

# تولید بیشتر، هزینه کمتر، ثمره حفاری با سیالات سبک

ابوالقاسم راه چمنی دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی حفاری دانشگاه آزاد اسلامی SPE

## ● چکیده مقاله

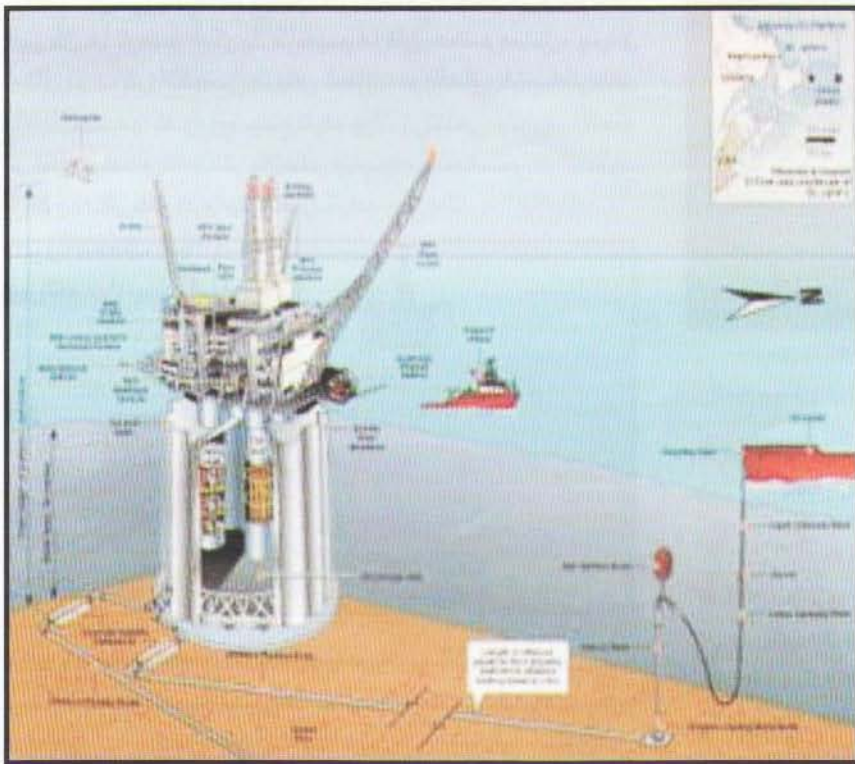
امروزه، کارشناسان در حال مطالعه بر روی سیالات کم فشاری هستند که در عملیات حفاری چاههای نفت و گاز از آن استفاده شود تا از این طریق ضمن افزایش سرعت حفاری، عمر طولانی مته و صدمه زدگی کم به سازندها، هزینه های جاری حفاری را نیز کاهش دهند این مقاله سیالات گوناگون را مورد بررسی قرار می دهد، از جمله سیالاتی که برای حفاری چاههای کاملاً خشک به کار می رود که به این نوع حفاری، حفاری گرد و غباری می گویند، زیرا عملاً آنچه که باعث جابه جایی خرده ها می گردد شبیه گرد و غبار است. سیالاتی که برای حفاری چاههای مرطوب مورد استفاده قرار می گیرند، شبیه مایع صابون هستند و همراه با آب و هوا مورد استفاده قرار می گیرد. سیالاتی که برای حفاری چاههایی که آب طبقات زمین در آن زیاد است به کار می روند و به آن گل هوازده نیز می گویند گروهی دیگر از سیالات که به کف فشرده یا غلیظ مشهورند و دارای عملکرد بسیار بالایی نسبت به سایر گروهها هستند علاوه بر سیالات مورد بحث، مواد دیگری نظیر مواد بازدارنده در برابر خوردگی، مواد کف ساز و مواد روان ساز نیز همراه با سیالات حفاری کم فشار، مورد استفاده قرار می گیرند که در این مقاله به آنها

