

# ساخت سیال سنتزی زیست‌سازگار جایگزین گازوئیل در گل حفاری پایه روغنی

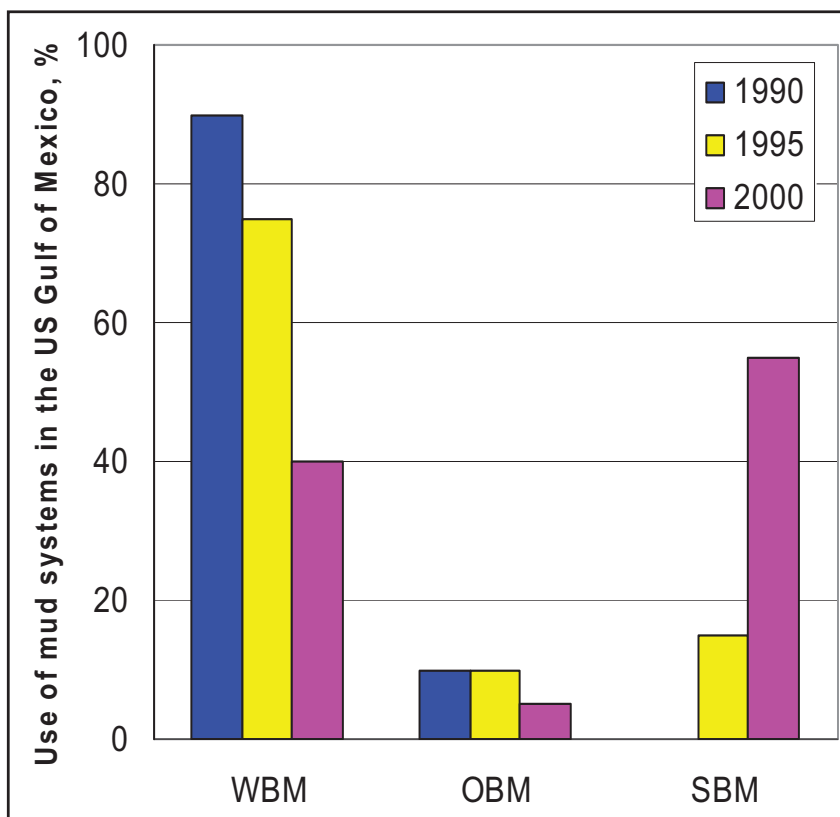
محمد کریمی دزفولی ■ شرکت بنیان نوین شیمی پارس  
سید محمد مهدی مرتضوی ■ شرکت بنیان نوین شیمی پارس، پژوهشگاه پلیمر و بتروشیمی ایران  
بهمن پیرمادان، محمدعلی انعامی ■ مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

## مقدمه

در یک طبقه‌بندی کلی سیالات حفاری به سه گروه پایه آبی، سیالات بر پایه روغن‌های نفتی و سیال پایه سنتزی تقسیم‌بندی می‌شوند.

در سیالات پایه روغنی، فاز پیوسته یک هیدروکربن مایع یا ماده نامحلول در آب است. اجزای دیگر شامل باریت، بنتونیت ارگونوفیل، امولسیفایرها، آب، کلرید کلسیم و آهک است. در این حالت فاز آب نمک در غلظت‌های ۱۰ تا حداکثر ۵۰ درصد به صورت فاز پراکنده داخل فاز آلی قرار می‌گیرد. جهت این کار حضور امولسیفایر ضروری است. قطر ذرات در حدود چند میکرومتر است که یک امولسیون معکوس نامیده می‌شود.

سیالات پایه روغنی گران‌تر از سیالات پایه آبی هستند، اما به دلیل مزایای متعدد (علیرغم مشکلات زیست‌محیطی) عملاً در حفاری‌ها لایه‌های رسی کاربرد وسیعی یافته‌اند.



شکل ۱ | منحنی رشد مصرف و استفاده از گل‌های سنتزی در خلیج مکزیک



یکی از مهمترین موارد مصرف گل‌های پایه روغنی، در حفاری سازندهای شیلی است. اگر حفاری اینگونه سازندها با گل‌های آبی صورت گیرد، احتمال وارد آمدن لطمات شدید از جمله انسداد کلی یا جزئی و همچنین خیس شدن و تورم رس‌های جاذب رطوبت در اثر نفوذ صافاب گل به داخل سازند وجود دارد.

