

# ارزیابی ژئوشیمیایی و محیط رسوبی واحدهای شیلی سازند پابده-گورپی و تاثیر کانیهای رسی در پایداری دیواره چاه، مطالعه موردی: میدان نفتی آغاچاری

بهمن سلیمانی\*<sup>۱</sup>، زهرا دهقانی<sup>۲</sup>

۱-استادگروه زمین شناسی نفت و حوضه های رسوبی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهیدچمران اهواز،  
۲-کارشناسی ارشدگروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

\*soleimani\_b@scu.ac.ir

دریافت مهر ۱۴۰۲، پذیرش آبان ۱۴۰۲

## چکیده

این پژوهش در ارتباط با شناخت کانی های رسی و تغییرات ژئوشیمیایی سازندهای شیلی پابده - گورپی و نقش آنها در ناپایداری دیواره چاه در میدان آغاچاری صورت گرفته است. برای این منظور، این سازندها با استفاده از نمودار چاه پیمایی NGS (یک حلقه چاه)، روش پراش اشعه ایکس (XRD) و روش تجزیه عنصری XRF (یازده نمونه از دو حلقه چاه) مورد بررسی قرار گرفت. در نمودار NGS کانی های شناسایی شده به ترتیب فراوانی عبارت از ایلیت، مونتموریلونیت، مخلوط لایه، گلاکونیت و فلدسپار است. در روش XRD، کانیهای رسی ایلیت، مونتموریلونیت، مخلوط لایه، کلریت و کائولینیت به ترتیب فراوانی شناسایی گردید. مجموعه این کانیها با توجه به حساس بودن آنها به واکنش با آب موجب ناپایداری دیواره چاه می گردند. نسبت بالای Si/Al و تغییرات Ti و بالا بودن  $Fe^{3+}$  و Mg نیز نشانه حضور گسترده ایلیت، کلریت و نیز مونتموریلونیت در سازندهای مذکور است. تغییرات عناصر اصلی و کمیاب نسبت به  $Al_2O_3$  به استثنای CaO، MnO و  $P_2O_5$  رابطه خطی مثبتی را نشان دادند. تغییرات میزان  $Fe_2O_3$  در بخش بالای پابده شرایط اکسیدان ولی به سمت گورپی شرایط احیا را نشان می دهد. براساس میزان آهن، منگنز و وانادیم، رسوبات تحت شرایط احیا، Eh احیا غیر سولفیدی و pH متوسط تا پایین تشکیل شده اند. تغییرات نسبت Th/U (۴/۵-۱) حاکی از شرایط دریایی تا حدواسط است. وجود افقهای غنی از ماده آلی (بیش از ۲٪) شرایط احیا را تایید می کند. براساس مقادیر پائین نسبت Zr/Rb رسوبات در بخش بالایی و پائین، نسبت به بخش میانی دانه ریزتر شده اند. تجمع نسبی کربنات بیوژنیک همراه شیل بصورت تناوبی بوده در تغییرات نسبت  $(Zr+Rb)/Sr$  منعکس شده است. براساس نسبت Sr/Ba در بخش زیرین شرایط دریایی و بسمت بالای سازند شرایط قاره ای و تحولی و گاه دریایی حاکم است. شرایط اکسیداسیون-احیا نیز بررسی شد. مقادیر نسبت  $V/(V+Ni)$  قلمرو نیمه احیا، نسبت Ni/Co محدوده احیا و نمودار V/Cr محدوده تقریباً احیا و در مواردی شرایط اکسیدان را نشان می دهند. شرایط دیرینه اقلیم در زمان ته نشست رسوبات بر مبنای مقادیر پائین نسبت Rb/Sr (کمتر از ۰/۱۴) کاملاً گرم و خشک بوده است.

**کلید واژه:** پایداری دیواره چاه، نمودار NGS، سازندهای پابده و گورپی، محیط رسوبی، میدان نفتی آغاچاری

## ۱- مقدمه

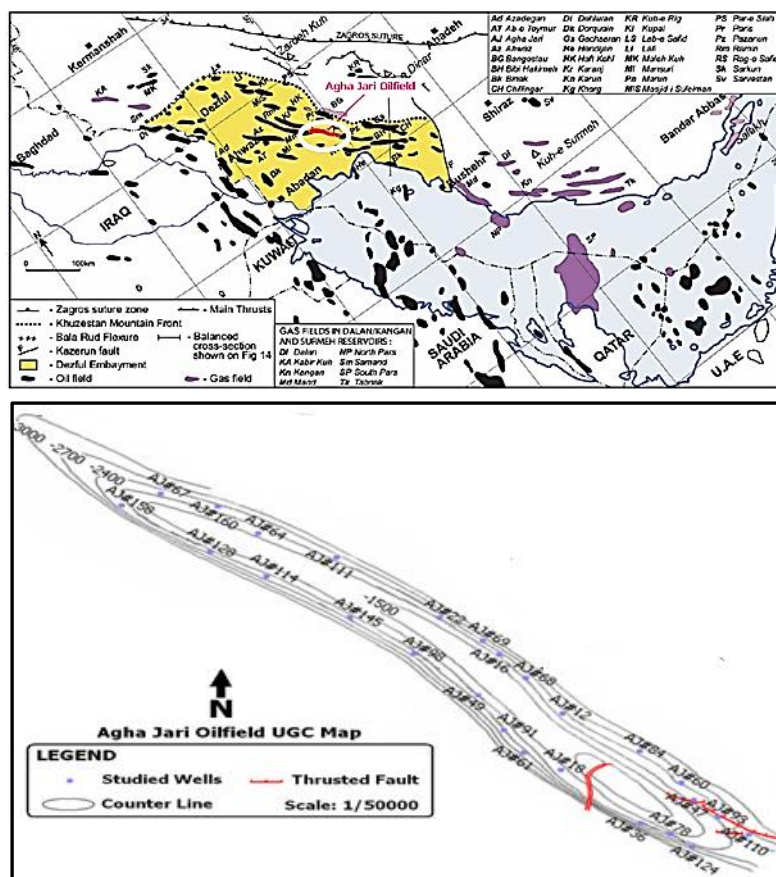
پایداری دیواره‌ی چاه یکی از عوامل مهم در صنعت حفاری است، این موضوع در ریزش دیواره، گرفتگی لوله‌ها، ایجاد مسیرهای انحرافی و جانبی، مشکلات مرتبط با نمودار گیری، مشکلات مرتبط با مغزه‌گیری از جداره چاه، مشکلات جداره گذاری، سیمان شدگی ضعیف، هرزروی گل، اختلال در برنامه‌ریزی، صرف هزینه‌های بالا و حتی فوران چاه نقش دارد [۵، ۱۰، ۲۸، ۳۷]. در مجموع ناپایداری مشاهده‌شده در چاه حین عملیات حفاری به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شود: گشاد شدگی با ریزش چاه؛ خزش یا همگرایی چاه؛ ایجاد زون خمیری، دگرگون‌شده یا آسیب‌دیده شکست سازند و هرزروی سیال حفاری. سه نوع اول ناپایداری به منطقه نزدیک دیواره چاه مربوط می‌شود [۶۳، ۷۳، ۹۸]. به دلیل عدم وجود مغزه از افق‌های شیلی ممکن است که طبقه بندی شیلهای شکسته را با استفاده از تحلیل کانی شناسی (روش آنالیز XRD) و روش تیتراسیون (روش آنالیز MBT) از داده‌های خرده حفاری [۱۱، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۴۸، ۵۱، ۷۶] انجام داد.

ناپایداری چاه، در اثر یک تغییر ناگهانی در تنش‌های مکانیکی و یا خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محیط در زمان حفاری ایجاد می‌شود. ناپایداری چاه معمولاً به صورت غار شدگی و از بین رفتن لایه شیلی دیده می‌شود که منجر به بزرگ شدن حفره، پرشدگی و همچنین ایجاد حفره‌های تنگ است [۱۳، ۴۷، ۶۶]. به طور کلی باید گفت که ناپایداری دیواره چاه بستگی دارد به پاسخ سنگ دیواره چاه به تمرکز تنش القایی ناشی از عملیات حفاری خواهد داد. بررسی عوامل مؤثر ریزش دیواره چاه که منجر به ناپایداری دیواره می‌شود دارای اهمیت مطالعاتی بالایی است. این پدیده موجب بروز مشکلاتی در حین حفاری و یا مچاله شدگی لوله‌ها بعد از حفاری می‌گردد. بر اساس داده‌های موجود، حل مشکلات مربوط به ناپایداری چاه سالانه بین ۰.۵ تا ۱ میلیارد دلار برای صنعت نفت هزینه دارد [۶، ۵۵، ۷۴]. بنابراین موضوع ناپایداری دیواره چاه در صنعت بسیار مهم بوده و این نوشتار تلاش دارد این موضوع را در سازندهای شیلی پابده-گورپی از نظر تغییرات کانی شناسی و ژئوشیمیایی در میدان آغاچاری مورد بررسی قرار دهد. شناخت ویژگیهای سازندهای شیلی می‌تواند در مدیریت و صیانت از مخزن و نیز شناخت رفتاری این سازندها بسیار مؤثر باشد.

## ۲- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

میدان نفتی آغاچاری با موقعیت  $30^{\circ} 49'$  طول جغرافیایی و  $31^{\circ}$  عرض جغرافیایی در فاصله ۹۰ کیلومتری جنوب شرق شهر اهواز و حدود ۵ کیلومتری شمال شرق شهر امیدیه قرار گرفته است (شکل ۱). این میدان در فروافتادگی دزفول، در مرز بین دزفول شمالی و دزفول جنوبی واقع شده است. این میدان نسبت به میداین مجاور خود از شمال توسط میدان کرنج، از جنوب توسط میدان رامشیر، از شرق توسط میدان پازنان و از غرب توسط میدان مارون محدود شده است. این میدان به صورت یک چین نامتقارن با پلانچ دوگانه می‌باشد. در افق آسماری، این میدان دارای ۵۶ کیلومتر طول و ۶ کیلومتر عرض می‌باشد که در بخش شرقی میدان عرض آن به ۷ کیلومتر نیز می‌رسد. در این افق چین تک کوهانک بوده و با انحراف محوری نسبتاً زیاد چپ گرد مشخص می‌شود. شیب ساختمانی یال جنوبی به طور متوسط  $55^{\circ}$  و در بیشترین حالت در دماغه شرقی  $70^{\circ}$  می‌باشد. همچنین شیب یال شمالی به طور متوسط  $35^{\circ}$  بوده که در بیشترین حالت در میانه میدان  $48^{\circ}$  می‌باشد. میزان زاویه میل محوری در دماغه غربی

۶ درجه و در دماغه شرقی  $8^{\circ}$  می باشد [۱، ۸۶]. مرز سازندهای پایده و گورپی تدریجی ولی مرز بالایی آن با سازند آسماری و مرز پائینی آن با سازند ایلام از نوع ناپیوسته است. ضخامت پایده-گورپی در این میدان بطور متوسط ۳۶۵ متر (۲۶۵ متر برای پایده و ۱۰۰ متر برای گورپی) محاسبه گردید. از نظر سنگ شناسی سازند پایده از آهک شیلی و در مواردی دارای پیریت و سازند گورپی از آهک و شیل و دارای گلاکونیت تشکیل شده است.



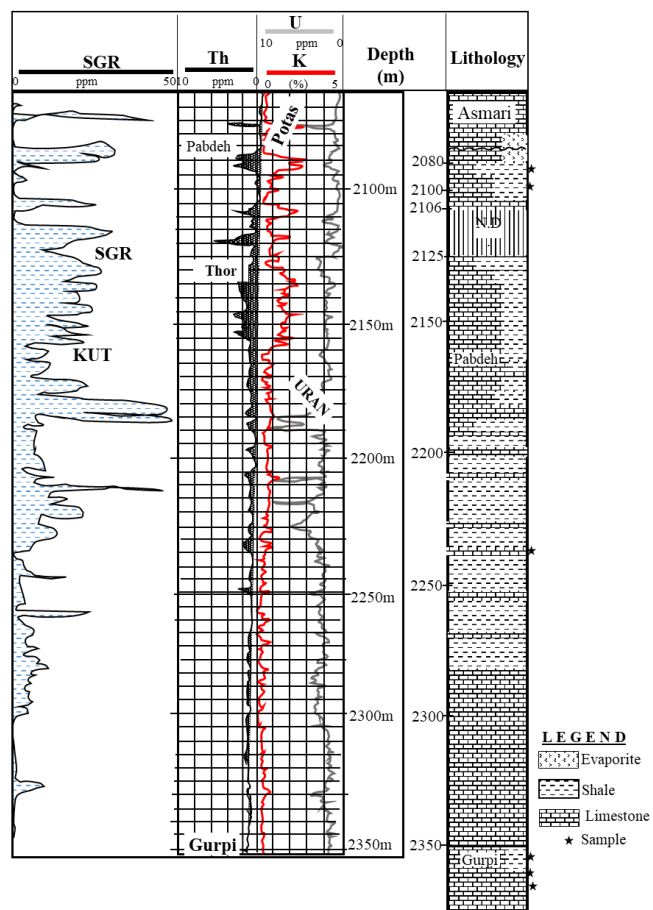
شکل ۱. موقعیت میدان مورد مطالعه در فروافتادگی دزفول در کمربند چین خورده زاگرس [۱۶] و نقشه UGC میدان آغاچاری.

### ۳- مواد و روشها

مطالعه کانی‌های رسی در سه شیوه اصلی: (۱) با استفاده از نمودارهای چاه پیمایی (NGS) در یک حلقه چاه برای فواصل شیلی، (۲) پراش اشعه ایکس (XRD) تعداد ۱۷ نمونه از سه حلقه چاه و (۳) آنالیز شیمیایی با روش XRF (۱۱ نمونه از دو حلقه چاه) انجام گردید.