## ● اشاره می شود

### ● مقدمه

حفاری زیر فشار تعادلی، شیوه ای از حفاری است که در آن فشار هیدروستاتیک سیال درون چاه کمتر از فشار سیال درون سازند است؛ در این شیوه از حفاری، ممکن است حین

نداریم و از مواد تولید کننده فیلتر کیک برای کنترل هرزروی استفاده نمی شود. وزن و چگالی سیالات حفاری زیر فشار تعادلی، برای کنترل فشار سطح است، ولی در حفاری معمولی، چگالی برای کنترل فشار ته چاه و جلوگیری از جریان سیال از سازند به درون چاه است.



حفاری تولید نیز صورت گیرد برای دستیابی به چنین شرایطی، مطالعه و بررسی سیالات مورد استفاده، الزامی است. سیالات به کار رفته در حفاری زیر فشار تعادلی، مانند سیالات حفاری معمولی، دارای تفاوت های مهمی با سیالات حفاری معمولی هستند، چرا که در حفاری زیر فشار تعادلی هرزروی

سیالات حفاری زیر تعادلی باید با سیالات تولیدی مخزن سازگاری داشته باشد، ولی سیالات حفاری معمولی نیازی به سازگاری با سیالات تولیدی از مخزن ندارد. در سیالات حفاری معمولی، برای افزایش قدرت تمیزکنندگی چاه، از مواد افزایش دهنده گرانشی



(ویسکوزی فایر) استفاده می کنند در حالی که در حفاری زیر فشار تعادلی، هیدروکربن تولیدی به همراه سیال حفاری، باعث افزایش سرعت درون فضای حلقوی و تمیزی چاه می شود و نیازی به این مواد در میان نیست. با توجه به تفاوتها و شباهتهای این سیالات و سیالات حفاری معمولی، در ادامه به معرفی انواع مختلف سیالات حفاری می پردازیم.

### ● محتویات مقاله

هوا، سبکترین ماده ای است که به عنوان سیال حفاری سبک ممکن است به کار گرفته شود. این ماده می تواند فاز پیوسته سیال حفاری را تشکیل دهد (حفاری با هوای خشک) و یا این که تشکیل دهنده فاز غیرپیوسته سیال حفاری (حفاری با کف و کف فشرده) باشد. حفاری با هوا، سرعت حفاری را افزایش می دهد، عمر مفید مته را طولانی می سازد، از میزان هرزروی گل های حفاری و صدمه دیدگی سازند می کاهد و باعث گرفتن مغزه های تمیزتر از چاه در حال حفر می شود. از مهمترین فواید حفاری با هوا، افزایش سرعت حفاری و از طرف دیگر کاهش هزینه های حفر چاه است. هر چه سیال به کار گرفته شده در عملیات حفاری سبکتر باشد نیرویی که بر کنده های زیر مته وارد می شود، کاهش می یابد و کنده ها آسانتر به طرف بالا حرکت می کنند و از زیر مته خارج می شوند؛ بدین ترتیب، سرعت حفاری افزایش می

یابد.

امروزه، حفاری با هوا، به خاطر کاهش هزینه های حفاری به طور وسیعی مورد قبول و استفاده قرار گرفته و تنها دلیل عدم استفاده از این شیوه، مربوط به عدم اطلاع کافی از این روش است. سیالات به کار گرفته شده در عملیات حفاری زیر فشار تعادلی (underbalanced drilling) برحسب شرایط استفاده به چند دسته تقسیم می شوند:

### ● حفاری با گرد و غبار

یا Dust drilling

چنانچه سازندی که در آن حفاری صورت می گیرد، کاملاً خشک باشد و یا اینکه جریان خفیفی از آب درون چاه نفوذ کند، از این نوع حفاری استفاده می شود.

