پژوهش نفت شماره ۱۲۱، بهمن و اسفند ۱۴۰۰، صفحه ۱۲۷-۱۱۶

بهینه‌سازی ترکیب سیمان چاه‌های نفت و گاز با استفاده از لاتکس پلیمر-نانوذرات سیلیکا به منظور جبران پدیده ترک و میکرو آنالوس در غلاف سیمان

حمید بذرکار[۱]، علیرضا لرک[۲]* و بابک امین‌نژاد[۳]

۱- دانشکده مهندسی عمران، واحد بین المللی کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیره کیش، ایران

۲- دانشکده مهندسی عمران، واحد صفا دشت، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- دانشکده مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۴

چکیده

تولید پایدار از منابع هیدروکربنی امری بسیار مهم در ثبات اقتصادی، حفظ توان تولیدی و عمل به تعهدات صادراتی دولت‌ها در زمینه فراهم کردن منابع انرژی از سوخت‌های هیدروکربنی است. برای دست یافتن به اهداف تولید پایدار از ذخائر نفت و گاز لازم است تا چاه‌های نفت و گاز به‌عنوان مجراهای تولیدی، به ایمن‌ترین و کارآمدترین روش‌های ممکن حفاری و تکمیل شوند. یکی از تهدیدات تولید پایدار از مخازن نفت و گاز، از دست‌دادن یکپارچگی ساختار چاه و عدم تحقق تفکیک لایه‌های مختلف زیرزمینی از فضای درونی چاه است که مشکلات متعددی از جمله تولید زود هنگام آب از چاه‌های نفت و گاز، نشت گاز یا شورآب از حاشیه باند سیمانی پیرامون چاه یا لبه آستری فولادی محافظ دیواره چاه است. برای دست یافتن به اهداف تفکیک لایه‌های زیرزمینی و کنترل جریان دلخواه سیال هیدروکربنی به مجرای تولیدی، عملیات سیمان کاری به‌عنوان یک سد جداکننده در برابر لایه‌هایی با محتوای سیال و فشار منفذی متفاوت و ایجاد غلاف یکپارچه جدا کننده چاه از محیط خارجی استفاده می‌شود. این غلاف سیمانی که پس از راندن جداری‌های فولادی به فضای پشت آنها پمپ می‌شود، پس از استقرار و سخت شدن به استحکام سازه چاه و پایداری آن در برابر فشارهای خارجی می‌انجامد. این تحقیق به‌طور خلاصه عوامل مؤثر بر ایجاد پیوند ضعیف سیمانی به سازند و جداره فولادی، تشکیل فضای میکروآنالوس در حاشیه باند سیمانی، بهینه‌سازی ترکیبات سیمان جهت تقویت مشخصات مکانیکی آن، مهاجرت گاز درون سیمان و راه‌کارهای مؤثر بر کنترل این پدیده زیان بار تمرکز دارد. در آزمایشات انجام شده اثر نانوذرات سیلیکا در بهبود مقاومت تراکمی سیمان، کاهش تخلخل و نفوذپذیری مؤثر در مهاجرت گاز به‌خوبی مشخص گردیده است. همچنین، لاتکس پلیمری با توسعه خواص سیکسوتروپیک در دوغاب و کاهش پنجره زمانی حالت گذرا کمک شایانی به دوغاب سیمانی می‌کند تا احتمال مهاجرت گاز در زمان بحرانی که سیمان قادر به مقاومت مؤثر در برابر آن نیست را به حداقل رسانده و فرصت لازم برای تهاجم سیالات و خلل در ساختار غلاف سیمانی را به کمترین مقدار کاهش دهد.

کلمات کلیدی: سیمان چاه نفت و گاز، میکرو آنالوس، پیوند سیمانی ضعیف، مهاجرت گاز، لاتکس پلیمر-نانو ذرات سیلیکا

*مسؤول مکاتبات
آدرس الکترونیکی Lork@safaiau.ac.ir
شناسه دیجیتال: (DOI:10.22078/PR.2021.4562.3054)

مقدمه

در طی سالیان گذشته و پایش تولید از مخازن نفت و گاز در میادین جنوب غربی ایران، همواره مشکل نشت از پاشنه لوله‌های جداری و یا لبه آستری‌های فولادی نصب شده در لایه کلیدی پوش سنگ سازند گچساران و در تعداد قابل توجهی از چاه‌های تولیدی میادین مارون و کوپال سبب بروز مشکلات عدیده‌ای در روند تولید از جمله کاهش تولید، از دست‌دادن یک حفره (به تبع آن از دست‌دادن شانس تعمیر یک چاه) راندن آستری کوتاه (برای پوشش دادن حدود m ۶۰ بالایی به منظور قطع ارتباط نشت)، از دست‌دادن دکل-روزهای فراوان و غیره گردیده که خسارت‌های هنگفتی را به شرکت‌های مالک چاه و مخازن در این مناطق تحمیل کرده است. علاوه‌بر این خسارت‌های تعمیراتی و خروج چاه از چرخه تولید، نشت از پاشنه جداری های فولادی نصب شده در بخش کلیدی پوش سنگ سازند گچساران باعث آلودگی محتوای سیال و صدمه به ساز و کارهای تولیدی از مخزن و تحمیل خسارات جبران ناپذیری به عمر و توان تولید مخزن می‌گردد. با توجه به مشکلات ذکر شده، میزان تولید از میدان مارون در حدود یکصد هزار بشکه کمتر از سقف برنامه تولیدی است. مشکل نشت آب‌نمک از لایه‌های کلیدی سازند گچساران در تعداد قابل توجهی از چاه‌های حفاری شده در میادین کوپال و مارون گزارش گردیده است. این نشت در بررسی‌های معمول از لبه آستری و یا زیر پاشنه جداری و پس از جابه‌جایی سیال درون چاه با گل متناسب با حفره بعدی مشاهده می‌گردد. یکی از دلایل مهم این مشکل عدم تفکیک لایه‌ها توسط سیمان است [۱]. عدم تحقق تفکیک لایه‌های مختلف توسط سیمان می‌تواند دلایل گوناگونی داشته باشد. به‌طور کلی، جدا کردن لایه‌ها در طول عمر یک چاه و حتی پس از متروکه ساختن آن نیز امری بسیار مهم است. چنانچه دوغاب به‌درستی در طول عملیات پمپ کردن سیمان در درون چاه جابه‌جا شود و در فضای پشت جداری/آستری مستقر گردد، می تواند نقش اولیه خود را در تفکیک یا جدایش لایه‌ها از یکدیگر را به‌خوبی ایفا کند. با این حال، تغییر در شرایط ته‌چاهی و یا فعالیت‌های رژیم تکتونیکی حاکم بر فضای زیرزمینی می‌توانند به مقدار کافی تنش‌های مؤثری را به سازه مستحکم چاه منتقل کنند و یک‌پارچگی نوار سیمان را تهدید و یا تخریب نماید. با از دست رفتن یکپارچگی و جداسازی فضای چاه، ارتباط چاه با لایه‌های مختلف برقرار می‌شود. این مشکل با پیامدهایی از قبیل مهاجرت گاز درون سیمان در فضای حلقوی پشت جداری فولادی، تولید ناخواسته آب و در شرایط تشدید تنش‌های مخرب، مچالگی لوله‌های جداری فولادی همراه خواهد بود [۲].

