

تعیین سیستم تراکت، نوع کروژن و پتانسیل هیدروکربن زایی با استفاده از پارامترهای راک اول (مثال‌هایی از سازند پابده، زیر زون رزن - آبگرم و رسوبات بستر خلیج فارس)

رضا بهبهانی، کارشناس ارشد رسوب شناسی، سازمان زمین شناسی کشور*

راضیه لک، استادیار، سازمان زمین شناسی کشور

سعید خدابخش، دانشیار، گروه زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان

حسن محسنی، استادیار، گروه زمین شناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان

زهرة آتش مرد، کارشناس ارشد رسوب شناسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

مجید معینی، کارشناس ارشد، سازمان زمین شناسی کشور

چکیده

به منظور بررسی نقش پارامترهای راک - اول در تعیین نوع کروژن، سیستم تراکت و پتانسیل هیدروکربن زایی، سه ناحیه متفاوت سازند پابده در زون زاگرس چین خورده، زیر زون رزن- آبگرم (رسوبات ژوراسیک برش ده لیان و قمشلو) و مغزه ۱۵ متری از رسوبات بستر خلیج فارس در ناحیه بوشهر مورد نمونه برداری قرار گرفتند. مشاهدات صحرایی و بررسی‌های صورت گرفته بر رخساره‌های ژوراسیک زیر زون رزن- آبگرم نمایانگر آن است که برش قمشلو از چهار بخش (ماسه سنگ زیرین، شیل‌های ماسه‌ای، ماسه سنگ بالایی و تناوب ماسه سنگ با شیل‌های میکادار) و برش ده لیان از پنج بخش (شیل، سیلتستون، ماسه سنگ زیرین، آهک‌های ماسه‌ای و ماسه سنگ بالایی) تشکیل شده است. بر اساس مطالعات مشابه انجام شده بر رخساره‌های سازند پابده (مادستون، پکستون، وکستون و شیل) هفت گروه رخساره میکروسکوپی (Microfacies) شناسایی گردیدند. بر اساس آنالیز دانه بندی صورت گرفته بر مغزه مطالعه شده از رسوبات بستر خلیج فارس در منطقه ساحلی بوشهر ۵ نوع رسوب سیلت رسی، رس سیلتي، گل ماسه‌ای، گل گراولی و ماسه گلی گراولی شناسایی شدند.

بر پایه مطالعات ژئوشیمی آلی، ۶۵ درصد نمونه‌های بیتومین دار بخش‌های میانی و تحتانی سازند پابده در مرحله بالغ (تولید نفت) و ۳۵ درصد آن‌ها در مرحله نابالغ قرار گرفته‌اند. بر اساس همین مطالعات نمونه‌های زیر زون رزن- آبگرم، گاز زا می‌باشند

ولی از نظر توان هیدرو کربن زایی در رتبه ضعیف (Poor) قرار می‌گیرند. با بررسی کروژن‌های مطالعه شده، در سازند پابده فراوانی با کروژن‌های تیپ II و II-III، در مغزه بوشهر فراوانی با کروژن‌های تیپ II، III و مخلوط II-III و در زیر زون رزن - آبگرم فراوانی با کروژن‌های تیپ III و IV می‌باشد. بر اساس دیاگرام شاخص هیدروژن در برابر TOC، نتایج زیر بدست می‌آید: برای مغزه بوشهر، ۷۳ درصد از نمونه‌های مطالعه شده مرحله پیشروی آب دریا و ۲۷ درصد مرحله سطح پایین آب را نشان می‌دهند. همچنین نمونه‌های سازند پابده مرحله پیشروی آب دریا و نمونه‌های زیر زون رزن - آبگرم مرحله سطح پایین آب را نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: راک-اول، کروژن، سیستم تراکت، پتانسیل هیدروکربن زایی، مرحله پیشروی آب دریا، ژئوشیمی آلی.

مقدمه

پیرولیز راک-اول اطلاعات مفیدی در مورد مقدار ماده آلی، نوع و کیفیت ماده آلی، پتانسیل باقیمانده نمونه و تحول حرارتی ماده آلی می‌دهد (Hunt 1995). نمونه‌های مورد استفاده در پیرولیز می‌تواند به صورت خردده‌های حفاری، مغزه و یا حتی نمونه‌های سطح الارضی باشد. جهت پیرولیز، اغلب از نمونه سنگ پودر شده و بعضاً از کروژن تخلیص شده استفاده می‌شود. پیرولیز راک-اول ساده ترین و سریع ترین روشی است که جهت توصیف پتانسیل تولید هیدروکربن سنگ‌های منشا بکار می‌رود (Hunt 1995).

در این نوشتار سعی شده است که با بررسی پارامترهای پیرولیز راک-اول در سه ناحیه متفاوت {سازند شمشک و هم ارزهای چینه شناسی آن در زیر زون رزن-آبگرم (برش سطحی ده لیان در بین طول‌های ۴۸ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی و در بین عرض‌های ۳۴ درجه و ۴۸ دقیقه و ۴۸ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۴۸ دقیقه و ۵۲ ثانیه شمالی و برش سطحی قمشلو در بین عرض‌های ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و طول‌های ۴۹ درجه و ۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۸ دقیقه شرقی)، سازند پابده در زون زاگرس چین خورده در شمال غرب ایلام (برش سطحی گردنه رنو در طول ۴۶ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض ۳۳ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی) و رسوبات بستر خلیج

فارس در ناحیه بوشهر (طول ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و عرض ۲۸ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی) { به نوع کروژن‌های تشکیل شده، سیستم تراکت و به طور کلی پتانسیل زایشی هیدروکربن آن‌ها پی برده شود (شکل ۱). در ضمن به طور مختصر به محیط رسوبی، چینه شناسی و رسوب شناسی آن‌ها نیز پرداخته شده است.

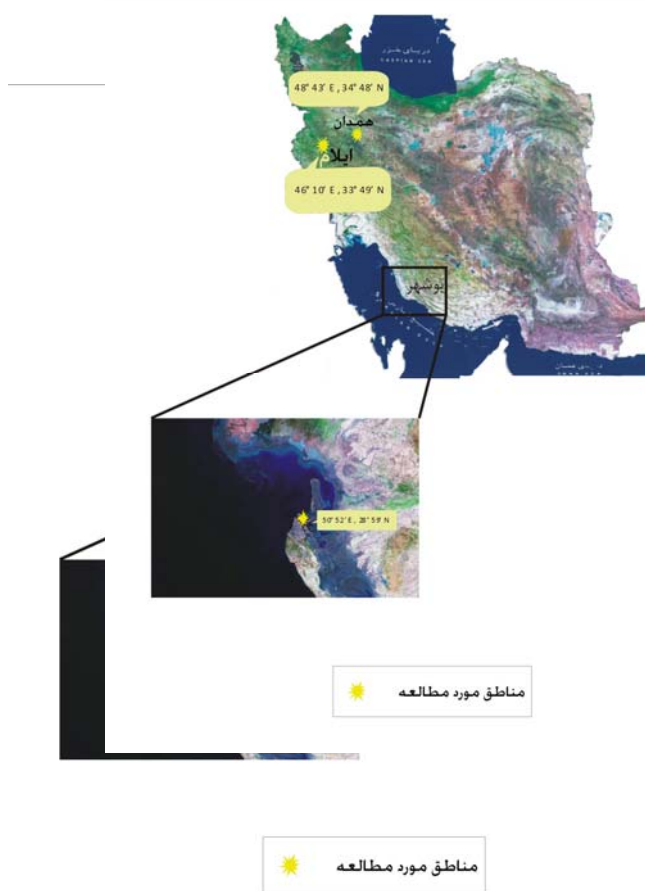
ویژگی‌های زمین شناسی مناطق مورد مطالعه

از نظر تقسیمات زمین ساختی، سرزمین ایران به پنج زون اصلی تقسیم می‌گردد (Stocklin 1968). مناطق مورد مطالعه به ترتیب بخشی از زیر زون‌های آبگرم-رزن (از نظر ساختمانی برش‌های سطحی قمشلو و ده لیان بین زون‌های ایران مرکزی و سنج-سیرجان واقع شده است)، زون زاگرس چین خورده (سازند پابده) و خلیج فارس می‌باشد.

زیر زون آبگرم (برش سطحی قمشلو) با روند شمال غرب - جنوب شرق در قسمت جنوبی رشته کوه البرز واقع شده است و شباهت لیتولوژیکی فراوانی با زون البرز نشان می‌دهد (Bolourchi 1979). در برخی قسمت‌های این منطقه بر روی رسوبات تریاس رخساره‌های قاره‌ای شامل شیل و ماسه‌سنگ‌های حاوی مقدار کمی از بقایای گیاهی (سازند شمشک) قرار دارد (Bolourchi 1979). رخنمون‌های آن در شمال روستای عباس آباد به صورت تپه ماهور و در

سنگی ژوراسیک که با کنتاکت گسله و یا دگرشیب بر روی رخساره‌های فیلیتی و اسلیتی زیرین خود قرار دارند از نظر لیتوفاسیس شباهت زیادی به رخساره‌های ماسه سنگی تیپ شمشک در زیر زون آبگرم نشان می‌دهند (آتش مرد ۱۳۸۴).

جنوب قمشلو به صورت لتهای باریک بیتومینه دیده می‌شود (آتش مرد ۱۳۸۴). زیر زون رزن (برش سطحی ده لیان) بخشی از زون سندج سیرجان است که با گسل معکوس و پر شیب آوج که دارای روند جنوب شرق-شمال غرب و به موازات زاگرس است، در جنوب زون آبگرم واقع شده است. این زون به سوی جنوب و جنوب غرب و به صورت تدریجی و با افزایش شدت دگرگونی به مجموعه دگرگونی ناحیه‌ای و مجاورتی همدان مرتبط می‌شود (Bolourchi 1979). قدیمیترین سنگ‌های رخنمون یافته در زیر زون رزن را می‌توان متعلق به تریاس بالایی- ژوراسیک زیرین دانست. قاعده این رسوبات رخنمون نداشته و دیده نمی‌شود. رخساره‌های ماسه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه.

توسط بسیاری از پژوهشگران گزارش گردیده است (Ala et al. 1980; Murriss 1980; Bordenave and Burwood 1990; Ziegler 2001). در این حوضه‌ها در شرایط فقیر از اکسیژن مواد آلی به خوبی حفظ می‌شوند.

موقعیت زمین‌شناسی خلیج فارس به طور خلاصه نتیجه تجمع پیوسته رسوبات از زمان پالئوزوئیک به بعد است. از طرفی ساختار امروزی این ناحیه نتیجه فرایندهای تکتونیکی عمده‌ای است که در زمان تشریاری پسین رخ داده است. در ژوراسیک و کرتاسه دریاهای حاشیه‌ای وسیع که مساعد ته‌نشست رسوبات کرتاسه بوده‌اند در حاشیه‌های شمال و شرق صفحه عربی گسترش داشته‌اند و نهایتاً در تورونین اولین مرحله بسته شدن دریای تیس رخ داده است (Ziegler 2001). این واقعه نخستین مرحله و منشا ایجاد حوضه بین‌النهرین بوده است که شامل بخشهایی از زاگرس در برگیرنده لرستان، خوزستان و نواحی مجاور در عراق به همراه بلوک فارس و بیشتر بخش‌های خلیج فارس بوده است (Stampfli et al. 1991).

