

# بررسی آزمایشگاهی اثرات اسیدهای مختلف بر میزان انحلال سنگ مخزن بنگستان اهواز

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۷/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۳/۱۲

پژوهش نفت

سال بیست و دوم

شماره ۶۹

صفحه ۹۸-۱۰۹ ۱۳۹۱

محمد سلیمانی<sup>۱\*</sup>، رضا علی کرمی<sup>۱</sup> و مجتبی مصلح تهرانی<sup>۲</sup>  
 ۱- پژوهشگاه صنعت نفت، مرکز مطالعات تکنولوژی حفاری  
 ۲- پژوهش و توسعه شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب  
 Soleymanim@ripi.ir

## چکیده

در صنعت نفت از تزریق اسیدهای مختلف به روش‌های ماتریکسی و یا شکافت اسیدی به درون سازندهای کربناته به منظور رفع آسیب، افزایش نفوذپذیری، بهبود جریان سیال و بهره‌دهی و بهره‌برداری از مخازن استفاده می‌شود. در این تحقیق از نمونه‌های سنگ مخزن کربناته گروه بنگستان میدان اهواز و اسیدهای کلریدریک معمولی، امولسیون آلی و هیبریدی استفاده شد و میزان انحلال نمونه سنگ‌ها با گذشت زمان در دماهای ۲۵، ۶۰ و ۱۰۰ °C اندازه‌گیری و تأثیر پارامترهایی نظیر دما، غلظت و نوع اسید بر روی کاهش وزن و درصد حلالیت نمونه‌های سنگ با هم مقایسه گردید. هدف اصلی از این پژوهش، دستیابی به زمان مورد نیاز نگهداری اسید در برابر سنگ مخزن، جلوگیری از آسیب رسانی مجدد و در نهایت انتخاب بهترین نوع سیستم اسید برای انگیزش لایه‌های تولیدی است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در دماهای ۲۵، ۶۰ و ۱۰۰ °C، میزان انحلال ۵۰٪ نمونه سنگ در برابر اسیدهای هیدرولکلریدریک ۲۸٪ و ۱۵٪ در مقایسه با اسیدهای کندکار امولسیونی ۷۰/۳۰ و ۵۰/۵۰ در مدت زمان بسیار کمتری اتفاق می‌افتد. در مقایسه با قدرت انحلال اسیدهای

آلی و هیبریدی مشخص شد که زمان لازم برای انحلال ۵۰٪ نمونه سنگ مخزن در دمای ۱۰۰ °C در اسید آلی (اسید استیک ۱۰٪) برابر ۷۰۰، در اسیدهای هیبریدی به نسبت‌های ۵۰/۵۰ و ۸۰/۲۰ از اسید کلریدریک ۱۵٪ و استیک ۱۰٪، به ترتیب برابر ۲۵ و ۳۰ دقیقه می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که اسید هیبریدی به نسبت ۵۰/۵۰ از قدرت انحلال بالاتری در عملیات اسید زنی برخوردار بوده و می‌تواند در دماهای بالاتر مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: اسیدزنی، سنگ مخزن کربناته، میدان اهواز، حلالیت سنگ مخزن، سیستم‌های اسیدزنی

## مقدمه

اسیدکاری سازندهای حامل هیدروکربن اعم از نفت و گاز از دهه ۱۸۹۰ میلادی در صنعت نفت و گاز شروع شده است. از همان روزهای اولیه، انواع مختلف اسید و افزایش‌های متعدد کاربرد یافته و تحت آزمایش و مطالعه قرار گرفته‌اند تا بتوان به کمک آنها اسیدکاری را با بازدهی بیشتر انجام داد.

اسیدی که در روزهای اولیه به کار گرفته شد، اسید

- اسیدهای غیر آلی یا معدنی (اسید هیدروکلریک ۱۵ و ۲۸٪)

- اسیدهای آلی (اسید استیک ۱۰٪)

- اسیدهای امولسیون (ترکیبی از اسیدهای معدنی کلریدریک ۱۵٪ و گازوییل)

- اسیدهای هیبریدی (ترکیبی از نسبت‌های مختلف اسید کلریدریک و اسید استیک)

**افزایه‌ها:** در عملیات اسیدکاری بسیاری از مواد شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که از بین آنها می‌توان به ضد خوردگی‌ها، کاهنده‌های کشش سطحی، حلال‌های چندگانه، افزایه‌های کنترل آهن و عوامل انحراف‌ساز اشاره کرد [۲].

#### نمونه‌های سنگ مخزن یا مغزه<sup>۱</sup>

ترازو با دقت بالا

آون با قدرت حرارتی °C ۱۵۰

#### روش‌های آزمایشگاهی

**آماده‌سازی نمونه‌های سنگ مخزن با شکل هندسی مشخص** به منظور اندازه‌گیری دقیق و انجام محاسبات لازم در نتایج آزمایشات، نمونه‌هایی متحدالشکل، با اندازه و شکل هندسی مشخص و به تعداد مورد نیاز از سنگ مخزن میدان مورد مطالعه تهیه گردید [۳].

#### آماده‌سازی مایعات اسیدی

از آنجایی که هدف، بررسی و مقایسه اثرات اسیدهای مصرفی مختلف بر میزان انحلال نمونه سنگ مخزن است، لذا اسیدهایی با غلظت و افزایه‌های متفاوت آماده گردید.

#### شرایط آزمایشگاهی

- دمای ۲۵، ۶۰ و °C ۱۰۰

- شرایط استاتیکی و دینامیکی (با استفاده از هم زدن مغناطیسی)

#### دستورالعمل آزمایشات

در آزمایشات بررسی میزان حلالیت سنگ مخزن در حضور اسیدهای مختلف، سعی شد نمونه‌هایی متحدالشکل از سنگ مخزن به نسبت وزنی معین تهیه و درون سیستم‌های

هیدروکلریدریک بود. این اسید هم اکنون نیز به عنوان اسید شماره یک برای انگیزش چاه‌های نفت و گاز برای از بین بردن صدمات وارده به سازند مورد استفاده قرار می‌گیرد. اسیدکاری سازند یکی از روش‌های عمومی، بسیار متداول و بهترین روش در فرایند انگیزش و تحریک چاه‌های نفت و گاز جهت برطرف کردن آسیب دیدگی، افزایش نفوذپذیری و نهایتاً افزایش بهره‌دهی سنگ مخزن می‌باشد. این امر ممکن است با ایجاد خوردگی در خود سنگ مخزن یا خوردگی در ذراتی که باعث انسداد خلل و فرج موجود در سنگ مخزن شده، انجام گیرد. هر چه خلل و فرج بیشتر به هم راه داشته باشند، ارتباط سیال داخل آنها با یکدیگر بیشتر خواهد بود. در این حالت نفوذپذیری به حد بالاتری رسیده و در نتیجه عبور سیال از بین این خلل و فرج سریع‌تر و راحت‌تر انجام می‌گیرد. اکثراً در چاه‌های نفت و گاز به علت آسیب‌های وارده به سازند در منطقه نزدیک چاه، نفوذپذیری کاهش می‌یابد. از جمله عوامل این آسیب‌ها، گل‌های حفاری هستند که در هنگام حفاری با نفوذ در لایه‌ها ایجاد آسیب می‌کنند. رسوبات مواد آلی و معدنی نیز از جمله این موادند. برای رفع موضوع و افزایش تولید چاه باید به درمان و انگیزش لایه‌ها پرداخته شود. با طراحی مناسب عملیات، می‌توان بهبود چشمگیری در تولید یک سازند حاصل کرد. یک رویکرد منطقی برای موفقیت‌آمیز بودن عملیات تحریک چاه، شامل مراحل انتخاب چاه مناسب، شناسایی آسیب سازند، انتخاب روش انگیزش مناسب، طراحی صحیح، اجرا و ارزیابی عملیات می‌باشد. هدف اساسی در اجرای آزمایشات این است که عملیات اسیدزنی در میدین نفتی ایران کاملاً نظام‌مند گشته و روش‌های مناسب و فراخور میدان جهت طراحی و ارزیابی عملیات اسید کاری تدوین گردد. عملیات اسیدکاری مناسب هر میدان که با استفاده از تجارب و نتایج آزمایشگاهی اجرا شود، در شرایط خصوصیات متفاوت مخازن، منجر به موفقیت در عملیات تحریک چاه و ادامه حیات یک میدان نفتی خواهد شد [۱].