عوامل مؤثر بر ناکارآمدی و از دست‌دادن یکپارچگی باند سیمان پیرامون جداری چاه

در غیاب برخی عوامل شیمیایی تأثیرگذار بر کیفیت پیوند سیمانی، برآورده نشدن تفکیک و جدایش لایه‌های زیرزمینی می‌تواند ناشی از دو عامل اصلی نقص مکانیکی در ساختار خود سیمان و جدا شدن سیمان از لوله‌های جداری یا عدم اتصال مناسب به لایه‌های سنگی باشد. نقص مکانیکی سیمان منجر به ایجاد درزه، ترک و مجراهای مرتبط در ساختار توده سیمان سخت شده می‌گردد. این در حالی است که جدا شدن اتصال بافت سیمانی با دیواره مجاور از هر دو نوع دیواره سنگی یا فولادی منجر به شکل‌گیری میکروآنالوس در حاشیه باند سیمانی می‌شود. هر دو مکانیسم مطرح شده، مجراهای ارتباطی بالقوه‌ای را برای جابه‌جایی و مهاجرت سیالات سازندی اعم از گاز، نفت و یا آب شور فراهم می‌کنند. آسیب‌های مکانیکی معمولاً به‌وسیله سه عامل محیطی عمده اتفاق می‌افتند: افزایش فشار (ناشی از افزایش وزن گل، مشبک‌کاری لوله‌های جداری، انگیزش و شوک‌های ناشی از عملیات‌های خاص شکافت هیدرولیکی)، افزایش درجه حرارت

تـه چـاه (ناشـی از عملیـات تزریـق بخـار در تولیـد بـه روش انگیـزش حرارتـی، چاه‌هـای دمابالا-فشـار بـالا) و یـا نیـروی ناشـی از فعالیـت تکتونیکـی لایه‌هـا (فرونشسـت سـازندها، جابه‌جایـی گسـل و خـزش لایه‌هـا). در لایه‌هایـی بـا سـاختار ضعیـف و سسـت، به‌دلیـل عـدم تحقـق پیونـد لایـه سـیمان بـه دیـواره سـازند، یـک سـاختار یکپارچـه و ایزوله‌کننـده توسـط بانـد سـیمانی محقـق نخواهـد شـد [۳]. در ادامـه بـه تفکیـک بـه بررسـی ایـن عوامـل مؤثـر بـر ناکارآمـدی پیونـد سـیمانی پیرامـون غـلاف فـولادی در چاه‌هـای نفـت و گاز می‌پردازیـم.

تنش‌های گرمایی

تنش‌هـای گرمایـی یـا شـوک‌های حرارتـی کـه غالبـاً ناشـی از جایگزینـی سـیالی بـا درجـه حـرارت پاییـن در دمـای سـطحی بـا سـیال درون چـاه تحـت دمـای اسـتاتیک ته‌چاهـی می‌باشـد، می‌توانـد سـبب انبسـاط و انقبـاض متوالـی در لولـه جـداری فـولادی حتـی در مقیـاس میکـرو متـری شـود. ایـن تغییـرات ابعـادی در جـداری فـولادی به‌خصـوص در لحظـات اولیـه گیـرش سـیمان در زمـان ایجـاد پیونـد بـا جـداره فـولاد می‌توانـد سـبب جدایـش سـیمان و ایجـاد میکـرو آنالـوس پیرامون جـداری فـولادی گـردد. شـادی‌زاده و همـکاران عنـوان کردنـد کـه بـه مـرور زمـان در اثـر افزایـش دمـای سـیال درون لوله‌جـداری و متعـادل شـدن آن بـا دمـای اسـتاتیک ته‌چاهـی، تأثیـر ایـن کاهـش قطـر قابـل صرف نظـر کـردن اسـت [۴]. مطالعـه دقیـق چنیـن فاکتـوری نیازمنـد بررسـی دقیـق شـرایط دمایـی بـه ویـژه در مناطـق بـا دمـای ته‌چاهـی بسـیار بـالا و خصوصیـات شـیمیایی دوغـاب سـیمان از نظـر مـدت زمـان مـورد نیـاز بـرای زمـان نیـم بنـدش و کاهـش حجـم ذاتـی سـیمان اسـت. کارپنتـر و همـکاران نیـز به‌صـورت جامـع تأثیـر درجـه حـرارت بـر پیونـد سـیمانی چاه‌هـای نفـت و گاز بررسـی کردنـد [۵].

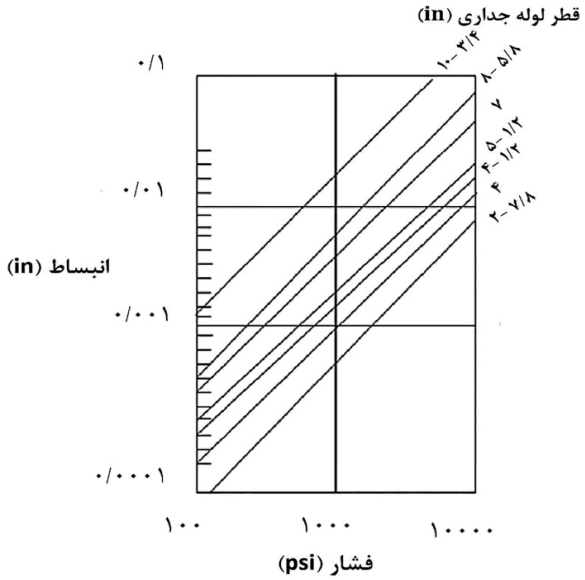
تنش‌های هیدرولیکی

تنـش هیدرولیکـی در لوله‌هـای جـداری فـولادی کـه می‌توانـد ناشـی از عوامـل متعـددی از جملـه تغییـرات قابـل توجـه فشـار درونـی به‌دلیـل جایگزینـی و تغییـر وزن مخصـوص سـیال درون چـاه، آزمایش‌هـای تزریق‌پذیـری و نیـز آزمایش‌هـای تشـخیص وجـود ارتبـاط بـا سـازند باشـد کـه منجـر بـه بـروز تغییر شـکل در محـدوده الاسـتیک در لوله‌هـای جـداری فـولادی نصـب شـده در چـاه می‌شـود و ایـن تغییـر شـکل‌های ریـز مقیـاس در ابعـاد خارجـی می‌تواننـد بـه عامـل اصلـی در ایجـاد معبـر ارتباطـی بیـن سـیالات سـازندی و نشـت از فضـای پشـتی جـداری گـردد. مطالعـه تأثیـر تغییـرات فشـار درونـی بـرروی تغییـر شـکل ابعـاد بیرونـی لوله‌هـای جـداری مختلـف و نیـز پایـداری آن توسـط کارتـر و ایوانـس انجـام شـده و نتایـج ایـن مطالعـه به‌صـورت شـکل ۱ ارائـه شـده اسـت [۶].

براسـاس نتایـج به‌دسـت آمـده از مطالعـات انجـام شـده در مـورد بررسـی کیفیـت پیونـد غـلاف سـیمان بـا جـداری فـولادی و یـا پیونـد غـلاف سـیمان بـا سـازندهای سـنگی، عوامـل متعـددی شناسـایی و مطـرح شـدند کـه می‌تواننـد در ایجـاد یـک پیونـد کارآمـد و موثـر مشـارکت داشـته باشـند. به‌کارگیـری یـک مـدل ریاضـی مناسـب مـی توانـد یـک توصیـف عـددی از بزرگـی و شـدت اثـر یـک میکـرو آنالـوس پیرامـون بانـد سـیمانی فراهـم کنـد امـا نمی‌تـوان تمـام عوامـل تأثیرگـذار را در تعییـن ایـن مقادیـر دخیـل کـرد. لـذا، توصیف‌هـای عـددی در چنیـن مدل‌هایـی از قطعیـت کافـی برخـوردار نخواهنـد بـود.

زدودن موثـر انـدود گل و لای از دیـواره چـاه قبـل از سـیمان‌کاری

انـدود گل و لای در طـول مراحـل حفـاری ضـروری اسـت تـا از ایجـاد صدمـه بـه سـازند در برابـر تهاجـم سـیال حفـاری محافظـت کنـد، امـا بـرای ایجـاد یـک جداسـازی ناحیـه‌ای موثـر بـه مانعـی اجتناب‌ناپذیـر تبدیـل می‌شـود. به‌هیچ‌وجـه سـیمان نمی‌توانـد هنـگام وجـود انـدود گل و لای ضخیـم به‌شـکل موثـری بـا دیـواره سـازند پیونـد بخـورد [۷].



