

# بررسی تأثیر مواد فعال سطحی بر ترشوندگی جامدات سیال حفاری امولسیون معکوس

پژوهش نفت

سال هجدهم  
شماره ۵۸  
صفحه ۶۴-۷۰، ۱۳۸۷

محبوبه سعیدی<sup>\*</sup>، سهیلا محبعلی<sup>۱</sup>، روا پرهیزکار<sup>۱</sup>، سیدعلیرضا مرتضوی<sup>۲</sup> و سیدمحمدجواد مجتهدی<sup>۲</sup>

۱- پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده شیمی و پتروشیمی

۲- پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده اکتشاف و تولید

saeidim@ripi.ir

واژه‌های کلیدی: امولسیون معکوس، سیال حفاری، ترشوندگی، فسفولیپید، الکیل ایمیدازولین

چکیده

در حفاری سازندهای فعال و سست چاه‌های هیدروکربنی برای ممانعت از تأثیر آب بر آن‌ها سیال حفاری امولسیونی معکوس (W/O) به کار می‌رود. سیستم‌های مختلف سیال حفاری امولسیونی (W/O) شامل جامداتی مانند وزن افزاها و خاک‌های حاصل از حفاری هستند که نباید آب جذب کنند و هیدراته شوند. ماهیت آب دوستی وزن افزایه‌هایی مانند باریم سولفات (باریت) و کلسیم کربنات (کلسیت) را در سیال امولسیونی، مرکب از محلول اشباع کلسیم کلراید یا سدیم کلراید و فاز نفتی، با افزایش مواد فعال سطحی می‌توان اصلاح کرد. در این مقاله تأثیر فسفولیپید و الکیل ایمیدازولین به عنوان عوامل رقیق‌کننده سیال امولسیونی معکوس مطالعه شده است. در مجاورت این دو افزودنی ترشوندگی باریم سولفات و کلسیم کربنات با اندازه‌گیری خواص رئولوژیکی مانند نقطه واروی و استحکام ژل سیال حفاری امولسیونی معکوس ارزیابی شد. الکیل ایمیدازولین قدرت نفت ترکندگی بیشتری در کلیه سیستم‌های امولسیونی دارد و نقطه واروی و استحکام ژل سیال حفاری امولسیونی معکوس را به شدت کاهش می‌دهد.

## مقدمه

سیالات امولسیونی معکوس (آب در روغن) در صنعت حفاری اهمیت ویژه‌ای دارند و برای غلبه بر نقایص سیال حفاری پایه آبی توسعه داده شده‌اند [۱-۳]. نقایص گل پایه آبی به خواص آب، به ویژه قدرت انحلال نمک‌ها، تداخل با جریان سیال سازند، بالا بردن احتمال ریزش و تخریب دیواره‌های رسی و ایجاد خوردگی و فرسایش مربوط می‌شود. به علاوه سیال امولسیونی معکوس قدرت روان‌سازی بهتر و نقطه انجماد پایین‌تری نیز دارد.

سیال حفاری، ضمن گردش در سیستم حفاری، انتقال مواد حفاری شده، خنک و روان کردن مته، ایجاد پوشش روی دیوار سازند برای جلوگیری از ایجاد شکاف یا حفره و نفوذ ناخواسته سیال به سازند و بالعکس و شناور ساختن ادوات حفاری را انجام می‌دهد. علاوه بر این سیال باید پایداری حرارتی داشته و قابل اصلاح و استفاده مجدد نیز باشد. یکی از مسائل اصلی مهندسی سیال حفاری،

نفی با ساختار شیمیایی مختلف بر خواص رئولوژیکی سیال حفاری امولسیون معکوس بررسی شده است.

### بخش تجربی

دستگاه‌ها و مواد:

- پتانسیومتر مدل fann 23D شرکت باروید
- دستگاه ویسکومتر fann VG مدل ۳۵ شرکت باروید
- مشتق آلکیل ایمیدازولین محصول واکنش تراکمی دی‌اتیلن تری آمین با اسید چرب [۸]
- فسفو لپید گیاهی استخراج شده از دانه گیاهی سویا

### آزمایش‌ها و روش‌های ارزیابی

کلیه آزمایش‌های ساخت سیال حفاری و ارزیابی آن‌ها در پژوهشگاه صنعت نفت انجام شده‌اند.

