پژوهش نفت شماره ۱۲۸، فروردین و اردیبهشت ۱۴۰۲، صفحه ۵۸-۴۰

کیفیت متفاوت بندش سیمان چاه در سازندهای زمین‌شناسی میدان-گازی خانگیران، شمال شرق ایران

حامدقربانپور[1*]، امیر نقیبی[2]، مهدی علویان[3] و ابوذر بهاری[4]

۱- اداره عملیات مهندسی مخازن، شرکت بهره‌برداری نفت و گاز شرق، مشهد، ایران

۲- اداره مهندسی پتروفیزیک، شرکت نفت مناطق مرکزی ایران، تهران، ایران

۳- اداره تعمیر و تکمیل، چاه‌ها، شرکت بهره‌برداری نفت و گاز شرق، مشهد، ایران

۴- اداره مهندسی بهره‌برداری، شرکت بهره برداری نفت و گاز شرق، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۲

چکیده

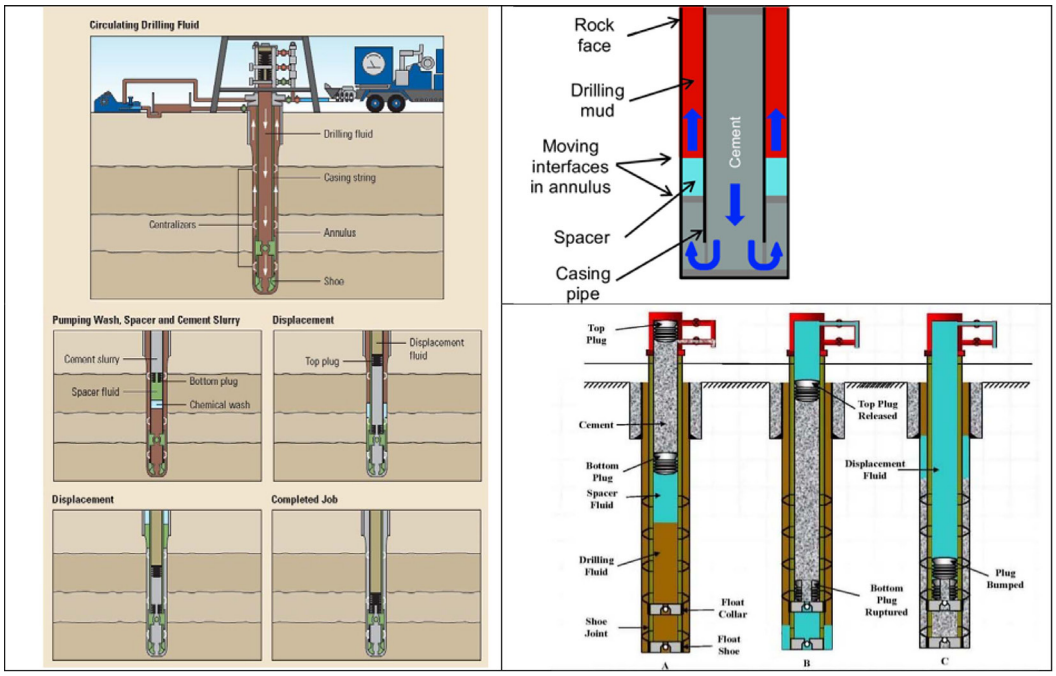
در چاه‌های نفت و گاز، کیفیت سیمان‌بندی پشت لوله‌های جداری و آستری، نقش بسزایی در استمرار تولید ایمن و کاهش هزینه‌های ناشی از تعمیرهای احتمالی آتی چاه‌ها دارد. سیمان‌بندی مناسب، سبب جلوگیری از جریان‌های بین لایه‌ای در پشت لوله‌ها، کاهش شدت خوردگی دیواره خارجی لوله‌ها، جلوگیری از نشتی دالیزها و لبه لوله آستری، جلوگیری از حرکت آب از اعماق به سمت زون‌های مخزنی فوقانی از فضای پشت لوله‌ها و سبب جلوگیری از نشست زمین در اثر نفوذ آب از اعماق به لایه‌های سطحی زمین می‌گردد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که جدا از نحوه عملیات سیمان‌کاری و ترکیبات سیمان، خواص سنگ و سیال سازندی نیز بر کیفیت بندش سیمان تاثیرگذار است. در چاه‌های حفاری شده میدان گازی خانگیران، عمدتاً کیفیت سیمان‌بندی در زونهای خاصی از سازندهای رسوبی نامناسب است. در این تحقیق پس از اعمال زون‌بندی پتروفیزیکی بر روی سازندهای میدان خانگیران، ابتدا زون‌هایی که معمولاً کیفیت سیمان‌بندی در آنها پایین است شناسایی شدند (مانند زون ۳ سازند آبدراز)؛ سپس دلایل این رویداد بررسی شد. مانند وجود تراوایی زیاد در زون ۱ سازند کلات و در نهایت برخی راهکارهای پیشنهادی جهت جلوگیری از تکرار این پدیده در حفاری چاه‌های آتی ارائه گردید. مانند تغییر عمق قرارگیری پاشنه لوله‌های جداری. مهمترین زون‌های که سیمان‌بندی در آنها ضعیف است، شامل زون‌های متخلخل و تراوا و زون‌های گاز دار می‌باشند.

کلمات کلیدی: میدان خانگیران-سیمان‌بندی- لوله‌های‌جداری-زون‌بندی-سازند.

*مسؤول مکاتبات
آدرس الکترونیکی ghorbanpour_geo@yahoo.com
شناسه دیجیتال: (DOI:10.22078/PR.2022.4901.3191)

مقدمه

یکی از فرآیندهای مهم در حفاری چاه‌های نفت و گاز، سیمان‌کاری پشت لوله‌های جداری و آستری[1]، می‌باشد. در صنعت نفت چاه‌ها به‌صورت تلسکوپی حفاری می‌شوند به‌گونه‌ای که هرچه به سمت عمق پیش می‌رویم قطر چاه کاهش می‌یابد. در عملیات سیمان‌کاری، پس از محاسبه حجم فضای خالی[2] پشت لوله‌های جداری یا آستری، سیمان به درون چاه پمپ و بر روی آن سیال قرار می‌گیرد. سپس با اعمال فشار بر روی سیال، سیمان از انتهای چاه به پشت لوله‌ها تزریق و فشار ترخیص می‌گردد (شکل ۱). با توجه به حدفاصل سیمان‌کاری، فشار و دمای سازند و اهداف مدنظر، سیمان‌های متفاوتی با زمان‌های بندش متفاوت مورد استفاد قرار می‌گیرند. سیمان‌های استفاده شده در صنعت نفت به طور عمده مطابق طبقه‌بندی انستیتوی نفت آمریکا (API[3]) چاپ شده در استاندارد شماره ۱۰ طبقه‌بندی شده‌اند. این سیمان‌ها را به ترتیب با حروف A، B، C، D، E، F، G، H و J نام‌گذاری کرده‌اند و علاوه بر اینها، سیمان‌های ویژه‌ای نیز ممکن است در صنعت نفت مورد استفاده قرار گیرند که از جمله می‌توان به سیمان پازلانی، پازلانی-آهکی، پلاستیکی یا رزین، گچی، گازوییلی، انبساطی، نسوز، لاتکسی و سیمان‌های ضدیخ اشاره نمود [۱]. همچنین ممکن است سیمان ویژه‌ای برای سازند خاصی در یک میدان گازی یا نفتی طراحی یا توصیه گردد که از جمله می‌توان به مطالعات پژوهشگاه صنعت نفت بر روی سیمان بهینه میدان گازی خانگیران اشاره نمود [۲]. به‌عنوان مثال در این طرح پیشنهاد شده است جهت جلوگیری از نفوذ گاز به سیمان، مدت زمان ژلگی دوغاب سیمان از روش سنتی ۸۰ min به مدت ۱۷ min کاهش یابد. در طرح دیگری پیشنهاد شده است به‌منظور جلوگیری از ورود گاز به دوغاب سیمان می‌توان از سه ماده مگنتیت، Anchorage Clay و مقادیر خاصی از نسبت آب و الاستومر استفاده نمود [۳].



شکل ۱ نحوه سیمان کاری چاه‌ها [۴].

1. Casing and Liner
2. Annulus
3. American Petrolume Institute

پژوهش نفت شماره ۱۲۸، فروردین و اردیبهشت ۱۴۰۲، صفحه ۵۸-۴۰

به‌منظور سیمان‌کاری یک لوله جداری خاص، ممکن است فقط از یک کلاس سیمان استفاده شود و یا چند کلاس مختلف سیمان به‌صورت طبقه طبقه به درون چاه تزریق شود تا هر کلاس سیمان در مقابل یک عمق خاص قرار گیرد. به‌طور مثال، از بهترین و مقاوم‌ترین نوع سیمان جهت پوشاندن حد فاصل پاشنه جداری‌ها استفاده می‌شود و بر روی آن می‌تواند سیمان‌های دیگری قرار گیرد. پس از تزریق سیمان به پشت لوله‌ها، مشاهده برگشت سیمان در سطح زمین یکی از نشانه‌های سیمان‌بندی خوب می‌باشد. چنانچه برگشت سیمان در سطح مشاهده نگردد قاعدتاً بخشی از فواصل فوقانی پشت لوله‌ها از سیمان خالی مانده است که دلیل آن هرزروی بخشی از سیمان به درون سازندهای زمین‌شناسی و یا تخمین کم حجم فضای خالی پشت لوله‌ها به‌دلیل ریزش شدید دیواره چاه می‌باشد. اما گاهی با وجود برگشت سیمان به سطح و مشاهده بندش خوب نمونه سیمان نگهداری شده در سطح زمین، نتایج نمودارهای بندش سیمان (مانند نمودار[1] CBL-VDL) نشان می‌دهد که در برخی از فواصل خاص، بندش سیمان ضعیف است. در موارد نادری نیز مشاهده شده است که سیمان به لوله جداری خوب چسبیده ولی بندش خوبی به سازند ندارد. همچنین، نتایج نمودارهای بندش سیمان آزیموتال (مانند نمودارهای CAST[2]، RBT[3]، SBT[4] و USIT[5])، نشان می‌دهد که گاهاً کیفیت سیمان‌بندی فواصل شعاعی اطراف لوله‌ها یکسان نمی‌باشد. به‌عنوان مثال، در چاه‌های زاویه‌دار، در قسمت خواب لوله‌های جداری[6] و در چاه‌های عمودی در مکان‌های که لوله‌های جداری از حالت هم‌مرکز خارج شده و به یک طرف دیواره چاه تکیه کرده است، به‌دلیل نفوذ کم سیمان به پشت لوله‌ها، پدیده کانالی شدن سیمان[7] مشاهده می‌گردد. به‌طور کلی، می‌توان گفت معمولاً سیمان‌بندی قسمت انتهایی چاه و فواصل نزدیک به پاشنه لوله جداری به‌دلیل کیفیت بهتر سیمان مورد استفاده و پابرجا ماندن خصوصیات فیزیکی و شیمیای سیمان، بهتر است. ولی هرچه به سمت سطح حرکت می‌کنیم، به دلیل ترکیب احتمالی سیمان با خرده سنگ‌ها و سیال سازندی مسیر حرکت خود، ممکن است خواص آن تغییر یافته و کیفیت سیمان‌بندی کاهش یابد. همچنین در برخی از چاه‌های زاویه دار مشاهده شده است که کیفیت سیمان‌بندی از چندین متر پایین‌تر از عمقی که چاه شروع به کج شدن می‌نماید (KOP[8]) به سمت پایین خوب است ولی به سمت بالا و قسمت‌های عمودی فوقانی چاه، سیمان‌بندی ضعیف می‌شود. به‌نظر می‌رسد در این دسته از چاه‌ها، ابزار تمرکز دهنده اطراف لوله‌های جداری تحمل وزن لوله‌ها را نداشته و لوله‌ها بر روی سازند می‌نشینند. از طرفی، ابزار نمودارگیری نیز می‌تواند در قسمت زاویه دار چاه از حالت هم‌مرکز خارج شده و به سمت خواب لوله‌ها نزدیک گردد. در نتیجه، سازند چسبیده به لوله‌ها می‌تواند به اشتباه به‌صورت سیمان‌بندی خوب تفسیر شود.

