

ارزیابی توان هیدروکربن‌زایی سازند پابده در جنوب باختری استان کرمانشاه (شهرستان گیلان‌غرب)

حسن محسنی^{۱*}، حمید منصوری^۲، سعید خدابخش^۱ و محمود معماریانی^۳

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

۲- کارشناس ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

۳- پژوهشکده علوم زمین، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران

نویسنده مسئول: mohseni@basu.ac.ir

دریافت: ۹۴/۱۲/۲ پذیرش: ۹۵/۲/۱

چکیده

سازند پابده به سن پالئوسن پسین تا اولیگوسن پیشین در حوضه رسوبی زاگرس نهشته شده است. بخش قابل توجهی از توالی این سازند در شهرستان گیلان‌غرب را رخساره‌های ریز دانه شیلی (با رنگ خاکستری تیره و ارغوانی) تشکیل می‌دهد. از آنجا که این رخساره‌ها در محیط رسوبی حاشیه‌های قاره‌ای تا ژرف انباشته شده‌اند، احتمال وجود مقدار قابل‌ملاحظه‌ای ماده آلی در آن وجود دارد. به منظور ارزیابی توان هیدروکربورزایی و ژئوشیمی آلی سازند پابده در منطقه غرب کرمانشاه (شهرستان گیلان‌غرب) در یک برش سطحی در پیرامون روستای سرحال شیرزادی مورد بررسی قرار گرفت و از لایه‌های شیلی نمونه‌برداری انجام شد. تعداد ۱۲ نمونه به وسیله دستگاه پیرولیز راک‌ایول ۳ مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مقدار میانگین کل کربن آلی (۱/۲٪) پتانسیل هیدروکربن‌زایی سازند پابده در این منطقه ضعیف می‌باشد. داده‌ها بیانگر آن است که تلفیقی از کروژن‌های نوع I، II و III در این نمونه‌ها وجود دارند اما کروژن نوع II فراوانی بیشتری دارد. به نظر می‌رسد علت اصلی فراوانی این نوع کروژن در سازند پابده ناشی از چیرگی رخساره‌های دریایی تشکیل‌دهنده این سازند می‌باشد. بیش‌تر نمونه‌های سازند پابده از نظر R_o در محدوده ۰/۵ تا ۱/۳۵ قرار دارند که بیانگر ورود سازند پابده در این منطقه به پنجره نفتی می‌باشد. جایگاه این نمونه‌ها در نمودار شاخص هیدروژن (HI) به (Tmax) نشان می‌دهد که سازند پابده به عنوان سنگ‌های منشأ احتمالی با رسیدن به مرحله کاتائز (Tmax بالاتر از ۴۳۵ درجه سانتی‌گراد) توانسته‌اند مسیر بلوغ حرارتی را طی نمایند. با توجه به شاخص تولید (PI) نمونه‌های سازند پابده، Tmax به دست آمده رسیدگی واقعی این سازند را نشان نمی‌دهد. مقدار Tmax و PI بدست آمده از داده‌های راک‌ایول نشان‌دهنده این است که فقط یکی از نمونه‌ها در ابتدای پنجره نفتی می‌باشد. رخساره‌های آلی این سازند عمدتاً نشانگر رسوبات فلات قاره و شیب قاره بوده که احتمالاً در حاشیه‌های قاره‌ای تهنشین شدند.

واژه‌های کلیدی: راک‌ایول، کروژن، سازند پابده، پتانسیل هیدروکربن‌زایی

مقدمه

باقی‌مانده نمونه و تحول حرارتی ماده آلی می‌دهد [۱۵]. پژوهش‌های گوناگون بر روی سازند پابده بیش‌تر به منطقه فروافتادگی دزفول متمرکز بوده است. زیرا بیش‌تر منابع هیدروکربن زاگرس در این ناحیه به تله افتاده و افزون بر آن، رسیدن اغلب سنگ‌های منشأ به پنجره نفت‌زایی در این ناحیه بسیار بهتر از دیگر نواحی است. با این همه، گسترش سازند پابده در مناطق دیگر حوضه زاگرس و وجود مواد آلی در رخنمون‌های این سازند نشان می‌دهد که احتمالاً سازند پابده می‌تواند به عنوان هدف اکتشافی سنگ منشأ در مناطق بیرون از فروافتادگی دزفول مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور یک برش از رخنمون‌های سازند پابده در منطقه گیلان‌غرب مورد

یکی از ارکان اصلی هر سامانه نفتی، سنگ منشأ است. بنابراین شناسایی سنگ منشأ و وضعیت آن در هر سامانه‌ای ضروری است. درک این مطلب نه تنها مانع از انجام حفاری در نواحی بدون پتانسیل هیدروکربن می‌شود، بلکه از اتلاف سرمایه نیز جلوگیری می‌کند. در این مطالعه سعی شده است به تعبیر و تفسیر پتانسیل هیدروکربنی سازنده پابده در منطقه گیلان‌غرب پرداخته شود. پیرولیز راک -ایول ساده‌ترین و سریع‌ترین روشی است که برای ارزیابی هیدروکربن‌زایی سنگ‌های منشأ به کار می‌رود. هم‌چنین پیرولیز راک -اوال اطلاعات مفیدی در مورد مقدار ماده آلی، نوع و کیفیت ماده آلی، پتانسیل

سازند را در رتبه ضعیف^۲ قرار داده‌اند. موسوی و همکاران [۶] نهشته شدن سازند پابده را به دلیل داشتن مقادیر بالایی TOC، HI و OI مربوط به شرایط احیایی می‌دانند و هم‌چنین عمده کروژن‌های سازند پابده را کروژن تیپ II و III/III معرفی نمودند. هدف از پژوهش حاضر بررسی ژئوشیمیایی سازند پابده در رخنمون آن در ناحیه گیلان غرب است.

منطقه مورد مطالعه در جنوب باختری استان کرمانشاه قرار دارد (شکل ۱). یک برش سطحی کامل از رخنمون‌های سازند پابده در شهرستان گیلان غرب (کوه زرد) انتخاب و مورد نمونه‌برداری و مطالعه قرار گرفت. این برش در سمت خاوری روستای سرحال شیرزادی و به فاصله ۱۰ کیلومتری جنوب باختری شهر گیلان غرب در طول ۴۵ درجه و ۵۶ دقیقه خاوری و عرض ۳۴ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی قرار دارد. هدف از انجام این مطالعه، بررسی و ارزیابی وضعیت پتانسیل سنگ‌منشاء احتمالی سازند پابده با استفاده از پارامترهای ژئوشیمیایی می‌باشد.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

فالکن [۱۳] زاگرس را از شمال به جنوب به سه زون ساختمانی پیچیده همراه با سنگ‌های دگرگونی، تراست‌های هم‌آغوشی و کمربند ساده چین‌خورده تقسیم نمود. بربریان [۹] بر پایه انباشته‌های نمکی سری‌هرمز، زاگرس را به دو بخش جنوب خاوری، یا (حوضه هرمز) و بخش شمال باختری یا (حوضه اهواز) تقسیم نمود که مرز جدایی این دو، منطبق بر خطواره قطر - کازرون است. اشتوکلین [۲۲] ایران را به چند حوزه رسوبی - ساختاری تقسیم نمود. وی حوزه رسوبی زاگرس را به سه بخش زون زاگرس رانده، زون زاگرس چین‌خورده و دشت خوزستان تقسیم کرده است. همه ارتفاعات واقع در بخش جنوب باختری استان کرمانشاه را می‌توان مربوط به گستره زاگرس چین‌خورده دانست. مهم‌ترین سازندهای که در برش کوه کور زرد رخنمون دارند شامل سازندهای امیران، تل‌زنگ، پابده، آسماری و گچساران می‌باشد [۱۷]. سن این سازندها از کرتاسه تا میوسن می‌باشد (شکل ۲). سازند پابده در این برش ۵۶۵ ضخامت دارد که تلاش گردید از لایه‌های شیلی تیره نمونه‌برداری شود. هرچند نمونه‌های سطحی برای بررسی‌های ژئوشیمی آلی

