

ارزیابی ژئوشیمیایی و پتانسیل هیدروکربورزایی سازند پابده در ناحیه تنگه هرمز: تحلیل ویژگیهای سنگ منشا و قابلیت تولید نفت و گاز

کتایون رضایی پرتو

استادیار، پژوهشکده علوم زمین، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران، Rezaeepartok@ripi.ir، 09123721552

چکیده

سازند پابده با سن پالئوسن تا الیگوسن و سنگ‌شناسی مارن، آهک و شیل به عنوان یک سنگ منشأ احتمالی در ناحیه خلیج فارس مطرح است. برای بررسی توان هیدروکربورزایی این سازند، از روش آنالیز راک-اول استفاده شده است. بر اساس نتایج پیرولیز راک-اول به ترتیب حداقل، حداکثر و میانگین پارامترهای ژئوشیمیایی S_1 : 0.06، 4.53 و 1.5. پارامتر S_2 : 0.02، 16.32 و 3.65. پارامتر S_1+S_2 : 0.1، 16.93 و 5.1. پارامتر TOC: 0.07، 3.77 و 1.18. پارامتر HI: 285، 583.7 و 240.1. پارامتر Tmax: 391، 578 و 440.7 و پارامتر PI: 0.03، 0.91 و 0.38 محاسبه گردید. بر اساس میانگین پارامترهای به دست آمده، کروژن‌های موجود از نوع I و II بوده و از نظر بلوغ در مرحله دیاژنز قرار دارند. این سنگ منشا توان تولید هیدروکربورهای نفت و گاز را نشان می‌دهد. توان هیدروکربورزایی در اعماق مختلف سازند پابده متفاوت است و قسمت‌های ابتدایی و تا قسمت‌های میانی که ضخامت بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد دارای توان هیدروکربورزایی مناسب تا خوبی است که در همین فواصل نوع هیدروکربور تولیدی نیز ترکیب نفت و گاز است. قسمت‌هایی در میانه‌های این سازند توان هیدروکربورزایی بسیار خوبی دارد و قسمت‌های انتهایی دارای توان هیدروکربورزایی ضعیف است.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی ژئوشیمیایی، پتانسیل هیدروکربورزایی، سازند پابده، راک-اول، کروژن

Geochemical Characterization and Evaluation Hydrocarbon Potential of the Pabdeh Formation in Hormoz Strait Area: Analysis of Source Rock Characteristics and Oil and Gas Production Potential

Katayoon Rezaeeparto

1- Assistant Professor, Geoscience Research Division, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

Rezaeepartok@ripi.ir

Abstract

The Pabdeh Formation (Paleocene to Oligocene) lithologically consists of marl, limestone and shale and is considered as a candidate source rock in Persian Gulf area. In order to geochemical evolution of this formation, rock-eval pyrolysis was carried out on 58 cutting samples, in order to determine its hydrocarbon potentiality. Based on rock-eval data, the minimum, maximum and mean of geochemical parameters are S1: 0.06, 4.53 and 1.5; S2: 0.02, 16.32 and 3.65; S1 + S2: 0.1, 16.93 and 5.1; TOC: 0.07, 3.77 and 1.18. HI: 285, 583.7 and 240.1; Tmax: 391, 578 and 440.7 and PI: 0.03, 0.91 and 0.38. Based on the average of the obtained parameters, the organic matter of the Pabdeh Formation is type II and III kerogen, with low maturity being at the end of diagenesis stage and this rock shows the ability to produce oil and gas hydrocarbons. The hydrocarbon potential varies in different depths of the Pabdeh Formation. The lower up to the middle parts, have a fair to good hydrocarbon potential. In the middle parts of this formation have a very good and the upper parts have a weak hydrocarbon potential.

Keywords: Geochemical Characterization, Hydrocarbon potential, Pabdeh Formation, Rock-eval, Kerogene

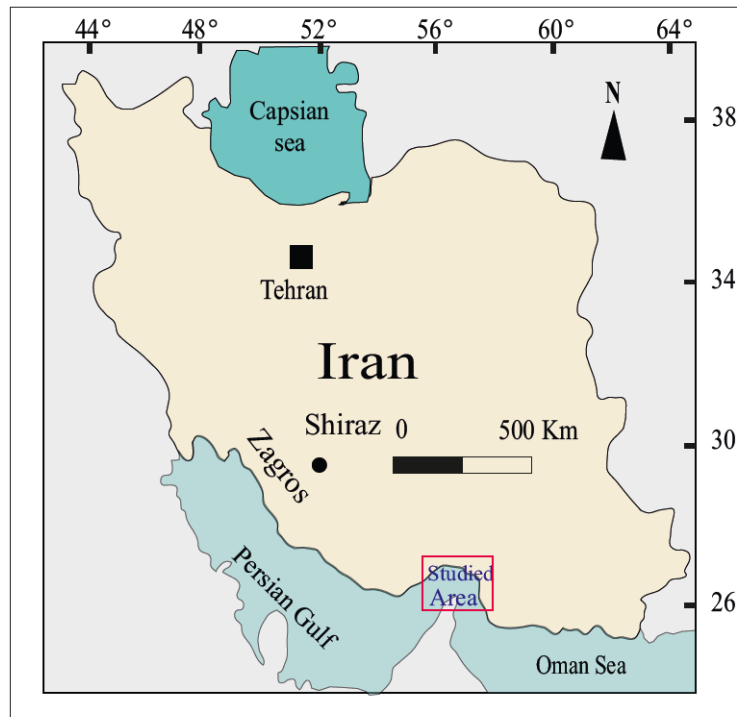
مقدمه

صنایع نفتی این نکته پذیرفته شده است که روش‌های ژئوشیمی به شکل قابل توجه، شانس موفقیت در اکتشافات نفتی را افزایش و ریسک حفاری را کاهش می‌دهند [5] [4]. اکتشاف نفت موفق، متکی به تجزیه و تحلیل دقیق از سیستم نفتی منطقه است، شناسایی سنگ‌های منشأ بالقوه، بلوغ و پارامترهای جنبشی، و توزیع آنها در منطقه است که توسط غربالگری سریع نمونه‌های سنگی با استفاده از دستگاه راک-اول انجام می‌گیرد [6]. یکی از شروط اساسی تشکیل و تجمع هیدروکربن در یک مخزن زیرزمینی، وجود سنگ منشأ با وسعت و ضخامت کافی و نیز پختگی لازم است. رسوبات حوضه زاگرس به دلیل داشتن پتانسیل هیدروکربوری بالا و تکتونیک فعال و به دلیل اینکه این

