طراحی و ساخت یک نمونه دوغاب سیمان بهینه به منظور جلوگیری از پدیده مهاجرت گاز از طریق دوغاب سیمان چاه‌های گازی خانگیران

علی قجری*، محمدرضا منوریان و سید محمدجواد مجتهدی
واحد پژوهش حفاری، پژوهشکده اکتشاف و تولید، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران
ghaharia@ripi

پژوهش نفت
سال بیست و چهارم
شماره ۷۷
صفحه، ۱۵۶-۱۴۸ ۱۳۹۳
تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۳/۳
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۱۱/۸

چکیده

در این تحقیق علل مهاجرت گاز از طریق ستون سیمان در یکی از چاه‌های گازی در منطقه خانگیران مورد بررسی قرار گرفته است. طبق مطالعات و بررسی‌های به عمل آمده در اکثر چاه‌های منطقه بعد از گذشت زمان، پدیده مهاجرت گاز به وضوح دیده می‌شود . بررسی کیفی فرمولاسیون دوغاب‌های سیمان استفاده شده در این چاه‌ها یکی از عوامل اصلی این پدیده را نامناسب بودن دوغاب‌های طراحی شده معرفی می‌کند . هدف این تحقیق شناسائی عوامل مؤثر بر پدیده مهاجرت گاز از نقطه نظر طراحی دوغاب سیمان در فضای دالیزی لوله آستری ۷ اینچ یک چاه کاندید و ارائه راهکار مناسب از نقطه نظر طراحی دوغاب سیمان در پیشگیری از این مشکل و یا به حداقل رساندن این پدیده بوده است. فعالیت‌های انجام پذیرفته در طول اجرای این تحقیق شامل بازسازی دوغاب سیمان استفاده شده در سیمان‌کاری این مقطع از چاه در آزمایشگاه و اندازه‌گیری خواص دوغاب و سنگ سیمان با رویکرد شناسایی دلایل بروز مهاجرت گاز در این چاه به عنوان نمونه شاهد و ساخت یک نمونه دوغاب سیمان پیشنهادی با استفاده از افزایه‌های مناسب و مشاهده بهبود خواص دوغاب جدید برای پیشگیری از پدیده مهاجرت گاز هستند. دوغاب پیشنهادی دارای خواص بهبود یافته‌ای عبارت از زمان مقاومت ژلگی کوتاه‌تر، افت صافآب دینامیکی کمتر، تخلخل و نفوذپذیری سنگ سیمان پایین‌تر، آب آزاد کمتر و مقاومت تراکمی بیشتر است. این مطالعات از دیدگاه علمی بحث طراحی و فرمولاسیون دوغاب سیمان را بررسی می‌کند و کلیه عوامل تأثیرگذار برروی کیفیت دوغاب و سنگ سیمان را با رویکرد درمان مشکل مهاجرت گاز مورد بررسی قرار می‌دهد. نتیجه این شناسایی‌ها همراه با استفاده از مواد افزودنی مناسب مورد استفاده در طراحی‌ها منجر به ارایه بهترین فرمولاسیون به عنوان دوغاب پیشنهادی جهت استفاده در چاه‌های منطقه شده است. لازم به ذکر است که راه مقابله با مهاجرت گاز، "پیشگیری" از وجود چنین معضلی است؛ زیرا وقتی که این پدیده به وقوع پیوست عملاً هیچ راه حلی برای مقابله با مشکل متصور نیست.

واژه‌های کلیدی: مهاجرت گاز، سیمان‌کاری، دوغاب سیمان، افت صافآب سیمان و مقاومت ژله‌ای

مقدمه

در عملیات حفاری یک چاه نفت یا گاز، لازم است حفره ایجاد شده توسط مته لوله‌گذاری و سیمان‌کاری شود. دوغاب سیمان پس از بسته شدن مانند یک غلاف محکم[1] لوله‌ها را در بر می‌گیرد و به سازند پیوند می‌دهد. عدم توفیق در عملیات سیمان‌کاری، تاثیر زیادی بر موفقیت حفاری، عمر چاه، مقدار تولید و مدت بهره‌دهی چاه می‌گذارد. از مهم‌ترین اهداف عملیات سیمان‌کاری می‌توان از حفاظت و نگه‌داری لوله‌ها و تفکیک لایه‌های تولیدی[2] نام برد [۱]. یکی از مشکلاتی که ممکن است به سیمان‌کاری یک چاه آسیب برساند پدیده مهاجرت گاز از طریق دوغاب یا سنگ سیمان می‌باشد. مهاجرت گاز به داخل ستون سیمان می‌تواند در حین حفاری، زمان تکمیل چاه یا در زمان بهره‌برداری اتفاق بیفتد. پدیده مهاجرت گاز می‌تواند در هر یک از سه حالت الف) دوغاب بودن سیمان به علت کم بودن فشار هیدرواستاتیک ناشی از وزن، ب) زمان ژلگی یعنی فاصله زمانی که دوغاب از حالت سیال کامل و دارای فشار هیدرواستاتیک به توده‌ای جامد و دارای خواص ناتراوایی جامدات تبدیل می‌شود و ج) در حالت جامد از طریق رگه‌های گل به جامانده بر دیواره چاه و یا ترک‌ها و شکاف‌هایی که در اثر انبساط و انقباض سیمان در طی فرآیند سخت شدن به وجود می‌آید، اتفاق بیفتد [۱ و ۲]. نتیجه مهاجرت گاز در دوغاب سیمان ممکن است اندکی افزایش فشار و یا پدیده کیک[3] باشد و نتیجه مهاجرت گاز از طریق سنگ سیمان می‌تواند افزایش فشار در بخش تاج چاه[4]، خالی شدن مخزن در یک زون کم فشار یا شکست یک سازند ضعیف باشد [۳-۱]. برای رفع این مشکلات می‌توان فشار سر چاه را تا جایی‌که ایمنی سیستم اجازه می‌دهد، پایین آورد. در موارد بسیار سخت‌تر و پیچیده‌تر، مجبور به بستن کامل چاه می‌باشیم که نتایج بسیار بدی از نظر اقتصادی به همراه دارد [۱].

