

Research Article

Organic geochemical evaluation of the Garau Formation in the surface outcrop of Kabir-Kuh Anticline, Ilam

Amirhossein Ammari¹, Majid Alipour^{2*}

1- Department of petroleum geology and sedimentary basins, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

2- Department of Petroleum Geology and Sedimentary Basin, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Keywords: Organic geochemical evaluation, Rock-Eval 6 Pyrolysis, Garau Formation, Kabir-Kuh Anticline, Ilam

1-Introduction

Organic geochemistry is a powerful tool combining chemistry with geological principles to solve geological problems. This branch has found applications in vast science areas, including preserving organic matter in sedimentary rocks and interpreting paleo-environmental conditions during the deposition of petroleum-source rocks (Tissot and Welte, 1984). In addition, organic geochemistry is considered a valuable tool for geochemical evaluation of hydrocarbon source rocks.

In this study, we used organic geochemical techniques to evaluate organic matter contained in the Garau Formation (Neocomian-Aptian age) in the surface outcrop at the Kabir-Kuh Anticline of Ilam (Figure 1).

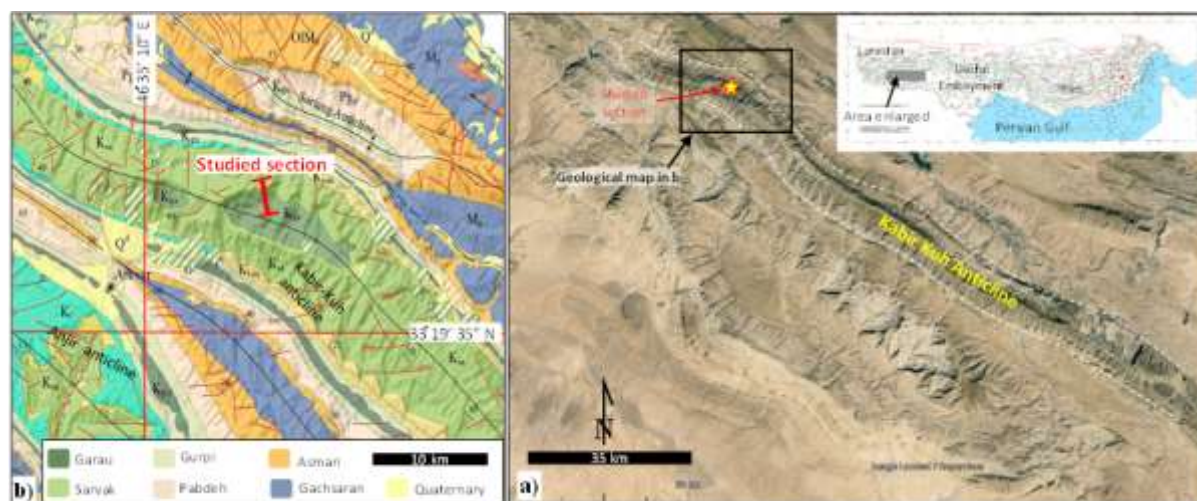


Fig. 1. (a) The geographic location of the Garau outcrop in the Kabir-Kuh Anticline of Ilam and (b) the location of the studied surface section on 1/100000 geological map of Ilam.

2-Material and methods

Nineteen rock samples were hand-picked from the surface outcrop of the Garau Formation at Kabir-kuh Anticline. Care was taken to avoid the weathered surface layer by digging small holes 25 cm deep.

* Corresponding author: alipour.magid@gmail.com

DOI: 10.22055/aag.2024.46573.2449

Received: 2024-04-12

Accepted: 2024-10-29

3- Results and discussions

3.1-Quantity of organic matter

The amount of organic matter in the Garau Formation exhibits many variations. In addition, the geochemical parameters indicate some variations in the vertical direction .

3.2- Quality of the organic matter

Based on the Rock-Eval pyrolysis data, the studied samples from the Garau Formation are highly mature (Figure 2a,b). This figure is shown by the very low HI values of the studied samples. The type of organic matter contained in the samples cannot be determined using HI versus OI diagrams because most of the samples are plotted in the lower left corner of the diagram due to high maturity (Fig. 2a)

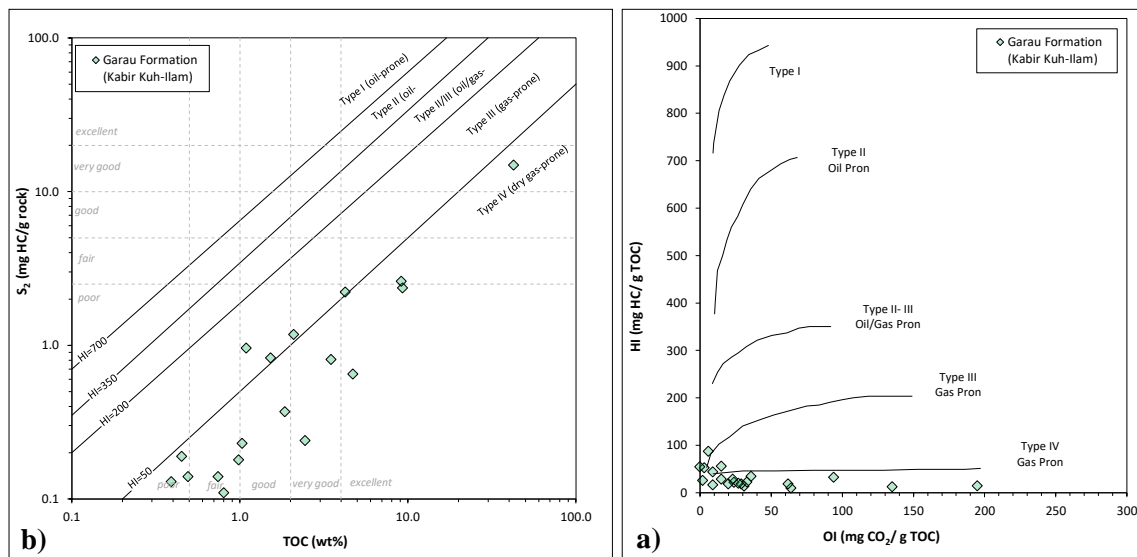


Fig. 2. Diagrams of HI versus OI (a) and TOC versus S₂ (b) are used to determine the type of organic matter in the Garau Formation (Hunt, 1996; Langford and Blanc-Valleron, 1990).

3.3-Thermal maturity of the organic matter

Out rock-eval pyrolysis results indicate that the organic matter of the Garau Formation has a very high thermal maturity corresponding to the late gas window in the studied area (Figure 3a,b) .

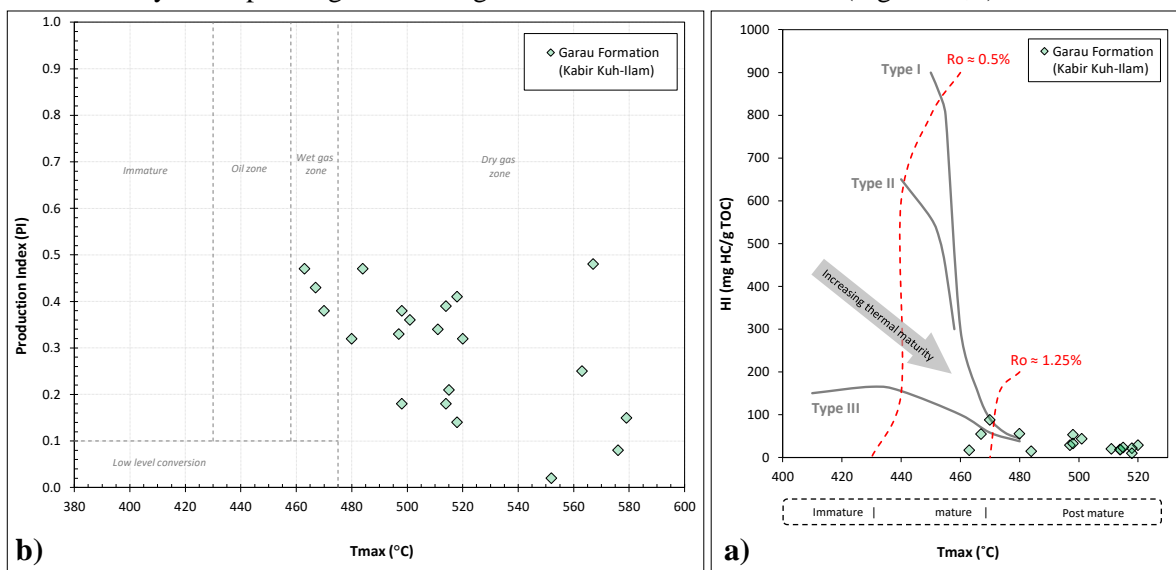


Fig. 3. Diagrams of HI versus Tmax (a) and PI versus Tmax (b) are used to determine the maturity of organic matter (Hunt, 1996).