بطور کلی در مورد مزایای گل روغنی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- خصوصیات رئولوژی مطلوب در حفاری چاه‌های عمیق
- ۲- حفاظت از لایه‌های تولیدی (نفث و گاز)

۳- بازدارنده جذب آب توسط لایه‌های شیلی

۴- موثر در مقابل انواع عوامل خورنده

۵- مناسب بودن برای مغزه‌گیری معایب عمده گل روغنی عبارتند از:

۱- هزینه بالای مدیریت پسماند و تصفیه

۲- محدودیت‌های زیست محیطی گل روغنی

۳- هزینه بالای انتقال کنده‌ها به خشکی در حفاری فراساحلی

مواد پلی‌آروماتیک موجود در گازوئیل مثل نفتالن، آنتراسن، فناترن و... بسیار سمی بوده و تاثیر سوئی بر موجودات زنده و محیط‌زیست دارند. به همین دلیل تلاش شده است تا سیالات پایه روغنی و سنتزی با مقادیر اندک ترکیبات پلی‌آروماتیک به عنوان جایگزین گازوئیل ساخته شوند. سیالات بر پایه روغن‌های معدنی ارتقاء یافته و سیالات سنتزی جزو این دسته جایگزین‌ها قرار می‌گیرند.

### معرفی سیالات حفاری پایه مواد سنتزی

از سال ۱۹۹۰ به علت ممنوعت EPA از کاربرد گل‌های پایه نفتی در حفاری‌های دریایی، گل‌های جدیدی با عنوان سیالات پایه سنتزی معرفی شد. سیالات پایه سنتزی شبیه گل پایه روغنی بصورت امولسیون معکوس در حفاری بکار می‌روند با این تفاوت که در این حالت فاز پیوسته، یک ترکیب سنتز شده حاصل از واکنش شیمیایی است. هدف از طراحی این نوع گل به دست آوردن سیال حفاری است که دارای مزایای گل‌های پایه روغنی باشد اما در عین حال از میزان سمی بودن پائین و زیست‌سازگاری بالایی برخوردار باشد.

سیالات پایه سنتزی یا SBM برای اولین بار در کشور نروژ با موفقیت امتحان شد. سپس در سال ۱۹۹۱ در کشور انگلستان و در خلیج مکزیک مورد استفاده قرار گرفت. تا سپتامبر ۱۹۹۴ در حدود ۱۶۹ حلقه چاه با این نوع گل در دریای شمال حفر گردید.

مزایای استفاده از سیالات پایه سنتزی عبارتند از:

۱- حفاری با سیالات پایه سنتزی، سبب کاهش اصطکاک، سرعت بخشیدن به عملیات حفاری و ثبات چاه می‌گردد، بنابراین زمان عملیات حفاری تا حد ۵۰ درصد نسبت به گل پایه آبی کاهش می‌یابد.

۲- سیالات پایه سنتزی در جریان عملیات حفاری دوباره مورد استفاده قرار گرفته و در نتیجه حجم پسماند تخلیه شده کاهش می‌یابد.

۳- در حفاری با سیالات پایه سنتزی می‌توان برش‌ها و کنده‌های حفاری را به دریا تخلیه کرد. درحالی‌که با گل پایه

روغنی اینکار میسر نبوده و باید جهت تصفیه پسماند به خشکی منتقل شوند که این کار بسیار هزینه‌بر است.

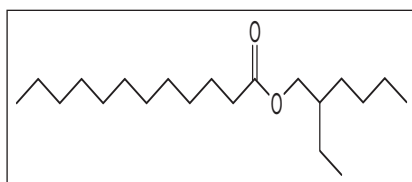
به‌طور کلی حفاری با سیالات پایه سنتزی باعث کاهش هزینه از یک سو و امکان رهاسازی کنده‌های حاصل از آن در محل از سوی دیگر شده و در نتیجه استفاده از آن توسط سازمان‌های حامی محیط‌زیست دنیا توصیه می‌گردد. در شکل ۱ رشد مصرف و استفاده از گل‌های سنتزی در خلیج مکزیک در سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۵ و ۲۰۰۰ نشان داده شده است.