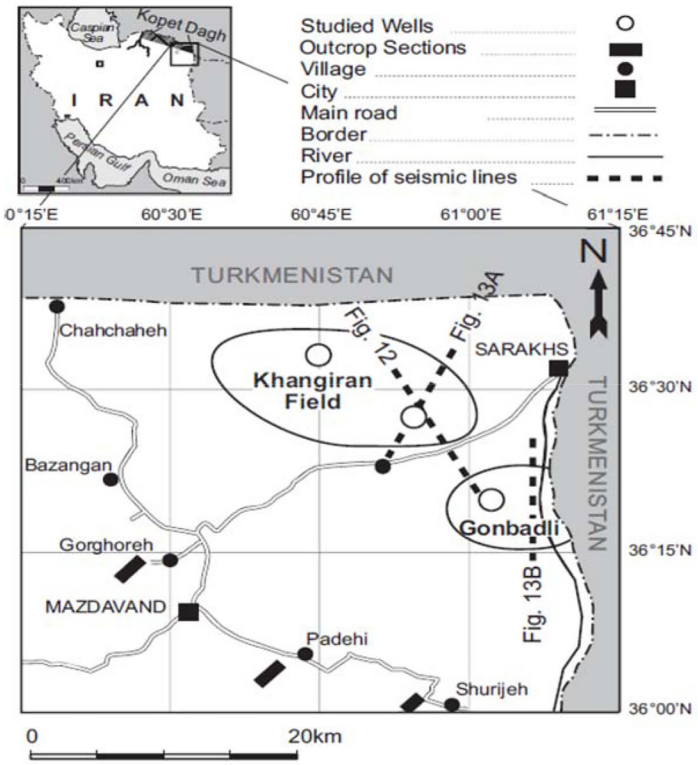
سیمان کاری چاه‌های نفت و گاز یک کار کاملاً تخصصی بوده و موفقیت آن تابع تخصص، همکاری مناسب و مشورت چندین گروه کاری از جمله نماینده کارفرما[9]، نماینده پیمانکار دکل حفاری[10]، واحد شیمی حفاری و گِل، گروه پمپ تراک و لوله مغزی سیار، واحد مهندسی پتروفیزیک و واحد زمین‌شناسی می باشد. به عنوان مثال، تخمین صحیح حجم فضای ریزشی چاه به کمک نمودارهای قطرسنج و تخمین صحیح دمای انتها و ستون چاه به کمک ابزارهایی با حساسیت دمایی بالا، از جمله کمک‌های مهم ناظر عملیات نمودارگیری به انجام صحیح عملیات سیمان‌کاری چاه می‌باشد.

1. Cement Band Log-Variable Density Log
2. Circumferential Acoustic Scanning Tool
3. Radial Bond Tool
4. Segmented Bond Tool
5. Ultra Sonic Imager Tool
6. Low side
7. Cement Channeling
8. Kickoff Point
9. Company Man
10. Tool Pusher

تاکنون مطالعات زیادی بر روی چگونگی انجام عملیات سیمان‌کاری و یا دلایل نامناسب بودن کیفیت سیمان [۱-۳، ۵-۶] انجام شده است. همچنین مطالعاتی در خصوص دلایل کاهش کیفیت سیمان در مقابل سازندهای زمین‌شناسی انجام گردیده که از جمله می‌توان به بررسی دلایل کاهش کیفیت سیمان در مقابل سازند گچساران اشاره نمود [۷]. ولی تا کنون در خصوص بررسی کیفیت سیمان در مقابل سازندهای زمین‌شناسی حوضه رسوبی کپه‌داغ که در چاه‌های میدان گازی خانگیران حفاری شده است، بررسی جامع ای انجام نشده است. در این مطالعه بیشتر بر این موضوع متمرکز شده‌ایم که چرا در برخی چاه‌های خانگیران با وجود رعایت تمامی اصول سیمان‌کاری، در برخی از فواصل خاص سازندها، کیفیت سیمان‌بندی معمولاً ضعیف است. برای این منظور ابتدا سازندها به زون‌های پتروفیزیکی تقسیم‌بندی و در یک کار آماری زون‌هایی که عمدتاً سیمان‌بندی در آن ضعیف است شناسایی شدند. سپس در مورد دلایل وقوع این رویداد مطالعه و در نهایت برخی راهکارهای برطرف نمودن مشکل در حفاری چاه‌های آتی معرفی گردید.

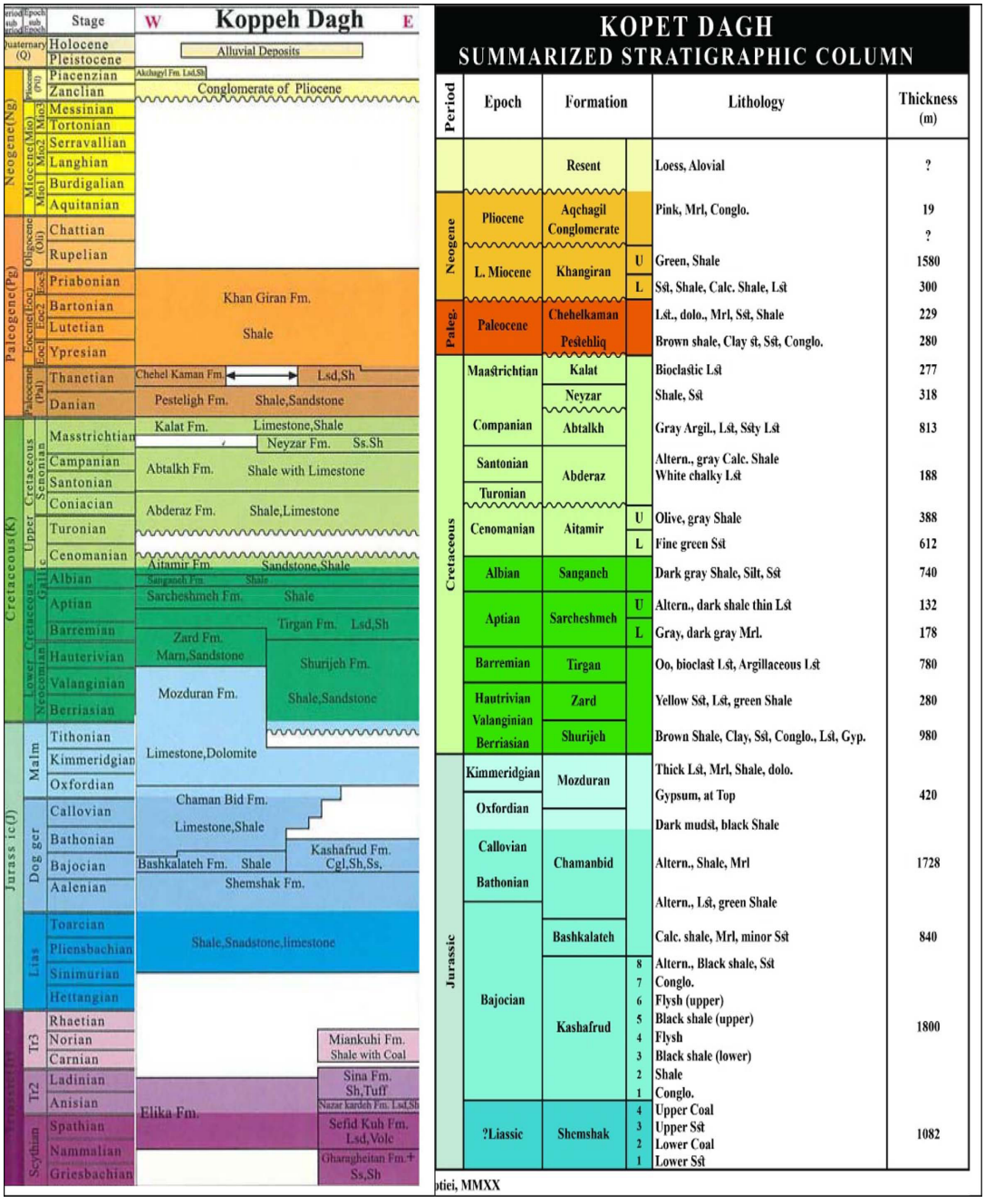
موقعیت جغرافیایی و سازندهای زمین شناسی مورد مطالعه

این تحقیق بر روی سازندهای زمین‌شناسی حوضه رسوبی کپه داغ [۸] که در چاه‌های میدان گازی خانگیران حفاری شده اند انجام شده است. میدان خانگیران (شکل ۲) یک میدان گازی در شمال شرق ایران است که در حوضه رسوبی کپه داغ واقع است. در حال حاضر از دو سازند مخزنی شوریجه (گاز شیرین) و مزدوران (گاز ترش) این میدان بهره‌برداری می‌شود.



شکل ۲ موقعیت میدان گازی خانگیران در شمال شرق ایران [۹].

در شکل ۳ ستون چینه زمین‌شناسی و سازندهای حوضه رسوبی کپه داغ ارائه در حدفاصل سنی دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک ارائه شده است. سازندهای مورد بررسی در میدان گازی خانگیران از سطح به عمق شامل سازند خانگیران، چهل کمان، پسته لیق، نفته، کلات، نیزار، آب تلخ، آب دراز، آیتامیر، سنگانه، سرچشمه، تیرگان، شوریجه و مزدوران می‌باشد که محدوده سنی دوران پالئوژن (از انتهای ائوسن، حدود ۳۵ میلیون سال پیش) تا قسمت فوقانی دوران ژوراسیک میانی (حدود ۱۶۵ میلیون سال پیش) را در بر می‌گیرد. شایان ذکر است بر اساس برخی از آخرین مطالعات صورت گرفته [۱۰] در زمان مرز سنی برخی از سازندها مانند خانگیران تغییراتی پیشنهاد شده است که البته هنوز نهایی نشده است (شکل ۳).



شکل ۳ ستون چینه سازندهای حوضه رسوبی کپه داغ مربوط به دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک تصویر سمت راست [۱۱] و تصویر سمت چپ [۱۲].

روش کار

در این مطالعه، ابتدا بر اساس خصوصیات زمین‌شناسی، پتروفیزیکی، حفاری و مخزنی سازندهای خانگیران تا مزدوران، این سازندها در ۷۷ چاه میدان خانگیران به زون‌های مختلف تقسیم‌بندی شدند. لازم به ذکر است از آنجایی‌که این زون‌بندی عمدتاً بر اساس خصوصیات نمودارهای پتروفیزیکی تقسیم‌بندی شده است و هنوز به‌طور رسمی منتشر نشده است تحت نام زون‌بندی پتروفیزیکی معرفی می‌گردد. سپس با بررسی نمودارهای سیمان‌بندی برداشت شده در لوله‌های جداری و آستری این چاه‌ها، کیفیت سیمان‌بندی پشت لوله‌ها بررسی گردید و زون‌های مشترکی که در چاه‌های مختلف از کیفیت سیمان‌بندی مناسبی برخوردار نبودند مشخص گردید. در ادامه، دلایل کاهش کیفیت سیمان‌بندی در این زون‌ها از لحاظ خصوصیات سنگ‌شناسی، دما، فشار و نوع سیال درون این زون‌ها و نیز تأثیر طراحی مکان قرارگیری پاشنه جداری بر روی کیفیت بندش سیمان بررسی گردید. در نهایت پیشنهادهای که می‌تواند سبب بهتر شدن احتمالی کیفیت سیمان‌بندی در حفاری چاه‌های آتی گردد ارائه گردید. هدف اصلی این مقاله نشان دادن تأثیر سازندهای زمین‌شناسی (سنگ و سیال) بر کیفیت سیمان‌بندی لوله‌های جداری و آستری می‌باشد. برای این منظور پس از اعمال زونبندی پتروفیزیکی بر روی چاه‌ها، نمودارهای سیمان‌بندی برداشت شده در اکثر چاه‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که در برخی از سازندهای زمین‌شناسی واقع در میدان گازی خانگیران، تأثیر سازند و سیال درون آن سبب کاهش کیفیت بندش سیمان می‌گردد. همچنین به دلیل وجود شکستگی و تراوایی بالای برخی از سازندهای میدان خانگیران مانند سازند کلات، بهتر است در صورت امکان، طراحی مکان قرارگیری پاشنه لوله‌های جداری به‌گونه‌ای باشد که پاشنه در مرز فوقانی اینگونه سازندها قرار گیرد. اما اگر به‌دلیل مسائل حفاری، این کار مقدور نشد، پاشنه لوله جداری بسیار پایین‌تر از این زون‌های تراوا قرار داده شود به‌طوری‌که زون مذکور تقریباً در انتهای مسیر تزریق سیمان به پشت لوله‌ها واقع گردد. چراکه وجود شکستگی و تراوایی بالا سبب می‌شود بخش عمده‌ای از سیمان بدرون این سازندها هرز رفته و سازندهای فوقانی فاقد سیمان بماند. همچنین پیشنهاد می‌شود ابتدا هرزروی گل حفاری کاملاً مهار و سپس مبادرت به سیمان کاری شود. گاهاً به اشتباه تصور می‌شود که سیمان سبب کنترل هرزروی شده و نیازی به کنترل هرزروی چاه قبل از عملیات سیمان‌کاری نمی‌باشد.

