

# حفاری چاه های نفتی



چاه نفت عبارت است از حفره‌ای استوانه‌ای که در زمین برای اکتشاف، بهره برداری و ... از منابع نفتی ایجاد می‌شود و ممکن است عمود و یا مایل بر سطح زمین باشد.

### چاه عمیق

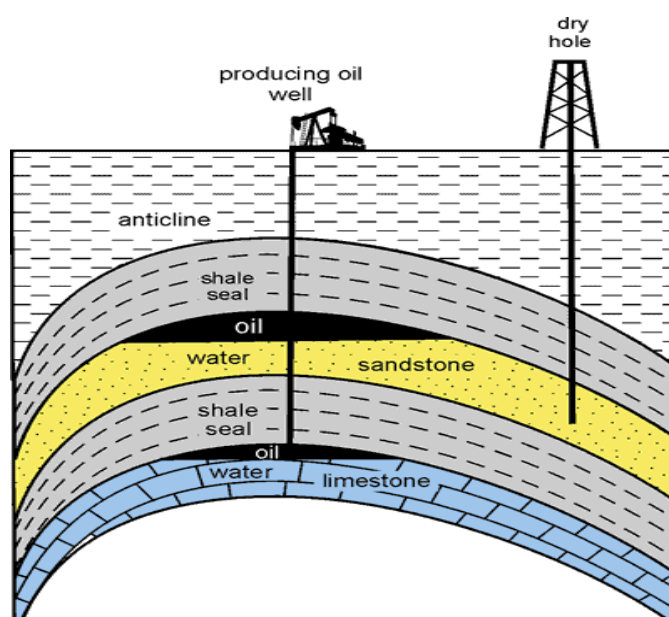
چاههایی که عمق آنها از ۴۵۰۰ متر بیشتر باشد چاه عمیق نامیده می‌شود. در ایالت متحده آمریکا به چاههایی که عمق آنها تا ۶۰۰۰ متر باشد، چاه خیلی عمیق و چاههایی را که عمق آنها تا ۷۵۰۰ متر برسد چاه بسیار عمیق گویند. پروژه‌های چاههای عمیق به منظور پژوهشهای نفتی و در سنگهای آذرین به منظور اکتشاف انرژی گرمایی آبهای زیرزمینی حفر می‌گردد.

### عمیق ترین چاه اکتشافی حفر شده

دکل حفاری "کالا" تا عمق ۱۱۶۰۰ متری پوسته قدیمی قاره‌ای آرکئن- پروتروزوئیک (Archean-Proterzoic) در بالتیک نفوذ کرده و از جمله عمیق ترین چاههای اکتشافی محسوب می‌شود. چاه مذکور به اس- جی- ۳ موسوم می‌باشد.

### عمر چاهها و مخازن

عمر یک چاه و یا مخزن از زمان رسیدن نفت یا گاز به سطح زمین در شرایطی که دارای قابلیت اقتصادی باشد شروع شده و تا زمانی که استخراج از چاه و یا مخزن مقرون به صرفه باشد، ادامه می‌یابد. هرگاه هزینه تولید نفت از میزان فروش آن بیشتر باشد، چاه را می‌بندند و عمر چاه و همچنین عمر مخزن آن را بطور موقت یا دائم خاتمه یافته تلقی می‌نمایند.



## انواع چاههای نفت

### چاه اکتشافی (Exploration Well)

چاه اکتشافی اولین چاهی است که جهت کسب اطلاعات زمین شناسی و آگاهی از وضعیت نفت و گاز در ناحیه مورد نظر حفر می‌شود. حفر چاه اکتشافی پس از انجام مراحل اکتشاف و تعیین نواحی دارای پتانسیل ذخیره نفت و گاز صورت می‌گیرد. اگر اکتشاف در یک میدان نفتی متشکل از دو یا چند مخزن به عمل آید، اولین چاه منتهی به هر مخزن در واقع، چاه اکتشافی آن مخزن محسوب می‌شود.