### طبقه بندی انواع سیالات حفاری سنتزی

انواع سیالات سنتزی از نظر کارایی و زمان تجاری شدن به دو نسل تقسیم می‌شوند:

نسل اول سیالات سنتزی شامل استرها، اترها، استال‌ها و پلی‌آلفا اولفین‌ها بودند؛ این سیالات که ویسکوزیته بالایی دارند، یا از نظر عملکرد در گل روغنی دارای مشکلاتی مثل شکست هیدرولیتیکی هستند (مثل استرها و استال‌ها) و یا از نظر زیست تخریب پذیری در سطح بالایی قرار ندارند (مثل پلی‌آلفا اولفین‌ها) و همچنین قیمت بالاتری نیز دارند.

نسل دوم سیالات سنتزی شامل آلفا اولفین‌های خطی، اولفین‌های درونی و پارافین‌های خطی هستند که نسبت به نسل اول ویسکوزیته کمتر، خصوصیات رئولوژیکی بهتر و هزینه کمتر داشته و از



۱ | خصوصیات فیزیکی NTSH-21 طبق آزمایش‌های پژوهشگاه صنعت نفت

شماره	ویژگی	واحد	نتیجه
۱	دانسیته در °C ۱۵.۵۶	g/ml	۰/۸۱
۲	ویسکوزیته در °C ۴۰	CSt	۳/۱۶
۳	نقطه ریزش	°C	< -۳۰
۴	نقطه اشتعال	°C	۷۷
۵	نقطه آنبلین	°C	۶۹

۲ | زیست تخریب پذیری هوازی سیال سنتزی در مقایسه با گازوئیل

شماره	آزمایش	واحد	Diesel	NTSH-21
۱	BOD	Mg/ O2	۱۵۹۰	۴۴۳۰
۲	COD	Mg/ O2	۵۷۰۰۰	۱۷۲۰۰
۳	degradation rate: BOD/COD		۰/۰۲۸	۰/۲۶

نظر زیست‌سازگاری نیز در سطح مناسبی قرار دارند.

از نظر سهولت استفاده در عملیات حفاری سیالات نسل دوم بهتر هستند. ویسکوزیته بالای سیالات سنتزی نسل اول نسبت به گازوئیل، باعث بالارفتن ویسکوزیته پلاستیک و خاصیت ژلی گل حفاری شده و منجر به کاهش سرعت حفاری می‌شود. همچنین مقدار باریتی که می‌توان به گل افزود را محدود نموده و در کاربرد آن برای چاه‌هایی که نیاز به گل سنگین دارند، مشکل ایجاد می‌کند.

از نظر زیست‌سازگاری تمام سیالات سنتزی با هم مشابه نیستند و حتی ویژگی زیست تخریب‌پذیری برخی از آنها مثل پلی‌آلفا اوفین‌ها مشابه روغن‌های معدنی است. از میان سیالات سنتزی مصرف‌اترها و استال‌ها به دلیل مشکلات زیستی کاهش یافته و دیگر بدین منظور کاربرد ندارند. از گروه هیدروکربن‌های سنتزی پلی‌آلفا الفین‌ها نیز همین وضعیت را دارند.

اکثر سیالات سنتزی به گونه‌ای طراحی شده‌اند که توسط عوامل طبیعی تخریب‌پذیر باشند. باکتری‌ها و قارچ‌های موجود در محیط از روغن‌های سنتزی به‌عنوان منبع غذایی استفاده می‌کنند و از متابولیسم آن‌ها مواد غیرسمی تولید می‌شود.

روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری سرعت تجزیه شدن این سیالات به کار گرفته شده است. سرعت زیست تخریب‌پذیری انواع سیالات سنتزی بر اساس آزمایش‌های انجام شده در شرایط آزمایشگاهی به ترتیب زیر است:

استال‌ها < پلی‌آلفا الفین‌ها > (PAO) پارافین‌های خطی  $\approx \alpha$ -الفین‌های خطی (LAO) < استرها

### استفاده از استر به عنوان سیال حفاری

استرهای مورد نظر جهت سیال حفاری از طریق واکنش الکل‌های شاخه‌دار مثل ایزوپروپانول و دواتیل هگزانول با اسیدهای چربی مثل لوریل و اولئیک ساخته می‌شوند. استرها گرانترین و در عین حال زیست تخریب‌پذیرترین سیال سنتزی تجاری شده هستند.