نمودارهای چاه‌پیمایی - نمودار الکتریکی (Natural Gamma Ray Spectroscopy) NGS و (Gamma Ray) GR رادیواکتیویته طبیعی سازندها را نشان می‌دهد [۳۰، ۴۱، ۱۲۳]. با توجه به اینکه هر نوع کانی رسی دارای مقدار مشخصی از عناصر رادیواکتیو U، Th و K است. بنابراین می‌توان با در دست داشتن مقادیر این عناصر از روی نمودار، کانی‌های رسی را شناسایی کرد [۲، ۳۰، ۹۰]. نمودار GR به دو صورت SGR (Sum Gamma Ray) و CGR (Compensated Gamma Ray) می‌باشد که به ترتیب بیانگر مجموع  $(Th + U + K)$  و  $(Th + K)$  می‌باشند و بر حسب واحد API و از صفر تا ۱۰۰ نشان داده می‌شوند. برای شناسایی افق‌های شیلی بیشتر از نمودار CGR استفاده می‌شود

و بالا بودن پرتو گامای کلی یعنی SGR ارتباطی به شیل ندارد و می‌تواند دلایل دیگری داشته باشد. شکل ۲ نمودار NGS یکی از چاه‌های مورد مطالعه و ستون چینه‌ای همراه با موقعیت تقریبی نمونه‌های آنالیز شده را نشان می‌دهد. نمودارهای NGS و سرچاهی (GWL) متداول‌ترین نمودارها جهت بررسی توزیع لیتولوژی و به ویژه شیل‌ها می‌باشند [۱۷، ۶۷، ۱۲۲]. براساس مطالعه نمودارهای چاه‌پیمایی موجود در میدان آغاچاری، انتروال‌های مناسب جهت بررسی سازندهای پابده-گورپی از نظر مطالعه کانی‌های رسی و آنالیز شیمیایی انتخاب گردید (شکل ۲). همچنین سعی گردید مشکلات حفاری در زمان دسترسی به این سازندها، نیز مورد بررسی قرار گیرند.



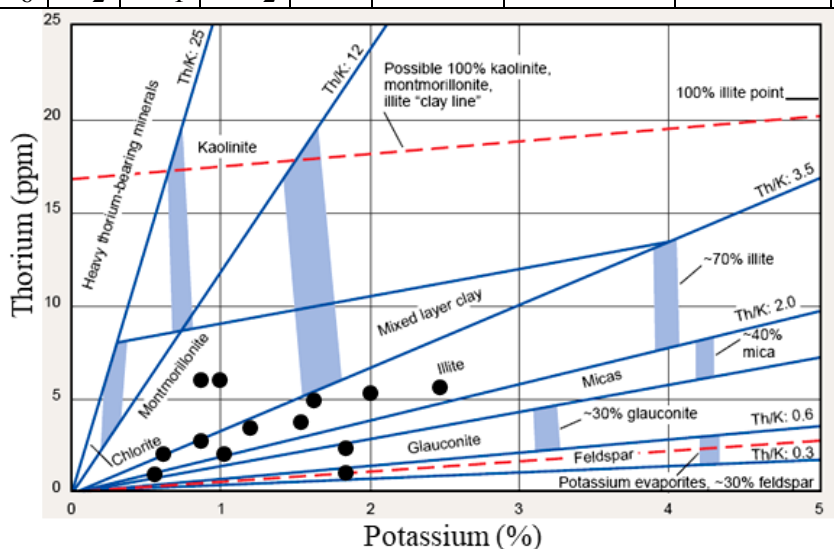
شکل ۲ نمودار NGS یکی از چاه‌های مورد مطالعه و ستون چینه‌ای همراه با موقعیت تقریبی نمونه‌های آنالیز شده.

با مطالعه نمودار NGS در میدان مورد مطالعه وضعیت زمین‌شناسی - سنگ‌شناسی ستون چینه‌ای چاه‌ها بررسی و با احتساب میزان احتمالی شیل در بخش‌های مختلف سازندهای مورد نظر با استفاده از نمودارهای GR و NGS، محل برداشت نمونه‌های شیلی (به تعداد ۱۱) مشخص گردید. این انتخاب با توجه به نمونه‌های موجود در بایگانی شرکت نفت (مناطق نفت خیز جنوب)، صورت گرفت که پس از آماده سازی، مورد آنالیز XRF قرار گرفت. نتایج حاصل از شناسایی کانی‌های رسی با استفاده از نمودار پتروفیزیکی NGS در میدان مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. شناسایی کانی‌های رسی با استفاده از نمودارهای استاندارد (شکل ۳) [۸۸، ۱۱۳]. صورت گرفت. با مطالعه نمودارهای پراش اشعه ایکس XRD از لحاظ تئوری محاسبه نیمه کمی انواع کانی‌های رسی در نمونه‌های مورد مطالعه امکان پذیر است. زیرا به دلیل تأثیر فاکتورهایی نظیر بلوری شدن، ترکیب نمونه، ناخالصی‌ها، جهت

یافتگی کانی‌های رسی و کالیبراسیون دستگاه دیفرانکومتر، محاسبه کمی دقیق را با مشکلاتی مواجه می‌سازد. هرچند که می‌توان با ایجاد شرایط یکسان در آماده‌سازی و انجام آنالیز، میزان خطاها را به حداقل رساند [۸۲].

جدول ۱. نتایج کانی‌های رسی شناسایی شده به کمک نمودار NGS در یکی از چاه‌های مورد مطالعه

Depth (m)	U	Th	K	Th/K	Illite	Montm.	Mixed Layer	Glauconite	Kaolinite	Feldspar
2038-Pd	2.5	6	2.5	2.4	*					
2058	2.2	5	2	2.5	*					
2100	2.5	4	1.5	2.7	*					
2135	8	5	1.6	3.1	*					
2208	9	4	1.2	3.3	*					
2225	6	3	0.8	3.75		*				
2278	4	6	1	6			*			
2300	2	2	0.5	4		*				
2325	3	2	1	2	*					
2350-Gu	1	1	0.5	2	*					
2378	8	2	1.8	1.1				*		
2382	6	1	1.8	0.6						*
2465	2	6	0.8	7.5		*				
2467-II.	6	2	1	2	*					



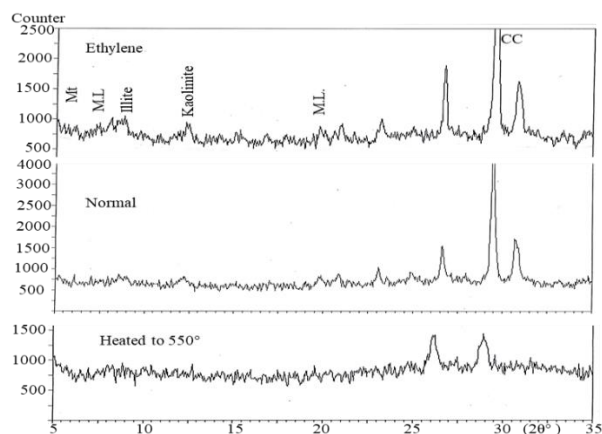
شکل ۳- کراس پلات توریم- پتاسیم [۸۸، ۱۱۳].

روش‌های نیمه کمی برای محاسبه درصد کانی‌های رسی ارائه شده که از آن جمله به رابطه ویر و همکاران [۱۱۱]

$$I_{kaolinite}/2.5 + I_{illite} + I_{smectite} + I_{chlorite}/2 = \% 100$$

می‌توان اشاره نمود:

در این روش مقدار کانی بر اساس ارتفاع پیک از یک سطح مبنا (I) بر حسب میلی‌متر اندازگیری شده، سپس مقادیر مورد نظر به صد رسانیده و بر حسب درصد بیان می‌شوند. تعداد ۱۷ نمونه (سه اسلاید برای هر نمونه) که به صورت حرارتی، عادی و گلیکولی تیمار گردیدند، مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴). نتیجه آنالیز به صورت پیک‌هایی برای هر نمونه به دست آمد. کانی‌های رسی عمده در سازندهای مورد مطالعه شناسایی و نتایج حاصل در جدول ۲ ارائه گردید. نمونه‌های انتخابی از چاه شماره ۳۰ از اعماق ۲۷۱۸، ۲۵۷۵، ۲۷۲۷، ۲۸۱۶، ۲۹۱۹، ۲۹۲۲، از چاه شماره ۱۲۱ از اعماق ۲۰۸۵، ۲۰۹۱، ۲۲۳۳، ۲۳۸۳، ۲۳۸۷، ۲۳۸۸ و از چاه شماره ۱۴۰ از اعماق ۲۰۹۸، ۲۱۵۸، ۲۲۸۸، ۲۳۸۰، ۲۴۳۶ متری برداشت گردید (جدول ۲).



شکل ۴ -نمایشی از سه نمودار دیفراکتوگرام و موقعیت کانی‌های رسی برای یکی از نمونه های مورد مطالعه.

جدول ۲. کانی‌های رسی عمده در نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از روش XRD

Well no.	Depth (m)	Illite	Chlorite	Montmorillonite	Chl-Illite	Illite-Mont.	Kaolinite
121	2085	20.6	27	12.7	12.7	27	----
	2091	27.1	---	13.6	14.8	17.3	27.2
	2233	27.8	16.6	27.8	----	27.8	----
	2383	25	25	25	----	25	----
	2387	26	----	24	----	21.7	28.3
	2388	26.6	20	24.5	---	28.9	----
140-	2098	20.4	----	22.2	----	18.5	38.9
	2158	19.5	----	29.3	----	19.5	29.3
	2288	17.4	----	28.3	13	15.2	26.1
	2380	26.7	----	23.3	26.3	23.3	----
	2436	29.7	18.9	27	---	24.4	----
30-	2718	20	22.5	27.5	----	30	---
	2575	21.3	----	21.3	17	19.1	21.3
	2727	24.3	29.7	27	---	18.9	----
	2816	20.4	----	25	18.2	18.2	18.2
	2919	19.2	----	12.8	----	19.3	48.7
	2922	19.7	----	12.7	----	16.9	50.7

-روش فلورسانس پرتو ایکس (XRF)- در حال حاضر طیف سنجی فلورسانس پرتو ایکس، رایج ترین روش تجزیه‌ای عناصر اصلی و جزئی است [۳۸]. محدودیت اصلی XRF ناتوانی در تجزیه عناصر سبک تر از سدیم [۶۹، ۷۷، ۱۱۴] (عدد اتمی ۱۱) است. بر اثر جابه‌جایی الکترون‌ها، طیف اشعه X ثانویه (فلورسانس) با طول موج خاصی به وجود می‌آید که مبنای تجزیه کیفی عناصر بوده و شدت پرتوها متناسب با فراوانی یا کمی عناصر موجود در نمونه است [۱۱۹]. هرچند یکسان بودن روش آماده‌سازی، نمونه استاندارد و نیز یکنواخت بودن سطح مورد آزمایش، نقش مهمی در دقت و صحت نتایج حاصله دارند [۳۳].

مطالعات ژئوشیمیایی عمدتاً در ارزیابی سنگ منشأ و همچنین در تعیین شرایط تشکیل محیط رسوبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مطالعه به منظور ارزیابی ژئوشیمیایی تعداد ۱۱ نمونه از سازندهای پابده و گورپی توسط آزمایشگاه تحقیقاتی کانساران بینالود با دستگاه XRF مدل Philips 1480 آنالیز شدند. نتایج این آنالیز در جدول ۳ آمده است.

## ۴- بحث

## ۴-۱- تغییرات سنگ چینه‌ای سازندهای پابده -گورپی

بمنظور توصیف سازندهای مورد مطالعه براساس نمودار سرچاهی تغییرات سنگ چینه‌ای در سه حلقه چاه ۳۰، ۱۲۱، و ۱۴۰ ارائه شده است:

چاه شماره ۳۰- پابده از عمق ۲۳۲۱ متری شروع شده، دارای شیل و آهک بین لایه‌ای مارنی، سیلتی، خاکستری فسیل‌دار (مانند گلوبیژرین) و در عمق ۲۴۵۴ متری مشتمل بر آهک خاکستری و شیل سبز خاکستری فسیل‌دار (مانند گلوبیژرین) است. در عمق ۲۵۱۵ متری از شیل، آهک سیلیسی نازک قهوه‌ای دارای *Hantkenina* و گلوبیژرینا و در عمق ۲۶۱۲ متری دارای روتالیا، گلوبوروتالیا و گلوبیژرینا است. در عمق ۲۶۲۷ متری از آهک مارنی خاکستری دارای روتالیا، گلوبوروتالیا و گلوبیژرینا تشکیل شده است. سازند گورپی (رأس کرتاسه فوقانی) که از عمق ۲۶۵۲ متری شروع می‌شود، دارای آهک خاکستری گلوبوترونکانا است.

چاه شماره ۱۲۱- سازند پابده از عمق ۲۱۲۴ متری شروع می‌شود. این سازند از آهک نوع I آرژیلیتی خاکستری، سیلتی ریز دانه و دارای بین لایه‌های آهکی نوع II سفید تا خاکستری، چاکی و نرم تشکیل یافته است. دارای گلوبیژرینا و در اعماق بیشتر دارای فسیل اپرکولینا است. در اعماق دارای گلاکونیت و فسیل گلوبوروتالیا بوده و تا حدودی تبلور مجدد یافته است. در مواردی دارای سیلت سبز و سخت است. در عمق، آهک نوع III و ماسه‌ای سفید درشت دانه همراه با گلاکونیت می‌باشد. این سازند در عمق ۲۳۴۱ متری به گورپی تبدیل شده، دارای شیل خاکستری تیره، پیریت، آهک شیلی و یا دانه‌های آهکی است. دانه‌های گلاکونیت، سلسنتین، کوارتز، فون‌های گلوبیژرینیده، گلوبوروتالیده، گلوبوترونکانا و یا *Hetrohelix sp* مشاهده شده، و در عمق ۲۴۵۹ متری به ایلام ختم می‌شود.