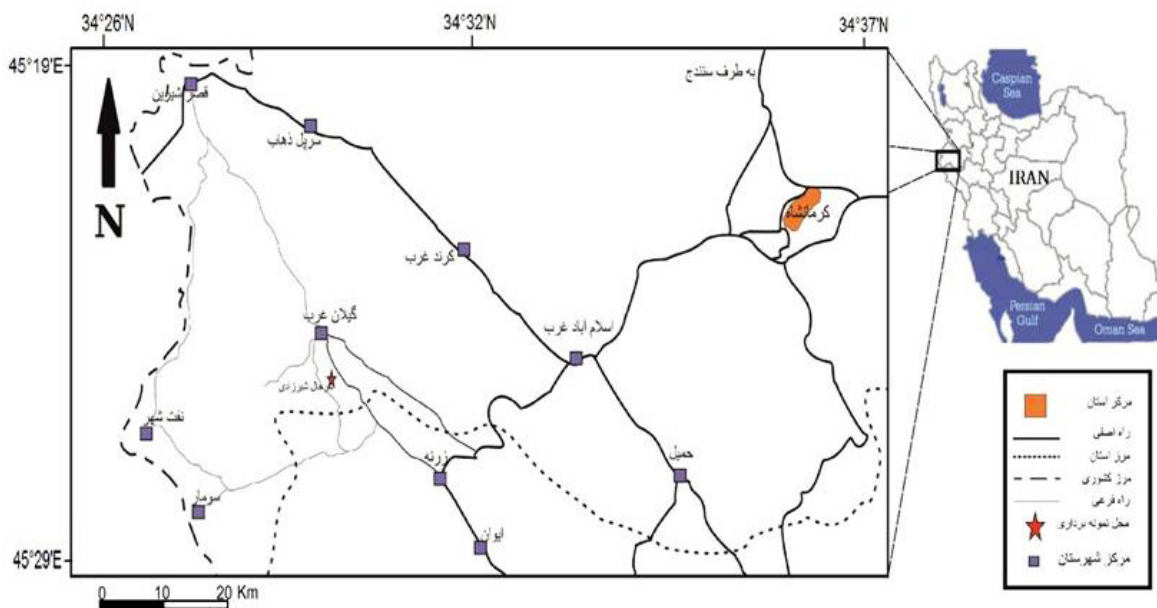
بررسی و نمونه‌برداری قرار گرفت. علا و دیگران [۷] مطالعاتی را بر روی مارن‌های سازند گورپی و پابده انجام داده و مشخص کردند که این دو سازند در برخی نقاط به بلوغ حرارتی لازم رسیده‌اند. البته مطالعات باردنف و باروود [۱۰] قسمت عمده لیتولوژی سازند پابده را کربناته معرفی کردند. آن‌ها افق‌های خاصی از سازند پابده را دارای خواص سنگ منشأ توصیف کرده و معتقدند که همه قسمت‌های پابده دارای ماده آلی کافی به عنوان یک سنگ منشأ نیست. هم‌چنین آن‌ها کروژن آن را تیپ II، میزان کربن آلی سازند پابده بین ۱ الی ۱۲ درصد وزنی و میزان $\delta^{13}C$ نمونه‌های کروژن این سازند را بین % ۲۴ - تا % ۲۶ - گزارش کرده‌اند. باردنف و هاک [۱۱] سازند پابده به همراه سازند گورپی را متشکل از رسوبات دانه ریز کربناته و آواری حاوی میکرو فسیل‌های پلاتونیک معرفی کرده‌اند و حتی در برخی نقاط حوضه رسوبی زاگرس این دو سازند را به عنوان سنگ منشأ توصیف نموده‌اند. اشکان [۱] سازند پابده را متعلق به حوضه رسوبی دریایی غیر اکسید^۱ معرفی کرده است که دارای مواد آلی نسبتاً بالایی (۱ - ۶% TOC) بوده و منشأ اصلی مواد آلی دریایی (کروژن Type II) همراه با مواد آلی خشکی (کروژن Type III) است. هم‌چنین سازند پابده را در حوضه زاگرس یک سنگ منشأ با پتانسیل خوب دانسته که این سازند از نظر میزان کربن آلی (TOC) غنی بوده و در بخش شمالی خوزستان، فرو افتادگی دزفول به مرحله نفت‌زایی رسیده است. براساس مطالعات محسنی و دیگران [۲۰] بر روی سازند پابده در غرب حوضه زاگرس، مشخص شد که این سازند در قسمت پایینی و میانی شامل کروژن تیپ I و II می‌باشد؛ و قسمت‌های بالایی دارای کروژن تیپ III می‌باشد که مقدار بالایی از TOC (۲/۵٪) را نیز نشان می‌دهد. علیزاده و همکاران [۴] با مدل‌سازی بلوغ حرارتی در میدان نفتی رگ سفید نشان دادند که سازند پابده از لحاظ مقدار ماده آلی در محدوده متوسط تا عالی قرار گرفته ولی به نفت‌زایی نرسیده است. براساس مطالعات بهبهانی و همکاران [۲] بیش‌تر نمونه‌های سازند پابده (نمونه‌های سطحی از ناحیه ایلام) در مرحله بالغ (تولید نفت) هستند، ولی به دلیل نبود شرایط برای حفظ ماده آلی در مقیاس انبوه توان هیدروکربن‌زایی این

² poor

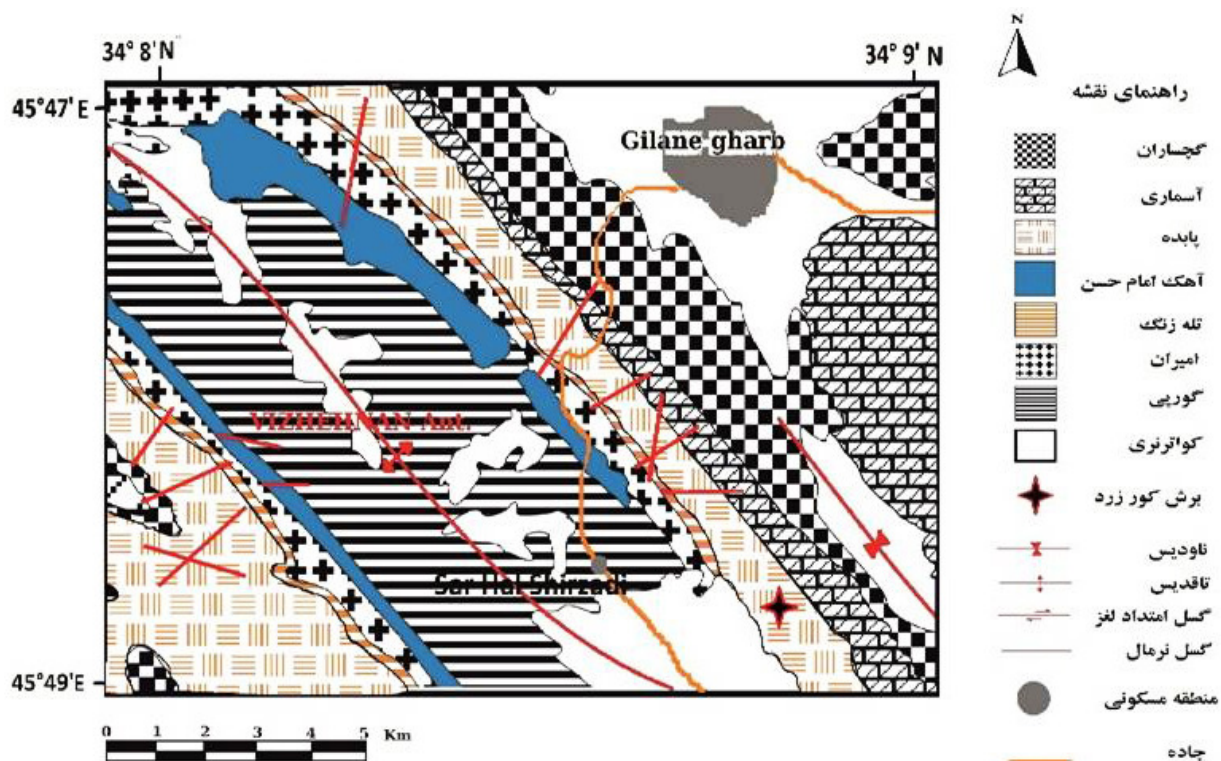
¹ anoxic

با کنار زدن لایه‌های سطحی تا حد ممکن نمونه‌ای تازه‌تر گردآوری گردد.