توصیف رخساره‌ها، محیط‌های رسوبگذاری و شرایط تولید و حفظ ماده آلی در مناطق مورد مطالعه

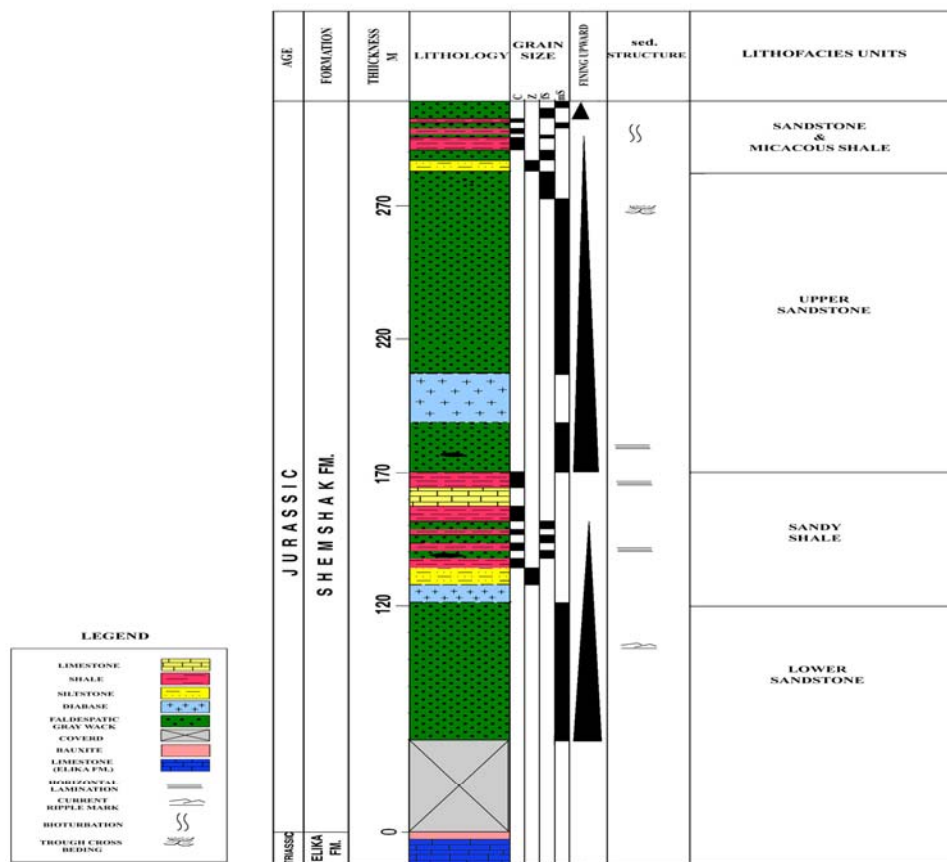
مشاهدات صحرائی و بررسی‌های پتروگرافی صورت گرفته بر رخساره‌های ژوراسیک زیر زون آبگرم- رزن نمایانگر آن است که برش قمشلو (شکل ۲ الف) از چهار بخش (ماسه سنگ زیرین، شیل‌های ماسه‌ای، ماسه سنگ بالایی و تناوب ماسه سنگ با شیل‌های میکا دار نازک لایه)

حوضه رسوبی زاگرس که از دیر باز مورد توجه زمین‌شناسان نفتی بوده است، بخشی از حاشیه جنوبی تیس و یکی از مهمترین حوضه‌های نفتی جهان به شمار می‌رود (Murriss 1980; Stoneley 1990; Alavi 1994). حوضه مزبور عمدتاً از رسوبات کرتاسه و سیلیسی آواری دانه ریز انباشته شده و رسوبگذاری آن از پرمین تا میوسن بدون وقفه ادامه داشته است. پس از کامبرین یک پلاتفرم پایدار در ناحیه زاگرس - خلیج فارس وجود داشته است. از این رو به نظر می‌رسد که رسوبات پالئوزوئیک نقش پی سنگ را برای حوضه زاگرس ایفا نموده‌اند (Falcon 1958). رخساره‌های کرتاسه و آواری تریاس تا ژوراسیک در این حوضه نشانه تداوم فرونشست تدریجی حوضه هستند. در طی رژیم تکتونیکی کششی در کرتاسه مواد جبه‌ای به بستر باریکه اقیانوسی حوضه زاگرس راه یافتند و حوضه‌های درون فلات قاره‌ای در این زمان در زاگرس شکل گرفتند (Stoneley 1990). رسوبات کرتاسه زیرین تا میانی، سنگ منشاهای مهمی را بوجود آورده‌اند که نشانه انباشت آن‌ها در شرایط بدون اکسیژن و بعضاً "فقیر از اکسیژن در عرض‌های جغرافیایی کم می‌باشد (Bordenave & Huc 1995). در اثر عملکرد فاز کوهزایی کرتاسه پایانی باریکه اقیانوسی نئو تیس بسته شده و یک حوضه پیش خشکی کشیده و طولیل در امتداد حاشیه غیر فعال کراتون عربی بوجود آمده است (Van Buchem et al. 2000). این تیپ از حوضه‌ها برای تشکیل حوضه‌های درون فلات قاره‌ای وسیع بسیار مناسب هستند. تشکیل حوضه‌های پیش خشکی در سنوزوئیک و مزوزوئیک حوضه زاگرس،

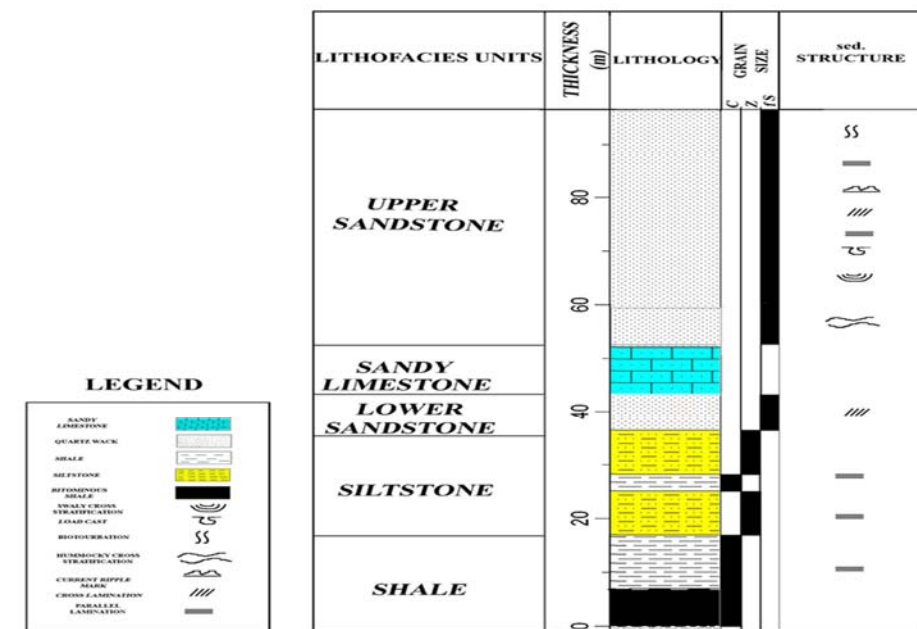
۱۳۸۵). این گروه‌های ریز رخساره‌ای شامل تناوب شیل ارغوانی و کلسی مادستون نازک لایه (گروه ۱)، و کستون بایو کلاستی پلوئیددار دولومیتی شده تا کلسی مادستون - و کستون بایو کلاستی (گروه ۲)، مادستون بایو کلاستی دارای آشفستگی زیستی شدید (گروه ۳)، شیل - کلسی مادستون بایو کلاستی (زیر گروه ۴A)، و کستون - پکستون تا کلسی مادستون بایو کلاستی (زیر گروه ۴B)، شیل دارای آشفستگی زیستی (زیر گروه ۴C)، پکستون دارای قطعات فسفات‌ه و گلو کونیتی (گروه ۵)، کلسی مادستون (زیر گروه ۶A)، و کستون دولومیتیزه (زیر گروه ۶B)، و کستون دارای آشفستگی زیستی (زیر گروه ۶C)، مادستون شدیداً آشفته شده (زیر گروه ۷A)، و کستون - کلسی مادستون بایو کلاستی دارای آشفستگی زیستی (زیر گروه ۷B) و کستون - پکستون پلوئیدی بایو کلاستی (زیر گروه ۷C) می‌باشند. (شکل ۴). بر اساس مطالعه سیستماتیک ایکنو فسیل‌ها دو ایکنورخساره کروزیانا (بخش فوقانی سازند پابده) و زئوفیکوس (بخش‌های میانی و تحتانی سازند پابده) تشخیص داده شده است (بهبهانی ۱۳۸۵).

و برش ده لیان (شکل ۲ ب) از پنج بخش (شیل، سیلتستون، ماسه سنگ زیرین، آهک ماسه‌ای و ماسه سنگ بالایی) تشکیل شده است (آتش مرد ۱۳۸۴). مجموعه مطالعات انجام شده نشان دهنده این است که محیط رسوبی رخساره‌های ژوراسیک در برش ده لیان یک محیط ساحلی تحت تاثیر امواج (به ویژه توفان) بوده و از زیر محیط‌های لاگون، پهنه زیرین ساحل و پهنه بالای ساحل تشکیل شده است. وجود رخساره‌های شیلی، لامیناسیون موازی و عدسی‌های بیتومین دار در بخش پایینی، وجود رخساره‌های آهک ماسه‌ای حاوی قطعات نبرجا و حمل شده، فسیل‌های شاخص دریای باز که با قاعده فرسایشی در زیر رخساره‌های ماسه سنگی بالایی با ساختمان‌های چینه بندی مورب پشته‌ای و تقعر در بخش‌های میانی (اشکال ۳ الف تا ج) و آثار فسیلی دیپلوکراتریون و تالاسینوئیدس در بخش بالایی برش ده لیان بیانگر این امر است (آتش مرد ۱۳۸۴).