چاه شماره ۱۴۰- سازند پابده در فاصله عمقی ۲۱۱۰ متری تا ۲۳۶۰ متری از شیل و آهک دانه ریز سیاه - قهوه‌ای و ریز دانه تشکیل شده، تغییرات سنگ‌شناسی و فسیلی را نسبت به عمق نشان می‌دهد: فسیل گلوبیژرینا و *Zeauvigerina sp* (عمق ۲۱۵۲-۲۱۴۸)، گلوبیژرینا و *Hantkenina sp* (عمق ۲۲۰۵-۲۲۰۱)، آهک ماسه‌ای سخت با گلوبیژرینا، گلوبوترونکانا، اپرکولینا و *Hantkenina sp* (عمق ۲۲۵۴-۲۲۴۸)، شیل دانه ریز و بسیار دانه ریز (عمق ۲۲۹۶-۲۲۹۰)، آهک کرمی، سخت، متراکم، وکستون، آرژیلیتی تا ماسه‌ای، فسیل‌دار (مانند گلوبوترونکانا، و گلوبوروتالیا) (۲۳۲۵-۲۳۰۰)، آهک وکستون، پکستونی، آرژیلیتی تا ماسه‌ای، گلاکونیت-پیریت، شیل دانه ریز و دارای گلوبوترونکانا (عمق ۲۳۵۰-۲۳۴۳ متری). سازند گورپی از عمق ۲۳۵۶ متری شروع می‌گردد. از آهک نوع I، گاهی نوع II، وکستون ریز- متوسط دانه تا پکستون آرژیلیتی دارای کمی پیریت و گلاکونیت، گاهی ماسه‌ای با فسیل گلوبوروتالیا (در عمق ۲۳۶۶ متر) تشکیل شده است. قاعده آن در ۲۴۵۳ متری پایان می‌یابد.

## ۴-۲- نمودار NGS

بررسی نمودار چاه‌پیمایی NGS نشان داد که در چاه‌های مورد مطالعه انواع کانی‌های عمده سازندهای پابده و گورپی شامل ایلیت، مونتموریلونیت، مخلوط لایه، فلدسپار و گلاکونیت می‌باشد. عدم شناسایی گسترده کائولینیت در نمودار NGS (یا حضور بسیار جزئی و پایین‌تر از حد آستانه حساسیت ابزار نمودارگیری) می‌تواند نشانه ترکیب

شیمیایی و شرایط نامساعد محیط و یا تغییر و تبدیل دیاژنتیکی آن باشد. همچنین ممکن است این عدم شناسایی به واسطه رفتار ژئوشیمیایی متفاوت عناصر پتاسیم و توریم در کانی‌های رسی باشد، به عنوان مثال، K می‌تواند به راحتی شسته شود، ولی Th تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند [۳۰، ۹۰].

کانی‌های رسی شناسایی شده در نمودارهای XRD (جدول ۲). کانی‌های عمده رسی به ترتیب فراوانی عبارت است از ایلیت، مونتوریلونیت، مخلوط لایه، کلریت و کائولینیت (به صورت پراکنده). کانی‌های رسی ایلیت و مخلوط لایه بالاترین درصد را نشان می‌دهند.

ایلیت: کانی مقاومی نسبت به هوازگی است و لذا در فواصل کوتاه حمل تغییر نمی‌کند. اکثر ایلیت‌ها ناشی از دیاژنز کائولینیت و مونتوریلونیت است [۱۰۳، ۱۰۸، ۱۰۹]. مونتوریلونیت نیز با تبادل کاتیون‌های بازیک به ایلیت تبدیل می‌شود [۴۵، ۵۳]. میزان توریم آن ۱۰-۲۵ ppm و مقدار پتاسیم آن متغیر است. میزان پرتو گاما در ایلیت API ۱۶۰، کائولینیت ۱۰۴، اسمکتیت (مونتوریلونیت) ۱۶۸، کلریت ۵۶ و گلاکونیت (API) ۱۵۰ می‌باشد [۴۴، ۱۲۰]. مونتوریلونیت: یا اسمکتیت در نواحی خشک همراه با خاک‌های آلکالی فراوان بوده و آب راکد و شستشوی ضعیف و باقی ماندن کاتیون‌های Na و Ca، Mg در ساختمان آن‌ها و شرایط متناوب بسیار خشک و مرطوب مناسب است [۶۰، ۷۸، ۹۶]. این کانی در جریان فرسایش از بین می‌رود، فقدان و یا مقدار بسیار کم آن به تجمع رسوب در آب‌های شیرین نسبت داده می‌شود [۱۰۸، ۱۱۰]. کلر [۵۴] محیط غیر دریایی را برای تشکیل آن مناسب می‌داند. همچنین تشکیل آن را به شستشوی متوسط و محیط غنی از Mg نسبت می‌دهند [۱۴، ۱۱۶]. عدم وفور مونتوریلونیت می‌تواند به واسطه شرایط تقریباً دریایی حوضه باشد (دریایی کم‌عمق) و یا تبدیل بخشی از آن به ایلیت در نظر گرفته شود [۹۴]. عامل ترکیب شیمیایی سیال (دارا بودن Fe به جای Mg و مناسب برای تشکیل گلوکونیت) نیز حائز اهمیت است.

گلاکونیت: از نظر ترکیبی مشابه مونتوریلونیت است ولی به جای Mg دارای Fe است [۷۸] و به صورت ثانویه می‌تواند در سنگ‌های غنی از ماده آلی از ایلیت به وجود آید [۱۴، ۹۵]. اگرچه ظاهراً گلاکونیت تحت شرایط احیا تشکیل می‌گردد (در نواحی عمیق) ولی منحصر به آب‌های دریایی کم‌عمق و آشفته است که از عمق ۵۰ متر تا ۲۰۰ متر تغییر دارد و اکثراً در بخش کم‌عمق حوضه وجود دارد که در این بخش، از نظر رسوبات تخریبی، کمبود شدید وجود داشته یا نرخ رسوب گذاری بسیار پایین می‌باشد.

بنابراین حضور گلاکونیت، نشانه افق دریایی کم‌عمقی است که در معرض حفرشدگی وسیع و دیاژنز قرار گرفته و اصولاً محدود به نواحی فلات قاره است. همچنین سالینیته محیط بالا بوده و pH محیط نیز حدود ۷-۸ می‌باشد [۴۰، ۷۰]. بر اساس مطالعه عناصر کمیاب نیز تشکیل گلوکونیت را در مرز شرایط احیا-اکسیدان پیشنهاد نموده‌اند [۴۹].

جدول ۳. نتایج ارزیابی ژئوشیمیایی نمونه‌ها به روش XRF														
چاه	Well 121						Well 140					Parameters		
	(m)	2085	2091	2233	2383	2387	2388	2098	2158	2288	2380	2436	r	P
%														
SiO <sub>2</sub>	۳۸.۹۹	۲۹.۵۵	۳۳.۱۶	۱۳.۵۲	۱۶.۸۸	۲۷.۵۵	۳۶.۵۵	۲۱.۳۹	۲۴.۱۱	۱۵.۱۹	۱۸.۴			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۲.۷۵	۹.۰۹	۴.۷۸	۴.۷۸	۶.۵۵	۳.۸۸	۱۲.۴۱	۴.۵۵	۴.۷۳	۲.۵۹	۵.۵۶	۰.۷۲	۰.۰۰۶	

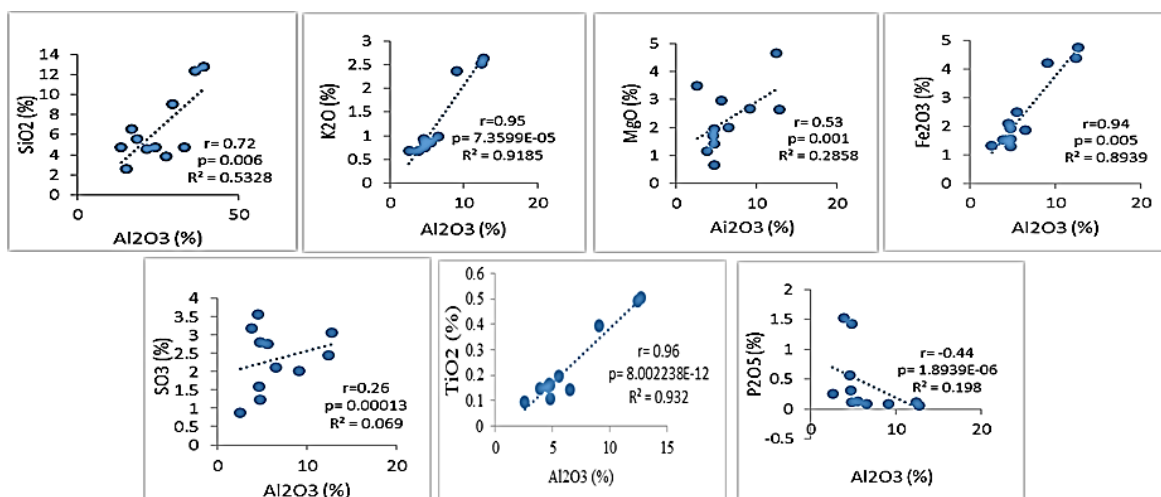


Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۴.۷۵	۴.۲۲	۱.۵۶	۱.۲۹	۱.۸۷	۱.۵۲	۴.۳۹	۲.۱۱	۱.۹۲	۱.۳۲	۲.۵۱	۰.۷۲	۱.۱۳۱
CaO	۱۵.۶۶	۲۴.۶۸	۲۹.۰۳	۴۲.۷۵	۳۷.۵۵	۳۲.۱۸	۱۶.۶۹	۳۵.۲۶	۳۳.۲۵	۴۱.۲۲	۳۶.۵	-۰.۹۵	۰.۹۲
Na <sub>2</sub> O	۰.۱۱	۰.۰۸	۰.۲۱	۰.۰۵	۰.۰۹	۰.۱۲	۰.۱۲	۰.۰۹	۰.۱۴	۰.۰۷	۰.۰۶	۰.۶۱	۲.۹۴
K <sub>2</sub> O	۲.۶۳	۲.۳۶	۰.۸۴	۰.۷۵	۰.۹۸	۰.۶۸	۲.۵۳	۰.۹۳	۰.۸۹	۰.۶۹	۰.۸۶	۰.۷۴	۸.۲۵
MgO	۲.۶۳	۲.۶۶	۱.۴۲	۰.۶۵	۲.۰۱	۱.۱۵	۴.۶۵	۱.۷۲	۱.۹۳	۳.۴۸	۲.۹۶	۰.۳۱	۲.۸۹
TiO <sub>2</sub>	۰.۵۰۴	۰.۳۹۶	۰.۱۰۷	۰.۱۶۲	۰.۱۴۲	۰.۱۴۸	۰.۴۹۱	۰.۱۵۸	۰.۱۶۷	۰.۰۹۴	۰.۱۹	۰.۷۲	۶.۲۹
MnO	۰.۰۱۲	۰.۰۰۸	۰.۱۶۰	۰.۰۰۷	۰.۰۱۱	۰.۰۱۶	۰.۰۲۶	۰.۰۱۲	۰.۰۱۳	۰.۰۰۸	۰.۰۱	۰.۳۶	۲.۸۶
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰.۰۶۱	۰.۰۸۹	۱.۴۲۱	۰.۱۱۵	۰.۰۹۶	۱.۵۲۱	۰.۱۲۴	۰.۵۷۲	۰.۳۲۱	۰.۲۵۵	۰.۱۳	۰.۲۱	۱.۷۴
SO <sub>3</sub>	۳.۰۸	۲.۰۳	۲.۸۰	۱.۲۴	۲.۱۳	۳.۱۸	۲.۴۵	۳.۵۶	۱.۶۰	۰.۸۹	۲.۷۵	۰.۵۱	۱.۵۵
L.O.I	۲۰.۴	۲۵.۸	۲۷.۳	۳۵.۳	۳۲.۸	۳۰.۴	۲۱.۴	۳۲.۳	۳۱.۹	۳۴.۵	۳۱.۸	-۰.۹۵	۰.۰۹۵
(ppm)													
Cl	۱۴۴	۱۲۰	۱۳۹	۱۰۵	۲۳۱	۱۱۸	۹۴	۹۸	۱۴۲	۱۰۸	۱۵۴	-۰.۱۷	۶.۴۰
Ba	۳۴۴	۳۵۰	۴۴	۱۵	۵۶۸	۲۳۰	۳۲۵	۱۵۴۲	۳۱	۳۶	۹۳	۰.۰۰۸	۲.۴۷
Sr	۴۴۳	۲۶۱	۳۸۵	۲۴۱	۲۸۹	۴۱۷	۲۳۴	۲۹۷	۵۴۶	۲۸۲	۲۴۹	۰.۳۴	۵.۵۲
Cu	۲۵	۱۶	۵۴	۲۲	۲۱	۳۷	۳۰	۳۵	۲۰	۲۴	۲۸	۰.۳۳	۰.۵۶
Zn	۱۶۶	۳۱	۸۲	۱۸	۳۴	۶۵	۲۸	۲۷	۵۴	۹۵	۳۱	۰.۴۷	۱.۹۴
Pb	۹۸	۶۱	۶۱	۲۹	۳۰	۴۳	۴۶	۲۹	۳۲	۲۰	۲۴	۰.۸۴	۰.۰۰۵
Ni	۵۸	۵۶	۸۴	۳۵	۴۹	۶۶	۶۰	۷۸	۶۴	۵۷	۵۰	۰.۴۷	۰.۱۹
Cr	۴۴	۲۴	۳۶	۳	۴	۲۹	۲۲	۴۸	۱۹	۱۸	۹	۰.۶۳	۰.۱۰
V	۷۱	۴۳	۴۳	۲۶	۳۳	۴۱	۵۱	۳۵	۳۵	۱۷	۲۹	۰.۹۱	۰.۱۴
Ce	۶۷	۴۲	۹	۱۹	۳۲	۲۸	۲۷	۱۰	۲۶	۵	۲۲	۰.۵۵	۰.۰۴۲
La	۳۶	۱۹	۵	۱۲	۱۶	۱۳	۱۶	۶	۱۲	۳	۱۵	۰.۵۳	۰.۹۷
W	۲	۱۵	۴	۲	۱	۸	۹	۵	۲	۲	۶	۰.۳۸	۰.۰۲۹
Mo	۴	۵	۱۱	۱۵	۵	۴	۲	۹	۲۵	۶	۱۸	-۰.۳۸	۰.۵۳
Nb	۴	۲	۴	۶	۸	۲	۴	۷	۳	۳	۱۱	-۰.۴۶	۰.۰۰۱
Zr	۲۶۱	۳۹۲۵	۱۷۸	۲۷۲	۳۲۱۱	۱۶۳	۱۸۸	۳۷۴	۶۸۵	۱۹۱	۱۵۱	-۰.۰۷	۳.۴۵
Y	۴۳	۲۱۳	۲۰	۳۴	۱۴۳	۲۲	۳۰	۴۶	۶۵	۲۵	۲۰	۰.۰۰۶	۷.۲۲
Rb	۶۱	۲۶	۱۲	۷	۱۱	۱۵	۲۹	۱۱	۲۴	۱۶	۱۸	۰.۷۰	۰.۱۰
Co	۸	۵	۷	۵	۹	۵	۲	۴	۲	۱	۲	۰.۲۴	۰.۰۰۰۷
As	۵	۴	۶	۵	۴	۴	۳	۳	۵	۴	۲	۰.۲۳	۲.۸۳
U	۱	۲	۱	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۰.۰۰۸	۱.۳۳
Th	۳	۲	۴	۲	۵	۲	۴	۴	۳	۳	۴	-۰.۰۲	۸.۹۱
Ga	۱۵	۱۶	۱۲	۱۳	۱۱	۱۲	۱۴	۱۴	۸	۹	۱۳	۰.۴۶	۰.۰۳
Ratio													
Zr/Rb	4.3	151	14.8	38.8	292	10.9	6.5	34	28.5	11.9	8.4	-	-
(Zr+Rb)/Sr	0.73	15.1	0.49	1.16	11.14	0.43	0.93	1.3	1.37	0.73	0.68	-	-
Th/U	3	1	4	2	2.5	2	2	4	1.5	3	2	-	-
Sr/Ba	1.3	0.74	8.75	16.06	0.52	1.8	0.72	0.19	17.6	7.8	2.68	-	-
V/(V+Ni)	0.55	0.43	0.34	0.43	0.4	0.38	0.46	0.31	0.35	0.23	0.37	-	-
Rb/Sr	0.14	0.1	0.03	0.03	0.04	0.036	0.12	0.037	0.04	0.057	0.07	-	-
Ni/Co	7.2	11.2	12	7	5.4	13.2	30	19.5	32	57	25	-	-
V/Cr	1.6	1.8	1.2	8.7	8.2	1.4	2.3	0.73	1.8	0.9	3.2	-	-

