

بررسی و مطالعه آزمایشگاهی کارایی افزایش‌های مختلف کنترل‌کننده هرزروی سیالات حفاری و معرفی یک افزایش جدید دوستدار محیط زیست

علیرضا نصیری^۱، محمدجواد عامری شهرابی^{۲*} و مصطفی کشاورز مروجی^۳

۱- پژوهشکده مهندسی نفت، پردیس توسعه صنایع بالادستی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۲- دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران

۳- دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۲

چکیده

در این مقاله با استفاده از یک روش جدید آزمایشگاهی به بررسی کارایی مواد متفاوت کنترل‌کننده هرزروی سیال حفاری در گل بنتونایتی، که بیشترین میزان هرزروی در چاه‌های هیدروکربوری ایران را داراست، پرداخته شده است. در ابتدا پراکندگی اندازه ذرات هر یک از مواد کنترل هرزروی بر اساس استانداردهای API تعیین گردید. سپس با استفاده از دستگاه تست مواد پل‌زننده، میزان هرزروی گل بنتونایتی برای شکاف‌های متفاوت بررسی گردیده است. از جمله نوآوری‌های این کار می‌توان به استفاده از شکاف‌های عمیق در آزمایش‌ها اشاره کرد که نمایان‌گر بهتری از شرایط واقعی درون چاه هستند. این بدین معناست که در صورتی که مواد کنترل هرزروی بتوانند شکاف‌های دستگاه را از درون مسدود کنند، این توانایی را خواهند داشت که در شرایط عملیاتی نیز خاصیت مسدودسازی خوبی جهت کنترل هرزروی ایجاد نمایند. در این پژوهش برای اولین بار از ماده RI-LQ برای کنترل هرزروی بهره گرفته شده است. نتایج این آزمایش‌ها نشان داد که مخلوطی از ماده RI-LQC و Quick Seal به ترتیب با غلظت ۲۰ و ۵ lb/bbl و مخلوط RI-LQC و RI-LQF به ترتیب با غلظت ۷ و ۱۸ lb/bbl کمترین میزان هرزروی را دارا بوده و در کنترل آن موثر هستند.

کلمات کلیدی: هرزروی، گل بنتونایتی، افزایش کنترل هرزروی، دستگاه تست مواد پل‌زننده، RI-LQ.

*مسئول مکاتبات

ameri@aut.ac.ir

آدرس الکترونیکی

شناسه دیجیتال (DOI: 10.22078/pr.2018.2874.2334)

مقدمه

کم اتفاق می‌افتد. هرزروی کامل در قسمت‌های نفوذپذیر و بخش‌هایی از گراول‌ها، فواصل طولانی از شکستگی‌های افقی و طبیعی، شکستگی‌های عمودی ایجاد شده با بازشدگی زیاد، حفره‌های بزرگ و شکستگی‌های عمودی ایجاد شده کاملاً باز رخ می‌دهد [۴].

تا کنون مطالعات زیادی در زمینه هرزروی صورت گرفته است و روش‌های مختلفی برای جلوگیری از هرزروی و کاهش اثرات آن ارائه شده است. یکی از بارزترین روش‌ها برای درمان یا جلوگیری از وقوع پدیده هرزروی استفاده از افزایش‌های کنترل هرزروی است بر حسب ماهیت و طبیعت فیزیکی و نیز مکانیسم حاکم بر مواد کنترل‌کننده هرزروی می‌توان این مواد را به چهار دسته کلی دانه‌ای^۱، الیافی^۲، ورقه‌ای^۳ و ترکیبی^۴ دسته‌بندی کرد [۵]. آن دسته از مواد باز دارنده‌ای که ساختار آنها دانه شکلی باشد معمولاً از دو نوع مواد پل‌زننده^۵ تشکیل شده‌اند، یکی که در ورودی و یا در سطح سازند و دیگری در ماتریس سازند جای می‌گیرند. مزیت این دسته از مواد عمدتاً بر توزیع مناسب اندازه ذرات استوار شده است بدین صورت که ابتدا ذرات بزرگ‌تر به منافذ و روزه‌های موجود حمله ور می‌شود و در ادامه ذرات کوچک‌تر به کمک آنها رفته و در بین ذرات بزرگ‌تر جای می‌گیرند. مواد الیافی به هر، ماده محکم رشته‌ای با ساختار نخ‌ای که برای جلوگیری از فرار مایع در ساختار متخلخل یا شکاف استفاده می‌شود، جز مناسبترین افزایش‌دهنده‌ای است که جهت کنترل هرزروی در سازندهای متخلخل به کار برده می‌شود، علت این مطلب آن است که این مواد قادرند تا در برابر روزه‌ها و ترک‌ها، پوشش

پدیده هرزروی سیالات حفاری را می‌توان اینگونه تعریف کرد زمانی که تمامی و یا بخشی از سیال حفاری به درون سازند وارد شود. هرزروی گل حفاری وقتی رخ می‌دهد که تراوایی سازند به اندازه کافی زیاد بوده یا حفره‌ها چنان بزرگ باشند که به‌وسیله مواد جامد گل مسدود نمی‌شوند. هرزروی ممکن است از مقدار کم تا خیلی زیاد متغیر باشد. کاهش سرعت حفاری هزینه‌های اضافی سالیانه و اتلاف وقت دکل حفاری به‌واسطه مشکلاتی از این قبیل بالغ بر میلیون‌ها دلار آمریکا می‌شود [۱]. این پدیده معمولاً در بسترهای غار مانند، نواحی با نفوذپذیری بالا و شکافدار آشکار می‌شود. از طرف دیگر، تشکیل شکاف‌های هیدرولیکی ناشی از فشار القایی بالا را نیز می‌توان از دیگر عوامل مهم تاثیر گذار بر فرآیند هرزروی دانست [۲].