استرها در محیط زیست بسیار خوب تجزیه می‌شوند در حالی که پلی‌آلفا اولفین‌ها، استال‌ها و روغن‌های معدنی تجزیه‌پذیری بسیار کمتری را از خود نشان می‌دهند. طبق شرایط شبیه‌سازی شده بستر دریا، استرها، آلفا الفین خطی و پارافین‌های خطی سریعتر از روغن‌های معدنی تجزیه می‌شوند اما برای استال‌ها و پلی‌آلفا الفین‌ها چنین نتایجی به دست نیامده است. به همین دلیل دیگر از استال‌ها و پلی-آلفا الفین‌ها بدین منظور استفاده نمی‌شود.

یکی از مشکلات اصلی استرها در گل روغنی، هیدرولیز آن در محیط قلیایی

یا اسیدی است. لذا باید میزان آهک در گل حداکثر ۲ lb/bbl باشد. از آنجایی که امولسیفایرها معمولاً مشتقات اسیدهای چرب بوده و برای فعال‌سازی نیاز به حضور آهک دارند، بنابراین کار با سیال پایه استری مشکل‌تر از سایر سیالات سنتزی است. همچنین استرها به دمای بالا، آلودگی ناشی از حضور سیمان و گازهای اسیدی حساس بوده و به الکل و اسید چرب اولیه هیدرولیز می‌شود.

با توجه به آنچه گفته شد، از بین سیالات سنتزی تعدادی از هیدروکربن‌های سنتزی و استرها، سیالات حفاری زیست‌سازگار هستند. هیدروکربن‌های سنتزی از نظر قیمت نسبت به استرها ارزان‌تر بوده و پایداری حرارتی و هیدرولیتیکی بالاتری دارند، اما از نقطه نظر زیست تجزیه‌پذیری، استرها نسبت به آنها برتری دارند.

### بخش آزمایشگاهی

بومی‌سازی محصولات از دیدگاه کلی به معنای ایجاد زیرساخت‌های لازم



جهت تولید یک محصول در داخل کشور است. لذا در این زمینه نیاز به دقت بسیار در انتخاب روش‌های سنتزی و نوع مواد اولیه مورد نیاز است. در دسترس بودن مواد اولیه و استفاده از دانش فنی داخلی به‌عنوان یک ضرورت در تمامی مراحل انجام پروژه مدنظر بوده است.

در این راستا در داخل کشور علاوه بر ساخت تعداد زیادی از استرهای حفاری، سیالات هیدروکربنی سنتزی نیز ساخته و ویژگی‌های آن‌ها از جهات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. از میان آن‌ها سیال هیدروکربنی خطی با کد ۲۱-NTHS که با حمایت مالی و فنی مدیریت اکتشاف به‌صورت پایلوت تولید گردیده است، از نظر خصوصیات فیزیکی مناسب بوده و عملکرد مطلوبی نیز در گل روغنی دارد. در جدول ۱ مشخصات محصول ارائه شده است.

مهمترین فاکتور در انتخاب یک سیال سنتزی رفتار و رئولوژی آن در گل روغنی است. پارامترهای زیست‌محیطی و اقتصادی در صورتی مدنظر قرار می‌گیرند که ابتدا عملکرد سیال در عملیات حفاری قابل قبول باشد. پارامترهای مورد بررسی شامل ویسکوزیته پلاستیک (PV)، نقطه واروی (YP)، قدرت ژلی (Gel)، پایداری الکتریکی (ES) و سیال فیلتر شده در دما و فشار بالا (HPHT filtrate) است که باید همگی در محدوده مناسب باشند.

البته تعدادی از این پارامترها قبل انجام آزمایش‌های گل روغنی نیز از طریق خصوصیات فیزیکی حلال پایه نیز قابل پیش‌بینی است. آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه با کد ۲۱-NTHS در شرایط مختلف و محدود دمایی تا  $275^{\circ}\text{F}$  در حد استاندارد بوده است.