منطقه خانگیران در ۲۵ کیلومتری شمال غربی شهر سرخس واقع است. در این منطقه سه مخزن گازی مجزا در ساختارهای طاقدیسی که بر روی هم قرار گرفته‌اند، کشف شده است. عمق ستیغ طاقدیس‌ها بین ۲۸۰۰ تا ۳۰۰۰ m از سطح زمین است. بالاترین لایه‌گازی، مخزن شنی/ماسه‌ای شوریجه "D" با تخلخل و تراوایی بسیار خوب، لایه‌گازی میانی، مخزن سنگ ماسه ای سخت شوریجه "B" با تخلخل و تراوایی کم و لایه‌گازی پایینی، مخزن سنگ آهکی شکاف‌دار مزدوران با تخلخل کم و تراوایی بالا می‌باشد. مخزن مزدوران دارای گاز ترش پرفشار می‌باشد که با دارا بودن ۳/۵ ٪ هیدروژن سولفید و ٥٦ ٪ گاز دی‌اکسیدکربن بسیار خورنده بوده و با توجه به سمی بودن گازهیدروژن سولفید آزاد شدن آن در محیط برای انسان و محیط زیست بسیار خطرناک است. مخزن شوریجه "B" دارای گاز شیرین است که مایعات گازی وگاز دی‌اکسیدکربن آن کمی بیشتر ازشوریجه "D" می‌باشد . مخزن شوریجه "D" فاقد هیدروژن سولفید بوده و گاز شیرین تلقی می‌شود. گاز تولیدی به‌علت دارا بودن قدری ناخالصی گاز کربنیک تا حدودی خورنده است. لذا از تزریق مواد ضد خوردگی به چاه‌ها به‌منظور کنترل خوردگی استفاده می‌شود [٤].

عوامل مؤثر در پدیده مهاجرت گاز

عوامل موثر در پدیده مهاجرت گاز را می توان به طور کلی شامل عوامل مربوط به وضعیت حفره و عوامل مربوط به کیفیت سیمان دانست. می‌توان دلایل مختلفی که منجر به مهاجرت گاز می‌شوند را به‌صورت زیر تقسیم‌بندی نمود.

۱- چگالی نامناسب دوغاب سیمان [۱، ٥ -۱۰].

۲- تمیز نکردن گل و اندود صافی[5] از دیواره‌ها [۱ و ٥].

۳- ایجاد رگه‌های حاصل از نفوذ گل به دوغاب سیمان[6] [۱، ۹، ۱۱ و ۱۲].

٤- در مرکزنبودن لوله‌های جداری[7] [۱ و ۱۳].

٥- پارامترهای چاه [۱، ۹].

٦- به وجود آمدن مقاومت ژلگی [۲و۳، ٥، ۸ و ۱۰، ۱۳- ۲۰].

۷- افت صافآب سیمان [٥ - ۸ و ۱۰ - ۱٥، ۱۷، ۲۱، ۲٥]

1. Cement Sheath
2. Zonal Isolation
3. Kick
4. Well head
5. Mud Cake
6. Mud Channeling
7. Casing Centralization

۸- تراوایی بسیار بالای دوغاب و سنگ سیمان [۵-۷، ۹، ۱۳، ۱۵، ۲۰-۲۳].
۹- انقباض بسیار زیاد سیمان [۱ و ۲۴].
۱۰- ناکافی بودن مقاومت تراکمی [۱ و ۲۲].
۱۱- باند نامناسب سازند- سیمان- لوله جداری [۲۵ و ۲۶ و ۱۳ و ۲ و ۱۲].
۱۲- هیدراته شدن دوغاب [۱ و ۳].
۱۳- آب آزاد [۱، ۵، ۲۰ و ۲۱].
۱۴- حفره‌های میکروسکوپی[1] [۱].