پاور و همکارانش ده موقعیتی که هرزروی در آنها رخ می‌دهد را معرفی و راه‌حلی را برای کنترل و مدیریت هرزروی در این زون‌ها پیشنهاد کردند [۳]. مناطق دارای پتانسیل هرزروی را می‌توان در دو دسته کلی دارای هرزروی افقی و عمودی جای داد. به طور معمول مناطق دارای هرزروی افقی در اعماق بالاتر از ۲۵۰۰ الی ۴۰۰۰ ft و مناطق دارای هرزروی عمودی در اعماق پایین‌تر از مقادیر فوق قرار دارند. نایبرگ هرزروی را به سه گروه هرزروی تراوشی^۱، جزئی^۲ و کامل^۳ طبقه‌بندی کرد [۴]. به طور کلی اگر مقدار هرزروی تقریباً برابر با ۱۰ bbl/hr باشد به عنوان هرزروی تراوشی در نظر گرفته می‌شود [۴] که هرزروی تراوشی با کاهش یا توقف پمپاژ گل و اجازه دادن برای اصلاح و مسدودشدن شکستگی‌های سازند توسط گسترش کیک گل به سادگی قابل کنترل است. هرزروی از ۱۰ تا ۵۰۰ bbl/hr را هرزروی جزئی می‌گویند [۴]. این نوع هرزروی در ماسه سنگ‌ها، شکستگی‌های افقی کوچک و طبیعی و شکستگی‌های عمودی ایجاد شده با بازشدگی

1. Leakage Loss
2. Partial Loss
3. Complete Loss
4. Granular
5. Fibers
6. Flaky
7. Mixture
8. Bridging

ریشه دوم اندازه قطر ذرات) جهت بهینه‌سازی توزیع دانه‌بندی ذرات برای یک نمونه خاص استفاده می‌شود [۱۱]. ویکرز و همکارانش تاثیر پراکندگی اندازه ذرات افزایه‌ها و قطر حفرات موجود در سازند را بر کارایی مواد کنترل کننده هرزروی و در نهایت کاهش آسیب به سازند بررسی کردند. نتایج این مطالعه به خوبی نشان داد که در صورتی که پارامترهای پراکندگی d_{50} ، d_{10} و d_{90} برای اندازه ذرات مواد کنترل کننده هرزروی و حفره‌ها یکسان باشند کمترین میزان هرزروی سیال در سازند رخ خواهد داد [۱۲]. ژو و همکاران از یک مدل ریاضی برای تعیین دانه‌بندی مناسب افزایه‌های کنترل هرزروی استفاده کردند [۱۳]. الصباح و همکاران آزمایش‌های متفاوتی را برای بررسی تاثیر اندازه ذرات مواد، برای کنترل هرزروی در سازندهای شکافدار انجام دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که اگر d_{50} و d_{90} مواد کنترل کننده هرزروی برابر یا بزرگتر از $\frac{3}{5}$ و $\frac{6}{5}$ عرض شکافها باشند، این مواد به خوبی قادر به کنترل هرزروی در سازندهای شکاف دار هستند [۱۴]. مجموع این مطالعات به خوبی نشان می‌دهد که بررسی پراکندگی اندازه ذرات مواد کنترل کننده هرزروی باید به‌عنوان نخستین مرحله کیفیت سنجی آنها در دستور کار قرار گیرند.

استفاده از گل و افزایه‌های دوستدار محیط زیست، یکی دیگر از فاکتورهای مهمی است که باید در طراحی پیل‌های^۱ کنترل هرزروی مد نظر قرار گیرد. از این رو قبل از استفاده از این گونه افزایه‌ها، آزمایش‌های خاصی باید برای بررسی و کاهش مضرات محیط زیستی این افزایه‌ها انجام شود. یکی از بهترین راه‌ها برای دستیابی به این هدف، استفاده از افزایه‌هایی است که از بافت‌های گیاهی ساخته شده‌اند. کرمینز از دانه‌های گیاه کتان برای کنترل هرزروی درون سازندهای پرتراوا بالا استفاده کرد [۱۵].

یکپارچه را ساماندهی کنند، که منجر به کاهش شیارهای ورودی به سازند می‌شود و این امر نیز به نوبه خود باعث می‌شود تا ذرات کلوییدی موجود در گل به سرعت رسوب کند و پوشش چسبنده‌ای به جداره چاه (کیک صافاب)، شکل بگیرد [۵].

از دیگر مواد کنترل کننده هرزروی می‌توان به نوع ورقه‌ای اشاره کرد. این مواد قادر هستند تا یک سد محکم دفاعی را در دهانه سازند و در برابر ترک‌ها و روزنه‌های بزرگ و متخلخل و نفوذپذیر به وجود آورند. لازم به ذکر است که مخلوطی از نوع الیافی، ورقه‌ای و دانه‌ای می‌تواند در رفع هرزروی‌های شدید در مناطق عملیاتی موثر واقع شود [۶]. کورلی و دورسی در مورد مخلوطی از مواد کنترل کننده هرزروی ورقه‌ای انعطاف‌پذیر، فیبرها و ذرات گرانولی که از موادی مثل تکه‌های کاغذی، پشم و کربنات کلسیم تشکیل شده‌اند صحبت کردند [۷] لوموس و رندال یک ترکیب سه جزئی از پوست گردو، کتان و سلولز بازیافتی را به عنوان ماده کنترل کننده هرزروی ترکیبی معرفی می‌کند [۸]. گود و جوزف از ترکیبی شامل کربنات کلسیم دانه‌بندی شده و گرافیت پودری قابل ارتجاع برای کنترل هرزروی استفاده کردند. نتایج کار آنها نشان داد که کربنات کلسیم، کارایی بالایی در تشکیل سد مواد کنترل کننده هرزروی در مقابل شکافها دارد. همچنین این محققان نشان دادند که گرافیت پودری ارتجاعی در فشارهای بالا تغییر شکل داده و حفره‌های موجود در پیل تشکیل شده توسط کربنات کلسیم دانه‌بندی شده را پر می‌کنند [۹]. مختاری و ایون از زانتان و بورات برای مقابله با هرزروی در مقیاس آزمایشگاهی استفاده کردند [۱۰].