#### اندازه‌گیری میزان حلالیت اسید

#### مواد و تجهیزات مورد نیاز

اسیدها: انواع اسیدهای مورد استفاده عبارتند از:

### آزمایشات حلالیت در دمای $25^{\circ}\text{C}$

میزان کاهش جرم و درصد انحلال نمونه سنگ در تماس با اسید با گذشت زمان، به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ رسم شده است. اندازه‌گیری جرم نمونه‌ها در حضور انواع اسیدها، از شروع آزمایش تا زمانی ادامه می‌یابد که میزان کاهش جرم ناچیز شده باشد و یا بر اساس تجربه، آزمایشات اندازه‌گیری کاهش وزن نمونه‌ها تا زمانی که میزان نرمالیت اسید در تماس با نمونه سنگ کمتر از ۱ نشده باشد، ادامه می‌یابد [۷ و ۸].

با توجه به نمودارهای حلالیت نمونه سنگ در تماس با اسیدهای مختلف در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  مشخص شد:

- حلالیت جرم نمونه در اسید در لحظات اولیه زیاد بوده و با مصرف اسید از قدرت حلالیت آن کاسته می‌شود.  
- قدرت حلالیت اسید امولسیون  $70/30$  بیش از قدرت حلالیت اسید امولسیون  $50/50$  است، به طوری که پس از گذشت  $5000$  دقیقه از شروع آزمایش، حدود  $87\%$  از جرم نمونه در اسید امولسیون  $70/30$  حل می‌شود، در حالی که در همین مدت، میزان انحلال سنگ مخزن در اسید امولسیون  $50/50$  فقط  $12\%$  می‌باشد.

- مشاهده شد در لحظات اولیه، تغییر جرم نمونه بسیار ناچیز است که نشان‌دهنده روند تأخیری اسیدهای امولسیون می‌باشد. باید توجه داشت که پس از گذشت زمان مشخصی از شروع آزمایش، روند شدید کاهش جرم نمونه در تماس با اسید ادامه می‌یابد که این کاهش شدید جرم نمونه، ناشی از تفکیک فازهای امولسیون و افزایش قدرت حلالیت فاز اسیدی جدا شده از امولسیون می‌باشد [۹].

### آزمایشات حلالیت سنگ در دمای $60^{\circ}\text{C}$

نتایج مقادیر اندازه‌گیری جرم و درصد حلالیت نمونه سنگ مخزن در تماس با اسیدهای امولسیون ( $50/50$  و  $70/30$ ) و همچنین اسید کلریدریک  $15\%$  به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود. یافته‌های آزمایشگاهی در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  نشان می‌دهد که:

- روند کاهش جرم و همچنین افزایش درصد حلالیت نمونه در اسید کلریدریک  $15\%$  در لحظات اولیه شروع آزمایش خیلی تند است که با گذشت زمان و مصرف اسید، روند کاهش جرم نمونه کمتر می‌شود.

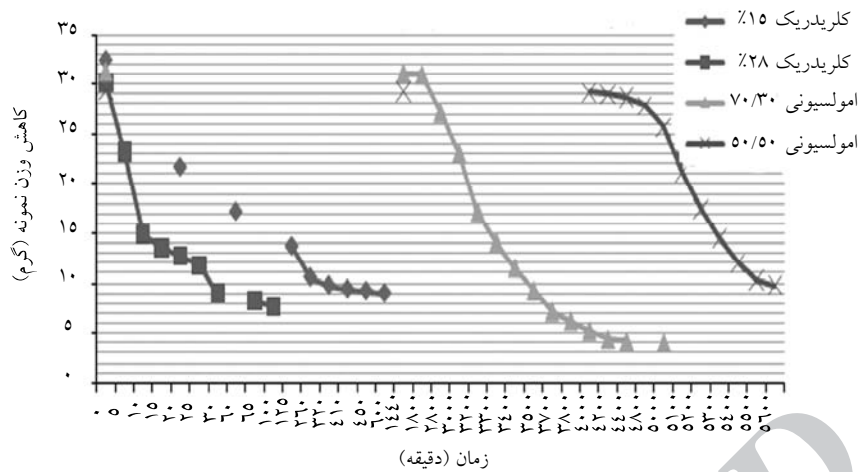
مختلفی از اسید قرار گیرند. در ادامه، میزان وزنی از سنگ که در دماهای مختلف و در حضور اسیدهای معمولی، آلی، امولسیونی و هیبریدی کاهش یافته، اندازه‌گیری می‌شود. به منظور آنالیز نتایج عملکرد اسیدها بر سنگ مخزن، نمودار درصد کاهش وزنی نمونه‌ها برحسب زمان در دماهای مختلف رسم می‌شود. لازم به ذکر است در این راستا و به منظور دستیابی به دستورالعمل مورد قبول، مقالات مختلف علمی در این رابطه مطالعه و مشخص شد که در آزمایشات، نسبت وزن اسید به سنگ باید ۱ به ۳ و یا ۱۰ به ۱ در نظر گرفته شود [۴ و ۵].

آزمایشات حلالیت در شرایط دینامیکی با استفاده از هم زدن مغناطیسی انجام گرفته است [۶]. تجربه آزمایشات ما نشان داد که بهتر است ابتدا نمونه‌های مرطوب، وزن گشته و سپس درون اسید قرار گیرند. همچنین در هر بار خروج نمونه‌های سنگ از اسید، نمونه‌ها با آب شسته شده و سپس وزن گردند که این عمل برای صرفه‌جویی در زمان و حذف یک سری اعمال غیر ضروری مانند خشک کردن نمونه پس از خروج از اسید می‌باشد.

