

ارزیابی خصوصیات ژئوشیمیایی مواد آلی سازند گرو (کرتاسه پیشین) در جنوب لرستان

مرتضی یوسفی^{۱*} و امیر نظری بدیع^۲

۱- دکترا چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

۲- کارشناس ارشد چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب

نویسنده مسئول: Yousefi_iran@yahoo.com

دریافت: ۹۴/۸/۵ پذیرش: ۹۴/۹/۱۴

چکیده

سازند گرو در ناحیه تنگ‌هفت لرستان، ۷۰۳ متر ضخامت دارد. مرز زیرین آن سازند گوتنیا قرار دارد و مرز بالایی آن با سازند سروک پیوسته است و عمدتاً از تناوب سنگ‌آهک، آهک شیلی، شیل و مارن تشکیل شده است. در این پژوهش، از شیل‌ها و آهک‌های شیلی این سازند به روش سیستماتیک نمونه‌برداری شد. داده‌های حاصل از پیرولیز نمونه‌ها در نمودارهای ژئوشیمیایی ترسیم و نتایج زیر حاصل شد: در نمونه‌های مورد مطالعه، هیدروکربن موجود از نوع درون سازندی است. ۶۰ درصد کروژن موجود از نوع III و ۴۰ درصد نوع II می‌باشد که به ترتیب توانایی گاززایی و نفت‌زایی را دارند. مقادیر کربن آلی کل در محدوده مناسب تا خیلی خوب و مقادیر S₂ پایین است و با توجه به ضخامت زیاد طبقات شیلی، توانایی تولید مقادیر قابل توجهی هیدروکربن را دارد. همچنین بررسی اسلایدهای پالینولوژیکی منجر به شناسایی ۴ پالینوفاسیس شد. ۷۵ درصد نمونه‌ها در محدوده پالینوفاسیس‌های I و II (کروژن نوع III و هیدروکربن احتمالی گاز) و ۲۵ درصد در محدوده پالینوفاسیس‌های VI و IX (عمدتاً کروژن نوع II و هیدروکربن احتمالی نفت) قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: سازند گرو؛ پیرولیز راک-اول؛ هیدروکربن؛ کروژن.

مقدمه

گسترش بستر اقیانوس‌ها و تغییرات اقلیمی فراگیر در زمان آپتین پیشین-آلبین پسین، منجر به رسوب‌گذاری نهشته‌های غنی از مواد آلی در طی حوادث بی‌هوازی اقیانوسی شد. شیل‌های سیاه رنگ این زمان به عنوان شاخص‌های بی‌هوازی اقیانوسی تلقی می‌شوند که در نتیجه ایجاد شرایط گلخانه‌ای و تهویه کم بستر حوضه‌ها تشکیل شده‌اند [۲۲]. همزمان با سایر نواحی دنیا، در لرستان، توالی شیل‌های تیره و سنگ‌آهک‌های رسی بیتومینه سازند گرو از بریازین تا آپتین و گاهی تا کنیاسین نهشته شده است.

امروزه یکی از پرکاربردترین ابزارهای مورد استفاده در ژئوشیمی آلی سنگ‌های منشأ، پیرولیز راک-اول است که به صورت گسترده در اکتشاف منابع هیدروکربنی در سرتاسر گیتی کاربرد دارد [۱۳]. وجود لیتولوژی مناسب، ضخامت زیاد رسوبات و محل قرار گیری سازند گرو در توالی نهشته‌های زاگرس سبب شده است تا از دیرگاه، این واحد سنگی به عنوان یکی از اصلی‌ترین سنگ‌های منشأ هیدروکربن مورد توجه قرار گیرد.

روش انجام کار

در این مطالعه از دستگاه پیرولیز راک-اول VI استفاده شد. این دستگاه به عنوان آخرین نسل از فن‌آوری راک-اول در سال ۱۹۹۶ توسط تکنولوژی وینسی^۱ فرانسه ارائه گردید. استفاده از این روش، اطلاعات بسیار با ارزشی از مقدار کربن آلی کل، نوع ماده آلی، رخساره‌های زیستی، شرایط اکسیداسیون و احیای محیط رسوبی و مهاجرت هیدروکربن از سنگ منشأ را در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد. در این مطالعه، ارتباط بین پارامترهای هیدروکربن‌های پیرولیزی (S₂)، مقدار کربن آلی کل^۲، شاخص هیدروژن^۳ (HI)، شاخص اکسیژن^۴ (OI) و شاخص پتانسیل هیدروکربن‌زایی^۵ (PI) حاصل از پیرولیز راک-اول بر روی تعداد ۱۲ نمونه از سازند گرو در برش چینه‌شناسی تنگ هفت بررسی می‌شود. نمونه‌های انتخاب شده لیتولوژی شیل و آهک شیلی داشتند و از عمق ۵۰ سانتی‌متری از سطح زمین اخذ شدند تا مقدار هوازدگی

¹ Vinci Technology² TOC = Total organic matter³ HI = Hydrogen index⁴ OI = Oxygen index⁵ PI = Potential index

در برش الگو عنوان نمودند که این واحد سنگی از کمر بند رخساره‌ای بخش عمیق دریا متعلق به یک پلاتفرم کربناته از نوع رمپ تشکیل شده است. [۱۰] سازند گرو را در چاه هفتگل از نظر توان تولید نفت و گاز مورد مطالعه قرار دادند. [۳]، ضمن بررسی جامع ژئوشیمی آلی سنگ‌های منشأ و نفت‌های حوضه زاگرس، ۲۳ نمونه از سازند گرو را مورد پیرولیز راک-اوال قرار داد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد درصد کربن آلی کل نمونه‌های این واحد سنگی نسبتاً ضعیف و عمدتاً در حدود ۱/۵-۰/۵ درصد متغیر است. [۴] با اندازه‌گیری ضریب انعکاس ویتربینیت نمونه‌های سازند گرو در برش کوه سفید (مرز استان‌های لرستان و کرمانشاه) عنوان نمودند که میانگین انعکاس ویتربینیت نشان‌دهنده پختگی اواخر پنجره نفت‌زایی است. [۷]، پالینولوژی و پتانسیل هیدروکربن زائی سازند گرو در چاه هلیلان در لرستان را مورد مطالعه قرار داد. نامبرده سه نوع پالینوفاسیس در سازند گرو شناسایی کرد، کروژن موجود را نوع III و هیدروکربن احتمالی را گاز دانست. [۲] ضمن بررسی سنگ‌های منشأ میدان نفتی مارون عنوان نمودند که سازند گرو با رسیدن به مرحله کاتازنز، مسیر بلوغ حرارتی را طی کرده است.

موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به ناحیه

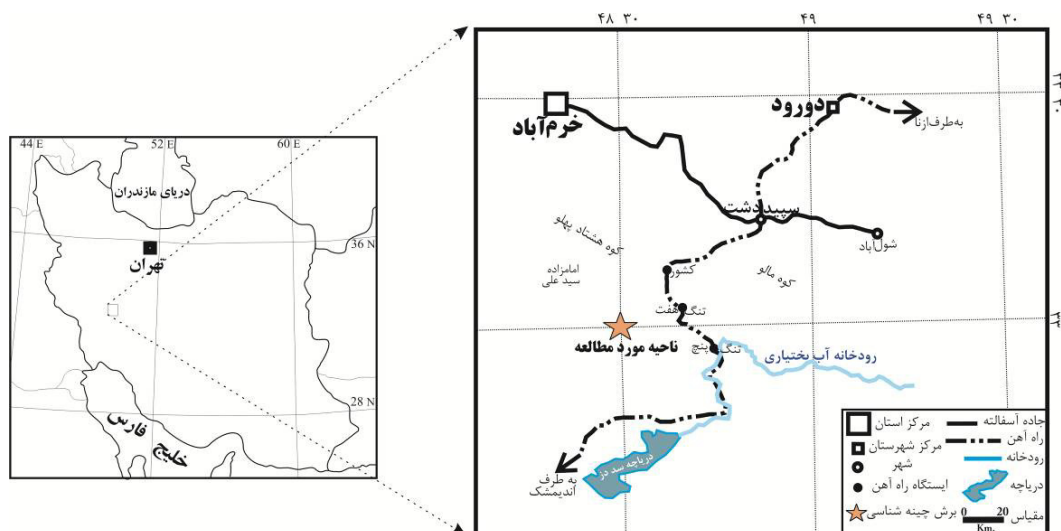
مورد مطالعه

دسترسی به برش مورد مطالعه از طریق راه آهن دورود - اندیمشک امکان‌پذیر است. پس از گذر از دومین تونل بعد از تنگ هفت، پل راه آهن مشاهده می‌شود که از روی رودخانه آب بختیاری می‌گذرد. در همان ابتدای پل، جاده خاکی وجود دارد که افراد محلی به آن جاده رضاخانی می‌گویند. پس از ورود به این جاده و ۳۰۰ متر پیاده روی، برش مورد مطالعه سازند گرو در سمت راست رویت می‌شود. مختصات جغرافیایی قاعده برش مورد مطالعه "N: 33° 01' 24" و E: 48° 39' 45" می‌باشد (شکل ۱). سازند گرو در این ناحیه در مرکز تاقدیس گیروه رخنمون دارد. در زیر سازند گرو، توده تبخیری گوتنیا با ۴۲ متر ضخامت بدون لایه‌بندی و به صورت توده‌ای قرار دارد و در بالا به طور پیوسته توسط سازند سروک پوشیده می‌شود. سازند گرو در ناحیه مورد مطالعه از ۷۰۳ متر تناوب سنگ‌آهک، آهک شیلی، شیل و مارن تشکیل شده است (شکل ۲).

آن‌ها حداقل باشد. حدود ۱۰۰ میلی‌گرم از هر نمونه، تیمار و هم‌وزنیه شد و مورد ارزیابی ژئوشیمیایی قرار گرفت (جدول ۱). در ادامه نمودار مقادیر حاصل از پیرولیز نمونه‌ها مقابل ستون چینه‌شناسی ناحیه ترسیم شد (شکل ۲). هم‌چنین برای بررسی دقیق‌تر توان هیدروکربن‌زایی سازند گرو در ناحیه مورد مطالعه، تعداد ۱۶۰ نمونه از لیتولوژی‌های مناسب (شیل‌ها، سیلستون‌ها، آهک‌های شیلی) جهت انجام مطالعات پالینولوژی به صورت سیستماتیک نمونه‌برداری و به روش استاندارد [۸]، اسلایدهای دائمی تهیه شد. نتایج حاصل از شمارش عناصر پالینولوژیکی بر روی نمودار تاپسون ترسیم و پالینوفاسیس‌های سازند گرو در ناحیه مورد مطالعه شناسایی گردید.

پیشینه مطالعات

نخستین بار [۲۴] سازند گرو را از نظر چینه‌شناسی مورد مطالعه قرار دادند. نام این واحد سنگی از تنگ گرو در کبیرکوه لرستان گرفته شد و برش الگوی آن در ۱۰ کیلومتری شمال خاوری روستای قلعه دره انتخاب گردید. در برش الگو، سازند گرو با ۸۹۶ متر ضخامت (با احتساب ۸۲ متر قاعده آن در چاه شماره یک کبیرکوه) به ۵ عضو تقسیم شده است و سنگ‌شناسی آن شامل تناوبی از آهک‌های رسی تیره رادیولردار به همراه شیل‌های سیاه بیتومینه پیریتی و چرتی حاوی آمونیت و بلمنیت است [۱۲]. مرز زیرین سازند گرو عمدتاً با رسوبات تبخیری هیث و گوتنیا مشخص می‌شود و مرز بالایی آن در نواحی مختلف متغیر (سازندهای ایلام، فهلیان و سروک) است. [۲۷] سازند گرو و گروه بنگستان را از جنبه‌های تطابق‌های تحت‌الارضی و از نظر سنگ منشأ مورد بررسی قرار داد. [۹ و ۱۸]، مطالعات میکروپالئونولوژی را بر روی فرامینفرای سازند گرو انجام دادند و سن نئوکومین-آلبین - سنومانین را برای این نهشته‌ها پیشنهاد نمودند. [۱] بر اساس مطالعه پالینومرف‌ها در برش الگو، سن بریاسین تا آپسین را برای این واحد سنگی پیشنهاد نمودند و بر مبنای تغییر رنگ عناصر پالینولوژیکی، عنوان نمودند که مواد آلی سازند گرو دارای درجه پختگی مناسب برای تولید هیدروکربن می‌باشد. [۵] هفت میکروفاسیس در برش تنگ بولک سازند گرو شناسایی نمود. [۶]، ضمن بررسی ژئوشیمی و پتروگرافی سازند گرو