ژئوشیمی آلی در اکتشاف نفت و گاز نقش تعیین کننده ای را ایفا می کند و اکثر شرکت های نفتی، تهیه نمودارهای ژئوشیمی آلی را برای اکتشاف نفت و گاز الزامی دانسته و بدون اطلاعات ژئوشیمی اقدام به حفاری نمی کنند. امروزه ژئوشیمی نفت به عنوان یک علم بنیادی برای بهبود بازده اکتشاف و تولید به کار گرفته می شود. در دهه های اخیر استفاده از علم ژئوشیمی در صنعت نفت گسترش زیادی پیدا کرده و به اکتشاف میادین نفتی کمک شایانی کرده و ابزاری بسیار سودمند می باشد. به طوریکه در سال های اخیر با استفاده از تئوری ها و روش های مختلف ژئوشیمیایی، بسیاری از مسائل مربوط به سنگ منشأ، مهاجرت و تجمع نفت مورد مطالعه قرار گرفته است [3] [2] [1]. به طور عام در

[12] [11] [9] [8] [7]. در این مطالعه ویژگی‌های سازند پابده به عنوان یکی از سازندهای مادر (منشأ) تولید هیدروکربور و توان هیدروکربورزایی، در یک حلقه چاه واقع در تنگه هرمز بررسی می‌شود و پارامترهای ژئوشیمیایی این سازند مورد مطالعه قرار می‌گیرد. تنگه هرمز از لحاظ تقسیم‌بندی زمین‌شناسی جز بخش پس خشکی (هینترلند) بندرعباس یکی از زیر زون‌های ساختاری زاگرس است (شکل 1).

حوضه اولین حوضه هیدروکربوری ایران می‌باشد، از دیرباز مورد توجه پژوهشگران متفاوت قرار گرفته است. این حوضه با توجه به تکتونیک فعال و لایه‌های متفاوت با ویژگی‌های متفاوت، مطالعات وسیعی را می‌طلبد که این مطالعات در حوضه‌های مختلف و دیدگاه‌های مختلفی صورت گرفته و خواهد گرفت. مطالعات ژئوشیمیایی مختلفی روی برخی سازندها در این حوضه صورت گرفته است و همچنین مطالعات در شاخه بررسی پارامترهای ژئوشیمیایی سنگ‌های منشأ نیز انجام گرفته است [10] [13] [14] [15] [16] [17].



شکل 1- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

سازند پابده (140 متر) از جنس شیل و مارن آبی و ارغوانی است که به طور رسمی به آن «شیل ارغوانی» گفته می‌شود. بخش دیگر آن «بخش آهک‌های چرتی»، شامل شیل‌های خاکستری و لایه‌های آهک رُسی و گاهی

چینه‌نگاری سازند پابده

سازند پابده از حدود 800 متر مارن و شیل‌های خاکستری و لایه‌های آهک رُسی دریایی تشکیل شده است. بخش پایینی

چرت دار است. درصد شیل و آهک رُسی یکنواخت نیست، گاهی شیل و گاه آهک برتری دارد [18]. مرز پایینی سازند پابده به جز در ناحیه لرستان، ناپیوسته است. در لرستان مرز پایینی سازند پابده با شیل و مارن‌های سازند گورپی در قاعده بخش شیل ارغوانی است. ولی، در فارس که بخش شیل ارغوانی ممتد نیست، این مرز در قاعده بخش آهک‌های چرتی انتخاب می‌شود که نشان از دگرشیبی فاز کرتاسه پایانی دارد و با گرهِک‌هایی از فسفات، دندان ماهی، گلوکونیت و در برخی نقاط با کنگلومرا مشخص می‌شود [19]. در بُرش الگو، مرز بالای سازند پابده با سنگ‌آهک‌های سازند آسماری هم‌شیب و تدریجی است و گاهی نیز سازند پابده در زیر سازند چهارم قرار دارد. در فارس و خوزستان، سن سازند پابده از پالئوسن تا الیگوسن است. در لرستان سن این سازند از پالئوسن پسین تا میوسن در نظر گرفته می‌شود.

سازند پابده به ویژه در نواحی جنوب باختری لرستان، خوزستان و نواحی جنوبی فارس گسترش دارد. از جنوب باختری لرستان به سمت نواحی مرکزی و شمال خاوری لرستان، این سازند به صورت جانبی و زبانه‌ای با سازندهای آواری امیران و کشکان و کربنات‌های سازندهای تله‌زنگ و شهبازان جایگزین می‌شود و در فارس داخلی، سازند پابده جای سازند چهارم را می‌گیرد. به زبانه‌های آهکی سازند تله‌زنگ موجود در سازند پابده، «بخش آهکی تله‌زنگ» نام داده شده که نوعی سنگ‌آهک مارنی - متورق حاوی سنگواره ماهی و فلس ماهی است. سازند پابده بسیار غنی از مواد آلی است ولی در بسیاری نقاط به بلوغ لازم برای تولید هیدروکربن نرسیده است. در نقاطی که به بلوغ رسیده باشد می‌تواند سنگ منشأ پرتوان باشد [20].

اهداف و داده‌های در دسترس جهت مطالعه

در این مطالعه برای بررسی خواص ژئوشیمیایی سازند پابده تعداد 58 نمونه از خرده‌های حفاری از یک حلقه چاه در ناحیه تنگه هرمز مورد بررسی قرار گرفته شده است. یکی از بهترین روش‌هایی که به واسطه آن می‌توان پارامترهای ژئوشیمیایی را محاسبه و قابلیت توان هیدروکربورزایی یک سنگ را از لحاظ منشأ بودن بررسی نمود، روش پیرولیز راک-اول یا دستگاه ارزیاب سنگ است [6]، که امروزه به طور گسترده در صنعت نفت مورد استفاده قرار می‌گیرد و برای اولین بار در انستیتو نفت فرانسه توسط اسپیتاله و همکارانش [21] معرفی گردید. در این روش، آنالیز نمونه‌ها به طور خودکار انجام می‌گیرد و نتایج حاصل به صورت نمودار ژئو شیمیایی ارائه می‌گردد. این دستگاه در سال 1996 تکمیل شده و به دلیل بالا بودن دقت آنالیز از بهترین روش‌ها جهت ارزیابی سنگ‌های منشأ به شمار می‌آید [22]. پس از زدودن مواد افزودنی به گل حفاری و تأثیرگذار بر نتایج، مقدار 50-70 میلی گرم از هر نمونه تیمار و هم‌وزنیزه شده و سپس توسط دستگاه پیرولیز راک-اول مورد آنالیز قرارگرفت و پارامترهای ژئوشیمیایی مختلف تعیین گردید (جداول 2 و 3).

ارزیابی پارامترهای ژئوشیمیایی سازند پابده

کل کربن آلی (TOC)

تعداد 58 نمونه از خرده‌های حفاری از سازند پابده مورد آزمایش قرار گرفت. مقدار کل کربن آلی این سازند (TOC%) در چاه مورد مطالعه در کل نمونه‌های در دسترس، حداقل 0.07 و حداکثر 3.77 است که میانگین آن‌ها 1.18 محاسبه شد (شکل 2A). در نتیجه توان سنگ منشأ بودن این سازند با توجه به جدول 1 و میانگین کل کربن آلی در چاه مورد مطالعه در رده سنگ منشأهای خوب قرار می‌گیرد.