فاکتورهای مورد ارزیابی در طراحی دوغاب

برخی از عوامل مؤثر بر پدیده مهاجرت گاز، به مرحله طراحی و ساخت دوغاب سیمان مربوط هستند. برای طراحی دوغاب بهینه لازم است همه این عوامل مد نظر قرار گیرند [۹ و ۲]. در این مطالعه، پارامترهای وزن دوغاب، آب آزاد، خواص رئولوژیکی، زمان نیم‌بندش، زمان رسیدن به قوام ۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ BC[2]، زمان رسیدن به مقاومت اولیه، زمان رسیدن به مقاومت ۵۰۰ psi برای شروع به حفاری مجدد (WOC[3])، مقاومت تراکمی ۲۴ و ۴۸ و ۷۲ ساعته، زمان رسیدن به مقاومت ژله‌ای استاتیک، زمان‌گذر از حالت ژله‌ای سیمان، نفوذپذیری سنگ سیمان، تخلخل سنگ سیمان و افت صافی دینامیکی دوغاب سیمان مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

اطلاعات کلی چاه انتخابی

بر اساس اطلاعات جمع آوری شده از شرکت نفت و گاز شرق و شرکت ملی نفت مناطق مرکزی، چاه ۲۴ منطقه خانگیران به عنوان نمونه چاهی که پدیده مهاجرت گاز در آن به اثبات رسیده بهترین انتخاب برای بررسی مشکل دوغاب سیمان است. در این چاه دالیز بین آستری ۷ اینچ و لوله تولید ۴/۵ اینچ، مورد بررسی قرار گرفت. عمق جداری ۷ اینچ، m ۳۷۴۹ و در سازند مزدوران می‌باشد. آنالیز سیال سازند وجود گاز شیرین در این دالیز را نشان می‌دهد. شرایط سیمان‌کاری این چاه در جدول ۱ ارائه شده است [۱۸].
شکل ۱ شماتیک چاه را نشان می‌دهد.

ساخت دوغاب‌های سیمان استفاده شده و دوغاب پیشنهادی و اندازه‌گیری خواص

در این مرحله پس از تهیه افزایه‌های سیمان مورد استفاده، فرمولاسیون دوغاب سیمان به دو روش سنتی و بهینه طراحی و ساخته شد. و سپس خواص کامل این دو نمونه اندازه‌گیری شد. شرح کامل فعالیت های انجام گرفته در ادامه ارائه می‌گردد.

ساخت دوغاب به روش سنتی

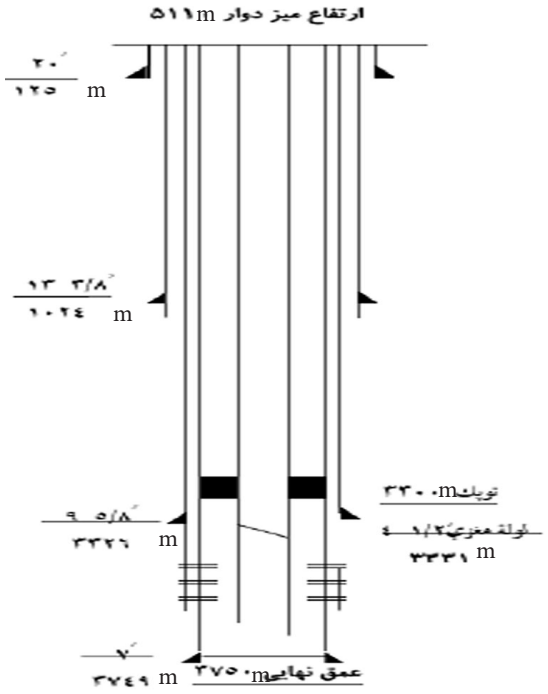
دوغاب مورد استفاده در سیمان‌کاری پشت لوله آستری ۷ اینچ چاه شماره ۲۴ خانگیران در سال ۱۳۶۶ بنا به پیشنهاد اداره کل حفاری مدیریت اکتشاف توسط پژوهشگاه مورد ارزیابی قرار گرفته است. جدول۲ فرمولاسیون دوغاب سیمان سنتی را نشان می‌دهد.

خواص دوغاب سیمان مذکور در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد که اطلاعات مربوط به آن در جدول ۳ ارائه شده است. تخلخل و نفوذپذیری بسیار بالا و طولانی بودن زمان انتقال دوغاب از حالت سیالیت به جامد از عوامل اصلی نفوذ و یا مهاجرت گاز در طول ستون سیمان است که این پارامترها به همراه طولانی بودن زمان بندش سیمان، پایین بودن مقاومت تراکمی آن و همچنین بالا بودن میزان افت صافی دوغاب حاکی از نامناسب بودن نحوه طراحی دوغاب می‌باشد.

