجهی در نتایج درمانی با هزینه‌ی کم نسبت به تغییر کل روش قرارگیری شود. از این رو نتیجه می‌گیریم که ابتدا باید ارزان‌ترین روش جایجایی در نظر گرفته شود

### ■ معرفی نرم افزار StimCADE

نرم افزار StimCADE مناسب جهت انجام فرآیندهای اسیدکاری است. اسیدکاری یکی از روش های مهم برای برقراری ارتباط دوباره ی سازند و ستون چاه بعد از عملیات حفاری است.

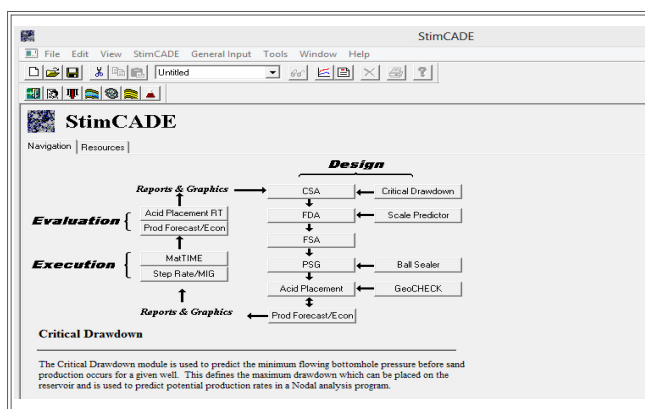
این نرم افزار قادر است با ارائه ی خصوصیات مانده نوع تکمیل چاه، مشخصات چاه، لوله های جداری و مغزی، نوع سیال مخزن، داده های مخزن و زون های مربوط به آن، لیتولوژی سنگ مخزن و تاریخچه ی مخزن، محاسبات مختلفی را انجام دهد و عملیات اسیدکاری را شبیه سازی کند.

تمامی ترکیبات شیمیایی مورد استفاده در عملیات اسیدکاری در این برنامه وجود دارد و متخصصین می توانند دقیقاً ترکیب موردنظر خود را شبیه سازی کنند.

این برنامه با اطلاع از میزان خوردگی اسید و تاثیر آن بر روی مشخصه های سازند می تواند میزان آسیب پذیری سازند و ریسک های احتمالی این کار را پیش بینی و محاسبه کند. StimCADE قادر است تا فرآیند شبیه سازی را برای مخازن کربناته با دقت بالایی انجام دهد. [۱۲ و ۱۱] نرم افزار StimCADE با تمرکز بر عملیات اسیدکاری، ساخته شده است به همین دلیل تمامی قابلیت های ارائه شده در جهت تسهیل فرآیند شبیه سازی در برنامه تعبیه شده است.

مهندسين نفت و گاز می توانند برای انجام فرآیندهای اسیدکاری در مخازن نفت و گاز از این برنامه به خوبی استفاده کنند.

استفاده از این برنامه باعث می شود تا قبل از انجام کار فیزیکی و آزمون خطای فرآیندهای اسیدکاری در محیط های عملیاتی، آزمایش های مختلفی در یک محیط امن نرم افزاری انجام شود تا به یک نتیجه گیری کلی برسیم. این کار باعث می شود تا هزینه ها و ریسک های مخاطره آمیز به حداقل برسد. در شکل ۱ عملیات اسیدکاری در یکی از چاه های جنوبی ایران با استفاده از این نرم افزار شبیه سازی شده است. [۱۱]



شما تیکی از نرم افزار StimCADE | ۱

و در صورت تغییر در یک روش کلی می تواند باعث بهبودی در درمان شد. برای تعیین شرایط بهینه ی اسید، باید آزمایشات سیلاب زنی هسته با قدرت اسیدهای مختلف را انجام داده و شبیه سازی های مربوط به درمان های اسیدی را انجام داده و ضریب نهایی پوسته ی مورد انتظار را با یکدیگر مقایسه کنیم.

### ■ اصلاح برنامه ی پمپ

برنامه ی پمپ شامل نرخ تزریق اسید، تعداد مراحل و مقادیر عامل انحراف بین مراحل در صورت وجود است. یکی از راه های بهبود تحریک با تغییر برنامه ی پمپ، تغییر نرخ تزریق به منظور حفظ شار تقریباً بهینه در طول درمان است.

می دانیم هر چه طول کرم چاله بیشتر باشد، مقدار ضریب پوسته کمتر شده و در واقع اسیدکاری موثرتر است. دبی تزریق پایین باعث مصرف اسید در عمق نفوذ کم و در واقع نفوذ سطحی اسید می شود در حالی که دبی تزریق بالای اسید باعث منشعب شدن کرم چاله می شود، بنابراین باید یک دبی بهینه انتخاب شود. این دبی بهینه به عواملی مانند جنس کانی ها، غلظت اسید و دمای واکنش بستگی دارد. [۲۱]

راه دیگر که تغییر برنامه ی پمپ می تواند در به دست آوردن مشخصات بهتر پوسته کمک کند استفاده از منحرف کننده است. منحرف کننده می تواند شیمیایی یا مکانیکی باشد. [۲۰]

### ■ اهداف و روش کار

روشی که در اینجا پیشنهاد شده است این است که تعیین حجم اسید و دبی تزریق اسید در سازند کربناته ی موردنظر حداکثر حجم اسید مورد نیاز را بر اساس یک مدل از فرآیند اسیدکاری در نرم افزار تعیین می کند و سپس دبی تزریق اسید و حجمی که به طور واقعی پمپ می شود را بر اساس کنترل در جای عملیات اسیدکاری تنظیم می کند که حجم اسید با یک مدلی از انتشار کرم چاله (مدل داکرد) برای عمق نفوذ معینی از کرم چاله محاسبه شده است.