جدول 1- پارامترهای ژئوشیمیایی تعیین کننده توان هیدروکربورزایی سنگ منشأ [23]

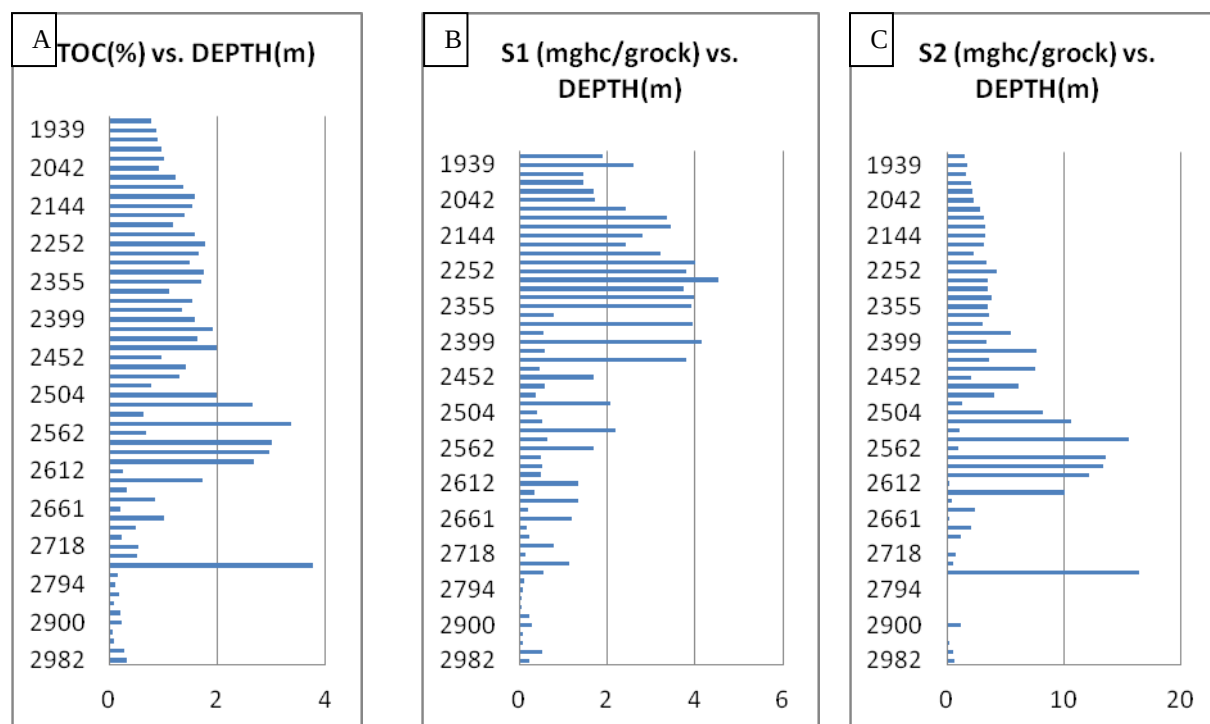
S1+S2	S2	S1	TOC	Quality
mgHC/gRock	mgHC/gRock	mgHC/gRock	WT%	
0 _ 3	0 _ 2.5	0 _ 0.5	0.5 >	Poor
3 _ 6	2.5 _ 5	0.5 _ 1	0.5 _ 1	Fair
6 _ 12	5 _ 10	1 _ 2	1 _ 2	Good
12 <	10 <	2 <	2 <	Very Good

S2

دیگر پارامتر با اهمیت، پتانسیل باقیمانده در سنگ منشأ (S2) است. این پارامتر به صورت حداقل در چاه مورد مطالعه 0.02 و حداکثر 16.32 و میانگین آن 3.65 (mghc/grock) محاسبه شد (شکل 2C). در نتیجه این پارامتر نیز با توجه به میانگین S2 در بین کل نمونه‌های مورد بررسی و جدول 1 در چاه مورد مطالعه برای سازند پابده در رده سنگ منشأهای نسبتاً خوب قرار می‌گیرد.

S1

حداقل مقدار هیدروکربورهای آزاد موجود در نمونه‌ها (S1) 0.06 و حداکثر 4.53 است که به‌طور میانگین 1.5 (mghc/grock) محاسبه شد (شکل 2B). در نتیجه این سازند توان هیدروکربوری در محدوده خوب را از خود نشان می‌دهد.



شکل 2- نمودار TOC در برابر عمق، نمودار S1 در برابر عمق، نمودار S2 در برابر عمق

پتانسیل زایشی (S1+S2 (Genetic Potential)

پتانسیل زایشی یکی دیگر از پارامترهای مهم در ارزیابی سنگ منشأ است که از حاصل جمع S1 و S2 به دست می‌آید. مقدار آن در سازند پابده در چاه مورد مطالعه حداقل 0.1 و حداکثر 16.93 و میانگین آن 5.1 محاسبه شد (شکل 3B). در نتیجه توان تولید هیدروکربور در این سازند در چاه مورد مطالعه در حد نسبتاً خوب ارزیابی می‌شود. که این میزان در توالی سازند پابده در برخی اعماق با توجه به نمونه‌های مورد آزمایش در حد بسیار خوب و در برخی اعماق دیگر در حد ضعیف می‌باشد. در نتیجه با توجه به پارامترهای محاسبه شده در چاه مورد مطالعه، سازند پابده خصوصیات یک سنگ منشأ خوب را داراست.

شاخص هیدروژن (HI)

میزان حداقل و حداکثر شاخص هیدروژن (HI) که بیانگر میزان ترکیبات هیدروژن دار در کروژن است و همچنین کیفیت سنگ منشأ را تعیین می‌کند، در این سازند به ترتیب 285 و 583.7 و میانگین شاخص هیدروژن در آن 240.1 (mghc/gtoc) محاسبه شده است (شکل 3A). در نتیجه این سازند توان تولید نفت و گاز را داراست که این تقسیم‌بندی در طول این سازند و برای اعماق مختلف دارای پتانسیل‌های متفاوتی می‌باشد، همانطور که در جدول شماره 3 مشاهده می‌شود در برخی اعماق توان تولید تنها گاز و در برخی اعماق دیگر توان تولید تنها نفت را دارد.