محلول اشباع نمک کلسیم کلراید یا سدیم کلراید و گازوئیل به نسبت ۲۰ به ۸۰ با افزودنی‌های سیال حفاری مانند کنترل‌کننده افت صافی، آهک، وزن افزا و امولسیفایرهای مناسب برای تهیه امولسیون (W/O) استفاده شدند. از کلسیم کربنات و باریم سولفات به عنوان وزن افزا استفاده شد تا سیالی با وزن مخصوص ۱۲۸۱ تا ۱۹۲۲ kg/m<sup>3</sup> به دست آید. کلیه امولسیون‌های تهیه شده ۱۶ ساعت در دمای ۱۲۱°C، حین دوران در سل بسته، حرارت داده شده و خواص رئولوژیکی در دمای ۶۰°C اندازه‌گیری شدند. تأثیر عوامل ترکنده نفتی با افزایش ۰/۵ تا ۱ درصد وزنی از هر یک از ترکیبات فسفو لپید و آلکیل ایمیدازولین بررسی شد.

برای ارزیابی و بیان رابطه خواص رئولوژیکی سیال و متغیرها، از مدل پلاستیکی بینگهام<sup>۵</sup>، معادله زیر استفاده شده است [۹]:

$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot \dot{\gamma}$$

با توجه به این معادله و اعمال پارامترهای ثابت دستگاه ویسکومتر، نقطه واروی و ویسکوزیته پلاستیکی محاسبه شد.

مربوط کردن خواص رئولوژیکی سیال با کارایی آن در حین حفاری است. خواص رئولوژیکی سیال حفاری مانند ویسکوزیته، نقطه واروی<sup>۱</sup> و استحکام ژل<sup>۲</sup> به اجزای تشکیل‌دهنده سیال مربوط می‌شوند. شناخت اجزا و خواص رئولوژیکی سیال و تابعیت آن‌ها اطلاعات لازم را برای کنترل خواص سیال فراهم می‌کند.

در سیالات حفاری امولسیونی معکوس، روغن سنتزی یا مواد نفتی فاز پایه‌اند و قطرات آب در آن‌ها پخش می‌شوند. آب امولسیون شده مقاومت بیشتری برای جریان سیال ایجاد کرده و ویسکوزیته آن را از ویسکوزیته فاز پایه بیشتر می‌کند. سایر خواص رئولوژیکی سیال حفاری امولسیونی از جمله ویسکوزیته پلاستیکی با افزایش مواد جامد و نقطه واروی و استحکام ژل به ذرات کلئیدی و نمک‌های معدنی حل شده وابسته است [۴]. در سیال حفاری امولسیونی اگر نیروی جاذبه بین مولکول‌های روغن فاز پایه و ذرات جامد بر کشش سطحی روغن غلبه نکند، روغن سطح ذرات جامد را تر نمی‌کند؛ لذا به سیال امولسیونی حفاری ترکیباتی اضافه می‌شوند تا مواد معدنی با ماهیت آب دوستی، خاصیت نفت خیزی<sup>۳</sup> یا آب‌گریزی پیدا کنند [۵]. اگر خاصیت آب دوستی مواد معدنی موجود در سیال حفاری معکوس نشود، این مواد آب موجود در سیال یا آب ورودی از سازند را جذب می‌کنند و هیدراته می‌شوند. در این حالت استحکام ژل و نقطه واروی افزایش می‌یابد طوری که سیال «مستعمل»<sup>۴</sup> می‌گردد و قابلیت گردش و انتقال در سیستم حفاری را از دست می‌دهد. همچنین طی عملیات حفاری به طور طبیعی بخشی از جامدات حفاری شده هیدراته وارد سیستم می‌شوند و ویسکوزیته پلاستیکی، نقطه واروی و استحکام ژل را بالا می‌برند. ویسکوزیته پلاستیکی با خارج کردن مواد جامد از سیال، نقطه واروی و استحکام ژل با افزایش مواد رقیق‌کننده، که در سیال امولسیونی معکوس همان عوامل ترکنده نفتی هستند، کاهش می‌یابد [۶].