جدول ۱- شرایط سیمان‌کاری چاه انتخابی

شرایط چاه				
نوع گل	وزن گل (PCF)	وزن سیمان (PCF)	دمای ته چاه(°F)	فشار هیدرواستاتیکی(psi)
پایه‌آبی	۹۵	۱۰۰	۲۵۰	۸۰۰۰

1. Micro Annulus
2. Burden Unit of Consistency
3. Wait on Cement



شکل۱- شمای چاه ٢٤ خانگیران

جدول۲- فرمولاسیون سیمان سنتی چاه انتخابی

فرمولاسیون دوغاب سنتی			
سیمان کلاس D (gr)	آب منطقه (cc)	بنتونیت (gr)	دیربند دما بالا (HR7) (gr)
۱۰۰۰	۸۰۰	۸۰	۱۵

جدول۳- خواص دوغاب سیمان سنتی چاه کاندید

خواص دوغاب سنتی												
مقاومت تراکمی			زمان مقاومت ژلگی (min)	نفوذ پذیری (md)	تخلخل (٪)	زمان نیم‌بندش (min)			افت صافی دینامیکی (cc)	گرانروی پلاستیک (cp)	نقطه واروی ($lb/100ft^2$)	آب آزاد (cc)	وزن (PCF)
۷۲ ساعت	٤۸ ساعت	٢٤ ساعت				۱۰۰ BC	۷۰ BC	۳۰ BC					
٥٤۰	۲۰۰	۰	۸۰	۰/۱	٦۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۱٤۲	۱۳	۲	۵	۱۰۰

ساخت دوغاب بهینه با استفاده از افزایه‌های مناسب

با مطالعه درخصوص انواع افزایه‌های مورد مصرف در طراحی دوغاب سیمان که در کشورهای صاحب صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌توان به دوغاب‌هایی دست یافت که در زمینه جلوگیری از پدیده مهاجرت گاز موفق عمل می‌کنند. طراحی دوغاب سیمان با حداقل نفوذپذیری و تخلخل از مهم‌ترین عوامل در طراحی یک دوغاب مناسب می‌باشد که رسیدن به آن با استفاده از افزودنی‌های ریز دانه سیمان محقق خواهد شد. در فرمولاسیون زیر با استفاده از جامدات ریزدانه به دوغابی با مشخصات مطلوبی دست یافته‌ایم. سایر خصوصیات دوغاب سیمان نیز که در پیش‌گیری از پدیده مهاجرت گاز موثرند، با استفاده از افزودنی‌های مناسب طراحی، بهینه شده‌اند. جدول٤ فرمولاسیون دوغاب سیمان پیشنهادی را نشان می‌دهد. خواص اندازه‌گیری شده دوغاب پیشنهادی در جدول۵ ارائه شده است.

جدول٤- فرمولاسیون سیمان بهینه پیشنهادی چاه کاندید

فرمولاسیون دوغاب بهینه							
سیمان کلاس G (gr)	آب منطقه (cc)	منبسط‌کننده[1] (LW6) (gr)	میکروبلاک (cc)	دیربند[2] دما بالا (R8) (gr)	ضد مهاجرت گاز (D600) (cc)	کنترل‌کننده افت صافآب (Hallad413)(gr)	پراکنده ساز (CFR2) (gr)
۱۰۰۰	٤۲۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰	۱۰۰	۱۰	۱۵

جدول۵- خواص دوغاب سیمان پیشنهادی چاه کاندید

خواص دوغاب بهینه												
مقاومت تراکمی			زمان مقاومت ژلگی (min)	نفوذپذیری (md)	تخلخل (٪)	زمان نیم‌بندش (دقیقه)			افت صافی دینامیکی (cc)	گرانروی پلاستیک (cP)	نقطه واروی (lb/100ft2)	آب آزاد (cc)	وزن (PCF)
۷۲ ساعت	٤۸ ساعت	۲٤ ساعت				BC ۱۰۰	BC ۷۰	BC ۳۰					
۱۵۰۰	۹۵۰	٦۰۰	۱۷	۰/۰۰۱	۸	۳۰۰	۲۸۰	۲۳۰	۱۲	۸۲	۸	۰	۱۰۰

بحث و نتایج

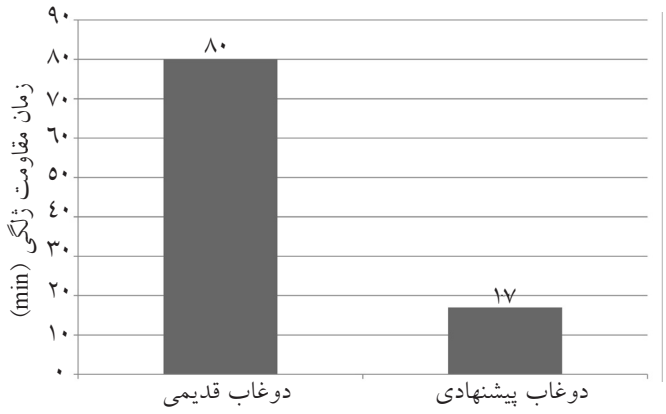
در این بخش خواص دو نمونه دوغاب ساخته شده که در پدیده مهاجرت گاز اثر گذارند با هم مقایسه می‌شوند. در جدول٦ خواص اندازه‌گیری شده از دو نمونه دوغاب سنتی و پیشنهادی شده ارائه است.