چندان دلخواه نیستند، اما روش شناخته شده‌ای است که برای ژئوشیمی آلی به کار می‌رود. البته تلاش گردید که



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

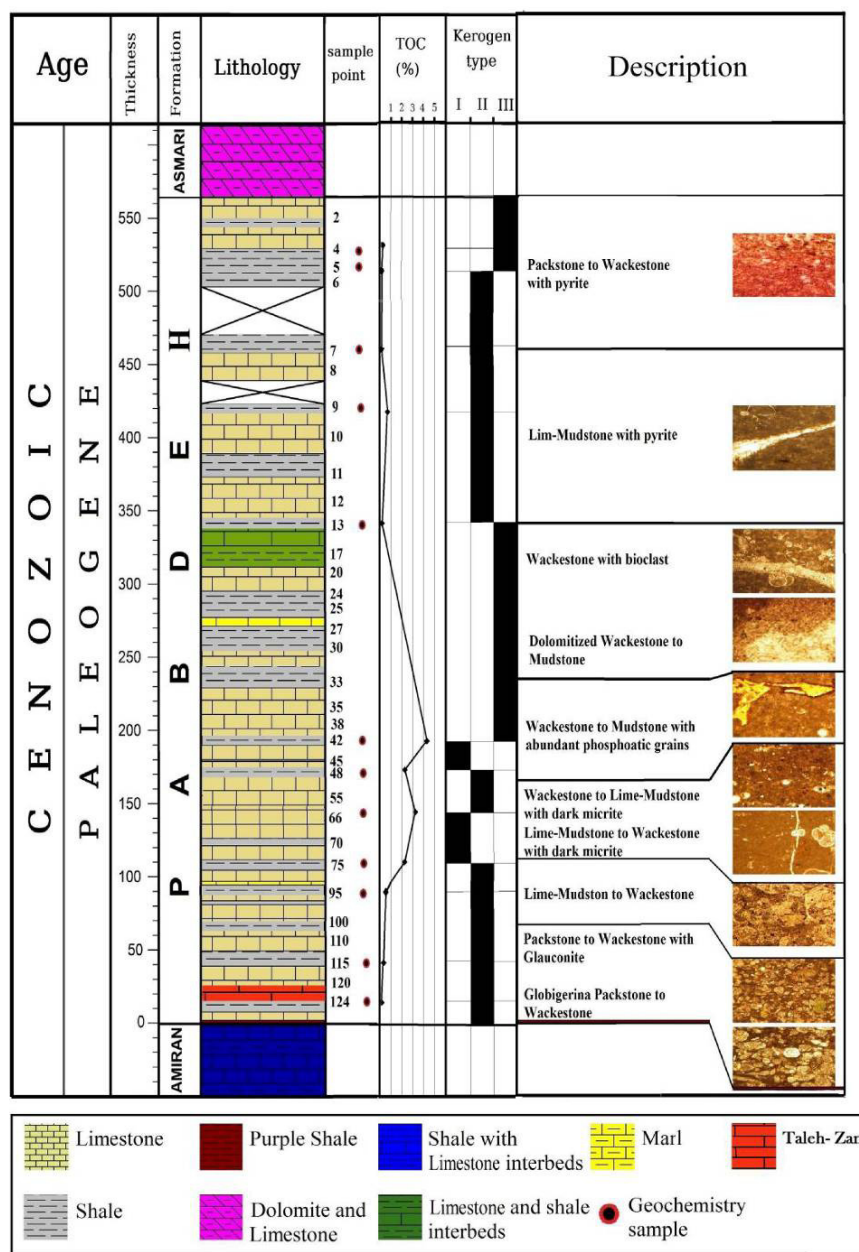


شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از [۱۲]، با اندکی تغییر)

مواد و روش‌ها

پس از انجام بررسی‌های صحرایی از رخنمون سازند پابده در منطقه گیلان‌غرب بر پایه تغییرات سنگ‌شناسی و عمود بر امتداد طبقات، از ژرفای ۴۰ تا ۵۰ سانتی‌متری زیر سطح رخنمون نمونه‌برداری صورت گرفت. از بین نمونه‌های برداشت شده (۳۰ نمونه)، تعداد ۱۲ نمونه شیلی به ویژه از لایه‌های شیلی تیره‌رنگ، که رنگ تیره‌تری نسبت به بقیه نمونه‌ها داشتند (شکل ۳)، انتخاب و به وسیله آسیاب پودر شدند. مقدار ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم از پودر نمونه‌ها با دستگاه پیرولیز راکایول ۳

در پژوهشگاه صنعت نفت آنالیز شدند (جدول ۱). سپس پارامترهای ژئوشیمیایی S_1 (مقدار هیدروکربن آزاد)، S_2 (توان هیدروکربن‌زایی)، S_3 (مقدار CO_2 موجود در کروژن که در اثر شکست حرارتی از نمونه تولید می‌گردد)، TOC (مقدار کل کربن آلی موجود در نمونه)، T_{max} (دمایی که پیک S_2 در آن بیشینه خود را نشان می‌دهد)، شاخص هیدروژن HI (S_2/TOC)، شاخص اکسیژن OI (S_3/TOC)، شاخص پتانسیل هیدروکربن‌زایی PI (S_1/S_1+S_2) محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول ۱).



شکل ۳. ستون چینه‌شناسی و نقاط نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. داده‌های بدست آمده از دستگاه پیرولیز راکایول بر روی نمونه‌های سازند پابده

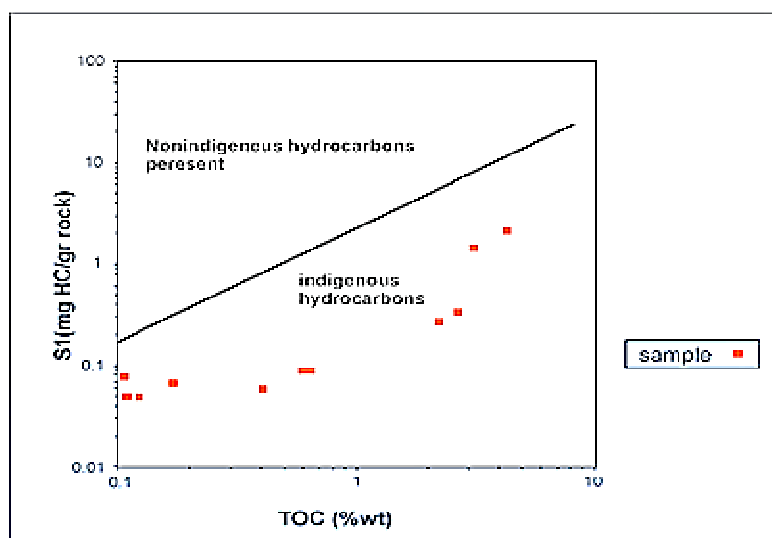
Sample No.	S1	S2	S3	Tmax	HI	OI CO ₂	TPI	PC	RC	TOC
4	0.07	0.22	0.34	429	129	200	0.24	0.02	0.15	0.17
5	0.05	0.07	0.2	426	60	182	0.43	0.01	0.1	0.11
7	0.08	0.13	0.22	440	130	220	0.38	0.02	0.08	0.1
9	0.09	1.5	0.42	435	234	66	0.06	0.13	0.51	0.64
13	0.04	0.03	0.26	432	40	325	0.55	0.01	0.07	0.08
42	2.16	28.93	0.49	431	670	11	0.07	2.58	1.74	4.32
48	0.27	8.72	1.01	435	400	46	0.03	0.75	1.43	2.18
66	1.46	2	0.45	431	639	14	0.07	1.78	1.35	3.13
75	0.33	0.83	1.29	429	364	48	0.03	0.84	1.86	2.7
95	0.09	1.86	0.32	437	321	55	0.05	0.16	0.42	0.58
115	0.06	1.03	0.28	439	251	68	0.06	0.09	0.32	0.41
124	0.05	0.18	0.1	474	150	83	0.22	0.02	0.1	0.12

نتایج و بحث

در این مطالعه سنگ منشاء احتمالی سازند پابده در سه بخش تعیین کمیت، کیفیت و بلوغ ماده آلی مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این‌ها، تا حدودی تعیین رخساره‌های زیستی، محیط رسوبی سنگ و شاخص تولید صورت گرفته است.