### چاه توصیفی (Delineation Well)

برای آگاهی از مرزهای جانبی مخزن، تعیین حجم ذخیره و چگونگی گسترش ذخیره مخزن با حفر چاه توصیفی حفر می‌شود. قبل از شروع حفاری اکتشافی با بررسی اطلاعات زمین شناسی و لرزه نگاری احتمال وجود نفت بررسی می‌شود.

### چاه مشاهده ای (Observation Well)

چاههایی که به منظور مشاهده وضعیت مخزن حفاری شود چاه مشاهده‌ای نامیده می‌شود. فشار مخزن، سطح آب و نفت، نسبت آب و نفت و ... از جمله مواردی است که با استفاده از چاههای مشاهده‌ای قابل بررسی و اندازه گیری است.

### چاه جایگزین (Succession Well)

چاه جانشینی در مواقعی که امکان بهره برداری از چاه قبلی وجود نداشته باشد حفاری می‌شود. برای مثال، حفاری چاه جانشینی در مجاورت چاهی که به دلیل جاماندگی ابزار حفاری در آن متوقف شده باشد انجام می‌شود.

### چاه توسعه‌ای (Development Well)

پس از حفاری چاههای اکتشافی و توصیفی و ضمن تایید ذخیره دارای قابلیت اقتصادی مخزن ذخیره، اقدام به حفر چاههای توسعه‌ای می‌شود. استخراج نفت و گاز از مخزن بطور عمده از طریق چاه های توسعه‌ای صورت می‌گیرد.

امروزه در صنعت نفت، صنعت حفاری از بالاترین درجه اهمیت برخوردار است و ملاک قدرت شرکت‌های نفتی محسوب می‌شود. حفاری به ۲ روش انجام می‌شود :

۱\_ حفاری دورانی (Rotational drilling)

۲\_ حفاری ضربه‌ای (Cable tool drilling)

امروزه حفاری ضربه‌ای کاربرد زیادی ندارد و تقریباً تمامی چاه‌ها به روش حفاری دورانی (Rotational drilling) حفر می‌شوند.

### حفاری دورانی

در این روش حفاری، از مته‌های متنوعی استفاده می‌شود. مته‌ها با حرکت چرخشی روی سنگ باعث خرد شدن و ساییده شدن آن می‌شوند و انرژی لازم برای به چرخش در آوردن مته و لوله با کمک سیستم دورانی تامین می‌گردد. از مهمترین عواملی که موجب افزایش سرعت حفاری می‌شود گل حفاری است که در عملیات حفاری همانند خون در بدن انسان عمل میکند بدین صورت که به هنگام چرخش مته از نازل‌های (سوراخ) موجود بر روی مته خارج شده و کنده‌های حفاری (Cutting) را با بهره‌مندی از خاصیت حمل به سطح زمین انتقال میدهد که این عمل باعث افزایش سرعت حفاری شده و از قفل شدن مته در چاه جلوگیری می‌کند. امروزه تقریباً در همه جای دنیا برای حفر چاه‌های نفتی یا گازی از سیستم حفاری دورانی استفاده می‌شود.



## حفاری ضربه‌ای

دستگاه های حفاری ضربه‌ای و یا سیستم های ضربه‌ای، دستگاههای ساده‌ای هستند که برای پژوهشهای آب یابی بسیار مناسب هستند. از این دستگاهها بیشتر برای حفر چاه هایی که در داخل سنگهای مقاوم قرار دارند، استفاده می‌کنند. اصول کار سیستم های ضربه‌ای خردکردن سنگهاست که این عمل بوسیله مته‌ای به نام مته حفاری یا تریپان انجام می‌گیرد. مته‌ها بطور منظم از ارتفاع ثابتی روی سنگ فرود می‌آیند. دستگاه مجهز به یک خرک چهار قطبی و یا یک دکل است که مته‌های حفاری با یک قرقره برگشت دهنده روی آن آویزان می‌گردند. این مته‌ها دارای حرکت رفت و برگشتی می‌باشند و برای اجرای مانورهای حرکتی پائین و بالا، از دستگاه رفت و برگشت جدا گردیده و به وسیله‌ای به نام چرخ قرقره که برای نصب لوله‌ها نیز بکار می‌رود، اتصال می‌یابند. خرکهای جدا شونده، چوبی و یا فلزی هستند. پایه‌ها روی دالهای سیمانی که قبل از مونتاژ دستگاه آماده می‌شوند، قرار می‌گیرند. دکل‌های خم شونده یا تلسکوپی، دستگاههای خودکار قابل حمل حفاری را مجهز می‌نمایند. این دکلها به صورت دائمی در پشت یک کامیون نیز می‌توانند ثابت شده باشند. دکلها باید با کابل‌های محکم روی بلوکهای سیمانی استوار شوند.

