



بهبود سرعت حفاری با استفاده از تکنولوژی لیزر

مهدی بخت پیدار^۱، محسن قربانخانی^۲ ■ دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه

چکیده

استفاده از تکنولوژی‌های جدید در صنعت حفاری چاه‌های نفت و گاز ضروری است. در دهه‌های اخیر، صنعت حفاری پیشرفت‌هایی داشته است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به جایگزینی حفاری دورانی با حفاری کابلی اشاره کرد. در سال‌های اخیر روش‌های جدید متعددی در زمینه حفاری‌های نوین پیشنهاد شده است. یکی از روش‌های قابل قبول که نظر بسیاری از مهندسين را به خود جلب کرده است، حفاری چاه‌های نفت و گاز با استفاده از تکنولوژی لیزر می‌باشد. هر چند آزمایش‌های متعددی در این زمینه صورت گرفته، اما تاکنون این نوع حفاری به صورت میدانی و عملی انجام نشده است؛ زیرا هر تغییر و جایگزینی، نیازمند داده‌ها و اثبات‌های قوی است.

در این مقاله سعی شده است با استفاده از آزمایش‌هایی که برای اولین بار در ایران انجام گرفته، به منظور ورود تکنولوژی لیزر به صنعت حفاری، داده‌های منطقی و استدلال‌های محکمی ارائه گردد. این داده‌ها بر اساس نوع دستگاه‌های موجود و امکانات محدود در دسترس به‌دست آمده‌اند.

در این مقاله هدف اصلی به‌دست آوردن سرعت حفاری در برخی از نمونه‌های سازندهای جنوب غربی ایران و پارامترهای مؤثر بر آن می‌باشد. در پایان نیز در رابطه با اثر استفاده از تکنولوژی لیزر بر کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، مطالبی آورده شده است.

حفاری با لیزر، نرخ حفاری، نمونه‌های اشباع و غیر اشباع، محیط زیست

واژه‌های کلیدی

مقدمه

بیش‌ترین میزان حفاری سنگ با کم‌ترین توان مورد نیاز لیزر می‌باشد. در آزمایش MIRACL که توسط آقایان O'Brien و Graves انجام گرفت، از سیستم لیزری امواج پیوسته (CW) با طول موج $3/8 \mu m$ و توان لیزری ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ KW استفاده شد. در این آزمایش در مدت ۴/۵ ثانیه تابش لیزری، عمق حفاری حدود ۲/۵ اینچ برای ماسه سنگ گزارش گردید.

پارامترهایی که بر حفاری با لیزر تأثیر می‌گذارند عبارتند از: توان لیزر، طول موج، مکانیسم کاری سیستم (امواج پیوسته یا امواج ضربه‌ای)، نوع لیزر و نیمرخ اشعه تابشی [۳].

با انتخاب سیستم لیزری مناسب، می‌توان سرعت حفاری را به میزان قابل توجهی افزایش داد. تاکنون مزایای بسیاری در مورد استفاده از لیزر در حفاری چاه‌های نفت و گاز گزارش شده است. از جمله این مزایا، ایجاد جداری سرامیکی بر دیواره چاه به دلیل ذوب شدن سنگ، کاهش روزهای کاری دکل حفاری و مدت زمان توقف حفاری، ایجاد قطر یکسان از سطح تا ته چاه، کاهش احتمال گیر لوله‌های حفاری، کاهش چشمگیر هزینه‌های حفاری، امکان استفاده از لوله‌های سبک و جایگزینی برخی لوله‌های سنگین با فیبرهای نوری، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و مدیریت مطلوب محیط زیست و افزایش ۱۰ تا ۱۰۰ برابری سرعت حفاری می‌باشد [۱۰].

برخی کارشناسان مخالف جایگزینی حفاری لیزری با حفاری دورانی هستند. زیرا بعضی از مشکلاتی که هنگام حفاری با لیزر پدید می‌آیند، هنوز به‌طور

امروزه حفاری‌های نوین و بررسی‌های ممکن برای جایگزینی حفاری دورانی، بحث مورد علاقه بسیاری از سیاست‌گذاران صنعت نفت و مهندسين حفاری است. روش‌های متعددی برای جایگزینی حفاری دورانی پیشنهاد شده که از جمله آن‌ها می‌توان به حفاری با بخار آب، حفاری با فشار آب و حفاری با لیزر اشاره کرد.