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به برش مورد مطالعه

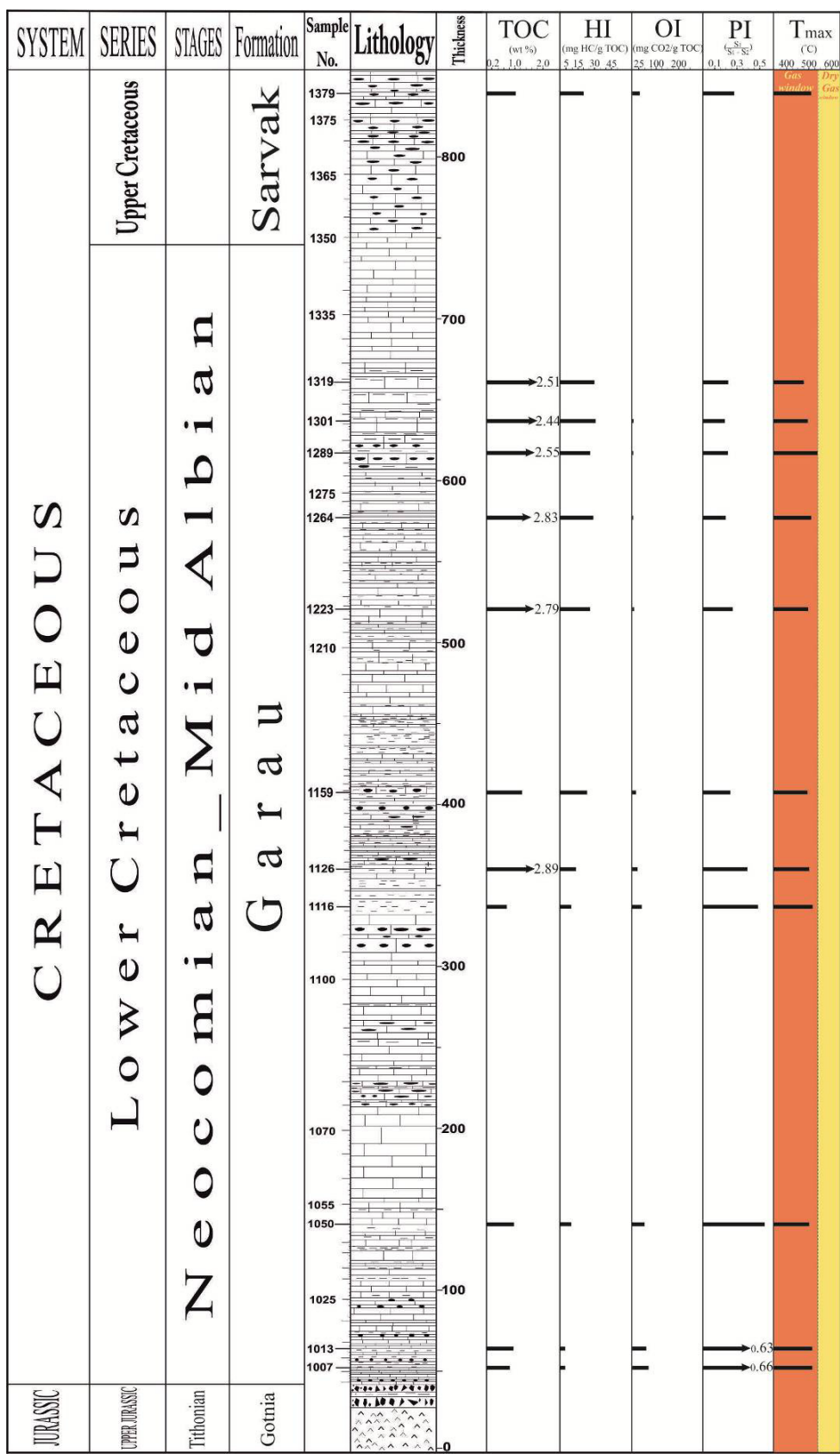
جدول ۱. نتایج حاصل از پیرولیز راک-اوال نهشته‌های سازند گرو در برش مورد مطالعه

Sample NO.	Distance from the base (m)	TOC (wt%)	Rock-Eval pyrolysis						
			S ₁ (mg HC/g Rock)	S ₂ (mg HC/g Rock)	S ₃ (mg CO ₂ /g Rock)	T _{max} (°C)	HI (mg HC/g TOC)	OI (mg CO ₂ /g TOC)	PI (S ₁ /S ₂)
FFA-1007	52.5	0.84	0.06	0.03	0.55	513	4	65	0.66
FFA-1013	63.2	0.94	0.07	0.04	0.51	514	4	54	0.63
FFA-1050	140	0.94	0.10	0.08	0.45	501	9	48	0.55
FFA-1116	318	0.72	0.09	0.10	0.28	519	14	39	0.47
FFA-1126	360	2.89	0.20	0.38	0.58	501	13	20	0.34
FFA-1159	410	1.26	0.12	0.29	0.20	493	23	16	0.29
FFA-1223	520	2.79	0.34	0.72	0.22	496	26	8	0.32
FFA-1264	579	2.83	0.21	0.82	0.11	511	29	4	0.20
FFA-1289	620	2.55	0.19	0.67	0.14	533	26	5	0.22
FFA-1301	648.5	2.44	0.18	0.75	0.15	495	31	6	0.19
FFA-1319	660	2.51	0.22	0.76	0.00	476	30	0	0.22
FFA-1379	840	1.04	0.08	0.21	0.29	510	20	28	0.27

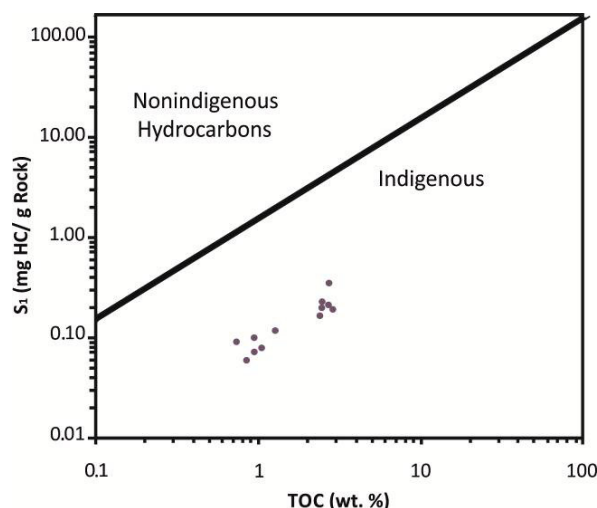
کرده به درون سازند را می‌توان از روی مقادیر S₁ بالا و TOC پایین شناسایی کرد. این نمودار نشان می‌دهد که در تمامی نمونه‌های مورد مطالعه، آلودگی یا مهاجرت هیدروکربن‌ها از واحدهای سنگی زیرین صورت نگرفته است و هیدروکربنی خارج از سازند به آن وارد نشده است و متعلق به همین چرخه رسوبی است (شکل ۳).