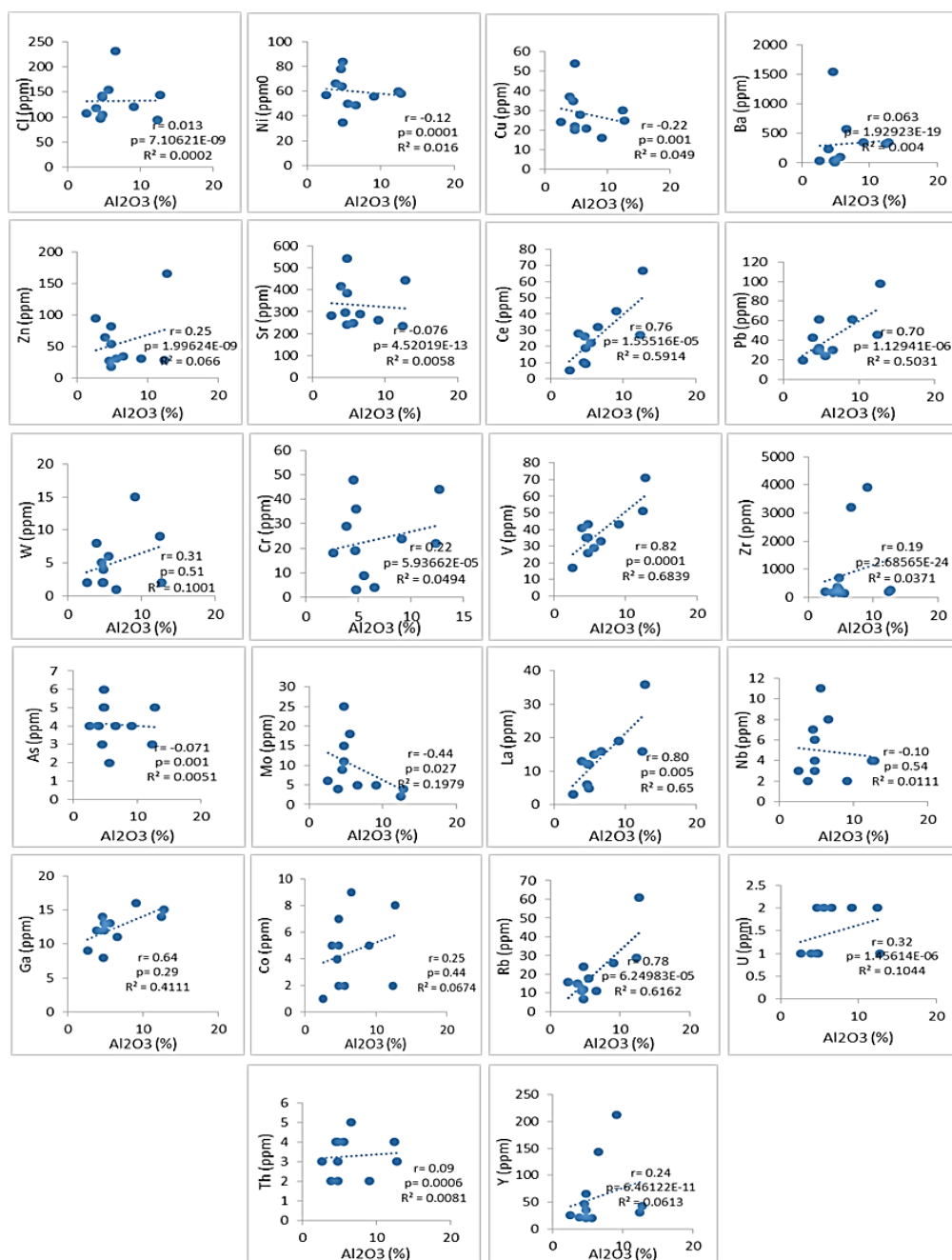
### ۴-۳- ارزیابی ژئوشیمیایی

محیط رسوبی سیستمی است که از روابط نزدیک عوامل محیطی مختلف تشکیل شده است، بنابراین شاخص‌های ژئوشیمیایی مختلف در یک محیط دارای روابط داخلی قابل توجهی هستند [۶۵]. شناخت و بازسازی محیط‌های رسوب‌گذاری قدیمی مستلزم تعیین خصوصیات فیزیکی (مانند عمق آب، تکتونیک)، شیمیایی (مانند انحلال و رسوبگذاری) و بیولوژیکی [۱۴، ۸۹] است که می‌توانند با پارامترهای ژئوشیمیایی محیط در ارتباط باشند که در مواردی تنها راه کار ممکن است [۱۰۳]. در این مطالعه از این معیار برای ارزیابی محیط رسوبی استفاده شده است. ترکیب عناصر اصلی سنگ‌های رسوبی تخریبی تابعی از ترکیب شیمیایی ذرات تخریبی است [۶۵]. عناصری نظیر Si, Al, K, Na در کانی‌های تخریبی آن‌قدر فراوان هستند که نمی‌توانند به واسطه افزوده شدن این عناصر از محیط به رسوب باشند [۱۲۴]. در مقابل، ترکیب شیمیایی سنگ‌های رسوبی شیمیایی برجا نظیر کربنات‌ها، و تبخیری‌ها توسط شرایط محیط رسوب گذاری کنترل می‌گردند [۸۴]. لذا، ترکیب عناصر اصلی اندیکاتور حساسی از محیط رسوبی نبوده و شدیداً مرتبط با منشا رسوب است [۲۲]. به علاوه تغییرات دیاژنتیکی موجب اضافه شدن یا کم شدن عناصر شیمیایی اصلی شده و تمرکز اولیه عناصر Ca, Fe, K, Mg را به طور مشخصی تغییر می‌دهد [۱۵، ۶۴]. لذا، این عناصر بعقیده بعضی از مؤلفین کاربرد کمی در آنالیز ژئوشیمیایی محیط دارند [۲۲، ۳۶]، و بعضی دیگر معتقدند که با ارزش می‌باشند [۶۲].

در این مطالعه، نمونه‌های انتخابی مورد آنالیز شیمیایی به روش XRF قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۳ مشاهده می‌گردد. از آنجا که بررسی روابط مجموعه چند عنصری می‌تواند میزان تغییرات و محدوده دینامیکی بین اجزا را نشان دهد [۱۱۵]، در نمونه‌های شیلی مطالعه شده، تغییرات عناصر اصلی و کمیاب نسبت به عمق،  $Al_2O_3$  و  $SiO_2$  مورد بررسی اولیه قرار گرفت. در نهایت برای تفسیر نتایج از نمودارهای تغییرات عناصر نسبت به  $Al_2O_3$  (شکل‌های ۵ و ۶) (بدلیل دارا بودن روند منطقی) استفاده گردید. زیرا میزان این اکسید در نمونه‌های شیلی تابع میزان کانی‌های رسی است [۸۷].



شکل ۵- نمودار تغییرات عناصر اصلی نسبت به  $Al_2O_3$  در نمونه‌های مورد مطالعه



شکل ۶- نمودار تغییرات عناصر کمیاب نسبت به  $Al_2O_3$  در نمونه های مورد مطالعه

در تحلیل داده‌های آنالیز XRF، پارامترهای آماری  $r$ ،  $R^2$  و  $P$  به منظور شناخت روابط میان فراوانی عناصر محاسبه گردید. ضریب همبستگی ( $R^2$ ) سنجش دقت پیش بینی کلی در مدل رگرسیون [۲۷] و به عبارتی نسبتی از تغییر پذیری مجموعه داده‌ها در مدل متغیر خطی [۴۳] است.

پارامتر  $R^2$  بیان کننده تناسب دو دسته داده یا نسبت متغیرها به یکدیگر بوده [۹۶] و حداکثر مقدار آن ۱ می‌باشد. در صورت داشتن روند معکوس، مقادیر آن منفی خواهد بود [۱۸]. میزان همبستگی با توجه به مقادیر زیر گروه بندی می‌شود: ۰/۰-۰/۰۹ (بسیار ضعیف)؛ ۰/۱-۰/۳ (ضعیف)؛ ۰/۳-۰/۵ (متوسط)؛ و بالاتر از ۰/۵ (قوی).

فاکتور P بی نهایت به همگنی نمونه حساس بوده، و به طور کلی تغییر پذیری داده‌ها (انحراف کلی) را نشان می‌دهد [۵۸، ۹۳]. در صورتی که کمتر از ۰/۰۵ باشد نشانه ارتباط داده‌ها است. این پارامتر با استفاده از بخش آماری F-test در نرم افزار Excel نیز برای داده‌های شیمیایی محاسبه گردید.

تغییرات عناصر اصلی و کمیاب نسبت به  $Al_2O_3$  نشان داد که: تمامی عناصر اصلی رابطه خطی مستقیمی را نشان می‌دهند به استثنای  $CaO$ ،  $MnO$  و  $P_2O_5$  که رابطه منفی دارند و احتمالاً به واسطه نوع ژنز و عدم شرکت آن‌ها در ساختمان رس‌ها و شرایط سطح اساس و رسوب‌گذاری مربوط می‌باشد [۱۲]. همچنین عناصر اصلی نسبت به  $Al_2O_3$  ضریب تطابق پیرسون (P) کمتر از ۰/۰۵ ( $SO_3$ ،  $Fe_2O_3$  و  $MgO$ ) را نشان داده که نشانه عدم وجود تفاوت عمده میان متغیرها است. اکسیدهای  $Na_2O$ ،  $SO_3$  و  $MnO$  دارای ضریب تطابق پایینی هستند.

عناصر کمیاب نسبت به تغییرات  $Al_2O_3$  در اکثر موارد به استثنای  $Sr$ ،  $Cl$ ،  $Cr$ ،  $Ba$ ،  $Cu$ ،  $Ni$ ،  $Zn$ ،  $Zr$ ،  $Th$ ،  $As$  و  $Nb$  روند قابل قبولی را نشان نمی‌دهند و ضریب همبستگی پایینی را نشان می‌دهند. سایر عناصر کمیاب دارای ضریب همبستگی متوسط تا بالا هستند که می‌تواند در ارتباط با تغییرات شرایط رسوب‌گذاری و یا تغییرات مواد آلی باشد. تغییر شرایط رسوب‌گذاری در توزیع کانی‌های رسی نیز بیان شده است. وجود روند قابل قبول عناصر کمیاب ممکن است در ارتباط با کانی‌های رسی نیز باشد. نتایج مطالعه آشکار نمود که عنصر  $Sr$  نسبت به  $SiO_2$  رابطه مثبت و نسبت به  $P_2O_5$  و  $Na_2O$  دارای ضریب همبستگی بالاتری است. لذا می‌تواند به عنوان اندیکاتور سالیئته به کار رود.

#### ۴-۴- محیط رسوبی

پارامترهای ژئوشیمیایی رسوبی تحت تأثیر زمین ساخت، مواد منبع، درجه باز بودن محیط رسوبی، دیاژنز، بیولوژی و غیره قرار دارند [۷، ۲۳، ۲۴، ۱۰۰]. بنابراین، هنگام استفاده از ژئوشیمی رسوبی برای تعیین محیط رسوبی، لازم است ابتدا نمونه‌هایی انتخاب شوند که کمتر در معرض تغییرات دیاژنتیکی باشند [۹۱] و تأثیر قاره‌ای باید با استفاده از برخی روش‌های خاص حذف شود [۲۴، ۱۰۰]. علاوه بر این، لازم است شاخص‌های ژئوشیمیایی که به محیط رسوبی حساس بوده و در فرآیند دیاژنتیکی اخیر نسبتاً پایدار باشند، اتخاذ شود [۵۲، ۵۹، ۷۵، ۸۵، ۱۰۷].