از بین این روش‌ها، شاید حفاری با لیزر یکی از روش‌های قابل قبولی باشد که نسبت به سایر روش‌ها تحقیقات گسترده‌ای در رابطه با آن انجام شده است. آزمایش‌های متعدد ثابت کرده که با استفاده از تکنولوژی لیزر در حفاری سنگ‌ها، می‌توان علاوه بر افزایش سرعت حفاری، زمان و هزینه‌های حفاری و آلودگی زیست محیطی را کاهش داد.

تحقیقات در زمینه استفاده از تکنولوژی لیزر در حفاری چاه‌های نفت و گاز، از سال ۱۹۷۷ آغاز شده است. اولین آزمایش توسط ارتش آمریکا با عنوان پروژه MIRACL صورت گرفت. این آزمایش نشان داد که با استفاده از لیزر، سرعت حفاری در حدود ۱۰ تا ۱۰۰ برابر افزایش می‌یابد. آزمایش بعدی توسط نیروی هوایی آمریکا با عنوان COIL انجام شد [۱].

هدف اصلی تمامی آزمایش‌هایی که تاکنون انجام شده است، دستیابی به

1 bakhbidarm@hotmail.com

2 mohsen_spe@yahoo.com



در حفاری دورانی از سیال حفاری برای انتقال کنده‌ها از انتهای چاه به سطح استفاده می‌شود. تحقیقات در زمینه حفاری با لیزر در حضور سیال حفاری ادامه دارد [۶].

یکی از پارامترهای حفاری که تاکنون کم‌تر مورد توجه واقع شده است، پارامتر سرعت حفاری است. سرعت حفاری^۱ یکی از عوامل اصلی در حفاری چاه‌های نفت و گاز است که بسیاری از هزینه‌ها به بهبود و کنترل آن بستگی دارد. با افزایش سرعت حفاری، روزهای کاری دکل حفاری نیز کاهش می‌یابد. این امر یکی از دلایل اصلی کاهش هزینه‌هاست.

در این مقاله سعی شده است تا با مقایسه نرخ حفاری دورانی با حفاری لیزری و با استفاده از داده‌ها و اطلاعات آزمایشگاهی، یک رابطه پایدار و قوی بین تکنولوژی لیزر با فرآیند حفاری چاه‌های نفت و گاز ارایه شود. با استفاده از دستگاه‌های موجود و انجام آزمایش‌های متعدد، نرخ حفاری برای هر نمونه سنگ (ماسه سنگ، سنگ آهک و شیل) در حالت‌های اشباع و غیر اشباع به دست آمد.

نرخ حفاری به پارامترهای مختلفی بستگی دارد و از رابطه زیر به دست می‌آید [۴]:

(۱)

$$ROP = \frac{SP}{SE} \quad (\text{cm/sec})$$

که SP توان منتقل شده به سیستم لیزری به ازای واحد سطح (W/cm^2) و SE مقدار انرژی لازم برای خارج کردن حجم واحد سنگ (W.sec/cm^3) می‌باشد. برای به دست آوردن SP از رابطه ذیل استفاده می‌شود [۲]:

(۲)

$$SP = \frac{P_{avg}}{A_R}$$

که P_{avg} میانگین توان لیزر (W) و A_R سطح حفاری شده (cm^2) است. همچنین برای به دست آوردن SE نیز از رابطه زیر استفاده می‌شود [۶]:

(۳)

$$SE = \frac{E}{V_p} = \frac{P_{avg} * t}{V_p}$$

در رابطه ۳، E انرژی منتقل شده به واحد سطح (W.sec)، V_p حجم کنده شده توسط اشعه لیزر (cm^3) و t مدت زمان تابش اشعه لیزر (sec) است.

۲. بحث و روش آزمایش

در آزمایش‌های انجام شده از سه گروه ماسه سنگ، سنگ آهک و شیل استفاده شده است. هر کدام از این سه گروه نیز شامل سه نوع سنگ با عمق،

عمده قابل چشم پوشی نیستند. از جمله این مشکلات می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

۱. چرخش سیال حفاری در حین عملیات حفاری و تأثیر آن بر انرژی منتقل شده به سطح سنگ
۲. انتقال انرژی از منبع لیزر موجود در سطح به عدسی لیزر در ته چاه [۹].

