



## ارزیابی شیل و بررسی فعالیت کانی‌های رسی به منظور تحلیل پایداری شیمیایی در یکی از میادین جنوب غربی ایران

جشید مقدسی<sup>۱</sup>، دانشگاه صنعت نفت اهواز

صاحب طواف<sup>۲\*</sup>، مهدی کاژواندی<sup>۳</sup>، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب

چکیده

یکی از چالش‌های عمده در حفاری وجود لایه‌های شیلی در مقاطع مختلف است که می‌تواند سبب بروز مشکلات متعددی در زمینه ناپایداری چاه گردد. عوامل ناپایداری دهانه‌ی چاه را می‌توان به دو دسته مکانیکی و شیمیایی تقسیم کرد. برخی از این عوامل قابل کنترل و بعضی دیگر غیر قابل کنترل هستند. از بین عوامل طبیعی و غیر قابل کنترل و در واقع از جمله دلایل عمده‌ی ناپایداری لایه‌های شیلی می‌توان به تورم کانی‌های رسی موجود در شیل، آب شستگی شیل‌های کم مقاومت و پرفشار بودن شیل‌ها اشاره نمود. اصولاً شیل‌ها از کانی‌های رسی تشکیل شده‌اند و دلیل اصلی فعالیت کانی‌های رسی، ظرفیت تبادل کاتیونی آنهاست که هر چه بیشتر باشد واکنش بین گل حفاری و سازندهای حاوی کانی‌های رسی بیشتر شده و منجر به ناپایداری می‌گردد. در این مقاله برای تعیین عوامل ناپایداری شیمیایی، نوع لیتولوژی و کانی‌های رسی موجود در شیل‌ها مشخص شده و با توجه به ظرفیت تبادل کاتیونی آنها، در نهایت با مدنظر قرار دادن پایداری شیمیایی و مکانیکی و بررسی عوامل مؤثر بر گل حفاری، راهکارهای مناسبی جهت پایداری دهانه‌ی چاه ارائه گردیده است.

واژگان کلیدی: پایداری شیمیایی، کانی‌های رسی، لایه‌های شیلی، بازده غشایی، فرمول گل حفاری، انتخاب نمک، غلظت نمک، ظرفیت تبادل کاتیونی

### مقدمه

پتانسیل شیمیایی و هیدرولیکی آب یا یون‌ها می‌تواند سبب ناپایداری در دیواره‌ی چاه شود [۲]. از سوی دیگر بررسی‌های وان اورت نشان داد که در زمان حفاری با گل‌های پایه‌آبی، کاهش جریان هیدرولیکی کیک گل می‌تواند ناپایداری شیل‌ها را جبران کند. او نتیجه گرفت که برای شیل‌های کم تراوا، جریان هیدرولیکی فیلتره‌ی گل پایه آبی ممکن است توسط جریان برگشتی اسمزی گل حفاره‌ی القایی قابل جبران باشد. همچنین جریان برگشتی القایی اسمزی آب حفاره در مقایسه با جریان هیدرولیکی کیک گل در شیل‌های ریزترک قابل اغماض است [۳]. در این پژوهش عوامل مؤثر بر پایداری شیمیایی چاه در یکی از میادین جنوب غربی ایران بررسی گردیده و عوامل مؤثر بر گل حفاری جهت پایداری دهانه چاه بررسی شده است. به طور کلی عواملی که سبب ناپایداری دهانه‌ی چاه می‌شوند به دو دسته تقسیم می‌شوند که در جدول ۱- به آنها اشاره شده است [۷و۶].

### ۱- مکانیسم ناپایداری شیمیایی

برهم کنش گل حفاری و سنگ سازند عاملی کلیدی در تعیین پایداری وابسته به زمان در سازندهای شیلی است. به دلیل وجود ذرات ریز، تراوایی کم، تخلخل و درصد اشباع زیاد شیل‌ها توسط سیال حفاره، شیل‌ها اغلب دچار ناپایداری از نوع وابسته به زمان می‌شوند؛ بدین معنی

یکی از مشکلات صنعت حفاری و بهره‌برداری وجود لایه‌های شیلی است که در ۷۵ درصد مقاطع حفاری سبب بروز مشکلات فراوانی در زمینه ناپایداری چاه شده و هزینه‌های زیادی را به پروژه تحمیل می‌کند. شیل‌های حاوی کانی‌های رسی می‌توانند با برخی گل‌های حفاری واکنش داده و تورم حاصل از این واکنش سبب ناپایداری گردد. علاوه بر این، سنگ‌های شیلی در لحظه‌ی پیدایش به شکلی ضعیف سیمانی و منجمد شده و توسط جریان گل شستشو و فرسوده می‌گردند. از دیگر عوامل میل فراوان شیل‌ها به ناپایداری، فشار بسیار زیاد وارد بر آنهاست. چرا که شیل‌ها تراوایی بسیار کمی (در حد پیکو تا میکرو داری) دارند و اغلب به دلیل سرعت زیاد رسوب گذاری اولیه، نسبت به سایر رسوبات فشار گل بیشتری دارند.