اهداف این مطالعه به این صورت خلاصه می شود:

- نحوه ی شبیه سازی و کاربرد نرم افزار StimCADE در عملیات اسیدکاری
- بررسی امکان انجام فرآیند اسیدکاری چاه موردنظر قبل از عملیات واقعی و عملی
- تعیین حجم و دبی بهینه ی تزریق اسید در سازند موردنظر با استفاده از نرم افزار
- تاثیر پمپاژ با سرعت کمتر از بهینه بر استفاده از غلظت اسید بالاتر برای ایجاد کرم چاله ی کارآمد

■ تعیین و بررسی میزان ضریب پوسته و بعد از عملیات شبیه سازی

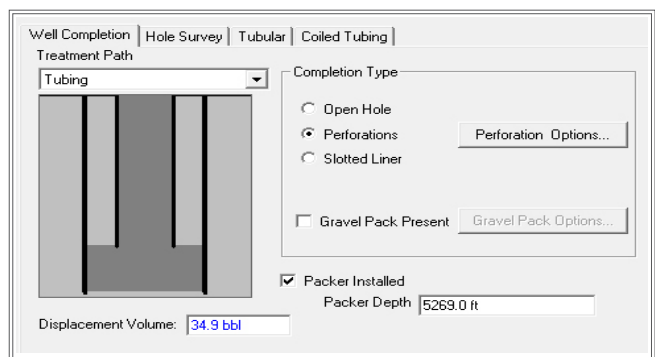
■ معرفی مخزن و چاه موردنظر

مخزن موردنظر کربناته و دارای دو لایه‌ی تولیدی در اعماق ۷۷۵۰ و ۷۷۸۰ فوتی است که دارای فشار مخزن ۵۲۴۷psi می‌باشد که اطلاعات آن به همراه نرم‌افزار در ادامه به صورت کامل توضیح داده شده است. اطلاعات مربوط به چاه از جمله نحوه‌ی تکمیل چاه، قطرهای لوله‌ی جداری<sup>۱۵</sup> و لوله‌ی مغزی<sup>۱۶</sup>، عمق پکرهای<sup>۱۷</sup> مورد استفاده نیز در ادامه به صورت کامل آورده شده و در نرم‌افزار لحاظ شده است.

■ کار با نرم‌افزار StimCADE و مراحل انجام کار

■ مرحله‌ی اول: وارد کردن اطلاعات مربوط به تکمیل چاه

عمق چاه مورد بررسی ۵۲۹۴ فوت است که در عمق ۵۲۶۹ فوتی پکر قرار گرفته است و به صورت حفره‌ی بسته<sup>۱۸</sup> (جداری گذاری شده) مشبک کاری شده است. چاه به صورت کاملاً عمودی حفر شده است که در شکل ۲ می‌توان شماتیکی از نحوه‌ی تکمیل چاه در نرم‌افزار را مشاهده کرد. اطلاعات مربوط به لوله‌ی جداری و لوله‌ی مغزی از جمله قطر، عمق، گرید، وزن، فشار ترکش در جداول ۱ و ۲ آمده است. داده‌های مربوط به اندازه‌ی لوله‌ی جداری و لوله‌ی مغزی باید به صورت دقیق وارد شود زیرا در محاسبات حجم اسید تزریقی بسیار با اهمیت هستند.



شکل ۲ | وارد کردن اطلاعات مربوط به نحوه‌ی تکمیل چاه در نرم‌افزار

جدول ۱ | اطلاعات مربوط به لوله‌ی مغزی

عمق بر حسب فوت	قطر خارجی بر حسب اینچ	قطر داخلی بر حسب اینچ	وزن بر حسب پوند بر فوت	گرید لوله	فشار مجامه‌شدگی (Psi)	فشار ترکش (Psi)
۵۲۶۹	۵	۴.۲۷۶	۱۹.۵	D	۷۳۹۰	۷۳۹۰

جدول ۲ | اطلاعات مربوط به لوله‌ی جداری

عمق بر حسب فوت	قطر خارجی بر حسب اینچ	قطر داخلی بر حسب اینچ	وزن بر حسب پوند بر فوت	درجه‌ی لوله	فشار مجامه‌شدگی (Psi)	فشار ترکش (Psi)
۵۳۵۵	۱۳.۳۷۵	۱۲.۶۱۵	۵۴.۵	N۸۰	۱۱۴۰	۳۹۸۰
۷۱۰۰	۱۰.۷۵	۱۰.۰۵۰	۴۰.۵	N۸۰	۱۷۳۰	۴۵۶۰
۸۱۱۱	۸.۶۲۵	۷.۷۲۵	۴۰	N۸۰	۵۵۲۰	۷۳۰۰

■ مرحله‌ی دوم: وارد کردن اطلاعات مربوط به سیال مخزن

در این مرحله اطلاعات مربوط به سیال مخزن مورد بررسی را در نرم‌افزار وارد می‌کنیم که در جدول ۳ این اطلاعات آورده شده است. سیال این مخزن نفت می‌باشد که دمای ته‌چاهی آن ۱۶۰ درجه فارنهایت است.

■ مرحله‌ی سوم: وارد کردن اطلاعات مربوط به مخزن

مخزن مورد بررسی دارای فشار ۵۲۴۷Psi است و باقی اطلاعات مخزن مورد بررسی از جمله درصد نفت، گاز و آب تولیدی، حجم مخزن، شعاع مخزن و غیره در جداول ۴ و ۵ آورده شده است. این اطلاعات بسیار مهم می‌باشد زیرا نرم‌افزار، بر اساس اطلاعات مخزن نوع سیال در مراحل مختلف عملیات اسیدکاری را انتخاب و شبیه‌سازی می‌کند.