۱. مراحل حفاری با لیزر

هنگامی که اشعه‌های لیزر به سطح سنگ برخورد می‌کنند، سنگ طی مراحل ذیل حفاری می‌شود [۱۰]:

الف. ایجاد ریز شکستگی

ب. ذوب شدن

ج. تبخیر شدن

با برخورد اشعه‌های لیزر به سطح سنگ ممکن است اشعه‌ها یکی از عکس‌العمل‌های ذیل را از خود نشان دهند [۲]:

الف) اشعه‌ها منعکس شوند

ب) اشعه‌ها پخش شوند

ج) اشعه‌ها جذب شوند (شکل ۱).



۱ | عکس‌العمل اشعه‌های تابشی هنگام برخورد به سطح سنگ

آزمایش‌ها نشان داده‌اند که پرتوهای منعکس شده و پراکنده شده نسبت به پرتوهای جذب شده، اثر کم‌تری بر سنگ می‌گذارند. در حقیقت مکانیسمی که باعث خرد شدن و در نهایت حفاری سنگ می‌شود، مکانیسم جذب اشعه‌های لیزر است [۸].

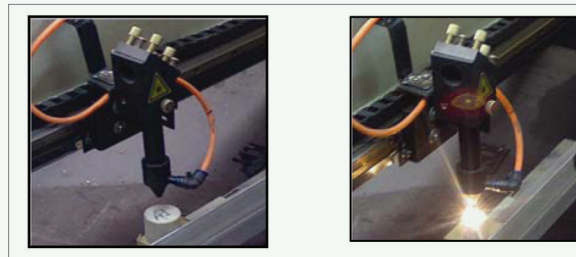
در سنگ‌هایی که ضریب انتقال گرمایی بالایی دارند، اشعه‌های لیزر می‌توانند آب‌های تجمع‌ی کریستالی به همراه مواد معدنی محلول در سنگ را تبخیر کرده و باعث انبساط سنگ شوند و در نهایت در ساختار سنگ، ریزشکستگی‌هایی به وجود آورند.

در انجام آزمایش‌ها، به همراه عملیات لیزر از گاز نیتروژن نیز استفاده می‌شود. از دلایل استفاده از گاز نیتروژن می‌توان به سوزاندن گازهای خارج شده در حین حفاری سنگ و خارج کردن غبارهای به وجود آمده، اشاره کرد. این گاز باعث می‌شود تا در هر مرحله از لیزر کاری، خرده‌های به وجود آمده پاک شوند.

1 Rate of Penetration (ROP)



سیستم لیزر از ۱۰۰٪ توان خود استفاده کرده و سرعت پرتو زایی اشعه آن حدود ۱۰ mm/s بود. در این آزمایش برای حفاری از مکانیسم مارپیچی استفاده شد. در این مکانیزم، سنگ در مدت ۶۶ ثانیه به قطر ۱ cm حفاری گردید. پس از آن، از نمونه‌ها مجدداً تصویربرداری سی تی اسکن صورت گرفت. شکل ۳ تصاویر سی تی اسکن را قبل و بعد از لیزرکاری نشان می‌دهد. پس از انجام آزمایش موارد ذیل مورد بررسی قرار گرفت:



۲ | عملکرد دستگاه لیزری مورد استفاده

۱. مقدار انرژی مخصوص (SE)

۲. نرخ حفاری (ROP)

۳. مقایسه نرخ حفاری و انرژی مخصوص برای نمونه‌های اشباع و غیر اشباع

۴. تأثیر حفاری با لیزر بر هزینه‌های حفاری

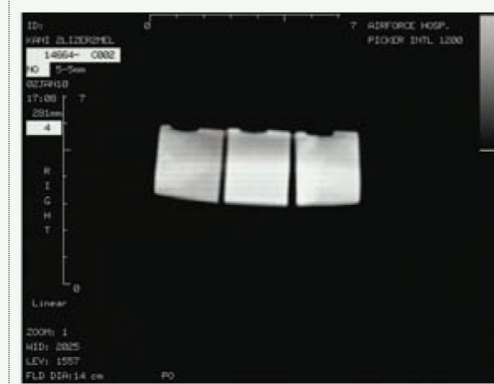
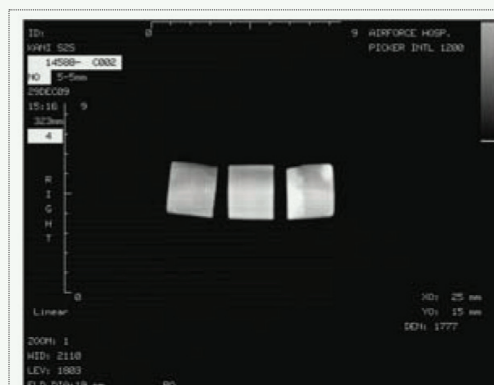
۵. تأثیر حفاری با لیزر بر مدیریت محیط زیست