از جمله محققین متعددی که علل ناپایداری شیل‌ها را بررسی کردند مودی است که عنوان کرد حرکت آب در داخل یا خارج شیل با چند مکانیسم تشریح می‌شود. دو مکانیسمی که مهم‌تر از سایر مکانیسم‌ها هستند اختلاف فشار هیدرولیکی (بین فشار دهانه‌ی چاه و فشار حفاره‌ی شیل) و اختلاف پتانسیل شیمیایی (بین گل حفاری و فشار حفاره‌ی شیل) می‌باشند. مودی نتیجه گرفت که حرکت آب در داخل یا خارج شیل، فشار منفذی را تغییر می‌دهد که این عامل بسته به نیروی رانش

\*نویسنده عهده‌دار مکاتبات (saheb.tavaf@gmail.com)

بوده و می‌تواند با گل‌های حفاری واکنش داده و منجر به تغییراتی پایدار و از دست رفتن مقاومت سنگ شود. مؤثرترین شیوه برای حل یا مدیریت مشکلات ناشی از ناپایداری شیل‌ها می‌تواند بررسی وزن، نوع، شیمی و ذرات گل حفاری و همچنین استراتژی راندن لوله جداری باشد. تأثیرات مکانیکی، شیمیایی و فیزیکی ناشی از برهم‌کنش بین گل و سازند ممکن است به کاهش ناپایداری چاه در بازه‌های نه‌چندان مقاوم منجر شود. از راهکارهای مقابله با ناپایداری چاه می‌توان به افزایش غلظت نمک موجود در گل حفاری، بررسی و مطالعه وضعیت تنش‌های درجا، کاهش دمای گل حفاری، استفاده از گل حفاری حاوی هیدروکسید پتاسیم یا کلرید پتاسیم یا مواد پلیمری یا مواد آهکی و یون کلسیم اشاره کرد [۵].

### ۳- تحلیل و بررسی عوامل مؤثر در انتخاب گل حفاری

پنجره‌ی وزن گل، بر پایه‌ی آنالیز رژیم تنش‌های درجا و خواص مکانیکی سنگ مشخص می‌شود؛ اگرچه وزن گل با توجه به تعاملات بین گل حفاری و سازندهای شیلی تغییر می‌کنند. اثرات شیمیایی شامل حرکت یون و آب در خارج و داخل سازندهای شیلی است و آثار دمایی می‌تواند توزیع هر دو عامل تنش و فشار منفذی را در دهانه‌ی چاه تغییر دهد [۵].

جذب آب توسط شیل‌ها نه تنها سبب هرزروی شیل می‌شود بلکه باعث افزایش تنش‌ها در اطراف دهانه‌ی چاه شده و خواص مواد اطراف دهانه را نیز تغییر می‌دهد. مطالعات تجربی نشان‌دهنده آن است که با جذب آب، کشش سنگ تغییر می‌کند. شیل‌ها (با اندازه گل کمتر از ۰/۰۰۰۶ میلی‌متر) از رس و سیلت تشکیل شده و بنابراین تراوایی خیلی کمی دارند. در ۱۹۹۲ هال و همکارانش ثابت کردند که تراوایی هیدرولیکی شیل به شدت کم و در بازه‌ی  $10^{-7}$  تا  $10^{-11}$  است. با توجه به تراوایی کم شیل، فشار منفذی نمی‌تواند به راحتی در طول تعاملات بین شیل و گل پراکنده شود [۸]. با افزایش وزن گل، تراوایی شیل افزایش یافته و با کاهش وزن گل تراوایی شیل کاهش می‌یابد. چراکه فشار منفذی در سازندهای با تراوایی کم در مقایسه با سازندهای با تراوایی زیاد بیشتر است. اگرچه فشار منفذی زیاد تنش شعاعی مؤثر را افزایش خواهد داد اما کاهش مقاومت کششی مؤثر را بیشتر مشخص می‌کند و احتمال گسیختگی فشاری دهانه‌ی چاه را افزایش می‌دهد [۱۱ و ۱۲].