زون‌بندي پتروفيزيكي سازندها

در حال حاضر در میدان خانگیران به‌جز سازند شوریجه و مزدوران در سایر سازندها زونبندی خاصی ارائه نشده است. لذا به عنوان پیش‌نیاز این مقاله، تلاش شد تمامی این سازندها تا حد امکان به زون‌های قابل تمایزی تقسیم‌بندی گردند (جدول ۱). این زون‌بندی حاصل تجربه کاری چندین ساله مؤلف بر روی میدان خانگیران است و از نتایج آن برای بررسی آماری کیفیت سیمان‌بندی زیرزون‌های سازندهای این میدان استفاده شده است. مبنای این زونبندی بر اساس مطالعه خصوصیات زمین‌شناسی اعم از اطلاعات کتابخانه‌ای، اطلاعات نمودار ترسیمی زمین‌شناسی، مغزه و خرده‌های حفاری چاه‌های خانگیران، نتایج نمودارهای پتروفیزیکی اعم از سنگ‌شناسی، تخلخل، تراوایی، نوع سیال، فشار و دما، اطلاعات حفاری مانند سرعت نفوذ مته، شناسایی زون‌های مستعد هرزروی گل حفاری و زون‌های پر فشار، اطلاعات نمودارهای تولید چاه و سایر اطلاعات مرتبط با موضوع می‌باشد. در معرفی و اعمال این زون‌بندی، ابتدا عمق سرسازندها بر اساس گزارش زمین‌شناسی سرچاهی و تطابق عمقی آن با نمودارهای پتروفیزیکی تعیین شد و سپس زون‌ها بر مبنای خصوصیات نمودارهای پتروفیزیکی و سایر اطلاعات حفاری و مخزنی دسته‌بندی و معرفی گردیده‌اند.

جدول ۱ زون‌بندی پتروفیزیکی سازندهای زمین‌شناسی در میدان گازی خانگیران.

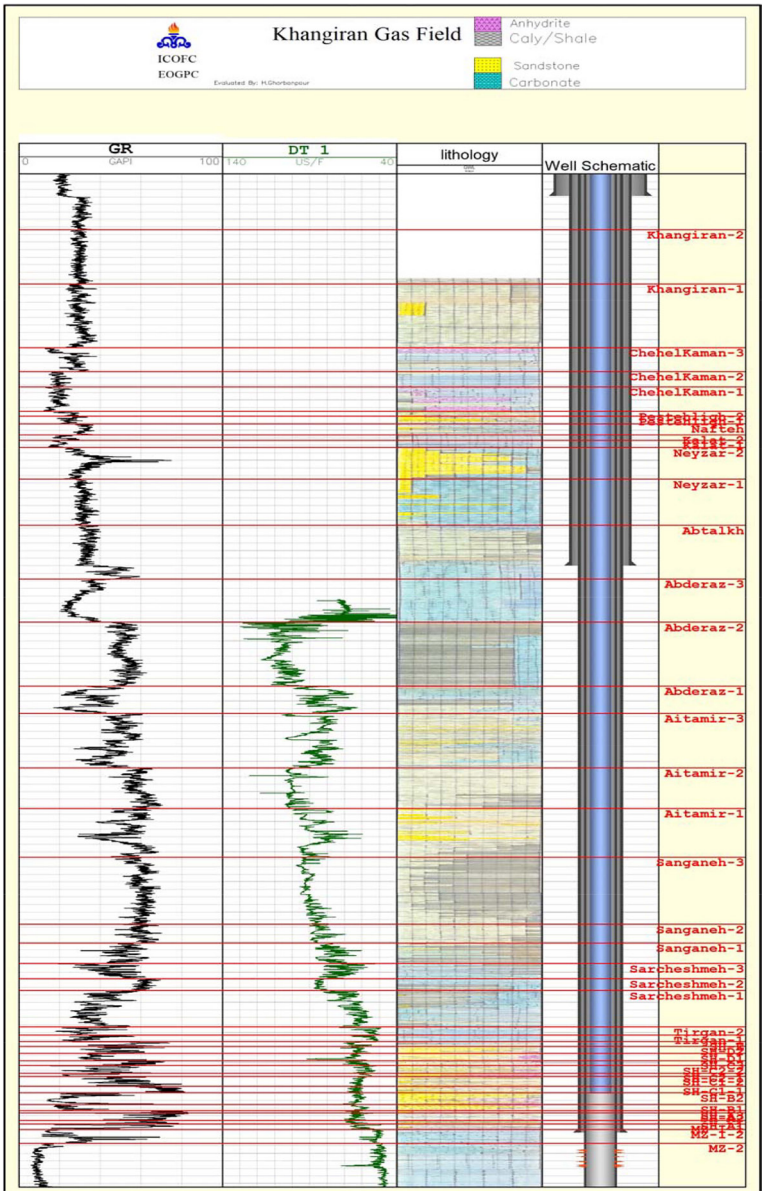
سازند	زون	سازند	زون	سازند	زون	سازند	زون
خانگیران	۱، ۲ و ۳	آیتامیر	۱، ۲ و۳	شوریجه	C2-1	مزدوران	۳
چهل کمان	۱، ۲ و ۳	سنگانه	۱، ۲ و ۳		C1-2		۴
پسته لیق	۱	سرچشمه	۱، ۲ و۳		C1-1		۵
نفته	۱	تیرگان	۱ و ۲		B1 و B2		۶
کلات	۱ و ۲	شوریجه	E		A1 و A2، A3		۷
نیزار	۱ و ۲		D1 و D2	مزدوران	۱-۱		۸
آب تلخ	۱		C3		۱-۲	کشف رود	۱ تا۶
آب دراز	۱، ۲ و۳		C2-2		۲		

به عنوان نمونه، سازند آبدراز به سه زون شماره ۳ (بخش کربناته فوقانی)، شماره ۲ (بخش شیلی میانی) که با یک لایه بسیارکوچک تخریبی از بخش فوقانی خود متمایز می‌شود و شماره ۱ (بخش کربناته-شیلی) زیرین تقسیم‌بندی شده است. بر اساس نمودارهای پتروفیزیکی و شواهد حفاری، در زون ۳ آبدراز برخی از چاه‌ها به میزان کمی گاز مشاهده می‌گردد و کیفیت سیمان‌بندی این زون عمدتاً ضعیف است. در سازند آیتامیر نیز که به سه زون تقسیم‌بندی شده است زیر زون‌های ۱ و ۳ دارای محتوای ماسه‌سنگی بیشتری است و زون ۲ عمدتاً شیلی می‌باشد. در سازند چهل کمان زون‌های ۱و ۳ حاوی کانی انیدریت فراوان و زون ۲ شامل یک کربنات نسبتاً تمیز است. رفتار نمودار دما در سازند چهل کمان به‌خوبی این سه زون را از هم متمایز می‌نماید. از نتایج جانبی این زون‌بندی می‌توان به شناسایی گسل خوردگی و به تبع آن تغییر شدید ضخامت در برخی از چاه‌ها مانند چاه ۴ و ۶۵ (در حدل فاصل سازند تیرگان و شوریجه) و چاه ۷۷ (در حد فاصل زون ۲ و ۳ سازند آیتامیر) و وجود احتمالی یک مرز ناپیوستگی بین زون ۲ و ۳ سازند آبدراز و مابین سازند کلات و نیزار اشاره نمود. تغییر نسبت ضخامت بین زون ۲ و ۳ آبدراز در برخی از چاه‌های خانگیران و وجود یک لایه نازک تخریبی بین این دو زون، شدت بالای نمودار گاما در قسمت فوقانی سازند نیزار، مشاهده خاک‌های دیرینه (پالئوسل) نارنجی رنگ در سطح زمین و مشاهده تراوش نفت در مرز بین سازند کلات و نیزار در سطح زمین (اطراف دهستان بزنگان)، از شواهد وجود این ناپیوستگی‌های احتمالی می‌باشد که پیشنهاد می‌گردد در این خصوص مطالعات جامع‌تری انجام گردد.

لازم به ذکر است در سازند مزدوران به‌دلیل پیچیدگی زیاد، زون‌بندی زون ۴ تا ۸ توسط موئلف هنوز تکمیل نشده است. در سازند کشف رود نیز بر اساس سه حلقه چاه حفاری شده در این میدان، زون‌بندی پتروفیزیکی انجام گردیده ولی چون نمودارهای سیمان‌بندی به دلیل قطرکم لوله آستری رانده شده در این سازند، برداشت نشده است، کیفیت سیمان‌بندی این سازند قابل بررسی نمی‌باشد. در زون‌بندی پتروفیزیکی، اکثر زیر زون‌ها به ترتیب زمان رسوب‌گذاری از قدیم به جدید با اعداد شماره‌گذاری شده‌اند. اما در سازند شوریجه و مزدوران، با توجه به شیوه متفاوت معرفی زون‌های زمین‌شناسی در گذشته [۱۰] و به منظور رعایت نظم و یکپارچگی، زون‌بندی پتروفیزیکی با حفظ اسامی گذشته، اما با جزئیات بیشتری معرفی و جانمایی گردید. به عنوان مثال، زون‌بندی زمین‌شناسی سازند مزدوران از سطح به انتها شامل زون ۱ تا ۸ می‌باشد و در زون‌بندی پتروفیزیکی این سازند، فقط

مکان هر زون در چاه‌ها بهبود یافت. زون‌های کربناته ۲ تا ۵ مزدوران مهمترین بخش‌های مخزنی این سازند می‌باشند. در سازند شوریجه نیز، زون‌های زمین‌شناسی موجود که از انتها به سطح شامل زون‌های A، B، C1، C2، C3، D1، D2 و E می‌باشند به زون‌های پتروفیزیکی A1، A2، A3، B1، B2، C1-1، C1-2، C1-1، C1-2، D1، D2 و E تقسیم‌بندی گردیدند [۱۳]. هر یک از این زون‌ها خواص مخصوص به خود را دارند. به عنوان مثال، زون‌های B و D ماسه سنگی و خواص مخزنی دارند و سایر زون‌های شوریجه غیرمخزنی بوده و از ترکیب شیل، کربنات و اندکی ماسه و انیدریت تشکیل یافته‌اند. زون C2-2 در مرز فوقانی خود با یک لایه انیدریتی آغاز می‌گردد که با مکان معرفی شده از زون زمین‌شناسی C2 متفاوت است.

در شکل ۴ بخشی از ستون سنگ‌شناسی یکی از چاه‌های خانگیران که زون‌بندی فوق بر روی آن پیاده‌سازی شده است نمایش داده شده است. در این شکل به ترتیب از چپ به راست تصویر، نمودار اشعه گاما، نمودار صوتی، نتایج سنگ‌شناسی چاه که توسط زمین‌شناس سرچاه ترسیم می‌شود و شماتیک لوله‌های درون چاه نمایش داده شده است.



شکل ۴ بخشی از ستون سنگ‌شناسی یکی از چاه‌های خانگیران پس از اعمال زون‌بندی پتروفیزیکی.

بررسي كيفيت سيمان‌بندي پشت لوله‌هاي جداري و آستري در سازندهاي مختلف

در این مرحله بر اساس نمودارهای پتروفیزیکی بندش سیمان، کیفیت سیمان‌بندی پشت لوله‌های جداری و آستری ۷۷ حلقه چاه میدان خانگیران مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور به کمک نمودارهایی مانند CBL، SBT، CAST و USIT کیفیت سیمان چسبیده به لوله‌ها و به کمک نمودارهایی مانند VDL کیفیت سیمان چسبیده به سازند مورد ارزیابی قرار گرفت. به‌جز در چند مورد، در اکثر موارد کیفیت سیمان چسبیده به لوله‌ها و سازند رفتاری مشابه با هم داشتند. به عبارتی دیگر، در اکثر موارد، سیمان چسبیده به سازند و لوله‌ها متناظر با هم خوب یا بد بوده است. در جدول ۲ تعداد لوله‌های جداری و نمودارهای سیمان‌بندی برداشت شده در میدان خانگیران آورده شده است. در این تحقیق عمده نمودارهای موجود در بایگانی شرکت نفت و نمودارهای قابل ارزیابی که کیفیت داده‌های برداشت شده آن مناسب بوده‌اند، مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفته است.

جدول ۲ تعداد و نوع لوله‌های جداری و تعداد نمودارهای سیمان‌بندی ارزیابی شده در میدان خانگیران.