## عمیق ترین چاه با روش ضربه ای

عمیق ترین چاه که با این روش در ایالت نیویورک توسط شرکت گاز طبیعی ایالت نیویورک از سال ۱۹۴۸ تا ۱۹۵۳ و با عمق ۱۱۱۴۵ فوت حفر گردیده بود که به نفت نرسیده بود.

## مشکلات حفاری

### ورود سیالات از سازندها به درون چاه (blow out)

گلی که به داخل چاه فرستاده می‌شود دارای فشار مشخصی است که با استفاده از این فشار، سازندها (Formation) و سیالات موجود در این سازندها را کنترل می‌کنند. اگر فشار گل کمتر از فشار سازند باشد، باعث می‌شود سیالات موجود در این سازندها به درون چاه نفوذ کنند. اگر این سیال گاز یا بخار آب باشد بسیار خطرناک است؛ حتی اگر سیال وارد شده مایع باشد نیز زیان آور است و باعث تغییر ماهیت گل می‌شود و می‌تواند گل را از بین ببرد. به پدیده وارد شدن سیالات از سازندها به داخل گل blow out گویند.

## از دست رفتن گل (Mud loss)

این فرآیند عکس فرآیند blow out است؛ یعنی فشار گل به حدی زیاد است که گل حفاری به داخل سازند نفوذ می‌کند و باعث هدر رفتن گل حفاری می‌شود. اگر این امر در لایه‌ی مخزن اتفاق بیافتد، باعث پرشدن خلل و فرج مخازن نفت و گاز بابخش‌های جامد گل حفاری (mud cake) که در اصطلاح گل کبره‌ای گفته می‌شود شده و از میزان بهره‌دهی مخزن کاسته می‌شود. در بهترین حالت از دست رفتن گل حفاری باعث ایجاد خسارت مالی می‌شود. باید یادآور شد که گل حفاری پیچیده‌ترین سیالی است که بشر به آن دست یافته است و ماده ارزان قیمتی نیست.

## هرز رفتن آب گل حفاری (Filler loss)

گاهی گل به طور کامل وارد سازند نمی‌شود و فقط آب این ترکیب داخل سازند می‌شود که این امر باعث خراب شدن گل حفاری شده و کارایی آن را کاهش می‌دهد.

گل حفاری دارای ویژگی‌های زیر است:

- ۱\_ اصطکاک بین مته و لایه‌های سنگی را کم می‌کند تا حفاری روان‌تر پیش رود و مته در سنگ گیر نکند.
- ۲\_ حرارت ناشی از اصطکاک بین مته و لایه‌های سنگی را به سرچاه منتقل می‌کند.
- ۳\_ خرده سنگ‌های برجای مانده از حفاری را که در صورت باقیماندن در ته چاه به پره‌های مته حفاری گیر کرده و مانع حرکت آن می‌شوند، از چاه بیرون می‌آورد.
- ۴\_ گل کبره‌ای (mud cake) لایه‌ای بر دیواره ایجاد می‌کند. در این صورت برخی از لایه‌های سنگی (غیر مخزنی) که سست و ناپایدارند و ممکن است در محل دهانه‌ی چاه مشکل ریزش یا گرفتگی ایجاد کنند، با این جداره پوششی پایدار می‌یابند.
- ۵\_ در مسیر رسیدن به لایه مخزنی، مته از میان لایه‌های زیادی عبور می‌کند بعضی از این لایه‌ها به خودی خود متخلخل و حاوی مقداری سیال هستند. فشاری که ستون گل حفاری بر دیواره‌ی چاه وارد می‌کند، از ورود این سیالات به درون چاه پیشگیری می‌کنند. شاید این از مهمترین ویژگی‌هایی باشد که گل حفاری در مرحله‌ی حفاری از آن برخوردار است.

