



سیمان خود-درمان؛ گامی در راستای کاهش مشکلات تعمیر چاه

وحید دخانی ■ مدیریت نظارت بر تولید نفت و گاز

◆ مقدمه

در سرتاسر دنیا بروز نشت هیدروکربور از فضای حلقوی یا افزایش فشار جداری مسأله بسیاری از چاه‌های نفت و گاز به شمار می‌رود. از دست رفتن مسدود سازی ناحیه‌ای^۲ بویژه هنگامی که نشت به سطح زمین راه می‌یابد علاوه بر از دست رفتن هیدروکربورهای ارزشمند، مخاطرات زیست محیطی و ایمنی ایجاد می‌کند. در شرایط بحرانی این امر می‌تواند سبب آلودگی آب‌های زیرزمینی یا آزاد شدن گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر گردد.

عوامل مؤثر بر ایزولاسیون بلندمدت سیمان که می‌توانند از بروز نشت جلوگیری کنند شامل نوع سیمان، مواد افزودنی سیمان، خصوصیات دوغاب و نحوه جابجایی سیمان در پشت لوله جداری می‌باشند. تغییرات دما یا فشار می‌تواند بر روی سیمان اثر گذار بوده و مسیرهای جریانی را برای نشت هیدروکربور ایجاد نماید. اگرچه فناوری‌های جدید در بهبود خصوصیات مکانیکی پوششی سیمانی مؤثر بوده و از بروز شکاف یا ترک‌ها در محیط پرفشار ته چاه ممانعت به عمل می‌آورند، اما هیچ یک هنگام شکست و نفوذپذیر شدن غلاف سیمانی قادر به انجام کاری

برای رفع مشکل نیستند.

این نوشتار با هدف انعکاس فناوری جدیدی در ترکیب سیمان که در مقالات اخیر بین‌المللی منتشر شده سعی دارد تا علاوه بر طرح برخی ویژگی‌های این سیمان، به کاربردهای این ترکیب در عملیات ترمیم چاه بپردازد.

◆ سیمان خود-درمان (SHC)^۲

این سیمان موادی در خود دارد که به هنگام روبرو شدن با هیدروکربن به صورت خودکار فعال شده و برای ترمیم نشتی‌ها عمل کرده و با این کار از جریان سیال سازندی درون فضای حلقوی (سیمان) ممانعت به عمل می‌آورد. این فرآیند در طول عمر چاه قابل تکرار است و اگر در معرض هیدروکربنی واقع نشود عملکرد آن شبیه سیمان معمولی است. بکارگیری این روش نه تنها هزینه‌های عملیات ترمیم چاه و از دست رفتن تولید را کاهش می‌دهد بلکه عمر چاه تولیدی را افزایش داده و هم‌چنین در مقابل افزایش قوانین زیست محیطی حاکم بر فعالیتهای نفتی در آینده نیز پاسخگو خواهد بود.^[۱]

◆ کاربردهای سیمان خود-درمان

این سیمان در برخی مناطقی که ریسک نشت گاز قبلاً گزارش

شده مورد استفاده قرار گرفته است. بکارگیری این ترکیب در عملیات سیمان کاری مناطقی همچون کلرادو، کانادا و چندین مخزن ذخیره سازی گاز طبیعی^۴ کاملاً موفقیت آمیز گزارش شده است. این سیمان برای مسدودسازی برخی لایه‌های هیدروکربوری در برخی چاه‌های UGS در کشورهای فرانسه، آلمان و ایتالیا استفاده شده است.

چالش اصلی در بهره‌برداری از چاه‌های مخازن UGS نگهداری یکپارچگی چاه در کوتاه مدت و بلند مدت است. برخی از این مخازن در زیر چند لایه هیدروکربوری تخلیه شده واقع‌اند که این لایه‌ها عملاً مستعد تولید گاز هستند. این چاه‌ها هم‌چنین باید قادر به تحمل فشار و نرخ بالای تزریق و برداشت گاز باشند و در طول عمر بهره‌برداری دچار تغییرات متناوب فشار و دما می‌شوند. چنین چاه‌هایی در مقایسه با چاه‌های تولیدی معمول نفت و گاز باید عمر طولانی‌تری (۸۰ سال یا بیشتر) داشته باشند. افزایش فشار فضای حلقوی در این چاه‌ها می‌تواند به علت نشت از لوله مغزی، جداری و یا صدمه دیدن لایه سیمانی (در نتیجه بارگذاری متناوب فشار و دما) رخ دهد. این پدیده می‌تواند نشت گاز از طریق لایه سیمانی یا به هم آمدن

لوله مغزی یا جداری را تسریع بخشد. برخی از این مخازن ذخیره سازی نزدیک مناطق شهری و مسکونی واقع شده‌اند و بر طبق قوانین زیست محیطی و ایمنی شرکت‌های بهره‌بردار ملزم به استفاده از چاه‌های بدون نشت^۵ هستند.