بر اساس مطالعات مشابه انجام شده بر رخساره‌های سازند پابده (پالوسن پسین - الیگوسن پیشین) در برش گردنه رنو (شمال غرب ایلام) هفت گروه رخساره میکروسکوپی (ریز رخساره) شناسایی گردید (بهبهانی

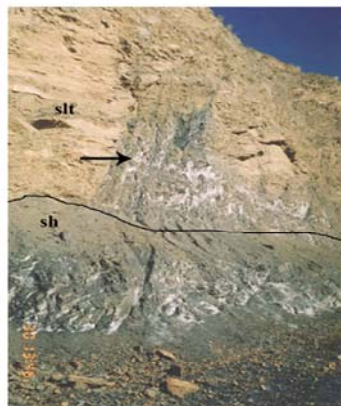


الف

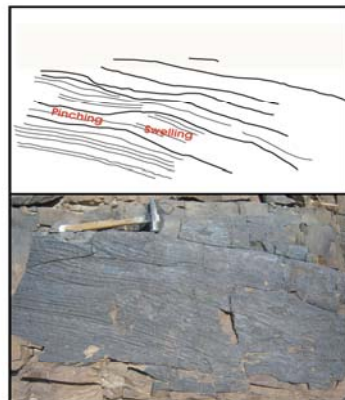


ب

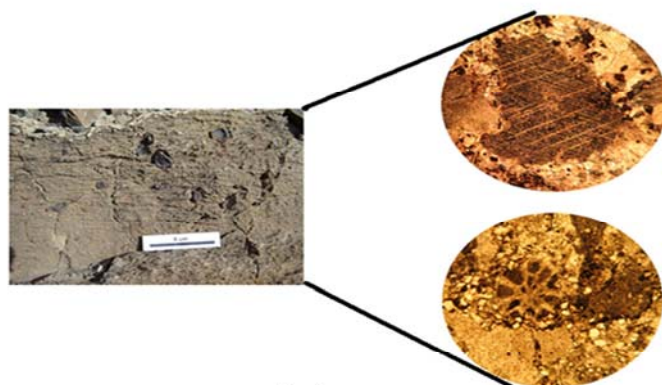
شکل ۲- (الف) - ستون چینه شناسی رسوبات شمشک در برش قمشلو. (ب) - ستون چینه شناسی رسوبات ژوراسیک برش ده لیان.



الف



ج



ب

شکل ۳- (الف) - لنز شیل بیتومینه در قاعده برش ده لیان. زبانه دیده شده در مرکز تصویر در نتیجه تزریق این شیلها (متمایز با علامت پیکان) در بین لایه‌های سیلتستونی پدید آمده است. Sh= shale slt= siltstone (ب) - وجود آثار حمل در ساقه لاله وش (بالا) و بریو زوآ (پایین) در آهک ماسه‌ای برش ده لیان. (ج) - تصویر ساختمان چینه بندی مورب پشته‌ای (Hummocky cross stratification) در طبقات ماسه سنگ بالایی و شکل ترسیمی (sketch) آن در زیر (محل نمونه در ضخامت ۵۴ متری برش ده لیان).

کافی مانند فسفات و نترات از جمله شرایط ضروری برای شکوفایی فیتوپلانکتون‌ها برای آغاز زنجیره تولید ماده آلی است (Harris 2005; Suess et al. 1987;) مناطق بالازدگی آب قسمت‌های عمیق نیز شرایط ایده‌آلی برای

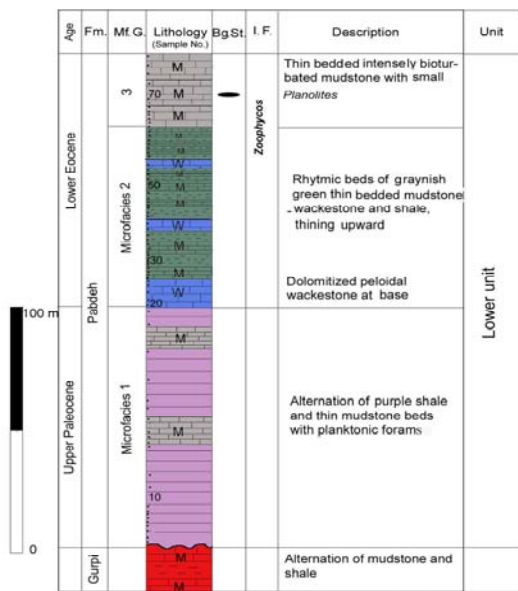
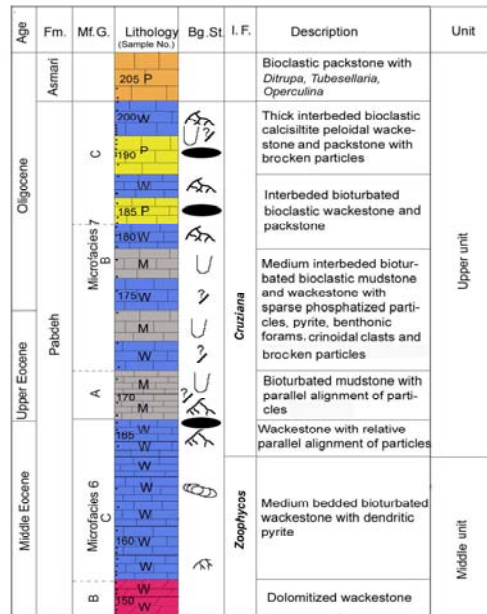
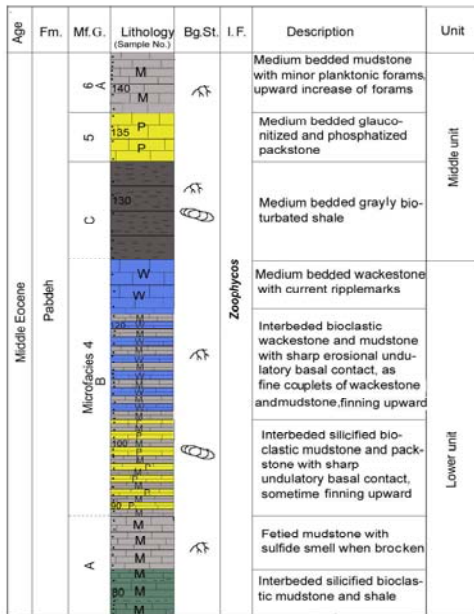
مناطق غنی از مواد آلی بیشتر در حواشی قاره‌ها از قبیل خلیج‌های دهانه‌ای، لاگون‌های سطحی، ریف و فلات قاره قرار دارند. این نکته بیانگر آن است که مناطق تولید و انباشت مواد آلی به هم نزدیک هستند. وجود مواد غذایی

1995. الشرحان و نایرن (Al-Sharhan and Nairn 1995) در مورد رسوبگذاری سازند پابده و گورپی بر وجود چنین وضعی در حوضه زاگرس اعتقاد دارند. وجود افق‌هایی از مواد آلی (رخساره‌های حاوی $TOC > 2\%$) در بخش‌های تحتانی و میانی سازند پابده تأییدی بر حاکم بودن شرایط فقیر از اکسیژن در این رسوبات است (بهبهانی ۱۳۸۵).

براساس آنالیز دانه بندی صورت گرفته بر مغزه مطالعه شده از رسوبات بستر خلیج فارس در منطقه ساحلی بوشهر پنج نوع رسوب سیلت رسی (cZ)، رس سیلتی (zC)، گل ماسه‌ای (sM)، گل گراولی (gM) و ماسه گلی گراولی (gMS) شناسایی شدند (جدول ۱). تغییرات اندازه ذرات رسوبی، ساخت و نوع رسوبات شواهدی هستند که به بازسازی محیط‌های رسوبی گذشته کمک زیادی نموده است (بهبهانی و لک ۱۳۸۸) (شکل ۵). با توجه به این مطالعات می توان نتیجه گرفت که در مغزه مطالعه شده دوازده رخساره با محیط‌های رودخانه‌ای، ساحلی، اینتر تایدال، لاگون و دریایی شناسایی شده‌اند (بهبهانی و لک ۱۳۸۸). عدم وجود لایه‌های واجد پیریت، میزان کم کربن آلی ($TOC < 0.5\% \text{ wt}$)، وجود پوسته موجودات (Shell) و فرامینفرهای بنتیک به غیر از رسوبات رودخانه‌ای و وجود زیست آشفستگی در برخی رخساره‌ها نشان می‌دهد که شرایط برای تولید ماده آلی در نمونه‌های مطالعه شده فراهم بوده ولی شرایط برای حفظ ماده آلی در مقیاس انبوه مناسب نبوده است. در ضمن فراوانی بیشتر بار بستر نسبت به بار معلق (رس سیلتی و سیلت رسی) تأییدی بر حفظ نشدن ماده آلی در این رسوبات است.

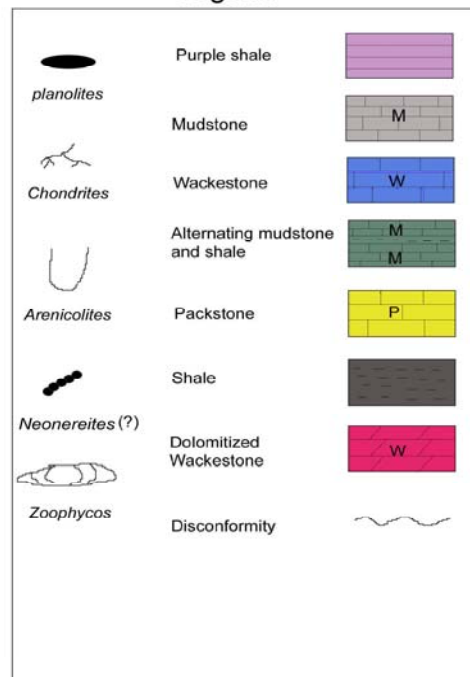
برای مطالعه جزئیات بیشتر در مورد توصیف رخساره‌ها، رسوب شناسی و محیط رسوبگذاری می‌توان به آتش مرد (۱۳۸۴)، بهبهانی (۱۳۸۵) و بهبهانی و لک (۱۳۸۸) مراجعه نمود.