نمونه سنگ‌هایی که در این آزمایش استفاده گردید، از سازندهایی انتخاب شد که در هنگام حفاری آن‌ها بیش‌ترین مواجهه با این نوع سنگ‌ها است. جدول ۱ مشخصات فیزیکی مانند حجم، وزن و عمق نمونه‌گیری هر نمونه

میزان تخلخل و اشباع متفاوت بوده است. از هر کدام از این سه گروه، یک نمونه سنگ با آب اشباع شد تا بتوان مقایسه‌های دقیقی انجام داد. برای اولین بار در کشور از دستگاه سی تی اسکن به منظور مشاهده تغییرات قبل و بعد از عملیات لیزر استفاده شد. دستگاه سی تی اسکن Picker 1200 با ولتاژ ۱۳۰ KW و مقدار جریان ۸۰ MA در مدت زمان ۲ ثانیه مورد استفاده قرار گرفت. از تمامی ۹ نمونه، تصویربرداری سی تی اسکن انجام شد و نمونه‌ها در آزمایشگاه لیزر مورد حفاری قرار گرفتند. سیستم لیزری مورد استفاده در این آزمایش، دستگاه DC-G-2512 با توان ۷۰ W و مکانیسم کاری امواج پیوسته بود (شکل ۲).

۱ | مشخصات فیزیکی نمونه سنگ‌ها (*نمونه‌های اشباع)

نمونه‌ها	عمق (ft)	حجم (cm ³)	وزن (gr)
*Sandstone-1	۲۶۹۱	۳۳/۳۱۴	۷۹/۳۵
Sandstone-2	۲۸۰۶	۳۰/۷۲۲	۸۰/۲۲
Sandstone-3	۳۰۲۵	۳۴/۳۸۹	۸۲/۸
*Limestone-1	۵۱۰۶	۱۲/۷۲۲	۳۵/۲
Limestone-2	۵۱۴۶	۱۲/۷۵۶	۳۳/۸۳
Limestone-3	۵۲۰۷	۱۲/۷۵۶	۳۸/۴۸
*Shale-1	۶۸۷۳	۱۳/۱۹۳	۳۶/۷۴
Shale-2	۷۶۴۹	۱۲/۲۵۱	۳۵/۷۳
Shale-3	۸۰۰۶	۱۳/۱۹۳	۳۴/۰۳



۲ | میزان تخلخل و وزن اشباع نمونه‌های اشباع

نمونه‌ها	تخلخل (%)	وزن اشباع (gr)
*Sandstone-1	۸/۵۲	۸۲/۱۹
*Limestone-1	۱/۹۶	۳۵/۴۵
*Shale-1	۲/۲۷	۳۷/۰۴

۳ | تصاویر سی تی اسکن، قبل و بعد از لیزرکاری



۳ | میزان انرژی مخصوص و سرعت حفاری برای انواع نمونه‌ها (نمونه‌های اشباع)



Samples	SE (j/cm ³)	ROP (cm/s)	ROP (m/h)
*Sandstone-1	84076	0.001	0.0381
Sandstone-2	36783	0.0024	0.0872
Sandstone-3	32696	0.0027	0.0981
*Limestone-1	58853	0.0015	0.0545
Limestone-2	39235	0.0022	0.0818
Limestone-3	42038	0.0021	0.0763
*Shale-1	30975	0.0028	0.1036
Shale-2	45271	0.0019	0.0706
Shale-3	42038	0.0021	0.0763