شکل ۱ مقدار انبساط ناشی از تنش‌های هیدرولیکی داخلی به لوله‌های جداری فولادی مختلف [۶]

بیشتر مشکلات نفوذ گاز در فضای حلقوی در سطح تماس سیمان با سازندهای زمین رخ می‌دهد. منطقه انتقال بین سطحی سیمان-سازند به‌عنوان یک منطقه ضعیف در ارتباط پیوند توده سیمانی در نظر گرفته می‌شود [۸]. اگر پوشش اندود گل ایجاد شده برروی دیواره چاه به‌طور موثری برداشته نشود، اندکی پس از سفت‌شدن سیمان، یک لایه پوششی پوسیده از مواد جامد گل روی دیواره چاه می تواند پیوند سیمان با دیواره سازند را ضعیف کند. به همین دلیل، بسیاری از شستشو کننده‌های شیمیایی تجاری به‌عنوان بخشی از برنامه اولیه سیمان سازی در مرحله قبل از سیمان سازی برای حذف اندود گل و لای از دیواره چاه استفاده می شوند. پلانک و همکاران [۹] و لیچینگا و همکاران [۱۰] مطالعات جامعی برای بررسی نقش زدودن موثر گل از دیواره چاه بر کیفیت نشت‌بندی سیمان در چاه‌های نفت و گاز انجام دادند.

افت فشار ناشی از ژلاتینه‌شدن سیمان در حالت گذرا

حالت گذرا یا فاز انتقالی در واقع مدت زمانی است که در آن سیمان از فرم دوغاب خارج شده و در حال تبدیل به فرم جامد می‌باشد. در این وضعیت، دوغاب سیمان به حالت ژله‌ای تبدیل می‌شود که و توانایی انتقال فشار هیدروستاتیکی ناشی از وزن ستون خود در چاه را از دست می‌دهد. نیروی ناشی از فشار ستون هیدروستاتیک دوغاب سیمان که در واقع عامل بازدارنده از تهاجم گاز و سیالات سازندی به درون چاه است، در حین این فاز انتقالی تضعیف شده و ممکن است فرصت لازم را برای نفوذ سیالات سبک‌تر مثل گازها فراهم کند. درصورتی‌که حباب‌های گازی بتوانند به درون سیمان چاه نفوذ کنند، با حرکت و جابه‌جایی درون دوغاب در حال ژلاتینه شدن، معبرها و کانال‌های مرتبطی را ایجاد خواهند کرد که به مهاجرت گاز و مخاطرات پس از آن منتج خواهد شد. هرگونه مسیری که سبب انتقال گاز و تخریب ایزوله‌سازی لایه‌های تحت فشار گازی شود، منجر به رساندن گاز به سطح می‌شود. حجم بالا و پر فشار گاز قابل انفجار با رسیدن به سطح تهدیدی خطرناک برای پرسنل بهره‌بردار و عملیات در هنگام بهره‌برداری از چاه‌ها و همچنین، پرسنل حفاری و تجهیزات سطحی در جایی که دستگاه‌های حفاری و سیستم‌های الکتریکی قدرتمند کنترلی آن در حال کار هستند، خواهد بود. ورتین [۱۱] و هائو و همکاران [۸] تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه فاز

انتقالی و ژلاتینه‌شدن سیمان در چاه‌های نفت و گاز منتشر کرده‌اند.

انقباض ذاتی سیمان

جمع‌شدگی رفتار ذاتی ترکیبات سیمانی است که به‌دلیل انقباض شیمیایی ترکیب سیمانی در دوره هیدراسیون سیمان اتفاق می‌افتد. کاهش حجم سیمان در ابعاد جانبی پس از سخت شدن نیز به‌تدریج به‌روشی ظاهر می‌شود که می‌تواند اتصال سیمان به غلاف فولادی یا سازند را ضعیف کند [۱۲]. تخریب پیوند غلاف سیمانی تهدیدی بالقوه برای پایداری چاه‌ها و مخازن نفت و گاز است. انقباض کامل شیمیایی سیمان معادل مقدار آب جذب شده در طول دوره هیدراسیون سیمان است. هر چند در طول دوره هیدراسیون سیمان به‌دلیل کم شدن پیوسته نفوذپذیری که به‌دلیل توسعه شبکه هیدرات‌ها مانع نفوذ آب می شوند، نیز مقدار ناچیزی انقباض خواهیم داشت. انقباض شیمیایی کل تقریباً ۶/۲۵ mL در ۱۰۰ g سیمان تخمین‌زده می‌شود [۱۳]. چندین پژوهش انقباض شیمیایی سیمان را بین ۰/۵ تا ۵٪ تخمین‌زده‌اند [۱۴]. نتایج پژوهش‌های متفاوت نشان می‌دهد که میزان انقباض حجمی سیمان به شرایط محیط بستگی دارد. دسترسی اضافی به آب آزاد ممکن است انقباض زیاد سنگ سیمان را کاهش دهد. در مقابل عدم دسترسی به آب آزاد به‌علاوه فشار روی دوغاب سیمان از محیط اطراف ممکن است منجر به کاهش بیش از حد اندازه حجمی شود. انقباض شیمیایی یک عملکرد خطی از چهار ماده معدنی تشکیل‌دهنده سیمان است، در نتیجه وابسته به کلاس سیمان است.

فعالیت‌های تکتونیکی، لغزش گسل‌ها و خزش لایه‌ها

سنگ‌های رسوبی زیرسطحی از لایه‌های مختلفی تشکیل شده‌اند که ساختارهای لایه‌لایه، متراکم و تحت تعادلی از نواحی گسترده‌ای را شامل می‌شوند که به‌طور معمول در بازه‌های زمانی طولانی زمین‌شناسی ایجاد شده‌اند. رژیم‌های استرس آنها تحت تأثیر فرآیندهای رسوبی، شرایط هیدرودینامیکی و تغییرات فشار منفذی قرار دارد که در طی فرآیندهای دیاژنتیکی پس از رسوب ایجاد می‌شود. تنش‌های درجا در ساختارهای زیرسطحی که از نظر تکتونیکی متعادل هستند، تمایل به ایجاد تعادل طولانی مدت دارند. حفر چاه‌های عمیق نفت و گاز در هزاران متر زیر سطح و در چنین ساختارهای نهشته متعادلی با برداشتن یک حجم پیوسته از ستون سنگی استوانه‌ای به‌صورت خرده‌های سنگی حفاری شده، تعادل طبیعی میدان تنش غالب زیرسطحی را مختل می‌کند. فعل و انفعالات مابین تنش‌های القایی و تنش‌های اعمال شده از سوی سازند سنگی در حین حفاری باعث ناپایداری دیواره در چاه می‌شود. در مواردی که این بی ثباتی در میدان تنش شدید باشد، می تواند منجر به اثرات تنگی حفره یا ریزش دیواره‌های سنگی سست و ضعیف در حین عملیات حفاری شود. چنین تأثیراتی می تواند منجر به کاهش راندمان حفاری، گیرهای رشته حفاری ناشی از اختلاف فشار جانبی و یا ریزش های مسدود کننده و به‌طور بالقوه برش لوله حفاری و از بین رفتن قسمت انتهایی حفره شود. تنش‌های برشی مربوط به جابه‌جایی یا لغزش لایه‌ها یا سازندهای سنگی در سطح زیرین زمین، چالش‌های عمده‌ای را برای طراحی و مهندسی سازه‌های مرتبط با فعالیت‌های ژئوتکنیکی در بر دارد. این تنش‌ها غالباً منجر به تغییر شکل یا در نهایت تخریب کلی چنین سازه‌هایی می‌شوند. فعالیت‌های ژئوتکنیکی در بعضی سازه‌های مهندسی حفر شده در دل لایه‌های سنگی، مانند چاه‌های نفت و گاز که با پوشش‌های جداری فولادی تقویت شده با سیمان تجهیز شده‌اند نیز بیش از سایر سازه‌های سطحی مشکل‌ساز می‌شوند. این امر ضروری می‌سازد که تنش‌های برشی زیرسطحی را با جزئیات ارزیابی و عوامل تأثیرگذار آنها را شناسایی کرده تا بتوان

ساختارها را برای مقابله با آنها به‌روشی ایمن و مطمئن طراحی کرد.

راه‌حل‌های کنترل مهاجرت گاز

براساس ساز و کارهای مهاجرت گاز، راه‌حل‌های مختلفی برای وضعیت فیزیکی مختلف سیمان در چاه‌های نفت و گاز به‌صورت دوغاب یا سیمان سخت شده ارائه شده است. واضح است که یک ترکیب سیمانی که بتواند هم‌زمان از دو یا چند راه حل پشتیبانی کند، عملکرد بسیار بهتری برای کنترل مشکل مهاجرت گاز ارائه می‌دهد.