تولید ماده آلی در مقیاس انبوه فراهم می‌سازند (Huc 1995; Hay 1995; Parrish 1995). وجود افق‌های فسفات، لایه‌های واجد پیریت و فراوانی فسیل‌های پلانکتونیک در سازند پابده (James and Wynd 1965; Mohseni and Al-Aasm 2004) نشان می‌دهد که اولاً شرایط تولید و حفظ ماده آلی در مقیاس انبوه در حوضه فراهم بوده و ثانیاً "جریان‌های بالازدگی آب‌های عمیق نیز به تولید ماده آلی کمک کرده است. همچنین وجود بلور-های پیریت بیانگر شرایط احیایی و مناسب حفظ ماده آلی است. از طرفی تغییرات جهانی سطح آب دریاها و شکل توپوگرافی حوضه‌های رسوبی دو فاکتور مهم در بوجود آوردن حوضه‌های فقیر از اکسیژن و مناسب برای حفظ ماده آلی به شمار می‌روند (Haq et al. 1988). منحنی تغییرات جهانی سطح آب دریاها در ائوسن زیرین حاکی از این است که سطح دریا در این دوره در وضعیت بیشترین حد بالا آمدگی قرار داشته است (Haq et al. 1988). شرایط مزبور بهترین وضعیت برای حفظ ماده آلی در درون حوضه‌های رسوبی است (Emery and Mayers 1996). توالی قائم رخساره‌های سازند پابده، آثار فسیلی و میکرو فاسیس‌های حاوی قطعات فسیلی پلانکتونیک و بنتیک سالم و شکسته در قسمت فوقانی و کلسی توریدایت‌های بخش تحتانی این سازند شواهدی هستند که به بازسازی محیط رسوبی سازند پابده (رمپ پر شیب دور از منشا) کمک زیادی نموده است (بهبهانی ۱۳۸۵). بخش‌هایی از رمپ که فرو افتادگی بیشتری داشته و در مناطق حداقل اکسیژن واقع شده باشند به تشکیل رخساره‌های احیایی غنی از مواد آلی کمک زیادی می‌کنند (بخش تحتانی تا قسمت‌های آغازین بخش فوقانی سازند پابده). این مناطق اصطلاحاً "حوضه درون شلف نامیده می‌شوند (Al-Sharhan and Nairn 1995; Bordenave and Huc



Fm. = Formation Bg. St. = Biogenic Structure
Mf. G. = Microfacies Group I. F. = Ichnofacies

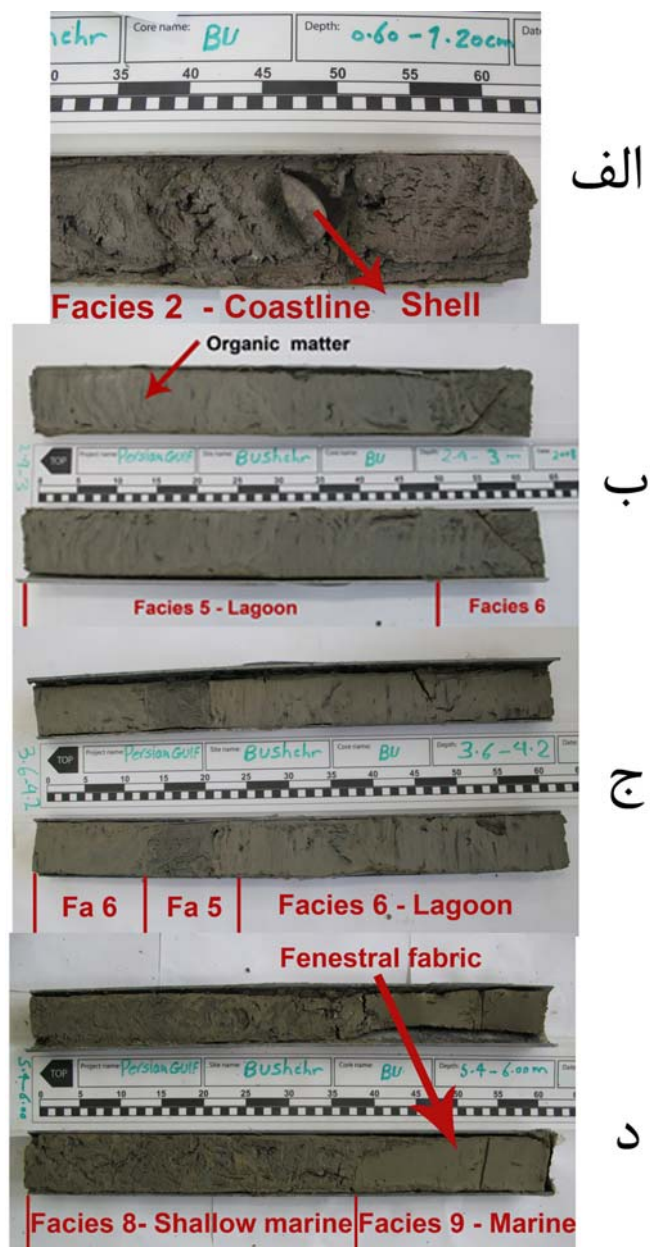
Legend



شکل ۴- ستون چینه شناسی سازند پابده

جدول ۱- سکانس رسوبی- آلی رسوبات بستر خلیج فارس در ناحیه بوشهر.

FACIE S	ENVIRONMENT	LITHOLOGY	DESCRIPTION	MEDIAN TOTAL ORGANIC CARBON (TOC %)	THICKNESS (cm)
1	Fluvial	gM	Yellowish gravelly mud without shell	0.03	0-55
2	Coastline	gmS	Grayish yellow gravelly muddy sand with a few shells	0.05	55-135
3	Intertidal	cZ	Yellowish clayey silt with minor limy pebel and fenestral fabric, without shell	0.03	135-215
4	Intertidal	cZ	Grayish clayey silt with fenestral fabric	no data	215-240
5	lagoon	cZ	Thin interbedded grayish bioturbated clayey silt and organic laminae with sparse gas bubbles	0.04	240-290
6	lagoon	cZ	Grayish clayey silt with dark gray sand lenses and a few shells	no data	290-372
7	Open marine or Barrier	sM	Grayish sandy mud with shells	no data	372-385
6	lagoon	cZ	The same as facies 6	0.07	385-430
8	Shallow marine	sM	Grayish yellow sandy mud with benthic shells	no data	430-512
9	Marine	cZ	Grayish yellow clayey silt with fenestral fabric, deeper than facies 8	0.05	512-520
8	Shallow marine	sM	The same as facies 8	no data	520-578
9	Marine	cZ	The same as facies 9	0.06	578-660
10	Marine	zC-cZ	Grayish silty clay to clayey silt with a lot of forams, coarsening up ward, bioturbation at top	0.08	660-718
11	Marine	cZ	Interbedded grayish yellow clayey silt and organic laminae with gas bubbles and benthic shells(Gastropoda and Pelecypoda)	0.07	718-990
12	Marine	zC	Interbedded light to dark gryaish silty clay and organic laminae, richer than facies 11	no data	990-1000
11	Marine	cZ	The same as facies 11	0.07	1000-1200
12	Marine	zC	The same as facies 12	0.11	1200-1240
11	Marine	cZ	The same as facies 11	0.09	1240-1500



شکل ۵- رخساره‌های مغزه مطالعه شده در استان بوشهر. (الف)- رخساره ۲ با محیط ساحلی را نشان می‌دهد، به پوسته موجودات (Shell) (علامت پیکان) توجه شود. (ب)- بیانگر تناوب رخساره‌های ۵ و ۶ (محیط لاگون) در عمق ۲۴۰-۳۰۰ سانتی متری می‌باشد، به مواد آلی (علامت پیکان) در رخساره ۵ توجه شود. (ج)- نشان دهنده تناوب رخساره‌های ۵ و ۶ در عمق ۳۶۰-۴۲۰ سانتی متری است. (د)- نشانگر تناوب رخساره‌های ۸ (دریایی کم عمق) و ۹ (دریایی با فابریک فنسترال) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش سه برش سطحی (دو برش ده لیان و قمشلو در زیر زون رزن - آبگرم و برش گردنه رنو در سازند پابده در شمال غرب ایلام) و یک عدد مغزه (ساحل بوشهر) به طول ۱۵ متر به روش حفاری با استفاده از سیستم فشار هیدرولیک مغزه گیر Ufer تهیه گردید. مغزه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه رسوب شناسی مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی توسط دستگاه برش مغزه به دو قسمت تقسیم شد و بر اساس رخساره‌ها از آن نمونه برداری گردید. در مجموع بیست و دو نمونه جهت مطالعات ژئوشیمی آلی و سی و پنج نمونه جهت دانه بندی از مغزه گرفته شد. دانه بندی ذرات به روش تر توسط الک شیکر مدل فریتچ و دانه بندی ذرات کوچکتر از ۶۳ میکرون توسط دستگاه لیزر پارتیکل سایزر انجام گردید. همچنین هشت نمونه شیلی و کربناته از سازند پابده (بخش‌های تحتانی و میانی) و هشت نمونه از زیر زون رزن - آبگرم (رخساره شیل بیتومینه) جهت مطالعات ژئوشیمی آلی برداشت شد. لازم به ذکر است به منظور گردآوری نمونه‌های کمتر هوازده، نمونه‌برداری از برش‌های سطحی از عمق یک تا یک و نیم متری انجام شده و نمونه‌ها در کیسه دو جداره به آزمایشگاه منتقل گردیده است. مطالعات ژئوشیمی آلی شامل تعیین درصد کربن آلی کل (TOC) و پارامترهای HI، S₁، PI، S₂ (تمام نمونه‌های مطالعه شده)، S₃، OI، T_{max} (نمونه‌های سازند پابده) می‌باشد که توسط دستگاه راک - اول تیپ II (Rock- Eval II + TOC Moduel) موجود در پژوهشگاه صنعت نفت انجام شده است. برای تعیین نوع

کروژن نمونه‌های زیر زون رزن - آبگرم و مغزه بوشهر از دیاگرام 1997 S₂/ TOC (Goddard et al.) و نمونه‌های سازند پابده از دیاگرام HI/ T_{max} استفاده شده است.

مطالعات ژئوشیمیایی و بحث

با توجه به اهمیت بسیار زیاد حوضه زاگرس در هیدروکربن‌زایی، در ابتدا به نقش سازند پابده در هیدروکربن‌زایی این حوضه پرداخته می‌شود. در اولین کارهای سیستماتیک و دقیق ژئوشیمیایی برای مشخص کردن سنگ‌های منشا هیدروکربن حوضه زاگرس، رسوبات ژوراسیک تا ائوسن در این حوضه به عنوان لایه-های دارای پیرو بیتومین توصیف شده‌اند (Alla et al. 1950 after Lee 1980). مطالعات بعدی بر روی شیل و سنگ آهک‌های سازندهای پابده و گورپی صورت گرفته و مشخص گردید که این دو سازند در برخی نقاط به بلوغ حرارتی لازم رسیده‌اند (Bordenave and Burwood 1990). به اعتقاد (Alla et al. 1980) و Bordenave and Huc (1995) در سازندهای پابده و گورپی تناوب لایه‌های غنی از مواد آلی بیتومینه و لایه‌های فقیر از بیتومین وجود دارد. سازند پابده به همراه سازند زیرین خود (گورپی) متشکل از رسوبات دانه ریز کربناته و شیلی حاوی میکروفسیل‌های پلانکتونیک بوده و به عنوان رخساره‌های پلاژیک شناخته می‌شوند (بهبهانی ۱۳۸۵). به همین دلیل همواره تصور بر این بوده که سازندهای مزبور به عنوان یک توالی نفوذ ناپذیر در بین مخازن گروه بنگستان در زیر و مخازن آسماری در بالا قرار گرفته‌اند. اما مطالعات اخیر نشان داد که در برخی میادین نفتی فرو افتادگی دزفول از

نفت‌زایی (بیش از ۴۳۰ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفته‌اند (جدول ۲). به نظر می‌رسد با توجه به نتایج بدست آمده، نمونه‌های مورد مطالعه بیشتر در محدوده تولید نفت و ابتدای مرحله کاتائز قرار می‌گیرند.

