

## گل پایه فیبری مهندسی؛ راه‌حلی نوین در کنترل هزرزوی گل حفاری

سیدسجاد زکوی\*، شرکت مناطق نفت‌خیز جنوب

چکیده

هزرزوی گل در هنگام حفاری چاه، از مشکلات عمده صنعت نفت می‌باشد. از دست رفتن گل از طرفی به دلیل ارزش بالای این ماده و از طرفی دیگر به دلیل افزایش دکل/روز ناشی از کنترل هزرزوی منجر به افزایش قابل توجه هزینه‌های حفاری می‌گردد. خالی شدن ستون چاه همچنین می‌تواند منجر به آسیب به مخزن، مانده‌گذاری ابزار حفاری و یا جریان سیال هیدروکربونی به درون چاه شود که در صورت عدم کنترل چاه، خطراتی اساسی ایجاد می‌کند. اکثر مخازن هیدروکربنی کشور ما از جنس کربناته شکافدار می‌باشند. پدیده هزرزوی گل در هنگام حفاری این نوع مخازن بسیار مرسوم بوده و به دلیل عدم اطلاع دقیق از خصوصیات و اندازه شکاف‌ها، مقابله با هزرزوی امری دشوار است. روش‌های مرسوم از قبیل کاهش چگالی گل، افزایش گرانیوی گل، استفاده از پیل‌های LCM و یا قرار دادن پلاگ سیمانی در چاه، علی‌رغم صرف زمان و هزینه در بسیاری از موارد راهگشا نیستند. گل پایه فیبری مهندسی با ترکیبی از فیبر و دانه‌هایی با قطر بهینه، راهکاری مطمئن و موثر در کاهش و کنترل هزرزوی می‌باشد. این ماده قابل پمپاژ از طریق مته حفاری است و در عملیات حفاری، سیمانکاری و تعمیراتی چاه قابل استفاده است.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۰۷/۱۶

تاریخ ارسال به داور: ۹۵/۰۷/۲۶

تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۰۸/۰۴

واژگان کلیدی:

گل پایه فیبری مهندسی، کنترل هزرزوی گل، صنعت نفت، حفاری

مقدمه

به هر حال کنترل هزرزوی به دلیل عدم آگاهی از خصوصیات فیزیکی شکاف‌ها و قطر متفاوت آنها امری چالش‌برانگیز است. گل پایه فیبری مهندسی با تشکیل یک شبکه سه‌بعدی باعث مسدود شدن شکاف می‌گردد و بسته به دما و قطر شکاف، قادر به تحمل اختلاف فشار تا مقدار ۲۰۰۰ پام است [۲].

### ۱- اجزای تشکیل دهنده [۳، ۴]

گل مهندسی از سه جزء اصلی تشکیل شده است:

- ۱- سیال پایه - فیبر و دانه‌ها به صورت همگن در آن قرار می‌گیرند.
- ۲- ترکیبی از دو نوع فیبر نرم و سخت - سبب بهبود عملکرد گل مهندسی در مسدودسازی شکاف می‌شود.
- ۳- مجموعه‌ای از دانه‌ها، منافذ موجود در شبکه‌های فیبری را پر می‌کنند. شکل ۱- شبکه‌های تشکیل شده از فیبر و دانه‌هایی به قطر متفاوت را نشان می‌دهد. بازدهی گل مهندسی در مسدودسازی شکاف‌ها با افزایش مقدار دانه‌های موجود در آن بهبود می‌یابد.

### ۲- طرز کار و نحوه کنترل هزرزوی

گل مهندسی طی چهار مرحله سبب مسدودسازی شکاف و کنترل هزرزوی می‌شود [۴]

#### ۲-۱- پراکندگی<sup>۴</sup>

قرار گرفتن فیبر و دانه‌ها به صورت همگن در سیال پایه. این سیال دارای گرانیوی بالا بوده و فیبر و دانه‌ها را به صورت معلق در خود حفظ کرده، مانع ته‌نشینی آنها می‌شود.