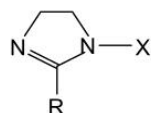
ترکیبات حاوی نیتروژن با زنجیره‌های بلند هیدروکربنی و استرهای فسفات اسید چرب معمولاً عوامل ترکنده نفتی، رقیق‌کننده سیالات حفاری امولسیونی معکوس به شمار می‌روند [۷]. در این مقاله نقش و تأثیر عوامل ترکنده

1. Yield Point
2. Gel Strength
3. Oil-Wet
4. Flipped
5. Bingham

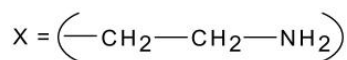
سطح منفی مواد معدنی می‌رسند، به دلیل جاذبه الکترواستاتیکی جذب می‌شوند و می‌شکنند و پوششی هیدروکربنی روی سطح ذرات جامد به وجود می‌آید. مواد فعال سطحی آنیونی در محل‌های مثبت در انتهای شبکه بلور خاک و در حد فاصل نفت و آب جذب می‌شوند. غیر یونی‌ها نیز برای جذب روی سطح جانبی بلور خاک رقابت می‌کنند و تورم خاک با آب محدود می‌شود.

تأثیر و نقش فسفولیپیدها با فرمول ساختمانی I و مشتق الکیل ایمیدازولین با فرمول ساختمانی II به عنوان عوامل ترکنده نفتی در سیال حفاری امولسیون برسی و مقایسه شده است. تأثیر عوامل تقویت کننده، غلظت مؤثر مواد و همچنین تأثیر اجزای سیال بر عملکرد این ترکنده‌های نفتی مطالعه شده است.

در جداول ۱ و ۲ تغییرات ویسکوزیته پلاستیکی، نقطه واروی، استحکام ژل و پایداری الکتریکی (ES) دو نوع سیال حفاری امولسیونی شامل وزن افزای کلسیم کربنات و باریم سولفات با محلول اشباع کلسیم کلراید به ترتیب در حضور دو نوع عامل ترکنده نفتی آورده شده‌اند.



$$R = C_{12} - C_{18}$$

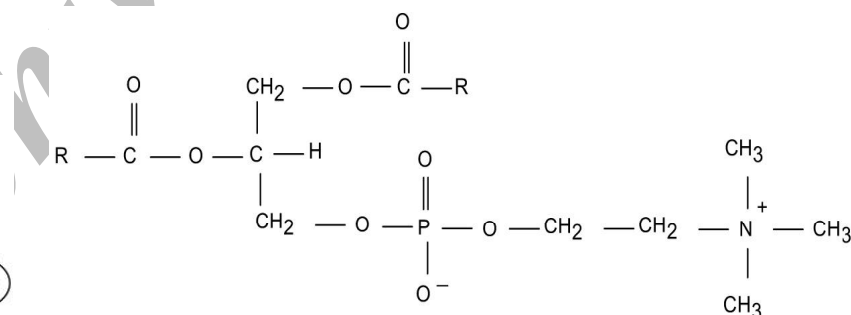


فرمول ساختمانی الکیل ایمیدازولین II

استحکام ژل نیز با دستگاه ویسکومتر استوانه‌ای در سرعت ۳ دور در دقیقه بعد از ۱۰ ثانیه (استحکام ژل اولیه) و ۱۰ دقیقه (استحکام ژل ثانویه) اندازه‌گیری شده است. پایداری الکتریکی با پتانسیومتر دارای یک الکتروود توأم اندازه گرفته شد. الکتروود در سیال غوطه‌ور و سپس اختلاف پتانسیل الکتریکی اعمال می‌شود. اختلاف پتانسیلی که در آن امولسیون می‌شکند به عنوان پارامتر پایداری الکتریکی یا پایداری امولسیون، اندازه گرفته می‌شود.

### بحث و بررسی نتایج

مواد معدنی در شبکه کریستالی خود سطوحی با بار منفی و مثبت دارند. عوامل ترکنده نفتی، مواد فعال سطحی با بار مثبت، جذب سطوح مواد معدنی با بار منفی می‌شوند. زنجیره بلند هیدروکربنی در فاز روغن قرار می‌گیرد و مواد معدنی پوشش روغنی می‌گیرند و مانع از جذب آب و هیدراته شدن آن‌ها می‌شوند. به بیان دیگر، زنجیره غیرقطبی در فاز روغن و سر قطبی به سطح قطره‌های روغن کشیده می‌شوند و روی قطره‌های روغن بار مثبت ایجاد می‌شود. هنگامی که این قطره‌ها با پوشش بار مثبت به