قبل از بیان ویژگی‌های مواد آلی در مطالعات ژئوشیمیایی اطمینان از آلودگی و یا آغشتگی نمونه‌ها بسیار ضروری می‌باشد، چرا که آلودگی نمونه‌ها، نتایج حاصل از پیرولیز راکایول را تحت تاثیر قرار می‌دهند. بدین منظور از

منحنی تغییرات S₁ در برابر TOC استفاده می‌شود. خط شیب‌دار در این نمودار خطی است که در تمامی نقاط آن نسبت S₁/TOC برابر با ۱/۵ می‌باشد، مقادیر بالای این خط نشان‌دهنده هیدروکربن‌های نابر جا (مهاجرت یافته و آلوده)، و مقادیر پایین این خط نشانه هیدروکربن‌های برجاست [۱۵]. همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، تمام نمونه‌های برداشت شده زیر خط آلودگی قرار گرفته‌اند. از همین‌رو احتمال آغشتگی و یا آلودگی در این نمونه‌ها دیده نمی‌شود، به‌ویژه آنکه این نمونه‌ها از رخنمون برداشت شده‌اند.



شکل ۴. نمودار S₁/TOC هیدروکربن‌های مهاجرت یافته را از هیدروکربن‌های برجاست تفکیک می‌کند (اقتباس از هانت [۱۵]).

کمیت ماده آلی

آلی فقیر بوده و به عنوان یک سنگ مولد ضعیف طبقه‌بندی می‌گردد. همان‌طور که مشخص است ۸۳/۳ درصد نمونه‌ها دارای S₁ برابر صفر تا ۰/۵ میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ هستند که نشان‌دهنده عدم تولید هیدروکربن می‌باشد. هم‌چنین ۸۳/۳ درصد از نمونه‌ها S₂ برابر صفر تا ۲/۵ میلی‌گرم هیدروکربن در هر گرم سنگ را دارا بوده است. این وضعیت نشان می‌دهد که سازند پایده پتانسیل هیدروکربن‌زایی پایینی دارد. از طرف دیگر ۷۵ درصد نمونه‌ها فراوانی مجموع پارامترهای S₁+S₂ از صفر تا ۳ میلی‌گرم هیدروکربن در هر گرم سنگ را نشان می‌دهند که بیانگر عدم زایش مناسب (قرار داشتن مواد آلی در انتهای مرحله دیانژن و آغاز زایش نفت) و پایین بودن پتانسیل باقی‌مانده در کروژن این سازند می‌باشد. حداقل و حداکثر کل کربن آلی (TOC) ۰/۱ تا ۴/۳۲ درصد می‌باشد که از نقطه نظر ژئوشیمیایی سازند پایده یک سنگ مادر فقیر و ضعیف بشمار می‌آید. از آنجایی که این نمونه از رخنمون‌ها برداشت شده‌اند، بنابراین لایه‌های مختلف این سازند در اعماق پایین (۱۸۰۰ تا ۲۶۰۰ متری) در ناحیه مطمئناً در مراحل پیشرفته بلوغ (مرحله کاتانژن) و زایش اصلی نفت قرار خواهند داشت.

مقدار ماده آلی، تحت عنوان کل کربن آلی (TOC) بیان می‌شود. رسوبی قادر به تولید نفت و گاز است که حداقل کربن آلی (TOC) معینی داشته باشد و این مقدار با توجه به نوع سنگ منشاء متفاوت است. برای ارزیابی سازند پایده در آغاز مقادیر S₁، S₂ و TOC حاصل از پیرولیز راک- ایول نمونه‌ها با مقادیر استاندارد مورد ارزیابی قرار گرفت. پیترز در سال ۱۹۸۶ سنگ منشأ را بر اساس شاخص‌های میزان محتوی کل کربن آلی (TOC)، پیک S₁ و S₂ تقسیم‌بندی کرد. سنگ منشأ احتمالی این منطقه براساس تقسیم‌بندی پیترز [۲۱] مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج این ارزیابی در جدول (۲) آمده است. بر طبق جدول ۲ مقدار TOC در قسمت‌هایی از بخش‌های میانی سازند و نمونه‌های شماره ۴۲، ۴۸، ۶۶ و ۷۵ بسیار خوب (۳۳٪) و نمونه‌های شماره ۹ و ۹۵ نیز وضع مناسبی نشان می‌دهند (۱۶/۴٪) و بقیه نمونه‌ها میزان کمتر از ۰/۵ درصد را نشان می‌دهند (۵۰/۴٪) و پتانسیل ضعیفی از توان تولید هیدروکربن را نشان می‌دهند که مقدار ماده آلی آن‌ها به قدری کم است که قادر به خارج شدن از سنگ منشأ نمی‌باشند. با توجه به این نتایج جدول (۳) می‌توان گفت که سازند پایده از لحاظ مواد

جدول ۲. تقسیم‌بندی سنگ‌های منشأ هیدروکربنی بر اساس توان تولید هیدروکربن [۲۱]

توان تولید هیدروکربن	TOC (Wt%)	S ₁ (mg HC/ g rock)	S ₂ (mg HC/ g rock)	S ₁ +S ₂ (mg HC/ g rock)
ضعیف	۰/۰ - ۰/۵	۰ - ۰/۵	۰ - ۲/۵	۰ - ۳
مناسب	۰/۵ - ۱	۰/۵ - ۱	۲/۵ - ۵	۳ - ۶
خوب	۱ - ۲	۱ - ۲	۵ - ۱۰	۶ - ۱۲
بسیار خوب	بیش‌تر از ۲	بیش‌تر از ۲	بیش‌تر از ۱۰	بیش‌تر از ۱۲

جدول ۳. نتایج بدست آمده براساس تقسیم‌بندی سنگ‌های منشأ هیدروکربنی براساس محتوی توان تولید هیدروکربن (براساس معیار پیترز [۲۱])

شماره نمونه	مقدار TOC	ارزیابی براساس TOC	مقدار S ₁	ارزیابی براساس S ₁	مقدار S ₂	ارزیابی براساس S ₂	مقدار S ₁ +S ₂	ارزیابی براساس S ₁ +S ₂
۴	۰/۱۷	ضعیف	۰/۰۷	ضعیف	۰/۲۲	ضعیف	۰/۲۹	ضعیف
۵	۰/۱۱	ضعیف	۰/۰۵	ضعیف	۰/۰۷	ضعیف	۰/۱۲	ضعیف
۷	۰/۱	ضعیف	۰/۰۸	ضعیف	۰/۱۳	ضعیف	۰/۲۱	ضعیف
۹	۰/۶۴	مناسب	۰/۰۹	ضعیف	۱/۵	ضعیف	۱/۵۹	ضعیف
۱۳	۰/۰۸	ضعیف	۰/۰۴	ضعیف	۰/۰۳	ضعیف	۰/۰۷	ضعیف
۴۲	۴/۳۲	بسیار خوب	۲/۱۶	بسیار خوب	۲/۹۳	مناسب	۵/۰۹	مناسب
۴۸	۲/۱۸	بسیار خوب	۰/۲۷	ضعیف	۸/۷۲	خوب	۸/۹۹	خوب
۶۶	۳/۱۳	بسیار خوب	۰/۴۶	خوب	۲	ضعیف	۳/۴۶	مناسب
۷۵	۲/۷	بسیار خوب	۰/۳۳	ضعیف	۰/۸۳	ضعیف	۱/۱۶	ضعیف
۹۵	۰/۵۸	مناسب	۰/۰۹	ضعیف	۱/۸۶	ضعیف	۱/۹۵	ضعیف
۱۱۵	۰/۴۱	ضعیف	۰/۰۶	ضعیف	۱/۰۳	ضعیف	۱/۰۹	ضعیف
۱۲۴	۰/۱۲	ضعیف	۰/۰۵	ضعیف	۰/۱۸	ضعیف	۰/۲۳	ضعیف