۳. مشاهدات

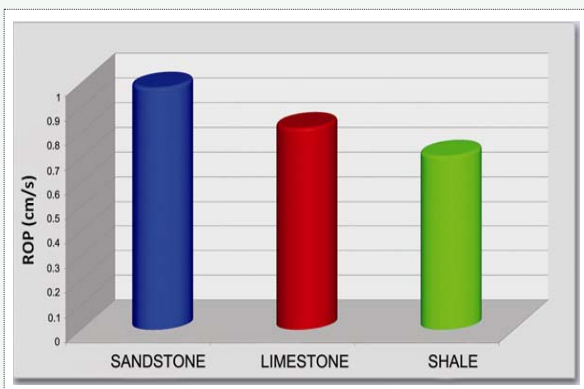
۳-۱- مقدار انرژی مخصوص (SE)

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، مقدار انرژی لازم برای حفاری یک واحد حجم در ماسه سنگ در حالت غیر اشباع در مقایسه با دیگر نمونه‌ها کم‌تر است (شکل ۴). انرژی مخصوص برای ماسه سنگ در حدود ۳۲ تا ۳۶ j/cm³ می‌باشد. این مقدار برای سنگ آهک در حدود ۳۹ تا ۴۲ j/cm³ و برای شیل در حدود ۴۲ تا ۴۵ j/cm³ است. با توجه به این که انرژی مخصوص به اشعه‌هایی که منعکس، پخش یا جذب می‌شوند وابسته است، این مطلب استنباط می‌شود که میزان اشعه‌های جذب شده در ماسه سنگ بیش‌تر از سنگ‌های دیگر است. البته با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام شده، این مطلب برای نمونه‌های اشباع معکوس می‌باشد. این تفاوت در مقدار انرژی مخصوص و در نتیجه سرعت حفاری بر اساس چندین عامل قابل توجه است که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۲- سرعت حفاری (ROP)

پس از اندازه‌گیری سرعت حفاری برای هر نمونه سنگ، مشخص شد که بیش‌ترین نرخ حفاری مربوط به ماسه‌سنگ است (جدول ۳). همچنین آزمایش‌ها نشان می‌دهند که بیش‌ترین ضریب گرمایی جابه‌جایی مربوط به این نوع سنگ بوده و همان‌طور که اشاره شد، با افزایش ضریب انتقال گرمایی، ریز شکستگی‌هایی که در اثر تابش لیزری بر روی سنگ ایجاد می‌شوند، افزایش می‌یابد. با افزایش این ریز شکستگی‌ها، سرعت حفاری بالا رفته و سنگ در مدت زمان کم‌تری حفاری می‌شود. همچنین افزایش ریز شکستگی‌ها که در داخل ماتریس سنگ و سطح آن اتفاق می‌افتد، باعث افزایش تراوایی سنگ می‌گردد. در این بررسی‌ها از لیزر کم توان (در حدود ۷۰ W) استفاده شده است؛ در حالی که امروزه آزمایش‌های لیزری با لیزرهای پر توان (در حدود ۶۰ KW) انجام می‌شوند. با بهبود و افزایش توان سیستم، می‌توان سرعت حفاری را بالا برد (همچنین با تغییر پارامترهایی از جمله طول موج، نوع لیزر، نوع فیبرهای انتقال دهنده توان لیزر و...).

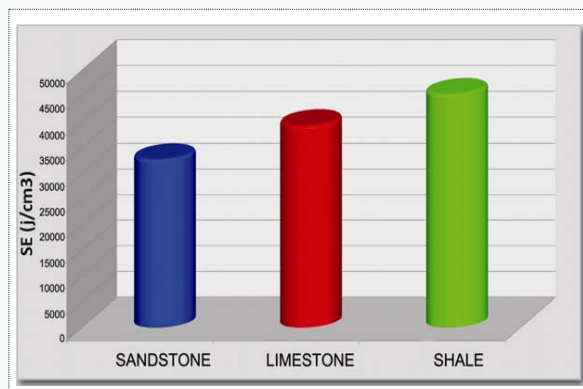
شکل ۵ مقایسه سرعت حفاری برای نمونه سنگ‌های مختلف را در حالت اشباع نشان می‌دهد.



۵ | مقدار نرخ حفاری برای هر نمونه سنگ در حالت غیر اشباع

سنگ را نشان می‌دهد. پس از اشباع سنگ‌ها، مشخصات آن‌ها از جمله تخلخل و وزن اشباع اندازه‌گیری شد. نتایج این اندازه‌گیری‌ها در جدول ۲ آمده است.