فرمول ساختمانی فسفولیپید I

جدول ۱- پارامترهای رئولوژیکی سیال حفاری امولسیونی با وزن افزای کلسیم کربنات

پایداری الکتریکی [ولت]	استحکام ژل [Pa]		نقطه واروی [Pa]	ویسکوزیته پلاستیکی [mPa.s]	خواص رئولوژیکی نوع افزودنی
	ثانویه	اولیه			
۱۲۱۵	۳/۸۳	۳/۳۵	۸/۱۴	۲۰	فسفو لیپید
۹۲۰	۲/۸۷	۲/۳۹	۴/۷۹	۲۲	الکیل ایمیدازولین
۷۵۰	۳/۸۳	۳/۳۵	۹/۵۸	۲۲	بدون افزودنی

جدول ۲- پارامترهای رئولوژیکی سیال حفاری امولسیون با وزن افزای باریم سولفات

پایداری الکتریکی [ولت]	استحکام ژل [Pa]		نقطه واروی [Pa]	ویسکوزیته پلاستیکی [mPa.s]	خواص رئولوژیکی نوع افزودنی
	ثانویه	اولیه			
۸۵۰	۱/۹۲	۱/۴۴	۶/۷۰	۱۹	فسفولپید
۸۰۰	۱/۴۴	۰/۹۶	۳/۳۵	۲۲	الکیل ایمیدازولین
۸۰۰	۱/۹۲	۱/۴۴	۷/۱۸	۲۱	بدون افزودنی

مطالعات زانگ<sup>۱</sup> و همکارانش نشان می‌دهند که فسفولپید در سیال امولسیونی روغن در آب یا آب در روغن بدون ذرات جامد یا ترکیبات غلظت دهنده، امولسیونی غلیظ و پایدار به وجود می‌آورد [۱۰]. داده‌های جداول ۱ و ۲ نیز این نتایج را در سیستم پیچیده سیال حفاری تأیید می‌کنند. برای مطالعات و بررسی بیشتر تأثیر اجزای سازنده سیال حفاری بر خواص رئولوژیکی و تغییرات آنها نسبت به افزودنی‌های ترکنده نفتی، خواص سیال امولسیونی شامل محلول اشباع سدیم کلراید یا کلسیم کلراید در دو سیستم باریم سولفات و کلسیم کربنات در حضور فسفولپید ارزیابی شدند (جداول ۳ و ۴).

بررسی نتایج جداول ۱ و ۲ نشان می‌دهد که خواص رئولوژیکی سیال به شدت تحت تأثیر محیط شیمیایی یا اجزای سیال می‌باشد. سیال امولسیونی باریم سولفات رقیق‌تر و پایداری الکتریکی پایین‌تری دارد. پایداری الکتریکی را کمتر می‌توان به عملکرد ضعیف‌تر امولسیفایرها در حضور باریم سولفات نسبت داد. نقطه واروی و استحکام ژل کمتر به احتمال هیدراته شدن کمتر باریم سولفات نسبت به کلسیم کربنات مربوط می‌شود. اما در هر دو سیستم امولسیونی در شرایط یکسان الکیل ایمیدازولین قدرت رقیق‌کنندگی بیشتر و فسفولپید قدرت امولسیفایری قویتری دارد.

جدول ۳- پارامترهای رئولوژیکی سیال امولسیونی شامل کلسیم کربنات

نوع محلول اشباع	پایداری الکتریکی [ولت]	استحکام ژل [Pa]		نقطه واروی [Pa]	ویسکوزیته پلاستیکی [mPa.s]	خواص رئولوژیکی نوع افزودنی
		ثانویه	اولیه			
سدیم کلراید	۹۵۰	۲/۸۷	۲/۳۹	۶/۲۲	۱۶	فسفولپید
کلسیم کلراید	۱۲۱۵	۳/۸۳	۳/۳۵	۸/۱۴	۲۰	فسفولپید

جدول ۴- پارامترهای رئولوژیکی سیال امولسیونی شامل باریم سولفات

نوع محلول اشباع	پایداری الکتریکی [ولت]	استحکام ژل [Pa]		نقطه واروی [Pa]	ویسکوزیته پلاستیکی [mPa.s]	خواص رئولوژیکی نوع افزودنی
		ثانویه	اولیه			
سدیم کلراید	۴۳۰	۳/۳۵	۲/۸۷	۵/۲۷	۳۳	فسفولپید
کلسیم کلراید	۸۵۰	۱/۹۲	۱/۴۴	۶/۷۰	۱۹	فسفولپید

جدول ۱، نقطه واروی از ۸/۱۴ به ۵/۷۵ پاسکال و استحکام ژل اولیه و ثانویه به ترتیب از ۳/۳۵ و ۳/۸۳ به ۲/۳۹ و ۲/۸۷ پاسکال و پایداری الکتریکی از ۱۲۱۵ به ۹۸۰ ولت رسید.

