

Investigation of microfacies, sedimentary model and organic geochemical properties of Garau Formation in Khorram Abad anticline

Shokufeh Moori¹, Iraj Maghfouri Moghaddam^{1*}, Yasin Abdi¹, Ghamarnaz Darabi Zafari¹

1- Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, University of Lorestan, Khorram Abad, Iran

Keywords: Garau Formation, Khorram Abad anticline, Biostratigraphy, Sedimentary environment, Organic geochemistry

1-Introduction

The Garau Formation, Neocomian–Middle Albian in age, comprises black shales rich in organic matter and dark gray argillaceous limestones containing bitumen. This intra-shelf basin formation includes the most significant hydrocarbon source rocks in the Zagros Basin. Its type section is located on the northeast flank of Kabir Kuh, in southwest Lorestan Zone (Wynd, 1965). Considering several lines of evidence, including the presence of partially dissolved planktonic foraminifer shells, thin-bedded radiolarian cherts, and the absence of index palynomorphs and shallow-marine fauna and facies, the depositional environment is interpreted as a deep basin (Navidtalab, 2013). Due to the diachroneity of the formation in other parts of the Lorestan basin, it is extended to Cenomanian (Ezampannah et al., 2013) or even Coniacian (James and Wynd, 1965). The deeper water of the Garau Formation retreated gradually northward and as a consequence, interfingering can be observed at various levels between this unit and the shallow-water carbonates (Setudehnia, 1978). Despite the good economic potential of Garau Formation, there is a few published record of this formation in the northeastern part of Lorestan Basin. For this reason, the sedimentary environment and biogeochemistry of the Garau Formation were studied at one stratigraphical section at the Khorram Abad anticline.

2- Material and methods

A total of 137.5 m of outcrop at the center of the Khorram Abad anticline in Lorestan (SW Iran) was measured and logged to determine the depositional environment and microfacies of the Garau Formation.

Dunham (1962) classifications for facies interpretation were used, based on 110 thin sections. Rock-Eval data for ten samples are provided by the National Iranian Oil Company (NIOC) to evaluate organic matter content, quantity, and variation within the RFZ interval. The data are compared and integrated with other obtained, and the integrated dataset has been used for paleoenvironmental interpretations.

3- Results and discussion

Eight facies from deep marine were recognized in the Garau Formation (Fig. 1). These facies briefly discussed below: Mudstone microfacies, fossiliferous mudstone microfacies, radiolaria wackestone/packstone microfacies, Peloid packstone microfacies, Planktonic foraminifer radiolaria packstone microfacies, planktonic foraminifer wackestone microfacies, and intraclast wackestone/packstone microfacies.

Results of the Rock-Eval III pyrolysis are summarized in Table 1. The TOC of samples from this rock unit is relatively weak and varies from about 0.24 to 1.28.

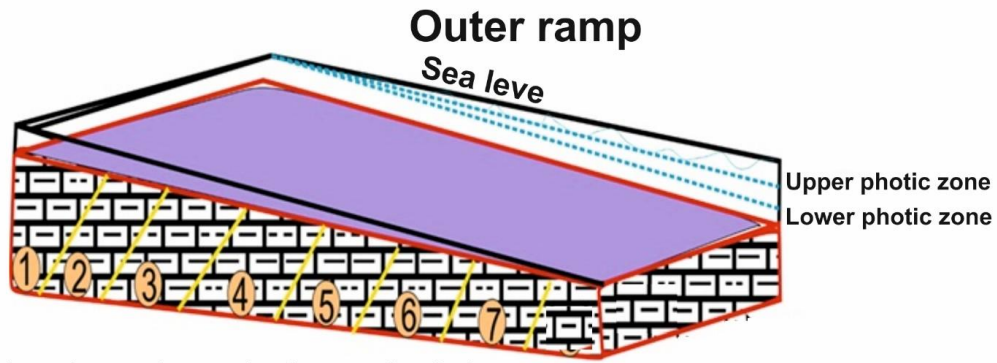
Hydrogen index (HI) is used to model the quantity of extracted hydrocarbons and classify kerogen typing (Hunt, 1996). A diagram of HI as a function of OI were used (Fig. 2) to determine the type of kerogen. According to this graph, the organic matter of Garau source rock is mainly kerogen type III, and it has minor kerogen type III. Using the data of Rock-Eval pyrolysis and plotting S₂ as a function of TOC (Fig. 3), the Garau formation's hydrocarbon potentiality was studied. The classification of hydrocarbon potentiality of Garau formation as a source rock, based on the TOC contents and S₁+S₂ parameters seems to be weak.

*Corresponding author: irajmmms@yahoo.co.uk

DOI: 10.22055/AAG.2020.33549.2122

Received 2020-05-09

Accepted 2020-06-23



- 1 intraclast wackestone/packstone microfacies
- 2 Planktonic foraminifer wackestone microfacies
- 3 Planktonic foraminifer radiolaria packstone microfacies
- 4 Peloid packstone microfacies
- 5 (Radiolaria wackestone/packstone microfacies
- 6 Fossiliferous mudstone microfacies
- 7 Mudstone microfacies

Fig. 1. Schematic diagram of a deep marine environment of the Garau Formation.

Table 1. Results of Rock-Eval pyrolysis of 15 samples.

No	Formation	Area	S ₁ (gHc/gRock)	S ₂ mgHc/gRock	S ₃ mgCO ₂ /gRock	T _{max} C	HI mgHc/gRock	OI mgCO ₂ /gRock	TOC Wt%
*GA-6	Garau	Khorramabad	0.2	0.44	1.02	424	60.2	139	0.73
*GA-10	Garau	Khorramabad	1.02	0.39	0.98	445	105	265	0.37
GA-11	Garau	Khorramabad	1.3	0.16	0.16	440	18.6	186	0.86
*GA-14	Garau	Khorramabad	0.69	0.89	1.83	432	88	181	1.01
*GA-20	Garau	Khorramabad	0.25	0.37	0.73	442	154	304	0.24
GA-25	Garau	Khorramabad	0.28	1.2	1.02	432	244	208	0.49
*GA-27	Garau	Khorramabad	1.91	0.85	0.89	425	66	69	1.28
*GA-30	Garau	Khorramabad	0.62	1.01	1.02	433	93.5	94	1.08
*GA-33	Garau	Khorramabad	1.1	0.83	1.92	416	76.1	176	1.09
*GA-40	Garau	Khorramabad	0.16	0.34	0.94	433	130	361	0.26

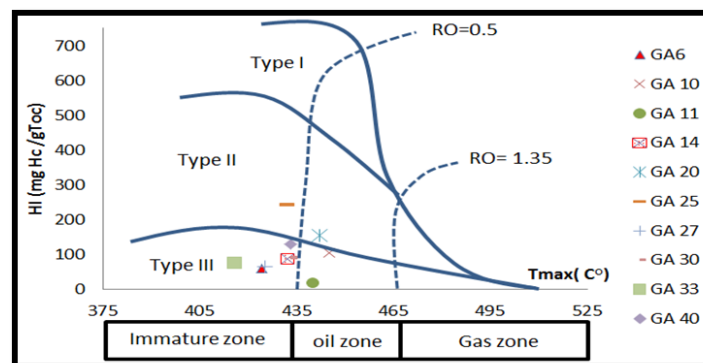


Fig. 2. The diagram of the hydrogen index against the thermal maturity indicates the maturity and the type of hydrogen of the samples (Hunt, 1996).