کاهش تخلخل و نفوذپذیری در سیمان سخت شده

درک ساختار منافذ دوغاب سیمان در حین هیدراسیون اولیه آن کلید حل مشکل مهاجرت کوتاه مدت گاز در چاه‌های گاز طبیعی است. تخلخل و نفوذپذیری زیاد در ساختار سیمان پس از سخت‌شدن از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر عدم توانایی سیمان در جلوگیری از تهاجم گاز به حجم سیمان درون فضای حلقوی است. چنین منافذ بهم پیوسته‌ای در ساختار سیمان می‌تواند معبر مناسبی برای ورود سیالات ناخواسته به فضای حلقوی چاه باشد و مشکلات فنی و خطرات زیادی ایجاد کند. بدیهی است که ساختار سیمان با تخلخل و نفوذپذیری بالا پتانسیل بیشتری برای مهاجرت گاز خواهد داشت و بنابراین اندازه‌گیری این دو عامل مهم، موضوع کار بسیاری از محققان در بررسی مشکلات مهاجرت گاز بوده است. خلیل و همکاران نانوذرات سیلیس را به‌عنوان افزودنی ضد مهاجرت گاز برای سیمان چاه‌های نفت و گاز آزمایش کردند [۱۶]. آنها از نانو ذرات سیلیس به‌عنوان ماده پرکننده و کاهنده تخلخل و نفوذپذیری در نمونه‌های سیمان سخت شده استفاده کردند. نتایج آزمایشات آنها نشان داد که با استفاده از نانوذرات سیلیس با غلظت ۱٪، ۵۰٪ کاهش در تخلخل و نفوذپذیری توده سیمان سخت حاصل شد. بیانکی و همکاران عملکرد مثبت نانوذرات سیلیس را در کنترل مهاجرت گاز در نمونه سیمان سخت شده محتوی ٪ نانوذرات سیلیس را با کاهش تخلخل و نفوذپذیری در توده سیمانی گزارش کردند [۱۶]. در این تحقیق دستگاه تجزیه و تحلیل مهاجرت سیالات، کاهش مهاجرت سیالات از ۳۸ mL برای نمونه دست‌نخورده تا ۱۵ mL برای نمونه بهینه شده با نانوسیلیس را نشان می‌دهد. محققان دیگر نیز کاربرد سایر مواد جایگزین مانند نانولوله هالوایزیت [۱۷]، صفحات نانوگرافن [۱۸] و کربن سیاه [۱۹] را برای کنترل مشکل مهاجرت گاز در دوغاب سیمان از طریق مکانیسم مواد جامد پرکننده گزارش کرده‌اند.

کنترل مقاومت ژلاتینه استاتیک و حالت گذارا

از افزودنی‌های سیمان می‌توان برای کوتاه کردن دوره زمان انتقالی برای تغییر حالت سیمان از فرم دوغاب به سیمان سخت شده و کمک به دوغاب برای دست‌یابی سریع‌تر به مقاومت ژل ایستایی به منظور ایجاد توانایی برای مقاومت در برابر فشار نفوذ گاز استفاده کرد. در صورت طولانی شدن زمان انتقال حالت سیمان، به‌دلیل فقدان توانایی کافی برای انتقال وزن ستون سیال بالاسری توسط دوغاب ژله‌ای، قدرت بازدارندگی در برابر هجوم سیالات سازند به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد و خطر تهاجم گاز به درون چاه قبل از سخت‌شدن سیمان بسیار بیشتر خواهد شد. اغلب مواد افزودنی تجاری که برای کنترل مهاجرت گاز در سیمان طراحی شده‌اند با تأثیر بر دوره زمانی گذرا عملکرد خود را انجام می‌دهند.

کنترل انقباض یا افزودنی قابل انعطاف برای سیمان

ایجاد شکاف و ترک در سیمان قرار گرفته در فضای حلقوی، میکرو آنولوس و اتصال ضعیف بین سیمان و غلاف فولادی و یا سیمان به سازند زمین همیشه از جمله نگرانی‌هایی هستند که پیامد رفتار جمع‌شدگی ذاتی ترکیبات سیمانی خواهند بود که در نهایت می‌تواند به مهاجرت گاز در فضای حلقوی منجر شود.

پژوهش نفت شماره ۱۲۱، بهمن و اسفند ۱۴۰۰، صفحه ۱۲۷-۱۱۶

افزودنی‌های مختلفی برای جبران مشکل انقباض سیمان و مقابله با مشکل مهاجرت گاز از طریق کنترل این ساز و کار پیشنهاد شده است. سیدل و گرین، از یک نوع سیمان قابل انعطاف به‌عنوان سیمان چاه‌های نفتی به‌صورت عملیاتی استفاده کردند و از مزایای بهبود اتصال و از بین بردن مخاطرات مهاجرت گاز در میدان هابز گریبرگ - سان آندرس سود بردند [۲۰]. اویرحسین و دوزیولت، پدیده مهاجرت گاز را در نتیجه تغییر در تنش‌های چاه ناشی از جمع‌شدن سیمان در فضای حلقوی مورد مطالعه قرار دادند [۲۱]. نتایج مطالعات آنها منجر به پیشنهاد یک طراحی دوغاب مناسب برای کنترل انقباض در سیمان شد. داهی طالقانی و همکاران از فرمول سیمان بهینه شده با الیاف پلیمری قابل ارتقا استفاده کردند تا قابلیت انعطاف‌پذیری سیمان را برای جداسازی و تفکیک سازندهای زیر سطحی بهبود بخشند [۲۲].

انسداد انتقال گاز با لاتکس پلیمری

برخی از مواد افزودنی حاوی لاتکس‌های پلیمری در دوغاب سیمان قادرند با ایجاد یک مانع نفوذناپذیر از ذرات لاتکس پلیمری، از نفوذ گاز به دوغاب سیمان جلوگیری کنند. لاتکس‌های پلیمری نیز با به دام انداختن چنین مایعاتی بین زنجیره‌های پلیمری درهم تنیده در طول حالت ژلاتینه شدن و در دوره حساس هیدراسیون سیمان، در برابر انتقال گاز مقاومت می‌کنند. در پلیمرهای آنیونی یا کاتیونی، حرکت مایعات خارجی نیز تا حدودی توسط بار الکتریکی موجود روی زنجیره‌های پلیمر کنترل می‌شود. الرمضان و همکاران یک سری آزمایشات را روی چندین نمونه سیمان چاه از نوع G و H به‌عنوان نمونه دوغاب سیمان خالص به همراه یا بدون افزودنی مهاجرت ضد گاز لاتکس پلیمر انجام دادند تا عملکرد مهر و موم یا توانایی نشت‌بندی انواع مختلف دوغاب سیمان را ارزیابی کند [۲۳]. آنها دریافتند که هیچ نوع سیمانی بدون افزودن لاتکس پلیمری نمی‌تواند در برابر حادثه مهاجرت گاز مقاومت کند. عبدالرحمن و همکاران سیمان بهینه شده با لاتکس پلیمری را برای استفاده در چاه‌های خوشه‌ای پیشنهاد دادند [۲۴]. یافته‌های حاصل از نتایج آزمایشگاهی آنها نشان داد که نمونه‌های دوغاب سیمان حاوی لاتکس پلیمری زمان‌گذرای سخت‌شدن سیمان را کاهش می‌دهد و بنابراین تأثیر مهمی در کنترل مهاجرت گاز دارد [۲۵].