ثابت شده است که سنگ‌های ریزدانه مانند مادستون‌ها حامل موثر اطلاعات اولیه ژئوشیمیایی رسوبی هستند [۵۲، ۱۰۵]. شار آواری را می‌توان با ضریب اطمینان یا نمودار متقاطع بین یک عنصر کمیاب معین و یک عنصر قاره‌ای مانند  $Al$ ،  $Zr$  یا  $Ti$  بررسی کرد و بخش درج‌ازا عناصر را می‌توان با افزایش میانگین فراوانی مادستون تخمین زد [۱۰۴، ۳۵]. تریووویلارد و همکاران [۱۰۰] بیان کرد که استفاده ترکیبی از غنی‌شدگی  $U$ ،  $V$  و  $Mo$  اجازه می‌دهد تا محیط‌های تقریباً اکسیدان (suboxic) را از محیط‌های بدون اکسیژن (euxinic) با توجه به سنتز رفتار ژئوشیمیایی عناصر کمیاب خاص و نتایج قبلی بازسازی دیرینه محیطی تشخیص دهد [۱۰۰]. با توجه به حساسیت محیطی [۱۰۳]، شاخص‌های ژئوشیمیایی را می‌توان به طور تقریبی به صورت زیر طبقه بندی کرد:

(1) نوع محیط، از جمله منشأ ( $Zr/Hf$ ،  $87Sr/86Sr$ )، احیا ( $DOP = \text{pyrite Fe}/\text{total Fe}$ )،  $U/Th$ ،  $V/Ni$ ، درج‌ازا،  $(Ni/Co)$ ،  $(Cu/Zn)$ ،  $(V/Cr)$ ، فاصله از ساحل یا عمق آب  $(Fe/Mn)$ ،  $(Co/Ti)$ ، سالیئته دیرین  $(B)$ ،  $(Sr)$ ،  $(Ni)$ ،  $(Li)$ ،  $(B)$ ،  $(Ga)$ ،

(Na/Ca, Sr/Ba)، رخساره های رسوبی (Tv+Ni+Cu)؛ (2) نوع آب و هوا، از جمله دما و رطوبت (Sr/Cu, Rb/Sr)، (Al/Mg, Mg/Ca)؛ و (3) نوع تکتونیک (V/Sc).

توزیع عناصر در تشکیل سنگ از یک سو به خواص فیزیکوشیمیایی خود عناصر بستگی دارد، و از سوی دیگر تحت تأثیر اقلیم دیرینه و محیط دیرینه است [50، 61، 121]. استرانسیوم (Sr)، باریم (Ba)، وانادیم (V)، و نیکل (Ni) که همگی به محیط رسوبی حساس هستند، به عنوان شاخص های متمایز انتخاب شدند و محیط رسوبی سازند پابده و گورپی در میدان نفتی آجاجاری با ترکیب با شاخص های رسوبی مورد مطالعه قرار گرفت.

در عمل، یک شاخص ژئوشیمیایی معین ممکن است بیش از یک نوع اطلاعات محیطی را منعکس کند. برای مثال، یک نوسان در نسبت Fe/Mn می تواند نشان دهنده تغییر در شوری، فاصله از ساحل، عمق آب یا آب و هوا باشد [31، 99].

- تغییرات عناصر متحرک Fe, Mn و V با استفاده از رده بندی کوبنای-هانت و وایلد [80] به عنوان اندیکاتور شرایط دریایی اولیه بررسی گردید (جدول 4). نمونه های مورد مطالعه در گروه 3 این رده بندی قرار دارند. در این گروه آهن و منگنز احیا شده، و نسبتاً محلول هستند. این موضوع شرایط احیا ولی Eh احیا غیر سولفیدی و pH متوسط تا پایین را نشان می دهد.

جدول 4 میانگین غلظت (بر حسب ppm) اندیکاتورهای احیاء در شیل ها [81].			
Group 1 Oxic	Group 2 Mn soluble	Group 3 Mn, Fe soluble	Group 4 V high
Mn > 800 Fe > 37500 V < 320	Mn < 750 Fe > 37500 V < 320	Mn < 750 Fe < 37500 V < 320	Mn < 750 Fe < 37500 V > 320
داده های مربوط به نمونه های مورد مطالعه (میدان آجاجاری)			
V < 71; (except no. 3=Mn > 800) Mn < 120; Fe < 16600			
نتیجه: همه نمونه ها در گروه 3 قرار دارند به استثنای نمونه 3 که در گروه 1 واقع می شود.			

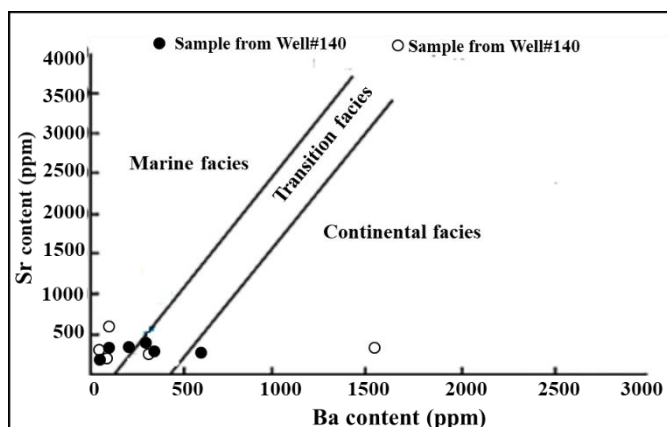
-نسبت Zr/Rb منعکس کننده تغییرات اندازه دانه رسوب است. مقادیر بالاتر در افقهای نسبتاً درشت دانه و مقادیر کمتر در سنگ های رسی و شیل دیده می شوند [34]. بررسی داده ها (جدول 3) نشان داد که در بخش بالایی و پایینی سازند، نسبت به بخش میانی رسوبات دانه ریز تر است.

-نسبت (Zr+Rb)/Sr منعکس کننده تعادل بین اجزای آواری و کربناتی است که در برخی موارد معیاری از محتوای بیوژنیک رسوبات است. مقادیر بالا معمولاً در نمونه هایی با کربنات کم یافت می شود [34]. تغییرات این نسبت در نمونه های مورد مطالعه نشان داد که تجمع نسبی کربنات بیوژنیک همراه شیل بصورت تناوبی بوده و در مکان های مختلف میدان نیز متفاوت است.

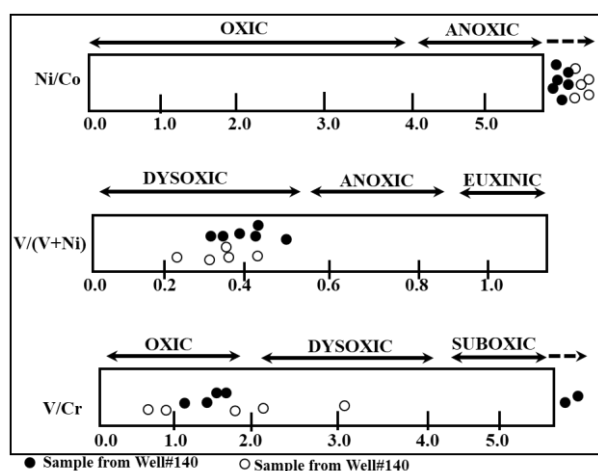
-نسبت Sr/Ba به عنوان شاخص شوری استفاده می شود زیرا رسوبات قاره ای در مقایسه با رسوبات دریایی معمولاً از Ba غنی شده و از Sr فقیر هستند [29، 124]. نتایج نشان می دهد که دامنه تغییرات این نسبت در سازندهای مورد مطالعه (شکل 7) در چاه 201 در بازه 0/52-16/06 و در چاه 140 در بازه 0/19-17/6 بوده، نشان می دهد در بخش زیرین دریایی و بسمت بالای سازند شرایط قاره ای و تحولی حاکم بوده است. در چاه شماره 140 در میان

فازهای قاره‌ای و تحولی، شرایط دریایی نیز وجود دارد. بنابراین در بازه زمانی رسوب سازندهای پابده و گورپی شرایط دریایی و قاره‌ای و گاه متناوب حاکم بوده است.

-نسبت  $V/(V + Ni)$  بین ۰/۳۴ تا ۰/۵۵ در چاه ۱۲۱ و ۰/۲۳ تا ۰/۴۶ در چاه ۱۴۰ تغییر می‌کند (جدول ۳)، به این معنی که این ناحیه در قلمرو نیمه احیا قرار می‌گیرد (شکل ۸). در نمودار نسبت  $Ni/Co$  تمامی نمونه‌ها در محدوده احیا قرار دارند (شکل ۸). ولی در نمودار  $V/Cr$  بعضی از نمونه‌های چاه ۱۴۰ در محدوده تقریباً احیا و بقیه شرایط اکسیدان را نشان می‌دهند.



شکل ۷- نمودار رابطه میان  $Sr$  و  $Ba$  [۱۲۴] در سازندهای پابده و گورپی میدان نفتی آغاچاری



شکل ۸- نمودارهای  $Ni/Co$ ،  $V/(V+Ni)$  و  $V/Cr$  [۹] که شرایط اکسیداسیون-احیا دیرین را نشان می‌دهد. نکته اینکه سیستم آبی فاقد اکسیژن محلول (۰٪ اشباع) را بی‌هوای anaerobic، احیا یا anoxic نامیده می‌شود. سیستمی با غلظت کم، در محدوده بین ۱ تا ۳۰ درصد اشباع، hypoxic یا هیپوکسیک یا dysoxic نامیده می‌شود.

-نسبت  $Rb/Sr$  می‌تواند اندیکاتور آب و هوا باشد [۱۲۴]. این نسبت در نمونه‌های مورد مطالعه از ۰/۳۶ تا ۰/۱۴ در چاه ۱۲۱ و ۰/۳۷ تا ۰/۱۲ در چاه ۱۴۰ تغییر می‌کند. تغییرات  $Rb/Sr$  نشان داد که دیرینه اقلیم سازندهای پابده و گورپی از گرم و خشک بوده است.

با توجه به اینکه شیل‌های پابده-گورپی در این میدان در افق‌هایی غنی از ماده آلی (بیش از ۰/۲) هستند [۳] می‌توان اظهار داشت که محیط رسوبی این شیل‌ها بایستی احیا باشد. نویسندگان زیادی [۳۴، ۹۷]، اشاره کرده‌اند که با

استفاده از نسبت Th/U می‌توان رخساره ژئوشیمی نهشته‌های رسوبی را تعیین نمود. اگر این نسبت بیشتر از ۷ باشد معرف محیط شسته شده و اکسیدان (مثل شیل‌های قاره‌ای) و اگر کمتر از ۲ باشد معرف محیط‌های دریایی (نظیر شیل‌های سیاه دریایی) و اگر بین ۲ و ۷ متغیر باشد، معرف محیط حد واسط (مثل شیل‌های زرد و قرمز دریایی) است. این نسبت در نمونه‌های مورد مطالعه (جدول ۳) در بازه ۱/۵-۴ بوده، نشانه محیط احیا و تأییدی بر تغییرات محیطی از دریایی تا حدواسط است.

#### ۵-۴- مشکلات حفاری در سازندهای پابده-گورپی

ابریان و چنورت [۷۱] از اولین کسانی بودند که سعی کردند مستقیماً ناپایداری شیل‌ها را با ترکیب کانی رسی آنها مرتبط کنند. آن‌ها شیل‌های مشکل‌دار را به پنج دسته اصلی طبقه‌بندی کردند، که در آن کانی‌شناسی رسی به سختی نسبی و تمایل آن‌ها به هیدراته شدن و پراکندگی مربوط می‌شد، بنابراین به مشکلاتی از قبیل ورود شیل به سیال حفاری (sloughing)، ایجاد حفره، پراکندگی و توپی شدن مته منجر شد [۳۲]. در این طبقه‌بندی، کانی‌های رسی که در ایجاد ناپایداری شیل بیشترین فعالیت را دارند عبارتند از اسمکتیت، ایلیت و رس‌های مخلوط لایه (عمدتاً ایلیت/اسمکتیت با لایه مخلوط، I/S) [۸۳]. درصد رس‌های مخلوط لایه با تورم شیل رابطه خطی مثبتی دارند [۸۳]. کانی‌های رسی کلریتی در درجه دوم اهمیت قرار گرفته و از کائولینیت بعنوان کانی نسبتاً غیرفعال ذکر شده است (جدول ۵).

جدول ۵- نقش کانیهای رسی در ناپایداری شیل [۳۲].

#	Mineralogy	Appearance	Dispersion	Sloughing
1	High smectite with little illite	Soft	High	Not observed
2	High illite with high smectite	Soft	High	Not observed
3	High S/I + illite + chlorite	Medium hard	Moderate	High
4	Moderate chlorite and illite	Hard	Little	Moderate
5	High illite + moderate chlorite	Very hard	Not observed	Not observed

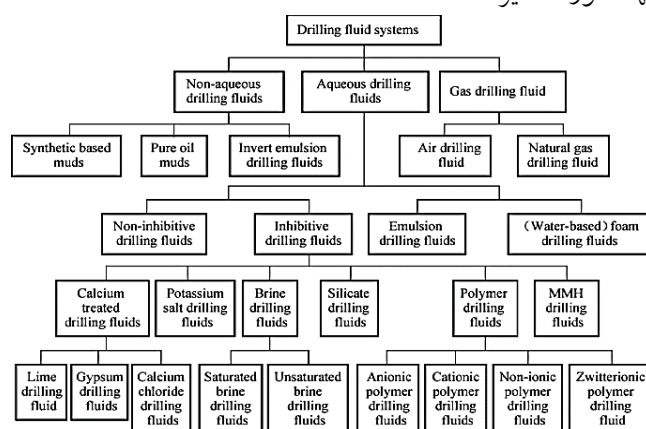
جدول ۵ نشان می‌دهد که شیل‌های غنی از لایه مختلط S/I (اسمکتیت/ایلیت) بیشتر مستعد پراکندگی و ریزش به درون سیال حفاری هستند. اگرچه، شیل‌های فاقد اسمکتیت در معرض ایلیتی شدن قرار نمی‌گیرند، لذا، هیچ کانی مخلوطی لایه‌ای تشکیل نمی‌شود و در نهایت هیچ مشکل برجسته ناپایداری شیل نیز ایجاد نخواهد شد [۳۲]. بعقیده ویلسون و ویلسون [۱۱۷]، برخی از شیل‌ها حاوی مقادیری از کانی‌های رسی مانند ایلیت هستند که تورم بالایی ندارند ولی ممکن است در حین عملیات حفاری رفتاری ناپایدار داشته باشند. در مطالعات اخیر، ویلسون و همکاران [۱۱۸] استدلال شده که ویژگی‌های ساختاری در کانی رسی ایلیت، غیرمرتبط با تورم، ممکن است تأثیر خاصی در ناپایداری سازندهای شیلی داشته باشد. این نشان می‌دهد که تورم کانی رسی قطعاً مهم بوده، اما مکانیسم اصلی ناپایداری آن نیست. این نتایج تأکید کرد که ناپایداری‌های کانی رسی مستقیماً با تورم مرتبط نیست. کلریت ارتباط زیادی با ناپایداری شیل ندارد، اما در واقع این لایه‌های مخلوط لایه (S/I) و ایلیت هستند که منجر به

ناپایداری شیل می شوند [۴۲]. مکانیسم های بی ثباتی دیگری نیز وجود دارند [۵۷]. کانی رسی بنتونیت سدیم دار پتانسیل ناپایداری بالایی دارد.