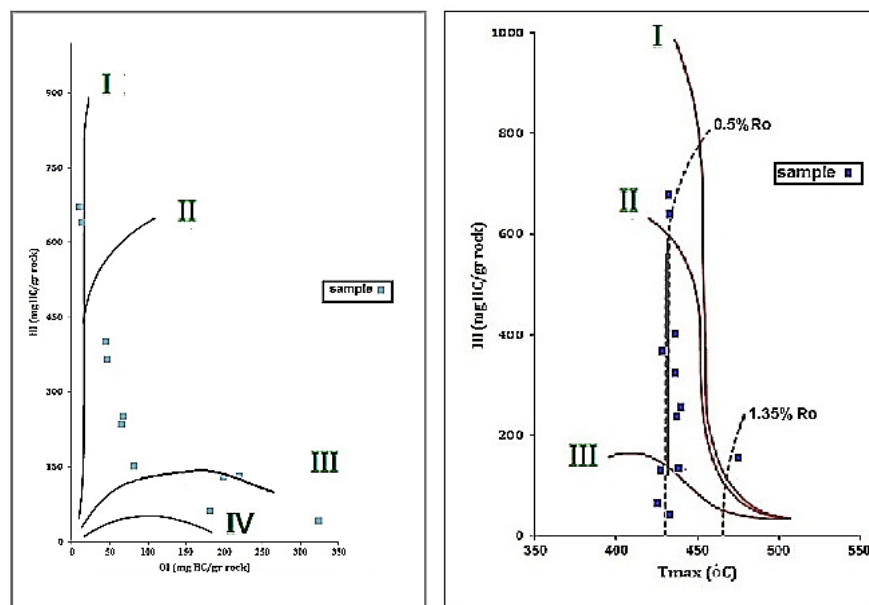
کیفیت ماده آلی

برای پی‌بردن به نوع کروژن می‌توان از نمودار تغییرات HI (شاخص هیدروژن) در برابر OI (شاخص اکسیژن) که به نوعی می‌شود آن را دیاگرام ون کروژن تصحیح شده قلمداد نمود که یکی از راه‌های تعیین درجه کیفیت مواد آلی و نیز تعیین نوع کروژن توسط دستگاه پیرولیز راک ایول، با استفاده از Tmax است [۱۵]. در نمودار تغییرات HI در برابر Tmax نوع کروژن و میزان بلوغ آن‌ها نمایش داده شده است (شکل ۵). کروژن این سازند از نوع II و III با اندکی نوع I تعیین گردید که کروژن نوع I و II نشان‌دهنده‌ی مواد آلی محیط دریایی تا دریایی باز بوده در حالی که نوع III معرف مواد آلی منشأ گرفته از محیط قاره‌ای است.

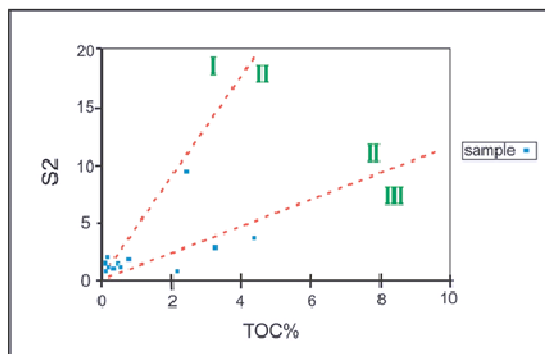
نوع کروژن نمونه‌ها در منطقه گیلان غرب غالباً تلفیقی از کروژن‌های نوع II, III بوده هرچند تعداد اندکی از نمونه با داشتن بیش‌ترین میزان TOC و HI بالا، کیفیت بسیار خوبی را نشان می‌دهند که بیانگر وجود مواد آلی با کروژن نوع I (به میزان کم) در بخش‌های میانی این سازند می‌باشد. این دیاگرام، تیپ کروژن‌ها را بیش‌تر از نوع II معرفی می‌نماید که به نظر می‌رسد که علت اصلی این فراوانی این نوع کروژن، این نکته باشد که سازند پابده بیش‌تر دارای رخساره دریایی می‌باشد. در شکل (۵) راست) می‌توان به روشنی دید که بیش‌تر نمونه‌ها از نظر

Ro یا ضریب انعکاس نور ویتروینیت نیز در محدوده ۰/۵ تا ۱/۳۵ قرار دارند که بیانگر ورود برخی از نمونه‌های سازند پابده در این منطقه به پنجره نفتی است.

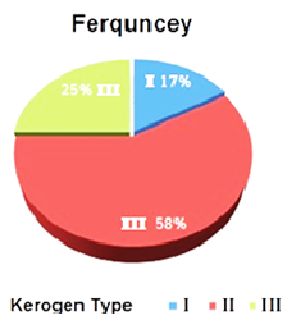
روش دیگر تعیین نوع کروژن استفاده از نمودار S2 در مقابل TOC است [۱۹]. در شکل ۶ خطوط منقطع به عنوان مرزهای بین انواع کروژن‌های I و II و نیز کروژن‌های II و III در دیاگرام S₂ در برابر TOC می‌باشد. نمونه‌های سازند مورد مطالعه بر روی این دیاگرام در محدوده‌ای وسیع (I, II و III) قرار گرفته‌اند. اما تیپ اصلی کروژن آن‌ها، از نوع II می‌باشد (شکل‌های ۵ و ۶). بیش‌ترین نوع کروژن نمونه‌های مطالعه شده، کروژن نوع II با فراوانی ۵۸ درصد است. کروژن نوع I دارای فراوانی ۱۷ و کروژن نوع III دارای فراوانی ۲۵ درصد است (شکل ۷). البته نمی‌توان در مورد نوع کروژن‌ها اظهار نظر قطعی نمود و بدین منظور انجام مطالعات میکروسکوپی نور بازتابی بر روی ماسرال‌های کروژن به ویژه ویتروینیت و میزان رسیدگی آن‌ها، ضروری به نظر می‌رسد. نتایج به دست آمده با نتایج مطالعات بهبهانی و دیگران [۲] بر روی نمونه‌های سازند پابده در زون زاگرس چین‌خورده (منطقه ایلام و اسلام آباد غرب) همخوانی دارد. آن‌ها بیش‌تر تیپ کروژن این منطقه را مخلوطی از کروژن‌های تیپ II-III و II با برتری تیپ II گزارش نمودند.



شکل ۵. نمودار تغییرات شاخص هیدروژن (HI) در برابر Tmax جهت تعیین سطح پختگی مواد آلی و نوع کروژن (راست)، تفکیک انواع کروژن نمونه‌های مطالعه شده بر اساس نمودار تغییرات HI در برابر OI (چپ).



شکل ۶. تفکیک انواع کروژن نمونه‌های مطالعه شده بر اساس نمودار S2 در مقابل TOC که بیانگر نوع کروژن می‌باشد (اقتباس از لنگفورد و بلانک ولرون [۱۹]).



شکل ۷. نمودار فراوانی انواع کروژن سازند پابده در نمونه‌های مطالعه شده

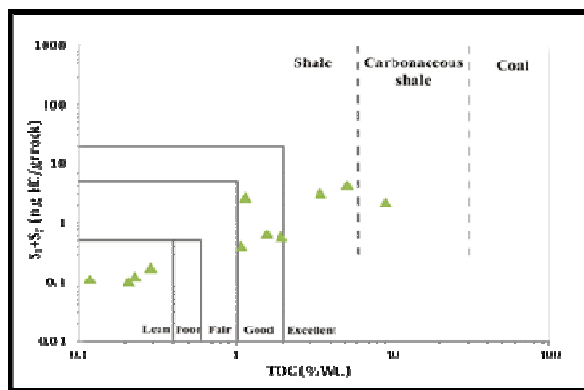
شرایط بهتری برای حفظ ماده آلی کل می‌باشد (شکل ۱۰).