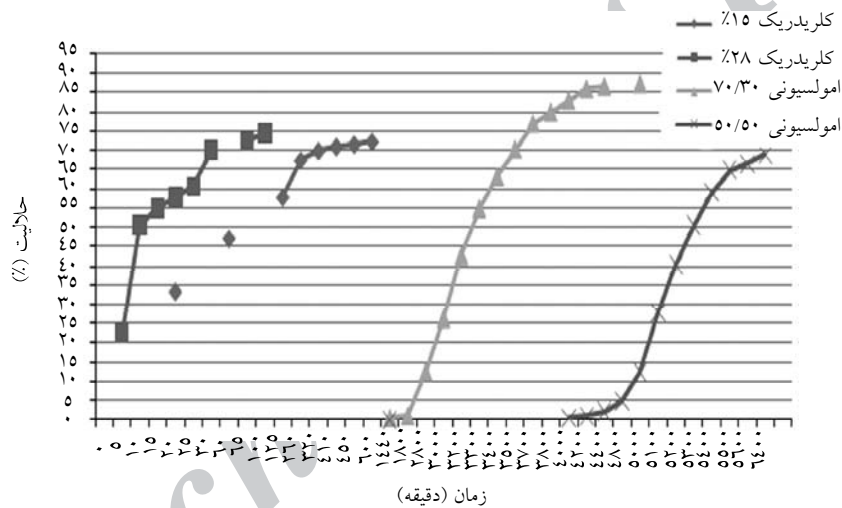
### بحث بر روی نتایج

#### تست حلالیت اسیدهای معدنی و امولسیونی

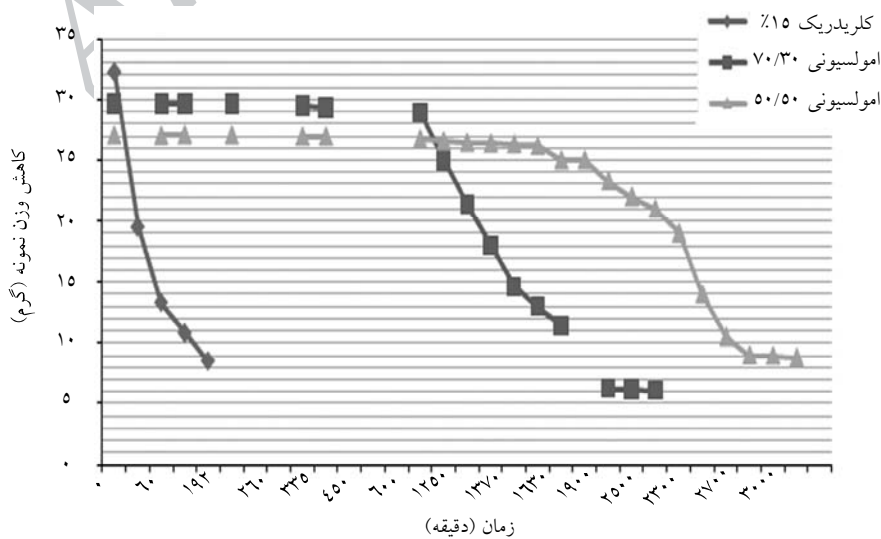
نمودار نتایج آزمایشات بررسی اثر درجه حرارت بر حلالیت نمونه‌های سنگ مخزن در حضور اسیدهای معدنی و امولسیونی، در شکل‌های ۱ تا ۹ مشاهده می‌شود. در این آزمایشات، نسبت جرم سنگ به جرم اسید (هیدروکلریک ساده  $15\%$  و  $28\%$ )، ۱ به ۳ و برای اسیدهای امولسیونی، ۱ به ۷ انتخاب شده است. علت تعیین نسبت‌ها این بوده که اولاً سنگ مخزن انتخاب شده تا حدود زیادی حل شود و مقدار کمی از جرم آن باقی بماند، ثانیاً پس از خاتمه واکنش، اسید زنده در سیستم باقی نمانده و به عبارت دیگر در انتهای واکنش، تمام سنگ حل نشده باشد. همچنین علت اینکه نسبت‌های جرم اسید به جرم سنگ برای دو نوع سیستم اسید امولسیونی و معدنی یکسان نمی‌باشد، این است که قدرت حل‌کنندگی اسید امولسیونی در مقایسه با اسید معدنی کمتر بوده و حجم بیشتری از اسید امولسیونی برای انجام تست‌های حلالیت استفاده می‌شود.



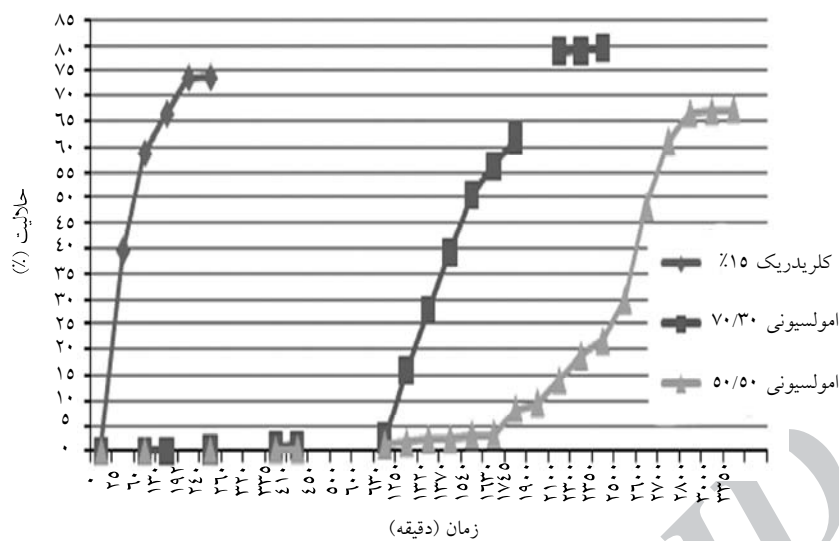
شکل ۱- نمودار میزان حلالیت سنگ مخزن در اسیدهای مختلف در ۲۵ °C



شکل ۲- نمودار سرعت نسبی واکنش اسیدها با نمونه سنگ در دمای ۲۵ °C



شکل ۳- نمودار مقایسه میزان حلالیت نمونه سنگ در اسیدهای مختلف در دمای ۶۰ °C



شکل ۴- نمودار سرعت‌های نسبی واکنش اسیدها با نمونه سنگ در دمای  $60^{\circ}\text{C}$

همچنین قدرت حلالت سیستم امولسیون  $70/30$  بیش از اسید امولسیونی  $50/50$  است به گونه‌ای که پس از گذشت ۱۵ دقیقه از شروع آزمایش، در حدود ۹۳، ۵۰ و  $0/2\%$  از نمونه سنگ مخزن به ترتیب در اسیدهای کلریدریک  $28\%$  و  $15\%$  و امولسیونی  $70/30$  حل شده است لازم به ذکر است که در این مدت اسید امولسیونی  $50/50$  قادر به انحلال نمونه نشده است.

- در دمای  $100^{\circ}\text{C}$ ، مدت زمان لازم برای مصرف کامل و تثبیت قدرت حلالت اسیدهای کلریدریک  $28\%$ ،  $15\%$  و امولسیونی  $70/30$ ،  $50/50$  به ترتیب بعد از ۱۵، ۳۵، ۶۰۰ و ۹۰۰ دقیقه اتفاق می‌افتد.

**تأثیر دما و زمان بر درصد انحلال نمونه سنگ در اسیدهای مختلف**  
در این بخش تأثیرگذاری دما بر میزان انحلال سنگ مخزن در حضور اسیدهای مختلف مقایسه شده است که نتایج آن به شرح زیر می‌باشد:

- مدت زمان لازم برای انحلال مقدار  $80\%$  نمونه در اسید هیدروکلریک  $15\%$  در دماهای ۲۵، ۶۰ و  $100^{\circ}\text{C}$  به ترتیب ۵۰۰، ۱۰۰ و ۲۵ دقیقه می‌باشد (نمودارهای شکل ۶).

همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، در دماهای ۲۵ و  $100^{\circ}\text{C}$  به ترتیب ۱۰۰ و ۱۰ دقیقه زمان لازم است تا حدود  $80\%$  نمونه سنگ مخزن در اسید کلریدریک  $28\%$  حل گردد.

- برای انحلال  $80\%$  نمونه در اسید امولسیونی  $70/30$  در دمای ۲۵، ۶۰ و  $100^{\circ}\text{C}$  به ترتیب ۲۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۵۰۰ دقیقه زمان لازم است. (شکل ۸).