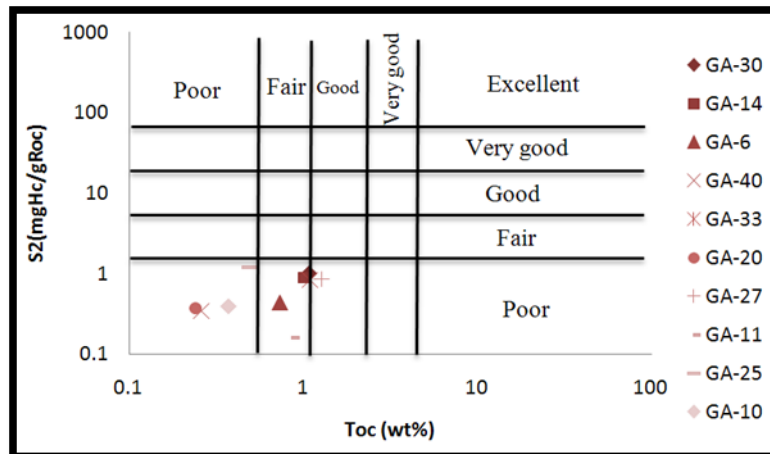


Fig. 3. The S2 / TOC diagram shows the hydrocarbon potential (Peters, 1986).

4- Conclusion

The Garau Formation at the Khorram Abad anticline has a thickness of 137.5 meters. Petrographic studies led to the recognition of 7 microfacies that were deposited in a deep marine environment. The data obtained from the geochemical analysis of the Garau Formation and the variation of S1+ S2 with TOC confirmed that Garau source rock in Khorram Abad anticline has a very low potential for hydrocarbon production. The variation of hydrogen index with oxygen index also clarified that kerogen of Garau source rock is type III.

References

- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional textures. American Association of Petroleum Geologists Memoir 1, 108-121.
- Ezampannah, Y., Sadeghi, A., Jamali, A., Adabi, M., 2013. Biostratigraphy of the Garau Formation (Berriasian?–lower Cenomanian) in central part of Lurestan zone, northwest of Zagros. Iran Cretaceous Research 46, 101–113.
- Hunt, J.M., 1996. Petroleum geochemistry and Geology, W.H. Freeman and Company, New York, p. 743.
- James, G., Wynd, J., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. American Association of petroleum Geologists Bulletin 49, 2182–2245.
- Navidtalab, A., Rahimpour-Bonab, H., Nazari-Badii, A., Sarfi, M., 2014. Challenges in deep basin sequence stratigraphy: a case study from the Early–Middle Cretaceous of SW Zagros. Facies 60, 195-215.
- Peters, K.E., 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 70, 318-329.
- Setudehnia, A., 1978. The Mesozoic sequence in southwest Iran and adjacent area. Journal of Petroleum Geology 1, 3-42.
- Wynd, J., 1965. Biofacies of the Iranian consortium agreement area, Iranian Oil Offshore Company Report 1082.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Moori, S., Maghfouri Moghaddam, I., Abdi, Y., Darabi Zafari, G., 2021. Investigation of microfacies, sedimentary model and organic geochemical properties of Garau Formation in Khorram Abad anticline. Adv. Appl. Geol. 11(3), 439-454.
DOI: 10.22055/AAG.2020.33549.2122
url: https://aag.scu.ac.ir/article_15873.html?lang=en

بررسی ریزرخساره‌ها، مدل رسوبی و خصوصیات ژئوشیمی آلی سازند گرو در تاقدیس خرم آباد

شکوفه موری

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

ایرج مغفوری مقدم*

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

یاسین عبدی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

قمرناز دارابی ظفری

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۳

*irajmmms@yahoo.co.uk

چکیده

به منظور مطالعه‌ی بایواستراتیگرافی، محیط رسوبی و ژئوشیمی آلی سازند گرو، یک برش سطح‌الارضی در تاقدیس خرم‌آباد انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت. این برش دارای ضخامت ۱۳۷٫۵ متر بوده است. مطالعه مقاطع میکروسکوپی سازند گرو به سن کرتاسه پیشین و بررسی خصوصیات فسیل‌شناسی و بافتی نمونه‌ها اعم از فراوانی آلوکم‌های اسکلتی و غیر اسکلتی، سیمان، ذرات آواری و ماتریکس منجر به شناسایی ۷ ریزرخساره متعلق به کمر بند نواحی عمیق دریایی در توالی مورد مطالعه شده است. همچنین مدل رسوبی پیشنهادی سازند گرو براساس ریزرخساره‌های تعیین شده پلتفرم کربناته از نوع رمپ می‌باشد. در این پژوهش ارزیابی خصوصیات ژئوشیمی آلی سازند گرو در تاقدیس خرم‌آباد به روش پیرولیز راک-اول II انجام شد. بر اساس آنالیز داده‌های موجود، کروژن از نوع III ارزیابی گردید. درصد کربن آلی کل نمونه‌های این واحد سنگی نسبتاً ضعیف و در حدود ۱/۲۸ - ۰/۲۴ درصد است. نمونه‌های سازند گرو در تاقدیس خرم‌آباد پتانسیل ضعیفی جهت تولید هیدروکربن دارند. باتوجه به اینکه شاخص هیدروژن نمونه‌های سازند گرو بین ۲۵۰-۵۰ (mg HC/g TOC) است، بنابراین به نظر می‌رسد توان و پتانسیل سازند گرو در این نمونه‌ها بیشتر معطوف به تولید هیدروکربن‌های سبک (گازی) باشد. با توجه به نمودار HI در مقابل TOC و وجود ریز رخساره مربوط به توربیدایت، نمونه‌های سازند گرو در مرحله سطح پایین آب بر جای گذاشته شده‌اند و همین امر سبب اکسید شدن نمونه‌ها و کاهش TOC آنها شده و در نتیجه باعث کاهش پتانسیل هیدروکربن زایی سنگ منشأ شده است.

کلید واژه ها: سازند گرو، تاقدیس خرم‌آباد، ریز رخساره، مدل رسوبی، سنگ منشأ

مقدمه

نیمه احیا در بخش‌های وسیعی از جهان شد (Föllmi, 2012). سازند گرو در حوضه لرستان حاصل ته نشینی در این دوره می‌باشد. جمالیان و همکاران (Jamalian et al., 2011) ضمن بررسی ژئوشیمی و پتروگرافی سازند گرو 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. برش الگوی این سازند در یال جنوبی کبیرکوه اندازه گیری شده است (Wynd, 1965).

زون لرستان قسمتی از حوضه زاگرس است و بخش‌هایی از زاگرس چین‌خورده را در بر می‌گیرد. این زون از خاور - شمال خاور به گسل اصلی زاگرس و از جنوب - جنوب خاور به گسل بالارود و فروافتادگی دزفول محدود می‌شود (Motei, 1996). با شروع دوره کرتاسه و تحت تاثیر حوادث تکتونیکی و ماگمایی به ویژه در بخش‌های شمالی اقیانوس اطلس، گازهای گلخانه‌ای در چندین مرحله در اتمسفر زمین افزایش یافت که حاصل آن افزایش دما بوده است که آن هم موجب گسترش شرایط احیا و

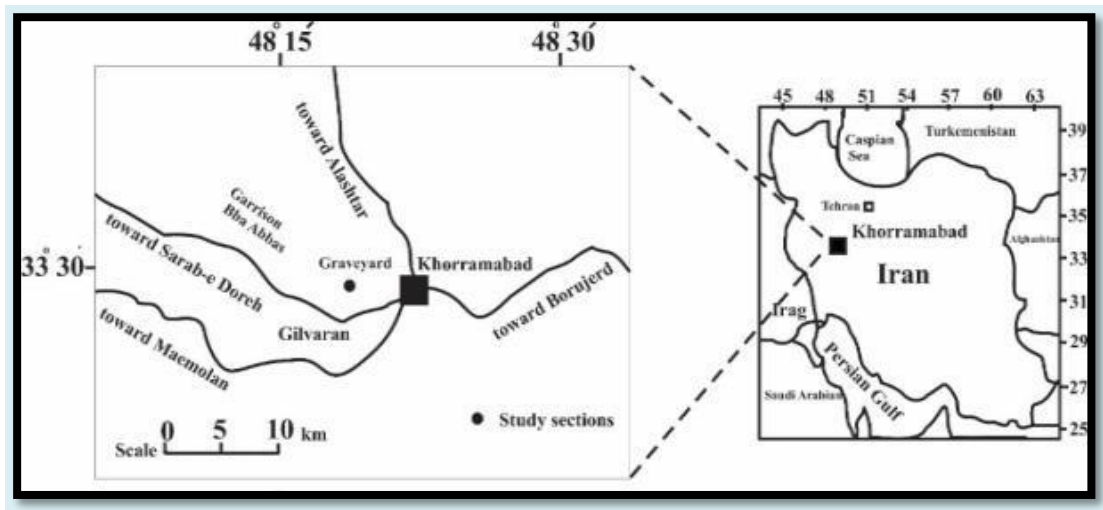
شناسی این حوضه از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. به این منظور یک برش چینه‌نگاری از این سازند در میان تاقدیس خرم آباد در شمال حوضه لرستان و مجاور زون زاگرس مرتفع انتخاب و ریزرخساره‌ها و پتانسیل هیدروکربن‌زایی آن مورد مطالعه قرار گرفت.