■ مرحله‌ی چهارم: وارد کردن داده‌های مربوط به لایه‌ها

این مخزن دارای دو لایه است که لایه‌ی اول آن از عمق ۷۷۰۰ فوتی شروع و در ۷۷۷۰ فوتی به پایان می‌رسد و در بین آن ۳۰ فوت مشبک کاری انجام شده است. لایه‌ی دوم از عمق ۷۷۷۰ فوتی شروع و در ۷۸۳۰ فوتی به پایان می‌رسد و در بین آن ۴۰ فوت مشبک کاری انجام شده است. (جداول ۶ و ۸) دیگر اطلاعات این دو لایه از جمله تراوایی، تخلخل، ظرفیت جریان، گرادیان فشار و فشار لایه را می‌توان در جداول ۷ و ۹ مشاهده کرد.

جدول ۳ | اطلاعات مربوط به سیال مخزن

سیال مخزن					
نوع چاه و دمای آن	ترکیبات گاز مخزن	ترکیبات آب مخزن	ترکیبات آب مخزن		
دارای دمای ۶۰ (F) چاه نفتی	گراویتی گاز CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> ۰.۰۶۵ درصد	گراویتی ۱.۰۵	میزان شوری ۲۰۰۰۰ Ppm	نسبت گاز به نفت ۶۱۵ (scf/bbl)	فشار نقطه حباب ۲۷۴۰ (Psi)
			ضریب تراکم‌پذیری آب ۱۰ <sup>-۲</sup> (1/psi)		درجه API ۳۵

جدول ۴ | اطلاعات مربوط به مخزن

اطلاعات مخزن					
دمای سطح	دمای ته چاهی	شعاع چاه	شعاع مخزن	مساحت مخزن	فشار مخزن
۸۰ F	۱۶۰ F	۴.۱۳ in	۸۳۶ ft	۵۰ Acres	۵۲۴۷Psi

جدول ۵ | اطلاعات مربوط به درصد اشباع سیالات مخزن

درصد اشباع سیال مخزن		
آب	گاز	نفت
۱۵	۱۰	۷۵

جدول ۶ | اطلاعات عمقی لایه شماره یک

لایه‌ی شماره یک					
اطلاعات مشبک‌کاری لایه‌ی یک			اطلاعات لایه‌ی یک		
ضخامت مشبک	پایین مشبک	بالای مشبک	ضخامت لایه	پایین لایه	بالای لایه
۳۰ ft	۷۷۵۰ ft	۷۷۲۰ ft	۷۰ ft	۷۷۷۰ ft	۷۷۰۰ ft

لیتولوژی مربوط به هر لایه که یکی از قسمت‌های مهم برای عملیات اسیدکاری در انتخاب نوع اسید و رسوبات حاصل از اسید است در جداول ۱۰ و ۱۱ آورده شده است. در لایه‌ی شماره یک، ۸۰ درصد کلسیت، ۱۰ درصد دولومیت، ۵ درصد ایلیت و ۵ درصد کائولینیت و در لایه‌ی شماره دو، ۵۵ درصد کلسیت، ۲۵ درصد دولومیت، ۵ درصد ایلیت، ۵ درصد کائولینیت و ۱۰ درصد اسمکتیت وجود دارد. نرم‌افزار بر اساس این اطلاعات نوع سیال اسیدکاری را به گونه‌ای انتخاب می‌کند که سیال انتخابی در هر مرحله بیشترین کارایی را داشته باشد و بعد از عملیات اسیدکاری کمترین آسیب ناشی از رسوبات اسیدکاری در سازند ایجاد شود.

برای وارد کردن داده‌های مربوط به آسیب سازند هر لایه می‌توانیم از قسمت‌های زیر در نرم‌افزار کمک بگیریم. در قسمت (Candidate Selection Advisor) با وارد کردن نوع چاه و نوع سازند و میزان ضریب پوسته با توجه به چاه‌آزمایی انجام شده و سوال‌هایی راجع به مشکلات مکانیکی و عملیاتی، نرم‌افزار، امکان عملیات اسیدکاری را مورد بررسی قرار می‌دهد. در قسمت Formation Damage Advisor نرم‌افزار یک‌سری سوال در مورد عملیات‌هایی که قبلاً روی چاه انجام شده است و نوع چاه تزریقی یا تولیدی و سیال آن و سوالات مربوط به مشاهدات عملیاتی و نتایج تست‌های گرفته شده قبل از انجام عملیات اسیدکاری آسیب‌هایی که ممکن است در حین عملیات اسیدکاری اتفاق بیفتد را پیش‌بینی می‌کند که با وارد کردن این قسمت‌ها در نرم‌افزار برای چاه مورد نظر این آسیب‌ها را پیش‌بینی می‌کند.

### ■ مرحله‌ی پنجم: وارد کردن داده‌های مربوط به سیال اسیدکاری

برای این کار می‌توانیم از قسمت Fluid Selection Advisor نرم‌افزار استفاده کنیم که با توجه به پاسخ یک‌سری پرسش‌ها نوع سیال اسیدکاری را در هر مرحله مشخص می‌کند و نوع اسید مورد استفاده را انتخاب می‌کنیم. در قسمت قبل نوع آسیب سازند انتخاب شده است که در این چاه آسیب تشکیل امولسیون سنگین انتخاب می‌شود.

**Primary Damage:** Emulsion Blocking  
**Secondary Damage:** Solids - Completion, Work Over, Stim. Fluids  
**Recommendation:** HCl 28% was selected because it has the best economic or wormhole efficiency. Add a solvent pre-flush before the staged acid treatment. A multifunctional solvent, such as Clean Sweep I should be used for oil outside phase emulsions.  
**Schedule:**

Step	Description	Schlumberger Fluid
PF: Pre-Flush	Multifunctional solvent	CLEAN SWEEP I
MF: Main Fluid	HCl 28%	HCl 28%
FO: Div. Foam	Foam Diverter	FOAMER

**Best Practices:**  
 - Alternate Recommendation - Clean Sweep II may also be used. Base decision on laboratory tests made with the well fluids.  
 - Alternate Recommendation - VES Diverter can be used for diversion in wells with high water as an alternate to foam.  
 - Picking the tubing is recommended whenever acid is pumped.