## نقش گل حفاری

نخست، خارج کردن خرده سنگ های کنده شده از اطراف مته و آوردن آنها به سطح؛ دوم، خنک کردن و تقلیل اصطکاک مته با زمین؛ سوم، محافظت دیواره چاه و ممانعت از ریزش طبقات؛ چهارم، ایجاد تعادل بین مایعات درون طبقات و مایعات داخل چاه؛ پنجم، انتقال گاز و یا نفت از طبقات زیرزمینی به سطح و درون دستگاه های اندازه گیری مثل دستگاه شناسایی گازها و یا دستگاه تعیین کننده نوع گاز.

## وظیفه گل حفاری

وظیفه اصلی گل ثابت نگهداشتن فشار هیدرواستاتیکی در داخل چاه است. اگر فشار گل از فشار مواد موجود در داخل چاه بیشتر باشد در این صورت گل به داخل سازندها نفوذ کرده و باعث کم شدن (loss) گل می شود. اگر حفار سرچاهی متوجه این جریان نشود گل به سرعت کم شده و بعد از تمام شدن و یا کم شدن فشار گل، چاه فوران (flow rate) می کند. این موجب میشود که دکل حفاری نابود شود. در سازندهایی که درون آنها گاز یا نفت وجود دارد این مرحله آتش سوزی به دنبال خواهد داشت و موجب گیر کردن لوله حفاری در چاه میشود که این خود موجب اشکال در حفاری خواهد شد. برای سنگین کردن گل از مواد مختلفی همچون نمک و ... استفاده میشود. این ترکیبات را با آزمایش و به تناسب منطقه جغرافیایی به دست می آورند.

## گیر کردن ابزار حفاری درون چاه

ممکن است در حین حفاری یا امور مربوطه که درون چاه انجام می شود، برخی از ابزارهای حفاری درون چاه گیر کرده و یا به درون آن پرتاب شوند. متداولترین این حوادث گیر کردن رشته های حفاری به دیواره چاه است که به آن stacking می گویند. همچنین ممکن است قطعه ای به درون چاه پرتاب شود که در این صورت باید با روش ها و ابزارهای مانده یابی (Fishing) آن قطعه را خارج کرد.

## ریزش لایه ها درون چاه

در حین حفاری ممکن است به لایه هایی برسیم که بسیار سست هستند و به درون چاه ریزش کنند، یا ممکن است لایه ای که حفاری می کنیم از جنس رس باشد و در تماس با آب گل حفاری با آن سازند، افزایش حجم پیدا کند و چاه

رامسدود کند. روشی که برای حل این مشکل پیشنهاد می‌شود این است که تا جایی که امکان دارد از گلی با پایه‌های روغنی استفاده شود و سازند نیز سریعاً توسط لوله جداری (Casing) پوشانده شود. اما اگر سازند، سست باشد به درون چاه ریزش می‌کند و ممکن است باعث مدفون شدن مته حفاری نیز شود. روشی که برای جلوگیری از این مشکل پیشنهاد می‌شود این است که گل حفاری را طوری طراحی کنند که در محل سازند سست، گل کبره (mud cake) زیادی ایجاد شود و مانع ریزش سازند شود.

## تکنولوژی روش‌های حفاری

انواع روش‌های حفاری از نظر مسیر حفاری عبارتند از:

### حفاری عمودی (vertical drilling)

در این روش، حفاری بصورت عمود نسبت به سطح زمین انجام می‌شود اما در هر حفاری یک انحراف از مسیر (drift) وجود دارد که در روش عمودی این انحراف باید خیلی کم و در حد ۱ تا ۲ درجه باشد.