همچنین حذف ۳ تا ۵ درصد از ناخالصی‌های فسفولیپید گیاهی، شامل اسید و استرهای چرب، قدرت رقیق‌کنندگی فسفولیپید را بهبود می‌بخشد به طوری که فسفولیپید تخلیص شده به عنوان یک عامل ترکنده مناسب عمل می‌کند. نتایج ارزیابی خواص رئولوژیکی سیال حفاری امولسیون با وزن افزای کلسیم کربنات و محلول اشباع کلسیم کلراید با تغییر درجه خلوص فسفولیپید در جدول ۵ آورده شده‌اند. چون اسیدهای چرب معمولاً در سیال حفاری امولسیونی به عنوان امولسیفایر عمل می‌کنند، افزایش قدرت امولسیفایری الکیل ایمیدازولین با افزایش ۰ تا ۲ درصد اسید چرب بررسی شد. افزایش اسید چرب قدرت رقیق‌کنندگی را اندکی کاهش می‌دهد در حالی که پایداری الکتریکی سیال افزایش می‌یابد (جدول ۶).

نتایج نشان می‌دهند که در انتخاب مواد فعال سطحی به عنوان عامل ترکنده نفتی باید موازنه‌ای بین خاصیت رقیق‌کنندگی و امولسیفایری به وجود آید. یک ترکیب با خاصیت امولسیفایری قوی ماهیت رقیق‌کنندگی نخواهد داشت و یک عامل ترکنده نفتی قوی امولسیفایر ضعیفی است. قدرت نسبی این دو خاصیت به عوامل مختلفی مانند ماهیت سطحی که پوشانده می‌شود، شرایط الکتروشیمیایی سیال، pH و دما بستگی دارد. خاصیت ترکندگی نفتی زیاد را می‌توان با افزایش ترکیبات اتیلن اکسایدی و یا اسید چرب کاهش داد. قدرت ترکندگی ضعیف با افزایش عامل کاهنده کشش سطحی مانند پلی آمین اصلاح می‌شود. همچنین با افزایش امولسیفایر دیگری می‌توان قدرت امولسیون‌کنندگی را تقویت کرد [۱۲۱۱].

تأثیر پلی آمین بر قدرت ترکندگی نفتی با افزایش ۱۰ درصد پلی آمین به فسفولیپید در سیال امولسیونی شامل کلسیم کربنات و کلسیم کلراید بررسی شد. با شرایط

جدول ۵- تغییرات پارامترهای رئولوژیکی سیال امولسیونی حفاری با تغییر درجه خلوص فسفولیپید

پایداری الکتریکی [ولت]	استحکام ژل [Pa]		نقطه واروی [Pa]	ویسکوزیته پلاستیکی [mPa.s]	خواص رئولوژیکی نوع افزودنی
	اولیه	ثانویه			
۱۲۰۰	۳/۸۳	۴/۳۱	۱۰/۵۳	۲۲	فسفو لیپید حاوی ۵٪ ناخالصی
۱۰۵۰	۳/۳۵	۳/۸۳	۸/۶۲	۱۹	فسفو لیپید حاوی ۳٪ ناخالصی
۹۴۰	۲/۳۹	۲/۸۷	۶/۷۰	۳۰	فسفو لیپید جامد کریستالی

جدول ۶- تغییرات پارامترهای رئولوژیکی سیال حفاری امولسیونی با افزایش اسید چرب به الکیل ایمیدازولین