4-Conclusion

Based on Rock-Eval pyrolysis results, the Garau Formation is basal parts of highly organic-rich in the studied surface outcrop. The contained organic matter has a very high thermal maturity (late gas window); hence, the type of organic matter cannot be reliably defined. The very low HI readings are consistent with advanced maturity, suggesting considerable hydrocarbon generation from the Garau Formation in the past. The present-day potential is negligible and only includes minor amounts of dry gas, which can be interesting regarding unconventional shale gas resources in the Garau Formation.

5-References

- Hunt, J. M., 1996, Petroleum geochemistry and geology, WH Freeman and Company. 743 P.
- Langford, F., Blanc-Valleron, M., 1990, Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydrocarbons vs. total organic carbon: American Association of Petroleum Geologists Bulletin 74, 799-804. <https://doi.org/10.1306/0C9B238F-1710-11D7-8645000102C1865D>.
- Tissot, B.P., Welte, D.H., 1984. Petroleum formation and occurrence, Springer Science & Business Media, 770 P.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Ammari, A., Alipour, M., 2025. Organic geochemical evaluation of the Garau Formation in the surface outcrop of Kabir-Kuh Anticline, Ilam. Adv. Appl. Geol. 14(4), 976-988.

DOI: 10.22055/aag.2024.46573.2449

URL: https://aag.scu.ac.ir/article_19707.html

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

ارزیابی ژئوشیمی آلی سازند گرو در رخنمون سطحی تاقدیس کبیرکوه، ایلام

امیرحسین عماری

گروه زمین شناسی نفت و حوضه های رسوبی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

مجید علیپور*

گروه زمین شناسی نفت و حوضه های رسوبی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

* alipour.magid@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۸

چکیده

در این پژوهش، سازند گرو در رخنمون سطحی کبیرکوه ایلام مورد ارزیابی ژئوشیمیایی آلی قرار داده شده است. بدین منظور تعداد ۱۹ نمونه سنگی با فواصل منظم ۳۰ متری برداشته شده و با استفاده از روش پیرولیز راک - ایول مورد آنالیز قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهند که یک بخش غنی از ماده آلی در قاعده سازند گرو وجود دارد که توسط بخش‌های فقیر پوشیده شده است. بر اساس نمودارهای HI در برابر OI و همچنین نمودارهای S2 در برابر TOC نمونه‌های مورد مطالعه از سازند گرو در منطقه مورد مطالعه عمدتاً دارای بلوغ حرارتی بسیار بالایی هستند (انتهای پنجره گاززایی) و عملاً تعیین دقیق نوع ماده آلی در آنها ناممکن است. با توجه به این نمودارها مشخص می‌شود که نمونه‌های مطالعه شده از سازند گرو، اساساً دارای مقادیر شاخص هیدرژن بسیار پایین ($HI < 100 \text{ mg HC/g TOC}$) هستند. همچنین نمونه‌های برداشته شده از سازند گرو در رخنمون سطحی مورد مطالعه دارای پتانسیل هیدروکربن‌زایی ضعیف تا عالی هستند. بر اساس این نتایج می‌توان بیان داشت که ماده آلی موجود در سازند گرو در زمان‌های گذشته زمین‌شناسی متحمل تدفین شدید شده و به همین دلیل بخش قابل توجهی از پتانسیل هیدروکربن‌زایی خود را از دست داده است. این سازند در حال حاضر فقط قادر به تولید مقادیر متفاوتی از گاز خشک (متان) می‌باشد که از نظر منابع هیدروکربنی نامتعارف حائز اهمیت خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی ژئوشیمیایی، پیرولیز راک - ایول، سازند گرو، تاقدیس کبیرکوه، ایلام

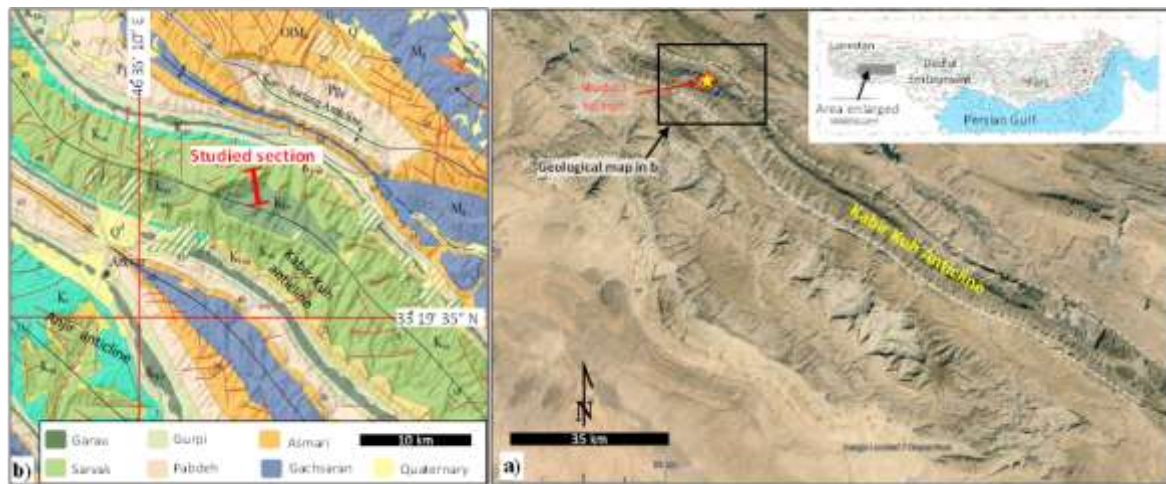
۱- مقدمه

برای همین منظور، نمونه‌های سطحی از سازند گرو با استفاده از روش پیرولیز راک - ایول مورد آنالیز قرار گرفته‌اند. مطالعات پیشین بر روی سازند گرو، این سازند را از نظر میکروفاسیس (Hosseinpour, 2007; Mahanipour et al., 2020)، محیط رسوبی دیرینه (Moori et al., 2021; Sharafi et al., 2021)، و چینه‌شناسی (Sharafi et al., 2021) مورد بررسی قرار داده‌اند. علاوه بر این، ویژگی‌های ژئوشیمیایی آلی سازند گرو نیز در تعدادی از چاه‌های حفاری شده در ناحیه لرستان مورد مطالعه قرار گرفته است (Hosseinpour, 2021; Lotfiyar, 2017; Mahbobipour, 2016). در مطالعات مذکور، با استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی مختلف (مانند پیرولیز راک - ایول، کروماتوگرافی گازی، و پتروگرافی آلی) پتانسیل این سازند از نظر منابع نامتعارف هیدروکربنی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین سازند گرو به صورت بسیار محدود در رخنمون‌های سطحی در ناحیه الیگودرز نیز