همان‌طور که پیش از این نیز اشاره شد، نرخ حفاری به دو عامل SP و SE بستگی دارد. در آزمایش‌های انجام شده، مقدار SP با ثابت بودن سطح مقطع حفاری برای تمامی نمونه‌ها (۱ cm)، مقداری ثابت و در حدود ۸۹/۱۷۲ w/cm² بوده است. با ثابت بودن SP و تغییرات در میزان SE، نرخ حفاری برای هر نمونه سنگ متفاوت می‌باشد. میزان SE وابسته به نوع سنگ و مشخصات فیزیکی سنگ مانند ضریب انتقال گرما، تخلخل، دانسیته و ... می‌باشد. جدول ۳ مقدار انرژی مخصوص و سرعت حفاری را برای هر نمونه سنگ نشان می‌دهد.



۴ | مقدار انرژی مخصوص برای هر نمونه سنگ در حالت غیر اشباع



۳-۳- مقایسه سرعت حفاری و انرژی مخصوص

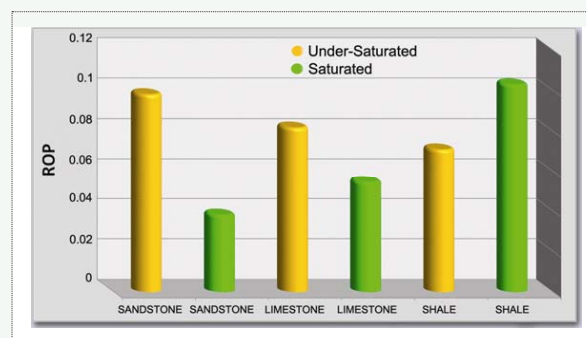
همان طور که در جدول ۳ نشان داده شده است، نرخ حفاری و میزان SE برای نمونه‌های غیر اشباع، کاملاً با نمونه‌های اشباع متفاوت است. محدوده انرژی مخصوص برای نمونه‌های اشباع شیل در حدود 31 j/cm^3 ، سنگ آهک در حدود 59 j/cm^3 و برای ماسه سنگ در حدود 84 j/cm^3 می‌باشد. با توجه به مقادیر یاد شده، بیشترین نرخ حفاری برای نمونه‌های اشباع متعلق به شیل و سپس سنگ آهک و ماسه سنگ است. این موضوع از آنجا اهمیت پیدا می‌کند که در حفاری چاه‌های نفت و گاز، بیشترین مقدار حفاری متعلق به سازندهای شیلی است. شیل دارای تخلخل زیاد ولی تراوایی کم بوده و با توجه به عمق آن، چگالی آن نیز فرق می‌کند. با توجه به جدول ۳ می‌توان دلیل این موضوع را به نسبت اشباع سنگ نیز مربوط ساخت. همان طور که در این جدول مشاهده می‌شود، اشباع ماسه سنگ بیش‌تر از شیل بوده و مقدار آب بیش‌تری را در ساختمان خود حفظ می‌کند. بنابراین در هنگام تابش لیزر بر سطح ماسه سنگ، بیش‌ترین میزان توان لیزر صرف تبخیر آب موجود در ساختمان سنگ شده و انرژی منتقل شده به سنگ کاهش می‌یابد. این امر باعث کم شدن نرخ حفاری در نمونه‌های اشباع نسبت به نمونه‌های غیر اشباع می‌گردد. البته این مطلب برای شیل استثنا است؛ زیرا با اشباع شیل، سرعت حفاری آن نیز افزایش می‌یابد، به‌طوری که نرخ حفاری لیزری شیل اشباع بیش‌تر از نرخ حفاری ماسه سنگ غیر اشباع است. شکل ۶ این موضوع را به‌روشنی نشان می‌دهد.

۳-۴- تأثیر حفاری با لیزر بر هزینه‌های حفاری

هزینه هر فوت حفاری چاه‌های نفت و گاز از فرمول زیر به‌دست می‌آید [۵]:

(۴)

$$C_t = \frac{B + C_r(t + T)}{F}$$



۶ | میزان نرخ حفاری، در حالت اشباع و غیر اشباع

در این رابطه، C_t هزینه هر فوت حفاری بر حسب دلار $(\$/ft)$ ، B هزینه هر مته حفاری بر حسب دلار $(\$)$ ، C_r هزینه ساعت‌های کاری دکل حفاری بر حسب دلار $(\$/h)$ ، t عمر هر مته حفاری بر حسب ساعت (h) ، T مدت زمان‌های توقف حفاری و زمان‌های لوله بالا، لوله پایین بر حسب ساعت (h) و F عمق حفاری شده به ازای هر مته حفاری است.