پایداری الکتریکی [ولت]	استحکام ژل [Pa]		نقطه واروی [Pa]	ویسکوزیته پلاستیکی [mPa.s]	خواص رئولوژیکی نوع افزودنی
	اولیه	ثانویه			
۱۳۰۰	۲/۳۹	۳/۳۵	۷/۱۸	۲۰	الکیل ایمیدازولین ۲٪ اسید چرب
۱۰۲۰	۲/۳۹	۲/۸۷	۶/۲۲	۲۰	الکیل ایمیدازولین ۱٪ اسید چرب
۸۵۰	۱/۴۴	۲/۳۹	۴/۷۹	۱۹	الکیل ایمیدازولین

جدول ۷- اثر عوامل ترکنده نفتی بر پارامترهای رئولوژیکی سیال حفاری امولسیون هیدراته شده (کلسیم کربنات)

پایداری الکتریکی [ولت]	استحکام ژل [Pa]		نقطه واروی [Pa]	ویسکوزیته پلاستیکی [mPa.s]	خواص رئولوژیکی نوع افزودنی
	اولیه	ثانویه			
۸۳۰	۵/۷۵	۶/۲۲	۱۲/۹۳	۲۷	-
۸۸۰	۲/۸۷	۳/۳۵	۶/۷۰	۲۲	فسفولپید
۸۵۰	۱/۴۴	۲/۳۹	۴/۷۹	۱۹	الکیل ایمیدازولین

جدول ۸- اثر عوامل ترکنده نفتی بر پارامترهای رئولوژیکی سیال حفاری امولسیون هیدراته (باریم سولفات)

پایداری الکتریکی [ولت]	استحکام ژل [Pa]		نقطه واروی [Pa]	ویسکوزیته پلاستیکی [mPa.s]	خواص رئولوژیکی نوع افزودنی
	اولیه	ثانویه			
۳۵۰	۴/۳۱	۵/۲۷	۱۲/۹۳	۴۰	-
۴۳۰	۲/۸۷	۳/۸۳	۷/۶۶	۴۲	فسفولپید
۳۶۰	۱/۹۲	۲/۸۷	۵/۷۵	۳۸	الکیل ایمیدازولین

بلند الکیل موجود در ساختمان فسفولپید است. به علاوه فسفولپید عموماً در امولسیون‌های O/W یا W/O ساده به عنوان امولسیفایر و در سیال حفاری امولسیونی معکوس و سیالات حفاری روغنی به عنوان رقیق‌کننده استفاده شده است.

### نتیجه گیری

خواص رئولوژیکی سیال امولسیونی حفاری تابعی از اجزای آن است که با تغییر محیط شیمیایی تغییر می‌کند. بررسی تغییرات دو پارامتر مهم نقطه واروی و استحکام ژل، به عنوان معیاری از مقدار هیدراته شدن اجزای معدنی در سیال حفاری امولسیونی، نشان می‌دهد:

۱- گروهی از مواد فعال سطحی به عنوان ترکنده نفتی با ایجاد پوشش هیدورکربنی بر سطح ذرات جامد مانع از هیدراته شدن آن‌ها می‌شوند. با افزایش ترکنده‌ها استحکام ژل و نقطه واروی در سیال امولسیونی معکوس کنترل می‌شوند

۲- در انتخاب مواد فعال سطحی به عنوان رقیق‌کننده در سیال امولسیونی حفاری باید بین خاصیت ترکندگی و امولسیفایری موازنه‌ای به وجود آید

۳- قدرت رقیق‌کنندگی مواد فعال سطحی، علاوه بر

یکی از ویژگی‌های مهم سیال حفاری قابلیت ترمیم و استفاده مجدد آن است. بنابراین یکی از جنبه‌های مهم ارزیابی عوامل ترکنده نفتی قدرت دهیدراته کردن سیال هیدراته شده است. به این منظور قدرت دهیدراته کردن فسفولپید و الکیل ایمیدازولین در دو سیستم سیال امولسیونی با وزن‌افزای باریم سولفات و کلسیم کربنات در حضور محلول اشباع کلسیم کلراید بررسی شد. ابتدا سیال در شرایط هیدراته شدن قرار گرفت و سپس با افزودن جداگانه یک درصد وزنی فسفولپید و الکیل ایمیدازولین تغییرات خواص رئولوژیکی آن بررسی شد (جدول ۷ و ۸).