ژئوشیمی آلی، تلفیقی از علوم زمین‌شناسی و شیمی آلی است که هدف آن پاسخ به سوال‌هایی است که هر یک از این دو علم به تنهایی قادر به پاسخگویی نیستند. به عبارت بهتر، علم ژئوشیمی آلی، همان بهره‌گیری از روش‌های شیمیایی برای پاسخگویی به سوالات زمین‌شناختی است. از جمله کاربردهای اصلی این علم، می‌توان به بررسی چگونگی حفظ‌شدگی مواد آلی در سنگ‌های رسوبی و همچنین به ارزیابی سنگ‌های منشأ هیدروکربنی اشاره کرد (Tissot and Welte, 1984). بدین ترتیب، با استفاده از این اطلاعات می‌توان واحدهای چینه‌ای با پتانسیل بالای سنگ منشأ را در یک حوضه رسوبی شناسایی کرد (Hunt, 1996). در مطالعه حاضر، برای اولین بار اقدام به ارزیابی ژئوشیمی آلی سازند گرو (به سن نئوکومین - آلبین) در رخنمون سطحی تاقدیس کبیرکوه ایلام گردیده است (شکل ۱).

اطلاعات با ارزشی در مورد مقدار، نوع و بلوغ حرارتی ماده آلی موجود در سازند گرو فراهم کرده است. این اطلاعات می‌توانند در شناخت بهتر خصوصیات سنگ منشاء گرو و نقش آن در سیستم‌های هیدروکربنی موجود در ناحیه لرستان، راهگشا باشند.

مورد مطالعه قرار گرفته است (Shabrang, 2021). لیکن این سازند تاکنون در رخنمون‌های سطحی در استان ایلام مورد ارزیابی ژئوشیمیایی قرار نگرفته است. لذا در این مطالعه برای اولین بار تعداد ۱۹ نمونه سطحی از رخنمون سطحی سازند گرو در تاق‌دیس کبیرکوه ایلام (شکل ۱) با استفاده از روش پیرولیز راک-ایول مورد آنالیز قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از این مطالعه،



شکل ۱- (a) موقعیت جغرافیایی رخنمون سطحی سازند گرو در تاق‌دیس کبیرکوه ایلام (b) موقعیت رخنمون سطحی سازند گرو در نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ایلام.

Fig. 1. (a) Geographic location of Garau outcrop in Kabir-Kuh Anticline of Ilam, (b) location of studied surface section on 1/100000 geological map of Ilam.

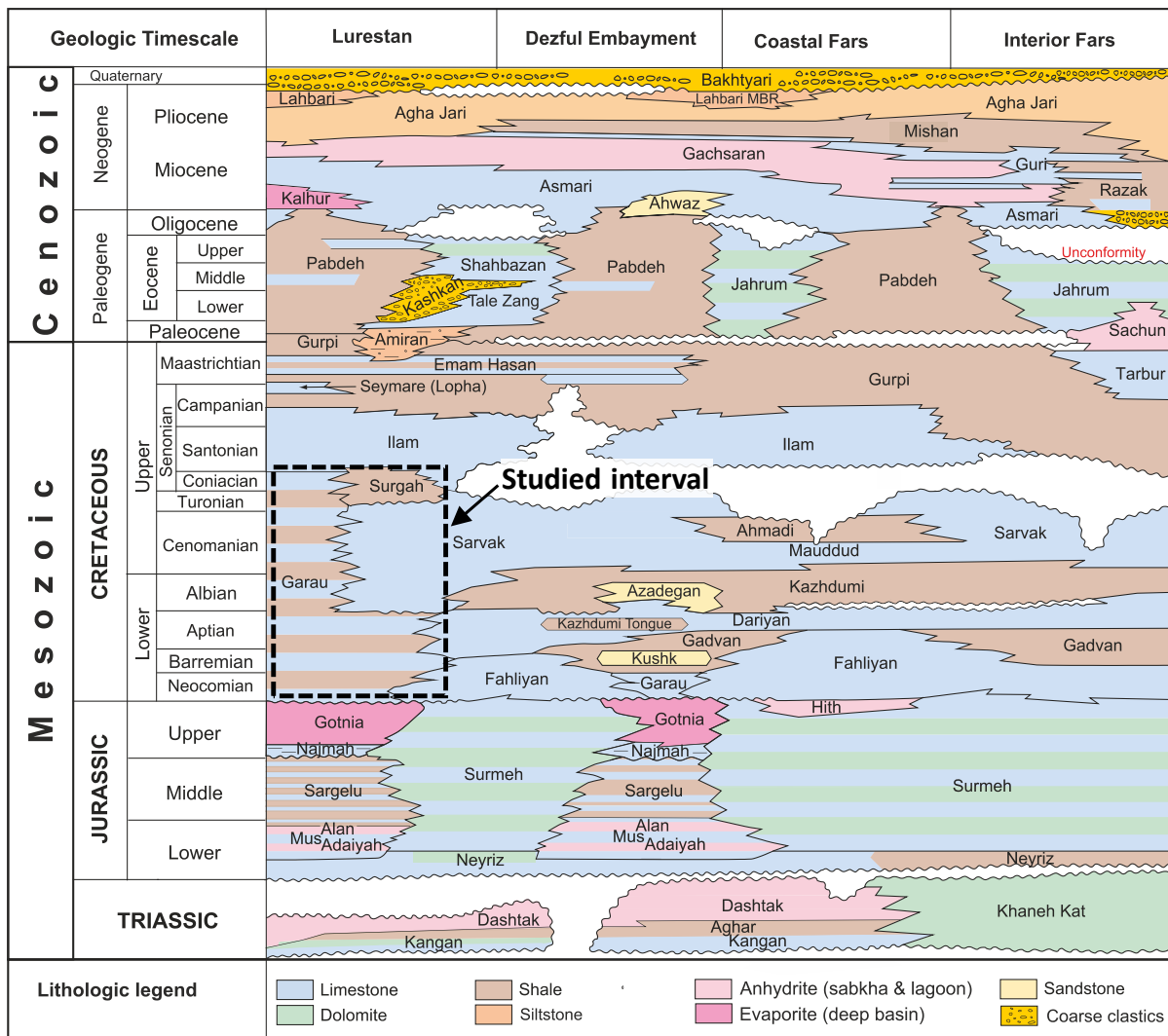
۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

می‌شود (یعنی از قاعده به سمت بالا، بر ضخامت میان‌لایه‌های آهکی افزوده می‌شود) (James and Wynd, 1965). رسوبات این سازند اغلب بسیار دانه ریز بوده و دارای لامیناسیون هستند. بر همین اساس، و با توجه به وفور فسیل رادیولرها، می‌توان نتیجه گرفت که محیط رسوبی سازند گرو یک محیط ژرف، فاقد اکسیژن و بسیار کم انرژی بوده است (Motiei, 1993). سازند گرو در مرکز ناحیه لرستان، بیشتر شیلی است در حالی که در فروافتادگی دزفول این سازند دارای رخساره آهکی می‌باشد (شکل ۲). از نظر چینه‌شناختی، مرز زیرین این سازند مشخص نیست (Motiei, 1993). لیکن مرز فوقانی سازند گرو دارای ویژگی‌های بسیار متفاوتی است. برای مثال، مرز بالای سازند گرو در برش نمونه، از طریق یک ناپیوستگی فرسایشی با آهک‌های گروه بنگستان مشخص می‌شود (James and Wynd, 1965). در بخش‌های شرقی فرو افتادگی دزفول، سازند گرو در زیر سازند فهلیان قرار می‌گیرد. همچنین در نواحی مرکزی لرستان، این سازند در زیر سازند سورگه قرار