روش کار

مطالعه میدانی و طراحی یک دوغاب بهینه‌شده برای کنترل چالش مهاجرت سیالات

گزارشات متعددی از تخریب جداری فولادی و غلاف سیمانی و یا نشت از پاشنه جداری یا لبه آستری فولادی نصب شده در سازند گچساران ارائه شده است. این سازند به واسطه ساختار تبخیری و فشار منفذی غیرنرمال همواره یکی از چالش برانگیزترین فازهای حفاری در مناطق جنوب غربی ایران بوده است. موارد متعدد مچالگی جداری و تخریب غلاف سیمانی در مخازن مارون و کوپال و آغاجری در حدفاصل تماس با سازند گچساران رخ داده است. برخی از این وقایع با نشت آب‌نمک و برخی با نشت گاز از نقاط حساس همراه بوده‌اند. برای مثال، گزارشات روزانه دکل حفاری ۶۷ شرکت ملی حفاری که بر چاه منصوری ۱۱۴ مستقر بوده است، نشان می‌دهد که پس از راندن و سیمان کردن جداری فولادی حفره ۵/۸ ۹ اینچ و جابه‌جا کردن سیال حفاری با وزن مخصوص سنگین ۱۲۵ lb/ft^3 توسط سیال حفاری با وزن مخصوص سبک lb/ft^3 ۷۰، حفاری در سازند آسماری آغاز شد. پس از ۱ m حفاری جریان شدید آب‌نمک به سطح با فشار psi ۲۸۰۰ مشاهده گردید. اقدامات کنترلی بلافاصله اجرا گردید اما به‌دلیل گرادیان فشار شکست پایین در سازند آسماری و عدم امکان تزریق سیال سنگین برای کنترل چاه، در نهایت لوله‌های حفاری برای مهار چاه بریده شدند (گزارشات روزانه چاه‌ها، شرکت ملی حفاری).

از ایـن رو طراحـی مناسـب سـاختار دوغـاب سـیمان بـرای مواجهـه و مبـارزه بـا چنیـن چالش‌هایـی ضـروری اسـت. بـا توجـه بـا شـناخت منشـأ چالـش مهاجـرت گاز، نیازمندی‌هـا و راه‌کارهـای پیشـنهادی بـرای کنتـرل ایـن مشـکل، یـک نمونـه دوغـاب سـیمانی براسـاس سـیمان پرتلنـد نـوع G و حـاوی لاتکـس پلیمـری اسـتایرن و ذرات نانـو سـیلیکا فرمولـه شـد و تحـت آزمایش‌هـای اسـتاندارد خصوصیـات دوغـاب و سـنگ سـیمان (API-10B) قـرار گرفـت. ترکیبـات ایـن دوغـاب کـه بـر مبنـای دوغـاب سـیمان عملیاتـی نرمـال وزن طراحـی شـده اسـت، در جـدول ۱ ارائـه شـده اسـت. خصوصیـات رئولوژیکـی دوغاب‌هـای سـیمان مطابـق اسـتاندارد API بـا اسـتفاده از ویسـکومتر مـدل فـن-۳۵ (سـاخت ایـالات متحـده) بـرای تعییـن رفتـار رئولـوژی دینامیـک و اسـتاتیک دوغـاب سـیمان براسـاس مـدل پلاسـتیکی بینگهـام اندازه‌گیـری شـد. در ایـن تحقیـق، آزمایشـات مکانیکـی نمونه‌هـای سـیمان مطابـق بـا روش اسـتاندارد توصیـه شـده توسـط انسـتیتو مهندسـی نفـت آمریـکا انجـام گرفـت.

نتایج و بحث

رئولوژی و کنترل هرزروی فاز مایع

خصوصیـات رئولوژیکـی هـر نمونـه دوغـاب سـیمان در شـرایط فشـار بالا-دمـا بـالا و مقادیـر آب آزاد آنهـا در جـدول ۲ ارائـه شـده اسـت. به‌دلیـل وجـود زنجیـره بلنـد یـا سـاختار شـاخه‌ای پلیمرهـا، در هنـگام پخـش شـدن پلیمـر در آب، مقاومـت در برابـر نیـروی برشـی اعمـال شـده بـه لایه‌هـای سـیال افزایـش می‌یابـد. بـا افزایـش غلظـت لاتکـس پلیمـری در دوغـاب سـیمان، گرانـروی پلاسـتیکی (PV) و نقطـه واروی (YP) به‌طـرز چشـم‌گیری افزایـش مـی یابـد. در مقیـاس مولکولـی نیـز بارهـای الکترواسـتاتیک در امتـداد سـتون فقـرات پلیمـری ناشـی از گروه‌هـای عاملـی آن ایجـاد می‌شـود. ایـن اتفـاق زمانـی رخ می‌دهـد کـه پلیمـر در محلول‌هـای آبـی قطبـی حـل شـده و هیدرولیـز می‌شـود.

جدول ۱ ترکیبات و مقادیر افزودنی‌های رایج مورد استفاده در نمونه‌های مختلف دوغاب سیمان

نوع دوغاب	وزن دوغاب (lb/ft^3)	نسبت آب به سیمان (%)	لاتکس پلیمری (%.wt)	نانوسیلیکا (%.wt)	عامل کنترل هرزروی (%.wt)	عامل توسعه‌دهنده (%.wt)	عامل تأخیرکننده (%.wt)
پایه	۱۱۹	۰/۴۲	–	–	۰/۶۵	۰/۸۵	۰/۰۸
۱	۱۱۹	۰/۴۰	۳	–	۰/۶۵	۰/۸۵	۰/۰۸
۲	۱۱۹	۰/۳۸	۳	۱	۰/۶۵	۰/۸۵	۰/۰۸
۳	۱۱۹	۰/۳۷	۳	۲	۰/۶۵	۰/۸۵	۰/۰۸
۴	۱۱۹	۰/۳۶	۴	۲	۰/۶۵	۰/۸۵	۰/۰۸

جدول ۲ نتایج آزمایشات رئولوژی و کنترل هرزروی فاز مایع برای نمونه‌های دوغاب سیمانی مختلف

نمونه دوغاب	ویسکوزیته پلاستیکی	نقطه واروی	استحکام ژلاتینه اولیه	استحکام ژلاتینه ثانویه	زمان نیم‌بندش	آب آزاد	هرزروی مایع
	(cp)	($lb/100\ ft^2$)	($lb/100\ ft^2$)	($lb/100\ ft^2$)	(min)	(mL)	(mL)
پایه	۱۲۱/۲	۹/۹۱	۵	۶	۲۱۲	۵	۴۲
۱	۱۲۹	۲۱/۴۵	۶	۷	۲۵۹	۰	۳۵
۲	۱۳۲	۲۲/۹۱	۶	۸	۲۵۲	۰	۳۰
۳	۱۳۲	۲۳/۴۵	۷	۹	۲۶۱	۰	۲۹
۴	۱۳۵	۲۴/۲۳	۷	۹	۲۹۷	۰	۲۴

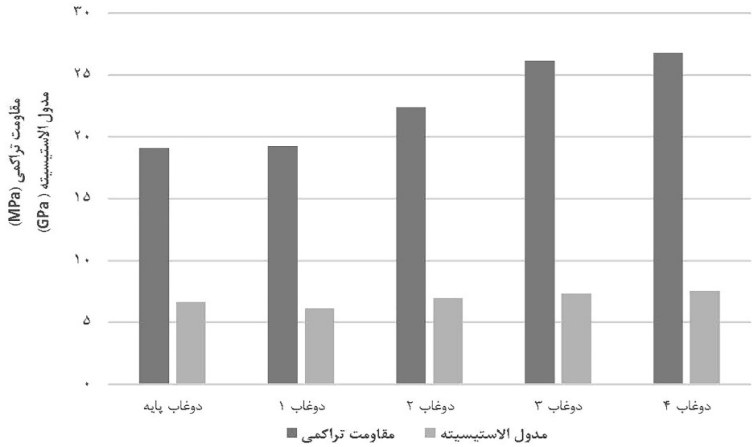
یک نیروی دافعه منفی توسط گروه‌های عاملی در امتداد زنجیره‌های پلیمری ایجاد می‌شود و این نیروی دافعه باعث تورم زنجیره‌های پلیمری می‌شود. کنترل هرزروی فاز مایع دوغاب توسط لاتکس پلیمری نیز به‌خوبی از نتایج جدول ۲ دریافت می‌شود.