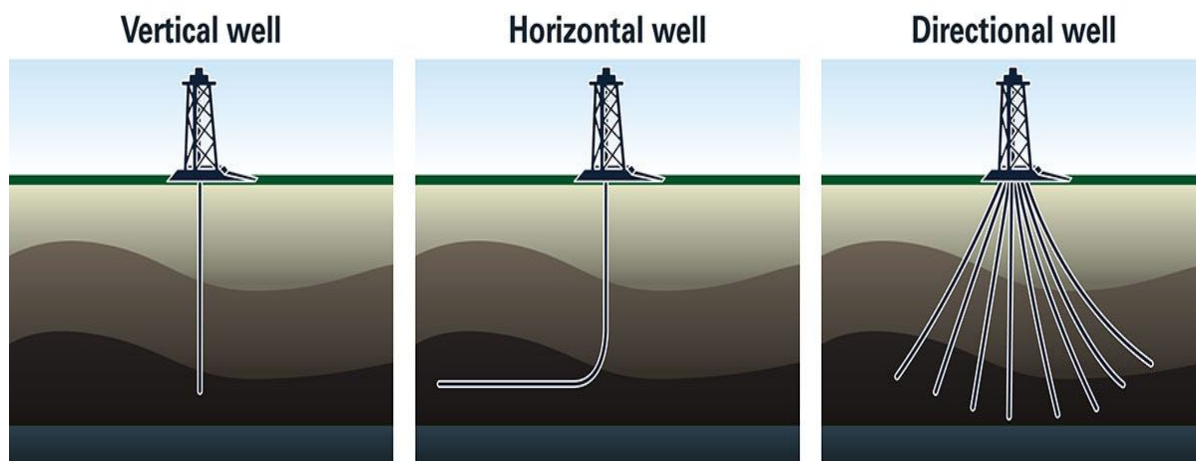
### حفاری انحرافی (Slant well)

در این روش، مسیر حفاری نسبت به محور عمود بر سطح زمین دارای زاویه است و حتی ممکن است بهنگام حفاری عمودی در یک قسمت رشته‌های حفاری به دیواره چاه گیر کنند و آزاد کردن آنها ممکن نباشد و اجباراً به قطع آن قسمت از لوله‌های حفاری که به دیواره چاه گیر کرده است بپردازیم و پس از سیمان کردن آن قسمت با استفاده از روش حفاری انحرافی این منطقه را دور زده و دوباره به مسیر حفاری قبلی بازگردیم.

### حفاری افقی (Horizontal drilling)

حفاری در این روش، با زاویه ۹۰ درجه نسبت به محور چاه انجام می‌شود. این نوع حفاری می‌تواند درسنگ مخزن بسیار بصره باشد چرا که سطح تماس مخزن را با چاه افزایش داده و در نتیجه باعث برداشت بیشتر و بهتر از مخزن شود، اما این روش نیاز به تکنولوژی بالایی نیز دارد.