شکل ۴ | انتخاب نوع اسید توسط نرم‌افزار در هر مرحله از عملیات اسیدکاری

### جدول ۷ | اطلاعات جریان لایه‌ی شماره یک

لایه‌ی شماره یک				
تراوایی	تخلخل	ظرفیت جریان	گرادیان فشار	فشار لایه
۱۰ md	% ۱۵	۷۰۰ md.ft	۱ Psi/ft	۵۱۵۰ Psi

### جدول ۸ | اطلاعات عمقی لایه‌ی شماره دو

لایه شماره دو					
اطلاعات لایه‌ی یک			اطلاعات مشبک‌کاری لایه‌ی یک		
بالای لایه	پایین لایه	ضخامت لایه	بالای مشبک	پایین مشبک	ضخامت مشبک
۷۷۷۰ ft	۷۸۳۰ ft	۶۰ ft	۷۷۸۰ ft	۷۸۲۰ ft	۴۰ ft

### جدول ۹ | اطلاعات جریان لایه‌ی شماره دو

لایه شماره دو				
تراوایی	تخلخل	ظرفیت جریان	گرادیان فشار	فشار لایه
۵ md	% ۱۰	۳۰۰ md.ft	۱ Psi/ft	۵۲۵۰ Psi

### جدول ۱۰ | اطلاعات لیتولوژی لایه‌ی شماره یک و درصد هر یک از کانی‌های موجود در آن

درصد ترکیبات موجود در لایه‌ی شماره یک			
کلسیت	دولومیت	کائولینیت	ایلیت
۸۰	۱۰	۵	۵

### جدول ۱۱ | اطلاعات لیتولوژی لایه‌ی شماره دو و درصد هر یک از کانی‌های موجود در آن

درصد ترکیبات موجود در لایه‌ی شماره ۲				
کلسیت	دولومیت	کائولینیت	اسمکتیت	ایلیت
۵۵	۲۵	۵	۱۰	۵

Select Carbonate Acid  
 Highlight your preferred treating fluid. Fluids with lower economic efficiency are better. For an explanation of economic efficiency, go to Help - Current Window.

Treatment Fluid	Dissolution Type	Economic Eff.	PVBT
HAc	Wormhole	0.32	2.1
NARS	Wormhole	0.39	1.7
SXE	Wormhole	0.59	4.2
HFc	Wormhole	0.62	4.1
HCl	Wormhole	1	7.7
U820	Uniform Dissolution	N/A	N/A

Note: Fluids with similar PVBT (differences <= 20%) should be considered technically interchangeable.

شکل ۳ | انتخاب اسید هیدروکلرید اسید برای ایجاد کرم‌چاله

## ۱۲ مشخص شدن نرخ‌های تزریق اسید و حجم‌های اسید توسط نرم‌افزار

قسمت PSG نرم‌افزار و مشخص شدن حجم‌ها و نرخ‌های تزریق اسید در مراحل مختلف عملیات اسیدکاری			
نام مرحله	نوع سیال	نرخ تزریق اسید بر حسب بشکه بر دقیقه	حجم تزریق اسید بر حسب بشکه
پیش شستشو	Clean sweep	۰.۱	۱۴۲.۹
مرحله اصلی	اسید HCl ۲۸ درصد	۰.۶	۱۱۵.۱
پس شستشو	Clean sweep	۰.۵	۲۶۳.۵

### ■ مرحله‌ی هفتم: Acid Placement

با وارد کردن حجم‌ها و دبی‌های هر مرحله از عملیات اسیدکاری در قسمت Acid Placement می‌توانیم نحوه‌ی تزریق اسید و نمودارهای مربوط به شبیه‌سازی عملیات اسیدکاری را ببینیم و نتایج شبیه‌سازی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهیم که در قسمت نتیجه‌گیری و تحلیل نمودارها آورده شده است.

### ■ تجزیه و تحلیل نمودارهای اسیدکاری حاصل از شبیه‌سازی چاه

در شکل ۵ حجم اسید تزریقی بر حسب طول ایجاد کرم‌چاله برای دو لایه شبیه‌سازی شده در مراحل مختلف اسیدکاری (در شکل عدد یک، نشان‌دهنده‌ی مرحله‌ی پیش‌شستشو، عدد ۲ نشان‌دهنده‌ی مرحله‌ی اسید اصلی و عدد ۳ نشان‌دهنده‌ی مرحله‌ی پس‌شستشو می‌باشد) را نشان می‌دهد. در شکل می‌بینیم با افزایش حجم اسید تزریقی برای لایه‌ی شماره یک طول کرم‌چاله تا ۱٫۹۲ فوت گسترش می‌یابد و در لایه‌ی شماره ۲ این طول بیشتر از ۰٫۵۷ فوت افزایش نمی‌یابد. در هر دو لایه از این مخزن مورد بررسی طول کرم‌چاله افزایش یافته است که این نشان می‌دهد عملیات اسیدکاری می‌تواند در این چاه به صورت موفقیت‌آمیزی انجام شود. شکل ۶ نرخ تزریق اسید بر حسب حجم اسید برای هر لایه در مراحل مختلف اسیدکاری را نشان می‌دهد. که لایه‌ی شماره یک نرخ بالاتری نسبت به لایه‌ی ۲ لازم دارد.

## ■ مرحله‌ی ششم: اجرا کردن اولیه‌ی نرم‌افزار

### Pumping Schedule Generator (PSG)

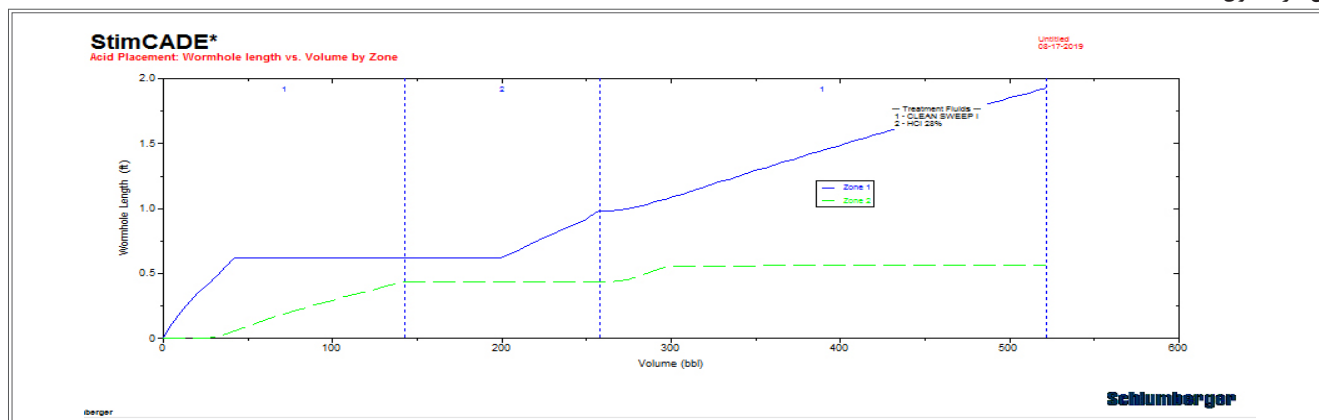
با انتخاب نوع سیال اسیدکاری در مراحل مختلف عملیات اسیدکاری می‌توانیم عملیات اسیدکاری را شبیه‌سازی کنیم و در مرحله‌ی اجرای آن نحوه‌ی حرکت اسید در داخل سازند را مشاهده کنیم که در اینجا clean sweep به عنوان پیش‌شستشو<sup>۱۹</sup> و هیدروکلریک اسید ۲۸ درصد وزنی به عنوان مرحله‌ی اصلی<sup>۲۰</sup> اسیدکاری و clean sweep به عنوان پس‌شستشو<sup>۲۱</sup> انتخاب شده است. در قسمت Skin Analysis با توجه به داده‌های تولیدی از چاه موردنظر مثل دبی تولیدی و فشار ته‌چاهی میزان سهم هر لایه از تولید را مشخص می‌کنیم که لایه‌ی یک، ۷۵ درصد و لایه‌ی شماره دو، ۲۵ درصد تولید می‌کنند و با توجه به تخلخل که لایه‌ی اول، ۱۵ درصد و لایه‌ی دوم، ۱۰ درصد تخلخل دارد ضریب پوسته‌ی لایه‌ی اول ۱۰ و لایه‌ی دوم ۲۰ محاسبه می‌شود که مقدار زیادی است، وارد نرم‌افزار می‌شود.

### ■ وارد کردن داده‌های قسمت setting

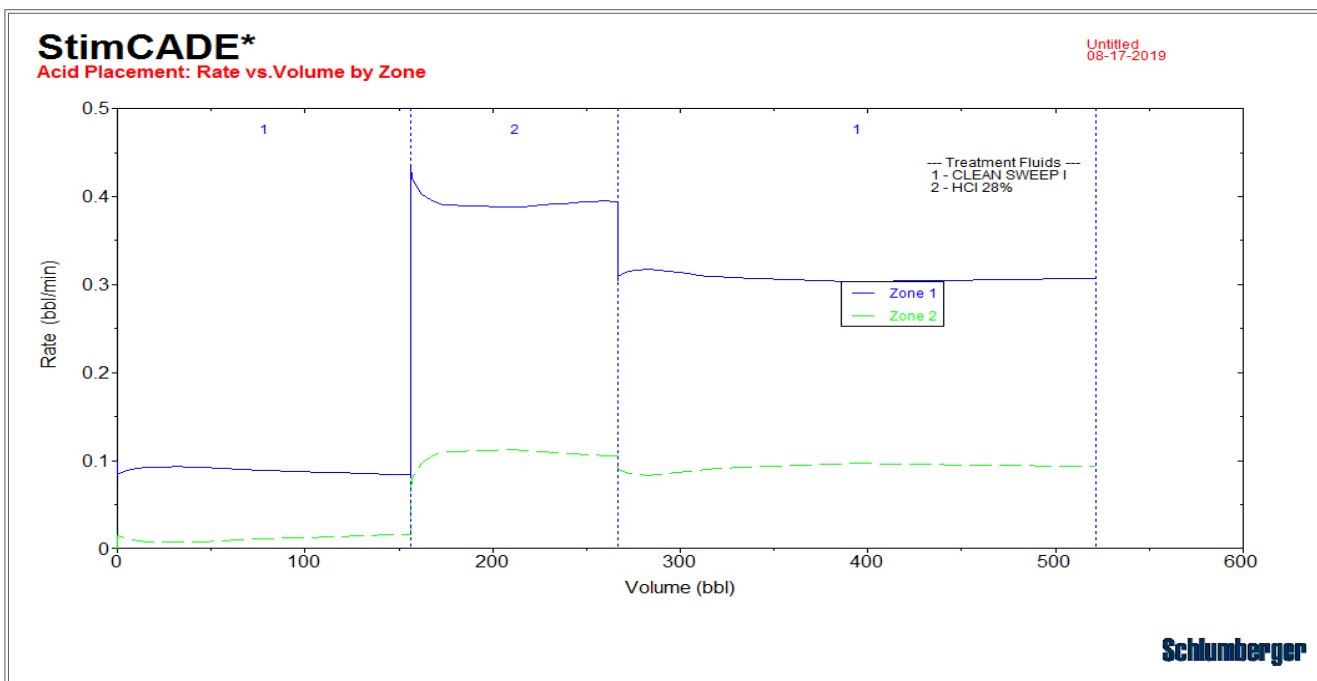
با وارد کردن حداکثر فشار سرچاهی به میزان ۳۰۰۰ Psi و حداکثر میزان دبی تزریق اسید ۲ بشکه بر دقیقه و با اجرا کردن نهایی نرم‌افزار می‌توانیم حرکت سیال اسید را در داخل سازند ببینیم و شبیه‌سازی انجام می‌شود.

### ■ قسمت اجرا Execute

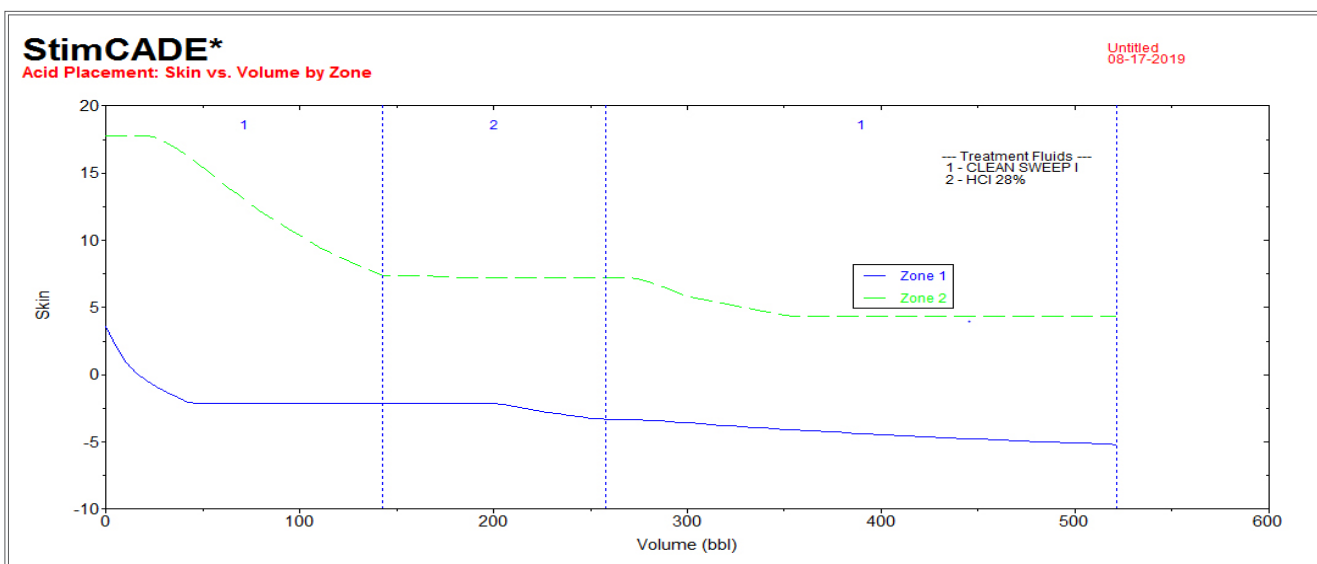
با اجرا کردن نرم‌افزار در قسمت PSG نرم‌افزار نرخ‌های تزریق اسید در هر مرحله و حجم‌های موردنیاز اسید در هر مرحله را مشخص می‌کند که سیال در مرحله‌ی پیش‌شستشو باید با نرخ ۰٫۱ بشکه بر دقیقه به مقدار ۱۴۲٫۹ بشکه تزریق شود. در مرحله‌ی اسید اصلی سیال باید با نرخ ۰٫۶ بشکه بر دقیقه به مقدار ۱۱۵٫۱ بشکه تزریق شود و در مرحله‌ی پس‌شستشو سیال با نرخ ۰٫۵ و به حجم ۲۶۳٫۵ بشکه به سازند تزریق شود که مراحل مختلف آن در جدول ۱۲ محاسبه شده است.



شکل ۵ نمودار طول حفره‌ی کرمی بر حسب حجم اسید تزریقی برای هر لایه در طول شبیه‌سازی عملیات اسیدکاری



شکل ۶ | نمودار نرخ تزریق اسید بر حسب حجم اسید برای هر لایه در طول شبیه‌سازی عملیات اسیدکاری