علاوه بر ماهیت فیزیکی مواد کنترل کننده هرزروی که به آن اشاره شد، پراکندگی اندازه ذرات نیز بر کارایی آنها بسیار موثر است. دیک و همکارانش تئوری انسداد ایده آل را ارائه دادند. در این روش از یک گراف خطی (درصد تجمعی ذرات در برابر

مختلف حفاری شده در ایران می‌توان مشاهده نمود که بیشترین سهم هرزروی سیالات در چاهای نفتی و گازی مربوط به زمانی بوده که از سیال بنتونیتی حین عملیات حفاری استفاده شده است. این سیال اغلب در حفاری لایه‌های آجاجاری، میشان و بخش‌های کم فشار لایه گچساران مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این‌رو برای انجام این پژوهش این سیال انتخاب گردید. جهت انجام آزمایش‌های کاربردی ابتدا درون یک مخزن ۵۰ لیتری گل بنتونیتی با خواصی مشابه سیال مورد استفاده در مناطق عملیاتی ساخته شد که در هر مرحله از آزمایش‌ها معادل یک بشکه گل آزمایشگاهی (cc ۳۵۰) از این، سیال بنتونیتی مورد استفاده قرار گرفت. خواص این سیال کاربردی در جدول ۱ ارائه گردیده است. پس از انتخاب نوع گل، مواد کنترل‌کننده هرزروی متفاوت شامل F و RI-LQC به‌عنوان ماده جدید طبیعی پایه سلولزی در دو سایز درشت و ریز جهت بررسی عملکرد آن برای اولین بار، کوئیک سیل^۱ به‌عنوان یک افزاینده نسبتاً پر مصرف در شرکت فلات قاره و پوست صدف^۲ و میکا^۳ به‌عنوان دو ماده پر مصرف کنترل‌کننده هرزروی در مناطق عملیاتی جنوب تهیه گردید.

ابتدا توزیع اندازه ذرات این مواد مشخص شد. به جهت تعیین توزیع دانه‌بندی ذرات از الک‌های استاندارد ASTM E11 استفاده شده است.

ماکوید و اسکوداک از الیاف به‌دست آمده از گیاه کتان برای کنترل هرزروی استفاده کردند [۱۶]. ماستویی و همکارانش در از یک گروه افزاینده کنترل هرزروی دوستدار محیط زیست برای کنترل هرزروی در حفاری بدون برگشتی استفاده کردند. [۱۷] امان‌اله و همکارانش از یک ماده گیاهی بومی خام دوستدار محیط زیست به‌عنوان افزاینده کنترل هرزروی استفاده کردند [۱۸]. لازم به ذکر است که تمامی مواد دوستدار محیط زیست که در این قسمت به آنها اشاره شده است، از کارایی یکسان یا حتی بهتر نسبت به افزاینده‌های متداول در صنعت برخوردار هستند.

در این پژوهش از روش‌های نوین آزمایشگاهی برای تعیین میزان تاثیر افزاینده‌های مختلف کنترل هرزروی در گل بنتونیتی استفاده شده است. در کلیه آزمایش‌های انجام شده، مشخصات گل بنتونیتی و همچنین نوع افزاینده‌های مورد استفاده شده براساس اطلاعات میدانی تعیین گردیده است. همچنین در این کار، برای نخستین بار، افزاینده جدید و دوستدار محیط زیست RI-LQ برای کنترل هرزروی مورد استفاده قرار گرفته است.

مواد، تجهیزات و روش کار مواد

با مطالعه اطلاعات مربوط به هرزروی چاه‌های

جدول ۱ خواص گل بنتونیتی مورد استفاده در آزمایشات کاربردی (سرچاهی)

مقادیر عددی اندازه‌گیری شده	واحد	خصوصیات
۱۰	cP	ویسکوزیته ظاهری
۴	cP	ویسکوزیته پلاستیکی
۱۲	lb/100in ²	نقطه واروی
۱/۲	lb/100in ²	قدرت ژل شوندگی
۳۲	s	ویس مارش
۶۵	psi	وزن

1. Quick Seal
2. Oyster Shell
3. Mica

دستگاه ارزیابی مواد پل زننده^۱

در این مطالعه از دستگاه تست مواد پل زننده معرفی شده توسط استاندارد API13B برای ارزیابی کارایی مواد متفاوت کنترل کننده هرزروی - با در نظر گرفتن فشار سازند- استفاده شده است. دستگاه BMT از چند جز ساده تشکیل شده است (شکل ۱):

- سیلندر فولادی با گنجایش ۵ L که گل موردنظر در داخل این محفظه قرار می‌گیرد.
- پیستون که اعمال فشار بر روی گل از طریق آن انجام می‌پذیرد.
- سرپوش فولادی که دارای مجرایی در وسط برای اعمال فشار توسط هوا می‌باشد.
- شیر توپی برای باز و بسته کردن مسیر خروجی گل
- مجرای خروجی گل که محل قرار گرفتن شکاف‌های مختلف نیز می‌باشد.