بحث

پس از انجام پیرولیز، نتایج به دست آمده تصحیح و در نمودارهای ژئوشیمیایی ترسیم گردید. در آغاز به منظور اطمینان از وجود یا عدم وجود آغستگی نمونه‌ها به مواد هیدروکربنی از نمودار تغییرات S₁/TOC (اندیس مهاجرت) استفاده شد [۲۰]. هیدروکربن‌های مهاجرت



شکل ۲. ستون چینه‌شناسی و نمودارهای حاصل از نتایج پیرولیز راک-اول سازند گرو در برش تنگ هفت

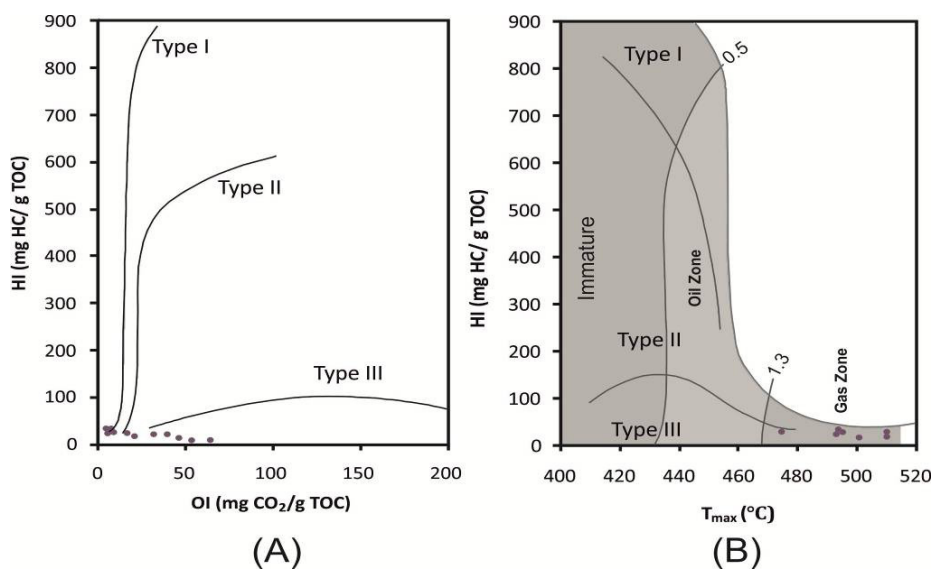


شکل ۳. نمودار تغییرات S_1/TOC نشان از عدم آلودگی نمونه‌های مورد مطالعه و برجا بودن هیدروکربن‌های تولیدی دارد (اقتباس از [۱۶]).

تعیین نوع کروژن

برای تعیین نوع کروژن، معمولاً از دو روش استفاده می‌شود. در روش اول از نمودار مقادیر شاخص هیدروکربن در برابر مقادیر شاخص اکسیژن (شکل ۴A) استفاده می‌شود [۱۶ و ۲۰]. در روش دوم از نمودار شاخص هیدروژن در برابر مقادیر T_{max} (شکل ۴B) استفاده می‌شود. در این روش به دلیل اینکه T_{max} نمونه‌هایی که S_2 آن‌ها کمتر از ۰/۲ (میلی‌گرم هیدروکربن/گرم سنگ) است اعتبار ندارد، برخی از نمونه‌ها در نمودار آورده نشد.

شکل ۴ نشان می‌دهد که ۶۰ درصد کروژن موجود در نمونه‌های مورد مطالعه از نوع III و ۴۰ درصد مربوط به کروژن نوع II می‌باشد. کروژن نوع III نسبت به کروژن‌های نوع I و II نفت کمتری تولید می‌کند و اساساً منجر به تولید گاز می‌شود. از نظر منشأ کروژن نوع III، بیش‌تر از بقایای گیاهان عالی خشکی‌زی تشکیل شده است، مقادیر قابل‌توجهی مواد مومی دارد و در مراحل دیازنز و کاتازنز، توانایی تولید گاز متان را دارد [۱۷] (شکل ۷). مقایسه نوع کروژن در ناحیه مورد مطالعه با سایر برش‌های چین‌شناسی سطحی [۳ و ۴] و زیرسطحی [۷ و ۱۱] نشان می‌دهد که کروژن سازند گرو عمدتاً نوع III و در برخی نواحی [۲] نوع II می‌باشد.



شکل ۴. A. نمودار شاخص اکسیژن در برابر شاخص هیدروژن برای تعیین نوع کروژن و B. نمودار مقادیر T_{max} در برابر شاخص هیدروژن برای تعیین نوع کروژن و ارزیابی نوع هیدروکربن احتمالی (به نقل از [۱۸]).

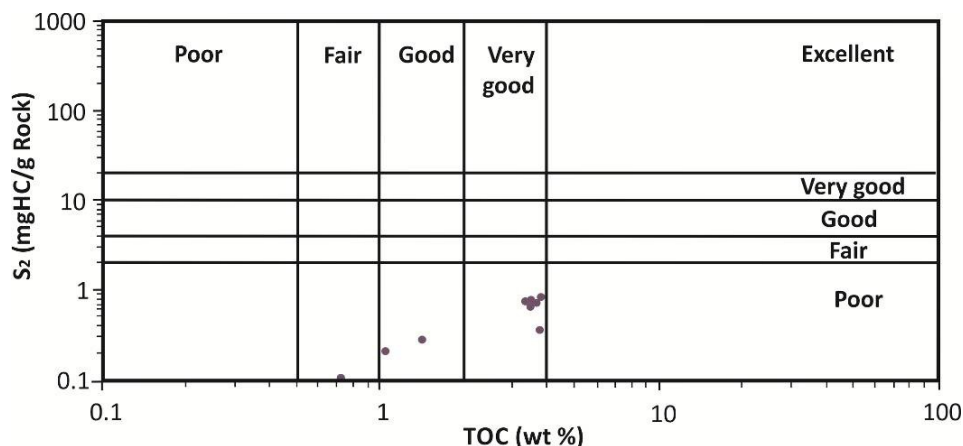
ارزیابی نوع هیدروکربن و بلوغ حرارتی

برای تعیین نوع هیدروکربن و ارزیابی توان هیدروکربن‌زایی، از چند روش می‌توان استفاده نمود. اولین روش که بر اساس مطالعه پیترز [۲۹] استوار است، عنوان می‌دارد که نمونه‌های با شاخص هیدروژن کمتر از 150 mg HC/g TOC ، مستعد تولید گاز، نمونه‌های با میزان $300-150 \text{ mg HC/g TOC}$ ، مستعد تولید نفت و گاز و در نهایت نمونه‌هایی که مقدار شاخص هیدروژن در آن‌ها بیش از 300 mg HC/g TOC باشد، توانایی تولید نفت دارند. مقدار متوسط شاخص هیدروژن در نمونه‌های مورد مطالعه $19/1 \text{ mg HC/g TOC}$ است. بر این اساس سازند گرو در ناحیه تنگ هفت توان تولید گاز دارد.