- در لحظات اولیه تماس اسیدهای امولسیونی با نمونه، کاهش جرم بسیار ناچیز است و پس از گذشت زمان مشخصی از شروع یعنی ۶۳۰ و ۱۹۰۰ دقیقه به ترتیب برای نسبت‌های امولسیونی  $70/30$  و  $50/50$ ، روند شدیدی در کاهش جرم نمونه مشاهده می‌شود. این امر بیانگر این است که تفکیک فازهای امولسیونی و جدا شدن اسید از سیستم انجام گرفته است. بنابراین نتایج به دست آمده، خاصیت کندکاری اسیدهای امولسیونی را مورد تأیید قرار می‌دهد.

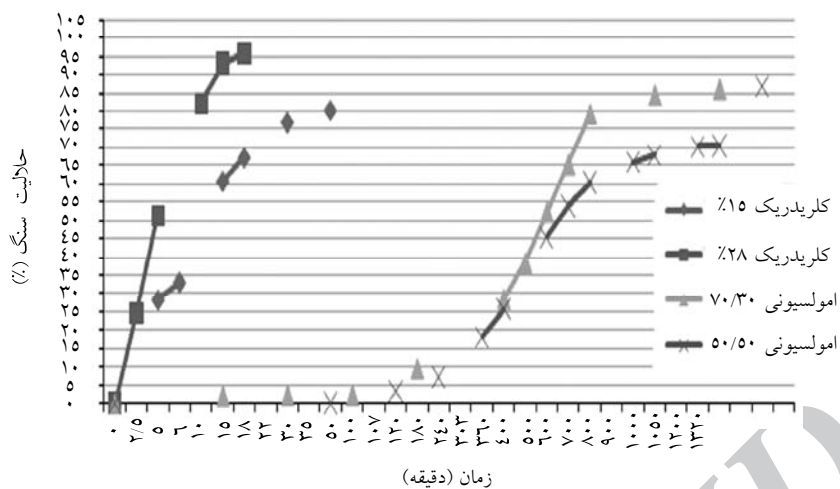
- در دمای  $60^{\circ}\text{C}$ ، قدرت حلالت زیاد اسید کلریدریک  $15\%$  نسبت به اسیدهای امولسیونی و همچنین قدرت حلالت بالاتر اسید امولسیونی  $70/30$  در مقایسه با اسید  $50/50$  به خوبی مشخص می‌شود.

#### آزمایشات حلالت در $100^{\circ}\text{C}$

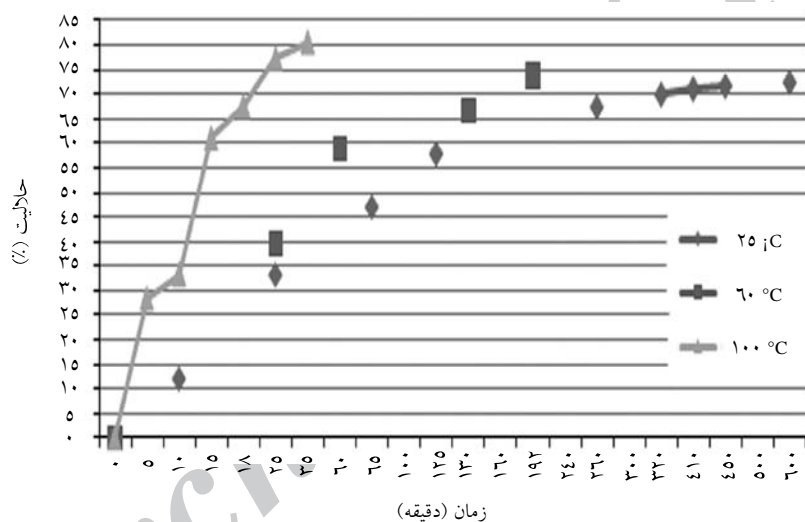
مقادیر اندازه‌گیری درصد حلالت نمونه سنگ مخزن در تماس با اسیدهای مختلف معدنی (کلریدریک  $15\%$  و  $28\%$ ) و امولسیونی ( $70/30$  و  $50/50$ )، در شکل ۵ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد:

- در لحظات اولیه تماس سنگ مخزن با سیستم اسیدهای معدنی، کاهش شدید جرم نمونه‌ها در مقایسه با اسیدهای امولسیونی اتفاق می‌افتد که این پدیده حاکی از حفظ خاصیت کندکاری اسیدهای امولسیونی در مقایسه با نوع معدنی در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  می‌باشد.

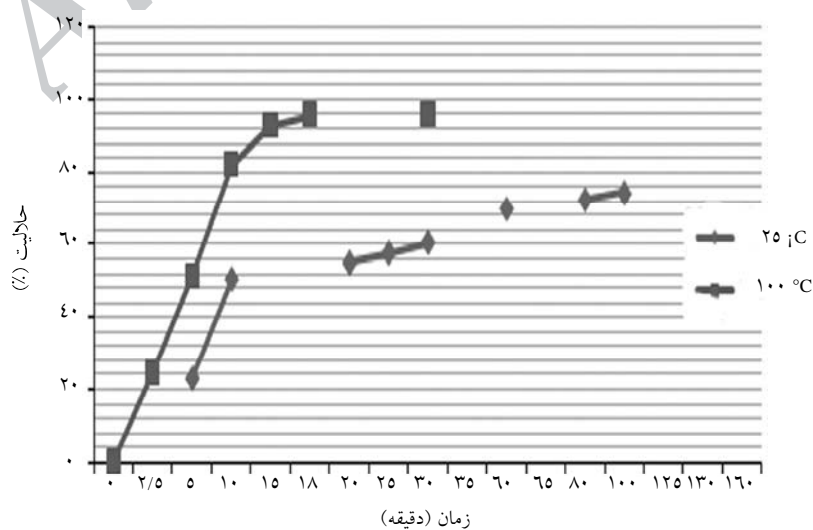
- قدرت حلالت اسید کلریدریک  $28\%$  بیش از اسید  $15\%$



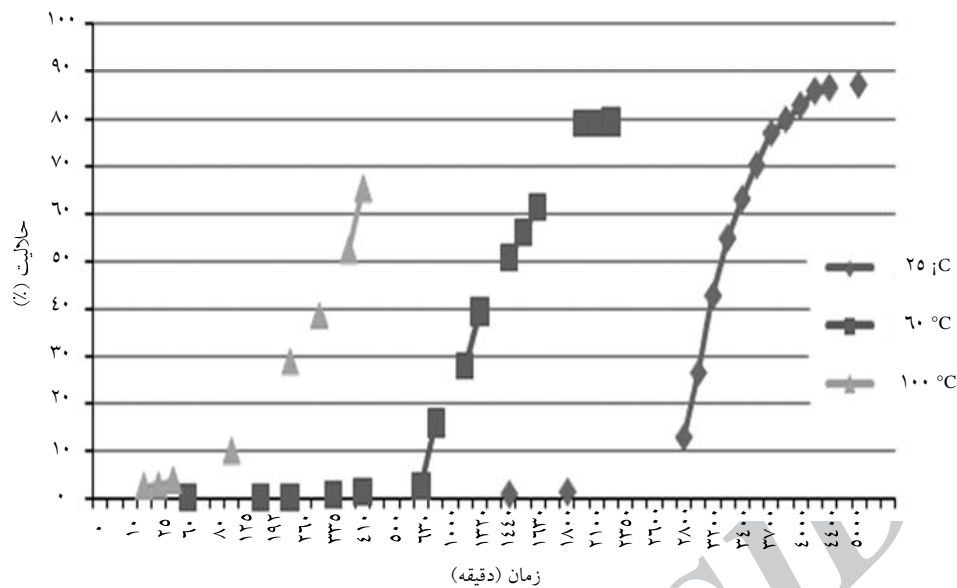
شکل ۵- نمودار سرعت نسبی واکنش اسیدها با نمونه سنگ در دمای ۱۰۰ °C



شکل ۶- نمودار سرعت نسبی واکنش اسید کلریدریک ۱۵٪ با نمونه سنگ در دماهای مختلف



شکل ۷- نمودار سرعت نسبی واکنش اسید کلریدریک با نمونه سنگ در دماهای مختلف



شکل ۸- نمودار میزان حلالیت نمونه سنگ در اسید امولسیون ۷۰/۳۰ در دمای مختلف

میزان حلالیت برای اسید آلی و بیشترین مقدار برای اسید هیبریدی ۵۰/۵۰ بوده است. نتایج مقایسه عملکرد حلالیت استاتیکی سنگ مخزن در حضور اسیدهای آلی و هیبریدی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی نیز در نمودار شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود.