سال‌ها از حفاری اولین چاه نفت می‌گذرد اما مسئله هزرزوی گل حفاری همچنان از مشکلات اساسی صنعت نفت محسوب می‌شود. هزرزوی به معنی ورود ناخواسته سیال حفاری به درون سازند است. هزرزوی در دو صورت رخ می‌دهد: هزرزوی طبیعی<sup>۱</sup> که در لایه‌های پرتراوا یا گسل خورده پدید می‌آید و هزرزوی القایی<sup>۲</sup> که زمانی رخ می‌دهد که فشار سیال حفاری بیشتر از فشار شکنندگی سازند باشد و در نتیجه، سبب ایجاد شکاف در سازند و هزرزوی می‌گردد [۱]. مخازن هیدروکربنی کشور ما اغلب از جنس کربناته و دارای شکاف طبیعی هستند. ورود سیال حفاری به درون مخزن سبب آسیب به مخزن و تغییر خصوصیات آن و در نتیجه، کاهش توان تولید مخزن می‌گردد. بهم آمدگی دیواره چاه، گیر ابزار حفاری و ورود سیال مخزن به درون چاه و افزایش احتمال انفجار<sup>۲</sup> از جمله مشکلات عملیاتی هزرزوی است [۲]. بنابراین کنترل هزرزوی امری حیاتی است. بسته به میزان هزرزوی، اقدامات متفاوتی صورت می‌گیرد. در مراحل ابتدایی کنترل هزرزوی، کاهش وزن گل و یا افزایش گرانیوی آن ممکن است راهگشا باشد. در مواردی که هزرزوی مقدار قابل توجهی دارد، ادامه حفاری به دلیل خطرات ناشی از عدم کنترل چاه، امکان‌پذیر نخواهد بود و با استفاده از پیل‌های LCM و پمپاژ سیمان، اقدام به کنترل هزرزوی می‌گردد [۳].

روش‌های ذکر شده علاوه بر صرف وقت و هزینه دارای درصد اطمینان پایینی هستند و لزوماً سبب کاهش هزرزوی نمی‌شوند. اگر قطر دانه‌های به کار رفته در پیل LCM کمتر از ۱/۳ قطر شکاف باشد، گل حفاری به‌طور کلی وارد شکاف می‌شود و شکاف مسدود نمی‌شود. از طرفی در صورتی که قطر این دانه‌ها بزرگتر از قطر شکاف باشد، گل وارد شکاف نمی‌شود و هزرزوی همچنان ادامه خواهد داشت [۳].

\* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (sajjadzakavi@yahoo.com)

می‌شود. در سمت چپ شکل ۲ شبکه‌های تشکیل شده از دو نوع فیبر و دانه‌های مسدودکننده فضای خالی بین شبکه‌ها به خوبی نشان داده شده است. هم چنین در سمت راست نحوه مسدود سازی شکاف توسط گل مهندسی ترسیم شده است.

### ۲-۴- مقاومت<sup>۷</sup>

پس از تشکیل شبکه و مسدودسازی شکاف، شبکه‌های تشکیل شده نباید سطحی باشند بلکه باید به درون شکاف نفوذ کنند و در مقابل فشارهای ناشی از افزایش وزن گل، سیمان کاری و یا ادامه عملیات حفاری مقاوم بوده و از بین نروند. فیبر نرم با نفوذ به درون شکاف و تشکیل شبکه، مانع ورود فیبر سخت می‌شود و لذا مقاومت شبکه‌ها را افزایش می‌دهد.

