

دانه‌بندی سنگ آهک جهت کنترل هرزروی گل حفاری در دیواره‌ی کربناتی چاه‌های مخزن آسماری میدان بی‌بی حکیمه

ادیب کریمی^{۱*}، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب ■ سید علیرضا طباطبایی نژاد^۲، دانشگاه صنعتی سهند تبریز

چکیده

هرزروی گل حفاری یکی از مشکل‌سازترین مسائلی است که می‌تواند در حفر چاه‌های نفت و گاز اتفاق بیافتد. غالباً هزینه‌ی اضافی گل هدررفته و هزینه‌ی زمانی که دکل بدون بازدهی می‌چرخد (زمان هدررفته^۱) تا این مشکل برطرف شود بالغ بر میلیون‌ها تومان است. هرزروی در سازند مخزنی (سازند آسماری که در این مقاله مدنظر است) سبب کاهش شدید تولید هیدروکربن می‌شود. هرزروی تابع متغیرهای زیادی از جمله سرعت حفاری، وزن گل حفاری، اندازه‌ی ذرات مواد کنترل‌کننده‌ی هرزروی^۲ و مقدار به‌کار رفته از آنها در ترکیب گل است؛ شکستگی‌های سازند مهم‌ترین بسترهای هدررفت گل شناخته می‌شوند. پرکاربردترین راه مقابله با هرزروی گل، استفاده از مواد کنترل‌کننده‌ی هرزروی در ترکیب آنست. در استفاده از این مواد توجه به دو نکته بسیار حائز اهمیت است. دانه‌بندی ماده‌ی استفاده شده و مقدار به‌کار رفته از آن در ترکیب گل. در این تحقیق سنگ آهک خرد شده به‌عنوان ماده کنترل‌کننده‌ی هرزروی مناسب در سازند آسماری بررسی شد. هدف اصلی، تعیین دانه‌بندی مناسب برای ذرات سنگ آهک جهت انسداد مطلوب شکاف‌هاست. آزمایش‌ها توسط دستگاه BMT^۳ انجام گردید و اندازه‌ی شکاف دستگاه با توجه به نتایج نمودارهای تصویری یک میلی‌متر درنظر گرفته شد. مقدار سنگ آهک استفاده شده در تمامی آزمایش‌ها ثابت است. با توجه به نتایج آزمایش‌ها مناسب‌ترین حالت دانه‌بندی برای سنگ آهک جهت مسدود کردن شکاف به‌دست آمد که درصد وزنی ذرات با اندازه‌های مختلف بدین ترتیب است: ۱۲/۵ درصد دانه‌های عبوری از مش-۵ مانده روی مش-۱۰، ۱۲/۵ درصد دانه‌های عبوری از مش-۱۰ مانده روی مش-۲۰، ۱۷ درصد دانه‌های عبوری از مش-۲۰ مانده روی مش-۴۰، ۵۰ درصد دانه‌های عبوری از مش-۴۰ مانده روی مش-۵۰ و ۸ درصد دانه‌های عبوری از مش-۵۰ مانده روی مش-۱۰۰.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۷/۱۱/۱۸

تاریخ ارسال به داور: ۹۷/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش داور: ۹۷/۰۱/۲۶

واژگان کلیدی:

هرزروی، سازند مخزنی، گل حفاری، سنگ آهک

مقدمه

به مخزن روش‌های گوناگونی جهت برطرف کردن و کنترل هرزروی به‌کار روند. در تمامی عملیات حفاری کشورمان هرزروی گل حفاری وجود دارد. بنابراین بحث و تحقیق بیشتر در این خصوص امری ضروری و مهم است. اهمیت مسائل اقتصادی و بهینه‌سازی عملیات حفاری و تولید از مخازن زیرزمینی نیز به ضرورت این مسأله می‌افزاید. به‌همین دلیل جلوگیری از هدررفت گل حفاری می‌تواند پروژه‌های ملی تلقی شود.

با توجه به اینکه کاهش و کنترل هرزروی، کاهش آسیب‌های وارده به مخزن را در پی دارد و با کنترل هرزروی نیاز به عملیات هزینه‌بردار بعدی (مانند اسیدکاری^۴) جهت برطرف کردن آسیب‌های مخزن به حداقل می‌رسد.