در اواخر ژوراسیک به علت برقراری اقلیم گرم و خشک در حوضه لرستان، سازندهای تبخیری هیث و گوتنیا در محیط‌های بسیار کم عمق سبخایی ته‌نشست یافته‌اند (Sharland et al., 2004). پس از رسوبگذاری سازند گوتنیا (ژوراسیک پسین) با ضخامت زیاد، در ابتدای کرتاسه، محیط‌های رسوبی عمیق با شرایط احیایی حاکمیت یافتند که حاصل آن رسوبگذاری شیل‌های سیاه رنگ و آهک‌های به‌شدت بیتومینه سازند گرو در حوالی محور حداکثر فرونشست حوضه رسوبی بوده است (James and Wynd, 1965). در برش نمونه، واقع در ۱۰ کیلومتری شمال شرقی دهکده قلعه‌دره واقع در جنوب غربی تاق‌دیس کبیرکوه، ضخامت سازند گرو به ۸۱۴ متر می‌رسد (Motiei, 1993). به‌طور کلی، سازند گرو تناوبی از شیل‌های به‌شدت سیاه بیتومینه و آهک‌های رسی تیره همراه با فسیل‌های آمونیت است که از قاعده به سمت بالا، از شدت سیاه رنگ بودن شیل‌ها و همچنین از ضخامت آن‌ها به تدریج کاسته

آن را می‌توان به پیشروی رسوبات مختلف به درون حوضه رسوبی گرو نسبت داد (شکل ۲).

می‌گیرد (Motiei, 1993). بدین ترتیب مشخص می‌شود که سازند گرو می‌تواند در زیر سازندهای مختلفی قرار گیرد که علت



شکل ۲- ستون چینه‌شناسی مربوط به مزوزوئیک و سنوزوئیک حوضه زاگرس که نشان‌دهنده محدوده چینه‌شناختی مورد بررسی در این مطالعه است (James and Wynd, 1965; Motiei, 1993). همچنین ارتباط جانبی رخساره‌ها با همدیگر به خوبی در این شکل نمایش داده شده است.
 Fig. 2. Stratigraphic column of Mesozoic and Cenozoic in the Zagros basin, indicating the stratigraphic interval of interest in this study. The lateral facies relationships are also shown.

۳- مواد و روش‌ها

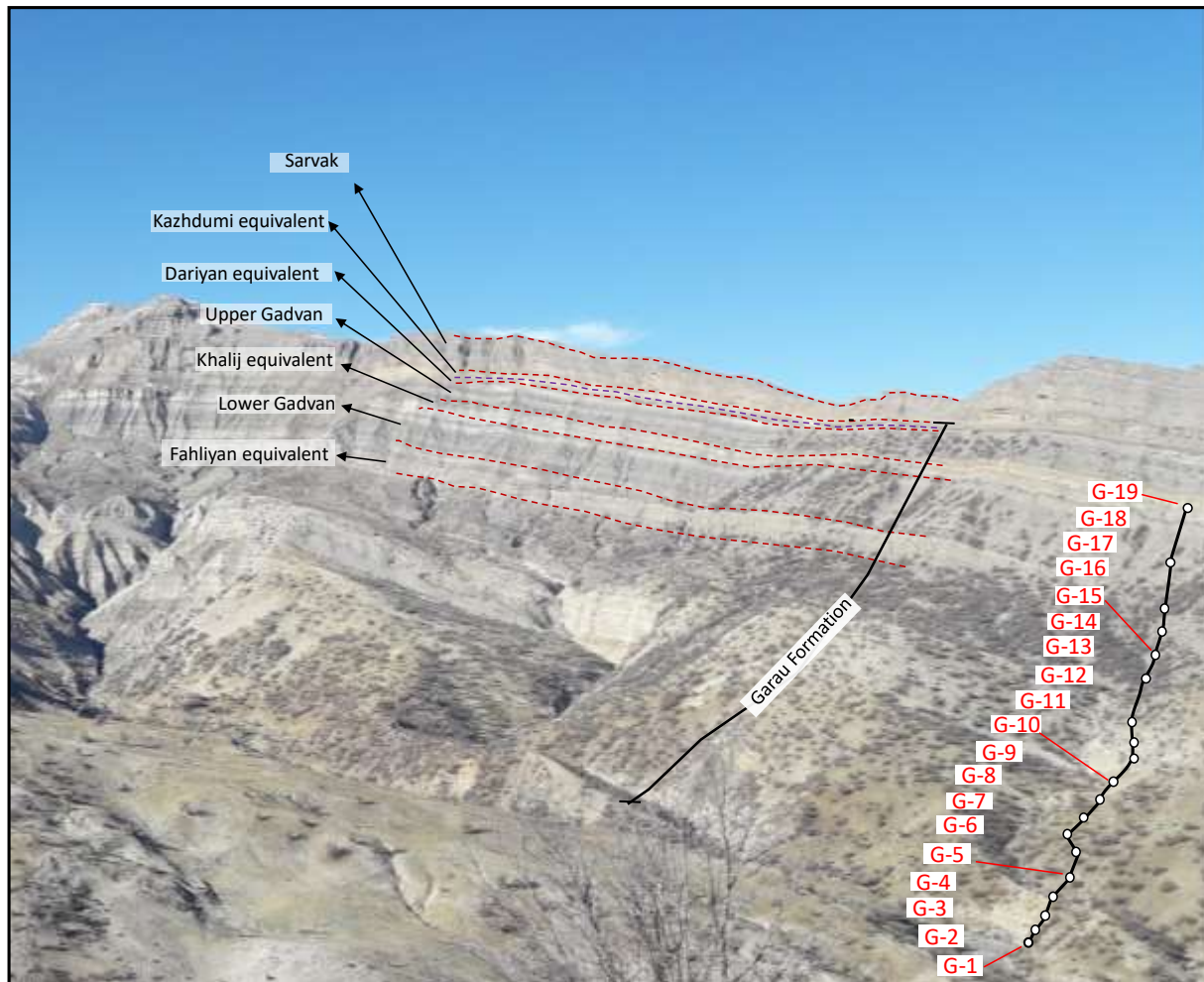
۳-۱- نمونه‌های مورد استفاده در این مطالعه

در این مطالعه، سازند گرو در رخنمون سطحی تاقدیس کبیرکوه مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۱ و شکل ۳). راه دستیابی به این مقطع، از قسمت غربی روستای پاکل گراب واقع در یال شمال شرقی تاقدیس کبیرکوه است که یک مسیر نسبتاً صعب-العبور کوهستانی می‌باشد. از نظر ساختمانی، تاقدیس کبیرکوه،

یک تاقدیس نامتقارن در جنوب شهرستان ایلام است که طولی-ترین تاقدیس در ناحیه لرستان بوده و تقریباً از ۵۰ کیلومتری شمال غربی اندیمشک شروع شده و تا ۲۰ کیلومتری جنوب-شرقی شهرستان ایلام ادامه دارد (Motiei, 1993) (شکل ۱). برای رسیدن به اهداف مطالعه حاضر، تعداد ۱۹ نمونه از سازند گرو با فواصل منظم حدود ۳۰ متری از رخنمون سطحی واقع در تاقدیس کبیرکوه برداشت شده است (شکل ۳). با توجه به احتمال تأثیر هوازدگی بر نمونه‌های برداشت شده از سازند گرو،

سانتی‌متر) شده است.

در مطالعه حاضر توجه ویژه‌ای به نمونه‌برداری از بخش‌های سالم و غیرهوازده سازند (با کندن گودال‌هایی به عمق حداقل ۲۵



شکل ۳- موقعیت نمونه‌های برداشته شده از سازند گرو در مقطع مورد مطالعه از تاق‌دیس کبیرکوه ایلام.

Fig. 3. Location of samples collected from the Garau Formation in the studied section at Kabir-Kuh Anticline, Ilam.

