

جریان‌های پر فشار کم عمق، مخاطره زمین‌شناسی جدی در حفاری‌های آب عمیق دریای خزر

Shallow Water Flow, Serious Geohazard in Caspian Sea Deep water Drilling

نام و نام خانوادگی: حسین مهاجر سلطانی سید رمضان بحرینی شرکت نفت خزر

آدرس: تهران - خیابان خالد اسلامبولی - خیابان وزراء - خیابان نهم - پلاک 15 - شرکت نفت خزر

چکیده:

اکتشاف ذخایر هیدروکربوری در آبهای عمیق همواره با مخاطرات خاص و منحصر به فرد خود همراه است بطوری که اگر تیم اکتشافی، مهارت، تجربه و آمادگی لازم در خصوص مواجهه با آنها را کسب ننماید، منجر به توقف در حفاری اکتشافی، تحمیل هزینه‌های اضافی و در مواردی بی‌نتیجه ماندن فرآیند اکتشاف می‌گردد. یکی از مهمترین و شایع‌ترین این مخاطرات، جریان‌های پر فشار کم عمق (Shallow Water Flow) است که وقوع آن در حین حفاری اکتشافی در نقاط متعددی از جهان گزارش شده و در مواردی سبب بروز خسارتهای مالی جبران ناپذیر گردیده‌اند.

وقوع این پدیده در حین حفاری اکتشافی بخش عمیق دریای خزر (آبهای ایران) نیز به دفعات مشاهده و ثبت گردیده و حتی در چند مورد سبب توقف حفاری و متروکه شدن حفره راهنما (Pilot Hole) شده است. عبارتی ساده‌تر یکی از چالشهای مهم و اساسی در اکتشاف و تولید ذخایر هیدروکربوری دریای خزر وقوع این پدیده است. لذا ضرورت دارد در ایران به عنوان کشور صاحب فن‌آوری در عرصه اکتشاف ذخایر هیدروکربوری آبهای عمیق، مطالعه‌ای جامع جهت شناخت کامل این معضل و بکارگیری راهکارهای لازم جهت مقابله با آن صورت گیرد. در این مقاله که با هدف آشنایی بیشتر خوانندگان با این پدیده و معضلات پیش‌روی آن در اکتشاف ذخایر هیدروکربوری قسمت‌های عمیق دریای خزر نگاشته شده است، به نگاهی اجمالی درباره چگونگی، عوامل وقوع و ارتباط آن با سه پدیده هیدرات گازی، گلفشان‌های زیر دریایی و فشار غیرعادی سازندی پرداخته شده است. در این تحقیق مشخص گردید ارتباط مستقیمی بین جریان دریایی پر فشار کم عمق و سه فاکتور مذکور وجود دارد.

Deep water drilling has its own unique risks and hazards. In case that the exploration team has not sufficient experience in this regard, it can cause serious drilling problems and extra costs and abandonment of the well in some cases. One of the most common challenges in deep water drilling all over the world is shallow water flow (SWF) that has reported in most of deep water drilling and in some cases has resulted in severe loss of time budget.

This has also occurred in all Caspian deep water drilling and has resulted in abandonment of some pilot drilling and wells. In Iran as one of the countries familiar with deep water technology, this issue and the remedial actions are being studied. In this paper an overall review is made on the phenomenon and relation with the three factors namely gas hydrate, mud volcano and abnormal formation pressure.

As a result of this research, the relation among three mentioned factors are confirmed.

واژگان کلیدی: جریان پر فشار کم عمق - هیدرات گازی - گلفشان زیر دریایی - فشار غیرعادی سازندی - مخاطرات زمین‌شناسی آب عمیق.