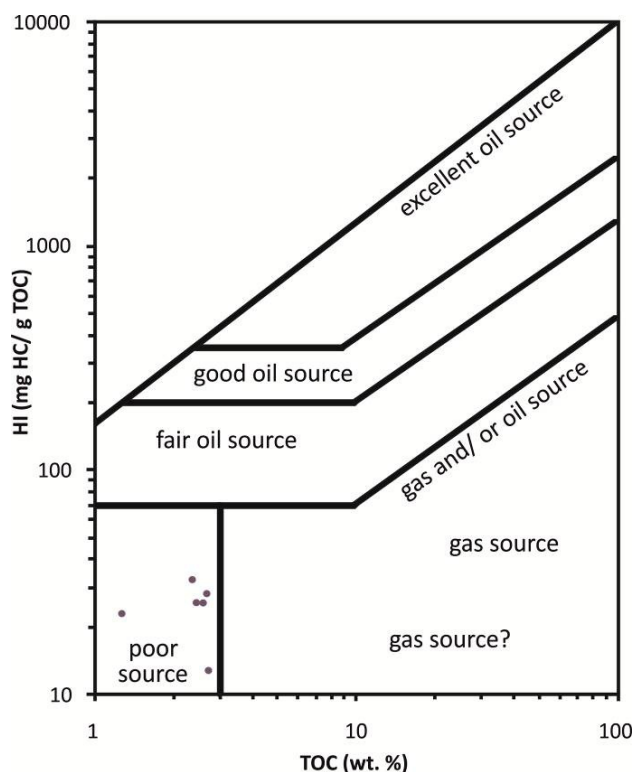
روش دیگر استفاده از مقادیر پارامترهای S_1 ، S_2 ، S_1+S_2 و TOC می‌باشد. با استفاده از مقدار میانگین هر یک از این پارامترها در نمونه‌های مورد مطالعه و مقایسه با مقادیر استاندارد ارائه شده توسط [۲۸] (جدول ۲)، می‌توان هیدروکربن‌زایی نهشته‌های مورد مطالعه را ارزیابی نمود. میانگین S_1 ، S_2 ، TOC و T_{max} در این مطالعه به ترتیب $0/15$ ، $0/40$ ، $1/81$ و $50/2$ می‌باشد. تغییر در میزان کربن آلی کل در بخش‌های مختلف سازند گرو به علت تغییر رخساره‌های سنگی و نوع محیط رسوبی می‌باشد. هر چند که با مقایسه مقادیر S_1 ، S_2 و TOC حاصل از پیرولیز راک-اوال با جدول (۲) به نظر می‌رسد که سازند گرو در ناحیه تنگ هفت از نظر پتانسیل تولید، فقیر می‌باشد (شکل ۵) ولی با توجه به ضخامت زیاد رسوبات شیلی، این واحد سنگی پتانسیل تولید مقادیر قابل توجهی هیدروکربن (عمدتاً گاز) را داراست. مقدار ماده آلی کل نمونه‌ها عموماً در محدوده متوسط تا خوب قرار دارد اما مقدار متوسط S_2 ، $0/40 \text{ mg HC/g rock}$ و

مقادیر متوسط S_1 ، $0/15 \text{ mg HC/g rock}$ می‌باشد. مقایسه یافته‌های حاصل از ژئوشیمی آلی سازند گرو در ناحیه مورد مطالعه و سایر نواحی جنوب لرستان [۳ و ۷] با شمال و شمال باختری لرستان [۴] نشان داد که در نواحی مطالعه شده، مقدار متوسط ماده آلی کل در جنوب تقریباً سه برابر بیش‌تر از شمال این استان است.

با استفاده از نمودار مقدار کربن آلی کل در برابر مقدار S_2 می‌توان پتانسیل زایش هیدروکربن نمونه‌های مورد بررسی را تعیین نمود (شکل ۵). مقدار S_2 آزاد شده در حین پیرولیز، متغیر مناسبی برای برآورد پتانسیل هیدروکربن‌زایی است. بر این اساس مشاهده می‌شود که با آنکه مقادیر کربن آلی کل در محدوده مناسب تا خیلی خوب واقع شده است، اما به علت پایین بودن مقادیر S_2 از نظر تولید هیدروکربن در محدوده ضعیف نمودار واقع می‌شود. این یافته‌ها با استفاده از نمودار مقدار کربن آلی کل در مقابل مقادیر شاخص هیدروژن نیز تأیید می‌شود (شکل ۶). ترسیم نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار شاخص پتانسیل در مقابل T_{max} ‌های قابل قبول نشان داد که سازند گرو در ناحیه مورد مطالعه، توانایی تولید گاز خشک را دارد (شکل ۷). مقادیر قابل تفسیر T_{max} در سازند گرو بین $533-476$ درجه سانتی‌گراد (با میانگین 502 درجه سانتی‌گراد) متغیر است. این مقدار نشان می‌دهد که بیش‌تر مواد آلی موجود در نمونه‌های مورد آزمایش، درجه حرارت بالایی را تحمل کرده‌اند و در حال حاضر فوق بالغ هستند و توانایی تولید گاز را دارند (شکل ۴B). البته به این نکته بایستی توجه کرد که تعیین دقیق سطح بلوغ حرارتی نمونه‌های فوق بالغ بر پایه اطلاعات مربوط به T_{max} ، در مقایسه با مقادیر انعکاس و یترنیت، از اعتبار کمتری برخوردار هستند [۳۱].



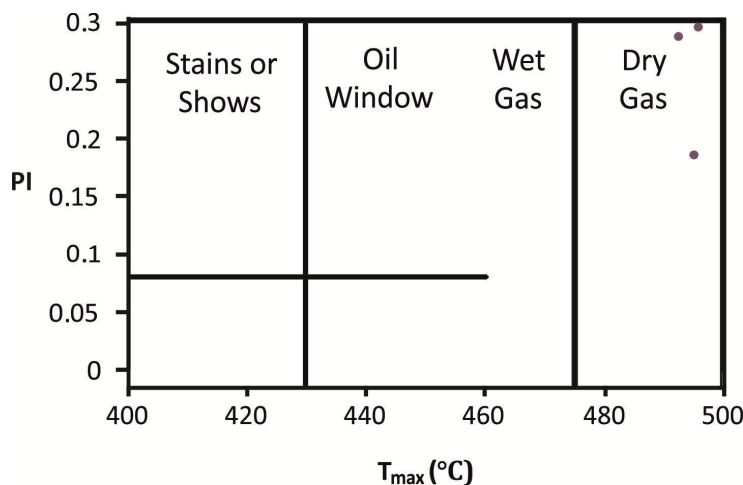
شکل ۵. نمودار S_2 در مقابل TOC معرف پتانسیل تولید سنگ منشأ (با اکتباس از [۱۹])



شکل ۶. نمودار TOC در برابر HI جهت ارزیابی نوع هیدروکربن احتمالی تولید شده (اقتباس از [۲۳])

جدول ۲. جدول استاندارد پارامترهای پیرولیز راک - اوال برای تعیین کیفیت، کمیت و بلوغ حرارتی سنگ‌های منشأ [۲۸]

Quantity	TOC (wt %)	S ₁ (mg HC/g rock)	S ₂ (mg HC/g rock)	
Poor	0-0.5	0-0.5	0-2.5	
Fair	0.5-1	0.5-1	2.5-5	
Good	1-2	1-2	5-10	
Very good	2-4	2-4	10-20	
Excellent	> 4	> 4	> 20	
Quality	HI (mg HC/g TOC)	S ₂ /S ₃	Kerogen type	
None	<50	<1	IV	
Gas	50-200	1-5	III	
Gas and Oil	200-300	5-10	II/III	
Oil	300-600	10-15	II	
Oil	>600	>15	I	
Maturation	R _o (%)	T _{max} (°C)	TAI	
Immature	0.2-0.6	<435	1.5-2.6	
Mature	Early	0.6-0.65	435-445	2.6-2.7
	Peak	0.65-0.9	445-450	2.7-2.9
	Late	0.9-1.35	450-470	2.9-3.3
Postmature	>1.35	>470	>3.3	



شکل ۷. نمودار PI در مقابل T_{max} جهت تعیین ماهیت هیدروکربن احتمالی تولید شده (به نقل از [۲۹])

برای T_{max} های قابل اتکاء، پنجره گاززایی را نشان می‌دهد.