در شکل۲ زمان مقاومت ژلگی دو نمونه دوغاب در کنار هم رسم شده است. مهم‌ترین و حساس‌ترین زمان برای تهاجم گاز به داخل سیمان، زمان ژلگی است. وقتی دوغاب سیمان در جای خود پمپ می‌شود، میزان افت صافی دوغاب در حال رشد است و با رشد مقاومت ژلگی ایستایی[3] سیمان، زمان انتقال حالت دوغاب سیمان از سیالیت کامل به جامد بودن آغاز می‌شود. در این زمان به علت خاصیت ژلگی زیاد دوغاب، محدودیت‌هایی در انتقال فشار هیدرواستاتیک سیمان به ته چاه به وجود می‌آید تا جایی که سیمان در منطقه پرفشار به طور کامل از فشار هیدرواستاتیک منفک می‌شود. در طول دوره انتقال، هم‌زمان با افت فشار، کاهش در حجم آب میان ماتریکس سیمان رخ می‌دهد.

جدول٦- مقایسه خواص دوغاب‌های سیمان سنتی و پیشنهادی

مقایسه خواص دو نمونه دوغاب												نمونه
مقاومت تراکمی (psi)			زمان مقاومت ژلگی (min)	نفوذپذیری (md)	تخلخل (٪)	زمان نیم‌بندش (min)			افت صافی دینامیکی (cc)	گرانروی پلاستیک (cP)	نقطه واروی ($lb/100ft^2$)	آب آزاد (cc)	وزن (PCF)	
۷۲ ساعت	٤۸ ساعت	۲٤ ساعت				۱۰۰ BC	۷۰ BC	۳۰ BC						
٥٤	۲۰	۰	۸۰	۰/۱	٦۰	۷۰	۷۰۰	۷۰۰	۱٤۲	۱۳	۲	۵	۱۰۰	سنتی
۱۵	۹۵	٦۰	۱۷	۰/۰۰۱	۸	۳۰	۲۸۰	۲۳۰	۱۲	۸۲	۸	۰	۱۰۰	بهینه

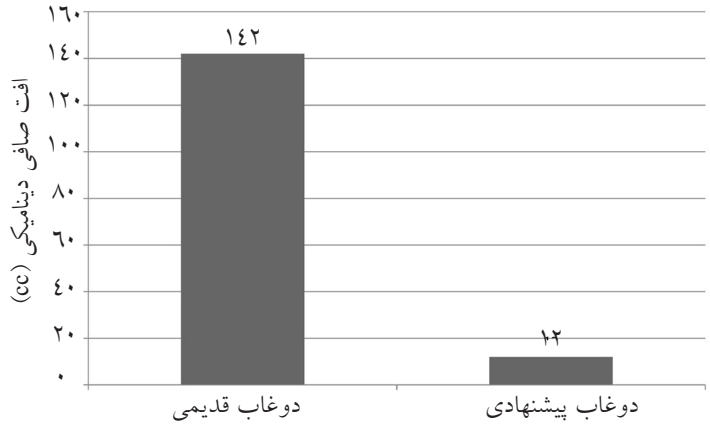
1. Extender
2. Retarder
3. Static Gel Strength



شکل۲- زمان مقاومت ژلگی دوغاب قدیمی و دوغاب پیشنهادی

کاهش در حجم آب که ناشی از هیدراسیون و افت صافی است، سبب کاهش در فشار تخلخل سیمان می‌شود. اگر مجموع عوامل فوق باعث افت فشار محاسبه شده سیمان قبل از پایان زمان انتقال به زیر فشار گاز زائد گردد، جریان گاز در فضای حلقوی اتفاق خواهد افتاد. بر طبق استاندارد سیمان‌کاری، اگر سیمان ژل شده نتواند فشار هیدروستاتیکی را برای مدت زمان طولانی (بیش از min ۲۰) منتقل کند، باعث نفوذ گاز به داخل سیمان می‌گردد. فعالیت‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که ژله‌ای شدن سیمان می‌تواند چند دقیقه پس از ساکن شدن سیمان به وجود آید. بنابراین، طراحی دوغاب باید به گونه‌ای باشد که در تست‌های آزمایشگاهی و براساس استانداردها، تمام شرایط لازم برای جلوگیری از مهاجرت گاز را دارا باشد [۱، ۳، ۵، ۱۰-۱۱، ۱۳-۲۰]. مقاومت ژلگی نمونه دوغاب پیشنهادی طبق نمودار کمتر از min ۲۰ است که مناسب می‌باشد. در حالی‌که دوغاب قدیمی دارای زمان مقاومت ژلگی min ۸۰ است که از زمان لازم برای نفوذ گاز بیشتر است.