روش مطالعه

در این پژوهش سازند گرو در یک مقطع سطح الارضی با ضخامت واقعی ۱۳۷/۵ متر در باختر خرم آباد مورد بررسی ریزرخساره‌ها و پتانسیل هیدروکربن‌زایی قرار گرفت. برش مورد مطالعه شامل مختصات $48^{\circ}20'00'' E$ ، $33^{\circ}29'45'' N$ باشد و در مسیر جاده شهرستان خرم آباد به سمت شهرستان دوره چگنی است که پس از طی مسافتی حدود ۴ کیلومتر از مرکز شهرستان خرم آباد به این برش در پشت آرامستان خرم آباد می‌رسیم.

در این پژوهش برای مطالعه ریز رخساره‌ها در مجموع ۵۱ مقطع نازک مورد بررسی قرار گرفته است. تعداد ۱۰ نمونه از سازند گرو واقع در باختر خرم آباد در آزمایشگاه پژوهشگاه صنعت نفت از لحاظ پتانسیل هیدروکربن‌زایی با استفاده از دستگاه پیرولیز راک-اول II آنالیز شدند. برای نامگذاری و توصیف ریزرخساره‌ها از روش ویلسون و فلوگل (Wilson, 1975; Flugel, 2004) و برای نامگذاری سنگ‌ها از روش دانهام (Dunham, 1962) استفاده شده است و همچنین با توجه به ریزرخساره‌های شناسایی شده مدل رسوبی ترسیم شده است.

مرز زیرین آن بر روی تبخیری‌های سازند گوتنیا (ژوراسیک بالایی) قرار دارد، ولی مرز بالایی آن در بخش‌های مختلف حوضه لرستان تفاوت دارد بطوریکه در جنوب برش الگو بر روی سازند فهلیان (کرتاسه زیرین) و به سوی مناطق شمالی در زیر سازند داریان، سورگه و یا سروک قرار می‌گیرد (Wynd, 1965) James and Motei, 1993). به باور مطیعی (Motei, 1993) این موضوع خود معلول پیشروی رسوبات ساحلی به داخل حوضه رسوبی بوده است. این تفاوت‌های موقعیت چینه‌نگاری همراه با تغییرات قابل توجه سنگ‌شناسی و محتویات مواد آلی این سازند می‌باشد. علیرغم اینکه نهشته‌های سازند گرو یکی از مهمترین سنگ‌های منشا حوضه لرستان تلقی می‌شود (Bordenave and Hegre, 2010)، میزان مواد آلی آن در مناطق مختلف به شدت تغییر می‌کند. به عنوان مثال اسدی مهماندوستی (Asadi, 2011) (Mehmandosti et al., 2011) ضمن بررسی سنگ‌های میدان نفتی مارون عنوان کردند سازند گرو با رسیدن به مرحله‌ی کاتازن مسیر بلوغ حرارتی را طی کرده و کروژن در سازندهای مورد مطالعه از نوع II است. همچنین یوسفی و نظری بدیع (Yousefi and Nazari badie, 2015) عنوان کردند سازند گرو در ناحیه تنگ هفت در جنوب استان لرستان با ۷۰۳ متر ضخامت در مرکز تاقدیس گبروه رخنمون دارد و سنگ‌شناسی آن عمدتاً شامل شیل، شیل آهکی، مارن و آهک و کروژن نمونه‌های آن از نوع III و در محدوده‌ی تولید گاز قرار گرفته است. بی شک مطالعه سازند گرو در بخش‌های مختلف حوضه لرستان هم از نظر اقتصادی و از طرف دیگر تبیین پیشینه زمین-



شکل ۱- نقشه راه‌های دسترسی به برش‌های مورد مطالعه.

Fig.1. Map of access roads to the studied sections.

جدول ۱- نتایج آنالیز راک-اول نمونه‌های سازند گرو.

Table 1. The results of Rock-Eval analysis of Garau Formation samples.

No	Formation	Area	S ₁ (gHc/gRock)	S ₂ mgHc/gRock	S ₃ mgCO ₂ /gRock	T _{max} C	HI mgHc/gRock	OI mgCO ₂ /gRock	TOC Wt%
*GA-6	Garau	Khorramabad	0.2	0.44	1.02	424	60.2	139	0.73
*GA-10	Garau	Khorramabad	1.02	0.39	0.98	445	105	265	0.37
GA-11	Garau	Khorramabad	1.3	0.16	0.16	440	18.6	186	0.86
*GA-14	Garau	Khorramabad	0.69	0.89	1.83	432	88	181	1.01
*GA-20	Garau	Khorramabad	0.25	0.37	0.73	442	154	304	0.24
GA-25	Garau	Khorramabad	0.28	1.2	1.02	432	244	208	0.49
*GA-27	Garau	Khorramabad	1.91	0.85	0.89	425	66	69	1.28
*GA-30	Garau	Khorramabad	0.62	1.01	1.02	433	93.5	94	1.08
*GA-33	Garau	Khorramabad	1.1	0.83	1.92	416	76.1	176	1.09
*GA-40	Garau	Khorramabad	0.16	0.34	0.94	433	130	361	0.26

(شکل ۳). تنوع و فراوانی ریز فسیل‌ها در برش مورد مطالعه بسیار

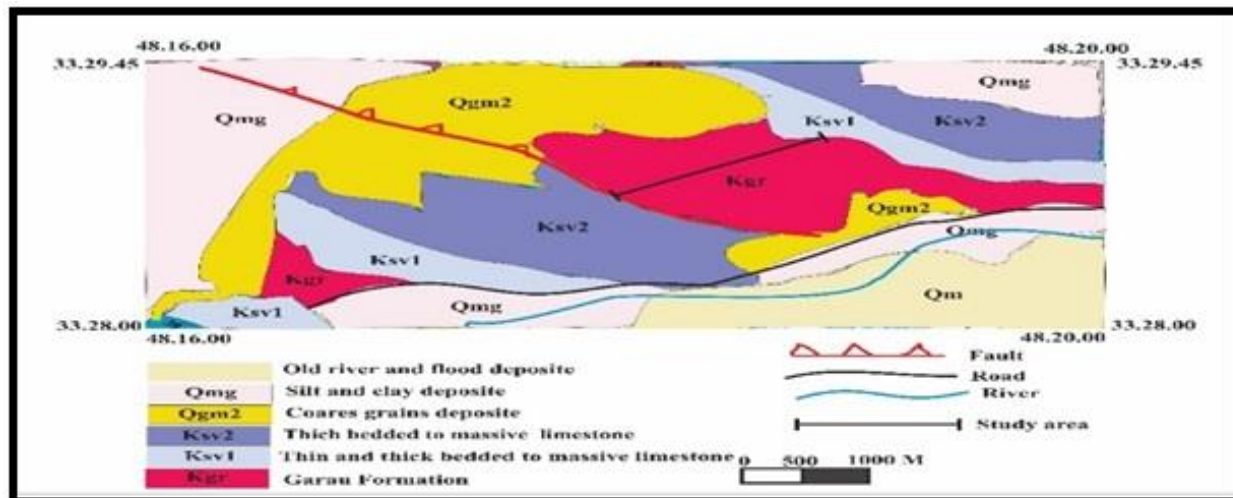
کم می‌باشد که مهمترین آنها به شرح زیر می‌باشد:

Macrolobigerinelloides bolli,
Muricohedbergella holmdelensis,
Macrolobigerinelloides casei,
Archaeoglobigerina blowi,
Macrolobigerinelloides ultramicrus,
Muricohedbergella rischi, Radiolaria.