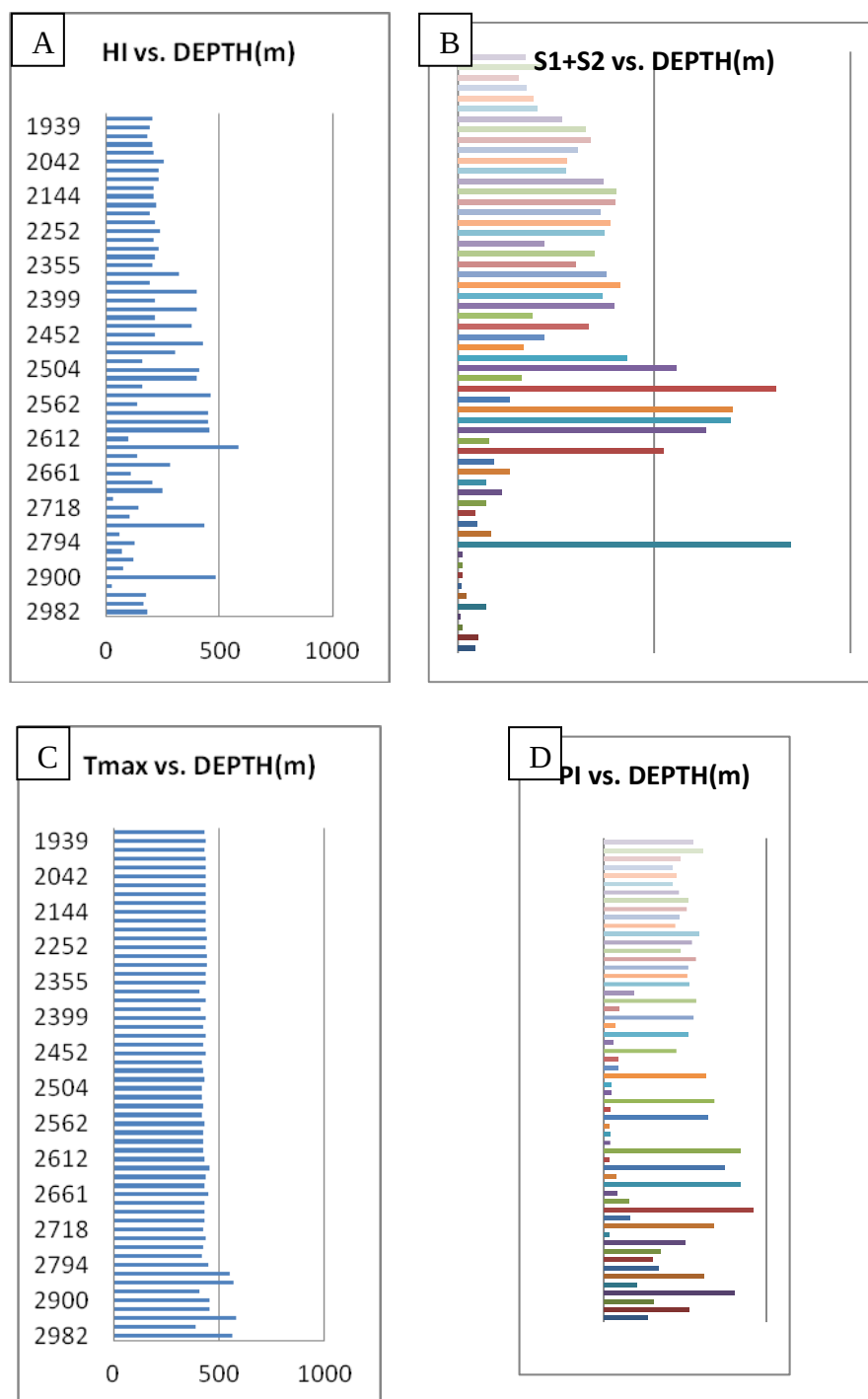
حداکثر درجه حرارت (Tmax)

از لحاظ پختگی نیز سازند پابده دارای Tmax حداقل 391 تا حداکثر 578 و میانگین 440.7 درجه سانتی‌گراد است که این مطلب را می‌رساند که سنگ منشأ مورد مطالعه به بلوغ کافی جهت تولید هیدروکربن رسیده است (شکل 3C).

از پارامترهای دیگری که در طی پیرولیز محاسبه می‌گردد، شاخص تولید یا (Production Index (PI) است که به آن نسبت تبدیل (Transformation Ratio) هم گفته می‌شود. این شاخص نیز جهت تولید کمی و کیفی سنگ های منشأ استفاده شده و به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$PI = S_1 / (S_1 + S_2)$$

همچنین شاخص تولید (PI) در این سازند نیز حداقل 0.03 و حداکثر 0.91 با میانگین 0.38 (mghc/grock) محاسبه شد (شکل 3D).



شکل 3- A- نمودار HI در برابر عمق، B- نمودار پتانسیل زایشی در برابر عمق، C- نمودار Tmax در برابر عمق، D- نمودار PI در برابر عمق.

بحث

نماید. نتایج پارامترهای ژئوشیمیایی نشان دهنده پتانسیل هیدروکربورزایی سنگ منشأ و پارامترهای ژئوشیمیایی نشان دهنده نوع هیدروکربور تولیدی در جداول 2 و 3 به تفکیک پارامترهای موثر ارائه شده است.

یک سنگ منشأ مؤثر باید سه شرط کمیت، کیفیت و بلوغ حرارتی مواد آلی را داشته باشد تا بتواند تولید هیدروکربور

جدول 2- پارامترهای ژئوشیمیایی نشان دهنده پتانسیل هیدروکربورزایی سنگ منشأ

DEPTH	S1 (mgHC/gRock)	S2 (mgHC/gRock)	S1 + S2	TOC (%)	QUALITY
1896	1.9	1.56	3.46	0.77	Fair
1939	2.6	1.69	4.29	0.88	Fair
1960	1.45	1.63	3.08	0.9	Fair
1981	1.47	2.03	3.5	0.98	Fair
2024	1.69	2.13	3.82	1.02	Fair - Good
2042	1.71	2.33	4.04	0.92	Fair
2059	2.43	2.84	5.27	1.23	Fair - Good
2085	3.37	3.14	6.51	1.36	Good
2102	3.44	3.32	6.76	1.58	Good
2144	2.82	3.26	6.08	1.53	Good
2163	2.44	3.12	5.56	1.4	Fair - Good
2208	3.21	2.3	5.51	1.18	Fair - Good
2234	4.01	3.4	7.41	1.58	Good
2252	3.81	4.26	8.07	1.78	Good
2283	4.53	3.48	8.01	1.66	Good
2307	3.75	3.47	7.22	1.5	Good
2327	3.98	3.77	7.75	1.74	Good
2355	3.91	3.53	7.44	1.7	Good
2370	0.8	3.6	4.4	1.11	Fair - Good
2380	3.95	3	6.95	1.53	Good
2394	0.56	5.43	5.99	1.35	Good
2399	4.16	3.38	7.54	1.58	Good
2420	0.59	7.66	8.25	1.91	Good
2435	3.79	3.56	7.35	1.63	Good
2440	0.46	7.51	7.97	1.98	Good
2452	1.68	2.09	3.77	0.96	Fair - Good
2460	0.57	6.09	6.66	1.43	Good
2484	0.37	4	4.37	1.3	Good