مطالعات متعددی در مورد عکس العمل سیال حفاری-شیل صورت گرفته که تایید می کنند علل مختلفی منشأ ناپایداری دیواره چاه هستند، نظیر: جذب آب [۴]، تورم اسمزی [۲۵، ۴۶، ۱۱۲] و تبادل کاتیونی [۴]. رویکردهای متفاوتی برای طراحی WBM (گل پایه آبی) پیشنهاد شده است [۱۵، ۵۶، ۲۶، ۶۸، ۱۰۱]. با توجه به لیتولوژیهای مختلف، سیالات حفاری متعددی طراحی گردیده است [۳۹] (شکل ۹) اما بطور کلی در سه گروه قرار می گیرند [۸، ۹۲]: پایه آبی، پایه روغنی و سنتتیکی.

از این سیالات نه تنها برای کنترل پایداری چاه بلکه گاهی برای ایجاد شکاف نیز در سازند استفاده شده است. سیالات حفاری پایه آبی (WBFs) بهترین جایگزین برای جایگزینی سیالات پایه روغنی (OBFs) برای ایجاد شکستگی، و شکاف در سازندهای شیلی هستند [۱۰۶]. ولی سیال OBF از دیرباز به دلیل روانکاری عالی، مقاومت در برابر دمای بالا، پایداری چاه، تورم قوی و پتانسیل های بازدارندگی خوردگی، به عنوان بهترین سیال برای فرآیندهای شکست، به ویژه برای چاه های دور از ساحل، چاه های افقی و چاه های با زاویه بالا در نظر گرفته شده اند [۱۰۲]. اخیراً از گل بازدارنده دارای امینو اسید طبیعی برای جلوگیری از ناپایداری دیواره چاه ناشی از شیل های غنی از مونتمویلونیت نیز استفاده شده است [۷۹].

بر اساس مجموعه کانی های رسی شناسایی شده می توان این شیل ها را در رده ۳ تقسیم بندی دو و همکاران [۳۲] (جدول ۵) قرار داد. با توجه به توضیحات قبل، و مقایسه فراوانی نسبی کانی های رسی در سازندهای پابده و گورپی (جدول ۱ و ۲) می توان بیان داشت که افقهای شیلی در زمان حفاری مشکل ساز خواهند بود. زیرا شیل های مورد مطالعه به واسطه دارا بودن کانی های مونتمویلونیت و ایلیت و در نتیجه وجود کانی مخلوط لایه از جمله اجزا حساس آبی به شمار می روند. آبیگری شیل منجر به کاهش مقاومت و وارفتگی آن می شود. بنابراین برای رفع مشکل بایستی به گونه ای از جذب آب توسط شیل جلوگیری شود تا به این وسیله به افزایش مقاومت شیل و در نتیجه از ریزش دیواره چاه جلوگیری شود. لذا بایستی با توجه به این موارد سیال حفاری را طراحی نمود. ضمناً پیشنهاد می شود ترکیب دقیق کانی های رسی در واحدهای شیلی با استفاده از داده های چاه های حفاری مجاور بررسی و بر آن اساس طراحی گل برای این افقها صورت گیرد.



شکل ۹- انواع سیالات حفاری [۳۹]. منظور از MMH در این شکل مخلوط هیدروکسید فلز (mixed-metal-hydroxid) است. این گل بعنوان سیال حفاری غیر مخرب و کنترل شیل دیواره چاه بکار می رود.



## ۵- نتیجه گیری

نتایج این مطالعه بر پایه داده‌های نمودار سرچاهی، NGS، نمودارهای پراش اشعه ایکس (XRD) و آنالیز XRF استوار است. براساس نمودار سرچاهی تغییرات سنگ چینه‌ای سازند های پابده و گورپی در سه حلقه چاه (۳۰، ۱۲۱ و ۱۴۰) نشان داد که سازند پابده در بخش بالایی عمدتاً شیل و آهک بین لایه‌ای مارنی، سیلتی فسیل دار، در بخش میانی آهک سیلیسی فسیل دار و شیل و در عمق دارای آهک مارنی خاکستری و شیل گلاکونیت دار و پیریت است. سازند گورپی از آهک خاکستری و شیل گلاکونیت دار تشکیل شده است.

بر اساس داده‌های NGS انواع کانی‌های رسی عمده سازندهای پابده-گورپی شامل ایلیت، مونتموریلونیت، مخلوط لایه، و کانیهای فلدسپار و گلاکونیت در چاه مورد مطالعه می باشد. نمودارهای XRD نمونه های انتخابی از سه حلقه چاه نیز نشان داد که کانیهای رسی به ترتیب فراوانی شامل ایلیت، مونتموریلونیت، مخلوط لایه، کلریت و کائولینیت (به صورت پراکنده) است. بالاترین درصدها را کانی‌های رسی ایلیت و مخلوط لایه نشان دادند.

تغییرات عناصر اصلی و کمیاب نسبت به  $Al_2O_3$  نشان داد که عناصر اصلی در اکثر موارد رابطه خطی مستقیمی را نشان می دهند (به استثنای  $CaO$ ،  $MnO$  و  $P_2O_5$ ). عنصر Sr نسبت به  $Na_2O$  و  $P_2O_5$  دارای ضریب همبستگی بالاتری در مقایسه با سایر عناصر را نشان می دهد. و به عنوان اندیکاتور سالینیته پیشنهاد می گردد. نسبت بالای Si/Al نشانه غالب بودن ایلیت و کمبود کلی کائولینیت می باشد. تغییرات Ti نیز این موارد را تأیید می کند. بالا بودن  $Fe^{3+}$  و Mg نیز نشانه حضور گسترده ایلیت، کلریت و نیز مونتموریلونیت در سازند پابده است. میزان بالای آن در نمونه ها نشانه دریایی شدن محیط و تفاوت شرایط رسوبگذاری است. با توجه به میزان  $Fe_2O_3$ ، بخش بالای پابده شرایط اکسیدان ولی به سمت گورپی شرایط احیا حاکم است. تغییرات میزان آهن، منگنز و وانادیم به عنوان اندیکاتورهای محیطی نشان داد که سازندهای پابده و گورپی تحت شرایط احیا ولی Eh احیا غیر سولفیدی و pH متوسط تا پایین نهشته شده است. نسبت Th/U در نمونه های مورد مطالعه دارای گستره تغییرات از ۱/۵-۴ است که نشانه تغییرات محیطی از دریایی تا حدواسط می باشد. وجود افقهای غنی از ماده آلی (بیش از ۲٪) در سازند های پابده و گورپی وجود شرایط احیا را نشان می دهد.

مقادیر پائین نسبت Zr/Rb (تغییرات اندازه دانه رسوب) در بخش بالایی و پائینی سازند، نسبت به بخش میانی نشان دهنده دانه ریزتر شدن رسوبات است.

-با توجه به تغییرات نسبت  $(Zr+Rb)/Sr$  که منعکس کننده تعادل بین اجزای آواری و کربناتی است، تجمع نسبی کربنات بیورژنیک همراه شیل بصورت تناوبی بوده و در مکان های مختلف میدان نیز متفاوت است.

-نسبت Sr/Ba در سازندهای مورد مطالعه نشان می دهد در بخش زیرین شرایط دریایی و بسمت بالای سازند شرایط قاره‌ای و تحولی و گاه دریایی حاکم بوده است. بنابراین در بازه زمانی رسوب سازندهای مذکور شرایط دریایی و قاره‌ای بصورت متناوب حاکم بوده است.

مقادیر نسبت  $V/(V+Ni)$  در نمونه ها (کمتر از ۰/۶) بوده قلمرو نیمه احیا را برای این سازندها نشان می دهد. -در نمودار نسبت Ni/Co تمامی نمونه‌ها در محدوده احیا و در نمودار V/Cr بعضی از نمونه‌های چاه ۱۴۰ در محدوده تقریباً احیا و بقیه شرایط اکسیدان را نشان می دهند. مقادیر پایین نسبت Rb/Sr (کمتر از ۰/۱۴) نشان داد که دیرینه اقلیم در زمان ته نشست سازندهای پابده و گورپی کاملاً گرم و خشک بوده است.

سازندهای پابده و گورپی در این میدان با توجه به فراوانی بالای کانی‌های مونتموریلونیت، ایلیت و مخلوط لایه می‌توانند در زمان حفاری مشکل ساز باشند. لذا بایستی در طراحی سیال حفاری این موضوع مورد توجه قرار گیرد. ضمناً پیشنهاد می‌شود ترکیب دقیق کانی‌های رسی در واحدهای شیلی با استفاده از داده‌های حفاری مجاور بررسی و بر آن اساس طراحی گل برای این افقها صورت گیرد.

## سپاس و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از همکاری بی‌شائبه بخش مدیریت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، شرکت ملی نفت خیز جنوب کمال تشکر و قدردانی را بعمل آورند. همچنین از داوران مقاله آقایان دکتر علیرضا بشری و دکتر پیمان رضائی تشکر و قدر دانی می‌گردد.

## منابع

- [۱] امیری بختیار، ح.، ناصح، م.، ۱۳۸۲، پتروگرافی، میکروفاسیس و محیط رسوبی مخزن آسماری میدان آغاچاری، گزارش شماره پ-۵۲۷۸، ۸۶ ص.
- [۲] سلیمانی، ب.، قلاوند، ه.، و شیخزاده، ح.، ۱۳۸۲، استفاده از نمودار الکتریکی NGS در شناسایی کانی‌های رسی سازندهای پابده و گورپی میدان نفتی اهواز، مجموعه مقالات یازدهمین کنفرانس بلورشناسی و کانی‌شناسی، ایران - یزد.
- [۳] عدالتی منش، ن.، کدخدایی، ع.، علیزاده، ب.، حیدری فرد، م.ح.، ۱۳۹۳، بررسی زون‌های غنی از ماده آلی با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و پتروفیزیکی سازندهای پابده و کژدمی در میداین نفتی آغاچاری و پازنان. مجله پژوهش نفت، ۲۴ (۸۰)، ص. ۶۳-۷۴.
- [4] ABBAS, A. K., FLORI, R. E., AL-ANSSARI, A., and ALSABA, M., 2018, Laboratory analysis to assess shale stability for the Zubair Formation, Southern Iraq. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, **56**, 315–323. doi:10.1016/j.jngse.2018.05.041.
- [5] AJIMI, AL., and ZIMMERMAN, R. W., 2006, Wellbore stability analysis based on a new true-triaxial failure criterion. SPE Asia-pacific Drilling Technology Conference Bangkok, Thailand 13-15 November.
- [6] ALBOOYEH, M., KIVI, I.R., and AMERI, M., 2018, Promoting wellbore stability in active shale formations by water-based muds: A case study in Pabdeh shale, Southwestern Iran. *J. Nat. Gas Sci. Eng.*, **56**, 166–174.
- [7] ALGEO, T.J., 2004, Can marine anoxic events draw down the trace element inventory of seawater?. *Geology*, **32**, 1057–1060.
- [8] ALI, I., AHMAD, M., and GANAT, T., 2022, Biopolymeric formulations for filtrate control applications in water-based drilling muds: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **210**, 110021. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.110021>
- [9] ARORA, A., BANERJEE, S., and DUTTA, S., 2015, Black shale in late Jurassic Jhuran Formation of Kutch: Possible indicator of oceanic anoxic event? *Journal of the Geological Society of India*, **85(3)**, 265–278. doi:10.1007/s12594-015-0215-6.
- [10] BAGHERI, H., TANHA, A.A., DOULATI ARDEJANI, F., HEYDARI-TAJAREH, M., and LARKI, E., 2021, Geomechanical model and wellbore stability analysis utilizing acoustic impedance and reflection coefficient in a carbonate reservoir. *J Petrol Explor Prod Technol*, **11**, 3935–3961. <https://doi.org/10.1007/s13202-021-01291-2>.
- [11] BAI, M., 2016, Why are brittleness and fracability not equivalent in designing hydraulic fracturing in tight shale gas reservoirs. *Petroleum* **2(1)**, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2016.01.001>.
- [12] BAIYEGUNHI, C., LIU, K., and GWAVAVA, O., 2017, Geochemistry of sandstones and shales from the Ecca Group, Karoo Supergroup, in the Eastern Cape Province of South Africa: Implications for provenance, weathering and tectonic setting. *Open Geosciences*, **9(1)**. doi:10.1515/geo-2017-0028.
- [13] BIRCHWOOD, R., 2002, Options for enhanced wellbore stability. Schlumberger oilfield services Caracas, Venezuela.