خصوصیات مکانیکی

نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های مکانیکی برروی نمونه‌ای سیمانی سخت شده پس از گذشت ۲۴ h در شکل ۲ ارائه شده‌اند. با توجه به ترکیب نمونه‌های سیمانی به‌وضوح دریافت می‌شود که افزایش غلظت لاتکس پلیمری تأثیر قابل توجهی در تقویت مقاومت تراکمی نمونه‌ها نداشته است. افزایش مقدار مقاومت تراکمی در نمونه‌ها ناشی از افزایش غلظت نانوذرات سیلیکا در ترکیب سیمان است. پودر سیلیکا یا نانو سیلیکا به‌عنوان کنترل‌کننده کاهش مقاومت تراکمی سیمان در طی فرآیند هیدراسیون شناخته می‌شود. در حین هیدراسیون شیمیایی سیمان، فازهای آلی متفاوتی در سیمان ایجاد می‌شود. فاز آلی C3S که مسئول ایجاد مقاومت تراکمی در توده سیمانی است، در حین توسعه بلورهای سیمانی با در اختیار داشتن مقادیر بیشتری از سیلیکات، شبکه مقاوم‌تری از بلورهای سیمانی سخت شده ایجاد می کند. روند افزایشی مقدار مقاومت تراکمی در نمونه‌ها در اثر افزایش غلظت سیلیکات در ترکیب های مختلف در شکل ۲ به‌خوبی قابل توصیف است. مدول الاستیسیته نیز تحت تأثیر افزایش مقاومت تراکمی توسط نانوذرات سیلیکا افزایش یافته است.

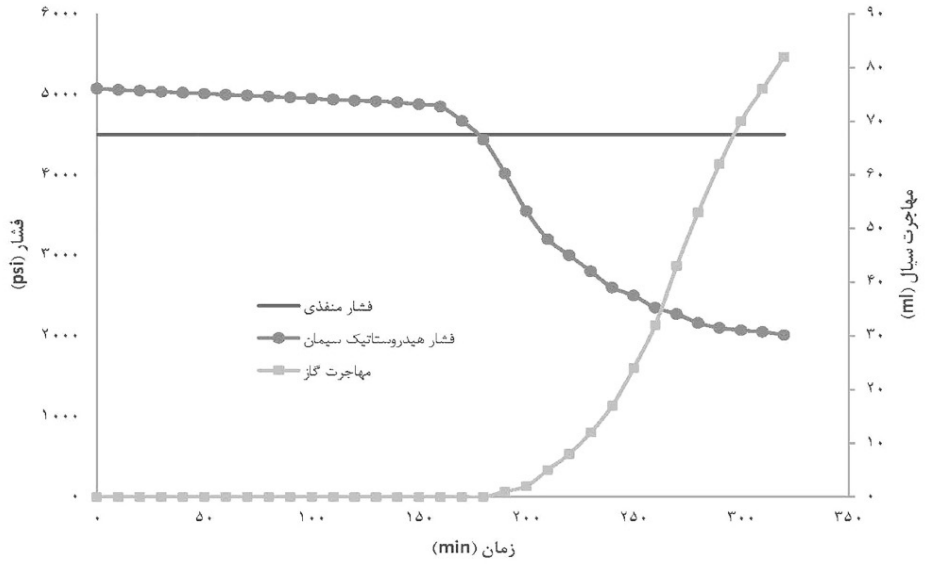
مهاجرت گاز

آنالیزکننده مهاجرت سیالات[1] دستگاهی با طراحی ویژه برای اندازه‌گیری جریان سیال از طریق سیستم‌های سیمانی است. شرایط واقعی چاه و وضعیت‌های عملیاتی با استفاده از این دستگاه در مقیاس آزمایشگاهی شبیه سازی می‌شود. با توجه به شکل ۳، مشخصات وابسته به زمان حجم انتقال گاز از طریق نمونه دوغاب ۱، (سیمان بدون افزودنی لاتکس پلیمری) نشان می‌دهد که میزان مهاجرت سیالات هنگام کاهش فشار هیدرواستاتیک ستون سیمان به مقادیر پایین تر از فشار منفذی افزایش می‌یابد. پنجره زمان گذرا بحرانی برای تهاجم گاز در دوغاب ۱ تقریباً ۱۲۰ min است (یعنی فاصله زمانی بین ۱۸۰ تا ۳۰۰ min از شروع آزمایش). همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، به‌دلیل خاصیت تیکسوتروپیک بهبود یافته و همچنین اثر به دام انداختن حباب‌های گازی توسط لاتکس پلیمری، نمونه بهینه شده با ۴ %.wt لاتکس پلیمری، یک پنجره زمان گذرا بحرانی به مراتب کوتاه‌تر را نشان می‌دهد.

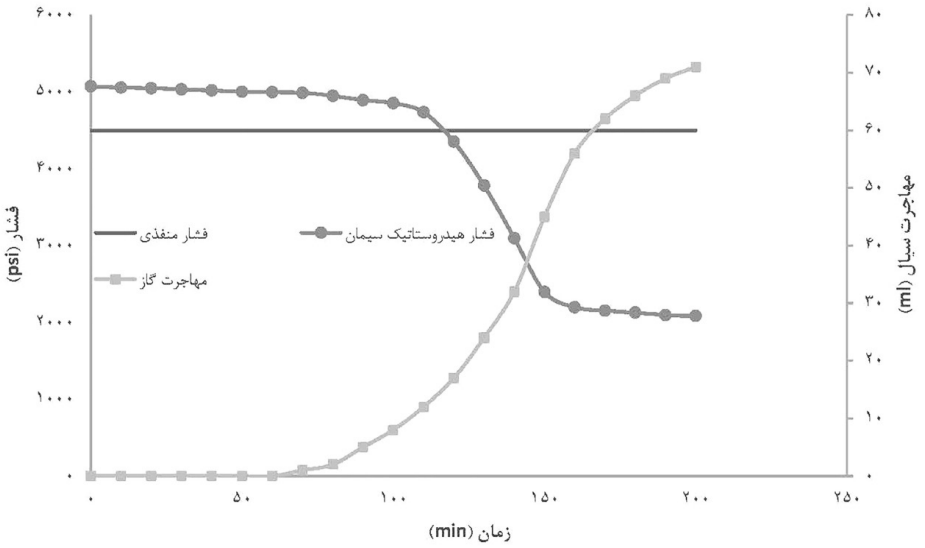


شکل ۲ نتایج آزمایشات مکانیکی برروی نمونه‌های سیمان سخت شده پس از گذشت ۲۴ h

1. Fluid Migration Analyzer (FMA)



شکل ۳ نتایج آزمایش مهاجرت سیال برای دوغاب بدون افزودنی لاتکس پلیمری (دوغاب ۱)

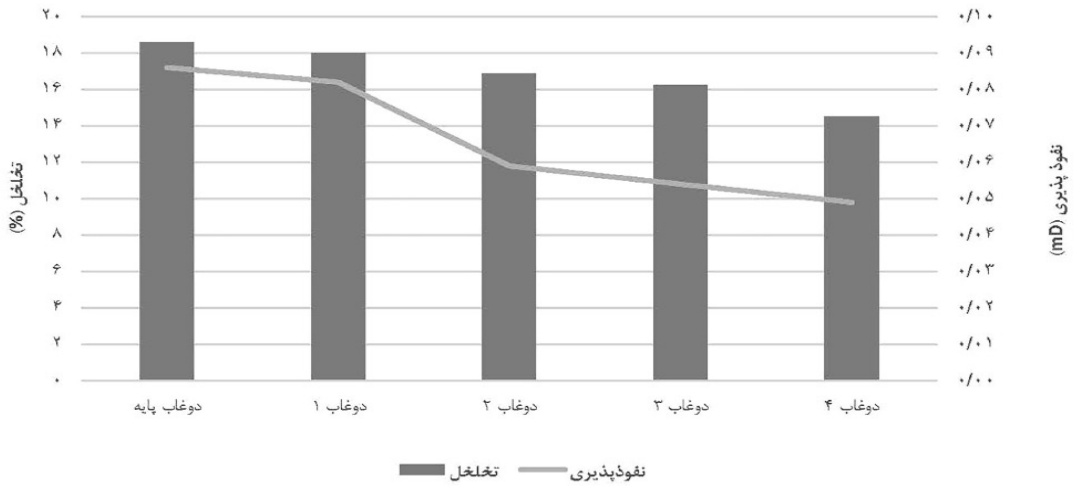


شکل ۴ نتایج آزمایش مهاجرت سیال برای دوغاب با ۴ %.wt افزودنی لاتکس پلیمری (دوغاب ۴)