انتصاب مجموعه فونی بالا به یک زون زیستی بین‌المللی مشکل است ولی به علت آنکه سازند سروک در این برش دارای محدوده سنی سنومانین - تورونین می‌باشد، می‌توان سن رخنمون‌های سازند گرو در تاقدیس خرم‌آباد را آلبین-سنومانین پیشین در نظر گرفت.

چینه‌نگاری سازند گرو در برش مورد مطالعه

مرز زیرین سازند گرو در مرکز تاقدیس خرم‌آباد با سازند سروک گسله می‌باشد (شکل ۲) و مرز بالایی آن با سنگ آهک-های سازند سروک هم‌شیب ولی با تغییر شدید سنگ‌شناسایی همراه می‌باشد. تاقدیس خرم‌آباد با طول تقریبی ۷۰ کیلومتر و پهنای ۱۰ کیلومتر و با روند شمال‌باختر - جنوب‌خاور در اطراف شهرستان خرم‌آباد قرار گرفته است. تحت تاثیر گسله سفید کوه در یال جنوبی این تاقدیس سازند سروک بر روی سازند امیران قرار می‌گیرد (Saremi et al., 2018). لازم به ذکر است گسله اخیر بخشی از سیستم گسله زاگرس مرتفع می‌باشد که جدا کننده زون لرستان از زاگرس مرتفع می‌باشد. در برش مورد مطالعه سازند گرو متشکل از سنگ آهک و سنگ آهک‌های شیلی است که در آن به فراوانی ندول‌ها و نوارهای چرتی مشاهده می‌شود



شکل ۲- نقشه زمین شناسی خرم آباد (Jafarian et al., 2011).
 Fig. 2. Geological map of Khorram Abad (Jafarian et al., 2011).



شکل ۳- (a) نمایی از برش مورد مطالعه و (b) نوارها و ندول‌های چرتی در میان سازند گرو.
 Fig. 3. (a) Field photographs of the studied section, and (b) Bedded and nodular cherts in the Garau Formation.

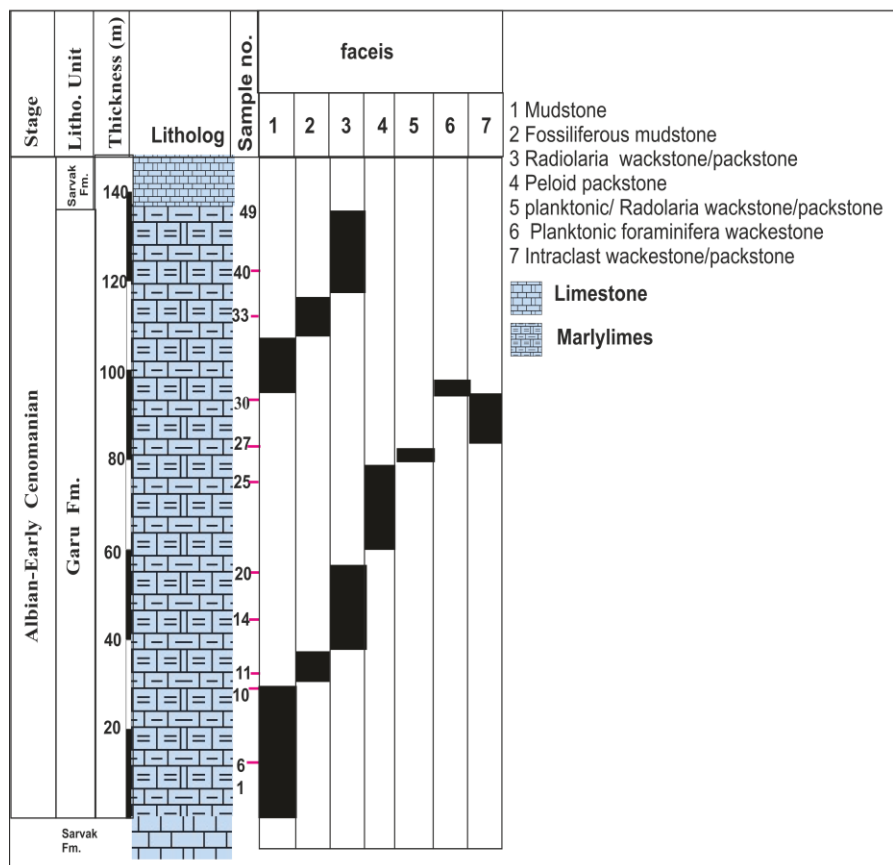
مقاطع و به شکل پراکنده عمدتاً از نوع رادیولر، استراکود و تعداد کمی روزن دار شناور مشاهده می‌شود. از اجزاء غیر اسکلتی در این رخساره می‌توان به حضور پیریت و دانه‌های درج‌زای کوارتز (Autogenic quartz) اشاره کرد. در این ریز رخساره میزان مواد آلی (TOC) در حدود ۰/۷۳ می‌باشد. اما مقدار بسیار کم هیدروکربن آزاد (S_1 ۰/۲) نشان دهنده عدم مهاجرت نفت و آغشتگی نمونه‌ها با ترکیبات نفتی می‌باشد.

ریز رخساره‌ها

برپایه مطالعات انجام شده، ۷ ریز رخساره تعیین شده است (شکل ۴) که به شرح زیر می‌باشند:

ریز رخساره مادستون (Mudstone microfacies)

این ریز رخساره دارای بافت شناور و گل پشتیان و با آغشتگی اندکی به مواد بیتومینه و سیلیس تشکیل شده است به طوریکه در مقاطع نازک به رنگ قهوه‌ای تیره تا سیاه دیده می‌شود (شکل ۵a). اجزاء اسکلتی در این رخساره بسیار کم بوده و تنها در بعضی



شکل ۴- ستون چینه‌نگاری سازند گرو در برش چینه‌نگاری خرم آباد، شمال زون لرستان که نشان دهنده محل نمونه‌برداری، رخساره‌ها و محیط رسوبی می‌باشد. خطوط قرمز محل نمونه‌برداری برای تجزیه شیمیایی است.

Fig. 4. Stratigraphic column of the Garu Formation in the Khorram Abad, north Lorestan Zone with the location of samples and facies. Red lines are sampling points for chemical analysis.

این ریز رخساره از یک مادستون تا مادستون فسیل‌دار تیره رنگ تشکیل شده است و در بعضی مقاطع دارای کمتر از ۱۵ درصد اجزاء اسکلتی عمدتاً از نوع رادیولر، دوکفه ای، استراکود، روزن‌داران شناور و سوزن اسفنج (مقاطع عرضی و طولی) می‌باشد (شکل ۵b). از اجزاء غیر اسکلتی در این رخساره می‌توان به پیریت و دانه‌های آواری و درج‌زای کوارتز اشاره کرد. فرایندهای دیاژنتیکی عمده موجود در این رخساره پیریتی شدن می‌باشند. در این رخساره نیز میزان تخلخل بسیار کم می‌باشد و تنها در بعضی مقاطع به میزان کم تخلخل حفره‌ای مشاهده می‌شود. تخلخل قالبی به شکل قالب رادیولر و برخی بیوکلت‌ها در این رخساره مشاهده شده است. در برخی مقاطع شکستگی‌های پر شده با بلورهای درشت اسپارایت هم بعد نیز قابل مشاهده می‌باشد. این ریز رخساره معادل رخساره RMF2 فلوگل و SMF3 فلوگل و ویلسون (Wilson, 1975; Flugel, 2004) می‌باشد.