- [14] BOGGS, S., JR., 2006, Principles of Sedimentology and Stratigraphy, 4th ed.; Pearson Education, Inc.: New York, NY, USA.
- [15] BOLES, J.R., and FRANKS, S.G., 1979, Clay diagenesis in Wilcox Sandstone of southwest Texas; implication of smectite diagenesis on sandstone cementation. *J. Sediment. Petrol.* **49**, 55–70.
- [16] BORDENAVE, M. L., and HEGRE, J. A., 2005, The influence of tectonics on the entrapment of oil in the Dezful Embayment, Zagros Foldbelt, Iran, *Journal of Petroleum Geology*, **28(4)**, 339 – 368.
- [17] BRISTOW, C.S., 2020, A virtual graphic log for clastic sediments. *Sedimentary Geology*, **405**, 105703. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2020.105703>.
- [18] BUDA, A and JARYNOWSKI, A., 2010, Life-time of correlations and its applications.1, Wydawnictwo Niezalezne: 5–21, December 2010, ISBN 978-83-915272-9-0.
- [19] BUNTORO, A., MURAJI, S. A., PRASETYADI, C., and WIBOWO, R.A., 2022, Shale reservoir characterization based on geomechanical and mineralogy analysis: a case study of well BS-03 data of brown shale formation in the Bengkalis Trough, Central Sumatra Basin, Indonesia, *Arabian Journal of Geosciences*, **15(12)**. DOI: 10.1007/s12517-022-10410-0.
- [20] BUNTORO, A., NURCHOLIS, M., RAHMAD, B., and LUKMANA, H.A., 2020a, Correlation of sillimanite & kaliophilite minerals, TOC, Ro, and MBT from drill cutting of well BS-03 in the development of shale hydrocarbon, Brownshale formation, Bengkalis Trough, Central Sumatra Basin, Indonesia No Title. *Open Journal of Yangtze Oil and Gas*, **5**, 216–230.
- [21] BUNTORO, A., PRASETYADI, C., WIBOWO, R.A., and MURAJI, S.A., 2020b, Shale hydrocarbon development based on drill cuttings & TOC analysis: case study of brownshale drill cuttings of well BS-03, Pematang Formation, Bengkalis Trough, Central Sumatra Basin No Title. *Open Journal of Yangtze Oil and Gas*, **6**, 87–102.
- [22] BUSCAROLI, A., ZANNONI, D., and DINELLI, E., 2021, Spatial distribution of elements in near surface sediments as a consequence of sediment origin and anthropogenic activities in a coastal area in northern Italy. *CATENA*, **196**, 104842. doi:10.1016/j.catena.2020.104842.
- [23] CAI, G.Q., GUO, F., LIU, X.T., and SUI, S.L., 2009, Carbon and oxygen isotope characteristics and palaeoenvironmental implications of lacustrine carbonate rocks from the Shahejie Formation in the Dongying Sag. *Earth Environ*, **37**, 347–354, (In Chinese with English abstract).
- [24] CHANG, H.J., CHU, X.L., and FENG, L.J., 2009, Redox sensitive trace elements as paleoenvironments proxies. *Geol. Rev.*, **55**, 91–99, (In Chinese with English abstract).
- [25] CHENEVERT, M.E., and AMANULLAH, M., 2001, Shale preservation and testing techniques for borehole-stability studies. *SPE Drilling and Completion*, **16**, 146-149.
- [26] COOK, J.M., GOLDSMITH, G., GEEHAN, T.M., AUDIBERT, A.M., BIEBER, M.T., and LECOURTIER, J., 1993, Mud/shale interaction: model wellbore studies using X-ray tomography. Drilling Conference, paper SPE/IADC 25729. Amsterdam, February 23–25.
- [27] DANCER, D., and TREMAYNE, A., 2005, R-squared and prediction in regression with ordered quantitative response. *J. Applied Statistics*, **32**, 483 – 493.
- [28] DARVISHPOUR, A., CHERAGHI SEIFABAD, M., ANTHONY WOOD, D., and GHORBANI, H., 2019, Wellbore stability analysis to determine the safe mud weight window for sandstone layers. *Petroleum Exploration and Development*, **46 (5)**, 1031-1038. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(19\)60260-0](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(19)60260-0).
- [29] DASHTGARD, S.E., WANG, A., POSPELOVA, V., WANG, P.L., LA CROIX, A., and AYRANCI, K., 2022, Salinity indicators in sediment through the fluvial-to-marine transition (Fraser River, Canada). *Sci Rep.* 2022; 12: 14303. doi: 10.1038/s41598-022-18466-4.
- [30] DAY-STIRRAT, R. J., HILLIER, S., NIKITIN, A., HOFMANN, R., MAHOOD, R., and MERTENS, G., 2021, Natural gamma-ray spectroscopy (NGS) as a proxy for the distribution of clay minerals and bitumen in the Cretaceous McMurray Formation, Alberta, Canada. *Fuel*, **288**, 119513. doi:10.1016/j.fuel.2020.119513.
- [31] DENG, H.W., and QIAN, K., 1993, Sedimentary Geochemistry and Environmental Analysis; Gansu Science and Technology Press: Lanzhou, China. (In Chinese).
- [32] DU, J., CAI, J., CHEN, Z., LEI, T., ZHANG, S., and XIE, Z., 2019, A contrastive study of effects of different organic matter on the smectite illitization in hydrothermal experiments. *Applied Clay Science*, **168**, 249-259.
- [33] DUCHENSEN, J.C., and BOLOGNE, G., 2009, XRF major and trace element determination in Fe-Ti oxide minerals», *Geologica Belgica*, **12**, 205-212.
- [34] DYPVIK, H., and HARRIS, N. B., 2001, Geochemical facies analysis of fine-grained siliciclastics using Th/U, Zr/Rb and (Zr+Rb)/Sr ratios. *Chemical Geology*, **181(1-4)**, 131–146. doi:10.1016/s0009-2541(01)00278-9.
- [35] EL-ANWAR, E.A.A., MEKKY, H.S., and WAHAB, W.A., 2019, Geochemistry, mineralogy and depositional environment of black shales of the Duwi Formation, Qusseir area, Red Sea coast, Egypt. *Carbonates Evaporites*, **34**, 883–892.
- [36] ERNEST, W., 1970, Geochemical facies analysis: Elsevier, Amst., 152p.

- [37] GALLANT, C., and ZHANG, J., 2007, Wellbore stability considerations for drilling high-angle wells through finely laminated: a case study from Terra Nova. SPE Annual Technical, pp .1-5.
- [38] GOLDSTEIN, J.I., NEWBURY, D.E., ECHLIN, P., and JOY, D.C., 2003, Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis: A text book for Biologists, Material Scientists and Geologists, Plenum Press.
- [39] GUAN, Z., CHEN, T., LIAO, H., 2021, Drilling Fluids. In: Theory and Technology of Drilling Engineering. Springer, Singapore, 173-204. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-9327-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-15-9327-7_3)
- [40] HARDING, S.C., NASH, B.P., PETERSEN, E.U., EKDALE, A.A., BRADBURY, C.D., and DYAR, M.D., 2014, Mineralogy and Geochemistry of the Main Glauconite Bed in the Middle Eocene of Texas: Paleoenvironmental Implications for the Verdine Facies. PLoS ONE, **9**(2), e87656. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087656>.
- [41] HASSAN, M.A., ABDEH-WAHAB, M., NAD, A., DINE, N. and KHAZBAK, A., 1997, Determination of Uranium and Thorium in Egyptian Monazite by Gamma-Ray Spectrometry, *J. Appl. Radiat. Isot.*, **48** (1), 149-152.
- [42] HAWKES, C.D., MCLELLAN, P.G., RUAN, C.G., and MAURER, W.C., 2010, Wellbore instability in shales: a review of fundamental principles and GRI-funded research final report (part 1 of 2). GRI-99/0025.1. <https://www.researchgate.net/publication/313915775>.
- [43] HEINZL, H., and MITTLBOCK, M., 2003, Pseudo R-squared measures for Poisson regression models with over- or underdispersion, *Computational Statistics & Data Analysis*, **44**, 253 – 271.
- [44] HERRON, M.M. & MATTESON, A., 1993, Elemental composition and nuclear parameters of some common sedimentary minerals. *Nucl. Geophys.*, **7**, 383–406.
- [45] HUGGETT, J.M., 2005, Sedimentary rocks | Clays and Their Diagenesis. *Encyclopedia of Geology*, 62-70, <https://doi.org/10.1016/B0-12-369396-9/00311-7>.
- [46] IRANFAR, S., KARBALA, M.M., SHAKIBA, M., SHAHSAVARI, M.H., 2023, Effects of type and distribution of clay minerals on the physico-chemical and geomechanical properties of engineered porous rocks. *Sci Rep.*, **13**, 5837. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33103-4>.
- [47] JAHANBAKHSHI, R., KESHAVARZI, R., 2012, Intelligent Prediction of Wellbore Stability in Oil and Gas Wells: An Artificial Neural Network Approach.
- [48] JARVIE, D.M., HILL, R.J., RUBLE, T.E., POLLASTRO, R.M., 2007, Unconventional shale-gas systems: the Mississippian Barnett Shale of north-central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment. *Am Assoc Pet Geol Bull*, **91**(4), 475–499. <https://doi.org/10.1306/12190606068>.
- [49] JERRAR, G., AMIREH, B., and ZACHMANN, D., 2000, The major, trace and rare earth element geochemistry of glauconite, from the early cretaceous Kurunb group of Jordan. *geochemical.J.*, **30**, 207-222.
- [50] JI, H., TAO, H., and WANG, Q., 2019, Petrography, geochemistry, and geochronology of lower jurassic sedimentary rocks from the Northern Tianshan (west Bogdan area), northwest China: Implications for provenance and tectonic evolution, *Geological Journal*, **54**, 1688–1714.
- [51] JIN, X., SHAH, S.N., ROEGIERS, J.C., and ZHANG, B., 2014, Fracability evaluation in shale reservoirs — an integrated petrophysics and geomechanics approach. Society of Petroleum Engineers - SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference 2014, October 2015, 153–166. <https://doi.org/10.2118/168589-ms>.
- [52] JONES, B., and MANNING, D.A.C., 1994, Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones. *Chem. Geol.*, **111**, 111–129.
- [53] KELLER, W.D., 1963, Diagenesis in Clay minerals – a review, in Bradley, V.F. Clay & clay minerals, Droc. Nas. Conf. NewYork, MacMillian, Co., **1011**, 36-157.
- [54] KELLER, W.D., 1970, Environmental aspects of clay minerals, *J. Sed. Pet*, Vol.40, pp.783-813.
- [55] KHODJA, M., CANSÉLIER, J.P., BERGAYA, F., FOURAR, K., KHODJA, M., COHAUT, N., and BENMOUNAH, A., 2010, Shale problems and water-based drilling fluid optimisation in the Hassi Messaoud Algerian oil field. *Applied Clay Science*, **49** (4), 383-393. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2010.06.008>.
- [57] LEAL, C.A., BRUNET, M.N.C., AMORIM, L.V., LIRA, H.L., NOGUEIRA, F.C.C., and COSTA, W.R.P., 2019, Influence of reactivity and mineralogical composition on instability due to the disintegration of shales from Paraíba and Ceará States, Brazil. *Cerâmica*, **65**, 400-406. <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132019653752630>.
- [58] LI, J., and FINE, J. P., 2011, Assessing the dependence of sensitivity and specificity on prevalence in meta-analysis. *Biostatistics*, **12**(4), 710–722. doi:10.1093/biostatistics/kxr008.
- [59] Liu, B.L., 1994, Fundamentals of Geochemistry; Peking University Press: Beijing, China, 1994. (In Chinese).
- [60] LIU, J., GUAN, Y., SHAO, Z., and WANG, H., 2022, Mechanical effect of clay under the acid-base action: A case study on montmorillonite and illite. *Front. Earth Sci.* **10**, 991776. doi: 10.3389/feart.2022.991776.

- [61] LOPEZ, J.P., ALTENBERGER, U., and BELLOS, L.I., 2019, The Cumbres Calchaquíes range (NW-Argentina). geochemical sedimentary provenance, tectonic setting and metamorphic evolution of a Neoproterozoic sedimentary basin, *Journal of South American Earth Sciences*, **93**, 480–494.
- [62] MALEKZADEH, M., HOSSEINI-BARZI, M., SADEGHI, A., CRITELLI, S., 2020, Geochemistry of Asara Shale member of Karaj Formation, Central Alborz, Iran: Provenance, source weathering and tectonic setting. *Marine and Petroleum Geology*, **121**, 104584. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104584>.
- [63] MATANOVIĆ, D., ČIKEŠ, M., MOSLAVAC, B., 2012, Introduction. In: Sand Control in Well Construction and Operation. Springer Environmental Science and Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-25614-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-25614-1_1).
- [64] MC LENNAN, S.M., 2001, Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. G-cubed 2, C000109.
- [65] MCLENNAN, S.M., and MURRAY, R.W., 1998, Geochemistry of sediments. In: Geochemistry. Encyclopedia of Earth Science. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/1-4020-4496-8\\_143](https://doi.org/10.1007/1-4020-4496-8_143).
- [66] MEDVED, I., GAURINA-MEĐIMUREC, N., PAŠIĆ, B., and MIJIĆ, P., 2022, Green Approach in Water-Based Drilling Mud Design to Increase Wellbore Stability. *Appl. Sci.*, **12(11)**, 5348; <https://doi.org/10.3390/app12115348>.
- [67] MEYER, R.F., 1966, Geology of Pennsylvanian and Wolf campian rocks in southeast New Mexico: New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, *Memoir*, **17**, 123 p.
- [68] MODY, F.K., HALE, A.H., 1993, A borehole stability model to couple the mechanics and chemistry of drilling fluid shale interaction. SPE/IADC Paper 25728. SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, Netherlands. February 23–25.
- [69] NORRISH, K., AND CHAPPELL, B.W., 1977, X-ray fluorescence spectrometry. In: Zussman J. (ed.), physical methods in determinative mineralogy, 2nd edition. Academic Press, New York, 201–272.
- [70] ODIN, G.S., FULLAGAR, P.D., 1988, Geological Significance of the glaucony facies. Green marine clays (Odin, G.S., ed.), pp.295–332, Elsevier, Amsterdam.
- [71] O'BRIEN, D.E., AND CHENEVERT, M.E., 1973, Stabilizing sensitive shales with inhibited potassium-based drilling fluids. *Journal of Petroleum Technology*, **255**, 1089–1100.
- [72] PAL, S., SRIVASTAVA, S., SHRIVASTAVA, J. P., 2013, Mineral chemistry of clays associated with the Jhilmili intertrappean bed in the eastern Deccan volcanic province: Palaeoenvironmental inferences and KTB transition. *Journal of the Geological Society of India*, **82(1)**, 38–52. DOI: 10.1007/s12594-013-0119-2.
- [73] PAŠIĆ, B., GAURINA-MEĐIMUREC, N., DAVORIN, M., 2007, Wellbore instability: Causes and consequences. *Min Geol Pet Eng Bull*, **19**, 87–98.
- [74] PAŠIĆ, B.; GAURINA-MEĐIMUREC, N.; MIJIĆ, P.; MEDVED, I., 2020, Experimental research of shale pellet swelling in nano-based drilling muds. *Energies*, **13**, 46–62.
- [75] PENG, J.J.; ZHANG, M.; LIU, G.X.; PAN, W.L., 2014, Sedimentary environments and controlling factors of Permian source rocks in northeastern Sichuan Basin: A case study of Muguakou profile in Chengkou. *Pet. Geol. Exp.* 2014, **36**, 95–101.
- [76] PEREZ, R., and MARFURT, K., 2013, Calibration of brittleness to elastic rock properties via mineralogy logs in unconventional reservoirs. In: AAPG International Conference and Exhibition.
- [77] POTTS, P. J., WEBB, P. C., and WATSON, J. S., 1990, Exploiting energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry for the determination of trace elements in geological samples, pp.67–70.
- [78] PROTHERO, D. R., & SCHWAB, F., 1996, An introduction to Sedimentary rocks and Stratigraphy; Sedimentary Geology, Freeman & Company, 575 p.
- [79] QUAINOO, A. K., NEGASH, B. M., BAVOH, C. B., and IDRIS, A., 2020, Natural amino acids as potential swelling and dispersion inhibitors for montmorillonite-rich shale formations. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 107664. doi: 10.1016/j.petrol.2020.107664.
- [80] QUINBY-HUNT, M.S., and WILDE, P., 1993, Thermodynamic zonation in the black shale facies based on iron-manganese-vanadium content. *Chemical Geology*, **113**, 297–317.
- [81] QUINBY-HUNT, M.S., and WILDE, P., 1996, Chemical depositional environments of calcic marine black shales. *Eco. Geol.*, **91**, 4–13.
- [82] POPOVIĆ, S., 2020, Quantitative Phase Analysis by X-ray Diffraction—Doping Methods and Applications. *Crystals* 2020, **10(1)**, 27. <https://doi.org/10.3390/cryst10010027>.
- [83] RASOOL M.H., and AHMAD, M., 2023, Understanding shale instability through the lens of clay mineralogy and zeta Potential. *Geol Earth Mar Sci*, **5** (2): 1–10. DOI: 10.31038/GEMS.2023524.
- [84] RICHARDSON, J.A., 2019, The effect of depositional environment and early marine diagenesis on carbonate-associated sulfate. Arts & Sciences Electronic Theses and Dissertations. 1854. [https://openscholarship.wustl.edu/art\\_sci\\_etds/1854](https://openscholarship.wustl.edu/art_sci_etds/1854).
- [85] RIMMER, S.M., 2004, Geochemical Paleoredox Indicators in Devonian–Mississippian Black Shales, Central Appalachian Basin (USA). *Chem. Geol.*, **206**, 373–391.