مدت زمان این پنجره برای نمونه دوغاب ۴ تقریباً به ۳۰ min کاهش می‌یابد (یعنی فاصله بین دقایق ۸۰ تا ۱۲۰ min از شروع آزمایش). پنجره زمان گذرا بحرانی کوتاه‌تر که توسط دوغاب سیمان ۴ نشان داده می‌شود، به‌طور قابل توجهی فرصت تهاجم گاز را در طول مرحله توسعه استحکام ژلاتینه کاهش می‌دهد (شکل ۴). در ادامه آزمایش‌های اندازه‌گیری تخلخل و تراوایی برروی نمونه‌های سیمان سخت انجام گرفت. پس از سخت‌شدن سیمان، نفوذپذیری گاز از طریق منافذ متصل به‌هم در درون ساختار سیمان به‌عنوان یک مجرا بالقوه برای جابه‌جایی گاز طبیعی در نظر گرفته می‌شود که به گاز طبیعی تحت فشار اجازه خواهد داد تا از طریق فضای حلقوی سیمان شده پشت غلاف فولادی در چاه مهاجرت کند و به‌سمت بالا حرکت کند. تخلخل مؤثر و نفوذپذیری کمتر توده سخت سیمانی احتمالاً منجر به کاهش احتمال نفوذ گاز سازند به فضای حلقوی چاه می‌شود.

پژوهش نفت شماره ۱۲۱، بهمن و اسفند ۱۴۰۰، صفحه ۱۲۷-۱۱۶

نتایج حاصل از آزمایشات اندازه‌گیری تخلخل و نفوذپذیری که در شکل ۵ نمایش داده شده است حاکی از کاهش میزان تخلخل و به دنبال آن کاهش نفوذپذیری در نمونه‌های محتوی نانوذرات سیلیکا است. هنگامی که خمیره سیمان به‌صورت کامل هیدراسیون را تجربه کند، ساختارهای بلوری متراکم تری را ایجاد می‌کند. در نتیجه، میزان تخلخل و نفوذپذیری در نمونه‌های قالب‌گیری شده کاهش قابل توجهی خواهد داشت.



شکل ۵ نمودار مقدار تخلخل و نفوذپذیری اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های سیمانی سخت‌شده

نتیجه‌گیری

طراحی دوغاب مناسب تنها ابزار مقابله با چالش‌های مهاجرت گاز و سیالات از طریق برطرف کردن نقص غلاف سیمانی تفکیک‌کننده لایه‌های زیرزمینی است. بر مبنای اصول شناخت مکانیسم‌های ایجاد رخداد میکروآنالوس و نشت از غلاف سیمانی و جداری، فرمولاسیون جدیدی از دوغاب سیمان حاوی لاتکس پلیمری استایرن و نانوذرات سیلیکا طراحی شد و تحت آزمایشات استاندارد دوغاب و سنگ سیمان قرار گرفت. نتایج حاصل از این آزمایشات بهبود خواص مکانیکی و رئولوژی برای دوغاب سیمان را نشان می‌دهد. بهبود خواص مکانیکی مدیون استفاده از نانوذرات سیلیکا و بهبود خواص رئولوژی و کنترل هرزروی فاز مایع دوغاب‌های سیمانی مربوط به استفاده از لاتکس پلیمری در فرمول دوغاب سیمان است. استفاده از نانوذرات سیلیکا همچنین باعث توسعه و انجام کامل فرآیند هیدراسیون سیمان‌شده و با ایجاد ساختارهای بلوری سیمانی مستحکم و فشرده‌تر، مقدار تخلخل و نفوذپذیری نمونه‌های سخت شده سیمانی را نسبت به نمونه سیمان سخت شده پایه کاهش می‌دهد که در نهایت احتمال مهاجرت گاز و سیالات از درون توده سیمانی را کاهش می‌دهد. آزمایشات تحلیل مهاجرت سیال از دوغاب سیمان نیز بهینه‌سازی چشمگیر خواص ضد مهاجرت گاز را توسط افزودنی لاتکس پلیمری به‌روشنی ارائه می کند. توسعه خواص سیکسوتروپیک در دوغاب و کاهش پنجره زمانی حالت گذرا کمک شایانی به دوغاب سیمانی می‌کند تا احتمال مهاجرت گاز در زمان بحرانی که سیمان قادر به مقاومت موثر در برابر آن نیست را به حداقل رسانده و فرصت لازم برای تهاجم سیالات و خلل در ساختار غلاف سیمانی را به کمترین مقدار کاهش دهد.

مراجع

[1]. Shadizadeh SR, Kholghi M, Kassaei MHS (2010) Experimental investigation of silica fume as a cement extender for liner cementing in iranian oil, Gas Wells, 7, 1.
[2]. Boukhelifa L, Moroni N, James SG, Roy-Delage L, Thiercelin MJ, Lemaire G (2004) Evaluation of cement systems for oil and gas well zonal isolation in a full-scale annular geometry, In IADC/SPE Drilling Conference, Society of Petroleum Engineers.
[3]. Thiercelin M J, Dargaud B, Baret J F, Rodriquez W J (1998) Cement design based on cement mechanical response. SPE Drilling and Completion, 13, 04: 266-273.
[4]. Carpenter R B, Brady J L, Blount C G (1992) The effects of temperature and cement admixes on bond strength, Journal of Petroleum Technology, 44, 08: 936-941.
[5]. Bertschinger C, Paul S J, Lüthy H, Schärer P (1996) Dual application of dentin bonding agents: effect on bond strength, American Journal of Dentistry, 9, 3: 115-119.
[6]. Carter L G, Evans G W (1964) A study of cement-pipe bonding, Journal of Petroleum Technology, 16, 02: 157-160.
[7]. Plank J, Tiemeyer C, Buelichen D, Echt T (2014) A study of cement/mudcake/formation interfaces and their impact on the sealing quality of oilwell cement, In IADC/SPE Asia Pacific drilling Technology Conference, Society of Petroleum Engineers.
[8]. Hao H, Gu J, Huang J, Wang Z, Wang Q, Zou Y, Wang W (2016) Comparative study on cementation of cement-mudcake interface with and without mud-cake-solidification-agents application in oil and gas wells, Journal of Petroleum Science and Engineering, 147: 143-153.
[9]. Gu J, Huang J, Hao H (2017) Influence of mud cake solidification agents on thickening time of oil well cement and its solution, Construction and Building Materials, 153: 327-336.
[10]. Lichinga K N, Maagi M T, Wang Q, Hao H, Gu J (2019) Experimental study on oil based mudcake removal and enhancement of shear bond strength at cement-formation interface, Journal of Petroleum Science and Engineering, 176: 754-761.
[11].VRTINE GCZN (1998) Gelation of Oilwell Cement. Kovine, Zlitine, Tehnologije, 32, 1-2.
[12]. Zhang J, Weissinger EA, Peethamparan S, Scherer GW (2010) Early hydration and setting of oil well cement. Cement and Concrete Research, 40, 7: 1023-1033.
[13]. De Rozieres J, Sabins F (1995) Shrinkage and expansion of oil well cements, Report of the API Work Group on Shrinkage.
[14]. Justnes H, Van Loo D, Reyniers B, Skalle P, Sveen J, Sellevold E J (1995) Chemical shrinkage of oil well cement slurries, Advances in Cement Research, 7, 26: 85-90.
[15]. Khalil M, Amanda A, Yunarti RT, Jan B M, Irawan S (2020) Synthesis and application of mesoporous silica nanoparticles as gas migration control additive in oil and gas cement, Journal of Petroleum Science and Engineering, 195: 107660.
[16]. Bayanak M, Zarinabadi S, Shahbazi K, Azimi A (2021) Comprehensive review on gas migration and preventative strategies through well cementing. International Journal of New Chemistry, 8, 1: 16-29.
[17]. Liu H, Jin J, Yu Y, Liu H, Liu S, Shen J, Ji H (2020) Influence of halloysite nanotube on hydration products and mechanical properties of oil well cement slurries with nano-silica, Construction and Building Materials, 247: 118545.
[18]. Alkhamis M, and Imqam A (2018) New cement formulations utilizing graphene nano platelets to improve cement properties and long-term reliability in oil wells, In SPE Kingdom of Saudi Arabia annual technical symposium and exhibition, Society of Petroleum Engineers.
[19]. Calloni G, Moroni N, Miano F (1995) Carbon black: a low cost colloidal additive for controlling gas-migration in cement slurries, In SPE International Symposium on Oilfield Chemistry. Society of Petroleum Engineers.
[20]. Seidel F A, Greene T G (1985) Use of expanding cement improves bonding and aids in eliminating annular gas migration in Hobbs Grayburg-San Andres wells, In SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers.
[21]. Oyarhossein M, Dusseault M B (2015) Wellbore stress changes and microannulus development because of cement shrinkage. In 49th US rock mechanics/geomechanics symposium, American Rock Mechanics Association, OnePetro.
[22]. Dahi Taleghani A, Li G, Moayeri M (2017) Smart expandable cement additive to achieve better wellbore integrity. Journal of Energy Resources Technology, 139: 6.
[23]. Al Ramadan M, Salehi S, Kwatia G, Ezeakacha C, Teodoriu C (2019) Experimental investigation of well integrity: Annular gas migration in cement column, Journal of Petroleum Science and Engineering, 179: 126-135.
[24]. Abdul-Rahman R, Chong A (1997) Cementing multilateral well with latex cement, In SPE/IADC drilling conference, Society of Petroleum Engineers.
[25]. API R (2013) 10B-2. Recommended Practice for Testing Well Cements.