#### مقایسه کلی عملکرد سیستم‌های مختلف اسید در میزان حلالیت سنگ مخزن

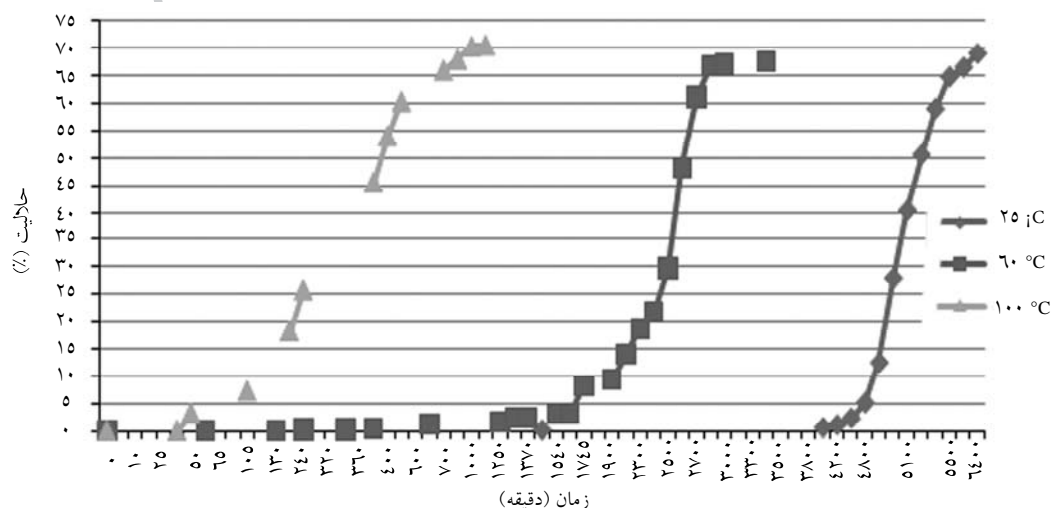
به منظور تجزیه و تحلیل بهتر، عملکرد اسیدهای مصرفی از جنبه‌های دیگر مانند مدت زمان لازم برای انحلال درصدهای مختلف سنگ در دماهای ۲۵، ۶۰ و ۱۰۰ °C مقایسه شده که نتایج آن به ترتیب در شکل‌های ۱۲، ۱۳ و ۱۴ آورده شده است.

- مطابق شکل ۹، مدت زمان لازم برای انحلال ۷۰٪ نمونه در اسید امولسیون ۵۰/۵۰ در دماهای ۲۵، ۶۰ و ۱۰۰ °C به ترتیب ۵۵۰۰، ۳۰۰۰ و ۸۰۰ دقیقه می‌باشد.

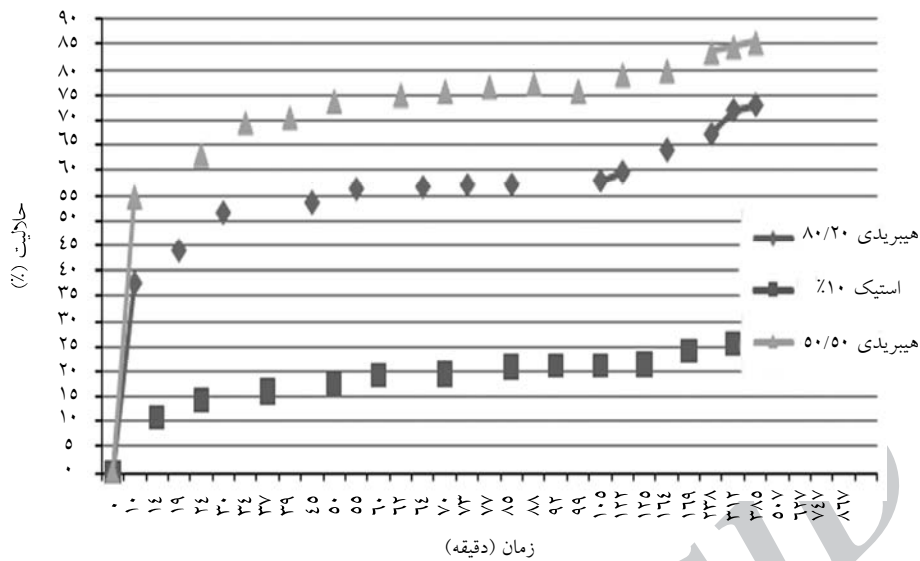
#### تست حلالیت اسیدهای آلی و هیبریدی

در این آزمایشات از سیستم‌های اسید آلی (اسیتیک ۱۰٪) و هیبریدی به نسبت‌های ۵۰/۵۰ و ۸۰/۲۰ (اسیدهای اسیتیک ۱۰٪ و کلریدریک ۱۵٪) برای بررسی تأثیر اسید بر انحلال سنگ مخزن استفاده شده است. برای این منظور اسید و سنگ، درون حمامی با دمای ۱۰۰ °C قرار می‌گیرد تا شرایط تقریبی مخزن حاکم باشد [۱۰].

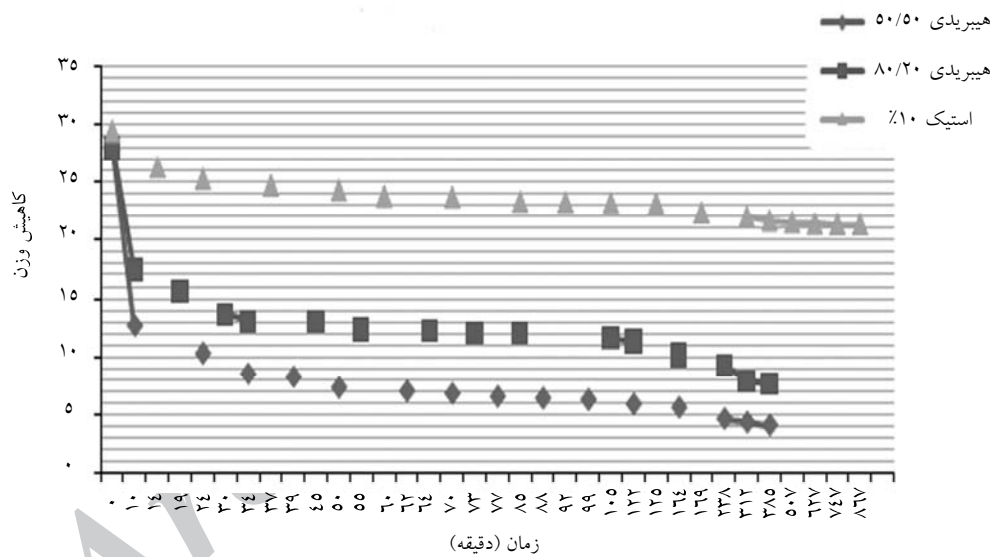
شکل‌های ۱۰ و ۱۱، کاهش جرم و حلالیت‌پذیری سنگ مخزن را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود کمترین