از فرایندهای دیاژنتیکی در این ریز رخساره می‌توان به پیریتی‌شدن و سیلیسی‌شدن (عمدتاً از نوع چرتی) اشاره نمود در این ریز رخساره عمدتاً ندول‌های چرتی به وفور مشاهده می‌شود. فاقد تخلخل قابل ملاحظه است و تنها در بعضی مقاطع به میزان خیلی کم تخلخل حفره‌ای و قالبی مشاهده می‌شوند. این ریز رخساره معادل رخساره RMF2 فلوگل و SMF3 فلوگل و ویلسون می‌باشد (Wilson, 1975; Flugel, 2004). فابریک شناور و گل پشתיبان این ریز رخساره و مقدار اندک سازندگان نابرجا که کمتر از ۱۰ درصد سنگ را تشکیل می‌دهند بیانگر ته نشست این رخساره در بخش عمیق تر حوزه رسوبی می‌باشد.

ریز رخساره مادستون فسیل دار (Fossiliferous mudstone microfacies)

ریز رخساره وکستون/پکستوندارای رادیولر (Radiolaria wackestone/packstone microfacies)

این ریز رخساره حاوی ۱۵ تا ۴۰ درصد رادیولر در اندازه ۵۰ تا ۵۰۰ میکرون و به مقدار کمتر (کمتر از ۵ درصد) سوزن اسفنج، و خرده های اسکلتی می باشد (شکل ۵). قالب رادیولرها با سیمان های کلسیتی هم بعد تا صفحه ای پر شده است. از اجزاء غیراسکلتی موجود در این رخساره می توان به پیریت و دانه های کوارتز اتوژن اشاره کرد. از فرایندهای دیاژنتیکی موجود در این رخساره می توان به پیریتی شدن و به مقدار کمتر آهن دار شدن اشاره کرد. قالب بعضی رادیولرها در این رخساره با مقدار جزئی مواد بیئومینه پر شده است. در این رخساره تخلخل قالبی به شکل قالب بیوکست (عمدتاً رادیولر و به مقدار کمتر سایر بیوکست ها)، تخلخل حفره ای و تخلخل حاصل از شکستگی به میزان کم وجود دارد. این ریزرخساره معادل رخساره RMF5 فلوگل و SMF3 فلوگل و ویلسون (Wilson, 1975; Flugel, 2004) می باشد.

ریز رخساره پکستون دارای پلوئید (Peloid) (packstone microfacies)

بخش قابل ملاحظه ای از این ریز رخساره حاوی بیش از ۸۵ درصد پلوئید و حدود ۵ درصد اینتراکست می باشد (شکل ۵d). پلوئیدها در اندازه های ۶۰ تا ۱۵۰ میکرون می باشند. از اجزاء غیر اسکلتی در این رخساره می توان به حضور پیریت اشاره کرد. این ریز رخساره معادل رخساره RMF4 فلوگل و SMF2 فلوگل و ویلسون (Wilson, 1975; Flugel, 2004) می باشد.

ریز رخساره وکستون/پکستون دارای رادیولرو روزندار شناور

(Planktonic foraminifer radiolaria packstone microfacies)

غالب این ریز رخساره از ۵۰ درصد رادیولر و ۲۰ درصد روزندار شناور در یک زمینه گل آهکی تشکیل شده است (شکل ۵e). کمتر از ۵ درصد اسپیکول اسفنج، استراکود و خرده صدف نیز در این رخساره قابل مشاهده است. از اجزاء غیر اسکلتی در این رخساره می توان به پیریت به میزان کم و اکسید آهن به فرم دیاژنتیکی اشاره کرد. قالب روزنداران و رادیولرها با کلسیت درشت بلور پر شده است. این ریز رخساره معادل رخساره RMF5

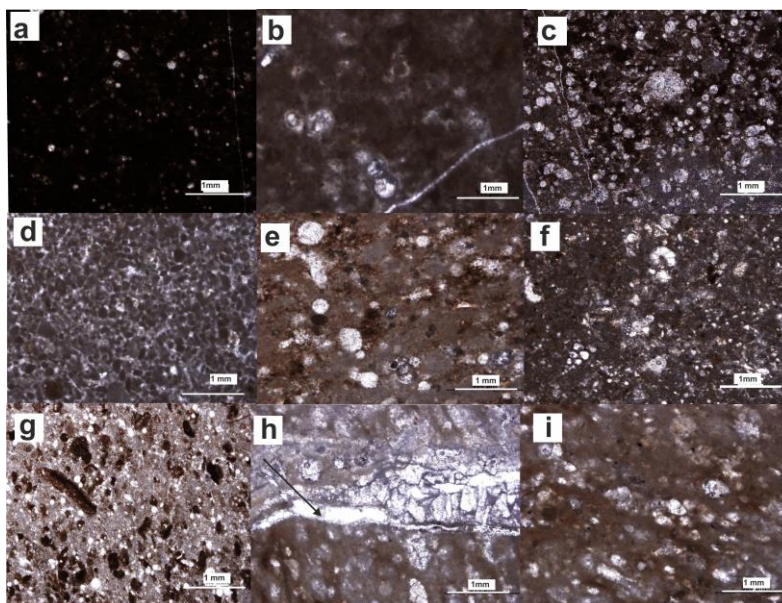
فلوگل و SMF3 فلوگل و ویلسون (Wilson, 1975; Flugel, 2004) می باشد.

ریز رخساره وکستون دارای روزندار شناور (Planktonic foraminifer wackestone microfacies)

این ریز رخساره حاوی ۱۵ درصد روزنداران شناور و به مقدار کمتر رادیولر، استراکود، دوکفه ای با پوسته نازک و خرده صدف است (شکل ۵f). همچنین در این رخساره حدود ۱۵ درصد پلوئید مشاهده شده است. از اجزاء غیر اسکلتی در این رخساره می توان به پیریت اشاره کرد. از فرایندهای دیاژنتیکی موجود در این رخساره می توان به پیریتی شدن اشاره کرد. در این رخساره تخلخل درون ذره ای به شکل حجرات فسیل به میزان کمتر از ۳ درصد مشاهده می شود که عمدتاً توسط بلورهای کلسیت دروزی پر شده اند. این ریزرخساره معادل رخساره RMF5 فلوگل و SMF3 فلوگل و ویلسون (Wilson, 1975; Flugel, 2004) می باشد.

ریز رخساره وکستون/پکستون دارای اینتراکست (Intraclast wackestone/packstone microfacies)

این ریز رخساره حاوی ۱۰ تا ۳۰ درصد اینتراکست است ۱۰ تا ۱۵ درصد پلوئید نیز در این رخساره قابل مشاهده است که به نظر می رسد از خرد شدن اینتراکست ها به وجود آمده اند (شکل ۵g). اینتراکست ها دارای لبه های تیز تا کاملاً گرد شده می باشند و از جنس گل آهکی با رنگ تیره تر از زمینه سنگ هستند و به اکسید آهن و مواد آلی آغشته شده اند. بیوکست نیز به میزان کمتر از ۱۰ درصد در بعضی مقاطع در این رخساره دیده می شود و شامل رادیولر کلسیتی، اسپیکول اسفنج، استراکود، دوکفه ای بنتیک می باشد. این میکروفاسیس معادل رخساره RMF4 فلوگل و SMF4 فلوگل و ویلسون (Wilson, 1975; Flugel, 2004) می باشد. وجود سطوح تحتانی فرسایشی (شکل ۵h) و وجود آرایش های موازی در قطعات اینتراکلاستی (شکل ۵i) نشان دهنده بخش ta و Tb سکانس بوما می باشد (Eberli, 1987). ویژگی های این ریزرخساره که با کلسی توربیدایت همخوانی دارد، متعلق به رسوبگذاری در رمپ خارجی نزدیک به منشا (بخش میانی رمپ خارجی) است و معادل رخساره های ۸ و ۹ پدلی (Padley, 1998) می باشد.