قبیل میدان رامشیر و مسجد سلیمان (قربانی قشقائی ۱۳۷۹) و میدان نفتی زیلائی (مرادی و علیزاده ۱۳۸۴) دارای آثار نفت و برخی حاوی هیدروکربن‌های قابل تولید بوده‌اند. نمونه‌های بیتومین‌دار مطالعه شده در بخش‌های میانی و تحتانی سازند پابده بر اساس مقادیر TOC (2.76- 4.2) (Wt% در محدوده سنگ منشا بسیار خوب (بیش از ۲ درصد وزنی)، میزان S_2 (mgHc/ g) (13.06- 28.22) در محدوده سنگ منشا بسیار خوب (بیش از 10) Rock (mg Hc/ g S_1 مقادیر (Hc/ g) (0.26- 1.69) در محدوده سنگ منشا فقیر (کمتر از 0.5 mg Hc/ g Rock) تا سنگ منشا خوب (بیش از 1 mg Hc/ g Rock)، مقادیر اندیس هیدروژن (Rock) (300 mg Hc/ org C) در محدوده نفت‌زایی (بیش از 375 – 708 mgHc/ org T_{max} (°C) (425- 435) بیشتر در ابتدای پنجره

جدول ۲- نتایج پیرولیز راک- اول سازند پابده.

Sample No.	Thickness (m)	TOC (wt%)	OI (mgCO ₂ /gToc)	HI (mgHc/orgc)	T _{max} (°C)	S ₁ (mgHc/gRock)	S ₂ (mgHc/gRock)	S _{1+ S2}	S ₃ (mgHc/gRock)	PI (S ₁ /S _{1+S2})
30	110	2.95	47	478	435	1.53	14.1	15.63	1.38	0.09
50	160	3.39	50	385	432	0.26	13.06	13.32	1.60	0.02
76	208	4.03	12	619	425	0.75	24.96	25.71	0.54	0.03
83	215	2.89	29	520	430	1.25	15.02	16.27	0.83	0.07
85	216	3.25	42	411	431	1.15	13.35	14.50	1.36	0.08
87	218	4.20	40	672	429	0.82	28.22	29.04	1.68	0.03
130	310	2.76	12	708	432	1.69	19.54	21.23	0.33	0.08
160	384	3.47	35	392	430	0.42	13.60	14.02	1.21	0.03
Mean	-	3.36	33.5	523	430	0.98	17.73	18.71	1.11	0.05

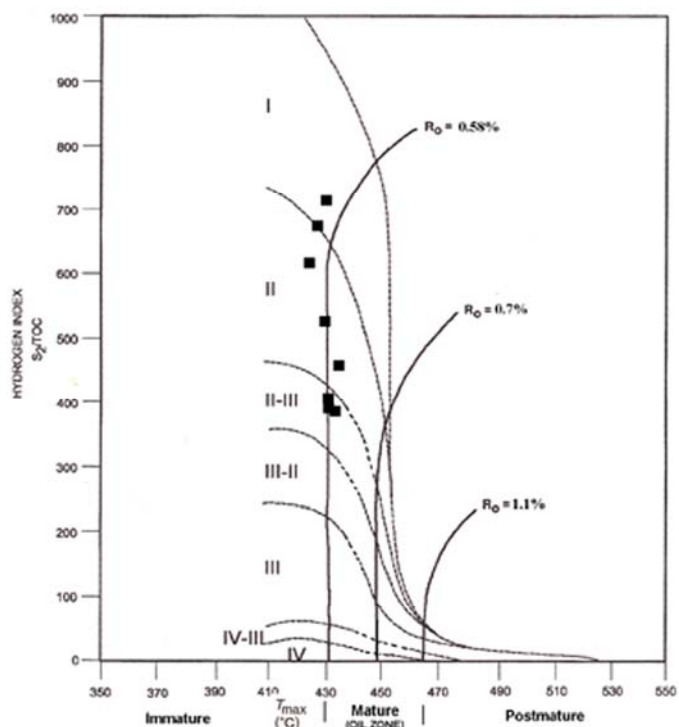
روهم پوشی رخساره‌های قبلی را فرا گرفته اما در حوضه زاگرس کماکان سازند پابده در حال رسوبگذاری بوده است. در اواخر ائوسن پیشین سطح جهانی آب دریاها به بالاترین حد خود رسیده است. چنین شرایطی برای حفظ ماده آلی بسیار مناسب است (Emery and Mayers 1996). با توجه به مطالعات ژئوشیمیایی و آثار فسیلی (بهبهانی ۱۳۸۵) به نظر می‌رسد که بخش‌های تحتانی و میانی سازند پابده در منطقه مورد مطالعه شرایط احیایی (افق‌های دارای TOC زیاد) تا فقیر از اکسیژن (افق‌های دارای آثار فسیلی ژئوفیکوس و کندریتس: بهبهانی ۱۳۸۵) را نشان می‌دهد. قسمت فوقانی سازند پابده شرایط فقیر از اکسیژن تا اکسیدان را نشان می‌دهد که ایکنو فسیل‌های دیده شده در این بخش (ایکنو فاسیس کروزیانا: بهبهانی ۱۳۸۵) این موضوع را تایید می‌کند.

مغزه مطالعه شده در خلیج فارس متشکل از رخساره-های متعددی هستند که نشان‌دهنده محیط‌های رودخانه‌ای، ساحلی، لاگون، اینترتایدال و دریای کم عمق می‌باشند (بهبهانی و لک ۱۳۸۸). بر اساس مقادیر $(S_1 < 0.5\% \text{ wt})$ TOC، $(S_1 < 0.5 \text{ mgHc/g Rock})$ ، $(S_2 < 2.5 \text{ mgHc/g Rock})$ و پتانسیل زایش $(S_1 + S_2 < 3)$ در منطقه مورد مطالعه شرایط برای یک سنگ منشا با کیفیت وجود ندارد و از نظر هیدروکربن‌زایی فقیر می‌باشند. با توجه به مطالعات ژئوشیمیایی به نظر می‌رسد که حداکثر میزان کربن آلی کل $(\text{TOC} = 0.12\% \text{ wt})$ در عمق ۳۹۴ سانتی‌متری متعلق به رخساره لاگون، حداکثر میزان $(S_1 < 0.35 \text{ mg Hc/g Rock})$ در عمق ۶۷۳-۶۷۲ سانتی‌متری متعلق به رخساره دریایی، حداکثر میزان S_2 در عمق ۳۹۴ سانتی‌متری متعلق

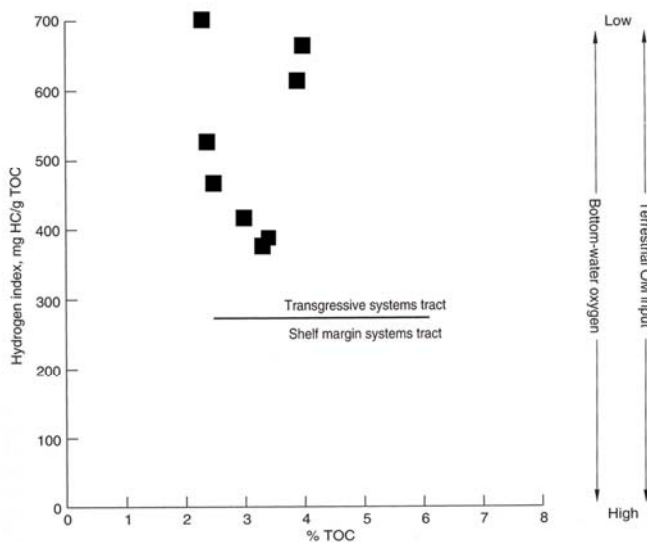
در نمودار شاخص هیدروژن در برابر T_{max} (شکل ۶ الف)، نمونه‌های مطالعه شده بیشتر در مرحله شروع تولید نفت و ۳۵ درصد از نمونه‌های مطالعه شده در مرحله نابالغ قرار می‌گیرند که بیشتر در برگیرنده مخلوطی از کروژن-های تیپ II-III با برتری تیپ II می‌باشد. البته لازم به ذکر است که ۱۲ درصد از نمونه‌های مطالعه شده در محدوده کروژن تیپ I، ۴۸ درصد در محدوده تیپ II و ۴۰ درصد نمونه‌ها در محدوده کروژن‌های تیپ II-III قرار گرفته‌اند. پایین بودن میزان شاخص تولید $(PI = 0.02-0.09)$ به دلیل پایین بودن میزان S_1 و بالا بودن مقدار S_2 است که این شاید نشان‌دهنده پتانسیل تولید هیدروکربن مایع سنگین در سازند پابده می‌باشد. در نمودار شاخص هیدروژن در برابر TOC (شکل ۶ ب) نمونه‌های مطالعه شده در مرحله پیشروی آب دریا بر جای گذاشته شده‌اند و میزان اکسیژن محیط تشکیل دهنده و مواد آلی با منشا خشکی آن‌ها کم می‌باشد. با توجه به نسبت بیشتر کروژن تیپ II، دریایی بودن منشا اغلب مواد آلی نمونه‌های مورد مطالعه تایید می‌شود. در ضمن مطالعات پالئوژئوگرافی حوضه زاگرس نیز این شرایط را (سطح بالای آب) تایید می‌نماید (Haq et al. 1998). در پالئوسن پسین-ائوسن پیشین در مناطقی از قبیل عراق، کویت و عربستان سازندهای راس و ام الرضومه و در ایران سازند پابده به صورت رخساره‌های دریایی باز در قسمت درون فلات با مقدار قابل ملاحظه‌ای از مواد آلی رسوب نموده است. در این محدوده زمانی سطح آب دریاها در وضعیت بالا بوده و نوسانات فراوان پسروی به کرات در آن دیده می‌شود (Haq et al. 1988). در نتیجه کربنات‌های دریایی کم عمق در قسمت اعظم کراتون عربی به صورت

خلیج فارس را لحاظ نمود. از طرفی دیگر در قسمت شمال غرب خلیج فارس مواد آلی خشکی زاد (کروژن نوع III) که توسط آبهای قاره‌ای (رودخانه‌ها) وارد این حوضه رسوبی می‌شوند توسط برخی محققین گزارش گردیده است (Saad 1982) که می‌تواند این موضوع در مقیاسی کمتر به دلیل وارد نشدن رودخانه‌های دائمی مهم (به استثنای رودخانه کل) در مناطق مورد مطالعه (شمال شرق خلیج فارس) صدق کند. در ضمن با توجه به این که بخشی از رسوبات مطالعه شده در این مغزه مرتبط با محیط‌های حد واسط (اینترتایدال و ساحلی) و قاره‌ای (رودخانه‌ای) می‌باشد (بهیانی و لک ۱۳۸۸)، مشاهده کروژن نوع III (مواد آلی خشکی زاد) در آن‌ها دور از ذهن نیست. اما به هر حال با توجه به نسبت بیشتر کروژن تیپ II، نسبت مواد آلی با منشا دریایی در این نمونه‌ها بیشتر می‌باشد (جدول ۳ ب). بر اساس نمودار ژئوشیمیایی مغزه بوشهر (شکل ۸)، حداکثر میانگین S_1 (0.35) در رخساره ۱۰، حداکثر میانگین HI(937) در رخساره ۳، حداکثر میانگین S_2 (0.30) در رخساره ۲ و حداکثر میانگین TOC(0.11% wt) در رخساره ۱۲ می‌باشد.