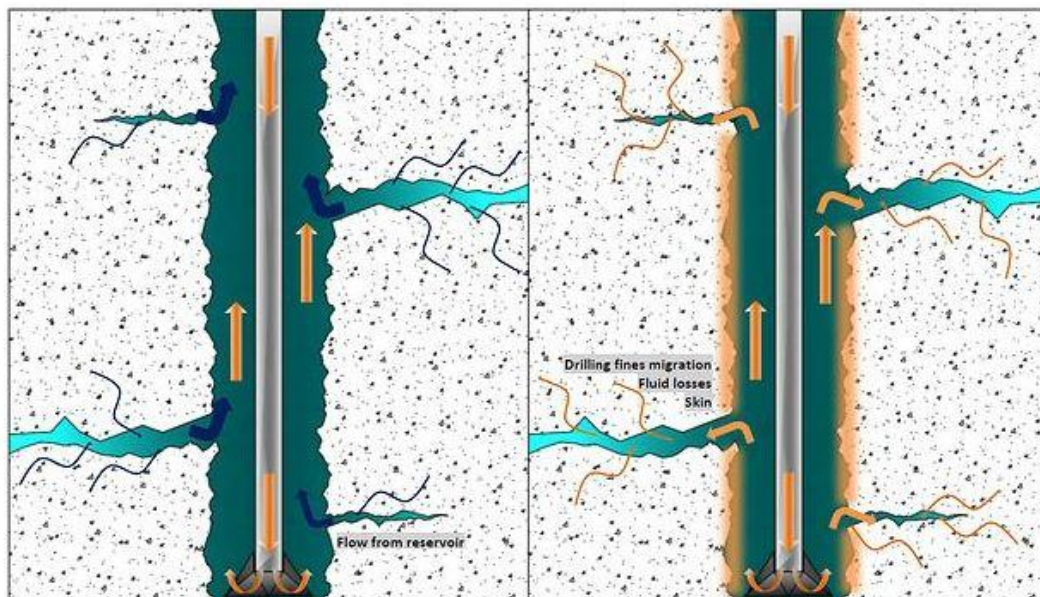


### حفاری چند جانبه (Multilateral Drilling)

این روش بیشتر در چاه‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بر سطح دریا (offshore) یا همان سکوه‌های نفتی و گازی دریایی قرار دارند. در این روش از یک سکو در جهت‌های مختلف، حفاری انجام می‌شود به صورتی که هم زمان می‌توان چندین نقطه در یک مخزن یا مخازن مختلف را حفاری کرد.

### حفاری تحت فشار UBD (Under Balance Drilling)

این روش دارای سرعت حفاری بسیار بالایی است. در این تکنیک فشار گل حفاری را طبق استانداردها و معیارهای مختلف که باعث فوران چاه نشود به میزانی پایین تر از فشار سازند و سیال موجود در آن می‌رسانند. کاربرد اصلی این روش برای حفاری سازند های سخت می باشد به این ترتیب که اگر فشار روی این سازندها کم باشد فشار خود سازند موجب پاشیده شدن آن می‌شود و سرعت حفاری را تا حد زیادی بالا می‌برد البته این روش نیاز به تکنولوژی پیشرفته ای دارد.



Underbalanced Condition

Conventional (Overbalanced) Condition

## روش های نوین حفاری

### تکنولوژی حفاری لیزری

پژوهش در مورد استفاده از فناوری لیزر برای حفاری چاه نفت اولین بار در ارتش آمریکا در سال ۱۹۷۷ شروع شده است. این آزمایش نشان داد که سرعت حفاری با استفاده از این روش بین ۱۰ تا ۱۰۰ برابر افزایش می یابد. هدف اصلی تمامی آزمایش هایی که تاکنون با لیزر انجام شده است، دستیابی به بیشترین مقدار حفاری با کمترین هزینه ممکن با حداقل توان مورد نیاز می باشد. آزمایشی تحت عنوان پروژه میراکل (Miracle project) توسط دو دانشمند به نام های برین و گریوس انجام گرفت. در این آزمایش از امواجی با طول موج  $3/8 \mu\text{m}$  و با توان لیزری ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلو وات با استفاده از آن توانستند طی چهار ثانیه تابش لیزری به عمق سه اینچ در ماسه سنگ حفاری نمایند. با انتخاب سیستم لیزری، قادر خواهیم بود سرعت حفاری را تا اندازه قابل توجهی افزایش دهیم. استفاده از تکنولوژی لیزری برای حفاری چاه نفت، پیامد های برجسته ای را به همراه دارد. از جمله مهم ترین آنها می توان به ایجاد دیواره سرامیکی در چاه، کاهش احتمال توقف عملیات حفاری، کاهش تعداد روز های حفاری، ایجاد قطر یکسان از سطح تا انتهای چاه، کاهش احتمال گیرکردن لوله های حفاری، امکان استفاده از لوله های سبک به جای لوله های

سنگین، کاهش آلودگی زیست محیطی و افزایش سرعت حفاری از ۱۰ تا ۱۰۰ برابر اشاره کرد. یکی از مهم ترین معایب حفاری لیزری انتقال انرژی لیزر از منبع آن در سطح چاه به عدسی آن در انتهای چاه می باشد. مکانیزم حفاری بوسیله لیزر به این ترتیب است که با برخورد اشعه لیزر، سنگ ها خرد شده و سپس ذوب و در مرحله سوم بخار می شوند. در این مرحله جت سیالی، بخار تولید شده را به جداره چاه چسبانده که خود به ایجاد دیواره سرامیکی در جداره چاه می گردد. ایجاد جداره سرامیکی فواید فراوانی را به همراه دارد.