مقدمه:

جریان پرفشار کم عمق (SWF) به جریان‌های آبی موجود در لایه‌های تحت فشار زیر بستر دریا اطلاق می‌گردد، که در طی عملیات حفاری، پس از برخورد مته به زون سیال، بصورت ناگهانی در یک بازه زمانی با تولید و جریان یافتن مقدار زیادی آب در طول مسیر حفاری، بوقوع می‌پیوندد. معمولاً این جریان‌ها در حفاری اکتشافی تا اعماق حدود 500 متر از کف بستر ایجاد می‌گردد. ولی از آنجا که زون حاوی آن ارتباط نزدیکی با بستر دریا دارد، لذا جهت معرفی آن از واژه "Shallow" به معنای کم عمق استفاده می‌کنند. (شایان ذکر اینکه، به دلیل فوران آب نمک در بخش 4 سازند گچساران در جنوب و جنوبغرب ایران، بعضاً و به علت شبیه‌سازی، اشتبهاً این پدیده را Salt water flow می‌نامند) لازم به ذکر است در موارد حاد، وقوع این پدیده، خسارت سنگین به تاسیسات حفاری وارد گردیده و باعث توقف عملیات، تحمیل هزینه‌های اضافه و متروکه شدن چاه می‌شود. معمولاً وقوع این جریان با تخلیه نهشته‌های رسوبی زون سیال همراه است و از آنجایی که بیشتر، لایه‌های ماسه‌ای مستعد وجود چنین جریانی هستند، لذا در اکثر موارد خروج آب به همراه ذرات فراوان سندستون و سیلتستون در زمان وقوع آن گزارش گردیده است که اصطلاحاً به آن جریان ماسه‌ای (Sand Flow) نیز می‌گویند.

از نکات قابل توجه در خصوص پدیده مذکور می‌توان به این موضوع اشاره کرد که معمولاً در اکثر موارد زمان وقوع آن پس از عبور مته حفاری از زون سیال می‌باشد و در لحظه رسیدن مته به زون مورد نظر جریانی حادث نمی‌گردد. به همین جهت پیش‌بینی زمان وقوع آن به راحتی میسر نیست و این عامل نیز به نوبه خود بر پیچیدگی‌های مقابله با این مخاطره زمین‌شناسی افزوده است. جریان‌های پرفشار کم عمق در نقاط مختلفی از جهان گزارش شده‌اند که از آن جمله می‌توان به خلیج مکزیک (با 74 حلقه چاه دریایی که فقط 34 درصد آنها با مشکلات مرتبط با این پدیده مواجه نشده‌اند)، غرب آفریقا، غرب اسکاتلند، آبهای جنوب شرقی آسیا، دریای نروژ، دریای شمال و حوضه خزر اشاره کرد که در خلیج مکزیک به میزان تقریبی 2 میلیون دلار هزینه اضافه در هر چاه جهت مقابله با خطر حاصل از وقوع این پدیده در نظر گرفته می‌شود.

1- هیدرات گازی:

به بلورهای متشکل از ملکول‌های آب و گاز اطلاق می‌گردد که در آن به ازای هر ملکول گاز، بیش از 5 ملکول آب موجود و در طبیعت به سه شکل ساختمانی زیر مشاهده می‌شوند:

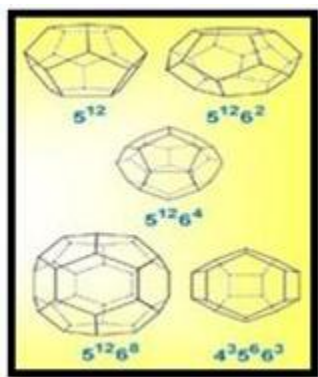


شکل ۱: تصاعد هیدرات گازی از بستر دریا

ساختار I: بصورت مکعبی شکل با شعاع ساختمانی 12 آنگستروم که به ازای هر 46 ملکول آب موجود دو سر آزاد جهت پیوند با ملکول گاز وجود دارد.

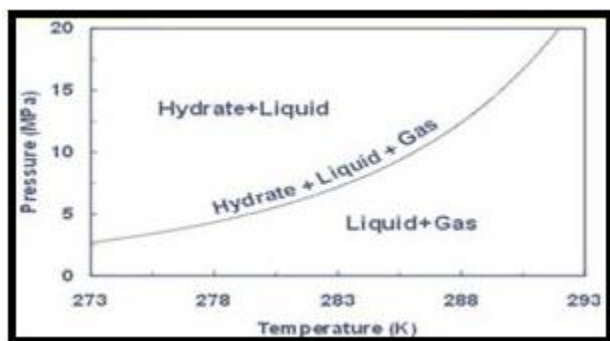
ساختار II: بصورت مکعبی شکل با شعاع ساختمانی 17/3 آنگستروم که به ازای هر 136 ملکول آب موجود فقط یک سر آزاد جهت پیوند با ملکول گاز وجود دارد.