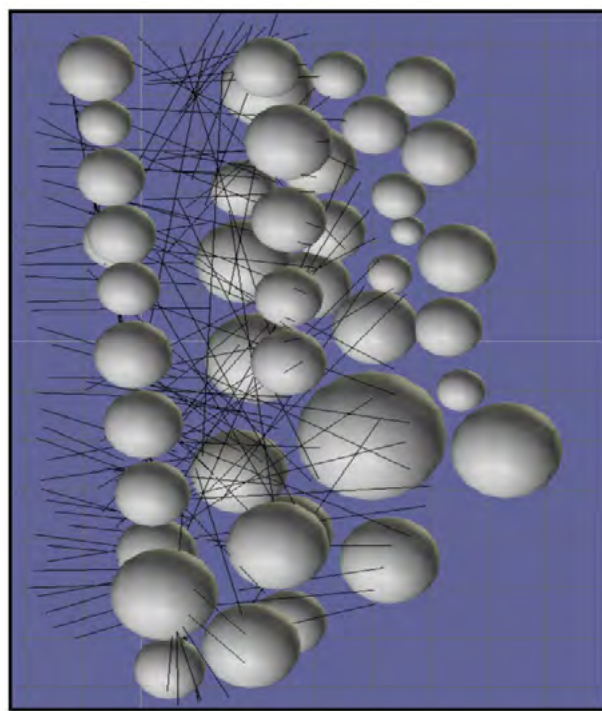
### ۳- ارزیابی آزمایشگاهی [۲]

به منظور بررسی عملکرد گل مهندسی از یک نمونه دستگاهه fluid loss cell استفاده شد (شکل-۳). ابتدا افزونه افزایش گرانیوی به سیال پایه اضافه شد. مقدار بهینه دانه‌ها با استفاده از نرم افزار تعیین و به سیال اضافه گردید. ترکیبی از فیبر هم به آن اضافه شد و به صورت یکنواخت مخلوط گردید. در انتها، دمای سیال در شرایط دمای چاه قرار گرفت و در سلول ریخته شد. در قسمت پایین دستگاه یک صفحه فلزی با شکاف به عرض ۵ میلی‌متر و در قسمت فوقانی یک پیستون برای اعمال فشار قرار داشت. با شروع آزمایش، فشار به صورت پلکانی افزایش داده شد تا عملکرد سیال طراحی شده در فشارهای بالا ارزیابی شود. در شکل-۴ نمودار فشار/ مقدار سیال عبوری از شبکه‌ها<sup>۸</sup> در طول زمان رسم شده است که بیانگر مقدار بازدهی گل مهندسی می‌باشد. با توجه به این شکل، سیال تا فشار ۱۰۰۰ پام (۶۸۹۵ کیلو پاسکال) را به خوبی تحمل کرده است. شکل-۵ نحوه مسدود شدن شکاف ۵ میلی‌متری در فشار ۱۰۰۰ پام را نشان می‌دهد. لازم به توجه است که فیبرهای موجود در سیال تنها سطحی نیستند بلکه برخی از آنها وارد شکاف شده و با قرارگیری زیر صفحه فلزی آن را کاملاً مسدود کرده‌اند.

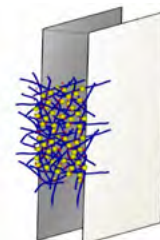
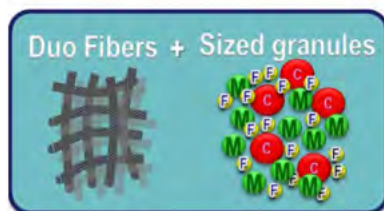
### ۴- عملکرد میدانی [۱]

#### ۴-۱- کنترل هرزروی حین حفاری

در هنگام حفاری چاهی به قطر ۱۱/۲" در کشور پاکستان در عمق ۵۳۱۸ متری و در سازندی از جنس آهکی شکافدار، هرزروی گل به میزان ۱۵۰ بشکه در ساعت مشاهده شد. به محض کاهش فشار هیدروستاتیک چاه به زیر فشار مخزن، سیال هیدروکربوری وارد ستون چاه می‌شد. عملیات حفاری به دلیل هرزروی شدید به مدت ۷ روز متوقف شد. پس از تلاش‌های مکرر برای کنترل هرزروی با LCM‌های مرسوم و عدم موفقیت، در نهایت با استفاده از گل مهندسی هرزروی کنترل شد و عملیات حفاری با موفقیت تا عمق نهایی ادامه یافت. جدول-۱ به طور خلاصه نتیجه استفاده از گل مهندسی در حین حفاری سه چاه را نشان می‌دهد.



۱ | شبکه‌های ایجاد شده به همراه دانه‌هایی با قطر متفاوت



۲ | طرز کار گل مهندسی



### ۲-۲- تشکیل شبکه<sup>۹</sup>

گل مهندسی از فیبرهای نرم و سخت تشکیل شده است که باعث می‌شود بخشی از آن وارد شکاف شود و با تشکیل شبکه، مانع هرزروی گل گردد. فیبر انتخابی نباید بیش از حد سخت باشد چرا که در این صورت پراکندن آن در سیال و پمپاژ آن دشوار خواهد شد. همچنین اگر بیش از حد نرم باشد، گل به صورت کامل وارد شکاف شده و تشکیل شبکه و کنترل هرزروی به خوبی انجام نخواهد شد.

### ۲-۳- مسدود سازی<sup>۱۰</sup>

فیبر به تنهایی قادر به مسدود سازی شکاف نخواهد بود چرا که فضای خالی بین شبکه‌ها سبب ورود گل به شکاف می‌شود. بنابراین دانه‌های موجود در گل مهندسی این منافذ را مسدود کرده و هرزروی را کنترل می‌کنند. قطر این ذرات با نرم افزار به صورت بهینه طراحی و انتخاب

## ۴-۲- سیمانکاری جداری/آستری

به منظور تفکیک لایه‌های کم فشار از پرفشار و جلوگیری از حرکت سیال تولیدی از پشت جداری/آستری و خوردگی آن، سیمان کاری جداری و آستری باید به نحو مطلوب انجام گیرد. همچنین در چاه‌های تولیدی نفت دارای کلاهک گازی، با راندن آستری از ورود گاز به چاه جلوگیری می‌شود. عدم سیمان کاری مناسب آستری سبب ورود گاز از لبه آستری به درون چاه می‌شود و تولید را دچار مشکل می‌کند.

هرزروی حین سیمانکاری جداری/آستری، عملیات سیمان کاری را با چالش جدی روبه‌رو می‌کند. در هنگام راندن جداری "۹ ۵/۸" × "۹ ۷/۸" در چاه ۵ به قطر "۱۲ ۱/۴" هرزروی کامل گزارش شد. گل مهندسی به‌عنوان جداکننده جلوی سیمان استفاده شد. در شروع جابه‌جایی سیمان، برگشت گل و سیمان گزارش نشد.

پس از راندن جداری تا عمق ۳۴۴۷/۳ متر، سیال زیر استفاده شد:

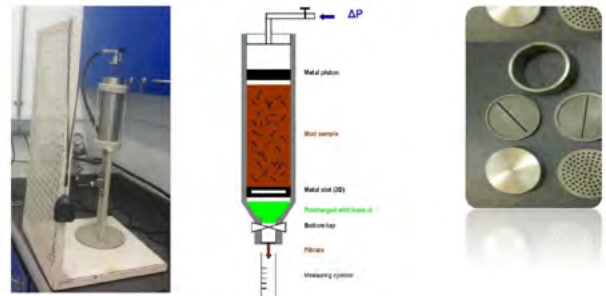
■ ۲۵ بشکه جداکننده سنگین با چگالی ۱۹۸۰ کیلوگرم/متر مکعب

■ ۷۵ بشکه گل مهندسی به چگالی ۱۹۸۰ کیلوگرم/متر مکعب

■ ۱۰ بشکه جداکننده سنگین با چگالی ۱۹۸۰ کیلوگرم/متر مکعب

■ ۳۰۰ بشکه سیمان به چگالی ۲۰۵۰ کیلوگرم/متر مکعب

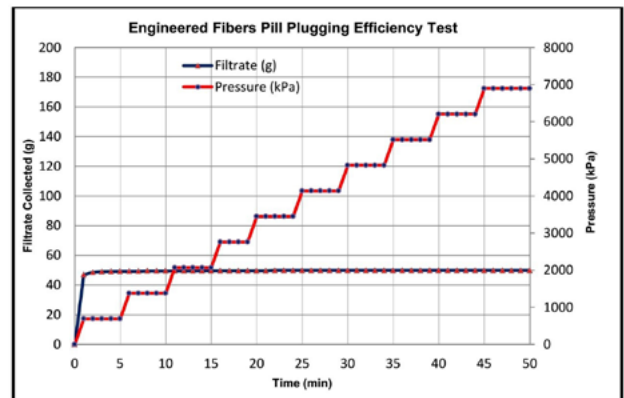
با پمپاژ و گردش سیال فوق و رسیدن آن به ناحیه دارای هرزروی، فشار رشد کرد و برگشت سیال مشاهده شد. هرزروی متوقف شده و عمق بالای سیمان ۱' در عمق دلخواه گزارش شد. شکل ۶- مطابقت فشار نهایی با فشار پیش‌بینی شده پس از پمپاژ گل مهندسی را به‌خوبی نشان می‌دهد. در جدول ۲- به‌طور خلاصه نتیجه استفاده از گل مهندسی به‌عنوان جداکننده سیمان در عملیات سیمان کاری چاه‌های ۴-۷، گزارش شده است.



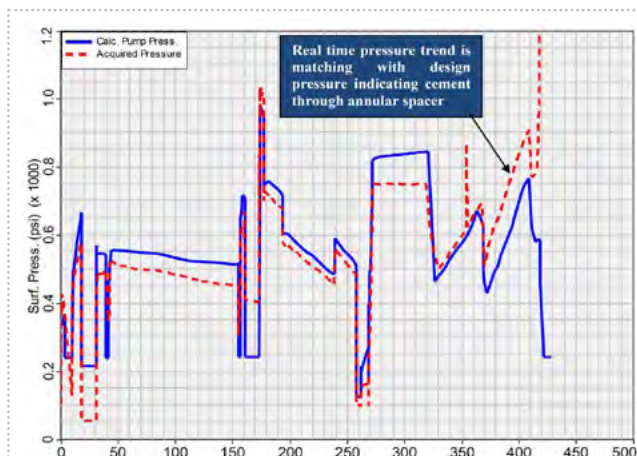
شکل ۳ | ابزار آزمایشگاهی تعیین مقدار بازدهی مسدودسازی گل مهندسی

## نتیجه‌گیری

- ۱- چگالی گل مهندسی بسته به نوع عملیات قابل تغییر است.
- ۲- گل مهندسی قادر به مسدودسازی شکاف تا قطر ۵ میلی‌متر می‌باشد.
- ۳- گل مهندسی در چهار مرحله شکاف را مسدود کرده و در مقابل اعمال فشار ناشی از ادامه حفاری، سیمانکاری و غیره مقاوم است.
- ۴- برای کنترل هرزروی توسط گل مهندسی نیاز به ابزار ویژه‌ای نیست و این عملیات از طریق رشته حفاری انجام می‌شود. لذا بلافاصله پس از کنترل هرزروی، عملیات حفاری ادامه می‌یابد.
- ۵- استفاده از فناوری‌های نوین از جمله گل مهندسی در حفاری مخازن هیدروکربنی کشور ما که اغلب از جنس کربناته شکاف‌دار می‌باشند به‌منظور کنترل هرزروی و در نتیجه کاهش زمان و هزینه‌های حفاری پیشنهاد می‌گردد. ■



شکل ۴ | نمودار فشار/مقدار سیال عبوری از شبکه‌ها در طول زمان که بیانگر مقدار بازدهی گل مهندسی است.