نوع لوله جداری یا آستری	۱۳ ۳/۸"	۹ ۵/۸"	۷" جداری	۷" آستری	۵" آستری
تعداد لوله‌ها	۷۶	۷۷	۴۰	۳۴	۱۴
تعداد نمودارهای برداشت شده	۵	۴۶	۳۶	۳۴	۵
تعداد نمودارهای قابل ارزیابی	۲	۴۱	۲۸	۲۸	۵

در جدول ۳ کیفیت سیمان‌بندی پشت جداری و آسترهای مربوط به ۷۷ چاه خانگیران ارائه شده است. این دسته‌بندی به‌صورت کیفی می‌باشد و مبنای تعیین کیفیت بندشِ سیمانِ چسبیده به لوله‌ها، تعریف خط مبناء ثابت بر روی دامنه موج صوتی[۲] ابزار CBL و درست بودن قرائت[۲] TT در هر چاه می‌باشد. مبنای تعیین کیفیت سیمان چسبیده به سازند نیز بر اساس تغییرات شکل و وضوح رنگ موج صوتی بازگشتی از سازند است. شدت رنگ یا کنتراست نمودار VDL رابطه مستقیمی با دامنه[۳] موج بازگشتی دارد. به‌طوری‌که هرچه دامنه نمودار VDL پایین‌تر باشد، شدت رنگ کمتر است و نشان‌دهنده سیمان‌بندی خوب سازند می‌باشد. تغییر شکل امواج موازی نمودار VDL نیز شاخص مهمی برای تعیین کیفیت سینمان‌بندی می‌باشد. چنانچه این امواج با تغییرات لایه‌بندی سنگ‌ها، انحناء پیدا کند (کم یا زیاد می‌شود)، این رفتار می‌تواند نشان‌دهنده کیفیت مناسب سیمان چسبیده به سازند باشد. چراکه سرعت موج در سنگ‌های مختلف متفاوت است و زمان دریافت اولین موج صوتی فشاری، تابع سرعت صوت در آن سنگ است [۱۴]. به بیانی دیگر، چنانچه شکل موج VDL، در دو لایه سنگی مجاور هم با سرعت صوت متفاوت، مانند دولومیت و انیدریت همچنان موازی بماند، آنگاه می‌توان نتیجه گرفت که سیمان بندش خوبی به سازند ندارد. لازم به ذکر است پس از ساطع شدن موج صوتی ۵ فوتی از ابزار VDL، ابتدا موج صوتی از لوله جداری و سیمان، سپس سازند و در نهایت از گل حفاری عبور و به همین ترتیب توسط گیرنده‌های ابزار دریافت می‌گردد. در سازندهایی با سرعت عبور صوت بسیار بالا[۴] (مانند دولومیت‌های ریزبلور و متراکم قسمت فوقانی زون ۱-۱ سازند مزدوران)، زمان رسیدن موج بازگشتی از سازند، زودتر از زمان گذر موج عبوری از سیمان و لوله‌ها به ابزار نمودارگیری می‌رسد و امواج نمودار VDL به سمت چپ تصویر متمایل می‌شوند.

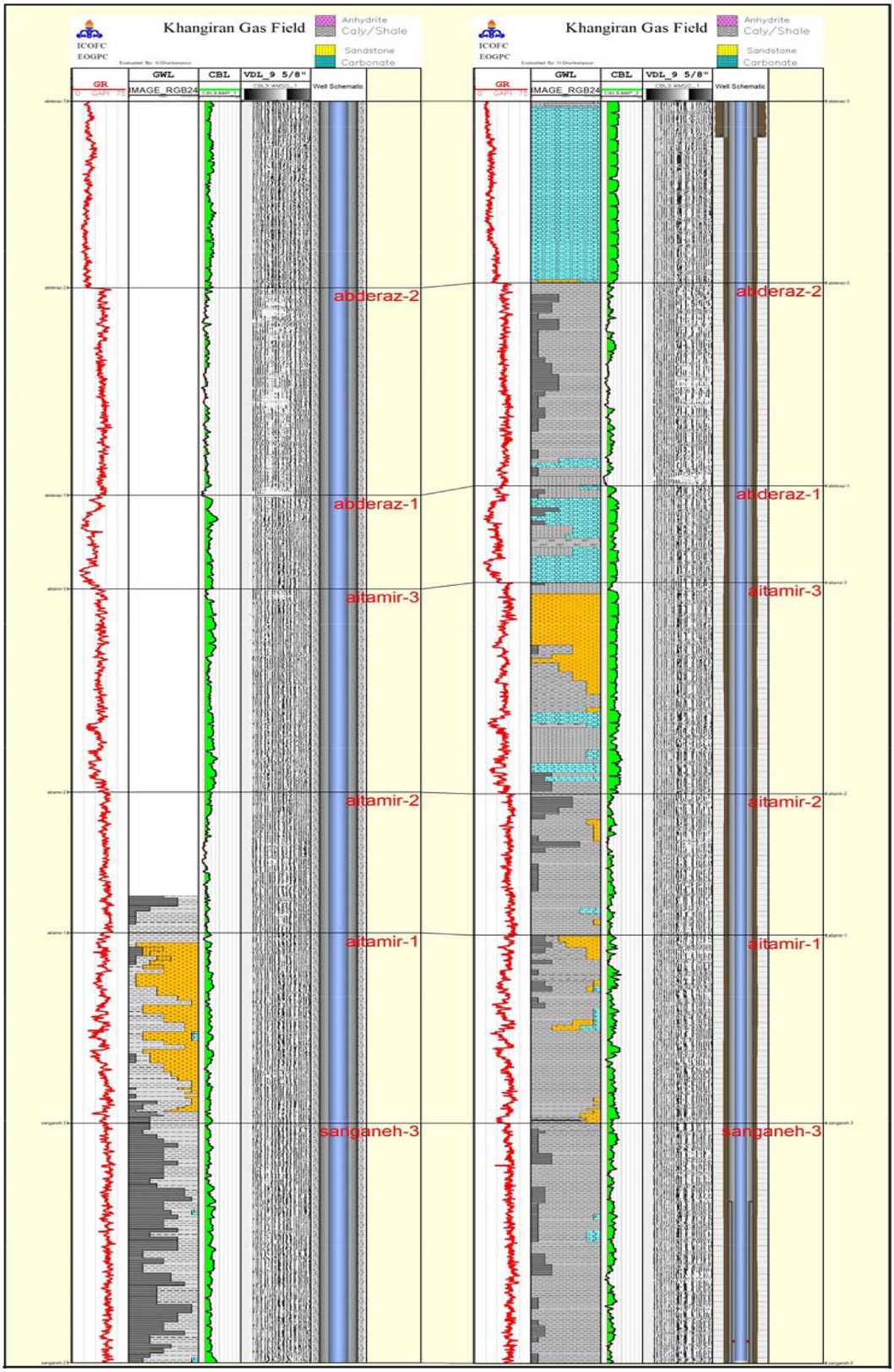
1.Amplitude
2. Transit Time
3. Amplitude
4. Fast Formation

جدول ۳ زون‌هایی که کیفیت سیمان‌بندی مقابل آنها بر اساس بررسی نمودارهای سیمان‌بندی ضعیف تشخیص داده شد.

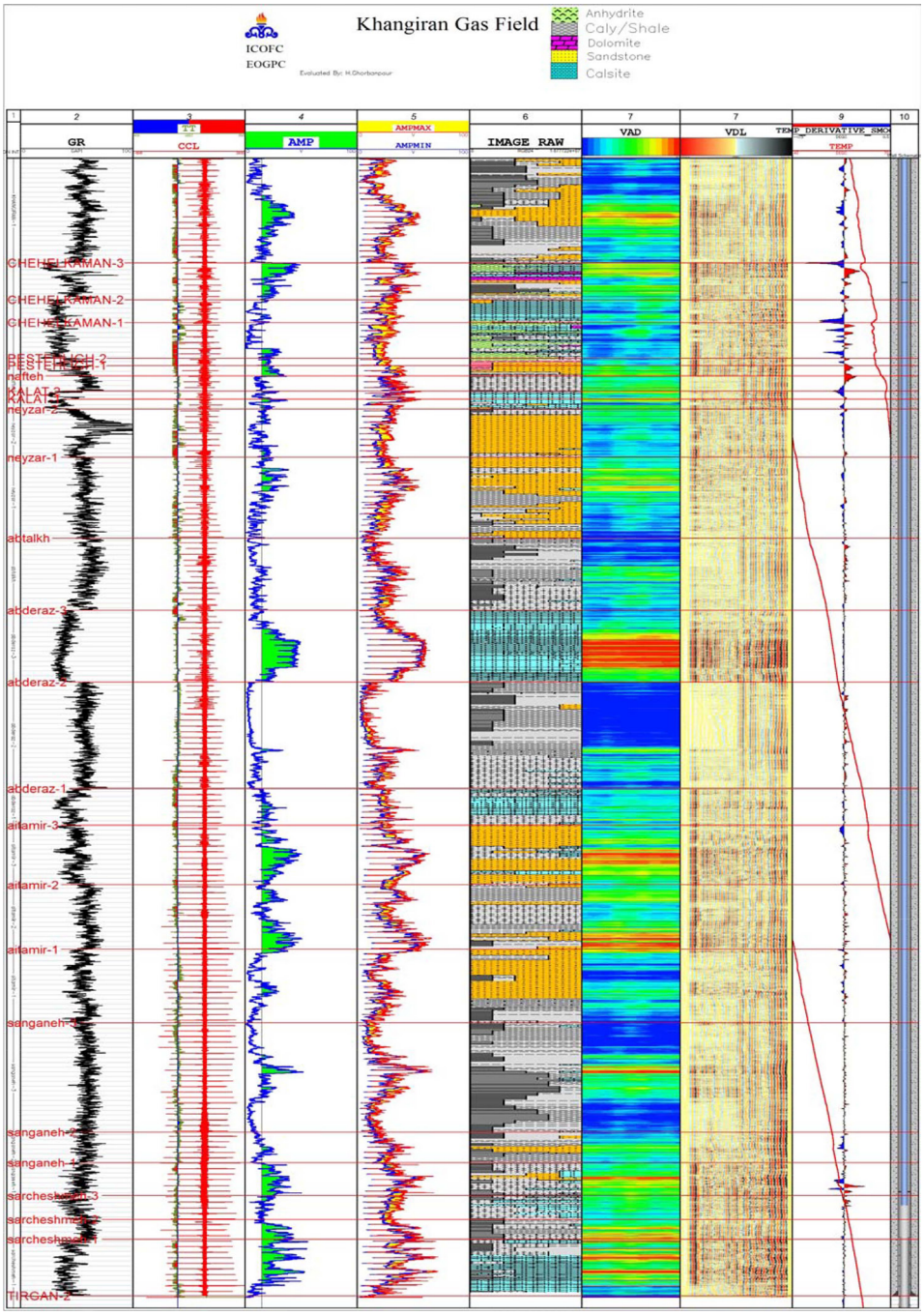
نام سازند	زون‌هایی که معمولاً از کیفیت سیمان‌بندی مناسبی برخوردار نیستند.			
	۱۳ ۳/۸"	۹ ۵/۸"	جداری یا آستری"۷	آستری"۵
خانگیران	۳	۱، ۲ و ۳	این سازندها در پشت لوله‌های فوق قرار ندارند.	
چهل کمان	۳	قسمت زیرین زون ۱ و زون ۳		
پسته لیق	-	۱و۲		
نفته	خوب	خوب		
کلات	۱	قسمت بالای زون ۱		
نیزار	-	قسمت بالای زون ۱		
آب تلخ	خوب	خوب		
آب دراز	-	۱ و ۳		
آیتامیر	-	۱ و ۳		
سنگانه	-	۱ و بخش میانی زون ۳		
سرچشمه	-	۱ و ۲		
تیرگان		۱	۱	-
شوریجه		D2 و B	D2 و B	
مزدوران	در پشت لوله‌های فوق قرار نمی‌گیرد.			

در شکل ۵ به عنوان نمونه تصویری از کیفیت سیمان‌بندی پشت جداری "۵/۸ ۹ دو چاه میدان خانگیران به‌صورت یک نیمرخ عرضی ارائه شده است. این دو چاه با اختلاف زمانی حدود ۴ سال نسبت به هم حفاری شده‌اند و کیفیت سیمان‌بندی پشت لوله‌ها در برخی زون‌ها با هم مشابه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در زون‌های آبدراز ۳، آبدراز ۱ و آیتامیر ۳ کیفیت سیمان‌بندی ضعیف، در زون آبدراز ۲ و آیتامیر ۲ سیمان‌بندی خوب و در زون آیتامیر ۱ و سنگانه ۳ کیفیت سیمان‌بندی متوسط است. در نتیجه فارغ از نحوه عملیات سیمان کاری، همان‌طور که در تصویر مشاهده می‌گردد کیفیت سیمان‌بندی در برخی از زون‌ها رفتاری مشابه با هم دارد.

در اکثر چاه‌های خانگیران لوله‌های جداری " ۳/۸ ۱۳ از سطح زمین تا ابتدای سازند کلات یا تا ابتدای سازند آبدراز رانده شده و در ۵ چاه این میدان نمودار سیمان‌بندی در این جداری برداشت شده است. لازم به ذکر است از آنجایی‌که داده‌های نمودار سیمان‌بندی برداشت شده فوق، عمدتاً از کیفیت مناسبی برخوردار نمی‌باشند، بررسی کیفیت سیمان‌بندی سازندهای واقع در پشت این جداری، شامل سازند خانگیران، چهل کمان، پسته لیق، نفته، کلات، نیزار و آب تلخ بر اساس اطلاعات محدودتری صورت گرفته است. لازم به توضیح است که در لوله‌هایی با قطر زیاد مانند "۳/۸ ۱۳، معمولاً نمودار سیمان‌بندی برداشت نمی‌شود. چراکه اولاً این جداری پوشاننده افق‌های غیرمخزنی فوقانی می‌باشد و ثانیاً عمده ابزارهای سیمان‌بندی بهترین عملکرد خود را در جداری‌های "۷ تا "۵/۸ ۹ دارند. اما خوشبختانه در یکی از چاه‌های خانگیران به خاطر طراحی متفاوت چاه، جداری "۳/۸ ۱۳ حذف و به‌جای آن جداری "۵/۸ ۹ از سطح زمین تا ابتدای سازند تیرگان رانده شده و نمودار RBT-VDL در آنجا برداشت گردید (شکل ۶).