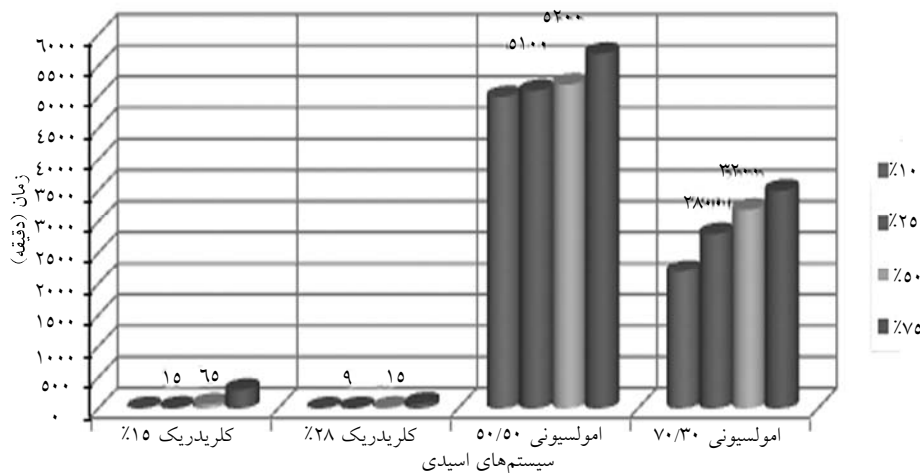
شکل ۹- نمودار میزان حلالیت نمونه سنگ در اسید امولسیون ۵۰/۵۰ در دماهای مختلف



شکل ۱۰- نمودار مقایسه جلایت استاتیکی سنگ مخزن در حضور اسیدهای هیبریدی و آلی

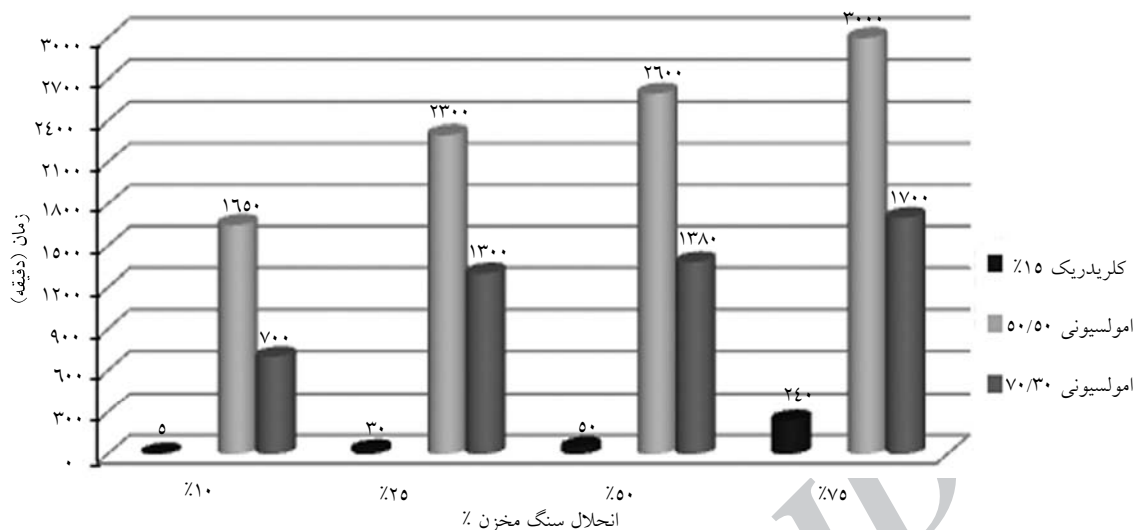


شکل ۱۱- نمودار مقایسه (کاهش وزن) سنگ مخزن در حضور اسیدهای هیبریدی و آلی

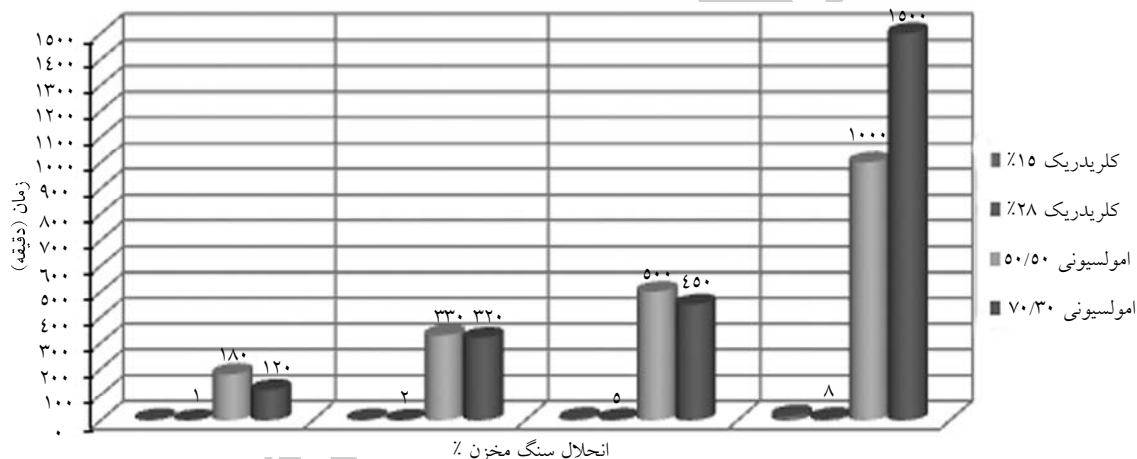


شکل ۱۲- زمان لازم برای جلایت استاتیکی سنگ مخزن در اسیدهای مختلف در دمای ۲۵ °C





شکل ۱۳- نمودار مقایسه زمان لازم برای حلالیت استاتیکی سنگ مخزن (٪ مشابه) اسیدهای معدنی و امولسیون‌ها در دمای ۶۰ °C



شکل ۱۴- نمودار مقایسه زمان لازم برای حلالیت استاتیکی سنگ مخزن (٪ مشابه) اسیدهای معدنی و امولسیون‌ها در دمای ۱۰۰ °C

حداقل و حداکثر مقدار سنگ مخزن در حضور اسید آلی ۲۰ تا ۹۰۰ دقیقه و برای اسید هیبریدی، ۲۰ تا ۳۲۵ دقیقه زمان لازم است (شکل ۱۵).

#### مقایسه تأثیر دما و زمان بر درصد حلالیت استاتیکی سنگ مخزن در حضور اسیدها

زمان لازم برای انحلال درصدهای مساوی از سنگ مخزن در سیستم‌های مختلف اسیدکاری در دماهای ۲۵، ۶۰ و ۱۰۰ °C در شکل‌های ۱۶ تا ۱۸ مشاهده می‌شود که در این نمودارها، کندکاری اسید امولسیونی کاملاً مشهود است.