شکل۳ زمان افت صافی دینامیکی دو نمونه دوغاب را با هم مقایسه می‌کند. هدر رفتن آب سیمان به داخل سازند زمانی اتفاق می‌افتد که فشار دوغاب سیمان از فشار سازند بیشتر باشد و این هدر رفتن آب باعث کاهش حجم نیز می‌شود. برخی از محققین معتقدند مهم‌ترین عامل جلوگیری از نفوذ گاز در سیمان، جلوگیری از هدر رفتن آب سیمان به داخل سازند است. به علاوه، دوغاب‌های با افت صافی بالا در برخی از موارد (مثل سازندهای با تراوایی بالا) کاملا هیدراته نمی‌شود و شرایط فروتعادلی را به وجود می‌آورد. اگر جلوی این خروج گرفته شود، در بین ذرات جامد سیمان فضایی برای نفوذ گاز باقی نمی‌ماند [۱، ۵-۷، ۹، ۱۳-۱۵ و ۲۰-۲۳]. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، افت صافی دینامیکی نمونه دوغاب پیشنهادی حدود cc ۱۰ است که در محدوده دوغاب‌های بسیار مناسب می‌باشد. در حالی‌که نمونه دوغاب قدیمی دارای افت صافی cc ۱۴۰ است که کاملا از نقطه نظر طراحی مردود می‌باشد.

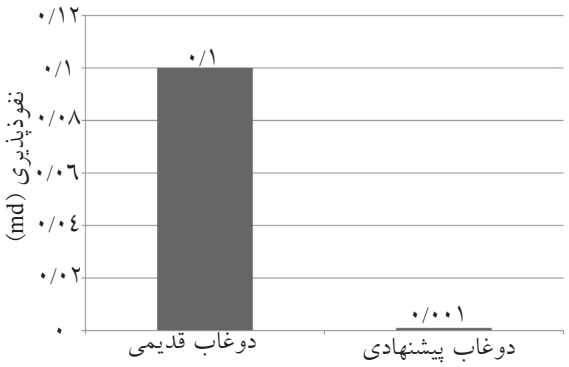


شکل۳- افت صافی دینامیکی برای دوغاب قدیمی و دوغاب پیشنهادی

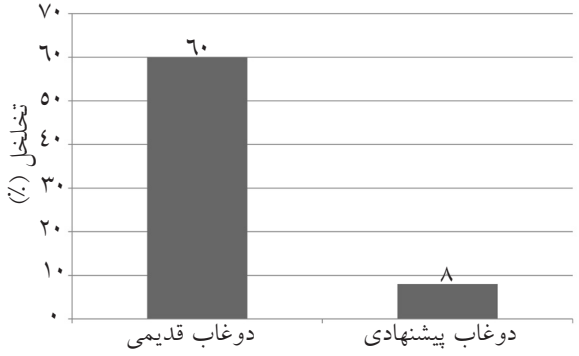
نفوذپذیری و تخلخل دو نمونه دوغاب در شکل‌های ٤ و ٥ با هم مقایسه شده است. اگر طراحی دوغاب سیمان به گونه‌ای انجام شود که در آن گاز و حفره‌های هوا زیاد باشد، این دوغاب بالقوه مستعد تهاجم گاز است. یعنی در صورت تبدیل دوغاب به سنگ، به دلایل بالا بودن تراوایی، گاز در سوراخ‌ها وارد شده و پس از مدتی باعث ایجاد شکاف و درز در سنگ سیمان می‌شود [۱ و ۱۱]. در دوغاب پیشنهادی با استفاده از افزودنی‌های مناسب، مقدار نفوذپذیری و تخلخل نمونه دوغاب پیشنهادی تا md ۰/۰۰۱ و ۸ ٪ کاهش یافته است که در محدوده دوغاب‌های بسیار مناسب قرار دارد. در حالی‌که در دوغاب قدیمی، تراوایی و تخلخل md ۰/۱ و ٦۰٪ اندازه‌گیری شده است. لذا از نظر نفوذپذیری و تخلخل نیز نمونه دوغاب پیشنهادی بر نمونه قدیمی برتری دارد.

مقدار آب آزاد دو نمونه دوغاب در شکل ٦ رسم شده است. به علت عدم فرمولاسیون مناسب، آب آزاد زیاد باعث به وجودآمدن کانال‌هایی در باند سیمان سازند شده و باعث نفوذ گاز می‌شود. مخصوصا در چاه‌های افقی و مایل این خطر بالقوه می‌تواند تهدیدی بسیار مشکل ساز تلقی شود [۲۱ و ۱ و ۵ و ۲۰]. آب ازاد نمونه پیشنهادی صفر است در حالی‌که در دوغاب قدیمی مقدار آب آزاد اندازه‌گیری شده در حدود cc ۵ است.

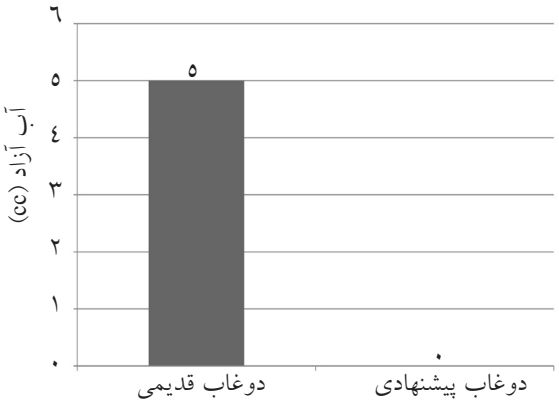
مقاومت فشاری دو نمونه سنگ سیمان پس از گذشت ۷۲ ساعت در شکل ۷ رسم شده است. مقاومت فشاری یکی از مهمترین خواص سنگ سیمان است. دوغاب سیمان باید به گونه‌ای طراحی شود که در حالت جامد، در مقابل فشارهای ناشی از سازند مقاومت کند. اگر طراحی دوغاب سیمان به گونه‌ای باشد که پس از مدتی بشکند، گاز می‌تواند به داخل این شکاف، نفوذ کرده و سیمان‌کاری چاه با مشکل روبرو می‌شود [۱ و ۲۲]. در فرمول پیشنهادی با استفاده از افزودنی‌ها، مقدار مقاومت افزایش یافته است.