شکل ۶ | نمودار مقایسه فشار طراحی شده و فشار حقیقی سرچاهی حین انجام عملیات



شکل ۵ | مسدود شدن مفرجه دارای شکاف به قطر ۵ میلی‌متر توسط گل مهندسی

۱ | خلاصه نتایج استفاده از گل مهندسی حین حفاری چاه‌های ۱-۳



چاه	عمق	میزان هرزروی پیش از استفاده از گل مهندسی (بشکه/ساعت)	حجم گل مهندسی استفاده شده	میزان هرزروی پس از استفاده از گل مهندسی (بشکه/ساعت)
۱	۵۰۱۳	۱۵۰	۷۰	۰
۲	۵۰۳۵	۱۰۰	۷۰	۰
۳	۲۴۰۰	هرزروی کامل	۹۰	۵

۲ | خلاصه نتایج استفاده از گل مهندسی در عملیات سیمانکاری جداری/آستری چاه‌های ۴-۷



چاه	قطر جداری / آستری (اینچ)	عمق	میزان هرزروی پیش از استفاده از گل مهندسی (بشکه/ساعت)	حجم گل مهندسی استفاده شده (بشکه)	نتیجه
۴	۹ ۵/۸"	۳۳۲۴	کامل	۹۰	کنترل هرزروی - عمق بالای سیمان در عمق دلخواه گزارش شد
۵	۹ ۵/۸"	۳۴۵۲	کامل	۷۵	کنترل هرزروی - عمق بالای سیمان در عمق دلخواه گزارش شد
۶	۷ ۳/۴"	۵۲۶۰	۷۵	۶۰	کنترل هرزروی - عمق بالای سیمان در لبه آستری گزارش شد
۷	۷"	۳۶۶۵	۲۵	۵۰	کنترل هرزروی - عمق بالای سیمان در لبه آستری گزارش شد

## پانویس‌ها

- |                            |               |                   |
|----------------------------|---------------|-------------------|
| 1. Natural loss            | 5. Bridging   | 9. Spacer         |
| 2. Artificial/indused loss | 6. Plugging   | 10. Top of cement |
| 3. Blow out                | 7. Sustaining |                   |
| 4. Dispersion              | 8. Filtrate   |                   |

## منابع

- [1] Alexandre Victor Andrade (Schlumberger) | Lenin Omar Diaz Torres (Schlumberger) | Raul Bermudez (Schlumberger) | Henry Daniel Bedino (Schlumberger) | Nixklafé Neil Atencio Carrillo (Schlumberger) | Candelario Vargas (Schlumberger) | Angel Pedro Gonzalez Carrillo (Pemex) | Ignacio Ramirez Martinez (Pemex): Fiber Technology Simply and Effectively Cures Total Losses in Southern Mexico Without Knowing Size of Fractures; SPE-150844-MS, presented at SPE Latin America and Caribbean Petroleum Engineering Conference, , Mexico City, Mexico 16-18 April, 2012.
- [2] Bipin Jain, Mohammad Arif Khattak, Alvaro Martin Mesa, Sultan Al Kalbani, Arnoud Meyer, SPE, Schlumberger, Salim Aghbari, Anwar Al-Salti, Benjamin Hennette, Mohammed Khaldi, Ali Al-Yaqoubi, Hamed Al-Sharji, Petroleum Development Oman: Successful Implementation of Engineered Fiber Based Loss Circulation Control Solution to Effectively Cure Losses While Drilling, Cementing and
- Work Over Operations in Oman; SPE 166529, Presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in New Orleans, Louisiana, USA, 30 September-2 October 2013
- [3] Peter Priening (OMV) | Muhammad Ali (OMV) | Maimoon Jaffery (Schlumberger) | Jose Salazar (Schlumberger) | Bipin Jain (Schlumberger): Advanced Engineered Fiber Technology - A Novel Solution to Cure Lost Circulation During Drilling: Pakistan Case History; SPE-114069-MS, presented at IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition, Jakarta, Indonesia, 25-27 August, 2008.
- [4] U. Arshad (Schlumberger) | B. Jain (Schlumberger) | H. Pardawalla (Schlumberger) | N. Gupta (Schlumberger) | A. Meyer (Schlumberger): Engineered Fiber-Based Loss Circulation Control Pills To Successfully Combat Severe Loss Circulation Challenges During Drilling and Casing Cementing in Northern Pakistan; SPE-169343-MS, Presented at SPE Latin America and Caribbean Petroleum Engineering Conference, 21-23 May, Maracaibo, Venezuela