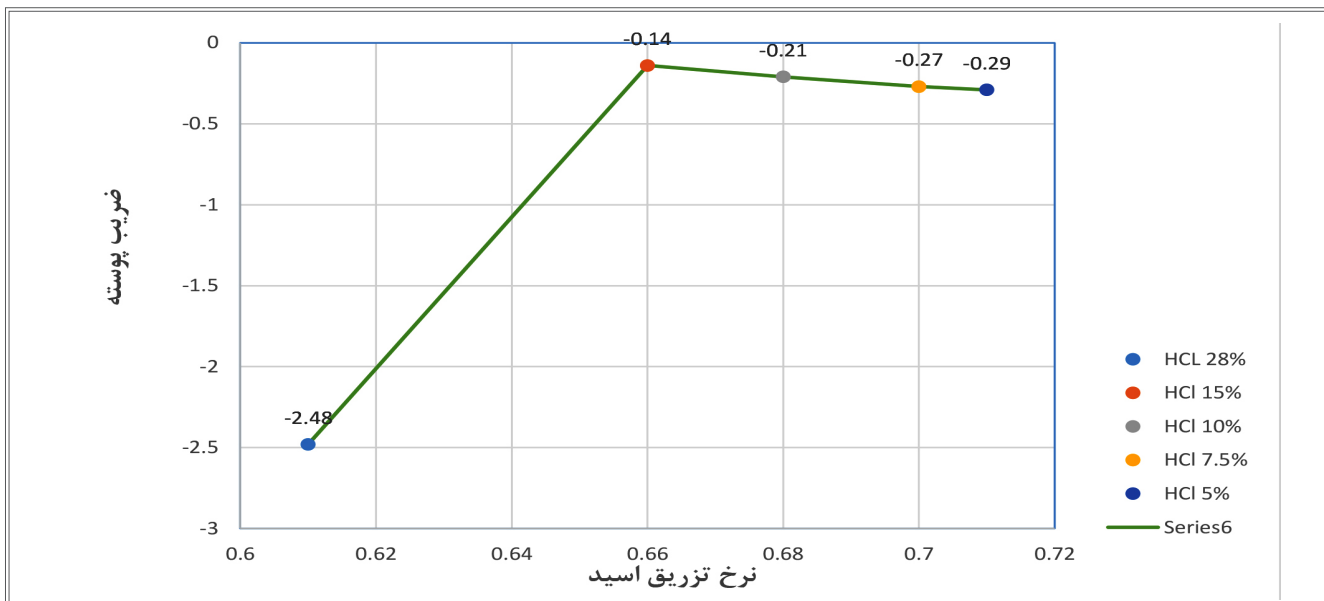


شکل ۷ | نمودار ضریب پوسته بر حسب حجم اسید تزریقی برای هر لایه در طول شبیه‌سازی عملیات اسیدکاری

در لایه‌ی دوم با افزایش حجم تزریق اسید میزان ضریب پوسته از ۱۷٫۸ به ۴٫۴۳ کاهش پیدا کرده است و این نشان‌دهنده‌ی افزایش میزان بهره‌دهی این لایه می‌باشد. در نهایت ضریب پوسته‌ی کلی سازند به ۲٫۴۸- رسیده است. با توجه به نمودارهای حاصل از شبیه‌سازی عملیات اسیدکاری چاه موردنظر، می‌توان نتیجه گرفت امکان اسیدکاری این چاه وجود دارد و عملیات اسیدکاری برای این چاه به صورت موفقیت‌آمیزی پیش خواهد رفت.

شکل ۷ ضریب پوسته بر حسب حجم اسید تزریقی برای هر لایه در مراحل مختلف اسیدکاری را نشان می‌دهد که میزان ضریب پوسته در هر لایه و در هر مرحله از تزریق اسید به سازند به چه میزانی تغییر می‌کند. در لایه‌ی یک با افزایش حجم تزریق اسید میزان ضریب پوسته از ۳٫۵ به ۵٫۵- کاهش پیدا کرده است که این نشان‌دهنده‌ی افزایش میزان بهره‌دهی آن است.





شکل ۸ | تاثیر غلظت اسید بر میزان ضریب پوسته در نرخ‌های تزریق اسید

سازند قابل حل در اسید است.

۳- مهمترین موضوع در طراحی اسیدکاری ماتریس توصیف مخزن است که شامل درک کانی‌شناسی سازند، نفوذپذیری، تخلخل و دینامیک سیال مخزن است. ارزیابی آسیب سازند به نوبه‌ی خود شامل تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی، سازگاری سیال و آزمایش مغزه است که باید قبل از انجام عملیات اسیدکاری سازند انجام شود.

۴- هنگام پمپاژ با سرعت کم، استفاده از بالاترین غلظت اسید لزوماً منجر به ایجاد کارآمدترین انتشار کرم‌چاله نمی‌شود.

۵- محدودیتی برای کاهش قدرت اسید وجود دارد که می‌تواند از نفوذ کرم‌چاله و کاهش پوسته سود ببریم.

۶- با بررسی نمودارها و مقایسه‌ی شبیه‌سازی عملیات اسیدکاری بهینه شده در این مطالعه مشاهده شد با کنترل اسید تزریقی در لایه‌های متراکم‌تر و آسیب‌دیده‌تر (لایه‌ی شماره ۲) می‌توان ضریب پوسته‌ی این لایه را کمتر کرد.

۷- اسیدهای با غلظت کمتر می‌توانند منجر به نفوذ عمیق‌تر شوند و برای موارد با نرخ تزریق محدود مناسب‌تر هستند در حالی که اسیدهای با غلظت بالاتر به اسید کمتری نیاز دارند، هزینه و زمان تزریق را کاهش می‌دهند.

۸- شبیه‌سازی انجام شده فقط برای این چاه و مخزن و سازند مورد نظر صادق است و با توجه به اینکه داده‌های هر چاه و لیتولوژی هر سازند و سیال هر مخزن با مخزن دیگر متفاوت است لذا برای امکان‌سنجی اسیدکاری، شبیه‌سازی اسیدکاری و اجرا عملیات اسیدکاری در هر چاه با چاه دیگر متفاوت بوده و لذا می‌بایست همه‌ی این مراحل برای هر چاه به صورت کامل انجام شود تا عملیات اسیدکاری موفقیت‌آمیز باشد. ■

شکل ۸ تاثیر غلظت اسید بر میزان ضریب پوسته‌ی این سازند نشان می‌دهد که در غلظت‌های مختلف اسید (۲۸ درصد، ۱۵ درصد، ۱۰ درصد، ۷٫۵ درصد و ۵ درصد) ضریب پوسته به چه میزانی تغییر می‌کند. با کاهش غلظت اسید از ۱۵ درصد به ۵ درصد میزان ضریب پوسته به ترتیب از ۰٫۱۴- به ۰٫۲۹- کاهش پیدا کرده است و در غلظت اسید ۲۸ درصد میزان ضریب پوسته به ۲٫۴۸- رسیده است که بهترین غلظت انتخابی برای اسیدکاری سازند مورد نظر است. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که اسیدهای با غلظت کمتر می‌توانند منجر به نفوذ عمیق‌تر شوند و برای موارد با نرخ تزریق محدود مناسب‌تر هستند در حالی که اسیدهای با غلظت بالاتر به اسید کمتری نیاز دارند و هزینه و زمان تزریق را کاهش می‌دهند. تغییر غلظت یا نوع اسید می‌تواند منجر به بهبود قابل توجهی در نتایج درمانی با هزینه‌ی کم نسبت به تغییر کل روش قرارگیری شود.