در این روش مقدار مشخصی از هریک از نمونه‌ها را روی الک‌ها ریخته و توسط دستگاه لرزاننده به مدت ۳۰ min الک می‌نمایم. سپس مقدار باقی‌مانده روی هر یک از الک‌ها به دقت وزن شده و با توجه به مقدار عبوری از هر الک، درصد عبوری و همچنین درصد تجمعی عبوری از هر الک محاسبه شده است.

همچنین دانسیته و میزان حلالیت در اسید کلریدریک ۲۸٪ هریک از مواد اندازه‌گیری شد. مشخصات فیزیکی و دامنه اندازه ذرات هریک از این افزایه‌های کنترل کننده هرزروی در جدول ۲ نشان داده شده است.

تجهیزات استفاده شده

تجهیزات مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها عبارتند از: ترازوی دیجیتالی، الک، ویسکومتر Fann35، همزن الکتریکی، قیف مارش، دستگاه BMT

جدول ۲ خصوصیات فیزیکی و دامنه اندازه ذرات مواد کنترل کننده هرزروی استفاده شده در آزمایش‌ها

سایر مشخصات	حلالیت در اسید %	دانسیته (g/cm ³)	بیشترین اندازه (μ)	کمترین اندازه (μ)	افزایه کنترل هرزروی
	۹۷	۲/۸۳	۹۵۰۰	۲۳۶۰	پوست صدف درشت
ماده ورقه‌ای و به رنگ خاکستری- عدم واکنش پذیری با آب نمک، اسید و هیدروکربن	۳	۲/۸	۱۲۵۰۰	۳۳۵۰	میکا درشت
ماده پودری کرم رنگ - دارای دامنه وسیع اندازه ذرات- این ماده ترکیبی از کنترل کننده‌های هرزروی ورقه‌ای (میکا) و پوست مواد گیاهی است.	۱۲	۲/۲۲	۲۰۰۰	۱۸۰	Quick seal
نوعی ماده سلولوزی کرم رنگ - زیست تخریب پذیر- این ماده سبب روان تر کردن عملیات راندن رشته حفاری و تجهیزات نمودارگیری می‌شود.	۱	۱/۶۸	۲۰۰	۷۴	RI-LQF
			۳۳۶۰	۲۱۰	RI-LQC

1. Bridging Material Tester (BMT)



شکل ۱ دستگاه BMT

است که اغلب آزمایشات مشابه در پژوهش‌های قبلی با استفاده از شکاف‌های بدون عمق صورت پذیرفته است. درحالی که در دستگاه این پژوهش شکاف‌ها به صورت سه‌بعدی بوده و دارای عمق هستند که به شرایط واقعی چاه نزدیک‌تر بوده و لذا در صورتی که مواد کنترل‌کننده هرزروی بتوانند شکافی را از درون مسدود کنند می‌توان پیش‌بینی کرد که در درون چاه نیز این مواد قادر به انسداد شکاف‌های طبیعی خواهند بود. برای اعمال فشار بروی محفظه دستگاه تست مواد پل‌زننده نیز از گاز نیتروژن تحت فشار و رگلاتور تنظیم فشار گاز استفاده شده است.

روش آزمایش

در این مطالعه، روش استاندارد API 13 I برای ارزیابی میزان هرزرفت سیال به وسیله دستگاه تست مواد پل‌زننده به کار گرفته شده است. برای بررسی میزان هرزروی، صفحات شیاردار قبل از شیر خروجی قرار داده شدند. سپس گل حفاری بنتونیتی به همراه مقادیر مشخص از مواد کنترل‌کننده هرزروی پس از مخلوط شدن با همزن الکتریکی، درون محفظه دستگاه تست مواد پل‌زننده (که شیر خروجی آن باز است) ریخته شد و میزان حجم گل خروجی به دقت محاسبه گردید.

در این دستگاه برای مدل‌سازی فیزیکی سازندهای شکافدار از شکاف‌های سه‌بعدی به عمق $1/96$ in طول $0/38$ in و عرض $0/04$ ، $0/08$ ، $0/12$ ، $0/16$ و $0/2$ in استفاده شده است (شکل ۲). انتخاب شکاف‌ها براساس رژیم هرزروی انجام می‌گیرد. مقادیر تراوایی و دبی جریان سیال بنتونیتی برای شکاف‌های دستگاه تست مواد پل‌زننده در اختلاف فشار 1000 psi براساس قانون دارسی^۱ در جدول ۳ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود شکاف‌های $0/16$ ، $0/12$ و $0/2$ in در اختلاف فشار 1000 psi می‌تواند مدلی از هرزروی بالای 500 bbl/hr باشد، بنابراین آزمایشاتی که در ادامه بر روی این اندازه از شکاف‌ها انجام می‌شود می‌تواند به عنوان راه کاری جهت کنترل هرزروی‌های کامل مد نظر قرار بگیرد. پر واضح است که در شرایط واقعی چاه هرزروی‌های با مقادیر ذکر شده چند ده هزار بشکه در ساعت رخ نمی‌دهد زیرا اساساً این حجم گل در سیستم حفاری موجود نیست. اما دبی‌های ارائه شده در جدول ۳ که با توجه به تراوایی شکاف و به وسیله قانون دارسی برای گل بنتونیتی به دست آمده است در حقیقت یک مدل به دست آمده از محاسبات ریاضی است که به خوبی نشان دهد که شکاف‌های $0/16$ و $0/2$ in را می‌توان برای شبیه‌سازی هرزروی‌های بسیار شدید به کار گرفت. لازم به ذکر