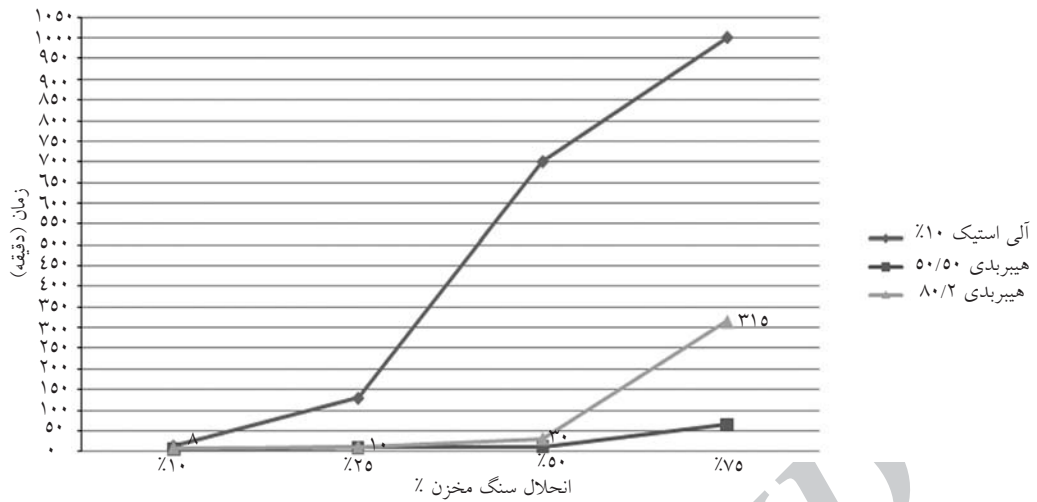
زمان لازم برای انحلال درصدهای مختلف سنگ مخزن در حضور سیستم‌های اسیدزنی سنگ مخزن بنگستان اهواز در دمای ۱۰۰ °C در شکل ۱۹ رسم گردیده که مطابق این شکل کندکاری اسیدهای امولسیونی و آلی کاملاً مشهود است.

نتایج شکل ۱۳ نشان می‌دهند که در دمای ۶۰ °C برای انحلال حداقل و حداکثر مقدار سنگ مخزن در حضور اسید امولسیونی مدت زمان زیادی از ۱۶۵۰ تا ۳۰۰۰ دقیقه لازم است که در مقایسه با سایر اسیدها، زمان بسیار زیادی است.

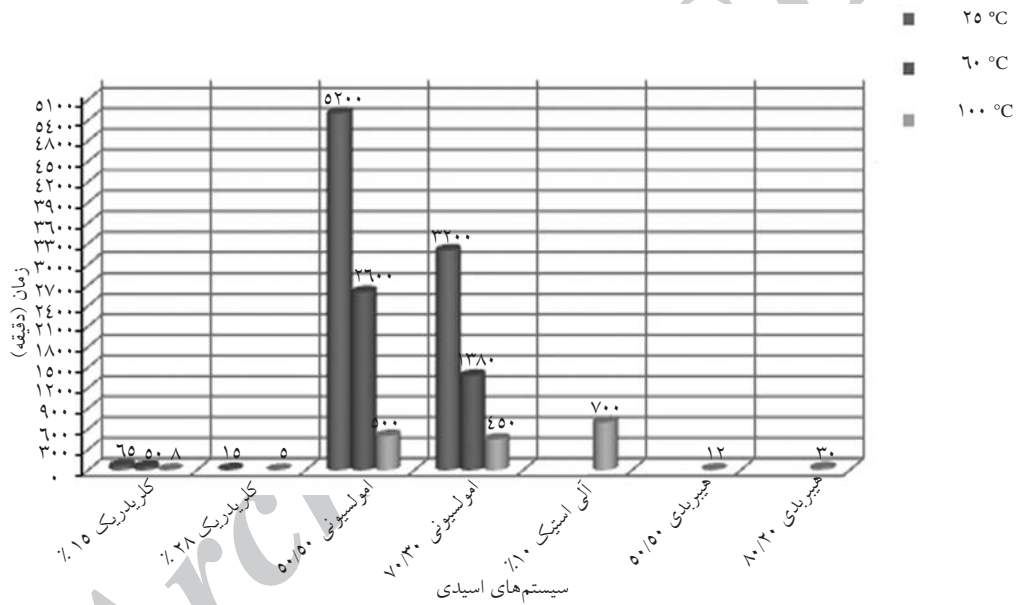
نتایج ارائه شده در شکل ۱۴ نشان می‌دهد که در دمای ۱۰۰ °C، برای انحلال حداقل و حداکثر مقدار سنگ مخزن در حضور اسید امولسیونی زمان زیادی (۱۸۰ تا ۱۵۰۰ دقیقه) لازم است که در مقایسه با سایر سیستم‌های اسیدی، کاملاً کندکار است. حلالیت استاتیکی اسید امولسیونی ۷۰/۳۰ در این دما نسبت به سایر سیستم‌ها کمتر می‌باشد.

#### مقایسه قدرت انحلال سنگ مخزن در حضور اسیدهای آلی و هیبریدی

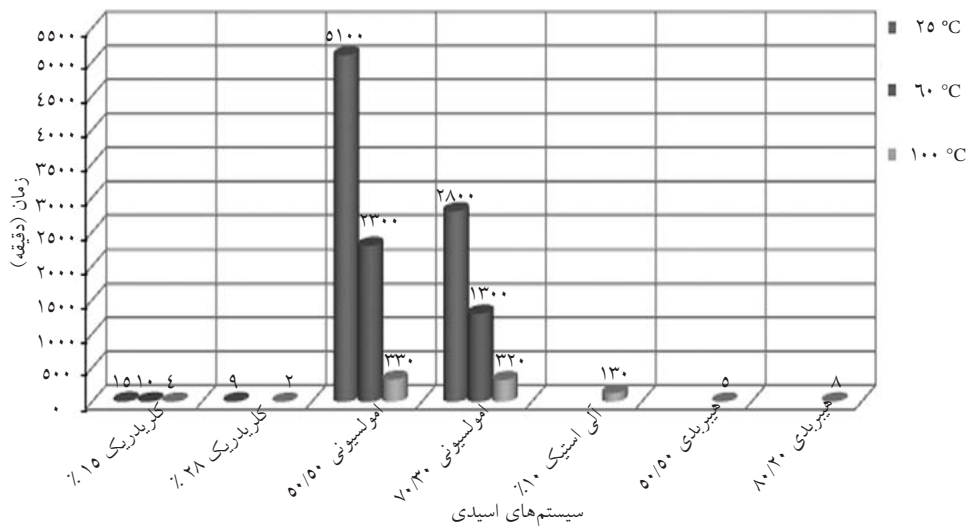
نتایج نشان می‌دهد که در دمای ۱۰۰ °C، برای انحلال



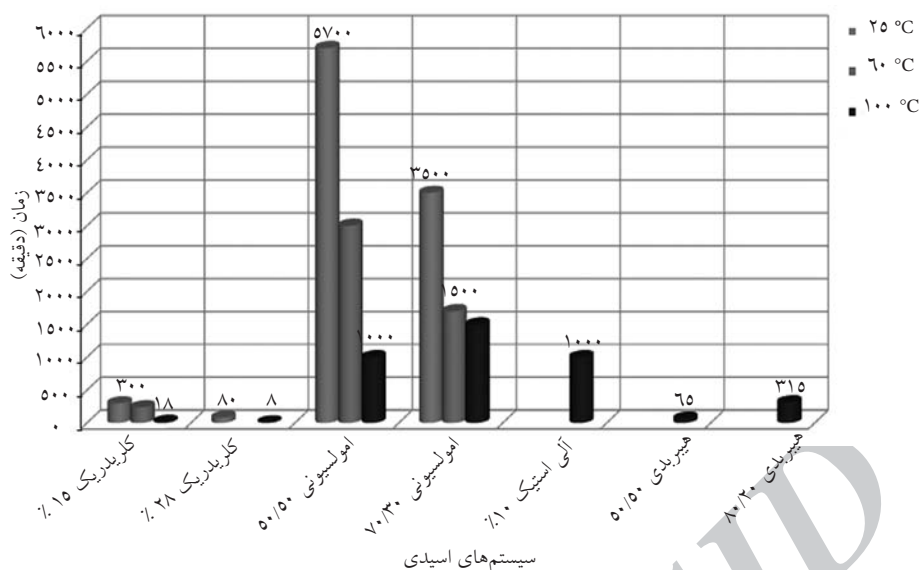
شکل ۱۵- نمودار مقایسه زمان لازم برای حلالیت استاتیکی سنگ مخزن (% مشابه) در اسیدهای آلی و هیپریدی در دمای ۱۰۰ °C