۲-۳- روش پیرولیز راک - ایول

در این مطالعه برای ارزیابی ژئوشیمیایی نمونه‌های سطحی برداشته شده از سازند گرو، از دستگاه راک - ایول ۶ استفاده شده است. روش پیرولیز، در حقیقت حرارت دادن ماده آلی در نبود اکسیژن است (Behar et al., 2001). این فرآیند باعث آزاد شدن هیدروکربن از مواد آلی موجود در داخل رسوبات می‌گردد و به نوعی شبیه‌سازی زایش هیدروکربن در حرارت بالا و مدت زمان کوتاه است (Barker, 1974). انجام آزمایش پیرولیز به صرف زمان زیادی نیاز ندارد و همچنین یک روش ساده و ارزان محسوب می‌شود. در نتیجه، این روش یکی از مرسوم‌ترین

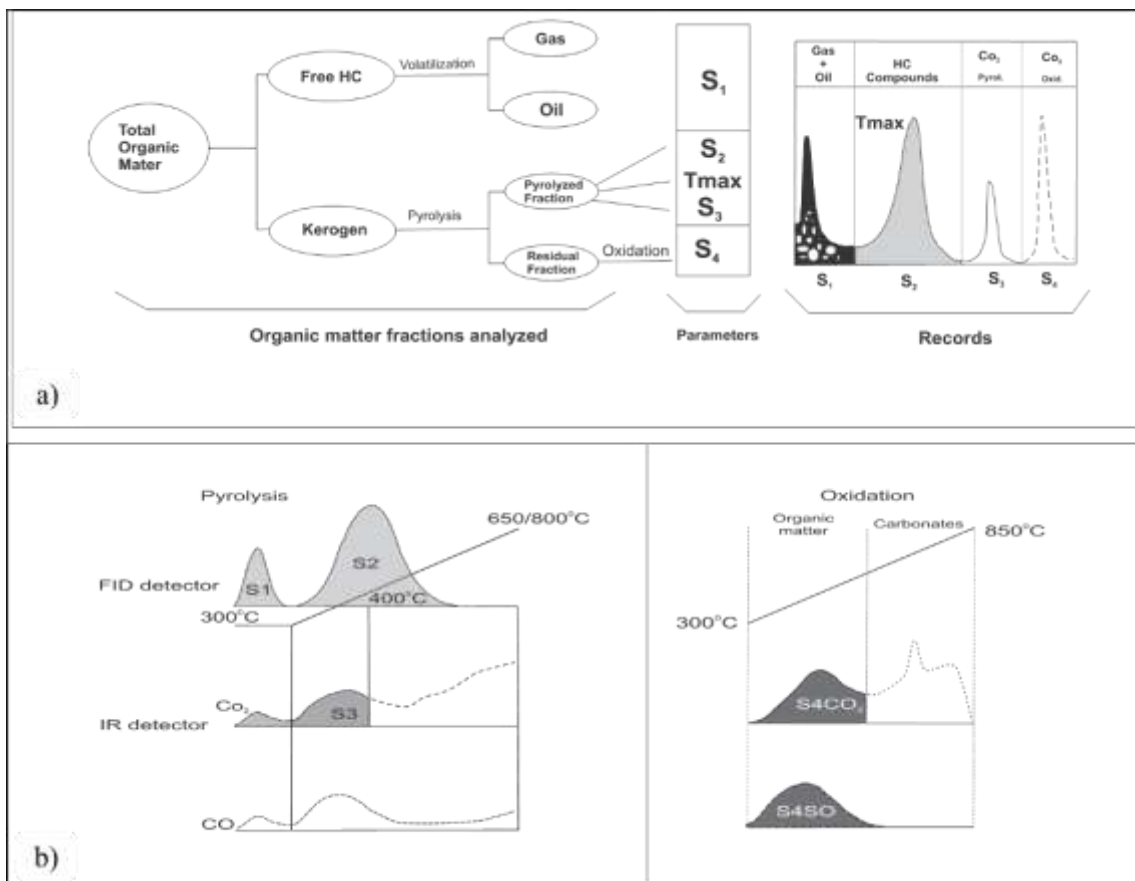
روش‌ها برای ارزیابی مقدماتی سنگ‌های منشاء محسوب می‌شود (Behar et al., 2001; Hunt, 1996; Lafargue et al., 1998; Peters, 1986).

از جمله مهم‌ترین پارامترهای ژئوشیمیایی که از پیرولیز راک - ایول حاصل می‌شود می‌توان به TOC، شاخص هیدروژن، شاخص اکسیژن، S1، S2، و Tmax اشاره کرد (شکل ۴). شاخص هیدروژن، بیانگر میزان ترکیبات هیدروژن‌دار در ساختمان شیمیایی کروژن است که به‌عنوان معیاری از نوع ماده آلی موجود در سنگ منشاء نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Tissot and Espitalie, 1975). پیک S1 بیانگر مقدار هیدروکربن آزاد (میلی‌گرم هیدروکربن در هر گرم از سنگ) است که در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تبخیر می‌شوند

بلوغ حرارتی سنگ‌های منشاء مورد استفاده قرار می‌گیرد (Lafargue et al., 1998).

در این مطالعه برای انجام پیرولیز راک - ایول، ابتدا با استفاده از چکش مقداری از نمونه‌های سنگی جدا شده و سپس قطعه جدا شده با استفاده از هاون چینی پودر شده است (اندازه ذرات نمونه پودر شده معمولاً در حدود ۸۰ میکرون خواهد بود). به منظور حذف رطوبت از نمونه‌ها، پودرهای تهیه شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۸ درجه در داخل آن قرار گرفته‌اند. در نهایت، مقدار ۵۰ تا ۷۰ میلی گرم از پودرها برای انجام پیرولیز راک - ایول مورد استفاده قرار داده شده‌اند.

(Behar et al., 2001). پیک S2 نشانگر مقدار هیدروکربن‌هایی است که در دمای ۳۹۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد در اثر شکست حرارتی کروژن و مواد سنگین‌تر (مانند رزین و آسفالتن) آزاد می‌شود (Behar et al., 2001; Hunt, 1996). پیک S3 بیانگر مقدار ترکیبات اکسیژن‌داری که در دمای ۳۰۰ تا ۳۹۰ درجه سانتی‌گراد تجزیه می‌شوند. شاخص اکسیژن، از نسبت S3 به مقدار TOC و شاخص هیدروژن از نسبت S2 به مقدار TOC محاسبه می‌شوند (شکل ۴). داده‌های Tmax بیانگر دمایی هستند که در آن مقدار پیک S2 به بیشینه خود می‌رسد (شکل ۴). این پارامتر معمولاً برای تخمین



شکل ۴- روش کار دستگاه پیرولیز راک - ایول ۶ و برخی از پارامترهای ژئوشیمیایی به دست آمده از آن (Behar et al., 2001; Lafargue et al., 1998).

Fig. 4. Workflow of the Rock-Eval 6 pyrolysis method and some of the parameters derived from it (Lafargue et al., 1998; Behar et al., 2001).

منشاء گرو استفاده شده است.