در این حالت، آب نفوذی توسط جریان هوا جذب می شود و کنده های حفاری هنگام رسیدن به سطح زمین به صورت ابری از گرد و غبار در می آیند. در حفاری به این روش فشار ته چاه به میزان بسیار کمی از فشار هوا بیشتر است؛ این فشار هیدروستاتیک کم، برای مته بسیار ایده آل خواهد بود زیرا مته می تواند با حداکثر بازدهی، اقدام به خرد کردن سنگها نماید.

در این شیوه از حفاری، میزان قابلیت جا به جایی کنده ها توسط جریان هوا، به دانسیته سیال حفاری و مجذور سرعت آن در فضای حلقوی (annulas) بستگی دارد. با افزایش عمق چاه و افزایش دانسیته هوا - به

دلیل وجود کنده های حفاری و فراهم کردن سرعت مناسب در فضای حلقوی (annulas) باید میزان فشار هوا و حجم هوای ورودی به چاه را افزایش داد.

در اغلب موارد، سرعت حلقوی ۳۰۰۰ فوت در دقیقه کافی است ولی چنانکه سرعت نفوذ یا "penetration rate" از ۶۰ فوت در ساعت تجاوز کند سرعت مزبور باید افزایش یابد تا کنده ها از ته چاه به سطح زمین حمل شوند.

### ● حفاری با هوای مرطوب

یا Mist drilling

این روش زمانی به کار می رود که جریان آب ناشی از سازند زیاد بوده و امکان خشک کردن آن وجود نداشته باشد؛ لذا در این شیوه حفاری از مخلوطی از ماده ای شبیه صابون همراه با آب و جریان هوا استفاده می شود که اصطلاحاً به این مخلوط "Mist" می گویند. بنا به دلایل ذیل، در این شیوه از حفاری میزان هوای مورد نیاز به مقدار ۳۰ تا ۴۰ درصد نسبت به مقدار هوا در حفاری گرد و غباری بیشتر است:

الف) سنگین تر بودن ستون هوا در فضای حلقوی - به دلیل حمل آب نفوذی از سازندها

ب) جا به جایی کنده ها بدون تغییر شکل (پودر شدن) به طرف سطح

ج) چسبیدن کنده ها به یکدیگر به دلیل داشتن رطوبت و افزایش قطر آنها

بنابراین برای جلوگیری از سقوط آنها بایستی میزان هوای مورد نیاز و سرعت جریان هوا در فضای حلقوی را



تأمین PH حدود ۱۲ و جلوگیری از خوردگی از سود و به عنوان بازدارنده شیل ها از کلرورپتاسیم استفاده کنیم. در حفاری محیط های روغنی یا دارای آب شور برای تهیه امولسیون از مواد زیر استفاده می شود: آب معمولی، دریسپک ( Drispak ) سبای پن (Cypak) و صابون مایع حفاری.

قابل ذکر است که سبای پن نوعی ماده پلی کریلات سدیم است و به عنوان ماده کنترل کننده عصاره آب در گلهای بدون مواد جامد کلرور کلسیمی استفاده می شود و ماده دریسپک نیز نوعی آنیونیک سلولز است که به عنوان ماده کنترل کننده عصاره آب و همچنین مولد گراندرویی در گلهای ساخته شده با آب نمک مورد استفاده قرار می گیرد.

### ● حفاری با گل هوازاده یا

#### Aerated mud drilling

تقاضا برای حفاری با این سیستم زمانی صورت می گیرد که آب ناشی از طبقات زمین بسیار زیاد و امکان حفاری با هوا وجود نداشته باشد و یا این که بخواهیم هزینه های مربوط به هرزروی گل را در حین حفاری کاهش دهیم. این شیوه حفاری زمانی ایده آل است که ترکیب هوا با گل، یک کف همگن و پایدار به وجود آورد که در طول گردش خود درون چاه و تا رسیدن به سطح زمین حالت خود را حفظ کند. گل هوازده به صورت جریان متلاطم ( Turbulent ) در فضای حلقوی حرکت می کند و در

