

بررسی آزمایشگاهی توسعه فناوری حفاری به کمک لیزر در ایران

علی رفیعی فر^۱، مهدی امامی^۲

چکیده:

نظر به پیشرفت روزافزون فناوری های نوین در هزاره سوم و راهیابی سریع آنها در حوزه بالادستی صنایع نفت و گاز، تحقق سیاست های کلان کشور در این حوزه، جز با معطوف داشتن نگاهی ویژه به صنعت حفاری ممکن نخواهد بود. زیرا رشد و شکوفایی در تولید منابع هیدروکربوری از دروازه توسعه دانش محور صنعت حفاری خواهد گذشت. در میان تکنولوژی های نوظهور، فناوری لیزر دارای کاربردهای زیادی در حوزه ی نفت و گاز می باشد. از فناوری لیزر می توان در افزایش سرعت عملیات حفاری، بهبود عملیات مانده یابی، استفاده در مشبک کاری، از بین بردن رسوب آسفالتین، تشخیص نوع نفت خام، اکتشاف منابع جدید هیدروکربوری، مدیریت و کاهش آلودگی های زیست محیطی استفاده نمود. در این تحقیق سعی شده است تا با انجام آزمایشاتی توسط جدیدترین و پرتوان ترین دستگاه لیزر تولیدی ایران (دستگاه لیزر فیبری ۶ کیلوواتی) امکان توسعه و بکارگیری حفاری لیزری در کشور مورد بررسی قرار گیرد. نتایج آزمایشات نشان می دهد که سرعت نفوذ در سنگ های ماسه سنگی حاوی کریستال های سیلیس ۲.۵ برابر بیشتر از سنگ های کربناته سیمانی می باشد. لیکن در سنگ های کربناته در حین برخورد اشعه لیزر، شکاف هایی در سطح مقطع سنگ ایجاد شد که منجر به افزایش تراوایی در نمونه گردید. همچنین در نمونه ای که عملیات تمیزکاری حین حفاری با لیزر، بطور ناقص صورت پذیرفت، لایه ای ناتراوا در اطراف حفره تشکیل و موجب کاهش شدید تراوایی گردید. با توجه به غالب بودن سنگ های کربناته در ایران و امکان تولید انرژی ارزان توسط منابع تجدیدپذیر (برق آبی)، همچنین توسعه چشمگیر تولید لیزرهای با توان بالا در دهه ی اخیر، می توانیم در سال های نه چندان دور، شاهد عملیاتی شدن حفاری لیزری در صنعت حفاری کشور باشیم.

کلمات کلیدی:

لیزر فیبری، حفاری دورانی، نرخ نفوذ، هزینه های حفاری

۱. دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نفت

۲. دانشگاه گرمسار، دانشکده فنی مهندسی

مقدمه

با گذشت بیش از یک و نیم قرن از شکل گیری صنعت نفت در جهان، صنعت حفاری در گذر زمان به پیشرفت های عظیم و شگرفی دست یافته است. به دلیل اهمیت بسیار زیاد صنعت حفاری، تحقق اهداف صنایع نفت و گاز در گرو رشد و شکوفایی صنعت حفاری می باشد. پس از حفر اولین چاه اقتصادی نفت در ایالت پنسیلوانیای آمریکای در سال ۱۸۵۹م، روش های مختلف حفاری، از جمله حفاری ضربه ای، کابلی و دورانی به تدریج توسعه پیدا کرد. در روش حفاری دورانی، سیال حفاری از داخل لوله به درون چاه تزریق می شود و از ناحیه حلقوی دالیز مانند به سطح باز می گردد. گل حفاری ضمن خنک کردن مته، وظایفی از قبیل حمل خرده های حفاری به سطح و جلوگیری از ریزش طبقات سست به داخل چاه را نیز بر عهده دارد. با شروع هزاره سوم، با عنایت به توسعه و رشد فناوری در سایر علوم در حوزه های موازی و مرتبط، روش های نوینی مانند استفاده از فناوری لیزر برای برش سنگ های مختلف مورد بررسی و مطالعه پژوهشگران قرار گرفت. شرکت های فعال در حوزه ی حفاری، همیشه در صدد بکارگیری روش هایی با سرعت عمل بالا همراه با ایمنی و هزینه پایین تر جهت استخراج نفت بوده اند. تحقیقات در زمینه استفاده از تکنولوژی لیزر در حفاری چاه های نفت و گاز در سال ۱۹۷۷ انجام شد. اولین آزمایش توسط ارتش آمریکا با عنوان پروژه^۳MIRACL صورت پذیرفت. این آزمایش نشان داد که با استفاده از فناوری لیزر، سرعت حفاری در حدود ۱۰ تا ۱۰۰ برابر افزایش می یابد. پروژه بعدی توسط نیروی هوایی آمریکا با عنوان COIL^۴ انجام پذیرفت [1]. هدف اصلی تمام آزمایش هایی که تاکنون انجام شده است، دست یابی به بیشترین میزان نرخ حفاری با کمترین توان لیزر مورد نظر می باشد. برخلاف روش های حفاری معمولی که موجب کاهش نفوذپذیری و ایجاد آسیب در نواحی اطراف چاه می شوند، در روش حفاری به کمک لیزر، نفوذپذیری در ناحیه اطراف چاه با ایجاد شکاف هایی افزایش می یابد. فناوری حفاری لیزری، فرآیندی جهت حذف سنگ است که در آن از تنش حرارتی برای شکستن سنگ به قطعات کوچکتر و خارج کردن کنده ها توسط روش های تخلیه استفاده می شود. در ایران نیز در دهه ی اخیر پیشرفت های قابل ملاحظه ای در علوم و فنون لیزر صورت پذیرفته است و در حال حاضر ایران توانسته است دستگاه لیزر فیبری با توان ۶ کیلو وات را به صورت صنعتی تجاری سازی نماید. در این دستگاه، از چهار ماژول فیبر ۱.۵ کیلو واتی برای تولید توان لازم استفاده شده است و فرآیند ترکیب نیز از نوع منشور می باشد. در صورت افزایش توان لیزر تولیدی، به ۲۰ کیلو وات، می توان امیدوار بود که در سال های نه چندان دور، اولین تست صنعتی حفاری لیزری در ایران مورد آزمایش قرار گیرد. در این تحقیق، ضمن تبیین روش های مختلف حفاری به کمک لیزر، عملکرد لیزر فیبری تکفام ساخته شده توسط ایران با توان ۶۰۰ وات و همچنین ۶ کیلو وات برای نمونه های ماسه سنگی و آهکی مورد بررسی قرار گرفته است.

مکانیسم عملکرد لیزر

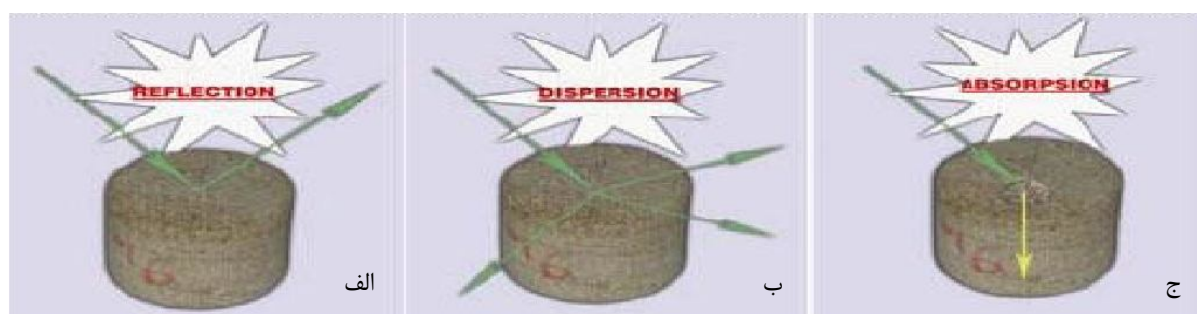
در این روش اشعه های نور، توسط فیبر نوری از سطح به اعماق زمین منتقل میگردد و سپس در قسمت ترکیب کننده، این اشعه به مجموعه ای از لنزها منتقل و پس از تجمع به سنگ اعمال می گردد. در این روش با اعمال اشعه، تنش حرارتی در سنگ بوجود می آید و باعث کاهش قدرت مکانیکی سنگ و ایجاد ریز شکستگی در آن می شود. درجه حرارت به اندازه ایست که منجر به ذوب شدن و سپس تبخیر سنگ شده و منطقه تحت اشعه کاملاً سست می شود. در شکل ۱ می توان ذوب شدن بلورهای سیلیس (SiO₂) موجود در ماسه سنگ هادر اثر برخورد با لیزر ۶ کیلو واتی ساخته شده توسط مرکز علوم و فنون لیزر ایران را مشاهده نمود.

³Mid Infrared Advanced Chemical Laser⁴Chemical Oxygen-Iodine Laser



شکل ۱- ذوب شدن بلورهای سیلیس در ماسه سنگ بر اثر برخورد اشعه لیزر

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود، با برخورد اشعه لیزر به سطح سنگ، کانی های سنگ سه رفتار متفاوت از خود نشان می دهند. برخی از اشعه ها منعکس، برخی پخش و مابقی جذب می گردند. پر واضح است که اشعه هایی که جذب می گردند اثر بالقوه ای بر روی برش سنگ دارند. با افزایش جذب اشعه توسط سنگ، دمای نقطه برخورد به صورت موضعی بسیار بالا رفته و به بالاتر از نقطه ذوب کریستالهای سنگ می رسد. پدیده ذوب موضعی توسط فاکتورهایی نظیر ایجاد ریز شکاف در نقطه برخورد و نرخ خروج گازهای ساطع شده از سنگ، کنترل می شود. [۳ و ۲] پارامترهای عمده تاثیر گذار بر حفاری با لیزر عبارتند از: نوع و توان لیزر، طول موج اشعه، سیستم مورد استفاده (پالس های ناگهانی و جریان پیوسته) که با استفاده از سیستم لیزری مناسب و تقویت پارامترهای ذکر شده می توان سرعت حفاری را افزایش داد. [۴] نکته مهم در حین حفاری با روش لیزر خروج کننده های در کوتاه ترین زمان ممکن است. برای این منظور می توان از گاز نیتروژن برای خارج کردن گازهای سوخته شده در حین حفاری سنگ و خارج کردن غبارهای ساطع شده اشاره نمود. این گاز سبب می شود تا در هر مرحله استفاده از لیزر، خرده های بوجود آمده پاک شوند.



شکل ۲- رفتار نمونه سنگ های مختلف در برابر تابش اشعه لیزر، الف: انعکاس، ب: پخش شدگی، ج: جذب [۵]

انواع لیزر

به طور عمده تکنولوژی تولید اشعه لیزر با توجه به محیط لیزینگ به موارد متعددی تقسیم می شود که به دلیل پرهیز از تپول موضوع به بیان چند مورد ذیل بسنده می شود.

- ۱- لیزر یون آرگون: این نوع لیزر به طور مستقیم از انرژی الکتریکی تامین می شوند و تنها به صورت امواج پیوسته فعالیت می کند.
- ۲- لیزر ND-YAG^۵: در این نوع لیزر اتم های برانگیخته نئودیمیم در شبکه بلورین سنگ گارنت، آلومینیم و ایتیریم نگهداری می شود و سپس با فروپاشی که در شبکه اتفاق می افتد این لیزر اقدام به سست نمودن سازند میکند.
- ۳- لیزر دی اکسید کربن (CO₂): در این نوع لیزر اساس کار از طریق تابش الکترومغناطیسی همراه با بسامدهای رادیویی می باشد که تغییراتی در ترازهای انرژی ارتعاشی و چرخشی در مولکول بوجود می آورد.
- ۴- لیزر نئون- هلیوم (Ne-He): این نوع لیزر مشابه لیزر یون آرگون می باشد ولی در حداکثر توان خروجی متفاوتند و این نوع لیزرها، هدفیاب های هستند که در لیزر های فرابنفش مورد استفاده قرار می گیرند
- ۵- لیزر مونو اکسید کربن (CO): این لیزر در طول موج های ۵-۶ میکرومتر به دو صورت پالسی و پیوسته استفاده می شود. توان متوسط این دسته از لیزر ها حدود ۲۰۰ کیلو وات می باشد. [۶]

هنگام استفاده از روش حفاری لیزری باید از لیزرهایی که قابلیت ارسال اشعه از راه دور را داشته باشند، استفاده نمود. از جمله این لیزر ها می توان به لیزر پالسی ND-YAG اشاره نمود. از سایر مزایای آن می توان به پتانسیل ارسال اشعه از مسیره های طولانی، سرعت تمرکز و همگرایی بالا در یک نقطه (این خصوصیت سبب ممانعت از کاهش تدریجی قطر سنگ می گردد) و با بازیگری حرارتی گسترده روی سطح سنگ که سبب تخریب بیشتر آن می گردد، اشاره نمود. [۷] در شکل ۳ چند نمونه از منشورهای ترکیب کننده لیزر به صورت کریستالی و میله ای نشان داده شده است.



شکل ۳- ترکیب کننده های لیزری به دو صورت کریستال و میله ای

مزایای استفاده از حفاری به روش لیزر

پارامتر بسیار مهمی که تا به امروز تلاش های بسیاری در خصوص بهینه کردن آن انجام شده است، سرعت نفوذ بالا در صنعت حفاری می باشد. امروزه استفاده از سیستم حفاری لیزری جهت تسریع بخشیدن به عملیات حفاری و کاهش هزینه، مورد توجه شرکت های حفاری در سراسر جهان قرار گرفته است که باعث افزایش سرعت ۱۰ الی ۱۰۰ برابری عملیات حفاری می شود. آزمایشات صورت گرفته نشان می دهد که بیشترین نرخ حفاری متعلق به نمونه های اشباع شیل، سنگ آهک و ماسه سنگ می باشد. با توجه به اینکه بیشتر مخازن ایران از نوع کربناته می باشند، بنابراین با ورود این روش نوین در صنعت حفاری کشور می توان شاهد پیشرفت شگرفی در مترژ حفاری چاه ها باشیم.

⁵Neodymium: Yttrium Aluminum Garnet Laser

⁶Rate Of Penetration(ROP)

در روش حفاری لیزری، رشته ی حفاری و مته بکار گرفته نمی شود، لذا نیازی به صرف زمان برای تعویض لوله یا مته فرسوده نیست. همچنین دیواره چاه بر اثر ذوب شدن به صورت جداری سرامیکی تبدیل می شود که چاه را از به کار بردن لوله جداری و هزینه های عملیات سیمانکاری معاف می سازد. [۸]

همچنین در حین حفاری با فناوری لیزر، قطر چاه از سطح تا انتها ثابت می ماند که از گیر کردن رشته حفاری جلوگیری می کند. در این روش، لوله های سنگین جای خود را به فیبر های نوری می دهند، لذا نیاز به سیستم بالابرده قدرتمند نیز منتفی شده و هزینه های ثابت دستگاه حفاری کاهش می یابد. از سایر مزایای این روش می توان به کاهش آسیب به سازند اشاره کرد. چرا که در روش حفاری دورانی جهت کنترل فشار سازندهای تحتانی و جلوگیری از فوران، از گل های سنگین استفاده می شود که به دلیل نفوذ و هرزروی این سیالات به درون سازند، آسیب های ناخواسته به سازند و محیط زیست وارد می شود. نفوذ این مواد به حفرات ناحیه اطراف چاه، می تواند موجب کاهش تراوایی نسبی، تغییر ترشوندگی سنگ و ایجاد اثر پوسته گردیده و کاهش ضریب تولید را به همراه داشته باشد. اما در صورت بکارگیری روش حفاری لیزری، نیاز به اعمال وزن زیاد به سازند و یا استفاده از سیال فوق سنگین نیست. بلکه در این روش اشعه لیزر به طور استاندارد و در ابعاد کوچک سنگ ها را خرد می کند و توسط هوا و یا نیتروژن عمل جابجایی گازهای سوخته و خرده سنگ ها انجام می گردد. همچنین در این روش، نیاز به پمپ های قوی برای پمپاژ گل نبوده و هزینه صرف شده جهت تامین و تعمیر پمپ های فرسودگی به مراتب کمتر خواهد بود.

یکی از عوامل مهم دیگری که در این روش مورد توجه قرار گرفته است، کاهش آلودگی های زیستی محیطی و مدیریت مطلوب آن می باشد. در سالهای اخیر مدیریت پسماند های حین حفاری، یکی از چالش های عظیم در مناطق نفتخیز می باشد. در حین عملیات حفاری دورانی، بسیاری از پساب های تولید شده چه در سطح و چه در لایه های زیرین، وارد چرخه طبیعت می شوند. در صورت استفاده از گل های پایه روغنی، آسیب های مذکور به طور فزاینده ای افزایش می یابند. از سوی دیگر، برای کنترل نمودن سازندهای شیلیدر حین حفاریاز مواد شیمیایی خاصی استفاده می شود که برای محیط زیست مضر می باشد. با بکارگیری حفاری لیزری، هزینه های لازم برای کنترل و مدیریت پسماند و آسیب های زیست محیطی از بین می رود. زیرا در این روش استفاده از مواد آلاینده به میزان بسیار زیاد و نزدیک به صفر، کاهش می یابد.

از مزایای دیگر این روش، برطرف ساختن مشکلات مانده یابی می باشد. در عملیات حفاری دورانی، هزینه های زیادی صرف خارج نمودن مانده از درون چاه می گردد که موفقیت آمیز بودن این روش ها همواره با ریسک بالایی همراه می باشد. در صورت عدم بازیابی مانده، معمولاً مسیر چاه به کمک حفاری انحرافی، تغییر می یابد که این مسئله نیز هزینه های جدیدی بر کارفرمایان تحمیل می نماید. در صورت استفاده از سیستم حفاری لیزری، خصوصاً در حالتی که مانده خیلی بزرگ نباشد، می توان از توان بالای لیزرهای پیوسته تکفام برای ذوب مانده در چاه استفاده نموده و صرفه جویی قابل توجهی در هزینه ها بعمل آورد.

شرکت هایی نظیر شرکت آرامکو عربستان از فناوری لیزر در اکتشافات نفتی و همچنین تعیین نوع نفت خام نیز استفاده می نمایند. کاربرد مهم دیگر تکنولوژی لیزر جهت از بین بردن رسوب آسفالتین در چاه های نفت است. آسفالتین ترکیبات سنگین نفت خام می باشند که با تغییر شرایط ترمودینامیکی در مخزن رسوب می کنند و به مرور زمان باعث کاهش نفوذپذیری و تخلخل سنگ مخزن شده و اثر منفی در تولید از چاه دارند. به کمک اشعه لیزر و تاباندن آن به سنگ مخزن حاوی رسوب آسفالتین، پیوندهای دوگانه نیتروژن، گوگرد و اکسیژن با اتم های کربن سست شده و با ادامه عملیات، شکسته می شوند. [۹]

همچنین استفاده از این روش در عملیات مشبک کاری، برتری هایی نسبت به مشبک کاری معمولی دارد. در حین استفاده از روش معمولی، سازندهای تولیدی به شدت آسیب می بیند در حالیکه با استفاده از فناوری لیزر، تخلخل و تراوایی نیز افزایش می یابد. در جدول ۱ چند نمونه سنگ مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج آن گواه این ادعا می باشند. [۱۰]

جدول ۱- نتایج تغییرات تخلخل و تراوایی برای سه نمونه سنگ در روش حفاری لیزر

Sample	Permeability Before Lasing(md)	Permeability After Lasing(md)	Porosity Before Lasing(md)	Porosity After Lasing(md)
Sandstone	11.1	30.1	0.18	0.35
Limestone	0.02	0.02	0.02	0.02
shale	0.43	0.55	0.01	0.03

نتایج آزمایش سرعت نفوذ لیزر

برای بررسی توانایی لیزرهای موجود در ایران سه نمونه سنگ مورد بررسی قرار گرفت. در حال حاضر بالاترین توان لیزر که در کشور تولید شده است، ۶ کیلو وات می باشد که توسط مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران تولید گردیده است. همچنین از دستگاه لیزر ۶۰۰ وات تکفام نیز جهت تست سرعت نفوذ برای بررسی اثر تمیزسازی هنگام حفاری لیزری کمک گرفته شد. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است. در اثر برخورد اشعه لیزر با توان ۶ کیلو وات با نمونه آهکی، شکاف هایی در نمونه ایجاد شده که تاثیر قابل ملاحظه ای بر افزایش توان تولید سنگ مخزن خواهد داشت. در نمونه سیلیسی، سطح مقطع ایجاد شکاف به طور یکنواخت تری ایجاد گردیده است. مدت زمان ایجاد سوراخ در نمونه آهکی ۲.۵ برابر نمونه سیلیسی بود.



ب



الف

شکل ۴- تاثیر اشعه لیزر با توان ۶ کیلو وات در دو نمونه آهکی (الف) و سیلیسی (ب)

همچنین به دلیل عدم امکان تمیزسازی هنگام حفاری لیزری توسط دستگاه مورد آزمایش، کنده های ذوب شده به صورت اندودی سیاه رنگ در جداره و سطح نمونه برجای مانده است. در صورت عدم کنترل این پدیده در هنگام آزمایش میدانی روش لیزری، در سنگ های مخزنی با افت شدید تراوایی موثر مواجه خواهیم بود. هر چند در نواحی غیر مخزنی ایجاد لایه ی ناتراوا در محیط دیواره چاه می تواند نقش لوله جداري را برای ما ایفا نماید.

در صورتی که عملیات تمیزسازی به هنگام حفاری لیزری به طور کامل انجام پذیرد، می توان حفره ای دلخواه به صورت یکنواخت و با قطر دلخواه در سنگ ایجاد کرد. در شکل ۵ این موضوع با استفاده از دستگاه لیزر ۶۰۰ وات تکفام انجام گرفته

است. همانگونه که در شکل مشخص است، برخلاف دو نمونه قبلی، سوراخ هایی با اندازه های دلخواه و بطور کاملاً یکنواخت در نمونه مورد نظر حفاری شده است.



شکل ۵- حفاری لیزری تکفام با توان ۶۰۰ وات

تحلیل هزینه در حفاری لیزری

به طور کلی هزینه حفاری به ازای متر از انجام شده از رابطه ۱ بدست می آید [۱۱]

$$C_f \left(\frac{\$}{ft} \right) = \frac{C_B + C_R T_R + C_R T_t + C_R T_C}{Y} \quad (1)$$

C_B : هزینه مته بر حسب دلار

C_R : هزینه دستگاه حفاری بر حسب دلار

T_R : زمان چرخش یا عمر مته بر حسب ساعت

T_t : زمان عملیات لوله پایین یا بالا بر حسب ساعت

T_C : زمان برقراری اتصالات بر حسب ساعت

Y : عمق حفاری شده بر حسب فوت

همان طور که از رابطه فوق مشخص است، هزینه حفاری با پارامتر های T_C, T_R, C_B, C_R, T_t رابطه مستقیم و با عمق حفاری شده رابطه عکس دارد. هدف در عملیات حفاری کاهش هزینه و افزایش سرعت می باشد. با استفاده از تکنولوژی لیزر، هزینه مته، زمان چرخش مته و زمان داخل یا خارج کردن لوله ها حذف گردیده و مدت زمان برقراری اتصالات نیز کاهش می یابد. در این سیستم با توجه به سرعت نفوذ حدود ۱۰ الی ۱۰۰ برابری نسبت به روش حفاری دورانی، عمق حفاری شده به مراتب افزایش یافته و هزینه جاری حفاری کمتر از هزینه حفاری دورانی خواهد گردید. ضمناً در هنگام استفاده از این سیستم نیاز به دستگاه های حفاری غول پیکر نیز نمی باشد و در صورت استفاده فراگیر و میدانی از این روش در آینده، می توان با دستگاه های سیار نیز عملیات را انجام داد. البته نکته ی مهمی که باید به آن توجه گردد آنست که هزینه ثابت و اولیه حفاری لیزری

به مراتب بیشتر از حفاری دورانی است. توسعه فناوری لیزر و ساخت دستگاه هایی با توان حداقل ۲۰ کیلووات برای حفاری در عمق ۲۰۰۰ متری و انتقال اشعه لیزر به عمق بسیار بالا از طریق فیبر نوری، نیازمند هزینه های ثابت بالا هم در مرحله تحقیقات و هم در فاز اجرایی می باشد.

چالش های استفاده از حفاری لیزری

چالش های پیش روی حفاری به کمک لیزر در ایران را می توان به دو دسته چالش های تحقیقاتی و عملیاتی تقسیم بندی نمود. در فاز تحقیقات، افزایش توان لیزر تولیدی از ۶ کیلو وات کنونی به حداقل ۳۰ کیلووات، نیازمند سرمایه گذاری جدی می باشد. البته با توجه به ادعای کشور امریکا مبنی بر استقرار ناوچه جنگی مسلح به سلاح لیزری به توان ۳۰ کیلووات با برد موثر ۲ کیلومتر در خلیج فارس، رسیدن به فناوری ساخت دستگاه های لیزر ۳۰ کیلووات توسط مهندسان ایرانی در آینده ای نزدیک امری کاملاً ممکن می باشد. برای ساخت چنین دستگاهی باید فناوری های خنک سازی و تجمیع اشعه در کنار سایر علوم، توسعه قابل ملاحظه ای یابد.

چالش های جدی در حوزه عملیاتی، انتقال اشعه لیزر به ته چاه توسط فیبر نوری، تمیزسازی کامل سطح مقطع در معرض اشعه هنگام حفاری، وجود سیال حفاری در چاه و اتلاف توان اشعه لیزر، جلوگیری از فوران چاه هنگام حفاری و همچنین آموزش و ایمنی کارکنان در مقابل اشعه می باشد.

از سوی دیگر، مصرف برق یکی دیگر از چالش های عملیاتی در توسعه این فناوری در کشور می باشد. البته در مناطق نفتخیز جنوبی ایران به دلیل وجود رودخانه های بزرگی مانند دز، کارون و کرخه، سدهای عظیمی در منطقه وجود داشته و برق مورد نیاز توسط نیروگاه های برق آبی قابل تامین می باشد. هر چند برای بررسی اقتصادی بودن این فناوری، شایسته است آنالیز دقیق هزینه با حساسیت بر پارامتر توان تولیدی و هزینه تمام شده آن صورت پذیرد.

نتیجه گیری:

استفاده از فناوری های نوین در صنعت حفاری امری غیر قابل اجتناب می باشد. در این میان فناوری لیزر دارای کاربردهای زیادی در حوزه ی نفت و گاز می باشد. از فناوری لیزر می توان در عملیات مشبک کاری، از بین بردن رسوب آسفالتین، تشخیص نوع نفت خام، اکتشاف منابع جدید هیدروکربوری، مدیریت و کاهش آلودگی های زیست محیطی استفاده نمود. با توجه به تست های صورت گرفته توسط دو دستگاه لیزر فیبری ۶ کیلوواتی و لیزر تکفام ۶۰۰ واتی مشخص گردید که سرعت نفوذ در سنگ های ماسه سنگی حاوی کریستال های سیلیس بیشتر از سنگ های کربناته سیمانی می باشد. همچنین در صورتی که عملیات تمیزکاری حین حفاری با لیزر به درستی انجام نگیرد. لایه ای ناتراوا در اطراف حفره شکل گرفته و موجب کاهش شدید تراوایی می شود. در سنگ های کربناته در حین برخورد اشعه لیزر، شکاف هایی در سطح مقطع سنگ ایجاد می شود که منجر به افزایش تراوایی در نمونه خواهد گردید.

منابع و مأخذ:

- [1]. gravesr.m., Obriend.g., *star wars laser technology applied to drilling and completion gas wells*, SPE annual technical conference and exhibition, new Orleans, Louisiana, 1998.
- [2]. gahanb.c., parker r.a., sahim b., hamberto f., xu z., *laser drilling determination of energy required to remove rock*, SPE annual technical conference and exhibition, new Orleans, Louisiana, 2001.
- [3]. Adewale Wasiu Adeniji, *The applications of laser technology in downhole operations*, International Petroleum Technology Conference, Qatar, 20–22 January 2014.

[4].xu z., reed c.b., graves r.m., parker r.a., *laser spallation of rocks for oil well drilling*, 23rdplcaloconference, usa, 2004.

[۵]. کیانی شاهوند، امیر افضل و همکاران، استراتژی روش مدرن استفاده از تکنولوژی لیزر در افزایش نرخ نفوذ و کاهش هزینه های حفاری، فصلنامه علمی ترویجی فرآیند نو، شماره ۴۲، تابستان ۹۲.

[6]. R. A. Parker, Z. Xu, and C. B. Reed, R. Graves, *Drilling Large Diameter Holes in Rocks Using Multiple Laser Beams*, International Congress on applications of laser & electro-optics, Jacksonville, Florida, October 13 – 16, 2003.

[7]. Parkerr.a., xu z., reed c.b., Graves r.m., *drilling large diameter holes in rocks using multiple laser beams* International congress on applications of laser & electro-optics, Jacksonville, Florida, 2003.

[8]. Amini, siroos, *Laser applications in drilling of oil and gas wells*, National Driller, March 2009.

[9] - Shedid A., et al., *A new technique for treatment of permeability damage due to asphaltene deposition using laser technology*, Journal of Petroleum Science and Engineering, vol. 59 (2007). pp., 302–303.

[10]. Brian C. Gahan& et al., *Improving Gas Well Drilling and Completion with High Energy Lasers*, Gas Technology Institute. pp., 3-8.

[11].Adam T. Bourgoyne J.r, Martine E. chenvert, Keith K. Millheim, F.s. Young Jr.,*Applied Drilling Engineering*, Society of Petroleum Engineers, Richardson, TX USA, 1986.