1. Darcy's Law



شکل ۲ شکاف‌های فولادی صفحه و عمق‌دار جهت شبیه‌سازی شکاف درون چاه

جدول ۳ مقادیر تراوایی و دبی جریان سیال بنتونایتی برای شکاف‌های دستگاه تست مواد پل زنده در اختلاف فشار ۱۰۰۰ psi

بازشدگی شکاف (in)	تراوایی (D)	سطح مقطع عبور جریان سیال (cm ²)	طول یا عمق شکاف (cm)	دبی جریانی در اختلاف فشار (bbl/hr) psi
۰/۰۴	۲۵۲۲/۹	۰/۳۵۵۶	۵	۱۷/۲۳
۰/۰۸	۲۰۱۸۳/۱	۰/۷۱۱۲	۵	۲۷۵/۷۵
۰/۱۲	۶۸۱۱۸/۲	۱/۰۶۶۸	۵	۱۳۹۵/۹۶
۰/۱۶	۱۶۱۴۶۵/۵	۱/۴۲۲۴	۵	۴۴۱۱/۹۳
۰/۲	۳۱۵۳۶۲/۳	۱/۷۷۸۰	۵	۱۰۷۷۱/۳۲

شکاف‌های متفاوت در شکل ۳ نمایش داده شده است. همان‌طور که از نمودار فوق مشاهده می‌شود این ماده توانسته است با غلظت ۱۰ lb/bbl در شکاف‌های ۰/۰۴ in و ۰/۰۸ in اینچ، با غلظت ۱۵ lb/bbl در شکاف ۰/۱۲ in و با غلظت ۲۰ lb/bbl در شکاف ۰/۱۶ in انسداد ایجاد می‌کند. اما این ماده در شکاف‌های ۰/۲ in عملکرد ضعیفی داشته است، به طوری که با توجه به افزایش غلظت تا ۲۰ lb/bbl میزان هرزروی کاهش نداشته و مقدار آن بیشتر از ۱۰۰۰ cm³ است که این عدم کنترل هرزروی می‌تواند ناشی از نامناسب بودن توزیع اندازه ذرات ماده کوئیک سیل برای انسداد شکاف‌های بزرگتر باشد.

انسداد میکاوپوست صدف در گل بنتونایتی

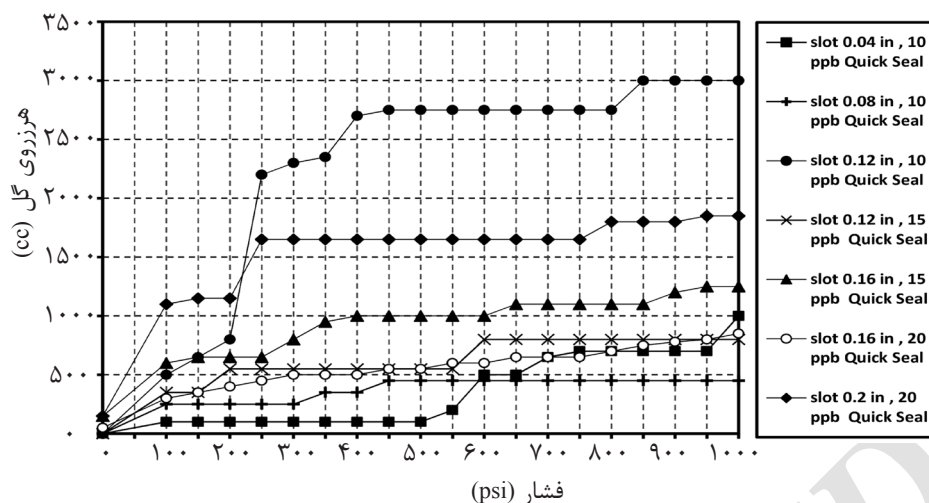
در این مرحله از پژوهش میکا و پوست صدف به‌عنوان دو ماده پر مصرف در کنترل هرزروی، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در مرحله بعد پیستون روی گل گذاشته شد و فشارگل در هر ۱۰ s به میزان ۵۰ psi افزایش داده شد. این افزایش فشار تا رسیدن به فشار ۱۰۰۰ psi یا تا زمانیکه جریان گل متوقف می‌شود ادامه پیدا می‌کند. از طرف دیگر در مواردی که مواد کنترل کننده هرزروی موفق به مسدود کردن مسیر خروجی جریان شده‌اند فشار به میزان ۱۰ min ثابت نگه داشته شده و سپس حجم نهایی سیال خروجی یادداشت می‌شود. لازم به ذکر است که حداکثر حجم خروجی قابل قبول برای کنترل هرزروی توسط هر افزایش برای هر شکاف ۱۰۰۰ mL است. در نهایت با تعویض صفحات شیاردار (افزایش اندازه شیار) آزمایشات تا انسداد کامل در فشار ۱۰۰۰ psi برای هر شیار تکرار شده و نتایج یادداشت می‌گردد.