ساختار H: بشکل هشت وجهی (هگزاگونال) با شعاع ساختمانی 10/17 آنگستروم که به ازای هر 34 ملکول آب موجود دو سر آزاد جهت پیوند با ملکول گاز وجود دارد.



شکل 2: انواع ساختار بلورین هیدرات گازی

مطابق نمودار زیر هیدرات گازی در شرایط فشار زیاد و درجه حرارت پایین تشکیل می‌شود. در صورتی که هر یک از این شرایط برقرار نباشد، ملکول‌های آب و گاز جدای از یکدیگر خواهند بود و بلور هیدرات گازی تشکیل نخواهد شد.

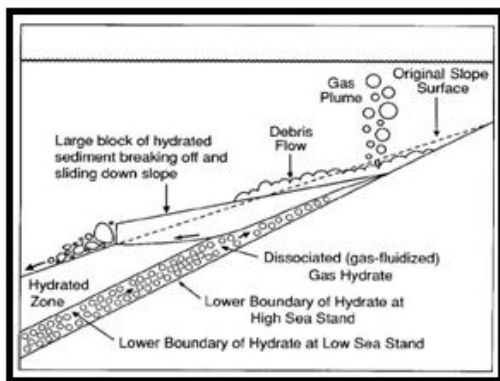


شکل 3: شرایط تشکیل و پایداری هیدرات گازی

با توجه به موارد فوق در رسوبات نزدیک به بستر دریاهاى ژرف که در آن میزان فشار زیاد و درجه حرارت پایین است، بشرط بالا بودن میزان تخلخل و تراوایی نهشته‌های زون سیال، شرایط لازم برای تشکیل هیدرات گازی مهیاست. این شرایط بیشتر برای رسوبات ماسه‌ای نزدیک به بستر آبهای مناطق عمیق قابل مشاهده است.

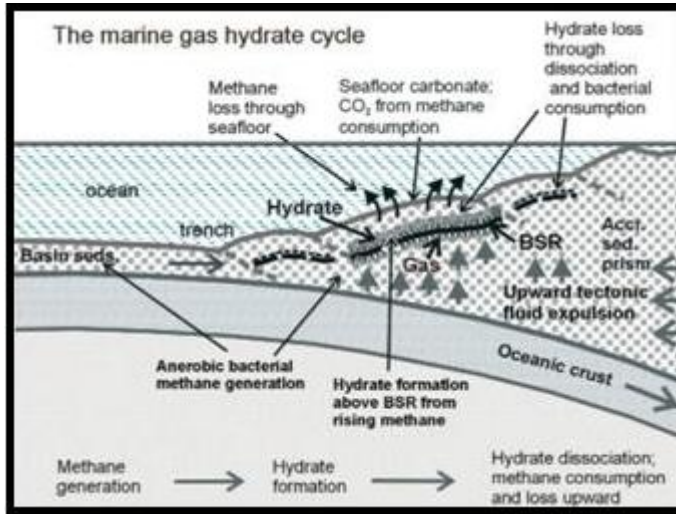
بر اساس بررسی‌های صورت گرفته بر روی هیدرات گازی مشخص گردید که در ساختمان بلورین آنها میزان قابل توجهی آب شیرین به دام افتاده است و اگر این ساختار تجزیه گردد، حجم زیادی ملکول آزاد آب نشات گرفته از آبهای شیرین تولید می‌شود. این مطلب با شرایط تشکیل رسوبات یک حوضه رسوبگذاری که آبهای هم منشأ آن دارای میزان نمک برابر یا بیشتر از آب دریاست در تناقض است. لذا جهت تفسیر این پیچیدگی دو پیش فرض مطرح است:

الف) رسوبات رودخانه‌ای تحت تاثیر جریان‌های سریع به صورت توده‌ای حمل شده و در این میان آبهای شیرین را در داخل خود به دام انداخته و آنها را به محیط دریایی حمل نموده‌اند.