به رخساره لاگون، حداکثر میزان HI (1150 mg Hc/ org C) در عمق ۲۰۸-۲۰۷ سانتی متری متعلق به رخساره اینترتایدال، حداکثر میزان PI ۰/۵۷ در عمق ۶۷۳-۶۷۲ سانتی متری متعلق به رخساره دریایی و حداقل میزان آن ۰/۱۷ در عمق ۱۴۶ سانتی متری متعلق به رخساره رودخانه-ای می‌باشد (جدول ۳ الف). با توجه به نتایج بدست آمده، هیچکدام از نمونه‌های مطالعه شده به پنجره تولید نفت (PI<1) نرسیده‌اند. در نمودار S_2 // TOC، نمونه‌های مطالعه شده دارای ۳۶ درصد کروژن تیپ II، ۳۶ درصد مخلوط کروژن تیپ II/III، ۲۳ درصد تیپ III و ۵ درصد کروژن تیپ I {عمق ۲۰۸-۲۰۷ سانتی متری متعلق به رخساره اینترتایدال با HI ۱۱۵۰ (mgHc/ orgC) می‌باشد (شکل ۷ الف). با مقایسه کروژن‌های موجود، تقریباً در تمامی رخساره‌های مطالعه شده کروژن‌های تیپ II، III و مخلوط II/III دیده می‌شوند و تنها در رخساره ۳ کروژن تیپ I مشاهده می‌شود (جدول ۳ ب). تغییر کروژن از تیپ II به تیپ مخلوط II/III نشان دهنده افزایش در ورودی مواد آلی خشکی در طی رسوبگذاری در آن رسوبات است. در نمودار شاخص هیدروژن در برابر TOC، ۷۳ درصد از نمونه‌ها در مرحله پیشروی آب دریا و ۲۷ درصد در مرحله سطح پایین آن بر جای گذاشته شده‌اند (شکل ۷ ب). نمونه‌های نهشته شده در مرحله پیشروی آب دریا نسبت به سطح پایین آب دارای مواد آلی با منشا خشکی و میزان اکسیژن محیط تشکیل دهنده کمتری می‌باشند. لازم به ذکر است رسوباتی که دارای TOC کمتری می‌باشند، دارای کروژن‌های اکسید شده هستند (Jones 1987 ; Hunt 1995). پس بایستی احتمال اکسیداسیون بخشی از مواد آلی (تبدیل کروژن نوع II به نوع III) در رسوبات

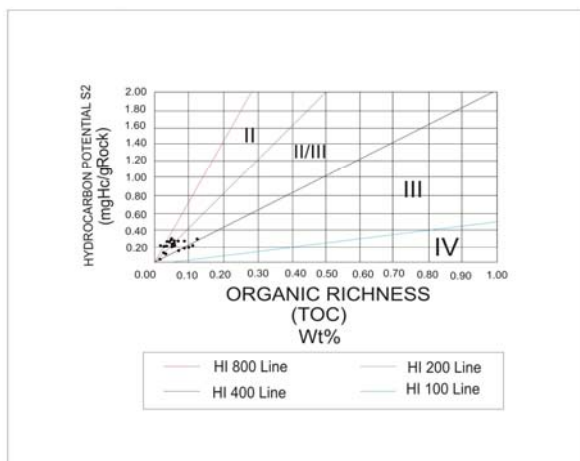


الف

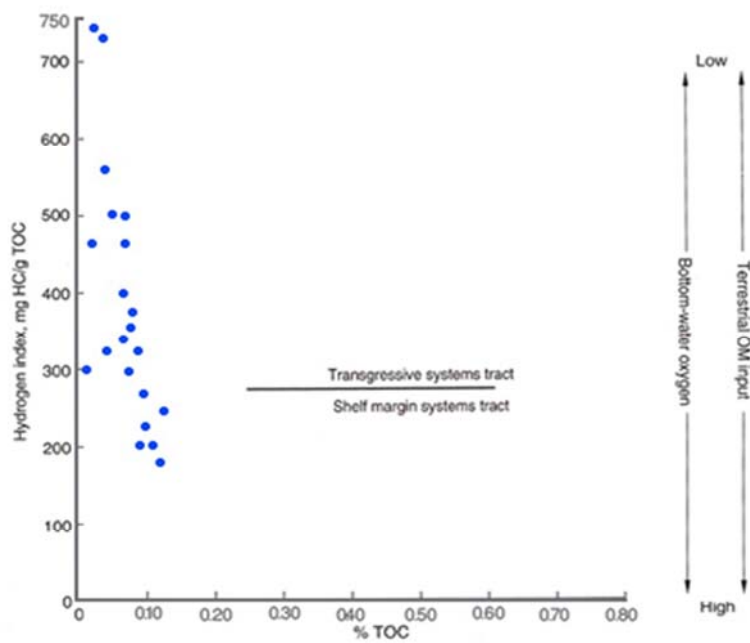


ب

شکل ۶- (الف)- نمودار HI در مقابل T_{max} سازند پابده. (ب)- نمودار HI در مقابل TOC نمونه‌های سازند پابده، تمامی نمونه‌های مطالعه شده در مرحله پیشروی آب دریا بر جای گذاشته شده‌اند.



الف



ب

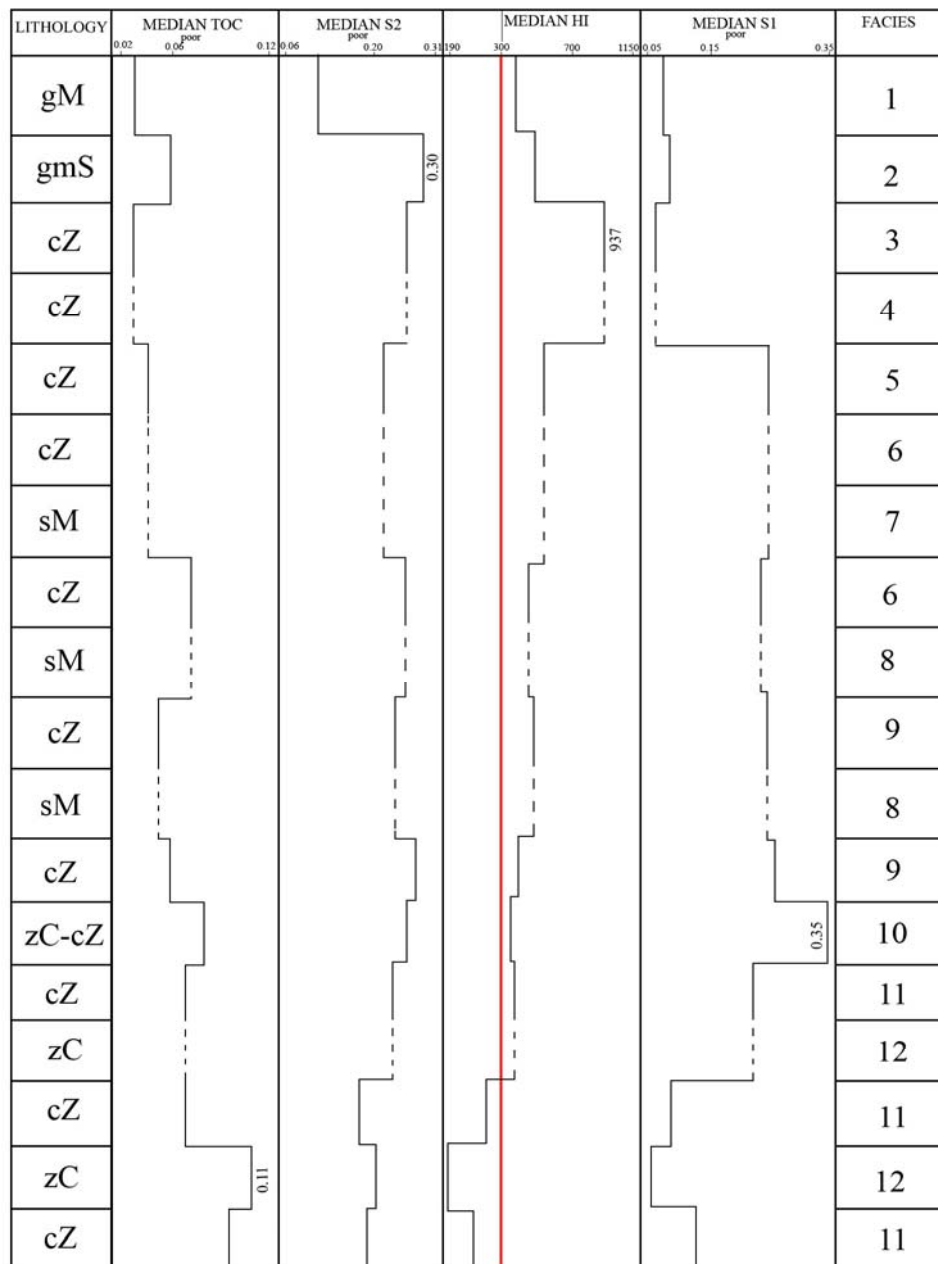
شکل ۷- (الف)- نمودار S_2 / TOC نمونه‌های مغزه بوشهر. (ب)- نمودار HI در مقابل TOC نمونه‌های ناحیه بوشهر، ۷۳ درصد از نمونه‌های مطالعه شده در مرحله پیشروی آب دریا بر جای گذاشته شده‌اند.

جدول ۳- (الف) - نتایج پیرولیز راک - اول ناحیه بوشهر.

Sample No.	Depth (m)	S ₁ (mgHc/gRock)	S ₂ (mgHc/gRock)	TOC (wt%)	S ₁ +S ₂	HI (mgHc/orgC)	PI (S ₁ /S ₁ +S ₂)
BU-1	0.22- 0.23	0.05	0.06	0.02	0.11	300	* S ₂ >0.2; PI: no validity
BU-2	0.42	0.09	0.13	0.04	0.22	325	*
BU-3	0.56	0.06	0.14	0.03	0.20	466	*
BU-4	1.15	0.08	0.30	0.06	0.38	500	0.21
BU-5	1.46	0.06	0.29	0.04	0.35	725	0.17
BU-6	2.07- 2.08	0.06	0.23	0.02	0.29	1150	0.21
BU-7	2.44- 2.45	0.22	0.22	0.04	0.44	550	0.50
BU-8	3.94	0.25	0.31	0.12	0.56	258	0.45
BU-9	4.02	0.18	0.22	0.03	0.40	733	0.45
BU-10	5.16	0.22	0.25	0.05	0.47	500	0.47
BU-11	5.94- 5.95	0.23	0.28	0.06	0.51	466	0.45
BU-12	5.97- 5.98	0.22	0.26	0.07	0.48	371	0.46
BU-13	6.72- 6.73	0.35	0.26	0.08	0.61	325	0.57
BU-14	7.72- 7.73	0.14	0.24	0.06	0.38	400	0.37
BU-15	8.68- 8.70	0.20	0.25	0.07	0.45	357	0.44
BU-16	9.50- 9.52	0.22	0.26	0.09	0.48	289	0.46
BU-17	10.10	0.08	0.20	0.06	0.28	333	0.28
BU-18	10.40- 10.44	0.09	0.21	0.07	0.30	300	0.30
BU-19	11.67	0.07	0.16	0.08	0.23	200	*
BU-20	12.10- 12.18	0.06	0.21	0.11	0.27	191	0.22
BU-21	13.90- 13.97	0.13	0.20	0.10	0.33	200	0.39
BU-22	14.70- 14.77	0.15	0.20	0.09	0.35	222	0.43
Mean		0.14	0.22	0.06	0.36	416	0.38

جدول ۳- (ب) - انواع کروژن مطالعه شده مغزه بوشهر.