2498	2.07	1.25	3.32	0.78	Good
2504	0.4	8.2	8.6	1.99	Good
2526	0.51	10.62	11.13	2.64	Good - Very good
2530	2.18	1.03	3.21	0.64	Fair - Good
2546	0.63	15.55	16.18	3.36	Very Good
2562	1.68	0.96	2.64	0.69	Fair
2564	0.49	13.51	14	3	Very Good
2588	0.51	13.37	13.88	2.95	Very Good
2604	0.49	12.12	12.61	2.67	Very Good
2612	1.33	0.25	1.58	0.25	Poor
2628	0.34	10.1	10.44	1.73	Good
2637	1.33	0.47	1.8	0.34	Poor
2654	0.19	2.43	2.62	0.86	Poor - Fair
2661	1.2	0.23	1.43	0.21	Poor
2684	0.18	2.06	2.24	1.01	Poor - Fair
2698	0.22	1.22	1.44	0.49	Poor
2710	0.79	0.07	0.86	0.23	Poor
2718	0.15	0.8	0.95	0.55	Poor - Fair
2737	1.13	0.55	1.68	0.52	Poor - Fair
2744	0.54	16.39	16.93	3.77	Very Good
2768	0.1	0.1	0.2	0.16	Poor
2794	0.08	0.15	0.23	0.12	Poor
2812	0.06	0.14	0.2	0.19	Poor
2838	0.06	0.12	0.18	0.1	Poor
2884	0.24	0.15	0.39	0.2	Poor
2900	0.29	1.16	1.45	0.24	Poor
2920	0.08	0.02	0.1	0.07	Poor
2934	0.07	0.16	0.23	0.09	Poor
2960	0.53	0.48	1.01	0.29	Poor
2982	0.23	0.62	0.85	0.34	Poor

جدول 3- پارامترهای ژئوشیمیایی نشان دهنده نوع هیدروکربور تولیدی

DEPTH	Tmax	OI	PI	RO%	HI	Hydrocarbon
1896	431	210.39	0.55		203	Gas & Oil
1939	434	95.45	0.61		192	Gas & Oil
1960	433	153.33	0.47		181	Gas & Oil
1981	438	119.39	0.42		207	Gas & Oil
2024	437	120.59	0.44		209	Gas & Oil
2042	437	147.83	0.42		253	Gas & Oil
2059	439	114.63	0.46		231	Gas & Oil
2085	437	135.29	0.52		231	Gas & Oil
2102	439	118.99	0.51		210	Gas & Oil
2144	437	103.27	0.46		213	Gas & Oil
2163	437	122.14	0.44		223	Gas & Oil
2208	438	75.42	0.58		195	Gas & Oil
2234	441	91.14	0.54		215	Gas & Oil
2252	437	79.21	0.47		239	Gas & Oil
2283	440	101.81	0.57		210	Gas & Oil
2307	440	107.33	0.52	0.3	231	Gas & Oil
2327	438	83.91	0.51	0.39	217	Gas & Oil
2355	438	101.18	0.53		208	Gas & Oil
2370	408	159.45	0.18		324.32	Oil
2380	438	103.27	0.57	0.4	196	Gas & Oil
2394	413	151.85	0.09		402.22	Oil
2399	437	77.85	0.55		214	Gas & Oil
2420	423	52.41	0.07		401.04	Oil
2435	438	79.75	0.52	0.47	218	Gas & Oil
2440	422	82.98	0.06		379.29	Oil
2452	436	146.88	0.45	0.41	218	Gas & Oil
2460	421	133.98	0.09		425.87	Oil
2484	427	250.76	0.08		307.69	Oil
2498	430	219.23	0.62		160	Gas & Oil
2504	421	109.54	0.05		412.06	Oil
2526	419	101.97	0.05		402.27	Oil
2530	425	260.94	0.68	0.38	161	Gas & Oil
2546	419	50.00	0.04	0.302	462.79	Oil

2562	433	214.49	0.64	0.45	139	Gas
2564	424	69.00	0.04		450.33	Oil
2588	424	52.98	0.04		453.22	Oil
2604	425	58.54	0.04	0.317	453.93	Oil
2612	429	640.00	0.84		100	Gas
2628	456	84.97	0.03		583.81	Oil
2637	438	385.29	0.74		138	Gas
2654	428	221.97	0.07		282.55	Gas & Oil
2661	450	695.24	0.84	0.39	110	Gas
2684	429	237.92	0.08		203.96	Gas & Oil
2698	429	382.85	0.15	0.323	248.98	Gas & Oil
2710	433	500.00	0.92		30	Gas
2718	427	345.63	0.16		145.45	Gas
2737	434	286.54	0.67	0.43	106	Gas
2744	424	53.00	0.03	0.433	434.74	Oil
2768	420	1066.80	0.50		62.5	Gas
2794	450	1422.50	0.35		125	Gas
2812	550	615.26	0.30		73.684	Gas
2838	566	1520.00	0.33		120	Gas
2884	405	855.00	0.62		75	Gas
2900	457	916.66	0.20		483.33	Oil
2920	457	1670.00	0.80		28.571	Gas
2934	578	1421.10	0.30		177.77	Gas & Oil
2960	391	751.72	0.52		165.51	Gas & Oil
2982	560	628.82	0.27		182.35	Gas & Oil