شکل 4: محیط‌های تشکیل هیدرات گازی

ب) مجموعه آبهای شیرین سفره‌های آب زیرزمینی از بخش ساحلی و خشکی تا بخش دریایی گسترش یافته‌اند که البته این پیش فرض مورد قبول عموم کارشناسان نفتی قرار نگرفته است.



شکل 5: چرخه هیدرات گازی در دریا

برای تجزیه هیدرات گازی، می‌بایست ساختمان بلورین آن در معرض تغییرات محیطی از جمله افزایش حرارت، کاهش فشار یا هر دو عامل قرار گیرد. لذا از دلایل وقوع جریان‌های پر فشار کم عمق مرتبط با تجزیه هیدرات‌های گازی را می‌توان بصورت افزایش حرارت یا کاهش فشار در زون هیدراتی به دلیل حفر چاه تفسیر نمود. زیرا در طول زمان حفاری چرخه گرم گل حفاری، دمای سازند در زون هیدراتی را بالا برده و سبب تجزیه آن می‌گردد. در برخی موارد مدت زمان لازم جهت فرآیندهای مذکور که سبب بالا رفتن درجه حرارت سازند تا نقطه تجزیه هیدرات می‌گردد، افزایش می‌یابد. این مطلب گویای این واقعیت است که چرا تا موقعی که مته حفاری از زون جریانی عبور نکند، وقوع "SWF" آغاز نمی‌گردد.

2- گل‌فشان :

پدیده گل‌فشان به بیرون آمدن گل شل و آبی که همراه مواد و گازهای هیدروکربن دار از مناطق کم ژرفا به سطح گفته می‌شود. گل‌فشان‌ها اکثراً بر اثر در آمیختن فشارهای زمین ساختی، فرونشینی سریع رسوبات و فرورانش پوسته قاره ای به زیر پوسته اقیانوسی رخ می‌دهد



شکل 6: تصویری از یک گل‌فشان زیردریایی در خلیج مکزیک که گاز متان در حال خارج شدن از دهانه آن است.

خاستگاه پدیده گلفشان با مناطق فرورانش حوزه‌های نفتی حاشیه و سواحل دریاها و اقیانوس‌ها و گسل‌ها ارتباط تنگاتنگ دارد و معمولاً در سازندهایی به وجود می‌آیند که به دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک (کرتاسه - پالئوسن) تعلق دارند و مواد آنها عمدتاً دانه‌ریز در حد رس و سیلت همراه با گازهایی نظیر متان و مشتقات هیدروکربور و انیدرید کربنیک است. کانون گلفشانها در اعماق بر اثر تحت فشار قرار گرفتن رسوبات دانه‌ریز بوجود می‌آید. گل بوجود آمده در اعماق به کمک گازهای فرار تشکیل شده تمایل دارند به سمت سطح زمین حرکت کنند و در حین جریان، ضمن فشار وارد کردن به سنگ‌های اطراف مسیر خود، مقداری از آنها را خرد می‌کند. در این حالت کانون گلفشان شبیه بمب عمل می‌کند. مایع و گازهای گلفشان به دلیل حرارت زیادشان احتمالاً به اعماق 500 متر و بیشتر تعلق دارند و تا به سطح زمین برسند از درجه حرارتشان کاسته شده و به حدود 10 تا 25 درجه سانتی‌گراد می‌رسند

بیش از 50% از گلفشانهای جهان در حوضه خزر و اطراف شهر باکو در کشور آذربایجان واقع شده، ایران نیز دارای تعداد زیادی گلفشان بوده که اکثر آنها در استان گلستان قرار داشته (گلفشانهای نفتلیچه و گارنی آریخ تپه) و برخی از آنها نیز در منطقه عمیق دریای خزر وجود دارند.