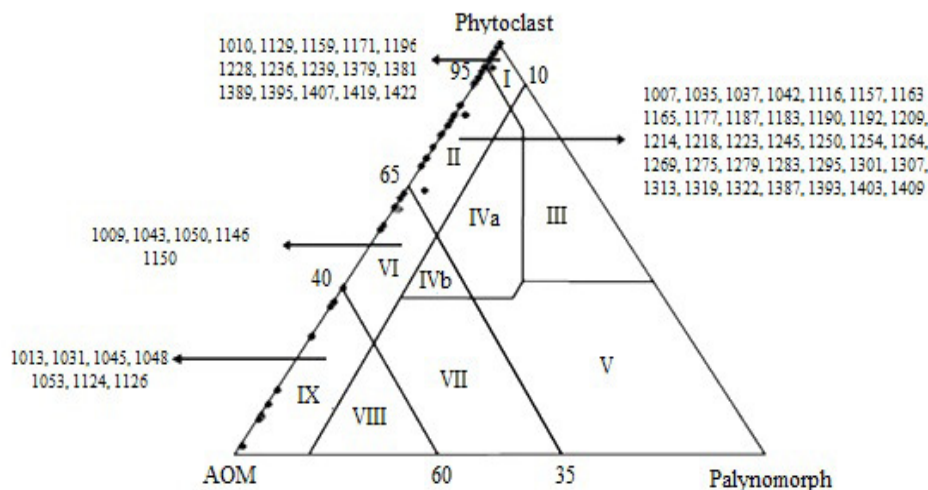
پالینوفاسیس

پس از تعیین درصد نسبی هر یک از عناصر پالینولوژیکی شامل فیتوکلاستاها، مواد آلی بی‌شکل و پالینومرف‌های دریایی، با استفاده از نرم‌افزار تری‌پلات و انتقال به نمودار مثلثی تایسون [۳۳]، چهار رخساره پالینولوژیکی تشخیص داده شد که به ترتیب فراوانی مربوط به ناحیه‌های I، II، IX و VI می‌باشند (شکل ۸). از میان نمونه‌های مورد مطالعه در پیرولیز راک-اوال، نمونه‌های ۱۱۱۶، ۱۰۰۷، ۱۲۲۳، ۱۲۶۴، ۱۲۸۹، ۱۳۰۱ و ۱۳۱۹ در محدوده پالینوفاسیس II، نمونه‌های ۱۱۵۹ و ۱۳۷۹ در محدوده پالینوفاسیس I، نمونه‌های ۱۰۱۳ و ۱۱۲۶ در محدوده پالینوفاسیس IX و نمونه ۱۰۵۰ در محدوده پالینوفاسیس VI قرار می‌گیرند (شکل ۹). پالینوفاسیس های I و II دارای کروژن نوع III هستند و توانایی تولید گاز دارند، پالینوفاسیس VI دارای کروژن نوع II و توانایی تولید نفت را دارد و پالینوفاسیس IX دارای کروژن $II > I$ است و توانایی تولید نفت را دارا می‌باشد [۳۲]. از آنجایی که ۷۵ درصد کل نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده I و II واقع شده‌اند، به نظر می‌رسد این واحد سنگی پتانسیل تولید گاز و تا حدودی نفت را داراست. لازم به ذکر است که [۷] در برش زیرسطحی سازند گرو در چاه هلیلان-۱، نتایج مشابهی را به دست آورد و سه نوع پالینوفاسیس II، VI و IX را شناسایی نمود.

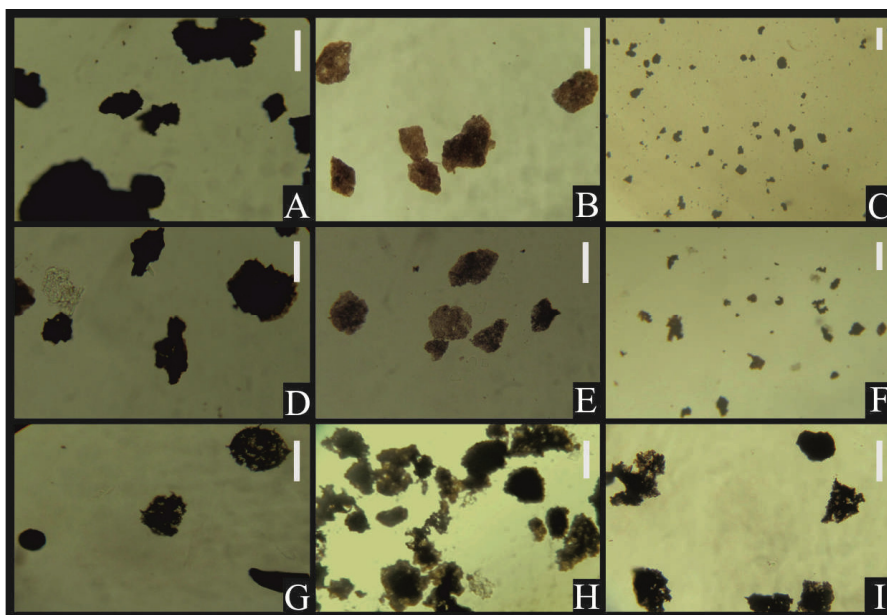
عواملی از قبیل نوع و جنس ماده آلی، زمان و چگونگی تأثیر دما در طی زمان، بر نوع هیدروکربن و مقدار تولید آن تأثیرگذار است. با توجه به اینکه مقدار T_{max} با افزایش بلوغ حرارتی افزایش می‌یابد، می‌تواند به عنوان شاخص درجه بلوغ حرارتی مورد استفاده قرار گیرد (شکل ۴B). بررسی نتایج حاصل از پارامتر T_{max} (با مقدار متوسط T_{max} ۵۰۲ درجه سانتی‌گراد) نشان می‌دهد نمونه‌ها از مرحله نفت‌زایی عبور کرده‌اند و در حال حاضر احتمالاً بیش‌تر پتانسیل تولید گاز را دارند. ذکر این نکته ضروری است که مقادیر T_{max} ممکن است تحت تأثیر عواملی از قبیل بالا بودن میزان گوگرد، پایین بودن میزان S_2 و دولومیتی بودن سنگ دچار خطا شود [۲۰]. بسیاری از ژئوشیمیست‌ها معتقدند که انعکاس ویترنیت مهم‌ترین پارامتر تعیین بلوغ است و اغلب به عنوان ژئوترموتر دوره‌های گذشته زمین‌شناسی از آن یاد می‌کنند [۲۱] و ۳۰٪ ضریب انعکاس ویترنیت (R_o)، درصد نور انعکاسی از نمونه در زمانی که در روغن غوطه‌ور است و مقدار آن از کمتر از ۰/۱ تا بیش‌تر از ۳ متغیر است. مقادیر R_o تا ۱/۱ مربوط به نفت و بیش از آن مربوط به گاز می‌باشد در این پژوهش تنها نتایج حاصل از پیرولیز و پالینوفاسیس‌ها در اختیار پژوهشگران بود و از آن استفاده شد. علاوه بر این با استفاده از رابطه (۱) می‌توان ضریب انعکاس ویترنیت نمونه‌ها را تا حدودی تخمین زد [۱۴].