با هدف کنترل و کاهش هرزروی گل در سازند حفر شده، ابتدا دو راه‌حل به ذهن می‌رسد. اول بهینه‌سازی خواص و رئولوژی^۵ گل حفاری و دوم کنترل تراوایی سازند حفر شده در برابر گل. روش‌هایی که بدین منظور به‌کار می‌روند کاهش وزن گل برای کاهش فشار ستون گل بر ته چاه و سازند، افزودن مواد دانه‌درشت و کنترل‌کننده‌ی هرزروی جهت مسدود کردن مسیر عبور گل و در نهایت استفاده از پلاگ‌های سیمانی^۶ هستند. وقتی هرزروی در سازند مخزنی اتفاق افتد بسیار مشکل‌سازتر است؛

هرزروی گل حفاری یکی از پرهزینه‌ترین و مشکل‌سازترین مسائل حفاری است. هزینه‌های مازاد در اثر گل اضافی مصرف شده و نیز هزینه‌ی کارکرد بی‌بهره‌ی دکل حفاری هنگام درمان مشکل هرزروی بالغ بر میلیون‌ها دلار است. اگرچه در سال‌های اخیر روش‌های دقیق و حساب شده‌ای برای برطرف کردن این مشکل توسط متخصصان طرح‌ریزی شده برخی از این روش‌ها از لحاظ عملیاتی و اقتصادی قابل اجرا نیست. بنابراین باید به روش‌هایی دست یافت که ابزار و موارد آنها در دسترس باشد.

هرزروی گل به دو دلیل رخ می‌دهد: حفاری و متغیرهای سازند. عموماً منطقی‌ترین راه‌حل برای کنترل و کاهش هرزروی بررسی مکانیسم‌های هرزروی و محاسبه‌ی متغیرهای مهم اثرگذار بر آن با استفاده از اطلاعات مورد نیاز است.

از آنجا که طبیعت و شدت هرزروی در سازندهای مختلف متفاوت است نمی‌توان نتایج آزمایشگاهی مربوط به یک سازند و ناحیه را به موارد دیگر تعمیم داد. در بسیاری موارد راه‌حل کنترل هرزروی ترکیبی از روش‌ها و مواد مختلف است که با توجه به شرایط محل مورد استفاده و مقدار هرزروی به‌کار می‌رود. بنابراین در برخی شرایط ممکن است با توجه به مسائل خاص، به سرعت و با حداقل توجه به مسائل اقتصادی و آسیب‌های وارده

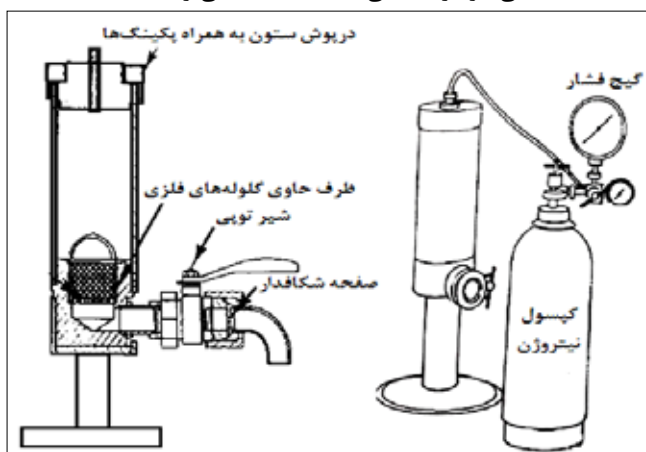
* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (adibkarami@yahoo.com)

بالایی تقسیم می‌شود. از مجموع چهار ناحیه مخزن، نیمه‌ی بالایی ناحیه‌ی ۱- معادل آسماری بالایی، نیمه‌ی پائینی ناحیه‌ی ۱- و نواحی-۳ و ۲ معادل آسماری میانی و ناحیه‌ی ۴- نیز معادل آسماری پائینی است [۴].