درون چاه فرستاده نمی شود و باید تمامی کف خارج شده از چاه را به درون حوضچه های اطراف چاه هدایت کرد. به عبارتی دیگر حفاری با کف فشرده، به صورت سیستم باز انجام می شود. این شیوه حفاری از پیشرفته ترین شیوه هاست، زیرا فشار حفاری را به میزان زیاد کاهش می دهد و در نتیجه، این کاهش فشار، مشکلات ناشی از هرزروی گل را به حداقل می رساند و در تمیز کردن چاه نقشی عمده ایفا می کند. این شیوه از حفاری، از خصوصیات زیر برخوردار است:

الف) نفوذ آب زیاد از سازندها به درون چاه، استفاده از این شیوه را دچار محدودیت می کند.

ب) با استفاده از این شیوه، ته چاه ایمن خواهد شد.

ج) استفاده از مواد بازدارنده به همراه امولسیون، هزینه حفاری را زیاد می کند.

د) مقدار تزریق کف فشرده در این شیوه باید بین ۸ تا ۱۲ بشکه در ساعت باشد.

برای ساختن چنین امولسیون غلیظ و پایداری معمولاً از مواد زیر استفاده می شود:

آب معمولی، بنتونایت، کربنات سدیم، کربوکسی متیل سلولز با گراندرویی بالا، سود و صابون مایع حفاری.

این امولسیون پایدار در محیط های روغنی و دارای آب شور خاصیت خود را از دست می دهد و می شکند. چنان که بخواهیم در سازندهای حساس حفاری کنیم، بهتر آن است که برای

افزایش داد. به طور کلی فشار تزریقی هوا در حفاری گرد و غبار برابر ۲۰۰ پام ( پوند بر اینچ مربع ) است و در حفاری مرطوب این مقدار گاهی تا ۲۵۰ پام افزایش می یابد. استفاده از مواد کف ساز در کاهش میزان هوای مورد نیاز مؤثر است، ولی هر چه میزان رطوبت بیشتر شود، باید مقدار جریان هوا و فشار هوا را نیز افزایش داد. در این شیوه از حفاری، وجود مقدار زیاد آب همراه با اکسیژن هوا، باعث خوردگی لوله های درون چاه می شود و این خود از مشکلات این شیوه حفاری است. برای حل این مشکل از آهک استفاده می کنند تا PH محیط را تا حدود ۱۲ تقویت کرده و مانع خوردگی لوله ها در مقابل اکسید شده شدن شود. برای کنترل خوردگی لوله ها در برابر سولفید هیدروژن نیز از بازدارنده های آمینی همراه با آهک استفاده می شود.

### ● حفاری با کف غلیظ و فشرده

#### Stiff foam drilling

کف فشرده در واقع امولسیونی است که در آن، هوا توسط مواد کف ساز و پایدار کننده به صورت یک عنصر پایدار در آمده است. شکل ظاهری آن شبیه خمیر ریش است و به خاطر وجود مواد پایدار کننده در فشار و دماهای بالا، این امولسیون در ته چاه نخواهد شکست. تفاوت عمده این نوع حفاری با سایر گونه های حفاری زیر فشار تعادلی، این است که در این شیوه کف غلیظ پس از خروج از چاه به علت غلظت زیاد، به



بعضی مواقع هوای موجود در آن در اثر فشار و درجه حرارت درون چاه، ممکن است از گل جدا شود و به صورت فازی جداگانه - قبل از لخته های گل در درون فضای حلقوی با سرعتی در حدود ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ فوت در دقیقه - به سمت بالا حرکت کند. حرکت چنین ستونی با این سرعت بالا، باعث فرسایش دیواره چاه خواهد شد. برای این که از بروز این مشکل جلوگیری کنیم باید از گلهایی که دارای قدرت استحکام اولیه با ژل اولیه کافی (Initial gel) هستند استفاده کنیم تا از جدا شدن هوا از گل در داخل فضای حلقوی جلوگیری کرده و به تبع آن مانع از فرسایش دیواره چاه شویم. در عین حال باید به خاطر داشته باشیم که ژل اولیه گل باید به اندازه ای باشد که به محض رسیدن گل به سطح زمین، هوای درون آن به سرعت خارج شود زیرا در غیر این صورت باعث هواگرفتنگی پمپ ها شده و بازدهی پمپها کاهش خواهد یافت. یک روش ساده برای جدا کردن هوا از درون گل، استفاده از Degaser در سطح زمین است.