بر اساس مطالعات صورت گرفته توسط پیترز [۲۱]، در سنگ منشاهایی که HI آن‌ها بالای (۳۰۰ mgHC/g) می‌باشد، نفت تولید می‌شود، در سنگ‌هایی که مقدار HI آن‌ها بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ می‌باشد، نفت و مقداری گاز تولید خواهد شد، سنگ‌هایی که مقدار HI آن‌ها بین ۵۰ تا ۱۵۰ می‌باشد، گازها هستند و سنگ‌هایی با HI کم‌تر از ۵۰ خنثی و عقیم به شمار آمده و توان تولید هیدروکربن ندارند. حداقل HI در سنگ منشأهای مستعد تولید نفت و مستعد تولید گاز بین ۱۵۰ تا ۲۵۰ است [۱۵]. بر این اساس و با توجه به جدول (۴) و شکل (۱۱) حدود ۴۱/۷ درصد نمونه‌ها توان تولید نفت جزئی دارند و ۲۵ درصد نمونه‌ها گاززا و ۸/۳ درصد خنثی هستند، نکته‌ای که با وجود نوع کروژن غالب یعنی مخلوطی از کروژن‌های II و III همخوانی دارد. با در نظر گرفتن مطالب بالا و همچنین بر اساس HI در مقابل TOC سنگ منشأ سازند پابده در منطقه مورد مطالعه از نوع توانایی تولید گاز با اندکی نفت نسبتاً خوب ارزیابی می‌گردد.

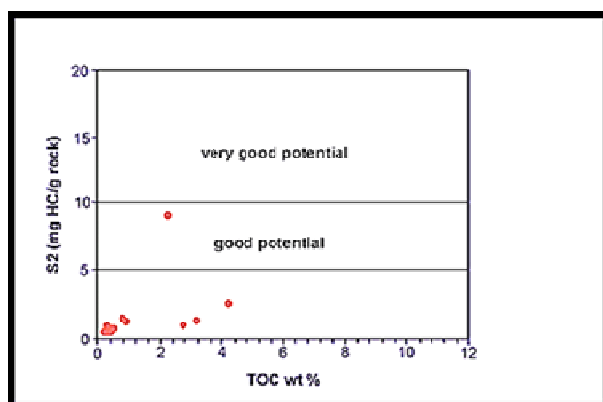
توان پتانسیل هیدروکربن‌زایی

برای تعیین توان و پتانسیل هیدروکربن‌زایی سازند پابده از نمودار تغییرات S1+S2 در برابر TOC استفاده می‌گردد [۱۴] (شکل ۸). این نمودار برای نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که سازند پابده با داشتن مقادیر پائین و بالا از هر دو پارامتر فوق دارای پتانسیل ضعیف تا بسیار خوب است. این امر به احتمال زیاد به دلیل تعلق نمونه‌های بررسی شده به رخساره‌های متفاوت است [۵].

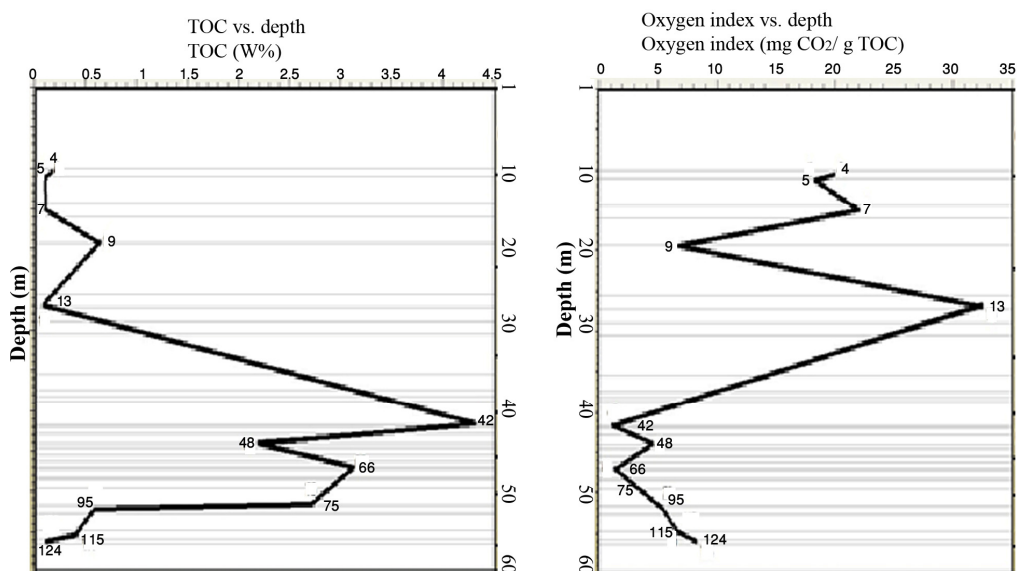
دیگرام S2 در برابر TOC ابزاری بسیار مناسبی برای ارزیابی ویژگی‌های مواد آلی می‌باشد، یکی از کاربردهای این دیگرام، تعیین پتانسیل نفتی واحدهای رسوبی است. خطوط افقی در مقادیر S2=۱۰ و S2=۵ در این دیگرام (شکل ۹)، نشان می‌دهد که نمونه‌های سازند پابده دارای پتانسیل هیدروکربنی تقریباً ضعیفی است. به غیر از چهار تا از نمونه‌ها (۴۲، ۴۸، ۶۶ و ۷۵) که مقدار پتانسیل هیدروکربنی بهتری دارند که به ترتیب مقدار TOC آن‌ها برابر با ۴/۳۲، ۲/۱۸، ۳/۱۳ و ۲/۷ درصد وزنی است. این نمونه‌ها در مترهاژ ۴۰۰ تا ۵۰۰ متری ستون چینه‌شناسی سازند پابده واقع شده و پتروگرافی این بخش مادستون با تناوب لایه‌های شیلی می‌باشد [۵] که به دلیل عمیق شدن حوضه و کاهش مقدار اکسیژن محیط و ایجاد



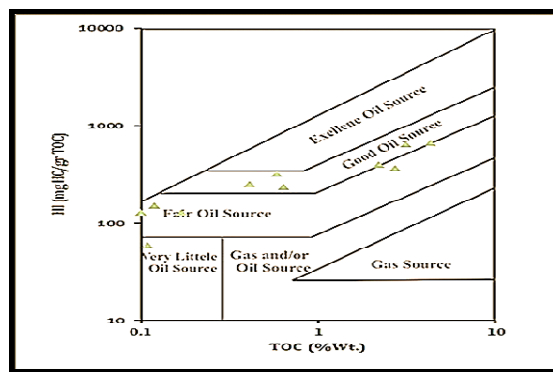
شکل ۸. نمودار تغییرات S1+S2 در برابر TOC به منظور ارزیابی پتانسیل ژنتیکی نمونه‌های مورد مطالعه در سازند پابده



شکل ۹. نمودار S2 در برابر TOC برای تعیین پتانسیل نفتی مورد انتظار در واحدهای رسوبی (اقتباس از پیترز [۲۱])



شکل ۱۰. راست: نمودار میزان اکسیژن بدست آمده در مقابل عمق و چپ: نمودار TOC (%) در مقابل عمق. با توجه به کاهش اکسیژن می توان گفت محیط عمیق تر و شرایط حفظ ماده آلی کل بهتر است.



شکل ۱۱. نمودار HI در مقابل TOC برای تعیین نوع پتانسیل تولیدی (اقتباس از جکسون و همکاران [۱۶])

جدول ۴. پارامترهای ژئوشیمیایی تعیین کننده نوع هیدروکربن تولید شده [۲۱]

Hydrocarbon	HI	Sample No.
Inactive	50<	13
Gas	50 – 150	4,5,7
Gas & Oil	150 – 300	9,115,124
Oil	300<	42,48,66,75,95

افت نسبی سطح آب دریا هستند (شکل ۱۳)، که نتایج شکل ۱۲ را تایید می‌کند و محدوده آب‌های بستر اکسیژن‌دار را نشان می‌دهد.