شکل ۵ تصویر کیفیت سیمان‌بندی دو چاه خانگیران مربوط به پشت لوله جداری "۵/۸ ۹.



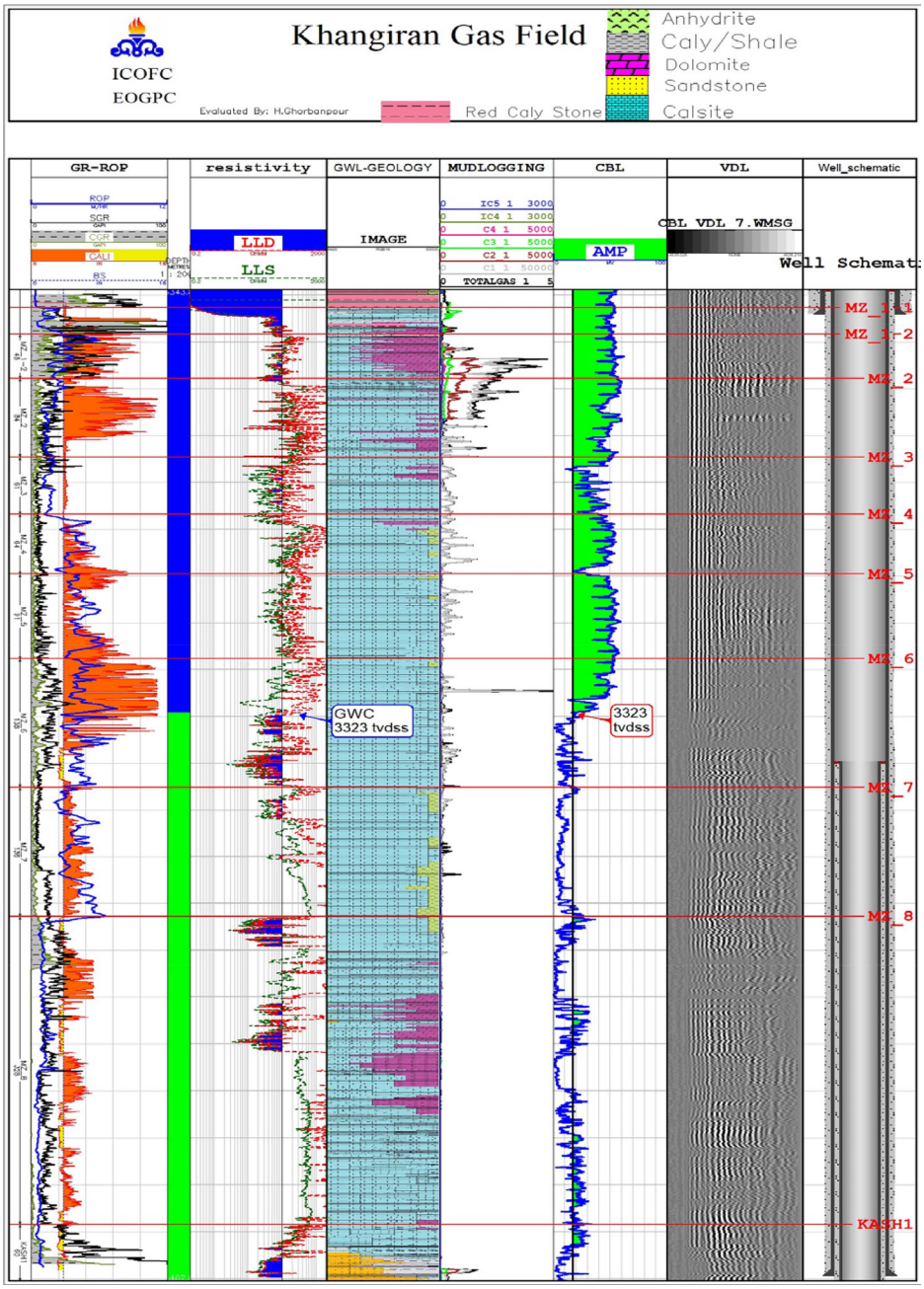
شکل ۶ کیفیت سیمان‌بندی یکی از چاه‌ها که به جای لوله "۳/۸ ۱۳، لوله "۵/۸ ۹ از سطح تا ابتدای تیرگان رانده شده است.

بنابراین برای بررسی کیفیت سیمان‌بندی در حدفاصل سازندهای خانگیران تا کلات از اطلاعات با ارزش RBT-VDL این چاه و اطلاعات CBL-VDL دو چاه دیگر که در جداری "۳/۸ ۱۳ برداشت شده و از کیفیت مناسب‌تری برخوردارند استفاده گردید. در شکل ۶ نتایج کیفیت سیمان زون‌های پتروفیزیکی از سطح زمین تا سازند تیرگان بر اساس نمودار RBT-VDL برداشت شده در جداری "۵/۸ ۹ یکی از چاه‌های میدان خانگیران نمایش داده شده است. در ستون ۲ شکل ۶ نمودار اشعه گاما، ستون شماره ۳ نمودار[1] CCL و TT[2] و ستون شماره ۴، موج صوتی نمایش داده شده است. در ستون ۴، فواصل سبز رنگ پس

1.Casing Collar Locator
2. Transit Time
3. Cement Channeling

از اعمال خط مبناء بر روی دامنه موج صوتی ابزار CBL ایجاد شده است که نشان‌دهنده کیفیت ضعیف سیمان چسبیده به لوله‌های جداری می‌باشد. در ستون ۵، حداقل و حداکثر دامنه موج صوتی بازگشتی حاصل از ابزار RBT نمایش داده شده است. فواصل زرد رنگ نشان‌دهنده عدم همگن بودن سیمان‌بندی اطراف دیواره لوله‌های جداری می‌باشد. در ستون ۶، سنگ‌شناسی فواصل حفاری شده بر اساس گزارش زمین‌شناس سرچاه نمایش داده شده است. در ستون رنگی شماره ۷، کیفیت سیمان در فواصل شعاعی اطراف لوله‌ها به تفکیک رنگ حاصل از ابزار RBT نمایش داده شده است. در این ستون، رنگ زرد و قرمز نشان‌دهنده سیمان‌بندی ضعیف، رنگ سبز نشان‌دهنده سیمان‌بندی متوسط و رنگ آبی نشان‌دهنده سیمان‌بندی خوب اطراف لوله‌های جداری می‌باشد. همان‌طور که در تصویر شکل ۶ مشخص است اولاً مشابه با نتایج چاه‌های ارائه شده در شکل ۵ در زون‌های خاصی کیفیت سیمان‌بندی در این چاه نیز ضعیف است (مانند زون آبدراز ۳) ثانیاً پدیده کانالی شدن سیمان در برخی فواصل قابل مشاهده است مانند زون ۱ سازند چهل کمان و زون ۲ سازند خانگیران. پدیده کانالی شدن در ستون ۷ به‌صورت یک رنگ ممتد سبز در بازه‌های عمقی خاصی قابل تمایز است. نمودار VDL نیز که در ستون ۸ نمایش داده شده نشان‌دهنده کیفیت سیمان چسبیده به سازند بوده که در این چاه رفتاری متناظر با نمودار CBL و سیمان چسبیده به لوله‌های جداری دارد. همچنین در ستون ۹، نمودار مشتق دمای برداشت شده پس از تکمیل و بهره‌برداری این چاه به‌صورت تفکیک رنگی (سرد شدگی آبی و گرم شدگی قرمز رنگ) نمایش داده شده است که نشان‌دهنده جریانات افقی درون سازندی یا تبادل عمودی جریانات بین لایه‌ای می‌باشد. دامنه نتایج بررسی چاه‌های میدان خانگیران نشان می‌دهد که عمدتاً در فواصل متخلخل و تروای سازند، به خصوص در فواصل حاوی گاز، کیفیت سیمان‌بندی ضعیف تا متوسط است ولی در سازندهای متراکم و شیلی کیفیت سیمان‌بندی نسبتاً خوب می‌باشد. بنابراین شاید بتوان از این نمودارها نیز جهت تشخیص برخی از فواصل متخلخل و نفوذپذیر بهره جست. به‌نظر می‌رسد دلیل اصلی سیمان‌بندی ضعیف در فواصل متخلخل، ترخیص فشار اعمالی به سیمان قبل از سفت شدن کامل آن و ورود سیال از سازندهای متخلخل به درون سیمان در حال بندش باشد. پس از پمپاژ سیمان به پشت لوله‌های جداری، به مرور که سیمان شروع به سفت شدن می‌کند، فشار هیدرواستاتیک دوغاب پشت سیمان کاهش می‌یابد و در همین زمان، گاز یا سیال پرفشار از سازندهای دارای تخلخل و نفوذپذیری وارد سیمان شده و کانال ایجاد می‌گردد. لازم به ذکر است نتایج مطالعه دیگری نشان می‌دهد [۱۵] به‌طور کاملاً بالعکس، وقتی به جهت راندن لوله آستری کوتاه[1]، در قسمت حفره باز چاه، مگنست (سیمان گچی) قرار داده می‌شود و سپس این مگنست با مته تمیز و چاه به‌صورت حفره باز تکمیل می‌گردد، در فواصل متخلخل و ریزشی، مگنست همچنان بر روی دیواره چاه باقی می‌ماند ولی در فواصل فاقد تخلخل، کاملاً از روی دیواره چاه کنده شده و شسته می‌شود. مشابه این اتفاق در سنگ نمای ساختمان قابل مشاهده است. به‌طوری‌که اگر فضای پشت سنگ نما دارای خلل و فرج نباشد، پس از مدتی سنگ از جای خود کنده شده و به زمین می افتد. در شکل ۷ تصویر یکی از چاه‌های خانگیران که نمودار CBL-VBL در درون جداری "۷ (مقابل سازند مزدوران) برداشت شده، نمایش داده شده است. نتایج بررسی این چاه نشان می‌دهد که کیفیت سیمان‌بندی در قسمت‌های فاقد تخلخل و در زیر سطح تماس آب و گاز (عمق ۳۳۲۳ tvdss) سازند مزدوران خوب است ولی پس از اینکه وارد زون‌های مخزنی و گازدار فوقانی مزدوران می‌شویم (بر اساس نتایج نمودارهای Fullsuite و نمودارهای mudlogging) کیفیت سیمان‌بندی به‌شدت کاهش می‌یابد. لذا شاید بتوان از نتایج نمودار CBL-VBL نیز جهت کمک به شناسایی سطح تماس در چاه‌های مختلف کمک گرفت.

1. Cement Channeling



شکل ۷ کیفیت سیمان‌بندی سازند مزدوران در پشت لوله جداری "۹ ۵/۸

دلایل احتمالی کیفیت نامناسب سیمان‌بندی در برخی از سازندها و زون‌ها

سازند خانگیران

به دلیل ریزش شدید زون‌های شیلی و گچی در زمان حفاری و عدم برداشت نمودار قطرسنج در این سازند، معمولا حجم سیمان مورد نیاز با عدم قطعیت همراه است. ولی با این وجود معمولاً برگشتی سیمان از پشت جداری "۱۳ ۳/۸ به سطح مشاهده می‌گردد. اما نکته مهم در این سازند این است که آب موجود در گل حفاری سبب آماس کردن رس‌های گروه اسمکتیت [۱۶] موجود در سازند خانگیران شده و در اثر پوسته پوسته و سست شدن سنگ‌های دیواره چاه، سیمان چسبیده به سازند بندش مناسبی نخواهد داشت. در سه زون این سازند به‌خصوص در فواصل ماسه سنگی زیرین کاهش کیفیت بندش سیمان مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است، گاهی نتایج نمودار CBL، به ظاهر

بندش خوب بین سیمان و لوله‌ها را نشان می‌دهد ولی نمودار VDL کیفیت خوب سیمان چسبیده به سازند را تأیید نمی‌کند. به نظر می‌رسد در برخی از زون‌های شیلی این سازند، آماس کردن شیل و چسبیدن آن به لوله‌ها، سبب تشخیص اشتباه سیمان‌بندی خوب می‌گردد.

سازند چهل کمان

به دلیل وجود حجم بالای آب در این سازند کربناته، کیفیت سیمان‌بندی در فواصل متخلخل قسمت زیرین زون ۱ و در زون ۳ پایین است.