شکل 7: گلفشان گارنی آریخ تپه واقع در استان گلستان

گلفشان‌های مذکور با منطقه سوبسیدانس، و حوزه نفتی دریای خزر ارتباط دارد. این گلفشان‌ها حالت دی‌پیری داشته و مرتبط با گسلها می‌باشند و ضمن بالا آمدن از بین درزه‌ها و شکاف‌ها، به دیواره آنها فشار فوق‌العاده وارد می‌کنند و بدین ترتیب مایع اشباع شده از گاز بصورت قطراتی روی سطوح ظاهر می‌شوند. با پایین افتادن فشار، مایع تحت فشار روی سطوح رسوبات به طرف تاج دی‌پایر هدایت می‌شوند. این فرآیند بطور پیوسته در طول فعالیت در درزه‌ها و شکاف‌ها ادامه دارد و مقدار گاز تزریق شده در یک فوران به صدها میلیون متر مکعب می‌رسد. هرچند که وجود گلفشان می‌تواند نشانه‌ای از وجود مواد هیدروکربوری باشد، ولی نقطه منفی جهت حفاری‌های اکتشافی محسوب می‌شود. زیرا سبب جریان یافتن ذرات دانه‌ریز به سمت سطوح فوقانی شده و سبب افزایش ریسک حفاری به همراه افزایش هزینه‌های ناشی از خسارات احتمالی می‌گردد.

3- فشار غیرعادی سازندی (Abnormal Formation Pressure):

فشار سازندی ارتباط مستقیمی با سرعت فرونشینی کف بستر حوضه رسوبی و همچنین نرخ رسوبگذاری ذرات در آن دارد. در صورتی که کف حوضه رسوبی بر اثر عوامل تکتونیکی فرونشینی مداومی داشته باشد و نرخ رسوبگذاری در چنین حوضه‌ای سریع باشد، سبب می‌گردد در برهه زمانی کوتاهی ضخامت زیادی از رسوبات تشکیل گردد. در این حالت افزایش وزن طبقات فوقانی به طبقات زیرین سبب افزایش فشار سازندی می‌گردد که این خود عامل خطرناکی در حفاری اکتشافی محسوب می‌گردد. در دریای خزر نیز نرخ فرونشینی کف حوضه رسوبی زیاد و میزان نهشته شدن ذرات رسوبی بالاست به همین جهت این حوضه دارای شرایط منحصر به فرد خود می‌باشد.

4- بررسی علل وقوع جریان پر فشار کم عمق در موقعیت چاه اکتشافی سردار جنگل - 1

مطابق جدول زیر وجود جریان همراه با ماسه (Sand Flow) از عمق 850 متر به پایین، در محل چاه اکتشافی مذکور گزارش گردیده است. لازم به توضیح است که شدت جریان ارتباط مستقیم با عمق حفاری داشته و با افزایش عمق، بر میزان شدت نیز افزوده می‌شود.

جدول 1: زون‌های جریان‌ی چاه سردار جنگل - 1 و خصوصیات آنها

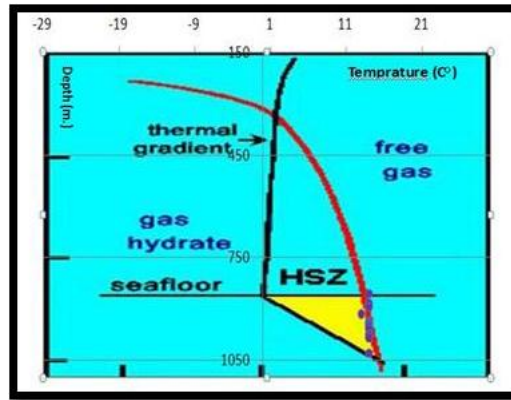
| شماره | عمق از میز دوار | درجه حرارت | شدت جریان |
|-------|-----------------|------------|-----------|
| ۱ | ۸۵۴/۵ - ۸۶۰ | ۱۴ | کم |
| ۲ | ۸۸۴ - ۸۸۷ | ۱۴ | قابل توجه |
| ۳ | ۸۹۲ - ۸۹۷ | ۱۴ | متوسط |
| ۴ | ۹۱۵ - ۹۱۷ | ۱۳ | کم |
| ۵ | ۹۳۷ - ۹۳۹ | ۱۴ | خیلی زیاد |
| ۶ | ۹۴۱ - ۹۴۳ | ۱۴ | زیاد |
| ۷ | ۹۴۵ - ۹۴۸ | ۱۴ | زیاد |
| ۸ | ۹۴۹ - ۹۵۴ | ۱۴ | خیلی زیاد |
| ۹ | ۹۵۸ - ۹۵۹/۵ | ۱۴ | زیاد |
| ۱۰ | ۹۷۱ - ۹۷۸ | ۱۴ | خیلی زیاد |
| ۱۱ | ۹۸۳ - ۹۸۶ | ۱۴ | خیلی زیاد |
| ۱۲ | ۱۰۲۸ - ۱۰۳۳ | ۱۴ | خیلی زیاد |