همان طور که از رابطه ۴ استنباط می‌شود، هزینه‌های حفاری با طول حفاری شده به ازای هر مته رابطه عکس دارد. هنگام استفاده از سیستم لیزری به جای مته حفاری، طول حفاری شده توسط سیستم لیزری افزایش می‌یابد. بنابراین قسمت عمده‌ای از هزینه‌های حفاری کم می‌شود. به نظر می‌رسد که به دلیل استفاده از انرژی الکتریکی به جای انرژی مکانیکی در سیستم لیزری، از میزان آسیب‌های وارده به رشته حفاری در حین حفاری کاسته می‌شود؛ این موضوع نیازمند تحقیق و بررسی بیش‌تر است. همچنین با استفاده از سیستم لیزری، طول روزهای کاری دکل حفاری کاهش یافته و عمر مته حفاری که از لیزر استفاده می‌کند، افزایش می‌یابد.

۳-۵- تأثیر حفاری با لیزر بر آلودگی‌های زیست محیطی

در عملیات حفاری یک حلقه چاه، بسیاری از پساب‌های تولید شده در حین حفاری وارد چرخه طبیعت می‌شوند. بسیاری از این پساب‌ها در اثر استفاده از تجهیزات قدیمی و تکنولوژی‌های نادرست تولید می‌شوند. در حین حفاری و زمانی که از گل پایه روغنی برای حفر چاه استفاده می‌شود، آسیب زیادی به محیط زیست وارد می‌شود. زیرا در این نوع گل که بیش‌تر برای حفاری سازندهای شیلی از آن استفاده می‌شود، از مواد شیمیایی که برای زیست مضر است استفاده می‌شود. این مواد شیمیایی در اثر چرخش‌های متناوب سیال حفاری وارد چرخه محیط‌زیست می‌شوند. با ورود سیستم لیزری به صنعت حفاری چاه‌های نفت و گاز، بسیاری از آلودگی‌ها کاهش می‌یابد. در این سیستم می‌توان حفاری غباری را که در آن به جای استفاده از گل‌های پایه روغنی از سیال هوا استفاده می‌شود، به کار برد. همچنین بسیاری از ضایعاتی که در حین حفاری به وجود می‌آیند، کاهش می‌یابد. چراکه به دلیل جایگزینی سیستم الکترونیکی با سیستم مکانیکی، به جای استفاده از تجهیزات سنگین مانند لوله‌های حفاری سنگین، از اجزای سبک‌تری استفاده می‌شود و از آلودگی‌های زیست محیطی به‌طور چشمگیری کاسته می‌شود.

نتیجه‌گیری

استفاده از سیستم لیزری در صنعت حفاری به جای حفاری دورانی دارای مزایای زیادی است. این مزایا به بسیاری از پارامترهای لیزری و نوع لیزر مورد استفاده بستگی دارد. با ورود سیستم حفاری با لیزر به صنعت حفاری چاه‌های نفت و گاز، پیشرفت چشمگیر و بسیار سریعی در این صنعت مشاهده می‌شود. ورود این سیستم به صنعت حفاری نیازمند انجام آزمایش‌های متعدد میدانی است. برای شروع می‌توان از حفاری لایه‌های مشخص، به‌ویژه لایه‌هایی که در حفاری مشکل‌زا هستند آغاز کرد و با