### ۳-۱- بازده غشایی

بازده غشایی روش انتقال فشار در جایی است که شیل‌ها تابع گرادیان فشار اسمزی و هیدرولیکی هستند و در جواب هر دو گرادیان فشار اسمزی و هیدرولیکی اندازه‌گیری می‌شوند. به دلیل اینکه فشار ثانویه از فشار اولیه کمتر است در فرمول ۱- یک منفی لحاظ می‌کنند تا به صورت مثبت ظاهر شود [۱۳].

که ایجاد ناپایداری، آبی و در یک لحظه نیست. این نوع ناپایداری مربوط به انتقال سیال (آب)، مواد حل‌شدنی (نمک‌ها) و گرما بین گل حفاری و سیال سازند است. این فرآیندها با افزایش فشار حفره، افزایش تنش‌ها و تغییر شکل سنگ، منجر به ناپایداری بیشتر می‌شوند. مکانیسم‌های اصلی برهم‌کنش یادشده عبارتند از موینگی، اسمز، هیدرولیک، ورم کردن، پراکندگی فشار و نیز خصوصیات گل مثل نوع، وزن، دما و غلظت یون‌های آزاد موجود در گل.

دلیل اصلی تبادل آب و نمک بین گل و سازند، گرادیان هیدرولیکی و گرادیان پتانسیل شیمیایی است. از نتایج دیگر این پدیده، ورم کردن شیل‌ها در هنگامی است که قابلیت حرکت آزادانه دارند. تولید تنش‌های آب‌دوستی مربوط به زمانی است که تورم شیل‌ها امری اجباری خواهد بود. این امر در نهایت منجر به افزایش فشار حفره و در نتیجه کاهش توان گل حفاری جهت پایدارسازی چاه می‌شوند. ناپایداری مکانیکی به محض حفاری لایه‌های جدید اتفاق می‌افتد. در حالی که ناپایداری شیمیایی به دلیل اینکه شیل‌ها به هنگام تماس با گل‌های گوناگون از خود تغییرات استحکامی متفاوتی نشان می‌دهند، وابسته به زمان است [۴]. مطالعات آزمایشگاهی انجام شده توسط محققان مختلف نشان داده که با گذشت زمان، استحکام شیل‌ها به هنگام تماس با گل‌های حفاری کاهش می‌یابد. نکته‌ی قابل توجه در مطالعه‌ی ناپایداری این است که شیل‌ها می‌توانند دست‌خوش هر دو نوع ناپایداری آن هم به صورت هم‌زمان شوند که این امر سبب ایجاد مشکلات بسیار پیچیده‌تری خواهد شد [۵].

### ۲- راه‌های مقابله با ایجاد ناپایداری به هنگام حفاری در لایه‌های شیلی

یک راه حل ابتدایی برای مقابله با ناپایداری شیلی، استفاده از گل حفاری پایه‌روغنی است که در آن پتانسیل شیمیایی فاز آبی با پتانسیل شیمیایی سیال حفره (به منظور ممانعت از واکنش بین آنها) در تعادل است. راه‌حل مذکور بر این اصل استوار است که شیل از لحاظ شیمیایی فعال

۱ | عوامل ناپایداری دهانه‌ی چاه

عوامل قابل کنترل	عوامل غیر قابل کنترل (طبیعی)
فشار ته چاه (چکالی گل)	شکستگی طبیعی یا سازندی گسل‌خورده
آزموت و شیب چاه	تنش تکتونیکی سازندی
فشارگذاری منفذی	تنش‌های برجای زیاد
تأثیر متقابل فیزیکی/شیمیایی سنگ و سیال	سازندهای متحرک
لرزش رشته‌ی حفاری	سازندهای ناپیوسته
سایش	فروریزش طبیعی سازندهای شیلی پرفشار
دما	فروریزش القایی سازندهای شیلی



برای گل پایه آبی بسته به پتانسیل شیمیایی بین گل و شیل، مولکول‌های یون و آب می‌توانند در داخل یا خارج سازندهای شیلی حرکت کرده، سبب تغییرات فشار منفذی شوند. تغییرات فشار منفذی به‌مرور زمان می‌تواند باعث ناپایداری دهانه چاه گردد. بنابراین با توجه به نگرانی‌های زیست‌محیطی در گل پایه آبی باید سیستم گل با انتخاب مناسب انواع یون‌ها و غلظت طراحی شود [۵].