◆ طراحی دوغاب SHC

افزودنی‌های این دوغاب همانند افزایش‌های معمول سیمان‌های چاه‌های نفت و گاز است. مخلوط سازی و آزمایش‌های این سیمان نظیر آزمایش‌های استاندارد سیمان‌های رایج است (اندازه‌گیری خصوصیات رئولوژی، سیال آزاد، پایداری دوغاب، زمان بندی و مقاومت فشارشی). این دوغاب در گستره‌ای از وزن‌های ۱۲ تا ۱۶ پوند بر گالن قابل استفاده است و محدوده کارکرد دمایی آن بین ۶۸ تا ۲۸۰ درجه فارنهایت است. طبق آزمایش‌های صورت گرفته، خصوصیات مکانیکی این سیمان قابل مقایسه با سیمان‌های معمول است (جدول ۱).^[۲]

¹ Dokhani@nioc.ir

² Zonal Isolation

³ Self - Healing Cement

⁴ Underground Gas Storage (UGS)

⁵ Leak-free wells



Le Houga که از لحاظ موقعیت بین دو طاق‌دیس مذکور واقع شده برای اجرای اولین آزمایش میدانی SHC انتخاب شد و خصوصیات سیمان با گاز تزریقی مورد آزمایش قرار گرفت. مطالعات آزمایش این سیمان در دو مرکز شرکت شلمبرژه در فرانسه و کانادا به اجرا درآمد. پس از اولین کاربرد موفقیت آمیز در ژانویه ۲۰۰۸، سه چاه دیگر نیز به همین طریق سیمانکاری شدند. این سیمان به کمک ابزارهای آلتراسونیک و نیز نمودارگیری CBL-VDL ارزیابی شد. نتایج نمودارگیری حاکی از قرارگیری بهینه سیمان در فضای حلقوی بوده و عملکرد ایمن چاه‌های UGS در آینده را نوید می‌دهد [۲].

نتیجه‌گیری

ترکیب جدید معرفی شده برای سیمان کاری چاه‌های مخازن ذخیره سازی گاز که نیازمند پایداری دراز مدت در برابر تغییرات متناوب فشار هستند کاربرد ویژه‌ای دارد. هم‌چنین بکارگیری این سیمان در میدانی که بروز نشستی در لوله‌های جداری به طور مکرر اتفاق می‌افتد قابل توصیه است.

تجربه موفقیت آمیز این سیمان در چاه‌های ذخیره سازی گاز که از شرایط دشوارتری نسبت به چاه‌های معمول نفت و گاز برخوردارند، از توانایی ویژه آنها در کاهش نیاز به تعمیر چاه‌های تولیدی خبر می‌دهد.

منابع

- [1] Comet, A. et al.: "Responsive, Self-Healing Cement Technology Promises to Improve Long-Term Zonal Isolation", *Drilling Contractor*, Vol. 66, No. 5, pp 114-119.
- [2] Le Roy-Delage, S. et al.: "Self-Healing Cement System: A Step-Forward in Reducing Long-Term Environmental Impacts", *IADC/SPE 128226*.

۳۲۰ روز (۱۰ ماه) خصوصیات این سیمان کاملاً حفظ شده است [۱].

جابجایی دوغاب در هنگام سیمانکاری

علاوه بر استفاده از SHC و لزوم طراحی مناسب دوغاب، تمیزسازی صحیح چاه و جابجایی مناسب سیمان برای کاهش مخاطرات بلندمدت نشست چاه ضروری است. دارا بودن چگالی مناسب برای دوغاب و سیال حائل برای بالا بردن ضریب کارایی جابجایی سیالات در فضای حلقوی ضروری است.