$$R_o = 0.018 (T_{max}) - 7.16 \quad \text{رابطه (۱)}$$

مقادیری که برای ضریب انعکاس نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از این روش به دست آمده (با میانگین ۱/۸۷



شکل ۸. دیاگرام تائیسون و محل قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده پالینوفاسیس‌ها [۳۳]



شکل ۹. تصاویر پالینوفاسیس‌های سازند گرو در برش تنگ هفت، A, B, C: پالینوفاسیس I، D, E, F, I: پالینوفاسیس II، G, H: پالینوفاسیس VI و I: پالینوفاسیس XI، مقیاس خطی برابر با ۰/۲ میلی‌متر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

انجام مطالعات پالینولوژی برداشت و با استفاده از روش‌های معمول، اسلایدهای پالینولوژیکی تهیه شد. ۲- با توجه به مقادیر شاخص هیدروژن که همگی کمتر از 100 mgHC/gTOC می‌باشند و ظاهراً در محدوده کروژن نوع III قرار می‌گیرند، باید گفت که با توجه به بلوغ بالای نمونه‌ها، مقادیر شاخص هیدروژن به آهستگی کاهش یافته است و در محدوده تولید گاز قرار گرفته است. این به آن معنا نیست که نهشته‌های سازند گرو فقط گاززا هستند، بلکه توان تولید نفت را نیز داشته است

۱- سازند گرو در ناحیه تنگ هفت لرستان با ۷۰۳ متر ضخامت، در مرکز تاق‌دیس گیروه رخنمون دارد. سنگ‌شناسی آن عمدتاً شامل شیل، شیل آهکی، مارن و آهک می‌باشد. تعداد ۱۲ عدد نمونه غیرهوازده به صورت سیستماتیک از افق‌های مختلف سازند گرو برداشت شد و پس از انجام مراحل آماده‌سازی، به وسیله دستگاه راک-اوال VI مورد آنالیز قرار گرفت. هم‌چنین تعداد ۱۶۰ نمونه به صورت سیستماتیک از افق‌های مناسب جهت

اساس ترمال مچوریتی پالینومرفها، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، صفحات ۱۷۲-۱۶۵.

[۲] اسدی مهماندوستی، الف. علیزاده، ب و آدابی، م. ح (۱۳۹۰) ارزیابی ژئوشیمیایی سنگ‌های منشا و نفت خام میدان نفتی مارون با استفاده از دستگاه پیرولیز راک ایول و کروماتوگرافی گازی، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، سال بیست و یکم، شماره ۸۲، صفحات ۳۸-۳۱.

[۳] اشکان، س. ع. م (۱۳۸۳) اصول مطالعات ژئوشیمیایی سنگ‌های منشا هیدروکربوری و نفت‌ها، با نگرش ویژه به حوضه رسوبی زاگرس. روابط عمومی شرکت ملی نفت ایران، ۳۵۵ صفحه.

[۴] تولایی، م. افتخاری، ن و کسای، م (۱۳۸۶) مطالعه و ارزیابی سازند گرو در مقطع کوه سفید مرز لرستان- کرمانشاه از نظر سنگ منشا، مجله پژوهش نفت، سال هفدهم، شماره ۲-۵۶، صفحات ۱۲۹-۱۲۱.

[۵] حسین‌پور، م (۱۳۸۶) بررسی میکروفاسیس و محیط رسوبی سازند گرو در کبیر کوه در برش نمونه و تنگ بولک، جنوب غرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ۱۵۲ صفحه.

[۶] جمالیان، م، آدابی، م. ح، موسوی، م. ر و صادقی، ع (۱۳۹۰) ژئوشیمی و پتروگرافی سازند گرو (نتوکومین- آپسین) در برش نمونه (کبیرکوه، استان ایلام)، فصلنامه پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال بیست و هفتم، شماره دوم، صفحات: ۲۶-۱.

[۷] دانشگر، ی (۱۳۹۰) پالینوفاسیس، محیط رسوبی و ارزیابی پتانسیل هیدروکربورزائی سازند گرو در چاه هلیلان در لرستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه تهران، ۸۸ صفحه.

[۸] قویدل سیوکی، م (۱۳۸۹) پالینولوژی و کاربرد آن در زمین‌شناسی، پرکامبرین (پروتروزوئیک)، پالئوزوئیک و مزوزوئیک، با تاکید بر نمونه‌های فسیل از ایران، انتشارات تک‌رنگ، ۴۹۶ صفحه.

[۹] عظام‌پناه، ی، صادقی، ع، آدابی، م. ح و جمالی، الف. م (۱۳۹۱) بایوستراتیگرافی سازند گرو در برش تحت الارضی چاه نفت، جنوب کرمانشاه، فصلنامه پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال بیست و هشتم، شماره دوم، صفحات ۸۲-۶۹.

[۱۰] کسائی، م. انگجی، م (۱۳۷۷) ارزیابی توان نفت و گاز سازند گرو در چاه هفتگل ۶۱، پژوهشگاه صنعت نفت ۱۲۱، ص.

ولی در ناحیه مورد بررسی کروژن این واحد سنگی در مرحله تولید گاز قرار دارد.

۳- با استفاده از نمودار مقدار کربن آلی کل در برابر مقدار S_2 مشخص شد که مقادیر کربن آلی کل در محدوده مناسب تا خیلی خوب واقع شده است، ولی مقادیر S_2 پایین است. با این حال با توجه به ضخامت زیاد رسوبات شیلی، سازند گرو در ناحیه مورد مطالعه پتانسیل تولید هیدروکربن (عمدتاً گاز) را داراست. هم‌چنین نتایج حاصل از محاسبه تخمینی ضریب انعکاس ویترنیت، پنجره گاززایی را نشان می‌دهد.