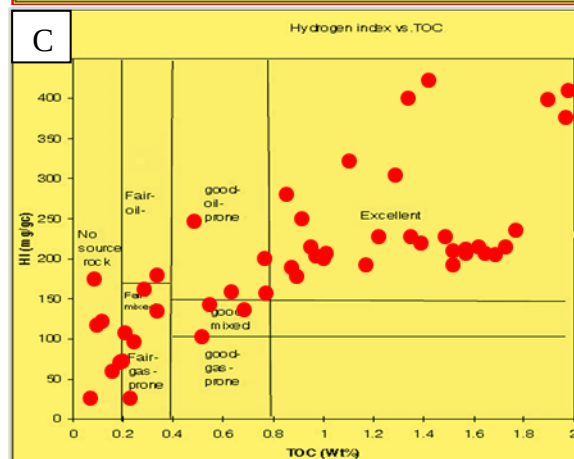
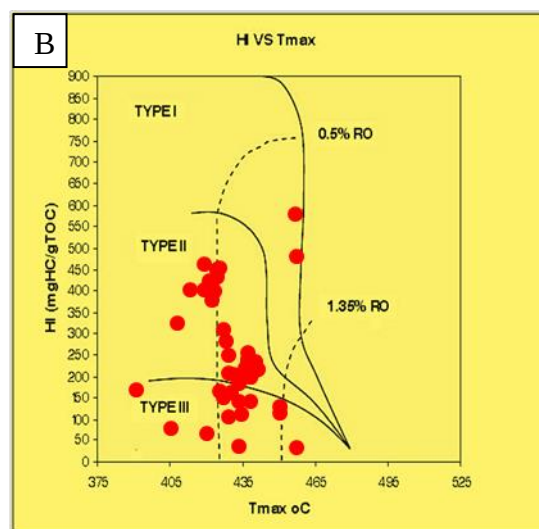
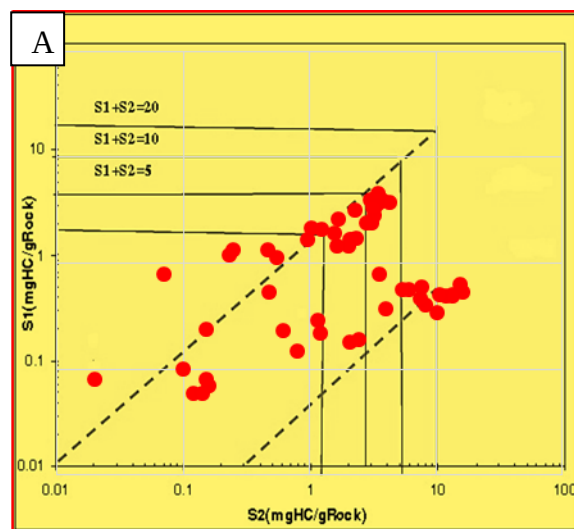
مشخص نمودن بلوغ و نوع کروژن [24] برای این سازند رسم شد که نوع کروژن این سازند را کروژن نوع II و III معرفی کرد (شکل 4B).

به منظور بررسی توان هیدروکربورزایی سازند پابده در این چاه از نمودار $\text{TOC}\%$ در مقابل شاخص هیدروژن (HI) استفاده گردید. با استفاده از نمودار مقادیر TOC در برابر HI می‌توان نوع هیدروکربن تولید شده توسط نمونه‌های بالغ را

برای بررسی پارامترهای ژئوشیمیایی نمودارهای مختلفی ترسیم شده است (شکل 4). نمودار S1 در برابر S2 در شکل 4A نشان داده شده است. این نمودار نشان دهنده توان هیدروکربورزایی سازند پابده است.

مقادیر $T_{\max}$ برای نمونه‌های مورد مطالعه 391-578 با میانگین 441 درجه سانتی‌گراد است. نمودار حداکثر درجه حرارت $T_{\max}$ در مقابل شاخص هیدروژن (HI) نیز برای

مشخص نمود [26] [25]. با استفاده از این نمودار مشخص شده که نمونه‌های مورد مطالعه توانایی زایش نفت را دارند (شکل 4C).



شکل 4- A- نمودار S_1/S_2 ، B- نمودار HI/T_{max} ، جهت مشخص نمودن بلوغ و نوع کروژن [24] بر اساس این نمودار بیشتر نمونه‌ها در محدوده کروژن نوع II و III قرار دارند. C- نمودار HI/TOC جهت ارزیابی نوع هیدروکربن تولید شده [26] را نشان می‌دهد.

می‌شوند که تخمین دقیق منابع را ممکن می‌سازد [27] [28]، به طوریکه در شکل 5 علاوه بر نمایش تغییرات مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی در توالی مورد بررسی سازند پابده، توان هیدروکربورزایی و نوع هیدروکربور تولیدی از این سنگ

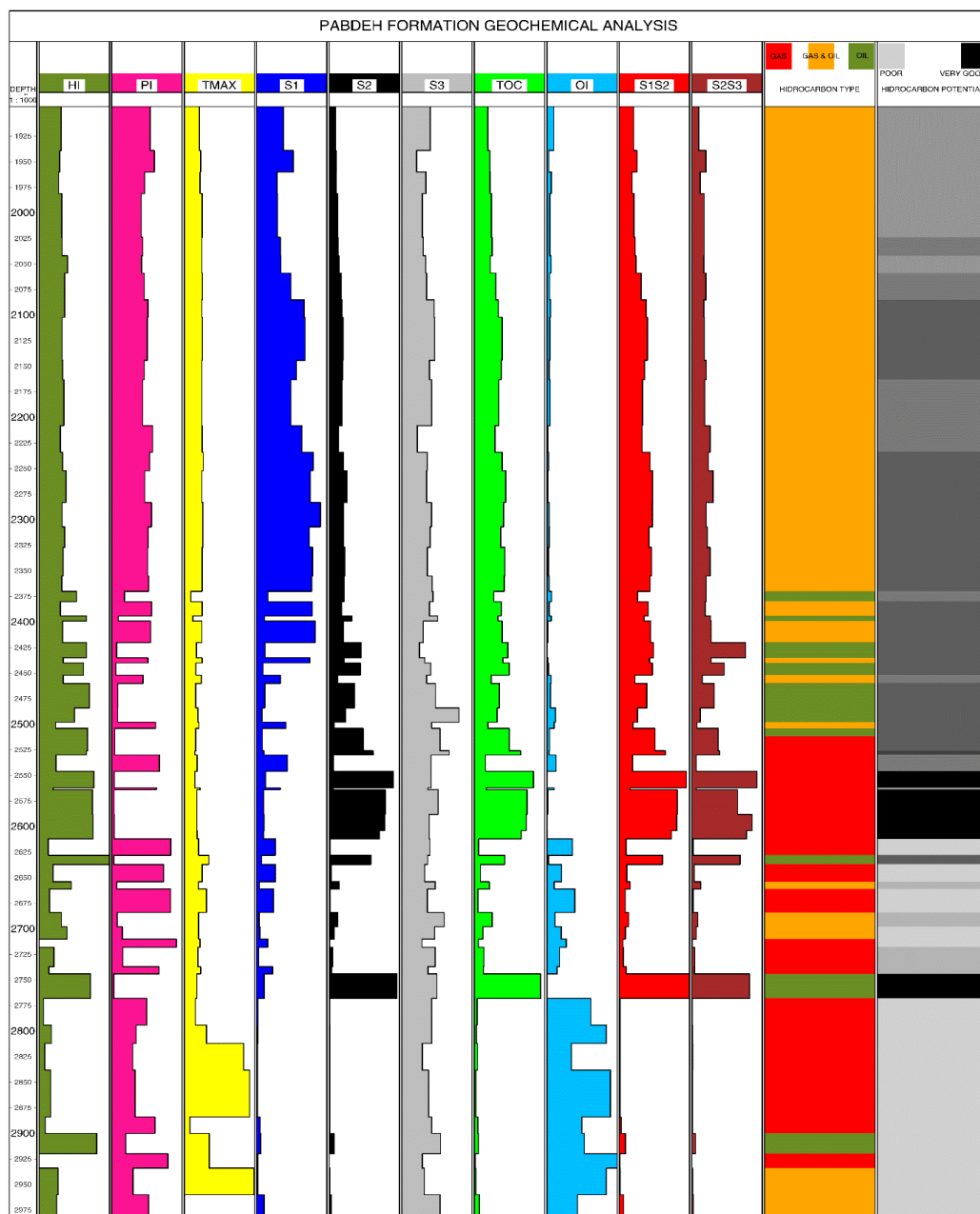
درنهایت روش‌های زمین‌آماري برای پیش‌بینی توزیع رخساره‌ها و بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی استفاده