شکل 8: مراحل وقوع جریان‌های ماسه‌ای در چاه اکتشافی سردار جنگل - 1 که توسط دستگاه ربات زیر دریایی "ROV" ثبت شده است

جهت بررسی دلایل وقوع این پدیده، ارتباط سه عامل هیدرات گازی، گلفشان و فشار غیرعادی سازندی با ایجاد جریان ماسه‌ای مد نظر قرار گرفت:

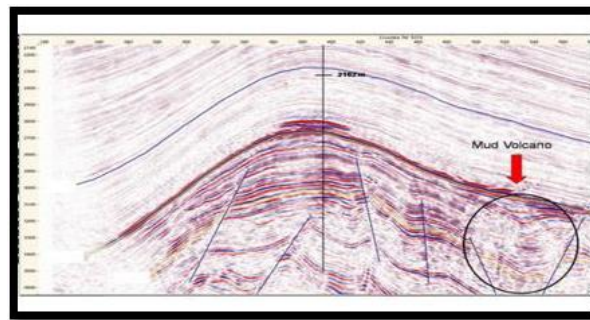
4-1- **وجود هیدرات گازی**: نمودار زیر بیانگر شرایط پایداری هیدرات گازی در شرایط فشار و حرارت مناسب می‌باشد که منطقه زرد رنگ موجود در آن محدوده تشکیل هیدرات گازی در زیر سطح بستر دریا را نشان می‌دهد. همانگونه که در تصویر مشخص است، براساس اطلاعات حاصله از عمق و درجه حرارت زون‌های جریان و پلات کردن آن در نمودار مذکور، کلیه نقاط (به رنگ بنفش) در محدوده شرایط تشکیل هیدرات گازی قرار گرفته‌اند. براین اساس ارتباط بین پدیده مذکور و هیدرات گازی محتمل می‌باشد.



شکل 9: نمایش نقاط زون‌های جریان بر روی نمودار شرایط تشکیل هیدرات

شایان ذکر است در این خصوص، دستگاه ربات زیر دریایی "ROV" نیز تصاویری از حباب‌هایی مربوط به اعماق زیاد را در حین عملیات حفاری ثبت و ضبط نموده است که این امر ممکن است شاهدهی بر وجود هیدرات گازی در زون‌های جریان باشد.

4-2- **تاثیر گلفشان**: بر مبنای مطالعات لرزه‌ای صورت پذیرفته از ساختار زمین‌شناسی منطقه اکتشافی و تفاسیر مرتبط با آن، ساختمان‌های قارچی شکلی مشخص می‌شوند که وجه تشخیص آن کاهش قدرت بازگشت امواج (Low Reflectivity) در خطوط لرزه‌ای است و می‌تواند بیانگر وجود گلفشان در منطقه مذکور باشد. لازم به توضیح است گلفشان‌های حوضه خزر در مقاطع سطح‌الارضی (اکثراً استان گلستان) و همچنین در زیر بستر دریا فراوان است. یکی از مهمترین دلایل فراوانی آنها، ترکیب لیتولوژی سازندهای حوضه خزر است که عمدتاً از میزان زیاد رس و مارن تشکیل شده است که با سیالاتی نظیر گاز و آب ترکیب شده و با انرژی زیاد به سمت بالا جریان می‌یابد.