۴-۱- مقدار ماده آلی در سازند گرو

نتایج حاصل از آنالیز راک - ایول نشان می‌دهند که مقدار ماده آلی در سازند گرو دارای محدوده وسیعی از تغییرات می‌باشد (جدول ۱ و شکل ۵a). علاوه بر این، بررسی تغییرات عمودی

۴- نتایج و بحث

نتایج حاصل از پیرولیز راک - ایول نمونه‌های برداشته شده از سازند گرو در رخنمون سطحی تاقدیس کبیرکوه در جدول ۱ ارائه شده است. در مطالعه حاضر، از این نتایج برای ارزیابی مقدار، نوع و بلوغ حرارتی ماده آلی موجود در داخل سنگ

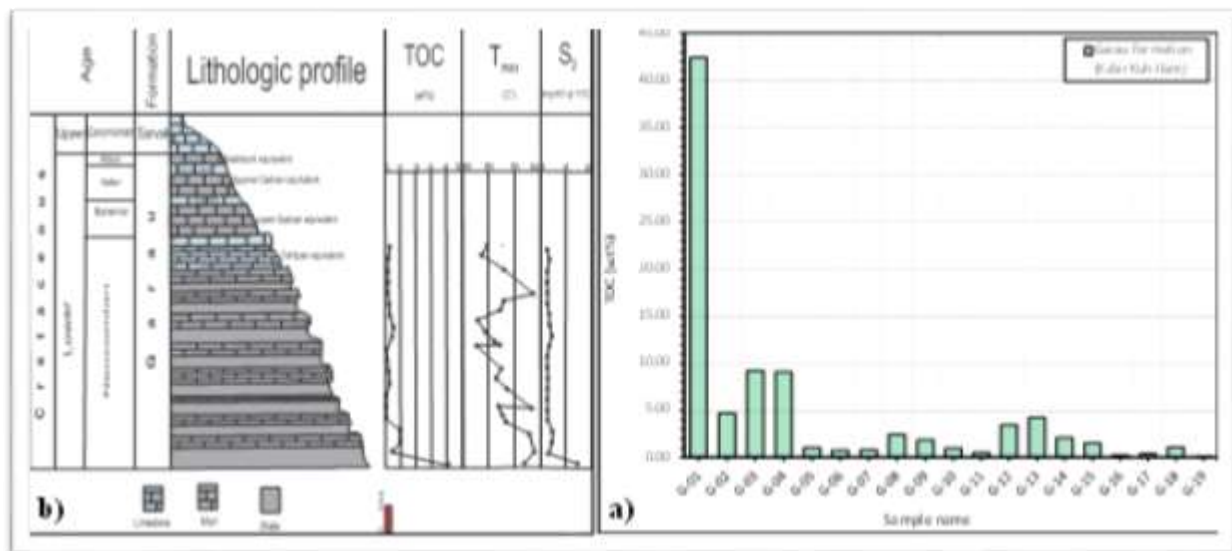
تغییرات S2 در سازند گرو منطبق با تغییرات TOC است (شکل b5).

داده‌های به‌دست آمده از پیرولیز راک - ایول حاکی از حضور یک بخش غنی از مواد آلی در قاعده سازند گرو است (شکل ۵ b). روند عمودی تغییرات در داده‌های پیرولیز نشان می‌دهد که

جدول ۱- نتایج حاصل از آنالیز پیرولیز راک - ایول نمونه‌های سطحی سازند گرو در برش کبیرکوه ایلام.

Table 1. Results from Rock-Eval pyrolysis analysis of surface samples of the Garau Formation in the Kabir-Kuh section of Ilam.

Formation	Sample name	S ₁ (mg HC/g rock)	S ₂ (mg HC/g rock)	PI (S ₁ /S ₁ +S ₂)	T _{max} (°C)	TOC (wt%)	HI (mg HC/g TOC)	OI (mg CO ₂ /g TOC)
Garau (Kabir-Kuh surface outcrop, Ilam)	G-01	0.25	14.89	0.02	552	42.39	35	36
	G-02	0.11	0.65	0.15	579	4.69	14	31
	G-03	0.81	2.37	0.25	563	9.26	26	2
	G-04	1.23	2.61	0.32	520	9.1	29	15
	G-05	0.16	0.23	0.41	518	1.03	22	24
	G-06	0.09	0.14	0.39	514	0.74	19	29
	G-07	0.01	0.11	0.08	576	0.8	13	135
	G-08	0.04	0.24	0.14	518	2.44	10	64
	G-09	0.19	0.37	0.34	511	1.85	20	27
	G-10	0.04	0.18	0.18	514	0.98	19	62
	G-11	0.07	0.08	0.47	463	0.5	17	9
	G-12	0.22	0.81	0.21	515	3.48	23	33
	G-13	1.38	2.23	0.38	498	4.23	53	3
	G-14	0.55	1.18	0.32	480	2.09	56	15
	G-15	0.62	0.83	0.43	467	1.52	55	0
	G-16	0.05	0.05	0.48	567	0.26	19	20
	G-17	0.03	0.13	0.18	498	0.39	33	94
	G-18	0.59	0.96	0.38	470	1.09	88	6
	G-19	0.01	0.01	0.47	484	0.09	15	195



شکل ۵- (a) هیستوگرام تغییرات مقدار ماده آلی و (b) تغییرات عمودی داده‌های حاصل از پیرولیز راک - ایول در نمونه‌های مربوط به سازند گرو در منطقه‌ی مورد مطالعه.

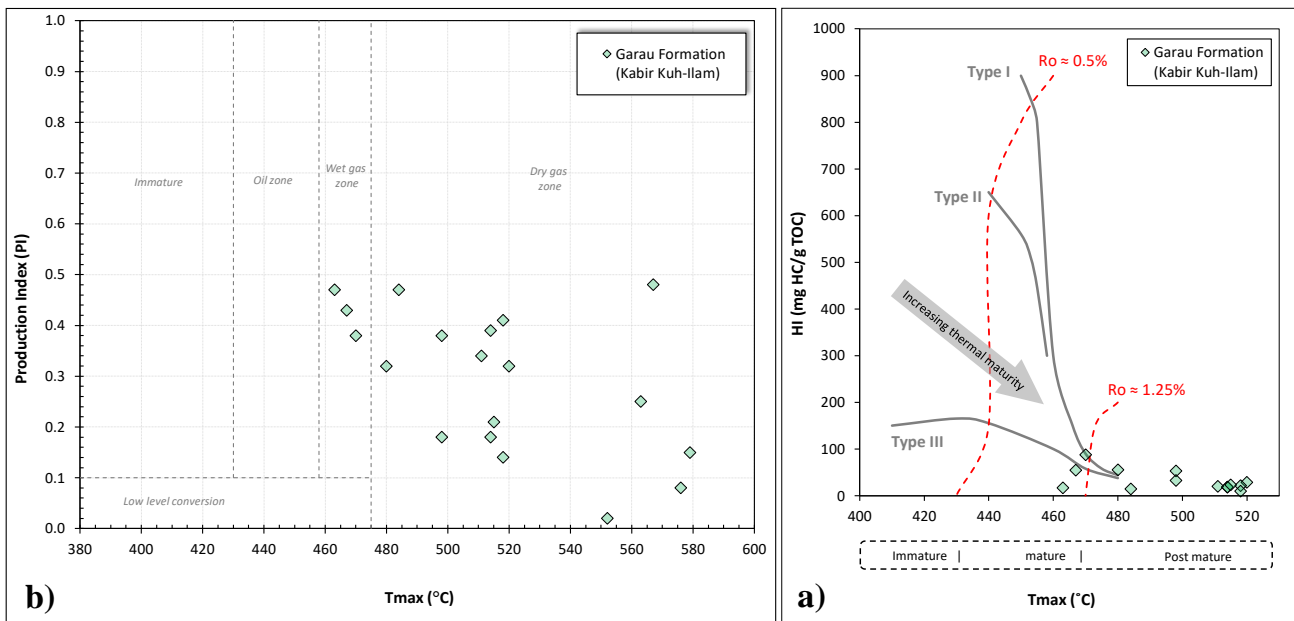
Fig. 5. (a) Total organic carbon histogram and (b) vertical variation profile of Rock-Eval pyrolysis data for samples from Garau Formation in the studied section.