آزمایش زیست تخریب‌پذیری هوازی نیز در مقایسه با گازوئیل انجام پذیرفت که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. نسبت BOD به COD که شاخص سرعت زیست تخریب‌پذیری هوازی است برای این سیال سنتزی ده برابر گازوئیل است.

آزمایش‌های سمیت حاد نیز برای نمونه مذکور بر روی موش صحرائی انجام گرفت که نتایج، بیانگر میزان سمیت کشنده بسیار پایین این نوع سیال سنتزی است.

### نتیجه‌گیری

در طراحی و ساخت سیال سنتزی جایگزین گازوئیل توجه به سه مسأله عملیاتی، اقتصادی و زیست‌محیطی باید مدنظر قرار گیرد.

۱- عملکرد سیال: سیال جایگزین گازوئیل جهت دارابودن کارایی و رئولوژی مناسب در گل حفاری باید دارای خصوصیات فیزیکی مشخصی باشد. تنها ارزان بودن یک ماده روغنی (مانند مازوت و نفت خام) و یا اینکه یک ترکیب سنتزی به‌صورت محصول جانبی در فرآیندی تولید شود، توجهی برای استفاده از آن به‌عنوان جایگزین گازوئیل نیست.

از آنجایی که رئولوژی گل حفاری وابستگی زیادی به ویسکوزیته سیال پایه دارد، لذا جهت عملکرد مناسب در گل، ویسکوزیته سیال جایگزین باید حداقل ۲ و حداکثر ۴ باشد:

$$2 \text{ CSt} < \text{Viscosity of Based Fluid} < 4 \text{ CSt}$$

۲- مسائل اقتصادی: جهت حفاری یک چاه ممکن است نیاز به یک میلیون لیتر سیال پایه باشد. سیالات سنتزی که تا به‌حال در سطح جهان معرفی شده‌اند قیمتی بین ۲ تا ۴ برابر گازوئیل دارند و به همین دلیل بیشتر در حفاری فراساحلی که انتقال‌کننده‌ها به

خشکی جهت تصفیه بسیار پرهزینه است، از سیال سنتزی استفاده نموده‌اند. لذا چنانچه بتوان با مدنظر داشتن مسائل عملیاتی و زیست‌محیطی، سیال سنتزی ارزاتری معرفی نمود باعث گسترش مصرف آن خواهد شد.

۳- مسائل زیست‌محیطی: سیالات سنتزی جایگزین گازوئیل در عملیات حفاری بیشتر از کربن و هیدروژن تشکیل شده‌اند و صرفاً استرها حاوی اکسیژن نیز هستند (اترها و استال‌ها دیگر بدین منظور کاربرد ندارند). با توجه به آزمایش‌هایی که تاکنون در سطح جهان انجام شده است، ساختار شیمیایی کلی مواد زیست تخریب‌پذیر مشخص است. به‌عنوان مثال در خصوص هیدروکربن‌ها، مولکول‌های خطی، زیست تخریب‌پذیرند. در حالی که ترکیبات شاخه‌دار مقاومت بیشتری دارند و یا از بین ترکیبات خطی انواع غیراشباع سریعتر از اشباع شده تجزیه می‌شوند.

در یک پروژه پژوهشی با حمایت مدیریت اکتشاف، تولید سیال سنتزی هیدروکربنی به‌عنوان اولین نمونه بومی‌سازی شده در کشور به جهت جایگزینی با گازوئیل بر مبنای مواد تمام داخلی با عملکرد مناسب از لحاظ خواص رئولوژیکی گل حفاری تهیه گردید. با توجه به ساختار خطی، اجزای تشکیل دهنده آن از نظر زیست تخریب‌پذیری بالاتر از گازوئیل بوده و آزمایش‌های انجام شده هم موید این مطلب است.

سیال به‌صورت ترکیبی از مواد اولیه سنتزی بوده و فاقد بوی نامطلوب، ترکیبات گوگردی، نیتروژن و مواد سمی پلی‌آروماتیک موجود در گازوئیل است که این موضوع از نظر هزینه‌های مدیریت پسماند، مخاطرات زیست‌محیطی و ایمنی کارکنان دکل حفاری حائز اهمیت است.