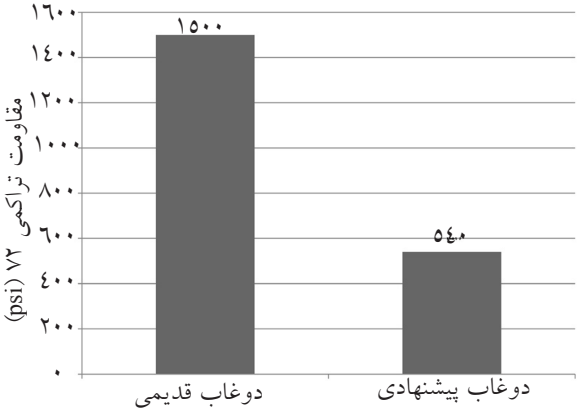
شکل ٤- نفوذپذیری دوغاب قدیمی و دوغاب پیشنهادی



شکل ٥- تخلخل دوغاب قدیمی و دوغاب پیشنهادی



شکل ٦- نمودار مقایسه آب آزاد برای دوغاب قدیمی و دوغاب پیشنهادی



شکل ۷- مقاومت تراکمی دوغاب قدیمی و دوغاب پیشنهادی

نتیجه‌گیری

نتایـج حاصل از طراحی‌ها و خواص اندازه‌گیری شـده را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

۱. دوغاب قدیمی چاه انتخابی در میدان خانگیران، بر اساس اسـتانداردهای مهاجرت گاز کاملا مردود اسـت. بنابراین، می‌تـوان گفت که علاوه بر مشـکلات ناشـی از حفاری، فرمول سنتی دوغاب نیز مشکل‌ساز است و باعث نفوذگاز به داخل سیمان می‌شـود. در حالی‌که فرمول پیشنهادی در این پژوهش که در آزمایشـگاه سـاخته شـده است، تمام خواص مورد نیاز بـرای دوغاب‌های ضد مهاجرت گاز را دارا می‌باشد.

۲. مـدت زمان گذار از حالت سـیالیت بـه حالت جامد یا مدت زمان ژلگی دوغاب سـیمان که مهم‌ترین عامل کنترل نفوذ گاز در دوغاب سـیمان به‌شـمار مـی‌رود در دوغاب سـنتی بسیار بالاتر از اسـتاندارد مربوط (حداکثر ۲۰ min) اسـت (حدود ۸۰ min) و به نظر می‌رسـد که اصلی‌ترین عامل مهاجرت گاز در دوغاب سـنتی باشد. در حالی‌که در دوغاب پیشـنهادی این مقدار به ۱۷ min یعنی کمتر از حد استاندارد کاهش یافته است.

۳. در مبحـث کاهش نفوذپذیری و تخلخل با اسـتفاده از افزودنی‌هـای مناسـب موفقیت قابل توجهـی در دوغاب پیشـنهادی حاصل شـده اسـت. به‌طوری‌که در مقایسه با دوغاب سنتی، تخلخل به‌میزان ۶۰۰ ٪ و نفوذپذیری ۱۰۰۰ برابر کاهش یافته اسـت و نمونه سنگ سیمان ساخته شده تقریبا نفوذناپذیر است.

٤. مقاومت تراکمی فرمول پیشنهادی پژوهشگاه در مقایسه با فرمول سنتی به میزان ۳۰۰ ٪ افزایش یافته که این افزایش ناشـی از اسـتفاده از افزودنی‌های منبسط‌کننده و جامدات سبک وزن می‌باشد.

۵. از عوامـل مهم در پدیده نفوذ گاز، افت صافآب دوغاب سیمان است که با استفاده از مواد افزودنی بهینه در دوغاب پیشنهادی تا حدود ۱۰۰۰ ٪ نسبت به دوغاب سنتی کاهش داشته است.

٦. دوغاب پیشـنهادی دارای مزیت آب آزاد صفر نسبت به دوغاب سنتی با ۵ cc آب آزاد است. آب آزاد زیاد علاوه بر ایجاد کانال‌های عبور گاز در سنگ سیمان به علت مصرف نشدن در فرآیند هیدراتاسـیون پودر سیمان، باعث کاهش مقاومت تراکمی و افت خواص دوغاب سنتی شده است.