۲-۴- بلوغ حرارتی ماده آلی و پتانسیل باقیمانده سازند گرو

برای تخمین بلوغ حرارتی مواد آلی موجود در سنگ‌های منشاء می‌توان از نمودارهای HI در مقابل Tmax و همچنین نمودارهای PI در برابر Tmax استفاده کرد (Hunt, 1996). ترسیم این نمودارها برای نمونه‌های مورد مطالعه از سازند گرو نشان می‌دهد که این نمونه‌ها دارای بلوغ حرارتی خیلی بالایی هستند (شکل a, b6).

به‌منظور بررسی پتانسیل هیدروکربن‌زایی امروزین سنگ‌های منشاء می‌توان از نمودارهای Tmax در مقابل PI و یا نمودارهای HI در مقابل TOC استفاده نمود (Hunt, 1996). بر اساس نمودارهای Tmax در مقابل PI (شکل a7)، ماده آلی

موجود در نمونه‌های سازند گرو عمدتاً از نوع ماده آلی غیرفعال می‌باشد و در مرحله فوق‌بالغ قرار گرفته است (شکل a7). این یافته نشان می‌دهد که سازند گرو در زمان‌های گذشته زمین‌شناسی متحمل تدفین بسیار بالایی شده و بخش قابل توجهی از پتانسیل هیدروکربن‌زایی خود را از دست داده است. همچنین، بر اساس نمودارهای HI در مقابل TOC (شکل b7)، نمونه‌های مورد مطالعه از سازند گرو عمدتاً دارای پتانسیل زایش گاز به‌همراه مقادیر ناچیزی از نفت هستند (شکل b7). این یافته، در حقیقت انعکاسی از بلوغ حرارتی بالای سازند گرو (شکل a, b6) است. به‌عبارت بهتر، مواد آلی موجود در داخل سازند گرو به‌دلیل بلوغ حرارتی بالای خود، بخش قابل توجهی از هیدروژن خود را از دست داده‌اند و لذا فقط پتانسیل زایش هیدروکربن‌های گازی را از خود دارند (شکل b7).

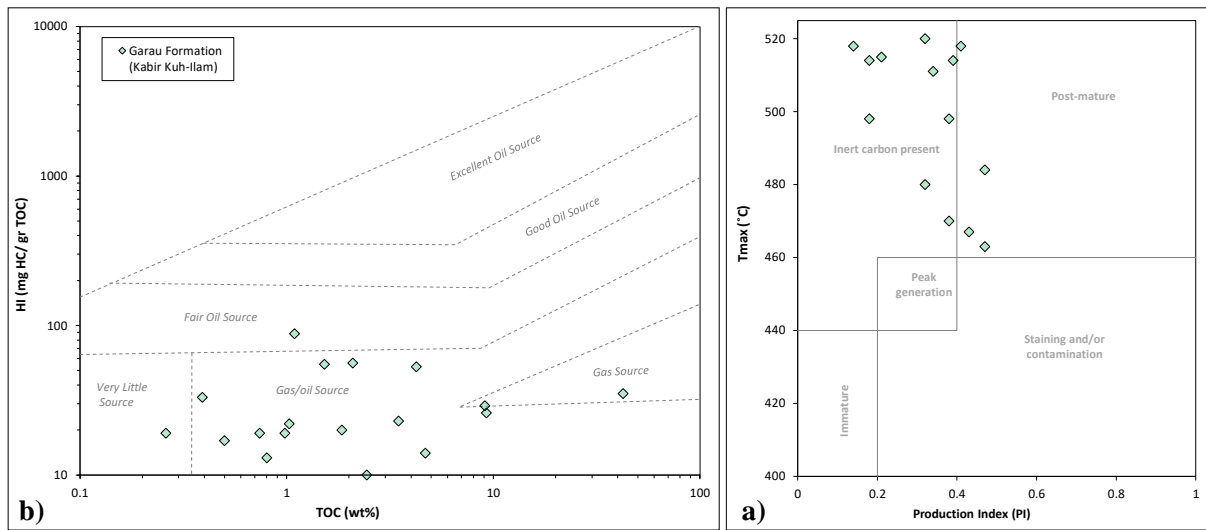


شکل ۶- (a) نمودارهای HI در برابر Tmax برای بررسی بلوغ حرارتی ماده آلی در سازند گرو (Hunt, 1996). Fig. 6. (a) Diagrams of HI versus Tmax, (b) PI versus Tmax, for determining the maturity of organic matter (Hunt, 1996).

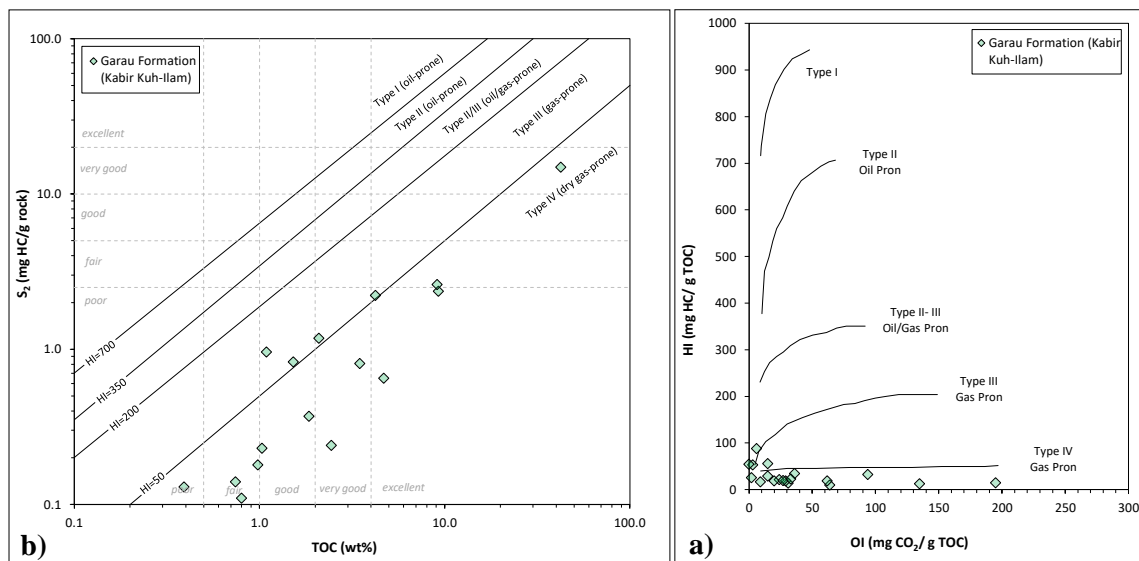
(a, b) مشخص می‌شود که نمونه‌های مطالعه شده از سازند گرو، به‌دلیل بلوغ حرارتی بالای خود اساساً دارای شاخص هیدروژن بسیار پائین هستند (جدول شماره ۱) و در گوشه سمت چپ پائین نمودار قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است که در نمودارهای HI در برابر OI برخی از نمونه‌ها با مقادیر بالایی از OI مشخص شده‌اند (شکل a8) که این امر می‌تواند به‌دلیل تأثیر هوازدگی سطحی بر این نمونه‌ها باشد. استفاده از مطالعات پتروگرافی آلی می‌تواند تا حدودی به تشخیص نوع ماده آلی موجود در این سازند کمک کند.

۳-۴- نوع ماده آلی موجود در سازند گرو

برای تعیین نوع ماده آلی موجود در سنگ‌های منشاء می‌توان از نمودارهای HI در برابر OI و نمودارهای S2 در برابر TOC استفاده کرد (Langford and Blanc-Valleron, 1990). لیکن، به‌دلیل بلوغ حرارتی بسیار بالا، استفاده از نمودارهای مذکور برای تعیین نوع ماده آلی نمی‌تواند راهگشا باشد. با توجه به این نمودارها (شکل ۸)



شکل ۷- (a) نمودارهای Tmax در برابر PI و (b) HI در برابر TOC برای ارزیابی پتانسیل هیدروکربن‌زایی سازند گرو (Hunt, 1996).
 Fig. 7. (a) Diagrams of Tmax versus PI, and (b) HI versus TOC for determining the remaining hydrocarbon production of the Garau Formation (Hunt, 1996).