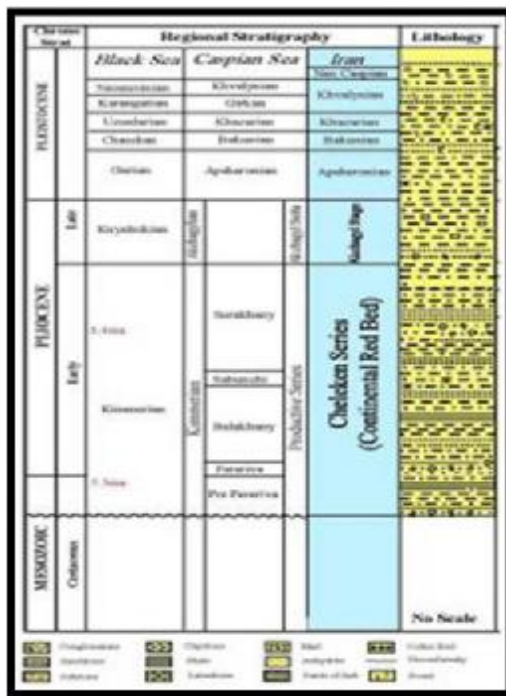


شکل 10: موقعیت گلفشان بر روی خطوط لرزه‌ای چاه سردار جنگل - 1

همانگونه که در تصویر بالا مشاهده می‌گردد، در سمت راست چاه اکتشافی اثری از وجود یک گلفشان عظیم (که محدوده آن با دایره مشخص گردیده است) به چشم می‌خورد. از آنجایی که ترکیب سازندهای منطقه مذکور نیز رسی - مارنی است، باتوجه به فشار سازندی، در ترکیب با سیال‌های گازی در قالب زون‌های جریانی پرفشار به سمت کف بستر جریان می‌یابند که این جریان با آزاد کردن مقدار زیادی انرژی، سبب گسله شدن لایه‌های مجاور (همانند آنچه در تصویر مشاهده می‌شود) نیز می‌شود. در نتیجه می‌توان احتمال منشاء گلفشان برای جریان‌های پر فشار کم عمق را نیز متصور شد.

4-3- **فشار سازندی**: معمولاً فشار سازندی به عنوان عامل ثانویه، کمک شایانی به وقوع سایر پدیده‌های مورد بحث (هیدرات گازی و گلفشان) می‌نماید و احتمال تاثیر مستقیم آن در وقوع جریان‌های ماسه‌ای کمتر است. اما از دیدگاه بعضی از کارشناسان نفتی شرکت نفت خزر، این عامل بصورت مستقیم تاثیر بسزایی در وقوع چنین جریان‌هایی دارد. تاثیر مستقیم فشار سازندی در وقوع جریان ماسه‌ای زمانی مد نظر قرار می‌گیرد که علاوه بر سرعت زیاد رسوبگذاری و فرونشینی کف حوضه (Subsidence)، لایه ماسه‌های تراوا و حاوی آب سازندی در بین لایه‌های ناتراوای رس و مارن قرار گرفته و محبوس می‌شود. در این حالت به دلیل نرخ سریع رسوبگذاری که منجر به فشار نهشته‌های بالایی بر

روی طبقات زیرین می‌گردد، در صورت ورود مته حفاری به لایه‌های ماسه‌ای تحت فشار، ماسه به همراه سیال موجود به سمت بالا جریان می‌یابد. از آنجا که میزان سوبسیدانس دریای خزر بسیار زیاد بوده و در محل حفاری چاه مورد نظر چنین ترکیب لیتولوژی وجود دارد، لذا احتمال ارتباط فشار سازندی و لایه‌های تحت فشار با وقوع جریان پر فشار کم عمق وجود دارد.



شکل 11: ستون چینه نگاری چاه سردار جنگل - 1

5- نتیجه گیری:

با توجه به اینکه وقوع پدیده جریان پر فشار کم عمق سبب تحمیل هزینه‌های فراوان در حین عملیات حفاری می‌شود و همچنین در نظر گرفتن این نکته که وقوع آن در چندین مورد حفاری‌های اکتشافی خزر سبب متروکه شدن حفرات راهنما (Pilot Hole) گردیده است، لذا شناخت عوامل موثر بر آن جهت بررسی راهکار مناسب برای مقابله با این پدیده ضروری بنظر می‌رسد.