- [86] SAEDI, G., SOLEIMANI, B., SAMANI, B., ARZANI, A., 2022, The interaction between faults and in-situ stress on the kinematic and subsurface natural fracture of Aghajari oilfield in southwest of Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208, Part D. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109567>.
- [87] SCHIEBER, J., 1995, Anomalous iron distribution in shales as a manifestation of "non-clastic iron" supply to sedimentary basins: relevance for pyritic shales, base-metal mineralization, and oolitic ironstone deposits. *Mineral. Deposita*, **30**, 294–302 (1995). <https://doi.org/10.1007/BF00196365>.
- [88] SCHLUMBERGER, 1995, Log Interpretation Charts. Schlumberger Wireline and Testing: Sugarland, Texas.
- [89] SELLEY, R.C., 2000, Applied Sedimentology, 2nd ed.; Academic Press: San Diego, CA, USA.
- [90] SERRA, O., BALDWIN, J. and QUIREIN, J. 1980, Theory, Interpretation and Practical Applications of Natural Gamma Ray Spectroscopy. SPWLA, 21st Ann. Log. Symp. Transc., Paper Q.
- [91] SHI, J.; HUANG, W.H.; LV, C.H.; CUI, X.N., 2018, Geochemical characteristics and geological significance of the Upper Paleozoic mudstones from Linxing area in Ordos Basin. *Acta Pet. Sin.*, **39**, 876–889, (In Chinese with English abstract).
- [92] SLEITI, A.K., TAKALKAR, G., EL-NAAS, M.H., HASAN, A.R., and RAHMAN, M.A., 2020, Early Gas Kick Detection in Vertical Wells via Transient Multiphase Flow Modelling: A Review. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 103391–. doi: 10.1016/j.jngse.2020.103391.
- [93] SNEDECOR, G. W., AND COCHRAN, W. G., 1967, Statistical Methods (6th ed.). p. 321.
- [94] SOLEIMANI, B., 2009, Paleoclimate Reconstruction during Pabdeh, Gurpi, Kazhdumi and Gadvan Formations (Cretaceous-Tertiary) Based on Clay Mineral Distribution. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, **1**, 59-63.
- [95] STATES, A., 2019, Glauconite Formation in Late Eocene ODP Site 696 Sediment in West Antarctica". Theses, Dissertations and Culminating Projects. 221. <https://digitalcommons.montclair.edu/etd/221>.
- [96] STEEL, R. G. D. & TORRIE, J. H., 1960, Principles and procedures of statistics.
- [97] SWANSON, V.E., 1960, Oil yield Uranium content of black shale, USGS professional paper, **356 A**, 1-44.
- [98] TARA, U.A. and MODY, F.K., 2002, Managing borehole stability problem: On the learning, Unlearning and Relearning curve, paper AADE presented at the AADE Technology conference, Houston, Texas.
- [99] TIAN, J.C., and ZHANG, X., 2016, Sedimentary Geochemistry; Geological Publishing House: Beijing, China, (In Chinese).
- [100] Tribouvillard, N., Algeo, T.J., Lyons, T., and Riboulleau, A., 2006, Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: An update. *Chem. Geol.*, **232**, 12–32.
- [101] VAN OORT, E., 2003, On the physical and chemical stability of shales. *J Petrol Sci Eng.*, **38**(3):213–235.
- [102] VILLADA, Y., GALLARDO, F., ERDMANN, E., CASIS, N., OLIVARES, L., and ESTENOZ, D., 2017, Functional characterization on colloidal suspensions containing xanthan gum (XGD) and polyanionic cellulose (PAC) used in drilling fluids for a shale formation. *Appl. Clay Sci.*, **149**, 59-66. DOI:10.1016/j.clay.2017.08.020.
- [103] WANG, D.R., GUAN, P., and ZHOU, Z.H., 1998, Calculation of tectonic uplift of eastern Qaidam basin in Quaternary: Depending on the oxygen isotopic compositions within mudstone. *Pet. Explor. Dev.* 1998, **25**, 39–40, (In Chinese with English abstract).
- [104] WANG, M., QING, Y., LIAO, Z., LI, Y., LI, S., LV, Z., NI, S., FANG, J., TANG, S., and YANG, Y., 2022a, Reconstruction of Paleoenvironment and Paleoclimate of the Neogene Guantao Formation in the Liaodong Sub-Uplift of Bohai Bay Basin in China by Sedimentary Geochemistry Methods. *Water*, **14**, 3915. <https://doi.org/10.3390/w14233915>.
- [105] WANG, W., 2014, Trace Elements as Redox Paleoenvironments Proxies in Xiamaling Formation of the Mesoproterozoic in North China and Their Geological Significances. Master's Thesis, China University of Geosciences, Beijing, China. (In Chinese with English abstract).
- [106] WANG, Y., and MISKIMINS, J.L., 2010, Experimental investigations of hydraulic fracture growth complexity in slickwater fracturing treatments Tight Gas Complet. Conf (2010), **10**.2118/137515-MS.
- [107] WANG, X., FAN, A., VAN LOON, A.J., YANG, R., HAN, Z., and LI, J., 2022b, Chapter 11 - The influence of diagenesis on low-porosity, low-permeability gas reservoirs in the Sulige Gas Field (Ordos Basin, China), The Ordos Basin, Sedimentological Research for Hydrocarbons Exploration, 191-215. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85264-7.00024-2>.
- [108] WEAVER, C. E., 1989, Developments in Sedimentology, 44; Clays, Muds and Shales. Elsevier Sci., Publi., 819 p.
- [109] WEAVER, C.E., 1967, The significance of clay minerals in sediments. In: Fundamental aspects of petroleum geochemistry, Elsevier Publ. Co. Amsterdam, pp.37-76.
- [110] WEI, X., JIANG, W., ZHANG, Y., WANG, Z., LI, X., and WU, F., 2020, Investigation of clay type on low salinity water flooding using a glass micromodel. *Front. Energy Res.* 8:600448. doi: 10.3389/fenrg.2020.600448.

- [111] WEIR, A.H., ORMEROD, E.C. & MANSEY, I.M.I.E.L., 1975, Clay mineralogy of sediments of the western Nile Delta. *Clay Minerals*, **10**, 369-387.
- [112] WHITWORTH, T.M., AND FRITZ, S.J., 1994, Electrolyte –induced solute permeability effects in compacted smectite membranes, *Appl. Geochemistry*, **9**, 533-546.
- [113] WIBOWO, R.C., PERTIWI, A.P., KURNIATI, S., 2020, Identification of Clay Mineral Content Using Spectral Gamma Ray on Y1 Well in Karawang Area, West Java, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, **5 (3)**, 136-142.
- [114] WILLIAMS K.L., 1987, Introduction to X-ray spectrometry. Allen and Unwin, London.
- [115] WILLIAMS, P.M., 2021, Statistical levelling of multi-element geochemical data. *Applied Computing and Geosciences*, **10**, 100060. <https://doi.org/10.1016/j.acags.2021.100060>.
- [116] WILSON, M.J., 1999, The origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future perspectives. *Clay Minerals*, **34**, 7–25.
- [117] WILSON, M.J., WILSON, L., 2014, Clay mineralogy and shale instability: an alternative conceptual analysis. *Clay Miner.* **49**, 127-145. <https://doi.org/10.1180/claymin.2014.049.2.01>.
- [118] WILSON, M.J., WILSON, L., and SHALDYBIN, M.V., 2017, Spec. Publ., Geol. Soc., London. **454**, 253.
- [119] WOLSKA, J. A., and VREBOS, B.A.R., 2004, XRF: A powerful oil analysis tool, *Practicing oil analysis magazine*, No. 200405.
- [120] WORDEN, R., and MORAD, S., (EDT.), 2003, Clay minerals cement in sandstone. Published by Wiley, 524p.
- [121] XU X.B. LI Q.M. and GUI L., 2018, Detrital zircon U-Pb geochronology and geochemistry of early Neoproterozoic sedimentary rocks from the northwestern Zhejiang basin, south China, *Marine & Petroleum Geology*, **98**, 607–621.
- [122] YANG, H., PAN, H., LUO, M., LI, G., and YAO, J., 2015, The classification in metamorphic rocks using modified fuzzy cluster analysis from geophysical log data: evidence from Chinese Continental Scientific Drilling Main Hole. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, **6(1)**, DOI: 10.1007/s13202-015-0171-0.
- [123] YOUNGBLOOD, W.E., 1981, The Application of Natural Gamma Ray Spectrometry Log as An Aid In Log Evaluation In Saudi Arabia. The Middle East Technical Conference and Exhibition, Bahrain, March 1981. SPE-9615-MS. <https://doi.org/10.2118/9615-MS>.
- [124] ZUO, X., LI, C., ZHANG, J., MA, G., & CHEN, P., 2020, Geochemical characteristics and depositional environment of the Shahejie Formation in the Binnan Oilfield, China. *Journal of Geophysics and Engineering*. doi:10.1093/jge/gxaa013.

# Depositional Environmental Analysis of Shally Units of Pabdeh-Gurpi Formation and Clay Minerals Effect on Wellbore Stability, Aghajari Oil Field

Bahman Soleimani<sup>1\*</sup>, Zahra Dehghani<sup>2</sup>

1- Prof. in Petroleum Geology and Sedimentary basins, Earth Science Faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz.

2-MSc Student, Department of Geology, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

\*soleimani\_b@scu.ac.ir

Received: October 2023, Accepted: October 2023

## Abstract

This research is related to detect of clay minerals and geochemical changes of Pabdeh-Gurpi shale formations and their role in borehole instability in Aghajari oil field. For this purpose, these formations were investigated using NGS well log (one well ring), X-ray diffraction method (XRD) and XRF analytical method (11 samples from two wells). In the NGS log, the detected minerals are illite, montmorillonite, mixed layer, glauconite and feldspar. In the XRD method, clay minerals illite, montmorillonite, mixed layer, chlorite and kaolinite were identified in order of abundance. These minerals due to their sensitivity to react with water causes the instability of the borehole. The high ratio of Si/Al and changes of Ti and high level of Fe<sup>3+</sup> and Mg are also a sign of the widespread presence of illite, chlorite and montmorillonite in the mentioned formations.

The changes of major and trace elements compared to Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> except for MnO, CaO, and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> showed a positive linear relationship. The changes in the amount of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> show the oxidizing conditions in the upper part of the base, but the reducing conditions towards the upper side. Based on the amount of iron, manganese and vanadium, the sediments were formed under conditions of reduction, non-sulphide reduction Eh and medium to low pH. Variations in Th/U ratio (1-4.5) indicate marine to transitional environments. The existence of horizons rich in organic matter (more than 2%) confirms the reduction conditions.

Based on the low values of the Zr/Rb ratio, the sediments in the upper and lower parts are finer than the middle part of the grain. The relative accumulation of biogenic carbonate along with the shale is periodic and is reflected in the changes in the (Zr+Rb)/Sr ratio. Based on the Sr/Ba ratio, marine conditions prevail in the lower part and continental and metamorphic and sometimes marine conditions prevail in the upper part of the formation. Oxidation-reduction conditions were also investigated. The values of the V/(V + Ni) ratio of the semi-reduction region, the Ni/Co ratio of the reduction region and the V/Cr diagram show the almost reduction region and in some cases the oxidant conditions. Paleoclimatic conditions at the time of sedimentation based on low values of Rb/Sr ratio (less than 0.14) were completely hot and dry.

**Key words:** Wellbore stability, NGS log, Pabdeh-Gurpi Formation, sedimentary environment, Aghajari oilfield.