بر اساس نتایج حاصل از تفسیر نمودار FMI در سه حلقه چاه، مقدار شیب لایه‌بندی، ۸ درجه به سمت شمال، ۲۲ درجه به سمت شرق با امتداد جنوب، ۶۸ درجه به سمت شرق/شمال و ۶۸ درجه به سمت غرب است. نتایج یکی از این چاه‌ها در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. در این چاه مجموعاً ۵۰۳ عدد شکستگی مشاهده شد که از این تعداد ۴۱۹ عدد شکستگی باز غیرممتد، ۶۲ عدد شکستگی باز ممتد و ۱۲ عدد شکستگی بزرگ و ۱۰ عدد شکستگی باز احتمالی است. بیشتر این شکستگی‌ها جزء دسته شکستگی‌های طولی محسوب می‌شوند. بیشترین تراکم شکستگی‌ها در لایه‌ی ۳- مشاهده می‌گردد [۴].

تعداد شکستگی‌ها در لایه‌های مخزنی میدان بی‌بی حکیمه و مقدار بازشدگی شکستگی‌ها که به طرف عمق کاهش می‌یابد از اطلاعات نمودارهای تصویری به صورت زیر است [۴]:

■ ۰/۱-۰/۴ میلی‌متر در مناطقی با شدت شکستگی زیاد



شکل ۱ | شماتیک دستگاه پل‌زن استفاده شده در انجام آزمایش‌ها [۶]

ناحیه	مقدار هرزروی (بشکه در ساعت)	عمق (متر)
نواحی-۱ و ۲ و ۳	ناچیز	۱۷۷۸-۱۵۲۴
ناحیه‌ی-۳	۰-۱۰۰	۱۷۸۱-۱۷۷۸
نواحی-۳ و ۲	۴۰-۱۰۰	۱۸۳۱-۱۷۸۱
ناحیه‌ی-۴	۶۰-۲۰۰	۱۸۴۱-۱۸۳۱
ناحیه‌ی-۴	۱۰۰-۱۵۰	۱۸۴۵-۱۸۴۱
ناحیه‌ی-۴	۵۰-۱۰۰	۱۸۵۳-۱۸۴۵
ناحیه‌ی-۴	۴۰-۸۰	۱۹۰۳-۱۸۵۳
ناحیه‌ی-۴	۲۰-۳۰	۱۹۱۳-۱۹۰۳
ناحیه‌ی-۴	۶-۲۰	۱۹۴۲-۱۹۱۳
ناحیه‌ی-۴	۲-۴	۱۹۵۲-۱۹۴۲
ناحیه‌ی-۴	۲۰-۲۵	۱۹۵۵-۱۹۵۲
ناحیه‌ی-۴	۱۲-۲۰	۱۹۸۰-۱۹۵۵

جدول ۱ | مقدر هرزروی گل در سازند آسماری چاه-۱۵۶ بی‌بی حکیمه [۳]

چراکه علاوه بر هدرزروی سرمایه و هزینه‌های مربوط به دکل و گل حفاری آسیب‌های وارد به مخزن غیرقابل جبران است. در این موارد یافتن راه‌حل مناسب جهت برطرف کردن مشکل هرزروی بسیار پیچیده‌تر خواهد شد.

۱- روش تحقیق

در این تحقیق ابتدا با استفاده از اطلاعات موجود میدان بی‌بی حکیمه داده‌ها آنالیز شد. این داده‌ها شامل نمودارهای تصویری این میدان، اطلاعات زمین‌شناسی میدان و اطلاعات حفاری مانند هرزروی و وزن گل است. با استفاده از نمودارهای تصویری، شکستگی‌های این میدان بررسی شد. این نمودارها می‌توانند داده‌های مفیدی از گسترش و امتداد شکستگی‌ها، تراکم آنها، مقدار بازشدگی و ... ارائه کنند. در این تحقیق مقدار بازشدگی شکستگی‌ها مدنظر بود و آزمایش‌ها بر اساس نتایج حاصل از نمودار تصویری طراحی شد.