اثر ماتریکس

یکی دیگر از کاربردهای دیاگرام S_2 در برابر TOC میزان جذب هیدروکربن توسط ماتریکس سنگ می‌باشد. مقدار هیدروکربن تولید شده از پیرولیز کل سنگ با کروژن رها شده از آن سنگ متفاوت است و این زمانی نمود دارد که مقدار ماده آلی آن نمونه کم باشد. از دلایل این امر اثر خمیره کانی است. پس از حرارت دادن نمونه هیدروکربن‌های سبک آزاد می‌شوند ولی هیدروکربن‌های سنگین‌تر در اثر جذب سطحی بر روی کانی‌ها، به خصوص کانی‌های رسی که از نظر جذب سطحی فعال هستند به تله می‌افتند. اثر خمیره کانی بر روی مقدار هیدروکربن سنگین آزاد شده در طی پیرولیز اثر دارد ولی اثر آن بر روی هیدروکربن‌های سبک بسیار کم‌تر است و موجب کاهش مقدار S_2 و TOC می‌شود. اثر ماتریکس با قطع شدگی در جهت مثبت محور x در دیاگرام S_2 در برابر TOC مشخص می‌شود و موقعیت این تقاطع، معیاری برای مقدار جذب شدگی است. همان‌گونه که در شکل (۱۴) مشاهده می‌شود، خط رگرسیون حاصل از

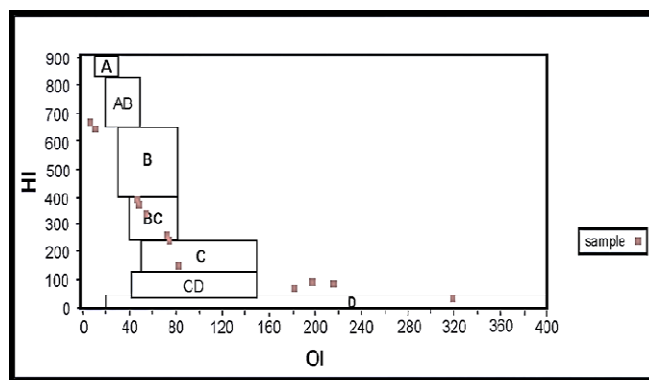
شرایط رسوبی و رخساره آلی

برای تعیین رخساره آلی از نمودار جونز [۱۸] استفاده شده است. در این نمودار براساس تغییرات مقادیر HI در برابر OI، محدوده رخساره‌های سازند مورد مطالعه تعیین شده است (شکل ۱۲). جونز [۱۸] نشان داده است که رسوبات متعلق به رخساره‌های BC و C نشانگر رسوبات فلات قاره و شیب قاره دوران مزوزوئیک و ترشیاری بوده که در حاشیه‌های قاره‌ای نهشته شده‌اند، در حالی که رسوبات مربوط به رخساره‌های CD در نواحی قاره‌ای رسوب‌گذاری نموده‌اند. همان‌طور که در شکل (۱۲) قابل مشاهده است، بیش‌تر نمونه‌های سازند پابده در این منطقه رخساره آلی BC و C را نشان می‌دهند که نمایانگر رسوب‌گذاری در محیط‌های رسوبات فلات قاره و شیب قاره بوده در حاشیه‌های قاره‌ای با شرایط نسبتاً اکسیدان می‌باشند. هرچند رخساره‌های آلی دیگر نیز به میزان کم‌تر در میان نمونه‌ها به چشم می‌خورند.

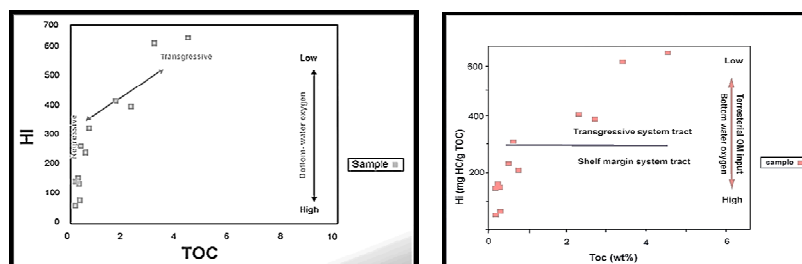
نمودار تغییرات HI در برابر TOC سازند پابده (شکل ۱۳) نشان داده است که با افزایش شاخص هیدروژن، مقدار کربن آلی نیز فزونی می‌یابد به طوری که رابطه‌ای مستقیم را با یکدیگر نشان می‌دهند (شکل ۱۳). این امر نشان‌دهنده حفظ شدن مواد آلی در شرایط اکسیدان است [۴]. بسیاری از نمونه‌های سازند پابده نشانه شرایط

نمونه‌های این سازند را در جهت منفی آن قطع می‌کنند (X = -۰/۶۱)، این امر به دلیل پایین بودن کیفیت نمونه‌ها از لحاظ غنای مواد آلی (پایین بودن میانگین S₂) بوده و شیب خط رگرسیون نیز ایده‌آل نمی‌باشد. زیرا خط رگرسیون حاصل از آن، منحنی TOC را در جهت منفی قطع می‌کند، که با توجه به مقدار آن می‌توان گفت که ماتریکس موجود در این نمونه‌ها به مقدار قابل‌توجهی

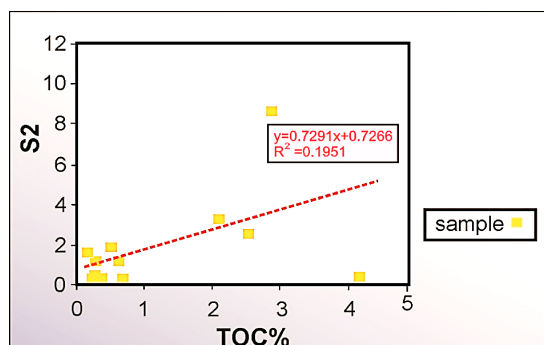
هیدروکربن را جذب نموده‌اند. می‌توان گفت با توجه به اینکه غالب سنگ‌های منشاء حوضه رسوبی زاگرس، دارای عمدتاً ماتریکس کربناته می‌باشند، نمی‌توان انتظار داشت که ماتریکس سنگ بتواند مقدار قابل‌توجهی هیدروکربن جذب نماید و اصولاً مقدار جذب هیدروکربن توسط ماتریکس‌های کربناته در مقایسه با ماتریکس‌های رسی بسیار کمتر می‌باشد [۳].



شکل ۱۲. نمودار تعیین رخساره آلی با استفاده از نسبت تغییرات HI در برابر OI. ویژگی‌های محدوده‌های مشخص شده عبارتند از: A = محیط دریاچه‌ای شدیداً احیایی، AB = محیط‌های دریایی پیشرونده احیایی، B = محیط‌های دریایی یا دریاچه‌ای نسبتاً احیایی، BC = محیط‌های دارای مواد آلی دریایی و قاره‌ای و رسوبگذاری سریع در شرایط نسبتاً اکسیدان، C = محیط‌هایی با سرعت رسوبگذاری متوسط در شرایط احیایی، CD = محیط‌های عمیق در مجاورت نقاط کوهزایی، D = محیط‌های قاره‌ای شدیداً اکسیدان [۱۸].



شکل ۱۳. نمودار تغییرات ماده آلی (TOC) در برابر شاخص هیدروژن (HI) در سازند پابده به منظور تعیین شرایط محیط رسوب‌گذاری آن‌ها.



شکل ۱۴. نمودار S₂ در برابر TOC که نشان می‌دهد نمونه‌های سازند پابده تحت تاثیر جذب از سوی ماتریکس بوده‌اند.