داده‌های این ارزیابی نیز نشان می‌دهند که الکیل ایمیدازولین در هر دو سیستم امولسیونی شامل باریم سولفات و کلسیم کربنات از فسفولپید رقیق‌کنندگی بیشتری دارد. همچنین در سیال امولسیونی شامل کلسیم کربنات بهتر عمل می‌کند. به طور کلی می‌توان گفت مشتق الکیل ایمیدازولین با فرمول ساختمانی II گروه عاملی آمینی  $\text{CH}_2\text{-NH}_2$  متصل به حلقه ایمیدازولین دارد که احتمال ایجاد پیوند با سطوح باردار معدنی آن از گروه  $\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$  - در فسفولپید بیشتر است زیرا در فسفولپید اتم نیتروژن تحت پوشش سه گروه متیل و یک زنجیره

### علائم و نشانه‌ها

$\tau$ : تنش برشی<sup>۱</sup> (Pa)

$\tau_0$ : حداقل تنش لازم برای جاری شدن سیال (Pa)

$\gamma$ : سرعت برشی<sup>۲</sup> (s<sup>-1</sup>)

$\mu$ : ویسکوزیته پلاستیکی (Pa.s)

Y.P: نقطه واروی (Pa)

ساختار شیمیایی ترکنده نفتی، به مواد معدنی سیال نیز بستگی دارد

۴- از دو ترکیب شیمیایی ارزیابی شده به عنوان ترکنده، سیال امولسیون معکوس الکیل ایمیدازولین قدرت رقیق‌کنندگی بیشتری از فسفولیپید دارد

۵- الکیل ایمیدازولین و فسفولیپید به عنوان رقیق‌کننده در سیال امولسیون حفاری با وزن‌افزای کلسیم کربنات مؤثرتر از سیالی با وزن‌افزای باریم سولفات عمل می‌کنند  
۶- فسفولیپید و الکیل ایمیدازولین می‌توانند مواد معدنی هیدراته شده را نیز دهیدراته کنند.

### منابع

- [1] Patel A.D. "Reversible invert emulsion drilling fluids", *J.SPE Drilling & completion*, pp. 274-279, 1999.
- [2] Sanchez E., Audibert A. & Rousseau L. "Influence of drill-influids composition on formation damage", *J.SPE*, Vol. 9, No. 4, pp. 403-410, 2004.
- [3] Kirsner J., Miller J. & Bracken J. "Additive for oil-based drilling fluids", *US patent, No.20050037929*, 2005.
- [4] Mas M., Tapin T., Negrin Z., Diaz C. & Bejarano L. "A new high-temperature oil-based drilling fluid", *Latin american and caribbean petroleum engineering conference*, 21-23 April, Caracas, paper No. 53941-MS, 1999.
- [5] Menezes J.L., Yan J. & Sharma M.M. "The mechanism of wettability alteration due to surfactants in oil based muds", *SPE international symposium on oil field chemistry*, 8-10 February, paper No.18460-MS, 1989.
- [6] Cline J.T., Teeters D.C. & Andersen M.A. "Wettability preferences of minerals used in oil-based drilling fluids", *SPE International symposium on oil field chemistry*, 8-10 February, Houston, Texas, Paper No.18476-MS, 1989.
- [7] Kirk O., *Encyclopedia of chemical Technology*, 4<sup>th</sup> Ed., Vol. 15, pp. 192-210, 1995.
- [8] Saeidi M., Mohebalı S., Parhizkar R., Mortazavi A.R. & Mojtahedi J. "Synthesis of oil-wetting agent for oil-based drilling fluids", *Iranian patent*, No.31087, 2004.
- [9] Darley H.C.H. & Gray G.R., *Composition and properties of drilling and completion fluid*, 5<sup>th</sup> Ed., pp.188-200, 1988.
- [10] Zhang F. & Proctor A. "Rheology and stability of phospholipid-stabilized emulsions", *J.AOCS*, Vol. 74, No. 7, pp. 869-873, 1997.
- [11] Patel A.D. & Syed A. "New opportunities for the drilling Industry through innovative emulsifier chemistry", *SPE International symposium on oil field chemistry*, 5-7 February, Houston, Texas, Paper No.80247-MS, 2003.
- [12] Growcock F.B., Ellis C.F., Schmidt D.D. & Azar J.J. "Electrical stability, emulsion stability and wettability of invert oil-based muds", *J.SPE. Drilling & completion*, Vol. 9, No. 1, pp. 39-46, 1994.

1. Shear Stress

2. Shear Rate