هیدروکربورزایی ضعیف می‌باشد. در نتیجه در این شکل از رنگ روشن (بخش‌های دارای توان هیدروکربورزایی ضعیف) به سمت رنگ تیره (بخش‌های دارای توان هیدروکربورزایی خیلی خوب) توان هیدروکربورزایی افزایش می‌یابد.

منشأ نیز ارائه شده است، همان‌طور که مشاهده می‌شود در اعماق ابتدایی این سازند پارامترهای ژئوشیمیایی دارای مقادیر تقریباً ثابت‌تری نسبت به قسمت‌های میانی و مرکزی می‌باشند. ستون‌های موجود در این شکل به ترتیب از سمت چپ شامل: ستون اول عمق، ستون دوم پارامتر HI، ستون سوم پارامتر PI، ستون چهارم پارامتر Tmax، ستون پنجم پارامتر S1، ستون ششم پارامتر S2، ستون هفتم پارامتر S3، ستون هشتم پارامتر TOC، ستون نهم پارامتر OI، ستون دهم پارامتر S1+S2 و ستون یازدهم پارامتر S2/S3 است.

در ستون دوازدهم، با توجه به پارامترهای ژئوشیمیایی در دسترس، نوع هیدروکربور در توالی مورد مطالعه سازند پابده بررسی شده است، در این ستون سه مقیاس رنگی وجود دارد که رنگ قرمز نماینده هیدروکربورهای گازی، رنگ سبز هیدروکربورهای نفتی و رنگ نارنجی ترکیبی از گاز و نفت را نشان می‌دهد، در نتیجه نوع هیدروکربور تولیدی مشخص می‌شود که با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که اکثر توالی مورد مطالعه سازند پابده دارای توان تولید نفت و گاز به‌مراه یکدیگر است و بخش‌های انتهایی و میانی این سازند توان تولید نفت و گاز را به‌طور جداگانه دارد.

در ستون آخر توان هیدروکربورزایی سازند پابده را با توجه به مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی و با استفاده از جدول 1 در طول این سازند و در کنار سایر پارامترهای ژئوشیمیایی سازند پابده نشان می‌دهد. بر اساس پارامترهای ژئوشیمیایی در دسترس از سازند پابده، اکثر قسمت‌های مورد بررسی سازند پابده که بیشتر شامل فواصل ابتدایی و میانی سازند پابده است، دارای توان هیدروکربورزایی مناسب تا خوب است و قسمت‌های کمتری (قسمت‌های سیاه‌رنگ) دارای توان هیدروکربورزایی خیلی خوب و همچنین بخش‌هایی نیز (قسمت‌های که به رنگ سفید متمایل می‌شوند) دارای توان



شکل 5- ارزیابی ژئوشیمیایی سازند پابده

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به ارزیابی پارامترهای ژئوشیمیایی سازند پابده در یک حلقه چاه در ناحیه تنگه هرمز پرداخته شد. اطلاعات پارامترهای ژئوشیمیایی سازند پابده از آنالیز نمونه‌های خرده‌های حفاری این سازند با استفاده از دستگاه پیرولیز راک اول بدست آمده است، بر این اساس مقادیر پارامترهای ژئوشیمیایی و مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین آن‌ها و همچنین رسم نمودارهای متقاطع بین برخی از پارامترهای در دسترس، توان هیدروکربورزایی و نوع هیدروکربور تولیدی توسط این سنگ منشأ در اعماق مختلف سازند پابده بررسی گردید و در نهایت نتایج زیر حاصل شد.

- به ترتیب حداقل، حداکثر و میانگین پارامترهای ژئوشیمیایی به این قرار بود: پارامتر S1: 0.06، 4.53 و 1.5. پارامتر S2: 0.02، 16.32 و 3.65. پارامتر S1+S2: 0.1، 16.93 و 5.1. پارامتر TOC: 0.07، 3.77 و 1.18. پارامتر HI: 0.285، 583.7 و 240.1. پارامتر Tmax: 391، 578 و 440.7. پارامتر PI: 0.03، 0.91 و 0.38 محاسبه شد.

- بر اساس میانگین پارامترهای به دست آمده از پارامترهای ژئوشیمیایی مورد بررسی، توان

هیدروکربورزایی در نمونه‌های مربوط به اعماق مختلف سازند پابده متفاوت بود اما اکثر نمونه‌های این سازند بر اساس میانگین به دست آمده دارای توان هیدروکربورزایی در حد مناسب تا خوب را داشتند.

- نوع هیدروکربور تولیدی از این سنگ مادر نیز در اعماق مختلف این سازند اندکی متفاوت بود اما بر اساس اطلاعات به دست آمده، این سنگ توان تولید هیدروکربورهای نفت و گاز را نشان می‌دهد.
- پارامترهای ژئوشیمیایی در اعماق مختلف سازند پابده مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت مشخص شد قسمتهایی در میانه‌های این سازند توان هیدروکربورزایی بسیار خوبی دارد و قسمتهای انتهایی دارای توان هیدروکربورزایی ضعیفی است اما قسمتهای ابتدایی و تا قسمتهای میانی که ضخامت بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد دارای توان هیدروکربورزایی مناسب تا خوبی است که در همین فواصل نوع هیدروکربور تولیدی نیز ترکیب نفت و گاز است.

منابع

- 1- Kaufman R.L., Ahmed A.S. and Elsinger, R.J.(1990). Gas Chromatography as a development and production tool for fingerprinting oils from individual reservoirs: applications in the Gulf of Mexico, in D. Schumaker, and B. F. Perkins, (Eds.), Proceedings of the 9th Annual Research Conference of the Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, October 1, 1990: New Orleans, 263-282.
- 2- Miller, R. G.(1995). A future for exploration geochemistry. In: Grimalt, J. O., Dorronsoro, C. (Eds.), Organic Geochemistry: Developments and Application to Energy, Climate, Environment and Human History. A.I.G.O.A., Donostia-San Sebastian, Spain, p. 412-414.