در مرحله‌ی دوم پروژه پس از آنالیز و بررسی کامل داده‌ها، آزمایش‌های تعیین دانه‌بندی مناسب برای پودر سنگ‌آهک به عنوان ماده‌ی کنترل‌کننده‌ی هرزروی انجام شد. در این آزمایش‌ها سنگ‌آهک با دانه‌بندی متفاوت و مقادیر مشخص در نمونه‌ی گل حفاری به کار رفت و مقدار هدرزروی گل اندازه‌گیری شد. برای برآورد هدف در این مرحله از دستگاه آزمایش‌کننده‌ی مواد پل‌زن^۱ استفاده شد (شکل-۱). در مرحله‌ی آخر با استفاده از داده‌های حاصل از آزمایش‌ها، دانه‌بندی مناسب جهت ماده‌ی مورد استفاده در آزمایش‌ها (پودر یا چپیس سنگ‌آهک) به عنوان ماده‌ی کنترل‌کننده‌ی هرزروی ارائه گردید.

۱-۱ یافته‌ها

یکی از شواهد غیرمستقیم گسترش شکستگی‌ها در مخزن، هرزروی گل حفاری درون سازند است. اگرچه هرزروی گل امتداد، شیب و دیگر خصوصیات ساختاری شکستگی‌ها را مشخص نمی‌کند اما با استفاده از آن می‌توان مکان‌هایی با تراکم شکستگی زیاد و همچنین محل احتمالی گسل‌ها را تعیین کرد [۱].

برای استفاده از این عامل در تشخیص وجود شکستگی‌ها باید وزن گل حین حفاری در فاصله‌ای که در آن هرزروی دیده می‌شود تقریباً ثابت باشد. زیرا افزایش وزن گل باعث افزایش فشار هیدرواستاتیک و در نتیجه ایجاد شکستگی‌هایی در سازند می‌گردد که به آنها شکستگی‌های القا شده می‌گویند و جزء شکستگی‌های طبیعی مخزن نیست. گزارش‌های روزانه‌ی حفاری یکی از چاه‌های میدان بی‌بی حکیمه جهت استخراج مقدار هرزروی گل بررسی و در جدول ۱- ارائه شده است.

۲-۱ وضعیت شکستگی‌ها در مخزن آسماری میدان بی‌بی حکیمه حاصل از

تفسیر نمودارهای تصویری

سازند آسماری در میدان بی‌بی حکیمه به سه بخش پائینی، میانی و

در نظر گرفته شد.

با توجه به اینکه حجم سیلندر دستگاه ۴۲۰۰ میلی لیتر است هر آزمایش نیازمند ۱۲۰ گرم کلسیم کربنات (معادل ۱۰ پوند در هر بشکه) است. ابتدا دانه‌بندی به کار رفته برای این ماده‌ی کنترل‌کننده‌ی هزرزوی با عنوان آزمایش پایه بررسی شد. فرآیند تمامی آزمایش‌ها مشابه است و در هر آزمایش فقط دانه‌بندی ذرات سنگ‌آهک عوض می‌شود. در جدول-۳ دانه‌بندی ذرات سنگ‌آهک برای هر آزمایش ارائه شده است. در آزمایش‌های اول تا ششم طبق قانون آبرام (اندازه‌ی ۵۰ درصد ذرات باید یک‌سوم اندازه‌ی قطر منافذ باشد [۵]) ۵۰ درصد ذرات سنگ‌آهک در بازه‌ی عبور از مش-۴۰ و مانده روی مش-۵۰ در نظر گرفته شد.

شکاف انتخابی در محل تعبیه شده در خروجی سیستم، بعد از شیر تویی قرار می‌گیرد. ۴۲۰۰ میلی لیتر پیل ساخته شده به همراه کلسیم کربنات به درون ستون دستگاه BMT ریخته می‌شود و بلافاصله پیستون آزاد روی آن قرار می‌گیرد. در این حالت شیر خروجی سیستم باز است. جهت جمع‌آوری و اندازه‌گیری گل خروجی ظرفی مدرج در خروجی سیستم به کار می‌رود. اجازه داده می‌شود جریان خروج گل از سیستم قطع گردد و حجم آن ثبت می‌شود. سپس درپوش ستون را روی آن قرار داده و محکم می‌کنند. جریان گاز نیتروژن روی پیستون توسط رگلاتور کنترل می‌گردد.