علاوه بر سیالاتی که در حفاری زیر فشار تعادلی استفاده می شود، مواد شیمیایی دیگری نیز در این تکنیک از حفاری به کار گرفته می شوند که عبارتند از:

**الف) مواد کف ساز:** از این مواد در حفاری سازندهای مرطوب و برای پراکنده کردن ذرات و کنده ها از اطراف مته و دیواره چاه استفاده می شود. این

مواد معمولاً پراکنده کننده ذرات یا Dispersant هستند و یک نوع از آنها به عنوان Detergent مورد استفاده قرار می گیرد.

**ب) مواد سازنده خوردگی:** در مواقعی که حفاری به صورت مرطوب یا با استفاده از گل هوازده صورت گیرد (مخصوصاً در دریا) برای جلوگیری از خوردگی و سوراخ شدن لوله های حفاری باید از این مواد استفاده کرد. در آبهای شور و آب دریا با مقدار نمک ۱۰ هزار تا ۲۰ هزار قسمت در میلیون، هدایت الکتریکی و قابلیت حلالیت اکسیژن بسیار زیاد است. اکسیژن محلول در آب میل ترکیبی شدیدی با هیدروژن که در قسمت کاتودیک لوله حفاری متمرکز است دارد و این فعل و انفعال شیمیایی باعث خوردگی لوله های حفاری می گردد. پس چنانچه اکسیژن محلول را به وسیله عوامل فیزیکی یا شیمیایی خارج کرده یا

از بین ببریم، یونهای هیدروژن به حالت اولیه خود باقی می ماند و عمل خوردگی صورت نمی گیرد. استفاده از آهک در آبهای محتوی بی کربنات کلسیم باعث تشکیل رسوب سفید رنگ و غیر محلول کربنات کلسیم می شود که به عنوان لایه محافظ بر روی لوله های حفاری، از خوردگی جلوگیری می کند.

**ج) مواد خشک کننده:** امروزه در حفاری دیواره های نمناک از پودر سیلیکات به عنوان ماده جاذب رطوبت که از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه

است استفاده می کنند.

با توجه به مزایای استفاده از سیالات حفاری زیر فشار تعادلی در دستیابی به مخازن نفت و گاز از جمله افزایش سرعت حفاری، کاهش هرزروی سیال، افزایش عمر مته، ارزیابی بهتر سازندها، کاهش صدمه دیدگی سازندها و تولید زودتر از مخازن و از آنجا که کشور ما کلیه شرایط مورد نیاز برای به کارگیری این شیوه از حفاری اعم از مخازن با نفوذپذیری کم، مخازن شکافدار، مخازن تخلیه شده و کم فشار مخازنی که دارای سازندهای سخت و پرفشار را دارد، شایسته است، که مسؤولان طراح چاه و برنامه ریزان عملیات حفاری، استفاده از این روش حفاری را در دستور کار خود قرار دهند تا از این طریق، ضمن کاهش هزینه های جاری حفر چاه و افزایش میزان تولید، اقداماتی عملی را در جهت صیانت از مخازن نفت و گاز به اجرا در آورند.

### منابع

- 1-Boyun Guo and Ali ghalambor,"Gas Volume requirements for underbalanced Drilling", 2002
- 2-"Shell Global Implementation team " underbalanced Drilling primer

۲- اصول اولیه حفاری کم فشار، انتشارات شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب