



استفاده از تکنولوژی لیزر برای انجام عملیات مشبک کاری

دکتر علی امیری^۲ دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنند کرمان

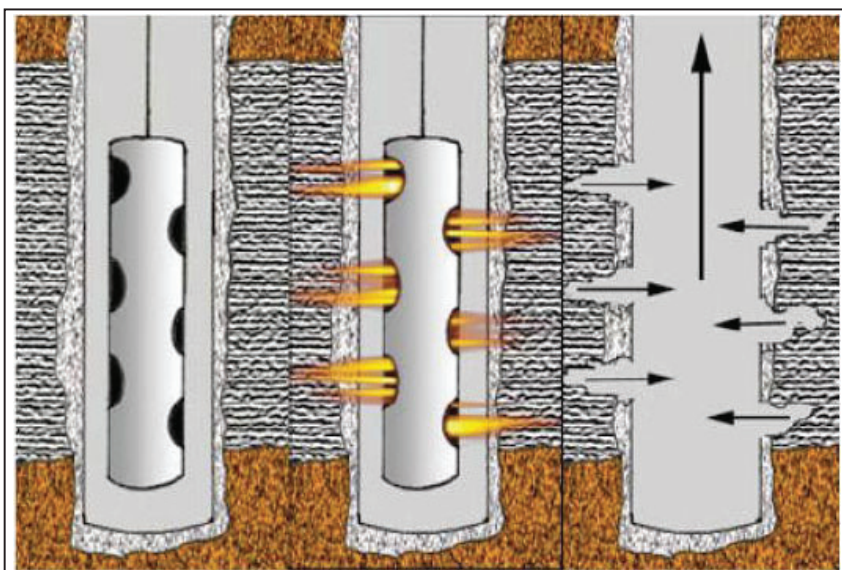
سروش میرزاقرچه^۱ دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنند کرمان
دکتر بهرام حبیب نیا^۳ دانشگاه صنعت نفت اهواز

مقدمه

قرار دادن لوله جداري در چاه و جدا کردن آن به وسیله سیمان از سازند بهره ده به عنوان قسمتی از عملیات حفاری مرسوم است. پس از نصب لوله جداري و سیمان کاری، برای دستیابی به مخزن و سیال داخل آن، لوله و سیمان پشت آن سوراخ می شود تا سیال به داخل چاه راه یابد. به طور معمول یک ابزار مشبک کننده به وسیله سیم مخصوص در چاه رانده می شود. زمانی که این ابزار به محل مورد نظر رسید، عملیات آغاز می شود، بر روی ابزار «مشبک کاری» فشنگ ها با چاشنی های مخصوص تعبیه شده که با شروع عملیات چاشنی ها منفجر شده و موج انفجاری ایجاد شده باعث سوراخ شدن «لوله جداري»، سیمان و سازند می شود. تراوایی منطقه آسیب دیده تا ۸۰٪ کمتر از سازند اصلی است. امروزه صنایع نفتی به دنبال تکنولوژی های جدید برای مشبک کاری هستند که بتوانند از این کاهش تراوایی جلوگیری کرده و سوراخ های موثرتری به وجود آورد. این گزارش به بررسی استفاده از پرتوهای لیزر پرتوان برای مشبک کاری لوله جداري

و دستیابی به سوراخ هایی عمیق تر، بدون کاهش تراوایی و کاهش «تخریب سازند»^۴ پرداخته است. در صنعت نفت، به عملیاتی که طی آن لوله جداري و سیمان پشت آن سوراخ شده تا به وسیله آن سیال مخزن به داخل چاه راه یابد، «مشبک کاری» گویند. تکنولوژی معمول مشبک کاری، استفاده از مشبک کننده های فشنگی است. گروه مشبک کاری،

مشبک کننده های فشنگی سیلندری را به وسیله سیم تا محل مورد نظر پایین می برند [۱]. فشنگ های تعبیه شده، با شلیک اولیه باعث ایجاد سوراخ در جهت های مورد نظر می شوند (شکل ۱). ابزار سرعت بالا، فشاری در حدود ۱/۵ میلیون پام در ضربه اولیه و ۱۵۰,۰۰۰ پام در لبه های سوراخ ایجاد می نمایند. سوراخ به وجود آمده بستگی مستقیم به نوع سنگ، میزان شکاف های اولیه موجود در سنگ، نوع



شکل ۱ | ابزار معمول مشبک کاری و روش کار آن

سیمان شدگی سنگ و نوع رس موجود داشته و ابعاد سوراخ ایجاد شده معمولاً بین ۰/۴ تا ۰/۲۵ اینچ قطر و ۶ تا ۱۲ اینچ طول می باشد؛ این تکنولوژی دارای معایب زیراست:

۱. نمی توان شکل و اندازه سوراخ ایجاد شده را کنترل کرد،
۲. باعث کاهش شدید تراوایی در منطقه آسیب دیده می شود،
۳. در بعضی موارد احتمال گیر کردن پوک های فشننگ های شلیک شده نیز وجود دارد.

فاکتور کاهش تراوایی در منطقه آسیب دیده بین ۰/۱ تا ۰/۷ گزارش شده است. تکنولوژی جدید (پرتو لیزر) با نداشتن معایب ذکر شده و دارا بودن مزیت هایی از قبیل کارکرد آسان، دقت بالا و انعطاف پذیری در همه چاه ها با شکل و اندازه های مختلف می تواند جایگزینی مناسب برای تکنولوژی های قدیمی باشد [۲،۳]. در تکنولوژی پرتو لیزر تراوایی منطقه آسیب دیده افزایش نیز خواهد یافت. میزان ایسن افزایش تراوایی در نمونه ماسه سنگ بین ۱۰۰۰-۵۰۰ درصد گزارش شده است. این افزایش تراوایی به دلیل ایجاد میکرو شکاف های ناشی از «هایدریت شدن» رس موجود به وسیله پرتو لیزر و شکاف های حرارتی است. در این تحقیق، نتایج مطالعات اولیه، برای ایجاد سوراخی با قطر یک اینچ و عمق ۵-۲ اینچ، با استفاده از پرتو لیزر پیوسته دی اکسید کربن، به همراه نتایج آزمایشگاهی سه روش تست شده، نشان داده شده است [۴].

۱- نحوه انجام آزمایشات

۱-۱ روش اول (پرتو لیزر ثابت)

آزمایش مربوط به این روش، در شکل ۲ نشان داده شده است. یک پرتو لیزر ثابت غیر متمرکز، با قطر تقریبی یک اینچ به همراه دو لوله تمیز کننده با زاویه ۶۵ درجه با

شکل هندسی منظم بر روی سنگ قرار گرفته و روشن می شود. نوک لیزر می تواند برای جبران تغییر در عمق سوراخ پایین آید ولی این حرکت به علت وجود دو لوله تمیز کننده و خود دستگاه لیزر محدودیت هایی نیز دارد. در شکل مربوطه، پرتو لیزر با قطر یک اینچ بر روی نمونه شیل با سه اینچ قطر و سه اینچ ضخامت قرار می گیرد. توان لیزر دی اکسید کربن به کار رفته، ۴۰۰۰ وات و میزان دی نیتروژن خروجی از هر کدام از دو لوله تمیز کننده ۶۵ درجه ای، ۲۰۰ فوت مکعب در ساعت است.

۲-۱ روش دوم (حرکت چرخشی پرتو لیزر)

در این روش، پرتو لیزر عمودی ثابت و یک لوله تمیز کننده به وسیله یک حرکت دهنده چرخشی، حول محور سنگ می چرخد. این حرکت، سوراخی به قطر همان یک اینچ را در نمونه به وجود می آورد، با این تفاوت که قطر پرتو لیزر ۰/۵ اینچ است. لوله تمیز کننده در این روش، به علت موازی بودن با جهت حرکت می تواند به داخل حفره راه یافته و حفره را بهتر تمیز نماید. شکل ۳ (راست) نوع حرکت پرتو لیزر برای ایجاد سوراخ یک اینچی در نمونه شیل را نشان می دهد و (چپ) موقعیت های نسبی قرارگیری پرتو لیزر، لوله تمیز کننده و سوراخ ایجاد شده را نشان می دهد. توان پرتو لیزر ۴۰۰۰ وات و دی اکسید کربن، ۳۰۰ فوت مکعب در ساعت است. نوک پرتو لیزر می تواند تا ۰/۵ اینچ میان حفره پایین رود. پرتو لیزر با سرعتی حدود ۱۵۰۰ اینچ در دقیقه بر روی قسمت دایره ای حرکت می کند.

۳-۱ روش سوم (حرکت چرخشی سنگ)

در این روش، نمونه سنگ چرخش دارد که در شکل ۴ نشان داده شده است. در این روش نمونه مغزه، به محلی گیره شده و به

صورت آرام با کمی نیروی گریز از مرکز می چرخد که حالتی همانند آزمایش قبل به وجود آمده و سوراخی با قطر یک اینچ ایجاد می شود. یک پرتو لیزر ۰/۵ اینچی به همراه یک لوله ۱/۸ اینچی تمیز کننده، به فاصله ۱/۴ اینچ دورتر از مغزه قرار می گیرد؛ در اینجا هم از پرتو لیزر پیوسته دی اکسید کربن استفاده شده است. گاز تمیز کننده، دی معادل ۲۷۵ فوت مکعب در ساعت دارد. این تست در دو توان متفاوت ۲۵۰۰ و ۴۰۰۰ وات و چهار سرعت ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰,۰۰۰ درجه در دقیقه انجام شده است.

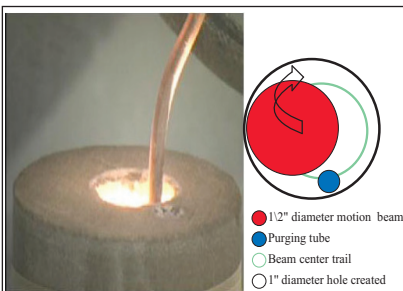
۲- نتایج تست ها و بحث

۲-۱ روش اول

سوراخ ایجاد شده با روش اول در شکل ۵ نشان داده شده است. چهار مرحله ترکیدگی به وسیله پرتو لیزر که حدوداً



شکل ۲ | نحوه انجام روش اول (پرتو لیزر ثابت)



شکل ۳ | حرکت دایره ای پرتو لیزر بر روی نمونه شیل (راست) و موقعیت نسبی پرتو لیزر، لوله تمیز کننده و سوراخ حفر شده نسبت به هم (چپ)



هر کدام ۴ ثانیه به طول انجامیده است، در نمونه مشاهده می شود. اولین ترکیدگی سنگ باعث ایجاد سوراخی با عمق ۲/۹ اینچ شده است و نشانی از ذوب سنگ در این مرحله دیده نمی شود. این مرحله میزان نفوذی برابر با ۷۲/۵ فوت در ساعت برای ایجاد سوراخ یک اینچی را نشان می دهد. در ترکیدگی چهارم سنگ، سوراخ، عمیق تر نشده است، بلکه فقط سنگ ذوب شده و قسمتی از ته سوراخ را پوشانده است. به هرحال پس از آخرین ترکیدگی، سوراخی به عمق ۲/۸۵ اینچ در نمونه ایجاد شده است. در هر مرحله ترکیدگی به طور متوسط عمقی برابر ۰/۶ اینچ حفر شده است. پرتو لیزر بعد از اولین ترکیدگی ۰/۵ اینچ و پس از دومین ترکیدگی یک اینچ پایین رفته است تا شدت پرتو ثابت بماند. در مرحله چهارم، یک شکستگی عمیق نیز اتفاق افتاده است که حائز اهمیت می باشد.

از این آزمایش نتایج مختلفی می توان گرفت:

۱. این روش ساده، برای سوراخ هایی با قطر کمتر از سه اینچ مناسب است. دبی گاز خروجی، مناسب بوده و توانسته است قطعات سنگ را برای داشتن سوراخی با شکل منظم هندسی خارج نماید.
۲. قسمتی از ذرات ذوب شده به سمت بالا حرکت کرده و باعث کاهش انرژی پرتو لیزر شده است. در بدترین حالت، قطعات

سنگ به قسمت لنز کانونی رسیده و باعث خرابی آن می شود.

۳. لوله های تمیز کننده در مرحله چهارم، نتوانسته اند قطعات سنگ ذوب شده را خارج نمایند که دلیل آن شاید، کم بودن دبی گاز خروجی و یا عمق سوراخ باشد. در اینجا پیشنهاد می شود از نازل های گازی استفاده شود تا بتواند در تمیز کنندگی بهتر عمل نماید.

۲-۲- روش دوم

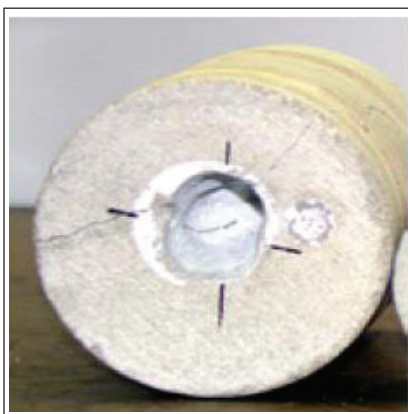
این روش نسبت به روش قبل دو مزیت عمده دارد:

۱. لوله تمیز کننده به داخل سوراخ راه یافته و اثر تمیز کنندگی بهتری دارد؛ در روش اول چون از دو لوله زاویه دار استفاده شده است، امکان نفوذ به داخل سوراخ وجود نداشت.
۲. به علت پیوسته نبودن پرتو لیزر بر روی یک نقطه، از ایجاد دمای بالا برای ذوب سنگ جلوگیری به عمل می آید. در شکل ۶، سوراخی با قطر یک اینچ و عمق ۵ اینچ که با این روش حفر شده است نشان داده شده است. هم زمان با افزایش عمق، سوراخ حالت مخروطی به خود می گیرد که به دلیل جذب هر چه بیشتر انرژی در سطوح بالایی بزرگ تر سوراخ و پراکنده شدن بیشتر پرتو لیزر است.

در واقع ته سوراخ به جای یک اینچ فقط ۰/۲ اینچ قطر دارد. با این روش، پرتو لیزر حالت متمرکز خود را پس از چند چرخش از دست داده و سوراخی با شکل هندسی نامناسب ایجاد می نماید.

۳-۲- روش سوم

در توان بالا (۴۰۰۰ وات) و سرعت پایین (۳۰۰۰ درجه در دقیقه)، پرتو لیزر، سنگ را ذوب کرده و یک فاز شیشه ای شکل می دهد که در سوراخ حفر شده باقی می ماند (شکل ۷ چپ). افزایش سرعت چرخش باعث کاهش ذوب در توان ثابت می شود. توان ۲۵۰۰ وات و سرعت ۱۰,۰۰۰ درجه در دقیقه شرایط بهینه را نشان می دهد. در این شرایط یک سوراخ تمیز و بدون مواد ذوب شده شکل می گیرد (شکل ۷ راست). در بالای شرایط بهینه، این روش برای ۷ اینچ ضخامت و ۳ اینچ قطر در نمونه ماسه سنگی مناسب است؛ عمق سوراخ ۳/۳ اینچ است که از مجاورت با پرتو به مدت زمان ۴۵ ثانیه به وجود آمده است. علت کاهش قطر سوراخ را می توان ضعیف شدن ثانویه پرتو لیزر به علت افزایش عمق دانست. طراحی سیستم تمیز کننده بهتر و جایگزینی یک پرتو لیزر متمرکز، می تواند باعث حفر سوراخ های عمیق تر شود [۵].



شکل ۶ | سوراخی با قطر یک اینچ و عمق ۵ اینچ در نمونه limestone



شکل ۵ | سوراخی که در ۴ مرحله ترکیدگی سنگ ایجاد شده است.



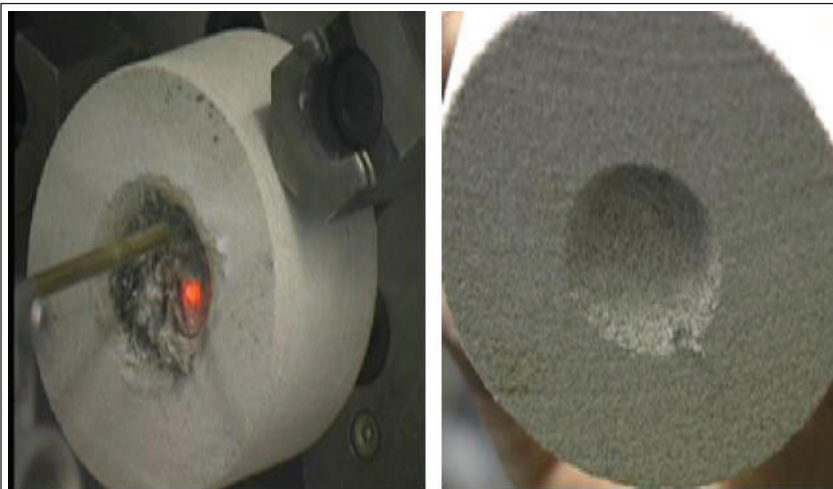
شکل ۷ | روش حرکت چرخشی سنگ که در آن از توان ۲۵۰۰ وات و سرعت چرخشی ۱۰,۰۰۰ درجه در دقیقه استفاده شده و سوراخی در نمونه ماسه سنگی با ضخامت ۷ اینچ حفر شده است.

نتیجه گیری

در تمامی تست‌های اولیه، سه روش مشخص شد که مشکل حادی در تمیز کردن سوراخ ایجاد شده وجود نداشت، ولی می‌توان میزان تمیزکنندگی را بهبود داد. عمق سوراخ‌های ایجاد شده از ۳ تا ۵ اینچ متغیر است که بستگی به روش حفاری داشته و به وسیله نوع روش تمیز کردن، کاهش شدت پرتو لیزر و یا ذوب سنگ و جلوگیری از حفر بیشتر، محدود شده است. در آزمایشات انجام شده، از نمونه‌های کوچک سنگ استفاده شده است که باعث ایجاد شکاف بیشتر و اثرات گرمایی بالاتری می‌شود؛ داده‌های به دست آمده به این نکته اشاره دارد که برای بهبود روش استفاده شده، باید در نوع متمرکز کردن پرتو لیزر تحقیق بیشتری صورت گرفته و از لوله‌های تمیزکننده به شکل مطلوب‌تری استفاده شود تا بتواند تمامی قطعات کنده شده را از سوراخ خارج نماید.

از دیگر مزایای استفاده از لیزر نسبت به روش‌های معمول مشبک‌کاری، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- روش‌های فعلی، علاوه بر خطرات و ریسک بالای کار، آسیب‌های بسیار زیادی را به مجموعه چاه و سازند وارد می‌کند، در سال‌های اخیر با پیشرفت تکنولوژی لیزر و عرضه لیزرهای پر قدرت، امکان استفاده از این تکنیک در مشبک‌کاری چاه و کاهش خطرات آن فراهم شده است از جمله:
- افزایش نفوذپذیری سازند پس از انجام کار
- فراهم شدن امکان شلیک زاویه دار
- عدم باقی ماندن مواد زاید در دهانه چاه
- نفوذ کنترل شده در سازند مورد هدف
- عدم وارد آمدن فشار و آسیب به لوله‌های جداری/آستری و سیمان چاه
- کاهش خطرات نگهداری، حمل و استفاده از مواد انفجاری
- عدم انتشار گازهای سمی بر اثر احتراق ناقص مواد
- کاهش ۶۰ درصدی هزینه‌های مشبک‌کاری در طولانی مدت.



شکل ۷ | سوراخ حفاری شده با توان ۴۰۰۰ وات و سرعت چرخشی ۳۰۰۰ درجه در دقیقه (چپ) و سوراخ حفاری شده با ۲۵۰۰ وات توان و ۱۰,۰۰۰ درجه در دقیقه حرکت چرخشی (راست)

پی‌نوشت‌ها

¹soroush.gharacheh@gmail.com
²bhabibnia@gmail.com

³aliamiri731@yahoo.com

⁴Formation Damage

منابع

- [1] K. V. Dyke, "Fundamentals of Petroleum", 4th Edition, published by Petroleum Extension Service, Continuing & extended Education, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, 1997.
- [2] K. Folse, M. Allin, C. Chow, and J. Hardesty, "Perforating system selection for optimum well inflow performance," SPE 73762, 2002 SPE International Symposium & Exhibition on Formation Damage, Lafayette, Louisiana, 20-21 February, 2002.
- [3] L.A. Behrmann, "Underbalance criteria for minimum perforating damage," SPE Drilling & Completion, September, 1996, pp 173-177.
- [4] P.M. Halleck, "Advances in understanding perforation penetration and flow performance," SPE 27981, 1994 SPE U. of Tulsa Centennial Petroleum Engineering Symposium, Tulsa, OK., August 29-41, 1994.
- [5] R. M. Graves and S. Batarseh : "Rock Parameters that Effect Laser-Rock Interaction: Determining The Benefits Of Applying Star Wars Laser Technology For Drilling And Completing Oil And Natural Gas Wells," Topical Report to Gas Research Institute, Document No. GRI-01/0080 (2001).