■ ۱-۰/۴ میلی‌متر در مناطقی با شدت شکستگی متوسط

■ ۱-۳ میلی‌متر در مناطقی با شدت شکستگی کم

در این مقاله آزمایش‌ها توسط دستگاه BMT انجام شده است. با توجه به اینکه کوچک‌ترین اندازه‌ی بازشدگی شکاف دستگاه ۱۰ یک میلی‌متر است و نیز با توجه به اینکه فراوانی شکستگی‌ها با بازشدگی کمتر از یک میلی‌متر بسیار زیاد است (شکل-۳)، تمامی آزمایش‌ها با کوچک‌ترین اندازه‌ی شکاف یعنی یک میلی‌متر انجام شده است.

۲- انجام آزمایش

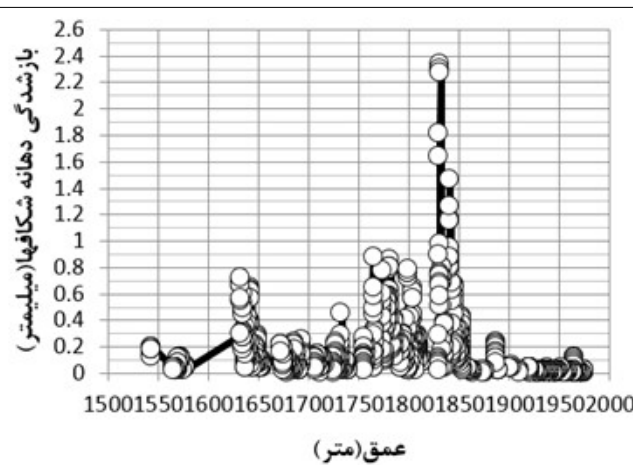
در اطلاعات حفاری مخزن آسماری در میدان بی‌بی‌حکیمه بیشترین وزن گل به کار رفته در سازند آسماری (حدود ۴۶/۲ درصد) ۶۲/۴ پوند بر فوت‌مکعب است [۳]. بنابراین برای انجام آزمایش‌ها در این تحقیق باید یک پیل شامل آب شهری و زانتان گام با وزن ۶۲/۴ آماده کرد. قبل از آماده‌سازی پیل باید ذرات سنگ‌آهک توسط مش‌های آزمایشگاهی از نظر اندازه‌ی ذرات دسته‌بندی شود. در این تحقیق ذرات کلسیم کربنات در چند بازه‌ی مشخص دسته‌بندی، جدا و برای آزمایش‌ها آماده گردید. مش‌های به کار رفته در جدول-۲ ارائه شده‌اند. با استفاده از داده‌های تجربی، در تمامی آزمایش‌ها به‌طور ثابت مقدار ۱۰ پوند کلسیم کربنات در هر بشکه

۳ | مش‌های استفاده شده و ذرات عبوری از آنها

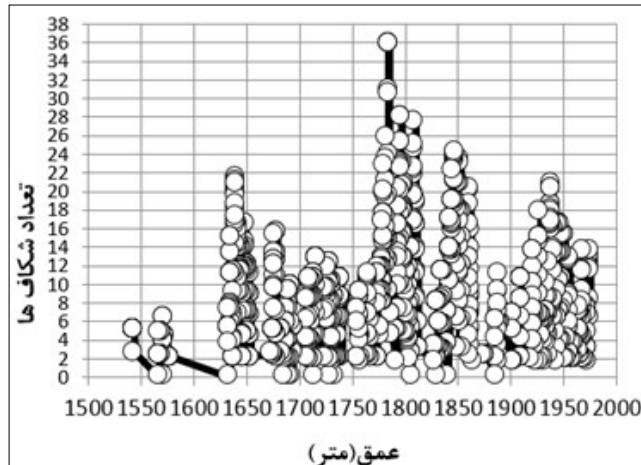
شماره‌ی آزمایش مقدار مصرف شده‌ی ذرات (گرم)	پایه	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم
عبور از ۱/۴، مانده روی ۵	۳۰	۳۰	۲۰	۱۰	۱۰	-	-
عبور از ۵، مانده روی ۱۰	۴۲	-	۱۰	۱۰	۱۰	۵	۱۵
عبور از ۱۰، مانده روی ۲۰	۳۰	-	-	۱۰	۱۰	۱۰	۱۵
عبور از ۲۰، مانده روی ۴۰	۱۸	-	-	-	۱۰	۱۰	۲۰
عبور از ۴۰، مانده روی ۵۰	-	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
عبور از ۵۰، مانده روی ۱۰۰	-	-	۱۰	۲۰	۱۰	۱۰	۱۰
عبور از ۱۰۰، مانده روی ۲۰۰	-	۳۰	۲۰	۱۰	۱۰	۲۵	-
مجموع (گرم)	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰

۲ | دانه‌بندی‌های استفاده شده برای ذرات سنگ‌آهک در آزمایش‌ها

اندازه‌ی ذرات (mm)	شماره‌ی مش
۶/۳۵	۱/۴
۴	۵
۲	۱۰
۰/۸۴۱	۲۰
۰/۴۲	۴۰
۰/۲۹	۵۰
۰/۱۴۹	۱۰۰
۰/۰۷۴	۲۰۰



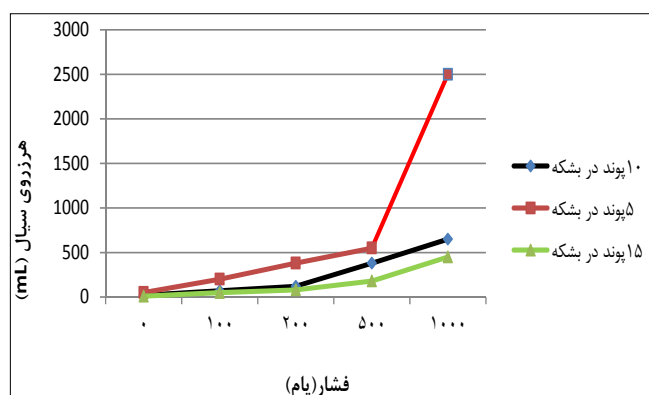
۳ | بازشدگی دهانه‌ی شکاف نسبت به عمق



۲ | تعداد شکافها نسبت به عمق

شرایط بهتر از حالت پایه بود اما کماکان مقادیر هرزروی بیشتر از حد معمول بود. در آزمایش‌های پنجم و ششم نتایج بهتری حاصل شد که در آزمایش ششم ذرات کلسیم کربنات بهترین عملکرد را داشت. بنابراین دانه‌بندی این آزمایش (۱۲/۵) درصد وزنی دانه‌های عبوری از مش-۵ مانده روی مش-۱۰، ۱۰، ۱۲/۵ درصد وزنی دانه‌های عبوری از مش-۱۰ مانده روی مش-۲۰، ۱۷ درصد وزنی دانه‌های عبوری از مش-۲۰ مانده روی مش-۴۰، ۵۰ درصد وزنی دانه‌های عبوری از مش-۴۰ مانده روی مش-۵۰ و ۸ درصد وزنی دانه‌های عبوری از مش-۵۰ مانده روی مش-۱۰۰) به‌عنوان دانه‌بندی پیشنهادی در سازند آسماری بی‌بی‌حکیمه معرفی شد. در شکل-۴ نتایج کلی آزمایش‌ها نشان داده شده است.

جهت بررسی تأثیر مقدار ماده‌ی کنترل‌کننده‌ی هرزروی، دو آزمایش دیگر انجام شد که در آنها دانه‌بندی ذرات طبق نتایج قبل در نظر گرفته شد و تنها مقدار کلسیم کربنات در هر آزمایش نسبت به آزمایش ششم مرحله‌ی قبل تغییر کرد. در نهایت با افزایش مقدار LCM در گل هرزروی کاهش یافت. شکل-۵ مقایسه‌ی این سه آزمایش را به تصویر کشیده است. ضمن آنکه تمامی آزمایش‌ها جهت راستی‌آزمایی سه بار تکرار شده‌اند.