- 3- Peters K.E. and Fowler M.G.(2002). Application of petroleum geochemistry to exploration and reservoir management, *Organic Geochemistry*, 33: 5-36.
- 4- Espitalie, J., Marquis, F., Barsony, I.(1984). Geochemical logging. In: Voorhees, K.J. (Ed.), *Analytical Pyrolysis-Techniques and Applications*: Butterworth, Guildford, p. 276-304.
- 5- Bordenave M.L.(1993). *Applied Petroleum Geochemistry*, Edition Teaching, Paris, 524 p.
- 6- Lafargue, E., Espitalie, J., Marquis, F. and Pillot, D.(1998). Rock-Eval 6 applications in hydrocarbon exploration, production and in soli contamination studies: *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, v. 53, no. 4, p. 421-437.
- 7- بهبهانی، ر.، خدابخش، س.، محسنی، ح.، آتش‌مرد، ز و مقدسی، ع.(1387). نقش مؤثر شواهد پتروگرافی (میکروفاسیس)، ژئوشیمی آلی و آثار فسیلی در تعیین محیط رسوبی (یک مثال از سازند باده، حوضه زاگرس، جنوب غرب ایران): مجله علوم دانشگاه تهران، ج. 34، ش. 2، ص 121-131.
- 8- بهبهانی، ر.، لک، ر.، خدابخش، س.، محسنی، ح.، آتش‌مرد، ز و معینی، م. (1389). تعیین سیستم تراکت، نوع کروژن و پتانسیل هیدروکربن زایی با استفاده از پارامترهای راک اول (مثال‌هایی از سازند پابده زیر زون رزن-آب گرم و رسوبات بستر خلیج فارس) مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری رسوب‌شناسی، ش. 38، ص 121-144.
- 9- محسنی، ح.، منصوری، ح.، خدابخش، س.، معماربانی، م. (1394). ارزیابی توان هیدروکربورزایی سازند پابده در جنوب باختری استان کرمانشاه. رسوب‌شناسی کاربردی، دوره 3، شماره 5، ص 71-83.
- 10- موسوی، م. ح.، عبدل‌زاده، س.، کمالی، م.ر.، شایسته، ا.، کعبی‌مفرد، ا. (1391). ژئوشیمی آلی سنگ‌های منشأ کرتاسه بالایی (سازند گورپی) و پالئوژن (سازند پابده) در میدان نفتی پرسپاس، شمال باختری اید، مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره 49، ص 1-24.
- 11- Alizadeh B., Sarafdokht H., Rajabi M., Opera A., and Janbaz M.(2012). Organic geochemistry and petrography of Kazhdumi (Albian–Cenomanian) and Pabdeh (Paleogene) potential source rocks in southern part of the Dezful Embayment, Iran. *Organic Geochemistry*, 49: 36-46.
- 12- Alizadeh, B., Maroufi, K., and Fajrak, M.(2018)Hydrocarbon reserves of Gachsaran oilfield, SW Iran: Geochemical characteristics and origin, *Mar. Pet. Geol.*, vol. 92, pp. 308-318.
- 13- Karimi A.R., Rabbani A.R. and Kamali M.R.(2016). A bulk kinetic, Burial history and thermal modeling study of the Albian Kazhdumi and the Eocene-Oligocene Pabdeh formations in the Ahvaz Anticline, Dezful Embayment, Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 146: 61-70.
- 14- Karimi A.R., Rabbani A.R., Kamali M.R., and Heidarifard M.H.(2016). Geochemical evaluation and thermal modeling of the Eocene–Oligocene Pabdeh and Middle Cretaceous Gurpi formations in the northern part of the Dezful Embayment. *Arabian Journal of Geosciences*, 432: 1-16.

- 15- Mashhadi Z.S. Rabbani A.R. and Kamali M.R.(2015). Geochemical characteristics and hydrocarbon generation modeling of the Kazhdumi (Early Cretaceous), Gurpi (Late Cretaceous) and Pabdeh (Paleogene) formations, Iranian sector of the Persian Gulf, Marine and Petroleum Geology, 66: 978-997.
- 16- Mohseni, H., Behbahani, R., Khodabakhsh, S., and Atashmard, Z.(2011). Depositional environments and trace fossil assemblages in the Pabdeh Formation (Paleogene), Zagros Basin, Iran, J., Geol., Palaont. Abh. V. 262 (1), p 59-77.
- 17- Opera, A., Alizadeh, B., Sarafdokht, H., Janbaz, M., Fouladvand, R. and Heidarifard, M.H.(2013). Burial history reconstruction and thermal maturity modeling for the middle cretaceous-early Miocene petroleum System, southern Dezful Embayment, SW Iran, Int. J. Coal Geol., vol. 120, pp. 1-14.
- 18- James, G.A. and Wynd, J.G.(1965). Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area: AAPG Bulletin, 49, 2182- 2245.
- 19- Setudehnia, A.(1978). The Mesozoic sequence in south-west Iran and adjacent areas: Journal of Petroleum Geology 1, 3-42.
- 20- افشار حرب،ع.، (1380)، "زمین شناسی نفت ایران"، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- 21- Espitalie, J., Madec, M. and Tissot, B.(1980). Role of Mineral Matrix in Kerogen Pyrolysis: Influence on Petroleum Generation and Migration: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 4, p. 59-66.
- 22- Behar, F., Beaumont, V. and Penteado, H.L.De B.(2001). Rock-Eval Technology: Performances and Developments: Oil & Gas Science and Technology - Rev. IFP, v. 56, no. 2, p. 111-134.
- 23- Peters, K.E.(1986). Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 70, p. 318-29.
- 24- Espitalie, J., Deroo, G. and Marquis, F.(1985). La pyrolyse Rock-Eval et ses applications (deuxième partie): Revue Institut Francais du Pétrole, v. 40, p. 755-784.
- 25- Altunsoy, M. and Özçelik, O.(1998). Organic facies characteristics of the Sivas Tertiary basin (Turkey): Journal of Petroleum Science and Engineering v. 20, p. 73-85.
- 26- Jackson, K.S., Hawkins, P.J. and Bennett, A.J.R.(1985). Regional facies and geochemical evolution of the southern Denison Trough: APEA Journal, v. 20: p. 143-158.
- 27- Rezaeeparto, K. and Bagheri, H.(2023). Prediction of Total Organic Carbon (TOC) Utilizing $\Delta\log R$ and Artificial Neural Network (ANN) Methods and Geochemical Facies Determination of Kazhdumi Formation in One of the Fields - Southwest of Iran. Advanced Applied Geology, 12 (4), 732-746. <https://doi.org/10.22055/AAG.2021.35538.2177>.

- 28- Shinkevich, A.I., Kostyukhin, Y.Y., Savon, D.Y., Safronov, A.E., & Aleksakhin, A.V.(2021). Ootimization of Energy-Efficient Functioning of the Oil and Gas Sector of the Economy Throught Digitalization and Resource Conservation. International Journal of Energy Economics and Policy