بحث و نتایج

توانایی انسداد کوئیک سیل در گل بنتونایتی

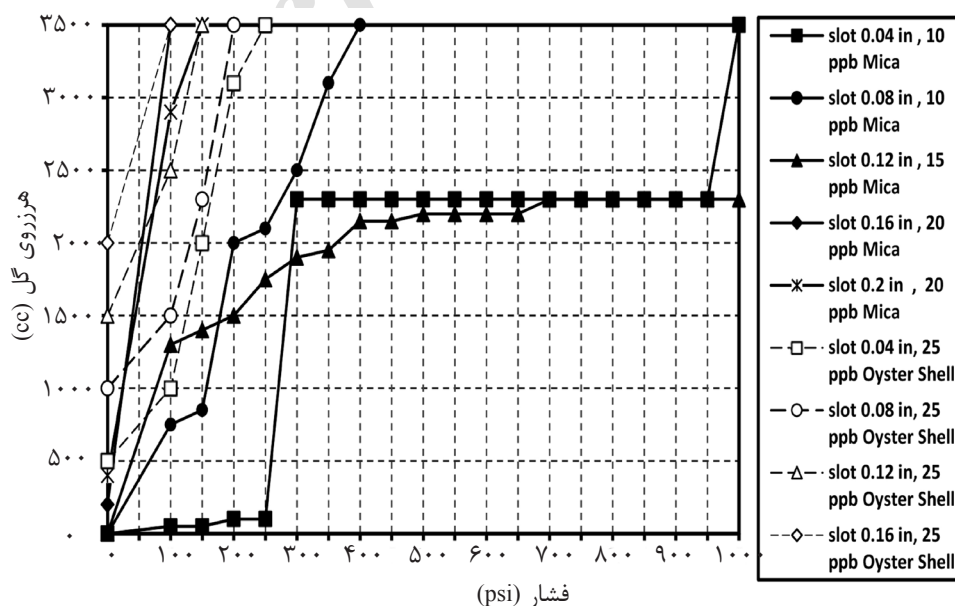
توانایی انسداد کوئیک سیل درشت بر روی انسداد



شکل ۳ بررسی عملکرد Quick seal درشت با غلظت‌های متفاوت در کنترل هرزروی گل بنتونایتی

چرا که اگر یک یا چند افزایش‌های کنترل‌کننده هرزروی دارای همپوشانی مناسبی از سایز برروی دهانه شکاف ایجاد کرده باشند می‌توانند موجب انسداد آن شده و خروج سیال را متوقف نمایند. افزایش پوست صدف نیز کلاً تأثیری بر کنترل هرزروی سیال نداشته است که دلیل ذکر شده در بالا نیز می‌تواند برای این ماده نیز صدق نماید.

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود ماده میکا به صورت خیلی جزئی توانسته است بروی شکاف ۰/۱۲ in هرزروی بالای ۲۰۰۰ mL را کنترل نماید در حالی که در سایر شکاف‌های بزرگتر عملکرد مثبتی در کنترل هرزروی نشان نمی‌دهد (هرزروی کامل). این نتیجه بیان‌کننده نامناسب بودن توزیع اندازه ذرات این ماده در انسداد شکاف‌های مذکور است،



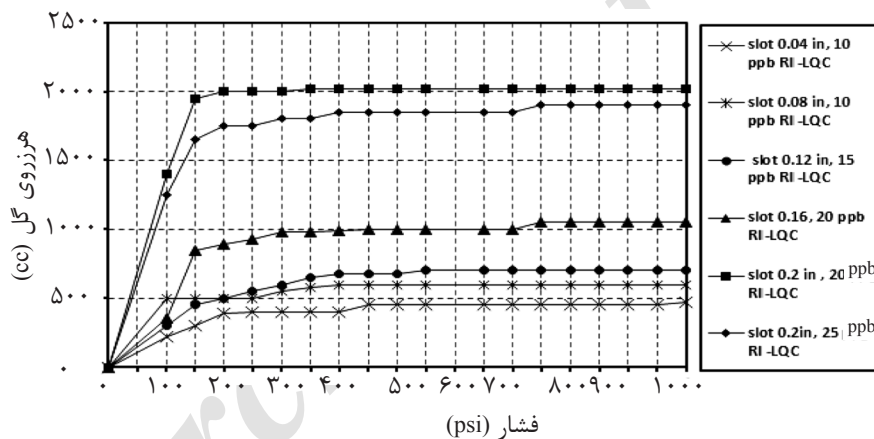
شکل ۴ بررسی عملکرد میکا، پوست صدف با غلظت‌های متفاوت در کنترل هرزروی گل

توانایی انسداد RI-LQ در گل بنتونایتی

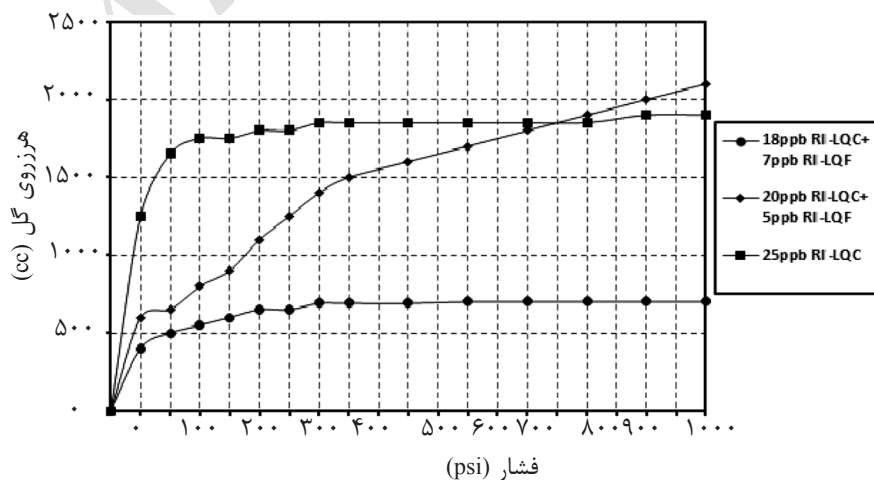
تأثیر RI-LQC بر هرزروی گل بنتونایتی در شکاف‌های متفاوت در شکل ۵ نشان داده شد است. نتایج نشان می‌دهند که این ماده انسداد خوبی را با غلظت lb/ bbl ۱۰ در شکاف‌های ۰/۰۴ in و ۰/۰۸ in و با غلظت lb/ bbl ۱۵ در شکاف ۰/۱۲ اینچ ایجاد می‌کند. همچنین نتایج بیان کننده این است که RI-LQC در شکاف ۰/۱۶ in با غلظت ۲۰ lb/bbl عملکرد قابل قبولی دارد. اما در شکاف ۰/۲ in این ماده توانایی کنترل هرزروی را دارا نیست، به طوری که افزایش غلظت هم بروی کنترل هرزروی تأثیر مطلوبی ندارد که این مطلب بیان کننده نامناسب بودن توزیع اندازه ذرات برای انسداد شکاف‌های بزرگ‌تر است.

در ادامه آزمایش‌ها برای کنترل هرزروی در شکاف

۰/۲ in از مخلوط RI-LQC و RI-LQF استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۶ نمایش داده شده است مخلوطی از RI-LQC و RI-LQF به ترتیب با غلظت‌های ۱۸ و ۷ lb/bbl، نسبت به مخلوطی از RI-LQC و RI-LQF با غلظت ۲۰ و ۵ پوند بر بشکه و RI-LQC با غلظت ۲۵ lb/bbl عملکرد بسیار بهتری داشته است. چون میزان هرزرفت سیال را به کمتر از ۱۰۰۰ cc رسانده و هرزروی را در این شکاف کنترل کرده است. استفاده از غلظت ۲۵ lb/bbl در هر آزمایش به این دلیل است که این غلظتی است که معمولا در کنترل هرزروی‌های شدید مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۵ عملکرد RI-LQC با غلظت‌های متفاوت در کنترل هرزروی گل



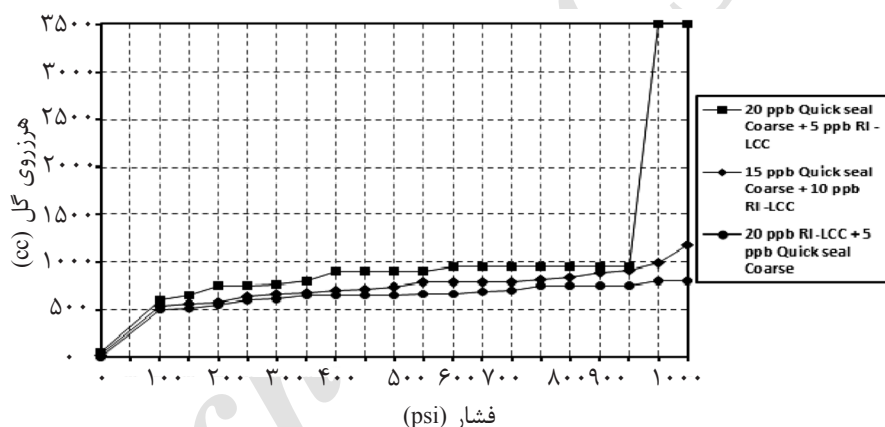
شکل ۶ بررسی عملکرد ترکیب اندازه‌های مختلف RI-LQ با غلظت‌های متفاوت در کنترل هرزروی گل

دیگر با افزایش فشار پل تشکیل شده توسط مواد کنترل کننده هرزروی شکسته شده و هرزروی به شدت افزایش میابد.

با توجه به نتایج به دست آمده در شکل های ۶ و ۷ می توان به این نتیجه رسید که مخلوطی از RI-LQC و کوئیک سیل به ترتیب با غلظت های ۲۰ و ۵ lb/bbl و مخلوط RI-LQC و RI-LQF به ترتیب با غلظت های ۱۸ و ۷ lb/bbl میزان هرزروی را به کمتر از ۱۰۰۰ cc رسانده و هرزروی را متوقف نموده است. فشار لازم برای شکست پل تشکیل شده به وسیله مواد کنترل کننده هرزروی برای این دوسیال مطابق با جدول ۴ به ترتیب ۲۵۰ psi و ۵۰ psi است.

توانایی انسداد مخلوط RI-LQC و کوئیک سیل در کنترل هرزروی شکاف ۰/۲ in

در این مرحله از آزمایش مخلوط دو ماده RI-LQC و کوئیک سیل درشت برای انسداد شکاف ۰/۲ in مورد استفاده قرار گرفته است. شکل ۷ به خوبی نشان می دهد که مخلوط RI-LQC و Quick Seal به ترتیب با غلظت ۲۰ و ۵ lb/bbl نسبت به دیگر غلظت ها از لحاظ میزان هرزروی کمترین مقدار را داشته است. همچنین با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۷ می توان به این نتیجه رسید که مخلوط RI-LQC و کوئیک سیل درشت به ترتیب با غلظت ۵ و ۲۰ lb/bbl در فشارهای بالای ۸۰۰ psi توانای کنترل هرزروی را دارا نیست. به عبارت



شکل ۷ مقایسه عملکرد ترکیب Quick Seal و RI-LQC با اندازه درشت در غلظت های متفاوت

جدول ۴ مقایسه عملکرد مخلوط RI-LQC و Quick با مخلوط RI-LQC و RI-LQF

فشار لازم برای شکست پل تشکیل شده به وسیله مواد کنترل کننده هرزروی (psi)	میزان هرزروی (mL)	فشاری که در آن هرزروی متوقف می گردد (psi)
۲۵۰	۸۰۰	۹۵۰
۵۰	۷۰۰	۶۰۰

نتیجه گیری

ماده انسداد دائم در سازند ایجاد نکرده و با برداشته شدن فشار سیال حفاری این افزایش از دیواره سازند به راحتی جدا می شود. این ویژگی های بسیار مهم در کنار ارزان بودن و دوستدار طبیعت بودن سبب شد که مخلوط F و RI-LQC به ترتیب با غلظت ۷ و ۱۸ lb/bbl به عنوان یک افزایش جدید و موثر ترکیبی برای کنترل هرزروی های سنگین در مقیاس صنعتی معرفی شود.