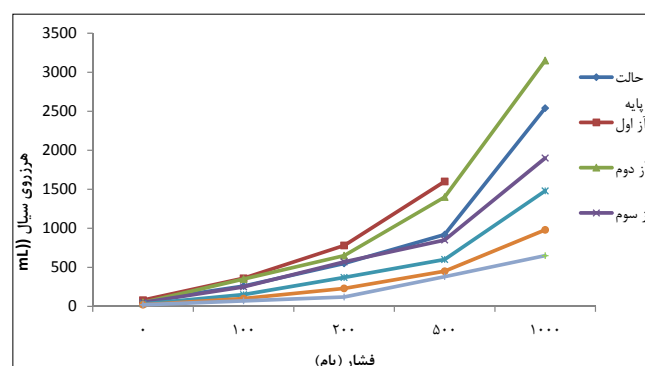


شکل ۵ | مقایسه‌ی آزمایش‌های کنترل هرزروی با دانه‌بندی یکسان و مقادیر متفاوت

فشار با نرخ ۲ پام بر ثانیه افزایش می‌یابد تا به ۱۰۰ psi برسد. اگر قبل از رسیدن به این فشار سد تشکیل شده در مقابل جریان از شکاف بشکند و هرزروی کامل گردد فشار شکست ثبت خواهد شد. اگر در فشار ۱۰۰ psi گل درون ستون مانده باشد به‌معنای مسدود شدن مسیر جریان توسط ذرات جامد است. در این حالت باید فشار را با نرخ ۱۰ پام بر ثانیه افزایش داد. اگر قبل از رسیدن به فشار ۱۰۰۰ psi فشار شکست سد تشکیل شده باشد این فشار ثبت می‌گردد. اگر در فشار ۱۰۰۰ psi گل در ستون مانده باشد، باید این فشار را به مدت ۱۰ دقیقه نگه‌داشت. حجم گل خروجی در فشارهای ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ پام ثبت می‌شود. جهت بررسی تأثیر مقدار ماده‌ی کنترل‌کننده‌ی هرزروی در گل سه آزمایش در حالت دانه‌بندی ششم با مقادیر ۵، ۱۰ و ۱۵ پوند در بشکه از ذرات سنگ‌آهک طراحی و نتایج آنها ثبت گردید.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در پایان آزمایش‌های اول و دوم گل هدررفته بیشتر از حالت پایه بود. اگرچه در آزمایش‌های سوم و چهارم



شکل ۴ | نتایج آزمایش‌ها (مقدار هرزروی گل بر حسب میلی‌لیتر در فشارهای متفاوت بر حسب پام)

پانویس‌ها

1. tabalireza@yahoo.com
2. Wasted Time
3. Lost Circulation Material
4. Bridging Material Tester
5. Acidizing

6. Rheology
7. Cement Plug
8. Fracture Density
9. Bridging Material Tester
10. Slot

منابع

- [5] Abrams, A., (1997). Mud Design To Minimize Rock Impairment Due To Particle Invasion. Paper SPE-5713-PA. Journal of Petroleum Technology.
- [6] Jafari, M. R., (2003). Investigation and Prevention of Lost Circulation in Asmari Reservoir of One of the Oilfields in Southwest of Iran by Experimental Method Using LCM. M. Sc. Thesis. Petroleum University of Technology. Ahvaz, Iran.

- [۱] مداحی، ح؛ " تعیین نواحی با تراکم شکستگی بالای در میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه با استفاده از داده‌های حفاری و شاخص بهره‌دهی مخزن"، مجله اکتشاف و تولید، شماره ۵۴، ۱۳۸۹.
- [۲] شرکت مناطق نفت خیز جنوب؛ " مطالعه زمین‌شناسی مخزن آسماری میدان بی‌بی‌حکیمه"، گزارش شماره پ-۵۸۵۰-۱۳۸۵.
- [۳] شرکت مناطق نفت خیز جنوب، اداره کل حفاری، اطلاعات و گزارشات روزانه چاه‌های میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه.
- [۴] شرکت مناطق نفت خیز جنوب، اداره زمین‌شناسی، بخش تفسیر نمودارهای تصویری.