### تکنولوژی حفاری کانال پلاسما (PCD)

ابداع روش های حفاری به منظور کاهش هزینه و آسان شدن عملیات از موضوعات مهم محققین این حوزه از صنعت می باشد. با توجه به وجود مخازن هیدروکربوری در مناطق سخت و دشوار و همچنین کاهش طول دوره حفاری که هزینه ثابت سنگینی را به دنبال دارد، متخصصین این رشته همواره در پی آن هستند تا مناسب ترین روش را براساس دانش فنی روز برای حفاری چاه نفت شناسایی کرده و آماده فرایند عملیاتی کنند. یکی از روش های نوین حفاری، روش حفاری کانال پلاسما می باشد.

گروهی از محققان در دانشگاه Strathclyde اسکاتلند، استفاده از برق پالسی و پلاسما با قدرت الکتریکی بالا را برای حفاری در سنگ بررسی کردند. محققان تخمین میزنند که با استفاده از این تکنیکهای جدید اکتشاف، تنها از چاههای موجود در دریای شمال، میتوان حجمی معادل ۳/۱ میلیارد بشکه نفت استخراج کرد.

با استفاده از این تکنولوژیها از طریق عملیات ترمیمی در چاه های موجود و اکتشاف با هزینه کاراتر و توسعه ذخایر دست نخورده، میتوانند سطح تولید موجود در فلات قاره بریتانیا را برای ۱۵ الی ۲۰ سال آینده حفظ کنند. در همین راستا این گروه از محققین برای ایجاد "کانال پلاسما" در سنگ حفاری، از برق پالسی ولتاژ بالا استفاده می کنند. در این فرایند با عبور جریان برق پالسی، انفجار فوق العاده سریع کانال پلاسما در داخل سنگ در مدت کمتر از یک میلیونیم ثانیه اتفاق می افتد و باعث شکستگی و خرد شدن سنگ میشود. سنگ های خرد شده در اثر نیروی انفجار به دیواره می چسبند و یک دیواره سنگ ریزه در جداره چاه ایجاد می شود. حفاری کانال پلاسما، در بطن سنگ محل حفاری با نیروی تخلیه الکتریکی بسیار سریع پلاسما انجام میشود. در این روش، پلاسما به سرعت منفجر شده و انرژی از طریق آن به سنگ منتقل میشود. این انفجار سریع مثل یک پیستون بر سنگ مورد نظر اثر میگذارد و موجب خرد و

متلاشی شدن آن میشود. با استفاده از تکنولوژی پر قدرت برق پالسی، توده پلاسما چندین بار در ثانیه تشکیل می شود. نتیجه این روند مکرر، حفاری کنترل شده با کارایی بالا است.

روش کانال پلاسما به علت قابلیت انتقال و استفاده بهینه از انرژی مصرفی، پیشرفت عمده‌ای در عملیات حفاری داشته و به علاوه، چون در فرآیند کانال پلاسما سوراخ ایجاد شده کوچک و به قطر یک یا دو اینچ است، لذا خرابی و ریزش در بستر دریا در مقایسه با حفاری سنتی به شدت کمتر است. دیوید مکبت (David Macbeth) قائم مقام دانشگاه Strathclyde میگوید: خیلی از شرکتها اکنون به این نتیجه رسیده اند که چاههایی با قطر کوچک به خاطر پایین بودن هزینه های حفاری و تخریب کم در محیط زیست، گزینه بهتری برای اکتشاف و استخراج میباشد. حفاری کانال پلاسما میتواند مورد مصرف قرار گیرد و به تکنولوژی برتری در آینده برای اکتشاف و تولید نفت و گاز تبدیل شود.

اتحادیه صادرکنندگان فراورده های نفت،

گاز و پتروشیمی ایران

پژوهش

مقاله —

۱۳۹۴/۰۷/۲۶

پریسا جمشیدی