### ۳-۳- انتخاب نمک

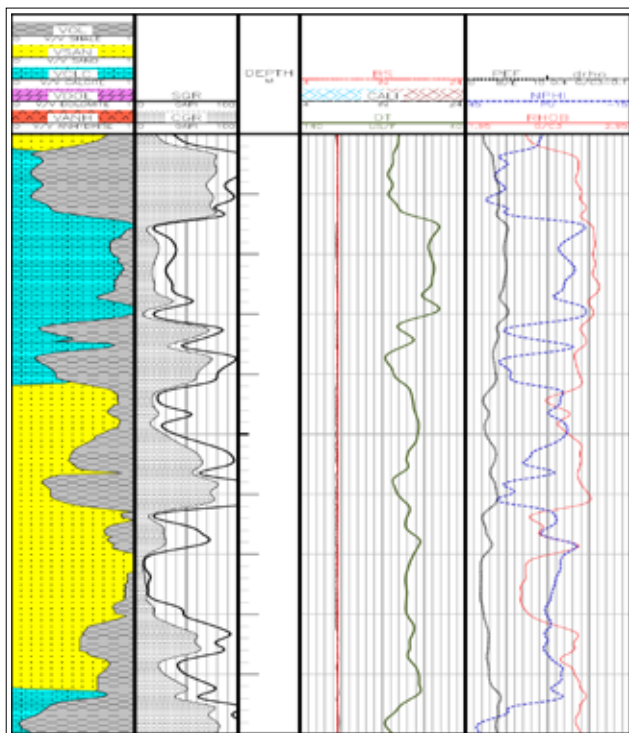
به‌نظر می‌رسد وقتی غلظت گل حفاری کمتر از سیال منفذی باشد وزن کم گل بحرانی کاهش یافته و با افزایش ضریب نفوذ، وزن زیاد گل بحرانی افزایش می‌یابد. بدیهی است که حرکت آب و یون‌ها به‌طور هم‌زمان اتفاق می‌افتد که حرکت آب مانع حرکت یون‌ها در گل‌های حفاری پایه آبی می‌شود. وقتی غلظت یونی در گل حفاری کمتر از سیال منفذی باشد نفوذ یون‌ها از طرف سیال منفذی به طرف گل حفاری است و آب در مسیر مخالف یون‌ها حرکت می‌کند. در ضرایب نفوذ زیاد، نفوذ یون از سیال حفره به طرف گل حفاری، از حرکت بیشتر آب به سازند جلوگیری می‌کند. این امر مانع از ایجاد فشار منفذی زیاد شده و پایداری دیواره‌ی چاه را بهبود می‌بخشد.  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  سه نمک متداول مورد استفاده هستند که ترتیب نفوذ یون‌ها در آنها به‌صورت  $\text{KCl} > \text{NaCl} > \text{CaCl}_2$  است. بنابراین وقتی که غلظت یونی گل حفاری کمتر

$$\delta = \frac{\Delta P}{\Delta \pi} (P_2 < P_1) \quad (1)$$

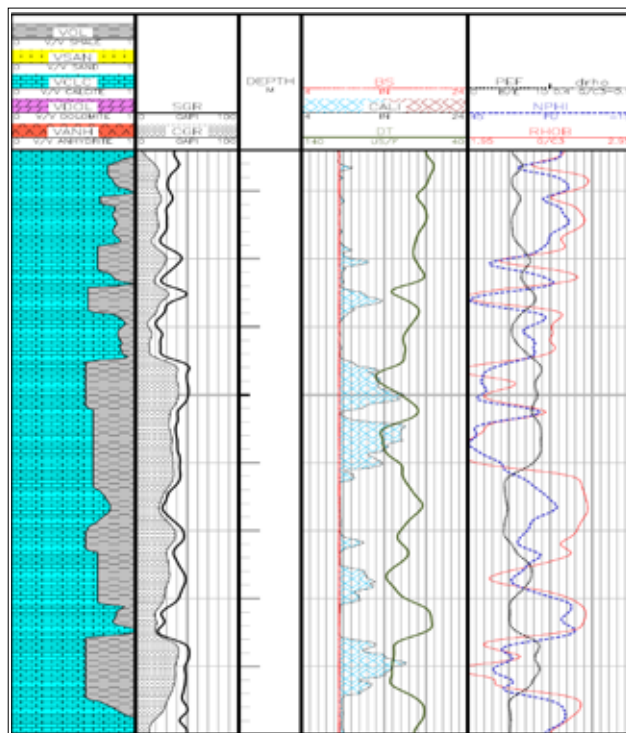
زمانی که غلظت نمک گل حفاری کمتر از غلظت نمک سیال حفره‌ها باشد خواص نیمه‌غشایی شیل‌ها برای پایداری چاه مضر است. ضمن اینکه با افزایش بازده غشایی در سازندهای شیلی، افزایش غلظت نمک گل حفاری در پایداری دهانه‌ی چاه مؤثر خواهد بود. همچنین تأثیر بازده غشایی بر وزن بحرانی گل به وزن بالایی و پائینی گل بستگی دارد. افزایش بازده غشایی سبب کاهش وزن بالایی گل و افزایش وزن پائینی گل خواهد شد که در بیشتر موارد در مقداری مشخص ثابت می‌شود [۵].