Facies	Kerogen type of Bushehr core
1	III & II/III
2	II
3	I & II/III
4	no data
5	II
6	II/III & II
7	no data
8	no data
9	II/III & II
10	II/III
11	II ,III & II/III
12	III
13	no facies
14	no facies



gM: Gravelly mud cZ: Clayey silt sM: Sandy mud
 gmS: Gravelly muddy sand zC: Silty clay ---- nodata

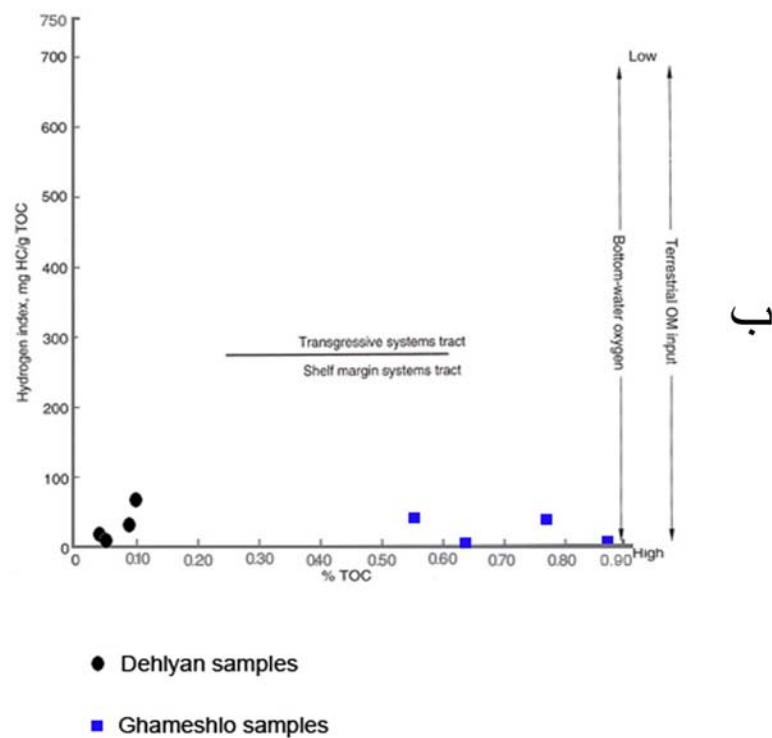
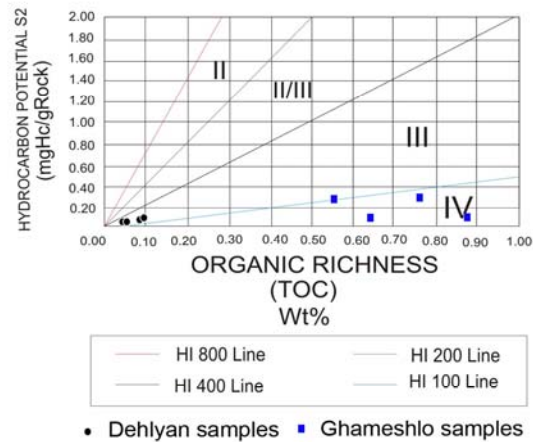
شکل ۸- نمودار ژئوشیمیایی مغزه بوشهر.

نمونه‌ها معتبر نمی‌باشد. مقدار کربن آلی کل (TOC) بدست آمده کمتر از ۰/۹ درصد وزنی است، لذا پتانسیل تولید هیدروکربن نمونه‌ها (شیل‌های آلی) کم است. این مطلب خود بیانگر اکسید شدن مواد آلی می‌باشد. به دلیل نداشتن اندیس OI و معتبر نبودن اندیس T_{max} جهت تعیین نوع کروژن از نمودار S_2 در مقابل TOC (شکل ۹ الف) استفاده گردید. بر این اساس، کروژن نمونه‌های مورد مطالعه در برش ده لیان نوع III و در برش قمشلو تپ IV تشخیص داده شد. در نمودار شاخص هیدروژن در برابر TOC (شکل ۹ ب)، تمام نمونه‌ها در مرحله سطح پایین آب بر جای گذاشته شده‌اند. نمونه‌های نهشته شده در مرحله سطح پایین آب دریا نسبت به مرحله پیشروی آن دارای مواد آلی با منشا خشکی و میزان اکسیژن محیط تشکیل دهنده بیشتری می‌باشند که وجود کروژن‌های تپ III و IV نمونه‌های مطالعه شده این موضوع را تایید می‌کند.

نتایج پیرولیز نمونه‌های بیتومین دار برداشت شده از برش - های سطحی ده لیان (Az39- Az42) و برش قمشلو (N1- N4) نشان می‌دهد که بر اساس مقادیر TOC (0.05 – 0.88 wt%) در محدوده سنگ منشا فقیر تا متوسط، میزان S_2 فقیر، مقادیر S_1 (0.04 – 0.2 mg Hc/ g Rock) در محدوده سنگ منشا فقیر، مقادیر HI (4 – 65 mg Hc/ org) (C) در محدوده گاززایی و مقادیر پتانسیل زایش (– 0.05 0.43) در محدوده سنگ منشا فقیر ($S_1 + S_2 < 3$) قرار گرفته‌اند (جدول ۴). همچنین بر اساس میزان شاخص تولید (PI) نمونه‌های مطالعه شده، هیچکدام از آن‌ها به پنجره تولید نفت (PI~1) نرسیده‌اند. به دلیل پایین بودن مقدار ماده آلی (TOC کمتر از ۰/۹ درصد وزنی)، میزان S_3 و به تبع آن شاخص اکسیژن (OI) صفر می‌باشد. همچنین مقدار T_{max} نیز به دلیل کم بودن مقدار S_2 (کمتر از ۰/۳۵) در

جدول ۴- نتایج راک - اول و انواع کروژن نمونه‌های مطالعه شده در زیر زون رزن - آبگرم.

Sample No.	Thickness (m)	S_1 (mgHc/gRock)	S_2 (mgHc/gRock)	TOC (wt%)	S_1+S_2	HI (mgHc/orgC)	PI (S_1/S_1+S_2)	Kerogen type
AZ- 39 (Dehlyan samples)	1	0.06	0.01	0.06	0.07	17	* $S_2 < 0.2$; PI: no validity	III
AZ- 40	3	0.06	0.06	0.10	0.12	65	*	III
AZ- 41	5	0.05	0.03	0.09	0.08	33	*	III
AZ- 42	8	0.04	0.01	0.05	0.05	20	*	III
Mean	-	0.04	0.03	0.07	0.08	34	-	-
N- 1 (Ghameshlo samples)	136	0.09	0.27	0.56	0.36	48	0.25	IV
N- 2	138	0.10	0.03	0.64	0.13	5	*	IV
N- 3	177	0.20	0.04	0.88	0.24	4	*	IV
N- 4	182	0.07	0.36	0.77	0.43	47	0.16	IV
Mean	-	0.11	0.17	0.71	0.24	26	-	-



شکل ۹- الف)- نمودار S_2 / TOC نمونه‌های زیر زون رزن- آبگرم. (ب)- نمودار HI در مقابل TOC نمونه‌های منطقه رزن- آبگرم، تمامی نمونه‌های مطالعه شده در مرحله سطح پایین آب بر جای گذاشته شده‌اند.

محدودیت‌ها و ملاحظات

عوامل موثر در پارامترهای بدست آمده از پیرولیز نمونه‌های مورد مطالعه شامل اثر ماتریکس-کانی، اکسید شدگی ماده آلی و رسوبات حاوی کربنات‌ها می‌باشد. اثر ماتریکس-کانی سبب کاهش مقدار HI و S_2 از مقادیر واقعی آنان می‌شود (Peters 1986; Hunt 1995). نمونه‌های سازند پابده و رسوبات خلیج فارس در نواحی مورد مطالعه چون بیشتر از اجزای کربناته تشکیل شده‌اند (بهبهانی ۱۳۸۵؛ بهبهانی و لک ۱۳۸۸)، اثر ماتریکس-کانی تاثیر قابل ملاحظه‌ای در نتایج حاصل از پیرولیز این نمونه‌ها ندارد ولی بایستی آن را لحاظ نمود. همچنین مواد آلی در طی حمل و نقل، رسوبگذاری و دیاژنز و حتی در مراحل آماده سازی نمونه‌ها در آزمایشگاه اکسید می‌شوند. پیرولیز مواد اکسید شده سبب کاهش مقادیر HI، S_2 و S_1 از مقادیر واقعی و تغییر کروژن می‌شود که باید این مورد را نیز در تفسیر نتایج در نظر گرفت. در ضمن روش پیرولیز راک-اول برای بررسی پتانسیل هیدروکربن زایی رسوباتی که دچار تدفین و بلوغ حرارتی شده‌اند، مناسب می‌باشد و برای نهشته‌های فاقد بلوغ حرارتی لازم (رسوبات جوان خلیج فارس) بهتر است جهت بررسی‌های دقیق تر علاوه بر آن از آنالیزهای دیگری نظیر تعیین نسبت اتمی H/C و O/C و استفاده گردد.