۴- بررسی پالینوفاسیس‌های سازند گرو در برش مورد مطالعه نشان داد که ۷۵ درصد نمونه‌ها در محدوده I و II نمودار تاپسون قرار می‌گیرند. این پالینوفاسیس‌ها دارای کروژن نوع III هستند و توانایی تولید گاز دارند. هم‌چنین ۲۵ درصد از نمونه‌ها در محدوده پالینوفاسیس‌های VI و IX قرار گرفتند که علاوه بر تولید گاز، پتانسیل زایش نفت را نیز دارند.

پیشنهادات

قضاوت کردن در مورد ویژگی‌های سنگ‌های منشا مانند نوع ماده آلی، بلوغ حرارتی و محیط رسوبی تنها با استفاده از داده‌های راک-اوال کافی نیست و تنها یک دید کلی در ارتباط با موضوع در اختیار پژوهشگر قرار می‌دهد. برای به دست آوردن درک صحیحی از ماهیت سنگ‌های منشا، لازم است تا یافته‌های پیرولیز راک-اوال، با اطلاعات پالینولوژیکی، سنگ‌شناسی و آنالیزهای ژئوشیمیایی تکمیلی تلفیق گردد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات کارشناسان مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران به سبب همراهی در عملیات صحرائی، از خانم مهندس مرجان عامل به خاطر مطالعه و ویرایش متن اولیه، از داوران محترم به جهت بررسی دقیق مقاله و ذکر نکات سودمند و از سردبیر و مدیر اجرایی دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی به خاطر همکاری صادقانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

[۱] اختری، م و قویدل سیوکی، م (۱۳۸۵) بررسی پتانسیل هیدروکربوری سازند گرو به عنوان سنگ منشأ نفت خام بر

- [23] Jackson, K. S. Hawkins, P. J. and Bennett, A. J. R (1985) Regional facies and geochemical evolution of the southern Denison Trough: APEA Journal, 20: 143-158.
- [24] James, G. A, and Wynd, J. G (1965) Stratigraphic nomenclature of the Iranian oil Consortium Agreement area, Bulletin of the American Association of the Petroleum Geologists, 49 (12): 2184-2210.
- [25] Jones, R. W (1987) Organic Facies. In: J. Brooks and D. Welte (Eds.) Advances in Petroleum Geochemistry: Vol. 2. Academic Press. London. P 1-90.
- [26] Justwan, H. and Dalh, B (2005) Quantitive Hydrocarbon Potential Mapping and Organofacies Study in the Greater Balder Area, Norwegian North Sea. In: Dore, T. and Vining, B. (eds.), Petroleum Geology: North West Europe and Global Perspectives- Proceeding of 6th Petroleum Geology Conference, Geological Society, London, 1317- 1329.
- [27] Pairaudeau, J. G (1976) Subsurface correlation and reservoir appraisal of the Bangestan Group and Garau Formation in Lurestan: Oil Service Company of Iran, Geological and Exploration Division, Report 1245, 45 p.
- [28] Peters, K. E. and Cassa M. R (1994) Applied source rock geochemistry, in: Magoon, L, B, Dow, W, G. (eds), The petroleum system from source to trap. AAPG memoir 60: 93-120.
- [29] Peters, K. E (1986) Guidlines for evaluating petroleum source rocks using programmed pyrolysis, AAPG Bulletin 70: 318-329.
- [30] Rick C. T and Claxton, B. L (2000) Multidisciplinary thermal maturity studies using vitrinite reflectance microthermometry A new calibration of old techniques, AAPG Bulletin, Vol. 84, No. 10, pp. 1647-1665.
- [31] Shekarifard, A. Baudin, F. Schnyder, J and Seyed-Emami, K (2009) Characterization of organic matter in the fine-grained siliciclastic sediments of the Shemshak Group (Upper Triassic_Middle Jurassic) in the Alborz Range, Northern Iran. Geological Society, London, Special Publications, v. 312; p. 161-174.
- [32] Tyson, R. V (1987) The genesis and palynofacies characteristics of marine petroleum source rocks. In: Brooks, J., Fleet, A.J. (eds.), Marine Petroleum Source Rocks, Geological Society Special Publication 26.: 47- 67.
- [33] Tyson, R. V (1993) Palynofacies analysis. In: Jenkins D.G. (ed.) Applied Micropaleontology: 153-191.
- [۱۱] لطفی‌یار، الف. چهرازی، ع. کمالی، م. ر. ثابتی، ن (۱۳۹۳) بررسی شیل‌های سازند گرو در منطقه لرستان به عنوان منابع نامتعارف هیدروکربنی، مجله زمین‌شناسی نفت ایران، سال سوم، بهار و تابستان ۹۳، صفحات ۱۰۱-۸۵.
- [۱۲] مطیعی، ه. (۱۳۷۲) چینه‌شناسی زاگرس، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۳۶ صفحه.
- [13] Behar, F. Beaumont, V. and Pentea do, B (2001) Rock-Eval 6 Technology: Performances and Developments, Oil & Gas Science and Technology - Rev. IFB, v. 56, p.111-134.
- [14] Dayal, A. M (2013) Unconventional Shale Gas as future source of energy, 3rd Petrocoal Congress, ppt. Copyright@2013 petroleum industry press. Published by Elsevier Inc.
- [15] Dean, W. E. Arthur, M. A. and Claypool, G. E (1986) Depletion of ¹³C in Cretaceous marine organic matter: Source, diagenetic, or enviromental signal: Marine Geology, v.70, p. 119-154.
- [16] Espitalie J. Madec, M. Tissot, B. Menning, J. J. Leplate, P (1977) Source rock characterization on method for petroleum exploration, proceeding of the 9th Annual Offshore Technology Conference. Houston 439 - 444.
- [17] Espitalie, J., Deroo, G. and Marquis, F (1985) La pyrolyse Rock-Eval et ses applications Rev. Inst. Franç. du Pétr., Part I, 40: 563-578, Part II, 40: 755-784, Part III, 41: 73 89.
- [18] Hosseini, S. A, and Bahrami, S. H (2005) Micropaleontological studies on the surface samples of stratigraohic columns of Kabir_Kuh , Tang_e_Haft, Khorram Abad (North West) and Khorram Abad (South East). Paleontological report No. 642. (NIOC).
- [19] Huang, B. Xiao, X. Zhang, M (2003) Geochemistry, grouping and origins of crude oils in the western Pearl River Mouth Basin, Offshore South China Sea: Journal of Organic Geochemistry, v. 34, p. 993-1008.
- [20] Hunt, J. M (1996) Petroleum geochemistry and geology, 2nd edition. W. H. Freeman and Company. 743 p.
- [21] Mukhopadhyay P. K. and Dow G. W (1994) Vitrinite reflectance as maturity parameter of petrographic and molecular characterization and its application to basin modeling, American Chemical Society Washington DC. 120 pp.
- [22] Okada, H. and Mateer, N. J (2000) Cretaceous Enviroments of Asia, 1st edition, Elsevier, 269 pp.