### ۳-۲- فرمول گل حفاری

گل‌های حفاری پایه‌روغنی اغلب برای سازندهای شیلی پردردسر انتخاب می‌شوند. چراکه این گل‌ها به‌طور معمول کمترین واکنش را با سازندهای حاوی کانی‌های رسی فعال دارند. اگرچه تولید غشاء به‌وسیله‌ی گل‌های پایه‌روغنی، مانع حرکت یون‌ها می‌شود ولی حرکت آب در داخل یا خارج سازندهای شیلی ممکن است سبب تغییرات خواص پتروفیزیکی و مکانیکی سازندهای اطراف دهانه‌ی چاه گردد. تغییرات خواص ذاتی می‌تواند سبب آشکار شدن مشکلات ناپایداری دیواره‌ی چاه شوند. حرکت آب می‌تواند توسط بهینه‌سازی شوری سیالات تمیز مرطوب کنترل شود [۱۴].



شکل ۲ | نمودار پتروفیزیکی و ستون سنگ‌شناسی عمق Y



شکل ۱ | نمودار پتروفیزیکی و ستون سنگ‌شناسی عمق X

از غلظت سازندهای شییلی باشد انتخاب یون با نفوذ زیاد (Kcl) برای پایداری دیواره‌ی چاه مفیدتر است و زمانی که غلظت یونی گل حفاری بیشتر از غلظت سازند شییلی باشد بهتر است از محلول نمک با نفوذ کم (CaCl<sub>2</sub>) استفاده شود [۱۶ و ۱۵].

### ۳-۴- غلظت نمک

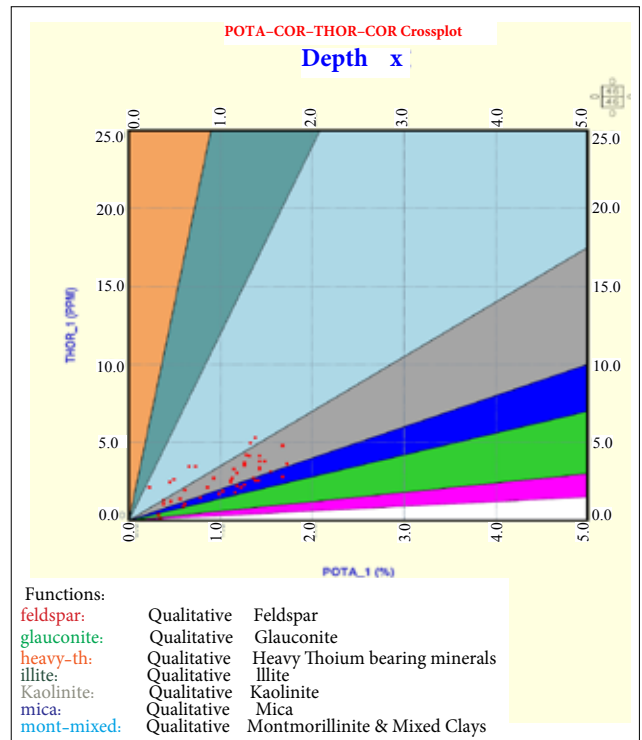
همان‌طور که می‌دانیم می‌توان برای گل یک پنجره امن تعریف کرده و حد بالا و پایین مجاز افزایش و کاهش وزن گل یا غلظت آن را مشخص نمود. بالاتر از حد بالای وزن گل، شکست سازند رخ می‌دهد و در پایین تر از حد پایین، هرزروی گل اتفاق می‌افتد. افزایش غلظت نمک کلرید کلسیم باعث کاهش وزن بالایی گل و افزایش وزن پایینی گل می‌شود. اما این تغییر تا مقدار ثابتی ادامه دارد و پس از آن مقدار، افزایش غلظت کلرید کلسیم روی وزن‌های بالایی و پایینی گل بی‌تأثیر خواهد بود [۵].