شکل ۱۶- تأثیر دما بر زمان لازم برای انحلال ۵۰٪ سنگ مخزن توسط اسیدهای مختلف



شکل ۱۷- تأثیر دما بر زمان لازم برای انحلال ۲۵٪ سنگ مخزن توسط اسیدهای مختلف



شکل ۱۸- تأثیر دما بر زمان لازم برای انحلال ۷۵٪ سنگ مخزن توسط اسیدهای مختلف



شکل ۱۹- زمان لازم برای حلالیت استاتیکی سنگ مخزن (% مختلف) در دمای ۱۰۰ °C در سیستم‌های اسیدزنی مختلف

### نتیجه‌گیری

انحلال ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵٪ از نمونه سنگ مخزن در اسید کلریدریک ۲۸٪، به ترتیب ۵، ۹، ۱۵ و ۸۰ دقیقه زمان و برای اسید کلریدریک ۱۵٪، به ترتیب ۱۵، ۶۰ و ۳۰۰ دقیقه زمان لازم است. در ۲۵ °C اسید امولسیونی ۵۰/۵۰ توانسته ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵٪ از نمونه سنگ مخزن را به ترتیب در ۵۰۰۰، ۵۱۰۰، ۵۲۰۰ و ۵۷۰۰ دقیقه و اسید امولسیونی ۷۰/۳۰ همین درصد از سنگ مخزن را در ۲۲۰۰، ۲۸۰۰، ۳۲۰۰ و ۳۵۰۰ دقیقه حل نماید. اندازه‌گیری‌ها نشان دادند که در دمای ۶۰ °C و در لحظات اولیه شروع آزمایش، کاهش جرم نمونه در اسید کلریدریک معمولی خیلی بیشتر از کاهش جرم در حضور اسیدهای امولسیونی است و

در دمای ۲۵ °C از نظر قدرت حل‌کنندگی نمونه سنگ، اسید معدنی کلریدریک ۲۸٪، ۱۵٪ و اسیدهای امولسیونی ۷۰/۳۰ رتبه‌های اول تا سوم را دارند و امولسیونی ۵۰/۵۰ دارای کمترین قدرت حلالیت می‌باشد. در دمای ۲۵ °C قدرت حلالیت اسیدهای امولسیونی در لحظات اولیه آزمایش خیلی کم است، به طوری که پس از گذشت ۱۰۰ دقیقه برای هر دو سیستم، هیچ‌گونه کاهش جرمی مشاهده نمی‌شود. در صورتی که در زمان مشابه، اسیدهای معدنی ۲۸٪، ۱۵٪ به ترتیب قادر به حل ۷۵٪ و ۵۴٪ از جرم نمونه می‌باشند. در دمای ۲۵ °C برای

امولسیون ۵۰/۵۰ به ترتیب ۱۸۰، ۳۳۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ دقیقه زمان و برای اسید امولسیونی ۷۰/۳۰، ۱۲۰، ۷۰/۳۰، ۳۲۰، ۴۵۰ و ۶۰۰ دقیقه زمان لازم است. مقایسه قدرت انحلال اسیدها نشان می‌دهد که مقدار نمونه سنگ باقی‌مانده در حضور اسید آلی (استیک ۱۰٪)، بیشتر و حلالیت‌پذیری آن کمتر است در حالی که اسید هیبریدی ۵۰/۵۰ از اسیدهای استیک و کلریدریک ۱۵٪، قدرت انحلال بالاتری داشته و می‌تواند در عملیات اسیدزنی منطقه مؤثر باشد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از پرسنل واحد پژوهش حفاری پژوهشکده مهندسی نفت به ویژه افرادی که در انجام آزمایشات مرتبط یاری کرده‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

پس از گذشت ۱۳۰ دقیقه، مقدار ۶۲٪ از نمونه در اسید ۱۵٪ حل شده است، در صورتی که برای اسیدهای امولسیونی ۷۰/۳۰ و ۵۰/۵۰ اصلاً حلالیتی مشاهده نمی‌شود. در دمای ۶۰ °C برای انحلال ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵٪ از نمونه سنگ مخزن توسط اسید کلریدریک ۱۵٪ به ترتیب ۳، ۱۰، ۴۰ و ۳۰۰ دقیقه زمان لازم است. در دمای ۶۰ °C انحلال ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵٪ از نمونه سنگ مخزن توسط اسید امولسیونی ۵۰/۵۰ به ترتیب در ۱۶۵۰، ۲۳۰۰، ۲۶۰۰ و ۳۰۰۰ دقیقه و اسید امولسیونی ۷۰/۳۰ در ۷۰۰، ۱۳۰۰، ۱۳۸۰ و ۱۷۰۰ دقیقه اتفاق می‌افتد.

در دمای ۱۰۰ °C میزان انحلال ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵٪ از نمونه سنگ مخزن در برابر اسیدهای کلریدریک ۲۸٪، به ترتیب در ۱، ۲، ۵ و ۸ دقیقه و اسید کلریدریک ۱۵٪ در ۴، ۵، ۸ و ۱۸ دقیقه اتفاق می‌افتد. در دمای ۱۰۰ °C برای انحلال ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۷۵٪ از نمونه سنگ مخزن در اسید

### مراجع

- [۱]. سلیمانی م، گزارش پروژه، «بررسی نتایج اسیدکاری بنگستان اهواز و ارائه مناسب‌ترین شیوه اسید کاری»، پژوهشگاه صنعت نفت، ۱۳۸۹.
- [۲]. سلیمانی م، اسیدزنی چاه‌های هیدروکربنی، جزوه آموزشی، پژوهشگاه صنعت نفت ۱۳۸۰.
- [۳]. سلیمانی م، بررسی آزمایشگاهی واکنش بین سنگ و اسید در اسیدزنی ماتریکسی و شکافت اسیدی، ترجمه مقاله SPE ۳۰۰۸۵، پژوهشگاه صنعت نفت ۱۳۸۳.
- [۴]. سلیمانی م، روش‌های موجود و معاصر برای اسیدزنی ماتریکسی، ترجمه مقاله SPE ۳۸۵۹۴، پژوهشگاه صنعت نفت ۱۳۸۵.
- [۵]. سلیمانی م، کاربرد اسیدهای ژله‌ای در اسیدزنی ماتریکسی، ترجمه مقاله Journal of technology, 38fj jun, ۲۰۰۳، پژوهشگاه صنعت نفت ۱۳۸۷.
- [6]. Williams B.B., Gidley J.L., and Schechter R.S, "Acidizing Fundamentals, Monograph Series", SPE, Richardson, TX (1979).
- [7]. Abrams A. et al., Higher-pH Acid Stimulation Systems, JPT (December 1983) 2175.
- [8]. BJ Co, Fundamentals of Acidizing, BJ services, 1991.
- [9]. Buijse M., De Boer P. and Breukel B., "Organic acids in carbonate acidizing", SPE Prod. Fac.
- [10] Xie X., Weiss W.W., Tong z. and Morrow N.R., "Improved oil recovery from carbonate reservoirs chemical stimulation", SPEJ ; Vol.10, No.3, pp. 276-285, September 2005.