سازند کلات

به دلیل تراوایی بالا و وجود شکستگی‌های طبیعی (به خصوص در زون ۱) و شکستگی‌های ناشی از حفاری، سیمان تزریقی به پشت لوله‌های جداری معمولاً وارد فضاهای تراوای این سازند شده و سبب هرزروی سیمان و درنهایت، کیفیت نامناسب سیمان‌بندی در مقابل این سازند و سازندهای فوقانی آن می‌شود.

سازند آبدراز

در زون کربناته و مارنی فوقانی این سازند عمدتاً کیفیت سیمان‌بندی ضعیف است (زون ۳). دلیل این رویداد احتمالاً وجود سیال پرفشار گازی در زون ماسه سنگی (۱ الی ۲ متری) واقع در حد مرز زون ۲ و ۳ آبدراز می‌باشد که سبب کاهش چگالی سیمان و کیفیت پایین سیمان‌بندی در زون ۳ می‌گردد.

سازند آیتامیر

عمدتاً در فواصل متخلخل سازند آیتامیر به‌خصوص بخش‌های ماسه سنگی زون ۳ کیفیت سیمان‌بندی ضعیف می‌باشد.

-سازند سنگانه

عمدتاً در فواصل متخلخل این سازند به‌خصوص بخش ماسه سنگی زون ۱ کیفیت سیمان‌بندی ضعیف می‌باشد.

سازند سرچشمه

در زون کربناته-مارنی ۱ و در برخی مواقع در زون شیلی ۲ سرچشمه معمولاً کیفیت سیمان‌بندی ضعیف می‌گردد. لازم به ذکر است در برخی از چاه‌های خانگیران، گاز تزریقی به سازند شوریجه به دلیل کیفیت بد سیمان‌بندی لوله‌های جداری، از فضای پشت لوله‌ها به سمت بالا حرکت کرده و وارد برخی از سازندهای فوقانی خود از قبیل سازند تیرگان، سرچشمه و سنگانه می‌گردد. گاز وارد شده به سازند سرچشمه می‌تواند در ادامه مسیر خود با حرکت جانبی در درون لایه‌های متخلخل این سازند به اطراف محدوده چاه رسیده و در نتیجه باعث پایین آمدن کیفیت سیمان مقابل این سازند در حفاری چاه‌های اطراف گردد.

سازند تیرگان

به‌دلیل ماهیت شکننده کربنات‌های این سازند، ریزش‌های زیادی به‌صورت متقارن[1] در آن اتفاق می‌افتد. این سازند بسیار پرفشار بوده و نفت محدود موجود در آن سبب کاهش کیفیت سیمان به‌خصوص در زون ۱ و قسمت فوقانی زون ۲ در برخی از چاه‌ها شده است.

سازند شوریجه

در برخی از چاه‌های خانگیران، در بخش‌هایی از زون‌های مخزنی شوریجه، گاهاً سیمان‌بندی ضعیف است. به‌عنوان مثال بخش‌های متخلخل زون D1 و D2 و بخش زیرین زون B1. در برخی از چاه‌هایی که عمدتاً با گل پایه آبی حفاری شده‌اند، گاهاً سیمان‌بندی بخش‌های شیلی A, C, E نیز خراب است.

سازند مزدوران

در برخی از زون‌های متخلخل و نفوذپذیر برخی چاه‌ها که حاوی سیال گازی می‌باشند، سیمان‌بندی ضعیف است.

راهکارهاي پیشنهادي جهت بهبود کیفیت سیمان‌بندي

اساساً سیمان‌کاری در پشت لوله‌های جداری یا آستری به

1. Breakout

دلایل اصلی ۱- جلوگیری از حرکت سیال در پشت لوله‌ها و ۲- مقام‌سازی لوله‌ها در برابر خوردگی خارجی ۳- کاهش فشار وارده از سیال درون‌سازندی به لوله‌ها ۴- کاهش فشار ناشی از آماس کردن لایه‌های شیلی و ۵- کاهش فشار ناشی ازحرکت لایه‌های تبخیری به سمت لوله‌های جداری صورت می‌پذیرد. پس از انتخاب نوع سیمان که با توجه به شرایط هرچاه (به‌خصوص دما و فشار) تعیین می‌شود، حجم دوغاب سیمان به میزان ۲۰ تا ۵۰٪ بیشتر از حجم فضای خالی پشت لوله‌ها ساخته شده و توسط پمپ تراک به درون چاه پمپاژ می‌شود. سپس با قرار دادن سیال حفاری بر روی سیمان و اعمال فشار بر آن، سیمان به فضای پشت لوله‌ها تزریق می‌گردد. اعمال فشار تا زمانی ادامه می‌یابد که تمامی سیمان به فضاهای خالی تزریق و برگشت سیمان در سطح زمین مشاهده گردد. پس از مشاهده برگشت سیمان در سطح شیرهای سطحی بسته شده و فشار پمپ تراک ترخیص می‌شود. در این زمان سیمان پشت لوله‌ها با توجه به چگالی بیشتر نسبت به گل حفاری تمایل به بازگشت به پایین و به درون فضای داخلی لوله‌ها را داشته (جریان معکوس) ولی چون در انتهای چاه یک دریچه یک‌طرفه قرار دارد (LDC[1]) سیمان در جای خود ثابت می‌ماند و پس از طی مدت زمانی خشک می‌گردد. در شکل ۱ تصویری ساده از نحوه سیمان‌کاری چاه های نفت و گاز ارائه گردید.

به‌طور کلی جدا از مسئله نیاز به استفاده از سیمان مرغوب و افزایه‌های مناسب که یک اصل اساسی در سیمان‌کاری چاه‌ها می‌باشد، سه راهکار اصلی جهت بهبود سیمان‌کاری چاه‌های میدان خانگیران پیشنهاد می‌گردد که عبارتند از ۱- تغییر عمق مکان قرارگیری پاشنه جداری، ۲- بر طرف نمودن هرزروی کامل گل قبل از شروع تزریق سیمان و ۳- حفظ فشار اعمالی توسط پمپ تراک تا حداکثر زمان ممکن. به نظر می‌رسد پس از تزریق سیمان به فضای پشت لوله‌ها و ترخیص فشار اعمالی از سوی پمپ تراک، سیال درون زون‌های متخلخل سازند بر فشار هیدرواستاتیک ناشی از وزن سیمان غلبه کرده و وارد فضای پشت لوله‌ها در مکانهای متخلخل می‌شوند که در نتیجه آن چگالی سیمان کاهش یافته و قسمتی از سیمان به بالا و پایین این زون‌های متخلخل منتقل می‌شود. لذا، در مشاهدات عینی مشاهده می‌گردد کیفیت سیمان‌کاری در برخی زون‌های متخلخل چاه‌های خانگیران ضعیف است ولی کیفیت سیمان در بالا و پایین آن زون مطلوب است. با توجه به کلیات فوق و خصوصیات زمین‌شناسی سازندهای واقع در میدان گازی خانگیران، برخی موارد پیشنهادی برای بهبود سیمان‌بندی به شرح زیر ارائه می‌گردد.

جداري "۲۰ -سازند خانگیران

-پاشنه جداری "۲۰ در انتهای سازند خانگیران حد مرز آن با سازند چهل کمان قرار داده شود و در حفاری این سازند از گل‌هایی که سبب ریزش یا آماس کردن شیل می‌گردد، استفاده نگردد.

-به منظور تخمین درست حجم سیمان مورد نیاز، پس از اتمام حفاری و قبل از جداری گذاری، قطر چاه توسط نمودارهای قطر سنج چند بازویی مانند 4arm caliper محاسبه شود.

-سیمان‌بندی مناسب جداری "۲۰، همچنین سبب کاهش خطر نشست زمین در اثر جریان یافتن احتمالی آب از اعماق پایینی در فضای پشت لوله‌های جداری به سطح زمین می‌شود.

جداري "۱۳ ۳/۸ -سازند کلات

-پاشنه جداری "۱۳ ۳/۸ دقیقاً در مرز سازند کلات و نفته قرار داده شود تا سیمان تزریقی به پشت جداری "۱۳ ۳/۸ وارد فضای احتمالی شکستگی‌های سازند کلات نشود. اگر پاشنه این جداری پایین‌تر از این سازند و به‌طور خاص پایین‌تر از زون متخلخل شماره ۱ قرار داده شود احتمال دارد بخش عظیمی از سیمان تزریقی وارد سازند کلات شده و سازندهای

1. Latch down Collar

فوقانی شامل نفته، پسته لیق و چهل کمان، فاقد سیمان بماند. اما اگر سازند کلات در پشت جداری "۵/۸ ۹ قرار داده شود، این سازند در انتهای مسیر تزریق سیمان قرار خواهد گرفت و برفرض که سیمان این حد فاصل ضعیف هم باشد، نهایتاً ارتباط فشاری بین دو لوله جداری "۵/۸ ۹ و "۳/۸ ۱۳ از منشاء سازند کلات را خواهیم داشت و در عوض از ارتباط بین سازندی جلوگیری خواهد شد. برای بر طرف نمودن ارتباط بین این دو دالیز نیز می‌توان حجم سیمان مورد نیاز برای پشت جداری "۵/۸ ۹ را بسیار بیش از نیاز لازم در نظر گرفت. و پس از اتمام سیمان کاری نیز در صورت لزوم، در سطح زمین به روش Top Job، از فضای بین دو جداری سیمان به درون چاه تزریق نمود.

- در همه لوله‌ها حتی جداری "۳/۸ ۱۳ نمودار بندش سیمان برداشت شود و ترجیحاً از ابزارهای آزیموتال که سیمان‌بندی را در ۱۸۰ درجه شعاع اطراف لوله‌ها نمایش می‌دهد استفاده گردد. مانند نمودار SBT.

- جهت تخمین دقیق دمای ستون چاه از ابزارهای نمودارگیری دما با حساسیت بالا استفاده گردد.

جداري "۵/۸ ۹ -سازند تیرگان

- پاشنه جداری "۵/۸ ۹ در ابتدای سازند تیرگان و مرز آن با سازند سرچشمه قرار داده شود.

-جهت جلوگیری از گاززدگی سیمان در سازند آبدراز، فشار پمپ تراک تا حد امکان حفظ شود. همچنین افزایه‌های سیمان به‌گونه ای انتخاب شوند که تا حد امکان زمان بندش سیمان کاهش یابد.

-در زمان حفاری سازندهای کلات تا انتهای سازند سرچشمه از گل‌های که سبب ریزش یا آماس کردن شیل می‌گردد استفاده نگردد. به‌عنوان مثال برای جلوگیری از احتمال گیر لوله‌های حفاری در سازند آب تلخ، از گل پلیمری مناسب در حفره "۱/۴ ۱۲ استفاده گردد.

جداري يا آستري "۷ -سازند شوريجه

-پاشنه جداری "۷ در انتهای زون ۱-۱ سازند مزدوران قرار داده شود.

-در زمان حفاری سازندهای تیرگان، شوریجه تا انتهای زون ۱-۱سازند مزدوران، از گل پایه نفتی یا پلیمری استفاده شود.

-از آنجایی‌که سازند تیرگان و زون ۱ مزدوران معمولا پرفشار می‌باشند و این دو بخش در طراحی پیشنهادی جداری "۷، به‌ترتیب در قسمت فوقانی و تحتانی این جداری قرار می‌گیرند. تلاش شود از سیمان سنگین و مقاوم در برابر گاز ترش برای قسمت پاشنه این جداری (محدوده زون ۱ مزدوران) استفاده شود و فشار پمپ تراک تا زمان بیشتری حفظ گردد. شایان ذکر است سیمان سنگین ممکن است سبب شکست سازند گردد، پمپاژ آن به درون چاه دشوار است و زمان بندش کوتاه‌تری نیز دارد. لذا استفاده از آن با ریسک‌های عملیاتی خاص خود همراه می‌باشد.

سازند مزدوران

-پیشنهاد می‌گردد این سازند به‌صورت حفره باز با مته "۱/۸ ۶ حفاری گردد. اما اگر افزایش تولید و توان چاه اولویت بیشتری داشته باشد، آنگاه می‌توان پاشنه جداری "۳/۸ ۱۳ را در ابتدای سرسازند آبدراز و پاشنه جداری "۵/۸ ۹ را در انتهای زون ۱-۱ مزدوران نصب و سازند مزدوران را با مته بزرگتری مانند "۱/۲ ۸ حفاری شود.

-در صورت قرارگیری چاه در محدوده پرتنش و احتمال ریزش سنگ یا بهم آمدگی ستون چاه، از لوله آستری سوراخ‌دار[1] برای پوشاندن قسمت‌های حفره باز چاه در سازند مزدوران استفاده شود [۱۷].