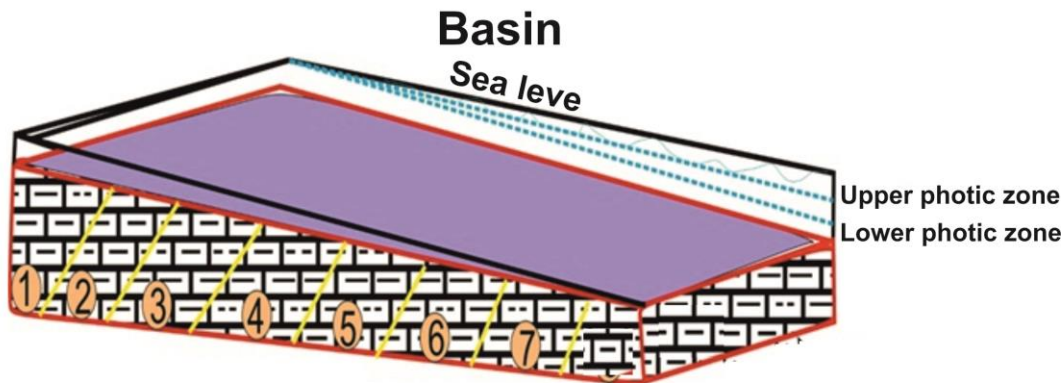
شکل ۵- ریزرخساره‌های شناسایی شده در سازند گرو در تاق‌دیس خرم آباد؛ (a) ریزرخساره مادستون، نمونه شماره ۵، (b) مادستون فسیل‌دار، نمونه شماره ۱۱، (c) ریز رخساره وکستون/پکستون دارای رادیولر، نمونه‌های شماره ۳۴، (d) ریزرخساره پکستون دارای پلوئید، نمونه شماره: ۲۶، (e) ریزرخساره وکستون/پکستون دارای رادیولر و فرامینیفر پلانکتونیک، نمونه‌های شماره ۲۷، (f) ریزرخساره وکستون دارای فرامینیفر پلانکتونیک، نمونه شماره ۲، (g) ریزرخساره وکستون/پکستون دارای اینتراکلاست، نمونه شماره ۲۸، (h) رخساره پکستون بایوکلاستی با قاعده فرسایشی (علامت پیکان) و (i) جهت‌یابی قطعات اینتراکلاستی در ریز رخساره وکستون/پکستون دارای اینتراکلاست.

Fig. 5. Photomicrographs of identified microfacies of the Garu Formation in Khorram Abad anticline; (a) Mudstone microfacies, sample no. 5, (b) Fossiliferous mudstone microfacies, sample no. 11, (c) Radiolaria wackestone/packstone microfacies, sample no. 34, (d) Peloid packstone microfacies, sample no. 6, (e) Planktonic foraminifer radiolaria wackestone to packstone microfacies, sample no. 27, (f) Intraclast wackestone/packstone microfacies, sample no. 28, (h) Intraclast wackestone/packstone microfacies with basal erosional surface (arrow), sample no. 29, and (i) Orientation of intraclast particle in Intraclast wackestone/packstone microfacies, sample no. 28.

یک پلت فرم کربناته می‌باشد. همچنین عدم وجود رخساره‌های چارچوب‌ساز تاییدکننده ته نشست توالی کربناته بر روی پلاتفرم کربناته از نوع رمپ می‌باشد (Tucker et al., 1993). با توجه به میکروفاسیس‌های شناسایی شده، دسته‌بندی آنها و بررسی جانبی و عمودی رخساره‌ها بر اساس استانداردهای ویلسون و فلوگل (Wilson 1975; Flugel 2004) تنها کمربند رخساره‌ای بخش عمیق دریا در این سازند قابل تشخیص می‌باشد که در یک پلتفرم کربناته از نوع رمپ تشکیل شده است. لذا این میکروفاسیس‌ها مربوط به بخش عمیق‌تر زیر محیط رمپ خارجی (Outer ramp) شناسایی شده‌اند (شکل ۶). از سوی دیگر وجود رخساره کلسی‌توریدایت در این برش نشان دهنده یک رمپ کربناته پرشیب دور از منشأ می‌باشد.

مدل رسوبی سازند گرو در منطقه مورد مطالعه

در برش مورد مطالعه سازند گرو از فراوانی فسیلی پائینی برخوردار بوده و عمدتاً دارای فسیل‌های شاخص بخش عمیق دریا می‌باشند. رخساره‌های شیلی و مادستون بیتومینه با مقادیر بالای مواد آلی و پیریت و مقدار فراوان گل در عمیق‌ترین بخش پلاتفرم گرو ته نشست یافته‌اند. در سایر رخساره‌ها فراوانی رادیولر و سوزن اسفنج، مقدار فراوان گل همراه با پیریتی شدن، کمربند رخساره-ای بخش عمیق دریا با انرژی کم را پیشنهاد می‌کنند. تجمعات رادیولرها در جاهایی که دیگر گونه‌های پلانکتونیک نادر هستند نشان دهنده ژرف و سرد بودن آب دریا می‌باشد (Casey, 1997). مدل رسوبی پیشنهادی سازند گرو بر پایه ریزرخساره-های تعیین شده در برش مورد مطالعه نشان دهنده بخش عمیق



- 1 intraclast wackestone/packstone microfacies
- 2 Planktonic foraminifer wackestone microfacies
- 3 Planktonic foraminifer radiolaria packstone microfacies
- 4 Peloid packstone microfacies
- 5 (Radiolaria wackestone/packstone microfacies)
- 6 Fossiliferous mudstone microfacies
- 7 Mudstone microfacies

شکل ۶- مدل رسوبی شماتیک سازند گرو در برش مورد مطالعه.

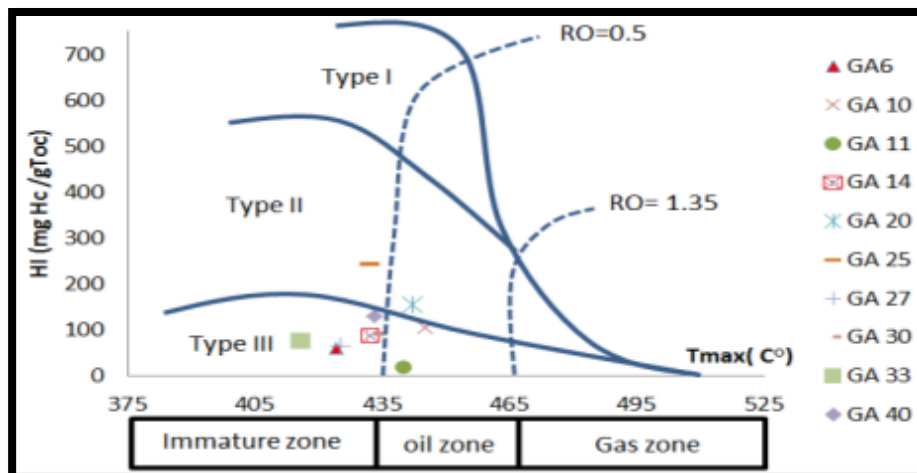
Fig.6. Schematic sedimentary model of the Garau Formation in the study section.

ارزیابی توان هیدروکربن‌زایی با استفاده از S_1 , S_2 , S_1+S_2 نشان می‌دهد مقدار S_2 و S_1+S_2 تمامی نمونه‌های سازند گرو به ترتیب بین $0.2/5$ و 0.3 ($mgHC/gTOC$) مقدار S_1 اکثر نمونه‌ها $0.0/5$ ($mgHC/gTOC$) است. لذا با توجه به جدول ۲، نمونه‌های سازند گرو از نظر توان هیدروکربن‌زایی ضعیف می‌باشند.

ارزیابی توان هیدروکربن‌زایی با استفاده از S_2/TOC همچنین نمودار S_2 در مقابل TOC بیانگر پتانسیل هیدروکربن‌زایی می‌باشد (Peters, 1986). بنابراین با توجه به شکل ۸ نمونه‌های سازند گرو پتانسیل ضعیفی جهت تولید هیدروکربن دارند.

بررسی خصوصیات ژئوشیمی آلی نمونه‌های سازند گرو در منطقه مورد مطالعه

نمودار HI در مقابل T_{max} بیانگر بلوغ و نوع کروژن نمونه‌ها می‌باشد (Hunt, 1996). نمونه‌های سازند گرو بین ۴۱۶ تا ۴۴۵ تغییر می‌کند. بررسی نمونه‌های مورد آنالیز قرار گرفته نشان می‌دهد که نمونه‌های مورد مطالعه در مرحله‌ی نابالغ تا بلوغ حداکثری قرار دارند. اکثر نمونه‌ها دارای کروژن نوع III می‌باشند و همچنین دارای کروژن نوع بهتری (کروژن نوع II) نیز هستند اما مقدار آنها کم است (شکل ۷). این نوع کروژن در ریز رخساره پکستون دارای پلوئید یافت می‌شود.



شکل ۷ - نمودار شاخص هیدروژن در مقابل بلوغ حرارتی بیانگر بلوغ و نوع کروژن نمونه‌ها می‌باشد (Hunt, 1996).

Fig.7. The diagram of the hydrogen index against the thermal maturity indicates the maturity and the type of hydrogen of the samples (Hunt, 1996).

جدول ۲- ارزیابی توان هیدروکربن زایی با استفاده از S1, S2, S1+S2 (Peters,1986).

Table 2. Evaluation of hydrocarbon potential using S1, S2, S1 + S2 (Peters,1986).

S1+S2	S2(mgHC/gTOC)	S1(mgHC/gTOC)	Hydrocarbon potential
0-3	0-2.5	0-0.5	Poor
3-6	2.5-5	0.5-1	Fair
6-12	5-10	1-2	Good
12<	10<	2<	Very good



شکل ۸ - نمودار S₂/TOC بیانگر پتانسیل هیدروکربن زایی می باشد (Peters, 1986).

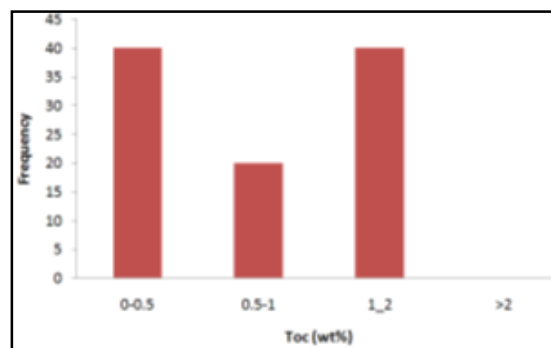
Fig. 8. The S₂/TOC diagram shows the hydrocarbon potential (Peters, 1986).

ذکر دو نکته بسیار ضروری است. همانگونه که نوید طالب و همکاران عنوان کردند (Navidtalab et al., 2013) بیشترین میزان مواد آلی در زمانی است که وقایع مهم غیرهوازی (OAE= Oceanic Anoxic Event) در کرتاسه اتفاق افتاده است. بنابراین با احتمال می‌توان فرض نمود که نهشته‌های سازند گرو در برش خرم آباد در زمان حوادث غیر هوازی ته نشین نشده است. از سوی دیگر بیشترین میزان مواد آلی در نمونه‌های ۲۷، ۳۰ و ۳۳ می‌باشد که متعلق به رخساره‌های پکستون پلنیددار، پکستون/وکستون اینترا کلاست‌دار و مادستون فسیل‌دار می‌باشد. در این نمونه‌ها به روشنی میزان S_1 به ویژه در ریز رخساره پکستون/وکستون اینتراکلاست‌دار بسیار افزایش می‌یابد که می‌تواند نشان دهنده حمل مواد آلی توسط جریان‌های دریای باشد.

نمودار HI در مقابل TOC برای تعیین سیستم تراکت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Pasley et al., 1991). در سیستم تراکت‌های سطح بالای آب (HST و TST) بیشترین مقدار TOC در رسوبات انباشته می‌شود، ولی در زمان سطح پایین آب (LST) به دلیل این که سطح آب دریا پایین می‌باشد قسمت اعظمی از شلف خارج از آب بوده و مواد آلی از خشکی وارد محیط رسوبی می‌شود طی این عمل مواد آلی اکسید شده و در نتیجه مقدار TOC نمونه‌ها کاهش پیدا می‌کند (Hunt, 1996). با توجه به نمودار HI در مقابل TOC، نمونه‌های سازند گرو در مرحله سطح پایین آب بر جای گذاشته شده‌اند و همین امر سبب اکسید شدن نمونه‌ها و کاهش TOC آن‌ها شده و در نتیجه باعث کاهش پتانسیل هیدروکربن‌زایی سنگ منشأ شده است (شکل ۱۱).

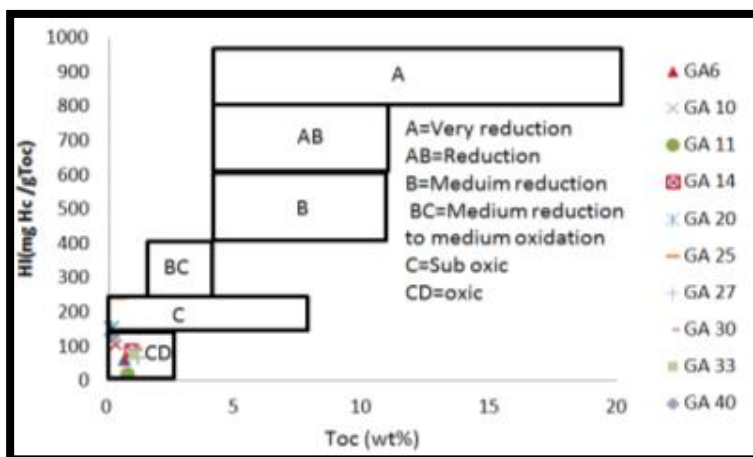
نمودار فراوانی TOC نمونه‌های سازند گرو نشان می‌دهد که هیچ کدام از نمونه‌ها دارای TOC بالای ۲٪ نمی‌باشند (شکل ۹). سنگ منشاهایی که دارای S_2 بین ۵ تا ۱۰ و بیشتر از ۱۰ $mgHc/gRock$ به ترتیب سنگ منشاهای خوب و عالی می‌باشند و سنگ منشاهایی که دارای S_2 بین ۲/۵ تا ۵ $mgHc/gRock$ و کمتر از ۲/۵ می‌باشند به ترتیب سنگ منشاهای متوسط و ضعیف می‌باشند (Peters, 1986; Espitalie et al., 1985). لذا نمونه‌های سازند گرو پتانسیل ضعیفی جهت تولید هیدروکربن دارند. پارامترهای S_2 ، TOC، HI و Tmax حاصل از پیرولیز راک-اول به شناسایی کیفیت و بلوغ سنگ منشأ احتمالی کمک بسیاری می‌نمایند (Katz, 1983).

جهت تعیین رخساره‌ی آلی می‌توان از نمودار HI در مقابل TOC استفاده کرد (Jones, 1987). اکثر نمونه‌ها در محدوده‌ی CD و در شرایط اکسیدان (CD) قرار گرفتند که این امر نشان دهنده‌ی محیط‌های عمیق در مجاورت نقاط کوهزایی است اما نمونه شماره GA-20 در محدوده‌ی محیط‌های با سرعت رسوب-گذاری متوسط و در شرایط احیا قرار گرفته است. از آنجایی که شاخص هیدروژن در اکثر نمونه‌ها تقریباً بالاست این امر می‌تواند دلیلی بر کروژن‌های خوب باشد ولی با توجه به اندیس اکسیژن بالا در آنها می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که این نمونه‌ها به دلایلی از جمله برداشت‌های سطح الارضی، خروج یکباره از آب و ته نشست در سطح پایین آب، به مرور زمان اکسید شده و یا تحت شرایط اکسیدان قرار گرفته‌اند و این شاخص در آنها بالا رفته و درصد TOC در آنها به شدت کاهش یافته است (شکل ۱۰). اما



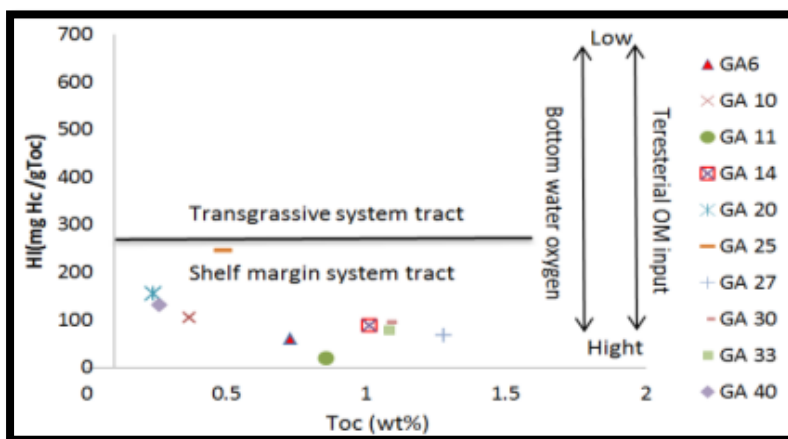
شکل ۹ - نمودار فراوانی کل کربن آلی در نمونه‌های سازند گرو.