در صورتی که عامل اصلی این پدیده هیدرات‌گازی در نظر گرفته شود، جهت مهار جریان می‌بایست دو عامل فشار و حرارت را کنترل نمود. از آنجا که ساختار هیدرات‌گازی بر اثر افزایش حرارت و کاهش فشار شکسته و تجزیه می‌گردد، لذا تناوب چرخه گرم گل حفاری پس از برخورد به زون هیدراتی باعث گرمای آن و در نتیجه تجزیه می‌گردد که با وقوع جریان همراه می‌شود. در این حالت تاخیر در حین حفاری به همراه کاهش سرعت حفاری و همچنین افزایش وزن گل کمک شایانی به مهار پدیده مذکور می‌نماید. زیرا در مورد اول می‌توان دما را کنترل نمود و در مورد دوم با مهار فشار از این زون عبور نمود. در صورتی که عامل اصلی این پدیده گلفشان در نظر گرفته شود، حفاری در مناطق با نبود این ساختار و گسله کمتر، می‌تواند حفاری اکتشافی موفق‌تری را تضمین نماید و در صورتی که عامل اصلی فشار سازندی باشد با تجدید نظر در زمان گذاشتن پوشش جداری در لایه‌های پرخطر، می‌توان تا حدودی تاثیر این جریان را کمتر نمود و ریسک حفاری را کاهش داد.

لذا جهت دستیابی به این مهم می‌بایست مطالعات جامعی در خصوص جریان‌های ماسه‌ای انجام داد که اهم بررسی‌ها شامل مطالعه ترکیب آب همراه این جریانها، مشخصات بافتی و کانی‌شناسی رسوبات موجود در آنها، عناصر اصلی، فرعی و ردیاب موجود در این جریانها و مشخصات بافتی و کانی‌شناختی کانی‌های رسی موجود در آنها و نیز بازسازی شرایط محیطی (با تکیه بر توپوگرافی) بستر خواهد بود.

- [1] موسوی روح بخش، م.، (1380)، چینه شناسی و زمین شناسی نفت دریای خزر، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- [2] خاموشی، ع.، (1390)، زمین شناسی نفت حوضه خزر جنوبی، انتشارات سارگل
- [3] Simon,A.,Stewart,J.,Richard,J.,2006,Structure and Emplacement of Mud Volcano System in The South Caspian Basin.AAPG Bulletin,V.90,No.5,P 711-786
- [4] Amini,A.Moussavi Harami,R.,Lahijani,H.,Mahboubi,A.,2012,Holocene Sedimentation Rate in Gorgan Bay and Adjacent Coasts in Sotheast of Caspian Sea.Journal of Basic and Applied Scientific Research,V.2,P 289-297
- [5] Diaconescu,C.,Knapp,J.,2002,Gas Hydrates of the South Caspian Sea,Azerbaijan:Drilling Hazards and Sea Floor Destabilizers.Offshore Technology Conference Held in Houston,Texas U.S.A.,6-9 May 2002
- [6] Bob,A.,Harry,H.,2006,Gas Hydrate-A Source of Shallow Water Flow?.The Leading Edge,P 634-635
- [7] Eaton,L.E.,1999,Drilling Through Deep Water Shallow Water-Flow Zones at URSA.IADC Drilling Conference,Amsterdam,Paper SPE 52780
- [8] Bollavaram,P.,Sloan,J.R.,2001,Pipeline Hydrate Dissociation:Effects of Crystal Structure,Colorado School of Mines,Golden Co. 80401
- [9] Sloan, E.D, Max, D.,1998, What are Gas Hydrates?. Geological Society of London Special, Publication 137
- [10] Feyzullayev,A.,Chingiz,S.,2010, Gas Hydrates in the Southern Caspian Sea,Petroleum Geology and Geochemistry.Geology Institute of Academy of Sciences,V.1,P 20-30
- [11] Khokhar,A.A.,Sloan,E.D.,Gudmundsson,J.S.,Natural Gas Storage Properties of Structure H Hydrate,1Now with C-FER Technologies Inc.,Edmonton