آزمایش‌های میدانی

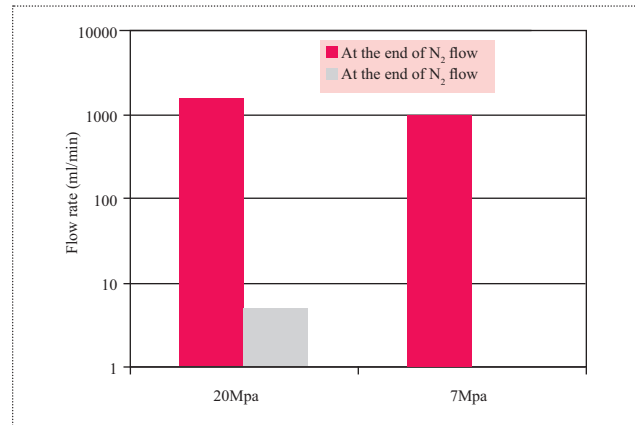
در میدان Stolberg (آلبرتای مرکزی) کانادا برای رفع مشکل نشست گاز از جداری‌ها این سیمان به کار گرفته شد. پس از گذشت سه سال از اجرای این روش هیچ گونه گزارشی از فشارگیری جداری یا نشست سطحی ثبت نشده است. در میدان کلرادوی غربی علی‌رغم تغییر طراحی‌ها و بازنگری در روش سیمان کاری چاه‌ها، مشکل نشست گاز از درون ستون سیمان بعد از اتمام حفاری وجود داشته و با بکارگیری SHC این مشکل تقریباً حذف شد.

در برخی میدانی هیدروکربوری الجزایر، چاه‌های حفاری شده جدید دچار مشکل فشارگیری جداری بلافاصله بعد از سیمانکاری (چند روز یا چند هفته) بوده‌اند. اگرچه عامل اصلی این رخداد بدرستی شناسایی نشده (که آیا تغییرات فشار، دما، سازند و یا ناحیه‌ای حین عملیات سبب بروز این پدیده بوده یا خیر) ولی بکارگیری این سیمان مشکل نشست چاه‌ها را کاهش داده است.

دو میدان Izaute و Lussagnet که در اصل سفره آبی بوده و سپس به مخزن ذخیره‌سازی گاز تبدیل شده‌اند در مجموع ۲/۵ میلیارد مترمکعب ظرفیت ذخیره‌سازی دارند. میدان

۱ | خصوصیات سیمان SHC پس از سخت شدن به مدت هفت روز در دمای ۴۴ درجه فارنهایت

۶/۵ ± ۰/۴	مقاومت فشاری (مگا پاسکال)
۲۰۰ ± ۱۰۰	ضریب یانگ E (مگا پاسکال)
۲۷۰	نفوذپذیری (نانو داری)



۱ | آزمایش خصوصیت عبوردهی سیمان در حضور گاز نیتروژن و گازهای هیدروکربوری

گازهای هیدروکربوری تزریق می‌شود. نتایج بدست آمده از کاربرد سیستم SHC (با روش اول آزمایش) نشان می‌دهد که:

(۱) عبوردهی جریان گازهای هیدروکربوری نسبت به گاز نیتروژن از ماتریس SHC تحت شرایط دینامیکی و فشار بالا (۳۰۰۰ پام) کاهش چشمگیری دارد (مطابق شکل ۱ مقدار جریان از ۱۶۰۰ ml/min به ۵ ml/min کاهش یافت).

(۲) عبوردهی جریان از ماتریس SHC در حضور گازهای هیدروکربوری در فشار پایین (۱۰۱۵ پام) نیز مورد آزمایش قرار گرفت و نسبت به گاز نیتروژن کاهش شدیدی را نشان می‌دهد (مقدار جریان از ۱۰۰۰ ml/min به صفر کاهش یافت).

(۳) رفتار مشابهی هم برای نمونه شکافدار شده بدست آمد.

نتایج بدست آمده از آزمایش یکپارچگی درازمدت و حفظ دوام خصوصیات خود درمانی سیمان نشان می‌دهد که پس از گذشت

ویژگی خود-درمانی SHC در محیط گازهای هیدروکربوری

برای بررسی این موضوع ابتدا باید محیط شکافدار در سیمان شبیه‌سازی شود که به دور روش قابل انجام است. در روش اول دوغاب سیمان درون سلول قرار گرفته و خشک می‌شود به گونه‌ای که شکاف‌های ریز به اندازه دلخواه ایجاد گردد. در روش دوم نمونه سخت شده استوانه‌ای سیمان ابتدا در امتداد محور طولی به دو قسمت شکسته شده؛ سپس درون سلول قرار داده می‌شود. در هنگام آزمایش جریان، گاز با نرخ ثابت تزریق شده و مقدار اختلاف فشار دو سر نمونه اندازه‌گیری می‌شود. این مقدار اختلاف فشار به اندازه شکاف یا ترک‌ها بستگی مستقیم دارد. اگر هنگام آزمایش اختلاف فشار افزایش یابد بدین معناست که ترک‌ها یا شکاف‌های ریز کاهش یافته و سیمان مذکور در حضور گاز منبسط شده است. در مرحله اول از گاز نیتروژن برای تعیین ضخامت شکاف‌ها استفاده و در مرحله بعد