### نتیجه‌گیری

۱- به طور کلی با توجه به هزینه‌ی بالای عملیات اسیدکاری لازم است قبل از انجام عملیات اسیدکاری چاه‌ها برای انجام عملیات اسیدکاری موفق با ارزیابی و بررسی تاریخی‌ی عملیات‌های مختلف چاه، خصوصیات سنگ و سیال مخزن و خصوصیات سیال تزریقی و با بالا بردن کیفیت و کمیت نتایج آزمایشگاهی و خروجی نرم‌افزار شبیه‌ساز می‌توانیم در عملیات اسیدکاری حجم و دبی‌های تزریق اسید را طوری انتخاب کنیم که ضریب پوسته‌ی اطراف چاه را کاهش دهد و حفره‌های کرمی عمیق‌تر ایجاد کند.

۲- قبل از انجام عملیات اسیدکاری باید ضریب پوسته‌ی سازند تعیین شود و مشخص شود که حداقل بخشی از بهره‌دهی کم چاه ناشی از آسیب

## پانویس ها

- |                             |                 |
|-----------------------------|-----------------|
| 1. Well Stimulation         | 12. Core Test   |
| 2. Matrix Acidizing         | 13. Bottle Test |
| 3. Hydraulic fracturing     | 14. Wormhole    |
| 4. Skin factor              | 15. Casing      |
| 5. Corrosion Inhibitors     | 16. Tubing      |
| 6. Drilling                 | 17. Packers     |
| 7. Well Completion          | 18. Cased Hole  |
| 8. Perforation              | 19. Pre Flush   |
| 9. Production               | 20. Maid Acid   |
| 10. Pressure Transient Test | 21. After Flush |
| 11. Injectivity Test        |                 |

## منابع

- [1]. Gomez, J.N., Design, Set Up, and Testing of a Matrix Acidizing Apparatus. 2006, Texas A & M University.
- [2]. Rae, P. and G. Di Lullo. Matrix acid stimulation-a review of the state-of-the-art. in SPE European Formation Damage Conference. 2003. Society of Petroleum Engineers.
- [3]. Kalfayan, L., Production enhancement with acid stimulation. 2008: Pennwell Books.
- [4]. Economides, M.J., et al., Petroleum production systems. 2013: Pearson Education.
- [5]. McLeod, H.O., Matrix acidizing. Journal of Petroleum Technology, 1984. 36(12): p. 2,055-2,069.
- [6]. Da Motta, E.P. and J.A. dos Santos, New fluosilicic acid system removes deep clay damage. SPE Drilling & Completion, 2001. 16(03): p. 159-163.
- [7]. Kalfayan, L. and A. Metcalf. Successful sandstone acid design case histories: exceptions to conventional wisdom. in SPE Annual Technical Conference and Exhibition. 2000. Society of Petroleum Engineers.
- [8]. API RECOMMENDED PRACTICE 42 (RP 42) SECOND EDITION, J., REAFFIRMED FEBRUARY 1990, Recommended Practices for Laboratory Evaluation of Surface Active Agents for Well stimulation. 1990.
- [9]. Elgaghah, S. An Experimental Approach of Matrix Acidizing of Permeability-Damaged Carbonate Reservoirs. in EUROPEC/EAGE Conference and Exhibition. 2007. Society of Petroleum Engineers.
- [10]. Haias, H.K. and P.T.M. Jaf, Matrix Acidizing of Carbonate Formations: A Case Study.
- [11]. <https://downloadly.ir/software/engineering-specialized/stimcade/>.
- [12]. schlumberger, help software stimcade. 2016. Three Allen Center, Suite 1900, 333 Clay St, Houston, Texas 77002, Houston, USA.
- [13]. McLeod, H.O., "Significant Factors for Successful Matrix Acidizing," Paper presented at the SPE Centennial Symposium at New Mexico Tech, Socorro, New Mexico, 1989.
- [14]. Brannon, D.H., Netters, C.K., and Grimmer, P.J., "Matrix Acidizing Design and Quality-Control Techniques Prove Successful in Main Pass Area Sandstone," JPT, 931-942 (August 1987).
- [15]. Paccaloni, G., Tambini, M., and Galoppini, M., "Key Factors for Enhanced Results of Matrix Stimulation Treatments," SPE Paper 17154, 1988.
- [16]. Zhu, D., Hill, A.D., and da Motta, E.P., "On-site Evaluation of Acidizing Treatment of a Gas Reservoir," Paper SPE 39421 presented at the SPE International Symposium on Formation Damage Control, Lafayette, LA, February 18-19, 1998.
- [17]. Schechter, R.S., Oil Well Stimulation, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1992.
- [18]. Furui, K., Burton, R. C., Burkhead, D. W., Abdelmalek, N. A., Hill, A. D., Zhu, D., & Nozaki, M. (2012, March 1). A Comprehensive Model of High-Rate Matrix-Acid Stimulation for Long Horizontal Wells in Carbonate Reservoirs: Part I—Scaling Up Core-Level Acid Wormholing to Field Treatments. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/134265-PA
- [19]. Buijse, M. A. (2000, August 1). Understanding Wormholing Mechanisms Can Improve Acid Treatments in Carbonate Formations. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/65068-PA
- [20]. R. M. Shirley, D. Zhu, A. D. Hill, and E. P. Da Motta, Texas A&M University, Maximizing the Value of Matrix Acidizing Treatments in Carbonate Reservoirs.
- [21]. Wang, Y., Hill, A.D., and Schechter, R.S. The Optimum Injection Rate for Matrix Acidizing of Carbonate Formations. SPE 26578, Society of Petroleum Engineers, 1993.