شکل ۸- (a) نمودار HI در برابر OI و (b) نمودار S₂ در برابر TOC (Hunt, 1996; Langford and Blanc-Valleron, 1990) برای تعیین نوع ماده آلی.

Fig. 8. (a) Diagrams of HI versus OI and (b) and TOC versus S₂ (Hunt, 1996; Langford and Blanc-Valleron, 1990) for determining the type of the organic matter in Garau Formation.

۵- نتیجه‌گیری

پائین هستند. با توجه به بلوغ حرارتی بسیار بالایی که این نمونه‌ها دارند (انتهای پنجره گاززایی) می‌توان نتیجه گرفت که نوع ماده آلی موجود در سازند گرو که در حال حاضر قابل مشاهده است، در حقیقت باقیمانده ماده آلی اولیه‌ای است که در زمان ته‌نشینی در سازند گرو حفظ گردیده بود. شواهد صحرایی (از جمله وجود لامینه‌های تیره و عدم وجود آشفستگی) حاکی از برقراری شرایط بدون اکسیژن در زمان ته‌نشینی این سازند

بر اساس نتایج حاصل از پیرولیز راک - ایول نمونه‌های برداشته شده از سازند گرو در رخنمون سطحی کبیرکوه ایلام می‌توان نتیجه گرفت که بخش‌های قاعده‌ای سازند مورد مطالعه دارای مقدار ماده آلی نسبتاً بالایی هستند. علاوه بر این، مواد آلی موجود در این سازند عمدتاً دارای پتانسیل هیدروکربن‌زایی

گازی به دام افتاده در داخل تخلخل مواد آلی) حائز اهمیت باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از ریاست محترم گروه پژوهش‌های ژئوشیمی پژوهشگاه صنعت نفت تهران (جناب آقای دکتر بیوک قربانی) و همچنین از متخصصین آزمایشگاهی (آقای مهندس پیمان دارابی) به‌خاطر انجام آنالیزهای ژئوشیمیایی کمال تشکر و قدردانی را دارند. همچنین از کمک‌های ارزشمند جناب آقای غلامحسین عماری در انجام عملیات صحرایی و نمونه‌برداری در تاق‌دیس کبیرکوه ایلام تشکر و قدردانی می‌شود.

هستند. لذا می‌توان بیان داشت که نوع ماده آلی اولیه در سازند گرو متفاوت از ماده آلی باقیمانده (امروزین) در آن است. یقیناً بخش‌های قاعده‌ای سازند گرو دارای مقادیر بسیار بالایی از مواد آلی هیدروکربن‌زا بوهاند که در اثر تدفین و حرارت در طی زمان زمین‌شناسی به محصولات هیدروکربنی مختلف تبدیل شده و از سنگ منشاء خارج شده‌اند. لیکن ماده آلی باقیمانده در این سازند، اساساً متشکل از کربن غیرفعال است که به‌دلیل از دست دادن هیدروژن، پتانسیل محدودی برای زایش گاز خشک (متان) دارد. بدین ترتیب، می‌توان بیان داشت که سازند گرو در گذشته زمین‌شناسی در تغذیه سیستم‌های هیدروکربنی کراتاسه در حوضه لرستان نقش اساس داشته است و حتی امروزه نیز می‌تواند از نظر منابع هیدروکربنی نامتعارف (هیدروکربن‌های

مراجع:

- Barker, C., 1974. Pyrolysis techniques for source rock evaluation: American Association of Petroleum Geologists Bulletin 58, 2349-2361. <https://doi.org/10.1306/83D91BAF-16C7-11D7-8645000102C1865D>.
- Behar, F., Beaumont, V., Pentead, H. D. B., 2001. Rock-Eval 6 technology: performances and developments: Oil & Gas Science and Technology 56 111-134 <https://doi.org/10.2516/ogst:2001013>.
- Hosseinpour, M., 2007. Microfacies and depositional environments of Garau Formation in the type section, Kabir Kuh, Ilam. M.Sc. thesis, Bu Ali Univesity.
- Hunt, J. M., 1996. Petroleum geochemistry and geology, WH Freeman and Company. 743 P
- James, G. A., Wynd, J. G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area: American Association of Petroleum Geologists Bulletin 49, 2182-2245. <https://doi.org/10.1306/A663388A-16C0-11D7-8645000102C1865D>.
- Lafargue, E., Marquis, F., Pillot, D., 1998. Rock-Eval 6 applications in hydrocarbon exploration, production, and soil contamination studies: Revue De L'institut Français Du Pétrole, 53, 421-437 <https://doi.org/10.2516/ogst:1998036>.
- Langford, F., Blanc-Valleron, M., 1990. Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydrocarbons vs. total organic carbon: American Association of Petroleum Geologists Bulletin 74, 799-804. <https://doi.org/10.1306/0C9B238F-1710-11D7-8645000102C1865D>.
- Lotfiyar, A., Chehrazi, A., Swennen, A., 2017. Geochemical, geological, and petrophysical evaluation of Garau Formation in Lurestan basin (west of Iran) as a shale gas prospect: Arabian Journal of Geosciences, 11, 653. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3954-z>.
- Mahanipour, A., Eftekhari, M., Soheili, S., 2020. The early Aptian Oceanic Anoxic Event 1a (OAE 1a) based on calcareous nannofossils at Garau Formation (Kabir-Kuh anticline), West Iran: Scientific Quarterly Journal of Geosciences 29, 53-60. <https://doi.org/10.22071/gsj.2018.144766.1526>.
- Mahbobipour, H., Kamali, M.R., Solgi, A., 2016. Organic geochemistry and petroleum potential of Early Cretaceous Garau Formation in central part of Lurestan zone, northwest of Zagros, Iran: Marine and Petroleum Geology 77, 991-1009. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2016.05.004>.
- Moori, S., Moghaddam, I., Abdi, Y., Darabzafari, G., 2021. Investigation of microfacies, sedimentary model and organic geochemical properties of Garau Formation in Khorram Abad anticline: Advanced Applied Geology 11, 439-454. <https://doi.org/10.22055/aag.2020.33549.2122>.
- Motiei, H., 1993. Stratigraphy of Zagros, Geological survey of Iran, 556 P.

- Peters, K.E., 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 70,318-329. <https://doi.org/10.1306/94885688-1704-11D7-8645000102C1865D>.
- Shabrang, S., 2021. Evaluation of microfacies, sedimentary environment and original mineralogy of the Garau Formation in Aligudarz section, Lorestan: Researches in Earth Sciences 15, 67-83. <https://doi.org/10.48308/esrj.2022.102594>.
- Sharafi, M., Bayet-Gol, A., Tirtashi, R., Kavooosi, M., Rashidi, M., Daryabandeh, M., Zamani, Z., 2021. Sedimentary evolution of the Garau Basin (Lower-Middle Cretaceous): Implications from the facies analysis, depositional environment and palaeological conditions. Advanced Applied Geology 12, 635-662. <https://doi.org/10.22055/aag.2021.37615.2227>
- Sharland, P.R., Casey, D.M., Davies, R.B., Simmons, M.D., Sutcliffe, O.E., 2004. Arabian plate sequence stratigraphy—revisions to SP2: 199-214 <https://doi.org/10.2113/geoarabia0901199>.
- Tissot, B., Espitalie, J., 1975. Thermal evolution of organic-matter in sediments-application of a mathematical simulation-petroleum potential of sedimentary basins and reconstructing thermal history of sediments: Revue de l'institut français du pétrole 30,743-777. <https://doi.org/10.2516/ogst:1975026>.
- Tissot, B.P., Welte, D.H., 1984. Petroleum formation and occurrence, Berlin, Springer-Verlag, 720 P.