نتیجه‌گیری

- مقدار کل کربن آلی (TOC) در بخش‌های میانی سازند پابده در این منطقه پتانسیل قابل قبولی را نشان می‌دهد.
- سازند پابده با مقدار کل کربن آلی (TOC) بین ۰/۱۲ درصد تا ۴/۳۲ درصد دارای پتانسیل ضعیف تا بسیارخوب است، این امر به احتمال زیاد به دلیل متغیر بودن شرایط محیط رسوب‌گذاری در زمان نهشته شدن این سازند است.

- انواع کروژن در این منطقه تلفیقی از کروژن‌های نوع II و III با تمایل بیش‌تر به کروژن نوع II است. علت اصلی فراوانی این نوع کروژن در سازند پابده ناشی از چیرگی رخساره‌های دریایی تشکیل دهنده این سازند می‌باشد.

- بیش‌تر نمونه‌های سازند پابده از نظر میزان Ro (ماسرال ویترینت) یا ضریب انعکاسی نور نیز در محدوده ۰/۵ تا ۱/۳۵ قرار دارند که بیانگر ورود اندکی از نمونه‌های سازند پابده در این منطقه به پنجره نفتی است.

- براساس تغییرات مقادیر HI در برابر OI، محدوده رخساره‌ای سازند مورد مطالعه به رخساره‌های BC و C نشانگر شرایط نهشته‌گی احتمالی کمی اکسیدان بوده که موید قرارگیری این بخش از حوضه رسوبی در ناحیه فلات قاره و شیب قاره می‌باشد. فراوانی کروژن II و تا حدی تیپ III دلیل قابل قبولی برای این نتیجه‌گیری می‌باشد.

- تغییرات S1+S2 در برابر TOC نشان می‌دهند پتانسیل پائین و بالا از هر دو پارامتر فوق دارای پتانسیل ضعیف تا بسیارخوب است. این امر به احتمال زیاد به دلیل تغییر شرایط محیط رسوب‌گذاری در زمان نهشته شدن این سازند است.

- به نظر می‌رسد مواد آلی این سازند در افق‌های پایین در ناحیه مورد مطالعه از نقطه نظر ژئوشیمیایی کاملاً وارد پنجره نفت‌زایی شده باشند.

سپاسگزاری

هزینه‌های مالی انجام این پژوهش از سوی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه بوعلی‌سینا همدان در چارچوب پژوهانه به نویسنده نخست فراهم گردید. کمک‌های فراوان آقای حمزه شیرزادی خاص و خانواده محترم‌شان در هنگام بررسی‌ها و برداشت‌های صحرائی و مهمان

نوازی ایشان مایه سپاس فراوان است. از آقای مرتضی حسن‌زاده نعمتی برای کمک در نمونه‌برداری قدردانی می‌گردد. نظرات سودمند و نقد دقیق و موشکافی داوران سبب رفع کاستی‌ها و بهبود کیفیت علمی مقاله گردیده است.

منابع

- [۱] اشکان، م (۱۳۸۳) اصول مطالعات ژئوشیمیایی سنگ منشاء هیدروکربوری و نفت‌ها، انتشارات روابط عمومی شرکت ملی نفت ایران، ۳۵۵ ص.
- [۲] بهبهانی، ر، لک، ر، خدابخش، س، محسنی، ح، آتش‌مرد، ز، و معینی، م (۱۳۸۹) تعیین سیستم تراکت، نوع کروژن و پتانسیل هیدروکربن‌زایی با استفاده از شاخص‌های راک اول (مثال‌هایی از سازند پابده، زیر زون رزن - آبگرم و رسوبات بستر خلیج فارس)، مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۳۸، ص ۱۲۱-۱۴۴.
- [۳] حسینی، ح، علیزاده، ب، فلاوند، ه (۱۳۸۵) تعیین میزان جذب هیدروکربن توسط کانی‌های رسی موجود در ماتریکس سنگ منشاء، سازند سرگلو، میدان نفتی مسجد سلیمان. چهاردهمین همایش کانی‌شناسی و بلورشناسی ایران، ۱۲ و ۱۳ بهمن ماه ۱۳۸۵ دانشگاه بیرجند.
- [۴] علیزاده، ب، و جانباز، م (۱۳۸۸) مدل‌سازی بلوغ حرارتی در میدان نفتی رگ سفید- جنوب غرب ایران"، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۵، شماره ۴، ص ۱۱۹-۱۲۹.
- [۵] منصوری، ح (۱۳۹۴) بررسی محیط رسوبی، ژئوشیمی آلی و دیاژنز سازند پابده در شهرستان گیلان‌غرب، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم پایه دانشگاه بوعلی‌سینا همدان، ۱۰۶ ص.
- [۶] موسوی، م، ح، عبدالزاده، س، کمالی، م، ر، شایسته، م، احمدی، ا، کعبی مفرد، ا (۱۳۹۱) ژئوشیمی آلی سنگ‌های منشاء کرتاسه بالایی (سازند گورپی) و پالئوزن (سازند پابده) در میدان نفتی پر سیاه، شمال باختری ایذه، مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۴۹، ص ۱-۲۴.

- [7] Ala, M.A., Kinghorn, R.R.F., and Rahman, M (1980) Organic geochemistry and source rock characteristics of the Zagros petroleum province, South West Iran, *JPG, V. 3 (1)*, p. 61-89.

- Basin, Iran, N. Jb. Geol. Palaont. Abh. v. 262(1), p 59-77.
- [21] Peters, K.E (1986) Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis, AAPG Bulletin, v. 70, p. 318-329.
- [22] Stocklin, J (1968) Structural history and tectonics of Iran, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 52 (7), p. 1229-1258.
- [8] Alizadeh, B., Hosseini, S.H., Ghalavand, H (2006) Rock-Matrix Adsorption Effect on Hydrocarbon Expulsion in Masjid-e-Soliman Oilfield, SW Iran. Petroleum Geology Conference and Exhibition. 27-28 November 2006, Malaysia.
- [9] Berberian, M (1977) Contribution to the seismotectonics of Iran (part 3), Geol. Min. Surv. Iran Rep. No. 40, 300 P.
- [10] Bordenave, M. L., and Huc. A.Y (1995) The Cretaceous source rocks in the Zagros Foothills of Iran, Revue de Institut Francais du Petrole, v. 50, p. 727- 754.
- [11] Bordenave, M.L., and Burwood, R (1990) Source rock distribution and maturation in the Zagros orogenic belt, Provenance of the Asmari and Bangestan reservoir oil accumulations, Organic geochemistry, V.16 (1-3) p. 369-378.
- [12] British Petroleum Company Ltd., (1963) Geological Map of Qasr-E-Shirin, Scale 1:250000.
- [13] Falcon, N.L (1961) Major earth- flexuring in the Zagros mountains of south- west Iran, Quarterly Journal of the Geological Society, v. 117, p. 367-376.
- [14] Huang, D.F., Liu, B., Wang, Y., Xuschen, P. and Zhao, M (1999) Genetic type and maturity of lower Paleozoic marine hydrocarbon gases in the eastern Tarim Basin. Chemical Geology, v. 162, p. 65-77.
- [15] Hunt, J.M (1996) Petroleum geochemistry and geology, 2nd ed. Freeman and Company, New York, 743 p.
- [16] Jackson, K.S., Hawkins, P.J. and Bennett, A.J.R., (1985), "Regional facies and geochemical evaluation of southern Denison Trough". APEAJ. v. 20, p. 143-158.
- [17] James, G. A., Wynd, J. G (1965) Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area, AAPG Bulletin, v. 49, p. 2182-2245.
- [18] Jones, R.W (1987) Organic facies, In: Brooks, J., Welte, D. (Eds.), Advances in petroleum geochemistry, Academic Press, New York, p. 1-90.
- [19] Langford, F.F., Blanc-Valleron, M.M (1990) Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydrocarbons vs. Total organic Carbon., AAPG Bulletin, v.47, (6), p.799-840.
- [20] Mohseni, H., Behbahani, R., Khodabakhsh, S., and Atashmard, Z (2011) Depositional environments and trace fossil assemblages in the Pabdeh Formation (Paleogene), Zagros