Petroleum Research
Petroleum Research, 2022(February-March), Vol. 31, No. 121, 27-28
DOI:10.22078/PR.2021.4562.3054

Optimization of Oil and Gas Wells Cement Composition Using Polymer Latex-silica Nanoparticles to Compensate the Micro-annulus Phenomenon in Cement Bond

Hamid Bazrkar[1], AliReza Lork[2]* and Babak Aminnejhad[3]
1. Department of Civil Engineering, Kish International Branch, Islamic Azad University, kish island, Iran
2. Department of Civil Engineering, Safadasht Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3. Department of Civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran
Lork@safaiau.ac.ir
DOI:10.22078/PR.2021.4562.3054

Received: July/22/2021 Accepted: November/15/2021

Introduction

The problem of saltwater leakage from a critical point of the wellbore in key layers of the Gachsaran Formation has been reported in a significant number of wells drilled in Kupal and Maroon oil fields [1]. This leakage is observed in the regular examinations from the liner lap or casing shoe after displacing the fluid inside the well with mud by the necessities of the next hole section. Leakage problems from the liner lap or casing shoe embedded in the top of reservoir zones due to the failure of wellbore isolation from pressurized layers containing gas or brine is a serious threat to the well and the drilling crew [2]. In which a micro-scale marginal space is provided for unwanted gas invasion, the micro-annulus phenomenon is created for technical reasons and inherent properties in cement. It is very important to achieve zonal isolation by cement and separating different layers in general during the life of a well and even after abandoning it [3]. Suppose the cement slurry is properly displaced during the pumping operation inside the well and placed in the annular space behind the casing formation. In that case, it can play its primary role in separating the layers from each other in the well [4-6]. However, changes in wellbore conditions or the tectonic regime activities in the underground space can transfer sufficient effective stresses to the wellbore structure and threaten or destroy the integrity of the cement sheath [7]. As a result of the loss of wellbore integrity and zonal separation, the well is now connected to different layers. This problem will be associated with consequences such as the gas migration through the cement, unintended production of saltwater, and wellbore casing failure in the presence of intensified destructive stresses [8]. This research offers a significant optimization in the wellbore cement properties in which the cement structure will be able to meet the desired superior mechanical properties and provide efficient mechanisms to compensate and control the occurrence of micro-annulus in the wellbore cement.

Materials and Methods

Proper design of cement slurry structure is essential to face and combat such challenges. Recognizing the origin of the gas migration challenges, requirements, and proposed solutions to control this problem, four compounds of cement slurry with normal operational density containing styrene polymer latex and silica nanoparticles were formulated and subjected to standard tests of cement slurry and rock properties (API 10B). The concentrations of polymer latex components and silica nanoparticles were changed to find the optimal ratios in the samples. All the improved samples were evaluated with an operational cement slurry as a benchmark sample. The rheological properties of cement slurries were measured according to API standard using Fan-35 model viscometer (made in the USA) to determine cement slurries' dynamic

and static rheological behavior based on the Bingham plastic model. A standard filtration apparatus also measured cement slurry liquid phase loss. According to the standard process recommended by the American Petroleum Engineering Institute, mechanical tests of cement samples were performed according to the standard process recommended by the American Petroleum Engineering Institute.

Results and Discussion

The design principles in optimizer materials are programmed based on obtaining unique properties in the final product. The effects of polymer latex have been well demonstrated in improving the rheological properties and controlling the slurry of cement slurry. Reducing fluid loss from 42 to 24 ml, eliminating free water, and thixotropic attribute generation in cement slurry play key roles in shortening the gas migration critical time window in the transient phase. The main concern in gas migration is related to the transient phase in which the cement slurry changes from liquid to solid. Shortening this period will reduce the chance of gas penetrating the cement. Silica nanoparticles in the hydration phase, by providing organic compound C3S, cause complete dehydration and strengthen the mechanical properties of cementitious composites. The combination of these two optimizer materials has created a multi-purpose optimization in cement oil and gas wells.

Conclusions

Appropriate cement slurry design is the only tool to address the challenges of gas and fluid migration by eliminating the defect of the cement sheath separating the underground layers. A new cement slurry formulation containing styrene polymer latex and silica nanoparticles was designed and subjected to the standard slurry and cement stone tests. The results of these tests show the improvement of mechanical and rheological properties for cement slurry. The use of silica nanoparticles causes the development and complete performance of the hydration process of cement. It reduces the porosity and permeability of hardened cement samples compared to the benchmark cement sample by creating stronger and more compact cement crystal structures, ultimately decreasing the probability of the gas and fluids migration through the cement bulk.

Nomenclatures

C3S: Alite is an impure form of tricalcium silicate

References

1. Shadizadeh SR, Kholghi M, Kassaei MHS (2010) Experimental investigation of silica fume as a cement extender for liner cementing in iranian oil, Gas Wells, 7, 1: 42-66
2. Boukhelifa L, Moroni N, James SG, Roy-Delage L, Thiercelin MJ, Lemaire G (2004) Evaluation of cement systems for oil and gas well zonal isolation in a full-scale annular geometry, In IADC/ SPE Drilling Conference, Society of Petroleum Engineers.
3. Thiercelin MJ, Dargaud B, Baret JF, Rodriquez W J (1998) Cement design based on cement mechanical response, SPE Drilling and Completion, 13, 04: 266-273.
4. Carpenter RB, Brady JL, Blount CG (1992) The effects of temperature and cement admixes on bond strength, Journal of Petroleum Technology, 44, 08: 936-941.
5. Carter L G, Evans G W (1964) A study of cement-pipe bonding, Journal of Petroleum Technology, 16, 02: 157-160.
6. Plank J, Tiemeyer C, Buelichen D, Echt T (2014) A study of cement/mudcake/formation interfaces and their impact on the sealing quality of oil well cement, In IADC/SPE Asia Pacific drilling Technology Conference, Society of Petroleum Engineers.
7. Hao H, Gu J, Huang J, Wang Z, Wang Q, Zou Y, Wang W (2016) Comparative study on cementation of cement-mudcake interface with and without mud-cake-solidification-agents application in oil and gas wells, Journal of Petroleum Science and Engineering, 147: 143-153.
8. Zhang J, Weissinger EA, Peethamparan S, Scherer GW (2010) Early hydration and setting of oil well cement, Cement and Concrete Research, 40, 7: 1023-1033.