۷. دوغاب سـنتی از نقطه نظر رئولوژیکی دارای مشـکل پایین بودن نقطه واروی اسـت که باعث ته‌نشینی جامدات در دوغاب ساکن، دوفاز شدن ستون سیمان و تغییر خواص آن می‌شود. در حالی‌که در دوغاب پیشنهادی، این مشکل با استفاده از افزایه‌های مناسب برطرف شده است.

۸. بـه نظر می‌رسـد که اسـتفاده از افزودنی‌های سـیمان بی‌کیفیـت، عدم دقت در انبارداری مواد، اسـتفاده از ابزار آب‌بندی بی‌کیفیت در چاه‌های منطقه، پارامترهای طراحی نامناسـب مانند طول هم‌پوشـانی لوله جداری و آستری و عدم اسـتفاده از سـیال حائل مناسب بین دوغاب سیمان و گل جابه‌جا کننده، باعث بدتر شدن وضعیت چاه‌ها از نقطه نظر کیفیت سیمان‌کاری و تکمیل چاه شده است.

منابع

[1]. Erik B. N. and Guillot B., *Well Cementing",* Second edition*, Schlumberger Educational Services*, Texas 1990.

[2]. Tinsley J. M., Miller E. C., Sabins F. L., and Sutton D. L.: "*Study of factors causing annular gas flow following primary cementing*," pp. SPE. 8257, 1979.

[3]. Bannister C. E. et al., "*Critical design parameters to prevent gas invasion during cementing operations*", pp. SPE. 11982, 1983.

[٤]. گزارشات حفاری، پیش‌بینی و تکمیل برخی از چاه‌های منطقه.

[5]. Webster W. W. and Eikerts J. V., "*Flow after cementing – field and laboratory study*," pp. SPE 8259, 1979.

[6]. Watters L. T. and Sabins F. L.: "*Field evaluation of method to control gas flow following cementing*," pp. SPE. 9287, 1980.

[7]. Sutton D. L. and Faul R.: "*Annular gas flow theory and prevention methods described*," Oil & Gas J., pp. 84-112, 1984.

[8]. Sabins F. L., Tinsley J. M., and Sutton D. L.: "*Transition time of cement slurries between the fluid and set states*", Society of Petroleum Engineers Journal, Vol. 22 (6), pp. 875-882, 1982.

[9]. Rae P., Wilkins D., and Free D., "*A new approach for predicting gas flow after cementing*," pp. SPE/IADC 18622, 1989.

[10]. Al-Yami A. S., Nasr-El-Din H. A. and Ahmad Al-Humaidi, "*An innovative cement formula to prevent gas-migration problems in HT/HP wells*," pp. SPE 120885-MS, 2009.

[11]. Drecq P. and Parcevaux P. A.: "*A single technique solves gas migration problem across a wide range of conditions*," pp. SPE. 17629, 1988.

[12]. Stewart R. B. and Schouten F. C., "*Gas invasion and migration cemented annuli: Causes and Cures*," pp. JADC/SPE. 14779, 1986.

[13]. Christian W. W., Chatterji J., and Ostoot G. W., "*Gas leakage in primary cementing a field study and laboratory investigation*," pp. SPE. 5517, 1975.

[14]. Cheung P. R. and Beirute R. M.: "*Gas flow in cements*," pp. SPE. 11207, 1982.

[15]. Sykes R. L. and Logan J. L., "*New technology in gas migration control*", pp. SPE. 6653, 1987.

[16]. Sutton D. L., Sabins F. L., and Paul R., "*New evaluation for annular gas-flow potential"*, Oil & Gas J., pp. 109-112, 1984.

[17]. Sepos D. J. and Cart B. W., "*New quick detting cement solves shallow gas migration problems and reduces WOC time*," pp. SPE. 14500, 1985.

[18]. Gonzalo V., Aiskely B. and Alicia C., "*A methodology to evaluate the gas migration in cement slurries*," pp. SPE 94901-MS, 2005.

[19]. Haijin Z., Jiansheng Q. , Aiping L., Jianlong Z.,and Jiaxing X., "*A new method to evaluate the gas migration for cement slurries*," pp. SPE. 131052-MS, 2010.

[20]. Mohammadi Pour M. , and Moghadasi J., "*New cement formulation that solves gas migration problems in iranian south pars field condition*" pp. SPE. 105663-MS, 2007.

[21]. Cheung P. R. and Myrick B. D., "Field evaluation of an impermeable cement system for controlling gas migration," pp. SPE. 11983, 1983.

[22]. Cooke C. and Cunningham W. C., "*Filtrate control a key in successful cementing practices*," JPT, pp. 951-956, 1977.

[23]. Williams D., Cheung R., Norman M., and Woodroof R., Jr., "*Annular gas migration can be controlled*," Oil & Gas J., pp. 146-151, 1983.

[24]. Scott S., Jennings Adel A. Al-Ansari, Abdullah S. Al-Yami, "*Gas migration after cementing greatly reduced*", pp. SPE. 81414-MS, 2003.

[25]. Bearden W. G. et al., "*Control and prevention of inter-zonal flow*", pp. SPE. 903, 1964.

[26]. Carter L. G. and Evans G. W., "*A study of cement – pipe bonding*," pp. SPE. 764, 1964.