### ۳-۵- کاهش دمای گل حفاری

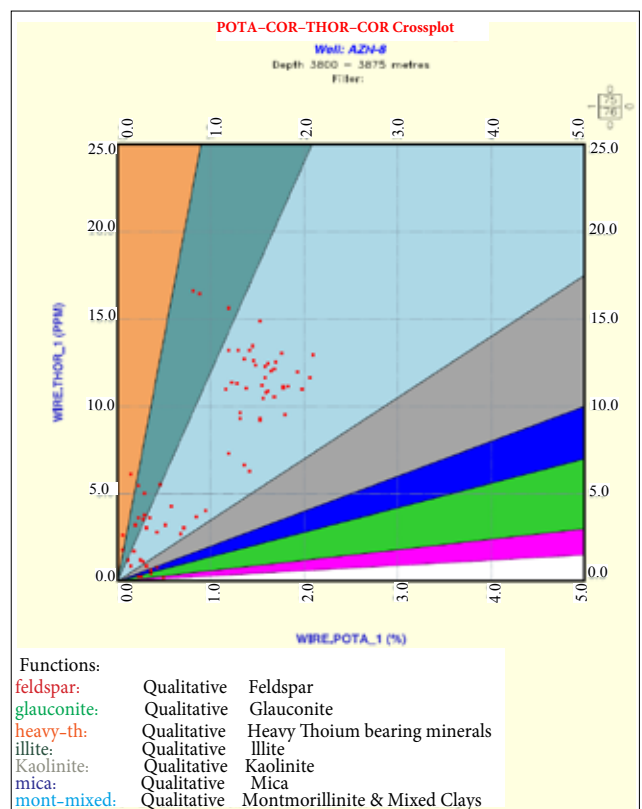
اختلاف دمای گل حفاری و دمای سازند منجر به تغییر فشار حفره و تنش‌های درجای اطراف دیواره می‌شود. دامنه این تغییر تا حد زیادی به نفوذ دمایی<sup>۱</sup> سازند وابسته است؛ به گونه‌ای که هرچه دمای سازند کمتر باشد پایداری بیشتر خواهد بود و برعکس. استفاده از گل با دمای کمتر نیز به همراه غلظت بیشتر نمک، چگالی کافی و گرانیوی<sup>۲</sup> و کشش سطحی مناسب، سبب کاهش فشار حفره‌ی سازند شده و به پایداری بیشتر چاه کمک می‌کند. این در حالی است که استفاده از گل حفاری با دمای بیشتر و غلظت نمک کمتر نتایج عکس در پی خواهد داشت. بنابراین از مهم‌ترین نکات جهت حفظ پایداری چاه، در نظر گرفتن تغییرات دمایی و خواص گل حفاری و سازند برای انتقال گرماس<sup>۱</sup> [۱].

### ۴- مطالعه موردی

جهت ارزیابی شیل و بررسی فعالیت کانی‌های رسی، اطلاعات چاه A- واقع در یکی از میدین جنوب غربی ایران مطالعه شده است. پس از بررسی و تفسیر اطلاعات نمودارهای کامل پتروفیزیکی چاه مذکور توسط نرم‌افزار، دو بازه‌ی عمقی X و Y انتخاب شد. همان‌طور که در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود لیتولوژی از نوع آهک، آهک شییلی، ماسه و ماسه‌ی شییلی است. در بازه‌ی عمقی X (شکل ۱)، در نواحی شییلی از ریزش‌های جزئی تا ریزش‌های بسیار شدید مشاهده می‌گردد. حال آنکه در بازه‌ی عمقی Y (شکل ۲)، با وجود حجم بیشتر شیل، ریزش‌ها بسیار جزئی و قابل چشم‌پوشی است. حال این سؤال مطرح می‌شود که چرا در یک حفره‌ی یکسان این موارد مشاهده می‌گردد؟ در ادامه سعی می‌کنیم به این سؤال پاسخ دهیم.



شکل ۳ | نمودار متقاطع تورنیوم/پتاسیم برای بازه‌ی عمقی X.



شکل ۴ | نمودار متقاطع تورنیوم/پتاسیم برای بازه‌ی عمقی Y.