- [2] B.C. Gahan, Ricahad A. Parker, Sahim B, Humberto. F, Zhiyue X. D.(2001) Laser Drilling: Determination of Energy Required to Remove Rock, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, , New Orleans, Louisiana, SPE 71466.
- [3] R.M Graves, D.G O'Brien D.(1999) Star Wars Laser Technology for Gas Drilling and Completions in 21st Century, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas, SPE 56625.
- [4] P. Sihna, A. Gour D.(2006) Laser Drilling Research and Application: An Update, SPE/IADC Indian Drilling Technology Conference and Exhibition, Mumbai, India, SPE/IADC 102017.
- [5] A. Moazeni, M. Nabaei, E.F.(2009) Drilling Engineering, Shabak 978-964-2596-874.
- [6] R. Parker, Z. Xu, R. Graves, B. Gahan. (2003) Drilling Large Diameter Holes in Rocks Using Multiple Laser Beams, ICALEO conference in China, LIA 504.
- [7] Z. Xu, C. Reed, R. Graves, R. Parker. (2004) Rock Perforation by Pulsed ND:YAG Laser, 23rd PICALO conference in USA, LIA 138.
- [8] Z. Xu, C. Reed, R. Graves, R. Parker. (2004) Laser spallation of Rocks for Oil Well Drilling, 23rd PICALO conference in USA, LA 140.
- [9] N. Bjorndalen, H.A Belhaj, K.R Agha, M.R Islam. (2003) Numerical Investigation of Laser Drilling, SPE Eastern regional in Pennsylvania, USA, SPE 84844.
- [10] S. Pooniwala. (2006) Lasers: The next bit, SPE Eastern Regional in Ohio, USA, SPE 104223.
- [11] S. Batarseh, H. Figueroa, N. Skinner, Z. Xu. (2003) Specific Energy for Pulsed Laser Rock Drilling, Journal of Laser Applications, Volume 15.

گذشت زمان و تثبیت سیستم، آنرا گسترش داد. با توجه به نتایج به دست آمده، افزایش سرعت حفاری در سنگ، به کاهش میزان انرژی مورد نیاز برای حفاری سنگ وابسته است [۱۱].

در نمونه‌های غیر اشباع، ماسه سنگ دارای بیشترین سرعت حفاری بوده و در نمونه‌های اشباع، شیل بیشترین سرعت حفاری را داراست. با توجه به این که بیشترین سازندهای حفاری شده در ایران از نوع شیل یا ماسه سنگ است، می‌توان نتیجه گرفت که ورود این سیستم به صنعت حفاری، انقلاب بزرگی را در این صنعت به وجود خواهد آورد. در این مقاله به دلیل وجود برخی محدودیت‌ها، نمونه‌هایی که مورد آزمایش قرار گرفت از سه گروه اصلی سنگ‌ها تشکیل شده بود. از این رو برای نتیجه‌گیری‌های بهتر باید از نمونه‌های مختلف مانند سنگ‌های کربناته، دولومیتی یا گرانیت استفاده کرد.

به نظر می‌رسد که استفاده از حفاری با لیزر در مقاطع ابتدایی که خاک سست است و احتمال ریزش خرده‌ها وجود دارد، مقرون به صرفه نیست. زیرا سرعت حفاری دورانی در این مقاطع به دلیل سست بودن خاک بیشترین حفاری لیزری است. همچنین با توجه به شعاع بیشترین چاه در مقاطع ابتدایی، میزان انرژی لازم برای حفاری سنگ افزایش می‌یابد، در نتیجه سرعت حفاری کاهش خواهد یافت. به نظر می‌رسد که با استفاده از لیزر، در لایه‌های پایین که حجم خرده‌های حفاری کمتر است، می‌توان با کمک سیال هوا، خرده‌های حفاری (غبارهای به وجود آمده در اثر حفاری با لیزر) را به بیرون چاه هدایت کرد. به دلیل این که این غبارها با استفاده از هوا به بیرون هدایت شده‌اند و برای انتقال این غبارها از سیال پایه روغنی استفاده نشده است، آلودگی‌های زیست‌محیطی کمتری مشاهده می‌شود. البته اثبات این نتیجه‌گیری‌ها نیازمند بحث‌های فراوان همراه با آزمایش‌های گسترده و میدانی است.

در ابعادی دیگر از این بحث به نظر می‌رسد می‌توان عملیات مانده‌یابی درون چاه‌های نفت و گاز را با استفاده از لیزر بهبود بخشید. البته این تکنولوژی زمانی مفید خواهد بود که مانده‌ها ریز و بی ارزش بوده و به بیرون آوردن آن‌ها نیازی نباشد. در این صورت می‌توان این مانده‌ها را به جای بیرون آوردن در همان جا ذوب کرده و عملیات حفاری را ادامه داد. همچنین امروزه بهبود مشبک‌کاری چاه‌های نفت و گاز با استفاده از لیزر در دست بررسی و تحقیق است [۷].

◆ منابع

- [1] R.M Graves , D.G O'Brien D.(1998) Star Wars Laser Technology Applied to Drilling and Completion Gas Wells, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, SPE 549259.