علائم و نشانه ها

American Petroleum Institute: انجمن نفت آمریکا (API)
Apparent Viscosity: گرانیوی ظاهری (AV)
Plastic Viscosity: گرانیوی پلاستیک (PV)
Revolution per Minute: دور بر دقیقه (RPM)
Yield Point: نقطه تسلیم (YP)

با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش ها مشاهده می شود که افزایش میکا و پوست صدف درشت کارایی مناسبی در کنترل هرزروی بالا ندارند. از طرف دیگر ماده کوئیک سیل و RI-LQC نیز در کنترل هرزروی های بالا (در شکاف ۰/۲ in) دچار مشکل بوده و از یک کارایی بالا برخوردار نیستند. در صورتی که افزایش مخلوط شامل RI-LQC و کوئیک سیل به ترتیب با غلظت ۲۰ و ۵ lb/bbl و مخلوط RI-LQC و RI-LQF به ترتیب با غلظت های ۷ و ۱۸ lb/bbl کمترین میزان هرزروی را دارا هستند. همچنین نتایج کار به خوبی نشان داد که مخلوط RI-LQC و RI-LQF کارایی بالاتری نسبت به سایر مواد کنترل کننده هرزروی در این مطالعه داشته و با توجه به اینکه میزان فشار لازم برای شکست پل تشکیل شده به وسیله این مخلوط به مراتب کمتر از سایر افزایش ها می باشد، می توان نتیجه گرفت این

مراجع

- [1]. Kumar A. and Savari S., "Lost circulation control and wellbore strengthening looking beyond particle size distribution," In AAE National Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas, USA, pp. 12-14. 2011.
- [2]. Yongcun F., Jones J. F. and Gray K. E., "A Review on Fracture-Initiation and-Propagation Pressures for Lost Circulation and Wellbore Strengthening," SPE Drilling & Completion 31, No. 02, pp. 134-144, 2016.
- [3]. Power D., Ivan C. D. and Brooks S. W., "The top 10 lost circulation concerns in deep water drilling," SPE 81133, Latin America and Caribbean Petroleum Engineering, Port-of-Spain, Trinidad, April 27-30, 2003.
- [4]. Nayberg T. M., "Laboratory study of lost circulation materials for use in both oil-based and water-based drilling muds," SPE Drilling Engineering 2, No. 03, pp. 229-236, 1987.
- [5]. Arunesh Kumar S. Sh., Whitfill D. L. and Eugene Jamison D., "Improved lost circulation treatment design and testing techniques minimizes formation damage," In SPE European Formation Damage Conference, Society of Petroleum Engineers, 7-10 June, 2011.
- [6]. Nasiri A. R., Ghaffarkhah A., Keshavarz Moraveji M., Gharbanian A. and Valizadeh M., "Experimental and field test analysis of different loss control materials for combating lost circulation in bentonite mud," Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol. 44, pp. 1-8, 2017.
- [7]. Corley Wallace T. and Dorsey D. L., "Lost circulation material," U.S. Patent 4,422,948, issued December 27, 1983.

- [8]. Lummus J. L. and Randall B. V., "Lost circulation material," U. S. Patent 3,375,888, issued April 2, 1968.
- [9]. Goud M. Ch. and Joseph G., "Drilling fluid additives and engineering to improve formation integrity," In SPE/ IADC Indian Drilling Technology Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, 2006.
- [10]. Mokhtari M. and Ozbayoglu E. M., "Laboratory investigation on gelatin behavior of Xanthan cross-linked with Borate intended to combat lost circulation," Society of Petroleum Engineers, SPE 136094, 2010.
- [11]. Dick M. A., Heinz T. J., Svoboda C. F. and Aston M., "Optimizing the selection of bridging particles for reservoir drilling fluids," In SPE International Symposium on Formation Damage Control, Society of Petroleum Engineers, 2000.
- [12]. Stephen V., Cowie M., Jones T. and Twynam A. J., "A new methodology that surpasses current bridging theories to efficiently seal a varied pore throat distribution as found in natural reservoir formations," Wiertnictwo, Nafta, Gaz 23, No. 1, pp. 501-515, 2006.
- [13]. Chengyuan X., Kang Y., Chen F. and You Zh., "Analytical model of plugging zone strength for drill-in fluid loss control and formation damage prevention in fractured tight reservoir," Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 149, pp. 686-700, 20 Jan. 2017.
- [14]. Mortadha A., Al Dushaishi Mohammed F., Nygaard R., Nes O. M. and Saasen A., "Updated criterion to select particle size distribution of lost circulation materials for an effective fracture sealing," Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 149, pp. 641-648, 2017.
- [15]. Stene C. K. and Cremeans J. G., "Lost circulation material and method of use," U.S. Patent 6,630,429, issued October 7, 2003.
- [16]. MacQuoid M. and Skodack D., "Method for using coconut coir as a lost circulation material for well drilling," U.S. Patent Application 10/626,503, 2003.
- [17]. Matsui H., Daitoh M., Yoshimora K. and Morita N., "Development of environmentally friendly lost circulation materials for riserless drilling," SPE 156575, 2012.
- [18]. Amanullah M. D., Ramasamy J. and Al-Arfaj M. K., "Application of an indigenous eco-friendly raw material as fluid loss," Journal of Petroleum Science and Engineering, No. 139, pp. 191-197, 2016.