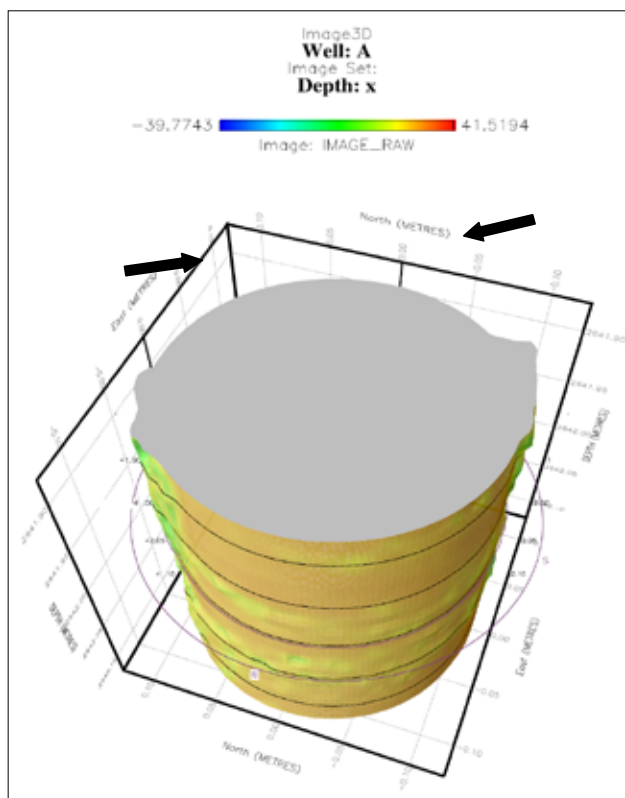
#### ۴-۱- ارزیابی شیل و تعیین نوع کانی‌های رسی

رسی ظرفیت تبادل کاتیونی<sup>۳</sup> آنهاست. هرچه ظرفیت تبادل کاتیونی رس‌ها بیشتر باشد احتمال واکنش شیمیایی بین گل حفاری و رس بیشتر خواهد بود. ظرفیت تبادل کاتیونی این رس‌ها با یکدیگر متفاوت است؛ برای کاتولینیت بین ۳ تا ۱۵، برای ایلیت بین ۱۰ تا ۴۰ و برای مونت‌موریلونیت بین ۸۰ تا ۱۰۰. بنابراین مونت‌موریلونیت نسبت به انواع دیگر تمایل بیشتری به واکنش دارد [۹ و ۱۰].

با توجه به نمودارهای مقاطع شکل‌های ۳ و ۴ و شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود که با وجود رس مونت‌موریلونیت در بازه‌ی عمقی Y و ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر، در این بازه‌ی عمقی در مقایسه با بازه‌ی عمقی X ریزش خاصی دیده نمی‌شود. این پدیده حاکی از عدم واکنش بین گل حفاری و رس بوده و در نتیجه پایداری دیواره‌ی چاه در این بازه کاملاً مشهود خواهد بود. دلیل این امر استفاده از گل پایه‌روغنی در بازه‌ی عمقی Y و گل پایه‌آبی در بازه‌ی عمقی X است که منجر به ناپایداری شیمیایی و ریزش‌های شدید در بازه‌ی عمقی X شده است. بررسی نمودار تصویری UBI در دو بازه‌ی عمقی مذکور نشان داد که ناپایداری مکانیکی نیز در بازه‌ی عمقی X دخیل بوده و سبب ریزش و ناپایداری بیشتر شده است. تصویر سه‌بعدی دیواره‌ی چاه حاصل از تفسیر نتایج نمودار تصویری UBI برای بازه‌ی عمقی X در شکل ۵- نشان داده شده است. در این تصویر بروز گسیختگی<sup>۴</sup> دیواره‌ی چاه در جهت تنش افقی کمینه کاملاً مشهود است که این امر نشان‌دهنده‌ی کمتر بودن فشار گل حفاری از مقدار مورد نیاز برای نگهداری چاه و در نتیجه بروز شکستگی‌های برشی در دیواره چاه است. نتایج حاکی از آن است که ناپایداری دیواره‌ی چاه در بازه‌ی عمقی X حاصل از عوامل شیمیایی و مکانیکی می‌باشد که در اثر واکنش بین گل پایه‌آبی و رس‌ها، انتخاب نمک، غلظت نامناسب آن و همچنین انتخاب وزن گل کم به وجود آمده است.

#### نتیجه‌گیری

همان‌طور که می‌دانیم عواملی مثل نوع گل حفاری، انتخاب نمک، غلظت نمک، دمای گل و ... بر واکنش رس‌ها با گل حفاری تأثیر گذارند. بنابراین ارزیابی و بررسی دقیق کانی‌های رسی شیل‌های یک میدان جهت انتخاب نوع گل حفاری بهینه و ترکیبات آن بسیار ضروری به نظر می‌رسد. همچنین لازم است بحث پایداری شیمیایی و مکانیکی چاه به موازات هم بررسی شوند؛ چرا که این دو از هم مستقل نبوده و بر هم اثر گذارند.