اساساً طراحی محل پاشنه جداری، بر مبنای دو شاخصه مهمّ، میزان فشار سیالات و فشار شکست سازند صورت می‌پذیرد. اگر فشار هیدرواستاتیک ناشی از وزن سیالات حفاری زیاد باشد، ممکن است سبب شکست سازندهای کمتر مقاوم گردد. مثلاً اگر پاشنه جداری "۳/۸ ۱۳ در ابتدای سازند کلات گذاشته شود و قرار باشد حفاری تا انتهای سازند

1. Slotted Liner

شوریجه با مته "۱/۴ ۱۲ ادامه یابد، احتمال شکست سازند نیزار با توجه به گل‌های سنگینی که برای غلبه بر فشار سازند تیرگان مورد استفاده قرار می‌گیرد زیاد است (گل تا وزن pam ۱۰۰). بنابراین در صورتی می‌تواند از گل سبک تر استفاده نمود و سازند نیزار را با لوله جداری نپوشاند که حفاری با مته "۱/۴ ۱۲ در ابتدای سازند پرفشار تیرگان متوقف و پاشنه جداری "۵/۸ ۹ در این مکان قرار گیرد. سپس سازند شوریجه با مته "۱/۲ ۸ حفاری گردد. این روش حفاری، برای چاه‌های تولیدی از سازند شوریجه مناسب است ولی برای چاه‌های تولیدی از مزدوران چنانچه حفاری به شیوه پیشنهادی فوق برنامه‌ریزی شود، آنگاه قاعدتاً سازند شوریجه را باید با لوله جداری "۷ بپوشانیم و مزدوران را با مته "۱/۸ ۶ حفاری نمائیم که در نتیجه آن دبی تولیدی چاه نسبت به حفره "۱/۲ ۸ کاهش خواهد یافت. لازم به ذکر است طراحی و جابه‌جای محل پاشنه لوله‌های جداری تابع عوامل مختلفی است و ملاحظات دیگری از جمله زاویه چاه، مباحث اقتصادی و غیره نیز وجود دارد که اهمیت بحث سیمان را تحت شعاع خود قرار می دهد [۱۸].

نتیجه‌گیری

در این مقاله تلاش شد تا خواننده محترم با این مطالب آشنا گردد که علاوه بر کیفیت سیمان و روش سیمان‌کاری، سازندهای زمین‌شناسی نیز برکیفیت بندش سیمان تاثیرگذار است. برای این منظور ابتدا سازندهای واقع در چاه‌های میدان گازی خانگیران زونبندی گردید و زون‌هایی که عمدتاً کیفیت سیمان‌بندی در مقابل آنها خوب یا بد است معرفی شدند. سپس دلایل احتمالی آن بررسی و در نهایت برخی از رهکارهای بهبود سیمان‌بندی ارائه گردید. اهم نتایج به قرار زیر است.

۱-عموماً در زون‌های متخلخل، پرفشار و گاز دار سازندهای واقع در میدان خانگیران کیفیت سیمان‌بندی ضعیف است و همواره زون‌های خاصی از سازندهای میدان گازی خانگیران از سیمان‌بندی مناسبی برخوردار نمی‌باشند مانند آبدراز ۳.

۲-در برخی از فواصل شیلی مانند سازند خانگیران به‌دلیل آماس کردن رس‌ها و چسبیدن آن به لوله‌های جداری، به ظاهر تصور می‌شود که سیمان‌بندی مطلوب است ولی در واقع این چنین نیست.

۳-در چاه‌های حفره باز که جهت راندن آستری کوتاه، درون ستون چاه مگنست (سیمان گچی) گذاشته و سپس حفاری و شسته می‌شود. در زون‌های متخلخل و ریزشی حفره باز چاه، مگنست به دیواره چاه چسبیده باقی می‌ماند ولی در زون‌های فاقد تخلخل از دیواره چاه کنده شده و شسته می‌شود.

۴-در چاه‌های زاویه‌دار، گاهاً نتایج سیمان‌بندی، دارای خطای زیادی می‌باشد. در این گروه از چاه‌ها، بدلیل نشست لوله‌های جداری بر روی دیواره چاه و نشست ابزار نمودارگیری بر روی سنترلایزر خود، سازند چسبیده به لوله‌های جداری یا آستری، به اشتباه به‌صورت سیمان‌بندی خوب ظاهر می‌شود.

۵-شاید بتوان از نمودارهای ارزیابی بندش سیمان جهت تشخیص برخی از فواصل متخلخل و نفوذپذیر و تعیین سطح تماس آب و گاز در چاه بهره جست.

۶-معمولاً کیفیت سیمان‌بندی در نزدیکی پاشنه لوله‌های جداری یا آستری مطلوب است ولی هر چه به سمت بالا حرکت می‌کنیم به‌دلیل ترکیب با سیال و خرده‌های سنگی سازندی از کیفیت آن کاسته می‌شود.

۷-بر اساس نتایج جانبی زون‌بندی پتروفیزیکی، احتمال وجود یک ناپیوستگی زمین‌شناسی بین زون ۲ و ۳ آب دراز و مابین سازند کلات و نیزار وجود دارد. همچنین عملکرد گسل خوردگی در سازند آیتامیر چاه ۷۷ و مابین سازند تیرگان و شوریجه چاه ۴ و ۶۵ مشهود است.

مراجع

[۱]. میرزایی ف، زمانیان ب (۱۳۹۵)، کتاب اصول سیمانکاری چاه‌های نفت و گاز، انتشارات سروش هدایت، ۳۳-۴۸.

[۲]. قجری ع، منوریان م، مجتهدی م (۱۳۹۳)، طراحی و ساخت یک نمونه دوغاب سیمان بهینه به منظور جلوگیری از پدیده مهاجرت گاز از طریق دوغاب سیمان چاه‌های گازی خانگیران، دو ماهنامه پژوهش نفت، ۲۴: ۷۷، ۱۴۸-۱۵۶.

[۳]. سلطانیان ح (۱۳۸۴)، علل مهاجرت گاز در داخل دوغاب سیمان و راه‌های درمان آن، دو ماهنامه پژوهش نفت، ۱۵: ۵۱، ۴۵-۵۳.

[۴]. سایت شرکت نمودارگیری شلمبرژر، www.slb.com.

[5]. Smith D k (1990) API oilwell cementing practices, SPE Book, SPE Monograph Series, 4, doi.org/10.4043/6210-MS.

[6]. William E, Jackson (2001) Casing and Cementing, Book, Publication by PETEX, University of Austin, Texas.

[۷]. شادی‌زاده س، صالحی م ح، جعفری آذر ا، علی محمدی ع (۱۳۸۷) بررسی دلایل بروز مشکل نشت از جداری‌ها و آستری‌های نصب شده در لایه‌های کلیدی سازند پرفشار گچساران در میادین کوپال و مارون، اولین کنگره ملی صنعت حفاری، doi:NIDIC01-003

[۸]. افشار حرب ع (۱۳۷۳) کتاب زمین‌شناسی ایران: زمین‌شناسی کپه داغ، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.

[9]. Kavoosi M A, Lasemi Y, Sherkati S, Mosavi-Harami R (2009) Facies analysis and depositional sequencesof the upper jurassic mozduran formation a carbonate reservoir in the kopet dagh basin, NE IRAN, Journal of Petroleum Geology, 32, 3: 235-260, doi.org/10.1111/j.1747-5457.2009.00446.x.

[۱۰]. شرکت نفتکاو (۱۳۸۹) مطالعه بروز رسانی میدان خانگیران و شرکت نفت کیش(۱۳۹۹)، مطالعه بروز رسانی میدان خانگیران.

[۱۱]. مطیعی ه (۱۳۹۹) چارت چینه‌شناسی کپه داغ.

[۱۲]. انجمن زمین‌شناسی ایران (۱۳۷۴) مچارت زمین‌شناسی ایران.

[۱۳]. قربانپور ح (۱۳۹۶) گزارش زونبندی پتروفیزیکی سازند شوریجه در میدان گازی خانگیران، شرکت بهره‌برداری نفت و گاز شرق.

[۱۴]. میرزایی ف، رجبی م (۱۳۹۵) کتاب ارزیابی نمودارهای بندش سیمان، انتشارات سروش هدایت.

[۱۵]. قربانپور ح (۱۳۹۸) ارزیابی بهتر نواحی تولیدی در میدان گازی خانگیران با استفاده از مقایسه نمودار قطر سنج و اشعه گامای طبیعی سنگ برداشت شده در حین حفاری و پس از بهره‌برداری از چاه. مقاله، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۱۶۹، JR_EKTESHAF-1398-169_003.

[۱۶]. فیروزیان م (۱۳۹۱) بایواستراتیگرافی بخش تحتانی سازند خانگیران بر مبنای برش الگو، روستای یاقل، شمال شهر درگز، غرب حوضه کپه داغ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

[۱۷]. بهاری ا (۱۴۰۰) آستری‌های شکاف دار/مشبک شده و بررسی کاربرد احتمالی آنها در دو میدان گازی ایران، مقاله، ماهنامه اکتشاف و تولید، ۱۴۰۰: ۱۹۰، 20.1001.1.25381652.1400.1400.190.4.7،

[۱۸]. رحمن م، نوری‌زادگان ه (۱۳۹۳) کتاب طراحی رشته لوله‌های درون چاهی نفت و گاز و اتصالات آن، شرکت ملی نفت، مدیریت توسعه منابع انسانی.

Petroleum Research
Petroleum Research, 2023(April -May), Vol. 33, No. 128, 12-15
DOI: 10.22078/pr.2020.4018.2829

Different Qualities of Cement Banding in Geological Formations of Khangiran Gas Field, NE Iran

Hamed Ghorbanpour[1]*, Amir Naqibi[2], Mehdi Alaviyan[3] and Abouzar Bahari[4]
1. East oil and Gas Production company (EOGPC), Iran
2. Petroleum Engineering department, Iranian Central Oil Fields Company (ICOFC), Iran
3. Technical Management department, East Oil and Gas Production Company (EOGPC), Iran
4. Petroleum Engineering department, East oil and Gas Production Company (EOGPC), Iran
ghorbanpour_geo@yahoo.com
DOI:10.22078/PR.2022.4901.3191

Received: August/27/2022 Accepted: December/23/2022

Introduction

In oil and gas wells, the quality of cementation behind the casing and liners has a significant role in maintaining safe production and reducing costs due to possible future repairs of the wells. Proper cementing prevents interlayer flows behind the casing. It also reduces the severity of corrosion of the outer surface of casing, prevents leakage of the annulus and the edge of liners, prevents water movement from deep to the upper reservoir zones of the space behind the pipes. Moreover, it prevents subsidence, due to the infiltration of water from deep into the surface layers of the earth. The results of this study show that apart from the method of cementing operations and cement compositions, the property of rock and fluid also affects the quality of cementation. In drilled wells of Khangiran gas field, mainly the quality of cementation in certain zones of sedimentary formations is inappropriate [1]. In this study, after applying petrophysical zoning on the formations of Khangiran Field, first the sub-zones in which the quality of cementation is usually low like the zone 3 of Abderaz Formation, were identified. Then, the possible reasons for this event were investigated. For example, existence of high permeability in zone 1 of Kalat Formation, and finally, some suggested solutions to prevent the recurrence of this phenomenon in drilling future wells were presented such as changing the depth of casing point. The most important zones in which cementing are weak include porous and permeable zones and gas zones.

Result and Discussion

This research was performed for drilled geological formations of Khangiran gas wells. This field is located in the north east of Iran in Kopehdagh sedimentary structure. At present, two layers, Mozdouran (sour gas) and Shourijeh (sweet gas) are producing gas in this field. Figure 1 indicates the Location map of Khangiran Gas field. Figure 2 also shows the Stratigraphic chart of Kopehdagh region [2,3].

In this study, initially, based on geological, petrophysical, drilling and reservoir properties of Khangiran formations, such layers were divided into several different petrophysical zones. Afterwards, the cement bond quality behind the casing of such zones was investigated in 77 wells of Khangiran field with the help of CBL, USIT, RBT, CAST and VDL logs, and the common zones that did not possess the proper cement quality were detected. Thereafter, the reasons of low-quality cement bonding from the view of petrological characteristics, Temperature, pressure and the type of fluids inside these zones was analyzed. Moreover, the effect of casing setting depth design in various formations on the quality of cement bond was researched, as well. Figure 3 represents the cementation quality log in a well of Khangiran gas field.

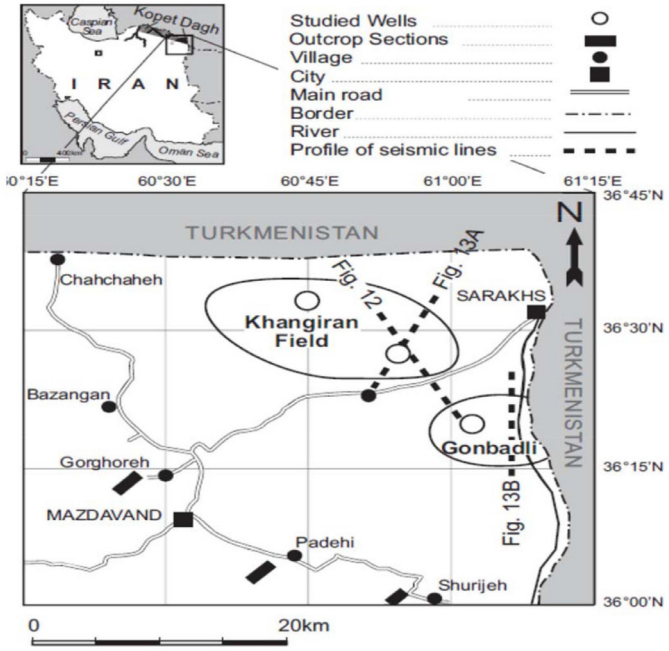


Fig. 1 Location map of Khangiran Gas field [1].