Fig. 9. TOC frequency diagram Examples of Garu Formation.



شکل ۱۰- نمودار مقادیر HI/TOC جهت تعیین رخساره آلی (Jones, 1987).

Fig. 10. The HI/TOC diagram values to determine the organic surface (Jones, 1987).



شکل ۱۱- رسم مقادیر HI/TOC جهت تعیین سیستم تراکتها (Pasley et al., 1991).

Fig.16. The HI/TOC diagram values to determine the system tracts (Pasley et al., 1991).

هیدروکربن می باشند. میزان مواد آلی در نهشته‌های سازند گرو در برش خرم آباد بسیار کم می‌باشد در مواردی مانند رخساره پکستون/ وکستون اینترا کلاست دار میزان S_1 افزایش می‌یابد که نشان دهنده هیدرو کربورهای نا برجا می‌باشد. قضاوت کردن در مورد ویژگی‌های سنگ منشأ مانند نوع ماده‌ی آلی، بلوغ حرارتی و... با استفاده از داده‌های حاصل از پیرولیز راک - اول کافی نیست و تنها یک دید کلی در ارتباط با موضوع در اختیار پژوهشگر قرار می‌دهد. لازم است تا این یافته‌ها با آنالیز- های ژئوشیمیایی تکمیلی نظیر کروماتوگرافی گازی (GC)، کروماتوگرافی گازی طیف سنجی جرمی (GC-MS) و اندازه- گیری انعکاس ویتربایت تلفیق گردد.

نتیجه گیری

مطالعات رخساره‌ای مقاطع نازک منجر به شناسایی ۷ ریزرخساره متعلق به کمربند رخساره‌ای بخش عمیق دریا در منطقه مورد مطالعه گردید. عدم وجود رخساره‌های چارچوب ساز، و حضور رخساره رخساره کلسی‌توربیدایت تایید کننده‌ی ته نشست این توالی کربناته بر روی پلتفرم کربناته از نوع رمپ شیب دار دور از مرکز می‌باشد. بررسی‌های صورت گرفته و تفسیر نتایج پیرولیز راک - اول بر روی نمونه‌های سازند گرو نشان می‌دهد که نمونه‌های این سازند در منطقه مورد مطالعه دارای کروژن غالب تیپ III می‌باشد. کروژن نمونه‌های سازند گرو در مرحله‌ی نابالغ تا بلوغ حداکثری قرار دارند و دارای پتانسیل ضعیفی جهت تولید

منابع

- Asadi Mehmandosti, E., Alizadeh, B., Adabi, M.H., 2011. Geochemical Evaluation of Source Rocks and Crude Oils of Marun Oil Field with Rock-Eval Pyrolysis (VI) and Gas Chromatography Instruments. *Earth Sciences* 82, 31-38 (in Persian).
- Casey, R.E.P., 1997. The ecology and distribution of recent radiolarian, *Oceanic Micropaleontology*, Academic Press, London 2, pp. 809-845.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rock according to depositional texture, classification of carbonate rock. *American Association of Petroleum Geologists Memoir* 1, 108-121.
- Eberli, G.P., 1987. Calcareous Turbidites and their relationship to sea-level fluctuations and tectonism, in: Einsele, G., Ricken, W., Seilacher, A., 1991. *Cycles and events in stratigraphy*, Springer-Verlag, pp. 340-359.
- Espitalie, J., Deroo, G., Marquis, F., 1985. La pyrolysis Rock-Eval at ses applications *Revue Institut France-aisdu Petrol*, part I, V. 40, pp 563-587.
- Flügel, E., 2004. *Microfacies of carbonate Rocks*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 976.
- Föllmi, K.B., 2012. Early Cretaceous life, climate and anoxia. *Cretaceous Research* 35, 230-257.
- Haas, J., Tardy-Filacz, E., 2004. Facies changes in the Triassic-Jurassic boundary interval in an intraplatform basin succession at Csovar (Transdanubian Range, Hungary). *Sedimentary Geology* 168, 19-48.
- Hunt, J.M., 1996. *Petrpleum geochemistry and geology*, W. H. Freeman and Company, New York, pp. 743.
- Jafarian, M.B., Abdolahi, M.T., Goodarzi, G.H., Allahyari, M., Pirhadi, G.H., Partoazar, H., 2011. Khorram Abad geological map, 1: 25000, Geological Survey & Mineral Exploration of Iran.
- Jamalian, M., Adabi, M.H., Moussavi, R., Sadeghi, A., 1991. Geochemistry and petrography of Garau Formation with Neocomian-Aptian age in type section (Kabir Kuh, Ilam Province). *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches* 27, 1-26 (In Persian).
- James, G.A., Wynd, J.G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement, area. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 49, 2182-2245.
- Jones, R.W., 1987. Organic Facies. In: J. Brooks and D. Welte (Eds.) *Advances in Petroleum Geochemistry*, Academic Press, London 2, 1-90.
- Katz, B.J., 1983. Limitation of Rock-Eval pyrolysis for typing organic matter. *Organic Geochemistry* 4, 195-199.
- Motei, H., 1996. *Petroleum Geology of Zagros*, Geological Survey of Iran, pp.537 (in Persian).
- Motiei, H., 1993. Stratigraphy of Zagros. In: *Treatise of Geology of Iran*, Geological Survey of Iran, pp. 583 (In Persian).
- Navidtalab, A., Rahimpour Bnoab, R., Nazari-Badii, A., Sarfi, M., 2013. Challenges in deep basin sequence stratigraphy: A case study from the Early-Middle Cretaceous of SW Zagros. *Facies* 60, 195-215.
- Pasley, M., Gregory, W., Hart, G.F., 1991. Organic matter variations in transgressive and regressive shale. *Organic Geochemistry* 17(4), 483-509.
- Pedley, M., 1998. A review of sediment distributions and processes in Oligo- Miocene ramps of Southern Italy and Malta (Mediterranean divide). In: Wright V.P. Burchette T.P. (eds.) *Carbonate ramps*. Geological Society 149, 163- 180.
- Peters, K.E., 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. *AAPG Bulletin* 70, 318- 329.
- Peters, K.E., Moldowan, J.M., 1991. Effects of source, thermal maturity, and biodegradation on the distribution and isomerization of homohopanes in petroleum. *Organic Geochemistry* 17, 47- 61.
- Saremi, N., Alavi, S.A., Yassaghi, A., Farahpour, M.M., 2018. Structural Evolution of Khorram Abad anticline. *Tectonics* 5, 60 (in Persian).
- Tucker, M.E., Calvet, F., Hunt, D., 1993. Sequence stratigraphy of carbonate ramps: systems tracts, models and application to the Muschelkalk carbonate platform of eastern Spain. In: Posamentier, H.W., C.P. Summerhayes, B.U. Haq, and G.P. Allen, *Sequence Stratigraphy and Facies*

- Associations, V. 18. International Association of Sedimentology, Special Publication, pp. 397-415.
- Wilson, J.L., 1975. Carbonate Facies in Geological History, Springer, Berlin, pp. 471.
- Yousefi, M., Nazari Badie, A., 2015. Characterizations of organic matter in the Garau Formation (Early Cretaceous), in the South of Lorestan. Applied Sedimentology 5, 1-13 (in Persian).