شکل ۵ | تصویر سه‌بعدی دیواره‌ی چاه حاصل از نتایج نمودار تصویری UBI برای بازه‌ی عمقی X

#### پانویس‌ها

<sup>1</sup> diffusivity

<sup>2</sup> viscosity

<sup>3</sup> Cation Exchange Capacity

<sup>4</sup> breakout

- Scotland.
- [8]. Hall, A. H.; Mody, F. K And Salisbury, D. P.: Experimental Investigation Of The Influence Of Chemical Potential On Wellbore Stability , IADC/SPE Paper 23885, Presented At The 1992 IADC/SPE Drilling Conference In New Orleans, Louisiana, Feb. 1821,1992-.
- [9]. Appdata\Local\Temp\Rar\$EX65.720\Soilcationexchangecapacitycec.Htm
- [10]. Www.Slb.Com
- [11]. Yu, M., Chen G., Chenvert, M.E., And Sharma, M. M.: Chemical And Thermal Effects On Wellbore Stability Of Shale Formation , SPE 71366, New Orleans, USA, Sept.30-Oct. 3,2001.
- [12]. Detournary, E. And Cheng, A.H-D: Poroelastic Response Of Borehole In A Non-Hydrostatic Stress Field , Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. No.25,Pp.171(1998)182-)
- [13]. Tala M. Al-Bazali, SPE, Kuwait U.; Jianguo Zhang, SPE, Baker Atlas; And Martin E. Chenevert, SPE, And Mukul M. Shama, SPE, U. Of Texas At Austin: Factors Controlling The Membrane Efficiency Of Shales When Interacting With Water-Based And Oil-Based Muds
- [14]. Rojas, J. C.; Clark, D. E.; And Zhang, Jianguo: Stressed Shale Drilling Strategy – Water Activity Desing Improves Drilling Performance, SPE 102498 Presented At The 2006 SPE Antonio, Texas, U.S.A.,2427-September 2006
- [15]. Zhang, Jianguo, Chenvert, M.M., Tala, AL-Bazali And Sharma, M. M.: A New Gravimetric – Swelling Test For Evaluating Water And Ion Uptake Of Shales , SPE 89831 Presented At The SPE Annual Technical Conference And Exhibition Held In Houston, Texas, U.S.A., 2629- September 2004
- [16]. Van Oort, E., Hale, A.H., Mody, F.K. And Roy, S.: Transport In Shales And The Design Of Improvement Water Based Shale Drilling Fluids , SPE Drilling & Completion, September 1996.
- [۱]. مکنوندی مهران، میرزائی پیامن، ابوذر، روحی عباس، میرهاشمی محمد «تقسیم بندی جدیدی از مکانیسم های ناپایداری لایه های شیلی در حفاری» اولین کنگره ملی توسعه مخازن شکاف دار
- [2]. F.K. Mody, SPE, And A.H. Hale, Shell Development Co. Borehole-Stability Model To Couple The Mechanics And Chemistry Of Drilling-Fluid/Shale Interactions .Journal Of Petroleum Technology. Volume 45, Number 11 1993 Society Of Petroleum Engineers
- [3]. Van Oort, E., Hale, A.H., Mody, F.K., Roy, Sanjit, Department Of Engineering, University Of Notre Dame. Transport In Shales And The Design Of Improved Water-Based Shale Drilling Fluids. SPE Drilling & Completion. Volume 11, Number 3. 1996. Society Of Petroleum Engineers
- [4]. R.A. Simangunsong, SPE, And J.J. Villatoro, SPE, Weatherford Intl. Ltd., And A.K. Davis, SPE, Occidental Permian Ltd., «Wellbore Stability Assessment For Highly Inclined Wells Using Limited Rock-Mechanics Data», SPE Annual Technical Conference And Exhibition, 2427- September 2006, San Antonio, Texas, USA
- [5]. Jianguo Zhang , SPE ,Baker Atals And Backer Hughes Drilling Fluids; Mengjiao Yu, SPE,U.Of Tulsa; T.M.Al – Bazali, SPE U. Of Kuwait; Seehong Ong. SPE, Backer Atlas; M.E.Chenevert And M.M.Sharma, SPE ,U. Of Texas At Austin; And D.E. Clark, SPE , Baker Hughes Drilling Fluids«Mantaning The Stability Of Deviated Snd Horizontal Wells;Effects Of Mecanical, Chemical, And Thermal Phenomena On Well Design», SPE No 100202
- [6]. Mohiuddin, M.A., Awal, M.R., Abdulraheem, A., Khan, K. (2001): A New Diagnostic Approach To Identify The Causes Of Borehole Instability Problems In An Offshore Arabian Field, Paper SPE 68095 Presented At The 2001 SPE Middle East Oil Show, 1720- March,Bahrain
- [7]. Bowes, C., Procter, R. (1997): Drillers Stuck Pipe Handbook, 1997 Guidelines & Drillers Handbook Credits, Schlumberger, Ballater,