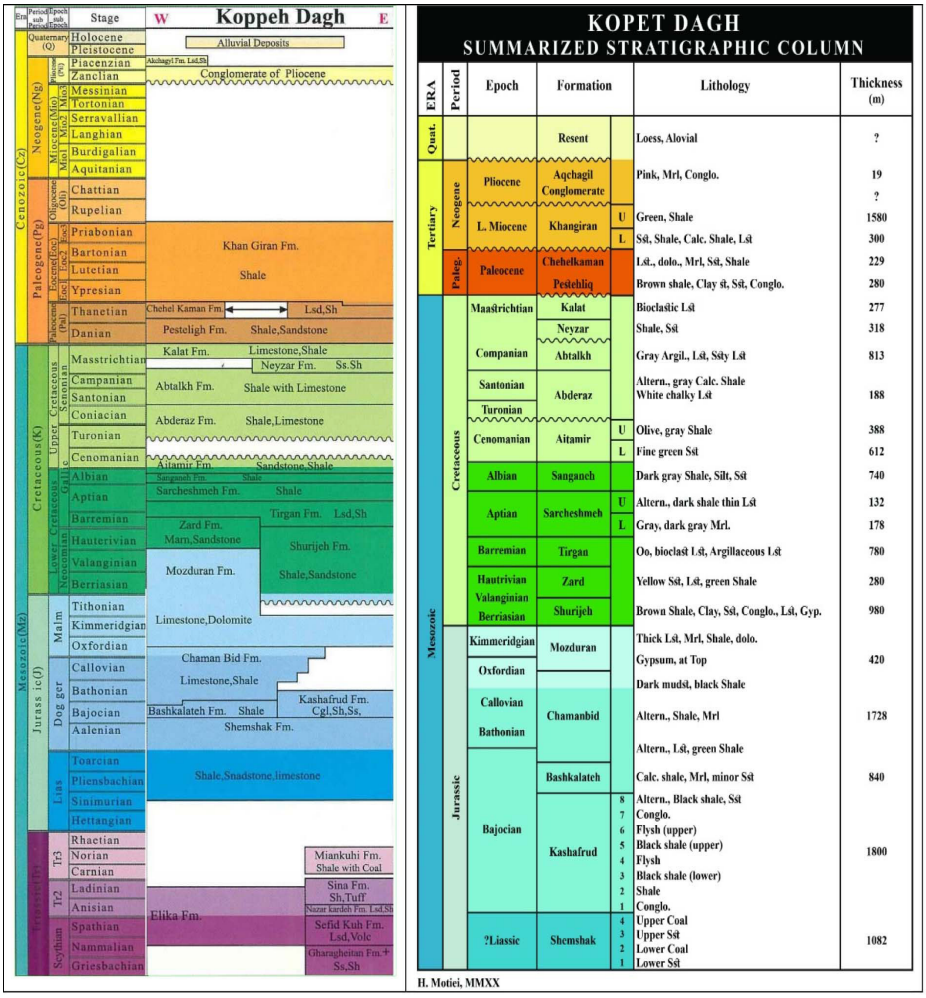


Fig. 2 Stratigraphic chart of Kopehdagh region [2,3].

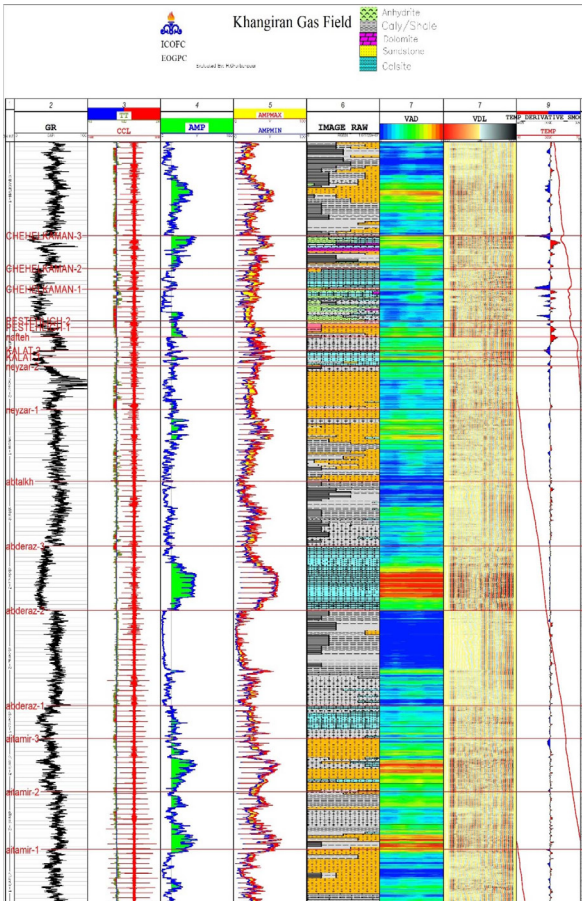


Fig. 3 Cementation quality log in a well of Khangiran gas field [4,5,6].

The results of these investigations indicate that in porous and permeable formations, especially those layers, containing high pressure gas, the quality of cement is mostly medium to poor. However, in condensed and shale formations its quality is somehow appropriate. It seems that the main reason of poor cementation in porous formations is entering the formation fluid pressure into the cement, before it gets hard. In fact, after the cement is pumped, during its conversion process from liquid to solid phase, its hydrostatic pressure reduces little by little. During this period, high pressure fluid is allowed to enter into the cement and make channels. Figure 4 illustrates Comparison between the cement quality of two wells of Khangiran gas field. Figure 5 also indicates the quality of cementing below and above the GWC in a well of Khangiran gas field.

Conclusions

1- In porous and permeable formations, the quality of cement is almost week.

2- it might be possible to identify the porous and permeable layers from the cement evaluation logs.

3- In directional drilling wells, sometimes the cement evaluation logs include high amount of errors. That is because the casing might lay on the low side of the hole wall or logging tools might lay on the liner wall.

4- If it can be possible (regarding the other designing and operational parameters), apply a more heavier weight cement against the Mozdouran Formation.

5- Try to lower the thickening time for the cements used against the porous/permeable formations.

6- Apply the cement evaluation logs for all casings and preferably employ the azimuthal tools, covering 180 degrees around the pipes.

7. F. Mirzaei, R. Rajabi mazar(1395), Cement Bond Logs Evaluation, Book, publication Sorush Hedayat

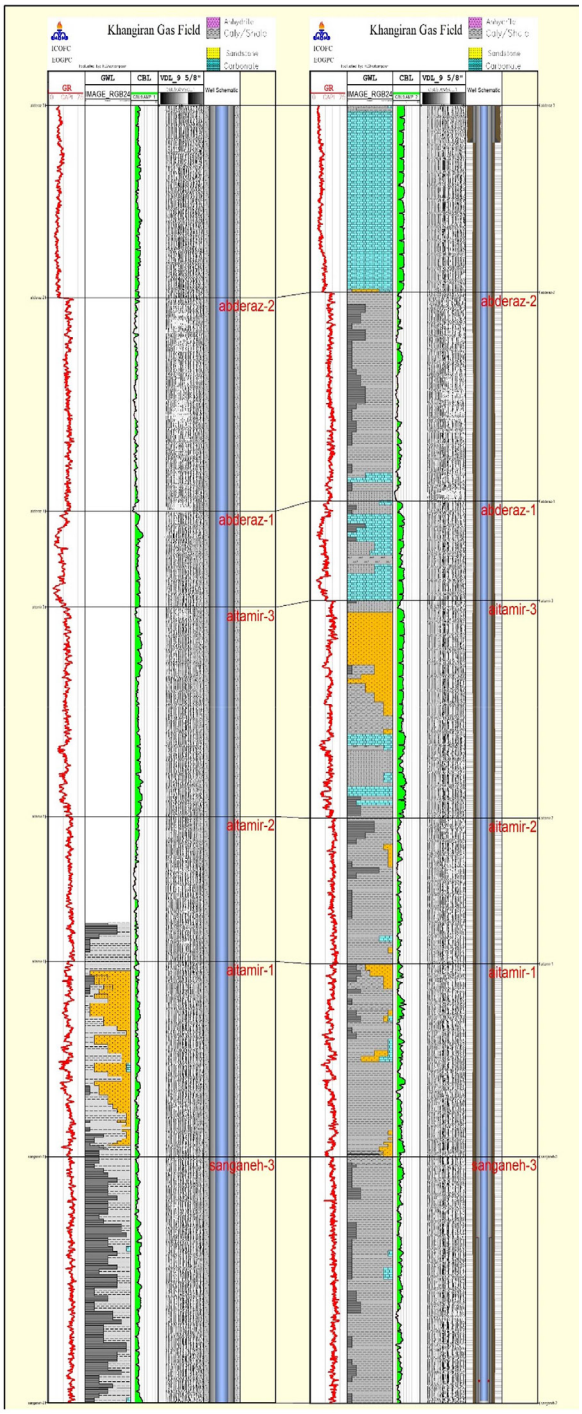


Fig. 4 Comparison between the cement quality of two wells of Khangiran gas field [7].

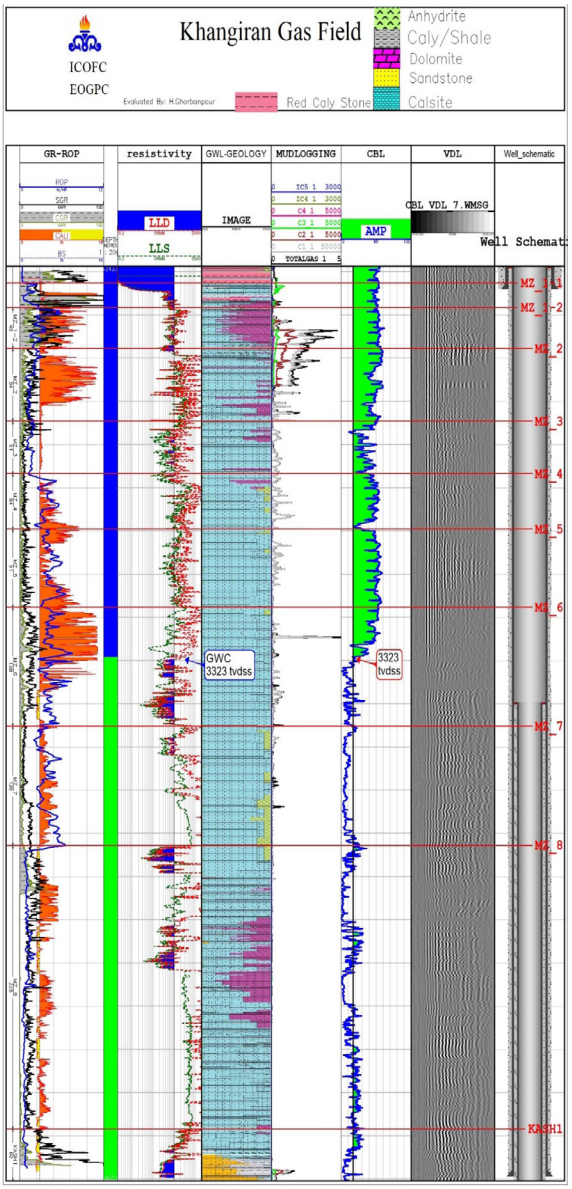


Fig. 5 The quality of cementing below and above the GWC in a well of Khangiran gas field [4,5,6].

References

1. Geological Association of Iran (1995) Chart of Geology of Iran
2. Motiei H. (2019) Stratigraphic chart of Kope Dagh.
3. Ghornpour H, Farzad I, Honarvar H (2018) Identification of the producing intervals in Khangiran wells based on comparison of the caliper and gamma ray well logs during drilling and production history of the wells, Journal of Exploration and Production (NIOC), 169:19-10.
4. Smith D k (1990) Cementing, SPE Book, SPE Monograph Series, 4: 15-17.
5. William E, Jackson (2001), Casing and Cementing Book, 1st edition, Publication by PETEX, University of Austin, Texas, 12-29.
6. Mirzaei F, Rajabi mazar R (1395) Cement Bond Logs Evaluation, Book, publication Sorush Hedayat
7. Naftkav Company (1990) and Kish Petroleum Engineering company (2020), the study of updating the gas field of Khangiran.