در این پژوهش برای تعیین وتفکیک کروژن‌ها در نمونه‌های سازند پابده از دیاگرام HI/ T_{max} استفاده شده است. اما به دلیل معتبر نبودن اندیس T_{max} {به دلیل کم بودن میزان S_2 ($<0.35 \text{ mg Hc/g Rock}$)} نمونه‌های زیر زون رزن-آبگرم و رسوبات خلیج فارس از دیاگرام S_2/TOC استفاده شده است. استفاده از این نمودار در مورد نمونه‌هایی که دارای TOC کمتر از ۱ درصد وزنی هستند، مشکل می‌باشد. لذا بهتر است در پژوهش‌های تکمیلی

بعدی جهت تعیین نوع دقیق کروژن، از روش‌های دیگری مانند دیاگرام ون کروژن (تعیین نسبت اتمی H/C و O/C)، پتروگرافی آلی و کروماتوگرافی گازی استفاده شود. لازم به ذکر است که در این تحقیق با استفاده از دیاگرام S_2/TOC که توسط گودارد و همکاران (Goddard et al. 1997) ارائه شده است، مشکل استفاده از این نمودار تا حدی کاهش یافته است. همچنین برای تعیین درجه بلوغ ماده آلی در این نوشتار از شاخص تولید (PI) استفاده شده است. با توجه به اینکه PI تا حد زیادی وابسته به عوامل مختلفی مانند نوع ماده آلی و ... می‌باشد، بنابراین تعیین درجه بلوغ حرارتی کروژن بر اساس این پارامتر باید توسط روش‌های دیگری نظیر تعیین اندیس دگرسانی حرارتی (TAI) و اندازه گیری انعکاس ویترنیت تایید گردد.

نتیجه گیری

با مطالعات انجام یافته به نتایج زیر دست یافتیم:

۱- ۶۵ درصد نمونه‌های بیتومین دار مورد مطالعه بخش‌های میانی و تحتانی سازند پابده در مرحله بالغ (تولید نفت) و ۳۵ درصد آن‌ها در مرحله نابالغ قرار گرفته‌اند. همچنین ۱۲ درصد از این نمونه‌ها دارای کروژن تیپ I، ۴۸ درصد در محدوده کروژن تیپ II و ۴۰ درصد نمونه‌ها در محدوده کروژن‌های تیپ II-III قرار گرفته‌اند.

۲- نمونه‌های مطالعه شده در مغزه بوشهر دارای ۳۶ درصد کروژن تیپ II، ۳۶ درصد مخلوط کروژن تیپ II-III، ۲۳ درصد تیپ III و ۵ درصد تیپ I می‌باشد.

۳- فقدان لایه‌های واجد پیریت، میزان کم کربن آلی کل ($TOC < 0.5\% \text{ wt}$)، وجود پوسته موجودات (Shell) و فرامینفرهای بتتیک به غیر از رسوبات رودخانه‌ای (رخساره‌های رودخانه‌ای مطالعه شده دارای کروژن تیپ III و II-III می‌باشد) و وجود زیست آشفستگی در برخی

منابع

- ۱- آتش مرد، ز.، ۱۳۸۴، بررسی لیتوفاسیس‌ها و محیط رسوبی توالی‌های زغال دار تریاس - ژوراسیک در زیر زون‌های رزن و آبگرم: پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی، ۹۵ ص.
- ۲- بهبانی، ر.، ۱۳۸۵، بررسی میکروفاسیس‌ها، ژئوشیمی آلی و محیط رسوبی توالی‌ها بیتومین دار سازند پابده در ایوان غرب: پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا همدان، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی، ۱۴۸ ص.
- ۳- بهبانی، ر.، و ر. لک، ۱۳۸۸، گزارش بررسی ژئوشیمی آلی و پراکندگی مواد آلی رسوبات هولوسن بخش شمالی خلیج فارس بر اساس مغزهای رسوبی: مدیریت زمین شناسی دریایی، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰ ص.
- ۴- قربانی قشقایی، ا.، ۱۳۷۹، لیتواستراتیگرافی سازند پابده در فروافتادگی دزفول شمالی: گزارش منتشر نشده، اداره کل زمین شناسی گسترشی مناطق نفت خیز جنوب، اهواز.
- ۵- مرادی، م.، و ب. علیزاده، ۱۳۸۴، مطالعه سازند پابده در میدان نفتی زیلائی با نمودارهای پتروفیزیکی و ژئوشیمیایی: بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین.
- 6- Alla, M. A., R. R. F. Kinghorn, and M. Rahman, 1980, Organic geochemistry and source rock characteristics of the Zagros petroleum province, South West Iran: *JPG*, v. 3, p. 61-89.
- 7- Alavi, M., 1994, Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran, new data and interpretations: *Tectonophysics*, v. 229, p. 211-238.
- 8- Alsharhan, A. S., and A. E. M. Nairn, 1995, Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle east: *Journal of African Earth Science*, v. 28, p. 76-771.
- 9- Bolourchi, M. H., 1979, Explanatory text of the Kabudar Ahang quadrangle map, 1:250000: Geological and Mineral Survey of Iran.

رخساره‌های مغزه رسوبی بوشهر نشان می‌دهد که شرایط برای تولید ماده آلی در رسوبات بستر خلیج فارس فراهم بوده ولی شرایط برای حفظ ماده آلی در مقیاس انبوه مناسب نبوده است.

۴- نمونه‌های مطالعه شده در زیر زون رزن - آبگرم دارای کروژن‌های تیپ III (برش ده لیان) و IV (برش قمشلو) می‌باشد.

۵- بر اساس دیاگرام شاخص هیدروژن در برابر TOC، نمونه‌های سازند پابده در مرحله پیشروی آب دریا، ۷۳ درصد از نمونه‌های مطالعه شده در ناحیه بوشهر در مرحله پیشروی آب دریا و ۲۷ درصد در مرحله سطح پایین آب و نمونه‌های زیر زون رزن - آبگرم در مرحله سطح پایین آب بر جای گذاشته شده‌اند.

۶- با بررسی شاخص‌های هیدروژن مطالعه شده، نمونه‌های بررسی شده در زیر زون رزن - آبگرم گاز زایی باشند ولی از نظر توان هیدرو کربن زایی در رتبه ضعیف (Poor) قرار می‌گیرند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش بخشی از نتایج حاصل از طرح بررسی زمین شناسی دریایی رسوبات بستر خلیج فارس در مدیریت زمین شناسی دریایی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور و پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد رسوب شناسی دانشگاه بوعلی سینا همدان می‌باشد. مولفین مایل هستند از جناب مهندس سعد الدین مدیر بخش زمین شناسی دریایی به خاطر پشتیبانی و حمایت از این طرح و پژوهش سپاسگزاری نمایند. همچنین از آقایان مهندس معین پور و کسایی (واحد ژئوشیمی پژوهشگاه صنعت نفت) نیز به خاطر انجام پیرولیز راک - اوال و راهنمایی‌های ارزنده‌شان تشکر و قدر دانی می‌گردد.

- 22- Mohseni, H., and I.S. Al –Aasm, 2004, Tempestite deposits on a storm – influenced carbonate ramp : an example from the Pabdeh Formation (Paleogene), Zagros Basin, SW Iran: *Journal of Petroleum Geology*, v. 27, p. 163-178.
- 23- Murris, R.J., 1980, Middle east, stratigraphic evolution and oil habitat: *AAPG Bulletin*, v. 4, p. 597- 618.
- 24- Parrish, J.T., 1995, Paleogeography of organic carbone- rich rocks and the preservation versus production controversy. in: A.y. Huc (Eds.), *Paleogeography, Paleoclimate and source rocks: AAPG*, v. 40, p. 1- 20.
- 25- Peters, K. E., 1986, Guiedlines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis, *AAPG Bulletin*, v.70, p. 318-329.
- 26-Saad, M. A. H., 1982, Distribution of nutrient salts in the lower reaches of the Tigris and Euphrates, Iraq: *Water Supply and Management*, v. 6, p. 443-453.
- 27-Stampfli, G., J. Marcoue, and A. Baud, 1991, Tethian margins in space and time: *Paleogeography, Paleoecology, Paleoclimate*, v. 87, p. 373- 409.
- 28- Stocklin, J., 1968, Structural history and tectonic of Iran a review: *AAPG Bulltin*, v. 52, p. 1229-1258.
- 29- Stoneley, R., 1990, The Arabian continental margin in Iran during the late Cretaceous. in: A.H.F. Roberston, M.P. Searl, and A. Ries (Eds.), *The geology and tectonics of the Oman region: Geol.Soc. London. Spec. Pub*, v. 49, p. 787- 795.
- 30- Suess, E., L.D. Kulm, and J.S. Killingley, 1987, Coastal upwelling and a history of organic- rich mudstone deposition off Peru. in: J. Brooks, and A. J. Fleet (Eds.), *Marine Petroleum source rocks: Geol.Soc. London. Spec. Pub*, v. 26, p. 181- 197.
- 31- Van Buchem, F. S. P., P. Razin, P.W. Homewood, W. Oterdoom, and J. Handphilip, 2000, Stratigraphic organization of carbonate ramps and organic rich intrashelf basins, Natih Formation (middle Cretaceuos) of nothern Oman: *AAPG Bulletin*,v. 87, p. 21- 54.
- 32- Ziegler, M. A., 2001, Late Permian to Holocene paleofacies evolution of the Arabian plate and its hydrocarbon occurrences: *GeoArabia*, v.6, p. 445- 504.
- 10- Bordenave, M. L., and R. Burwood, 1990, Source rock distribution and maturation in the Zagros orogenic belt, Provenance of the Asmari and Bangestan reservoir oil accumulations: *Organic Geochemistry*, v. 16, p. 369- 378.
- 11- Bordenave, M. L., and A.Y. Huc, 1995, The Cretaceous source rocks in the Zagros Foothills of Iran: *Reve De Institut Francais Du Petrole*, v. 50, p. 727- 754.
- 12- Emery, D., and K. Mayers, 1996, *Sequence stratigraphy: Blackwell, London*, 297 p.
- 13- Falcon, N.L., 1958, Position of oil fields of southwest Iran with respect to relevant sedimentary basins. in: G.W. Lewis (Eds.), *Habitat of oil a symposium conducted by the AAPG: London*, p. 1279- 1293.
- 14- Goddard, D. A., E. A. Mancini, S. C. Talukar, and M. Horn, 1997, Bossier – Hanesvill shale, North Louisian salt basin: Lousiana State University, Baton Rouge, Louisiana, center for energy, pdf file, [www. api. ning. Com/ files](http://www.api.ning.Com/files), 46.
- 15- Haq, B. U., J. Hardenbol, and P.R. Vail, 1988, Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and cycles of sea- level change. in: C.k. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.St.C. Kendall, H. Posamentier, J. Van Wagoner, and C.A. Ross (Eds.), *Sea- level changes, an integrated approach: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication*, v. 42, p. 71- 108.
- 16- Harris, N.B., 2005, The deposition of organic carbon- rich sediments: models, mechanisms and consequences, *SEPM Special Publication*, v. 82, 282 p.
- 17- Hay, W.W., 1995, Paleooceanography of marine organic carbon- rich sediments. in: A.Y. Huc (Eds.), *Paleogeography, paleoclimate and source rock: AAPG*, v. 40, p. 21-59.
- 18- Huc, A.Y., 1988, Aspects of depositional processes of organic matter in sedimentary basins: *Organic Geochemistry*, v. 13, p. 263- 272.
- 19- Hunt, J. M., 1995, *Petroleum geochemistry and geology: 2nd ed.*, New York, Freeman, 743 p.
- 20- James, G.A., and J.G. Wynd, 1965, *Stratigraphic nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area: AAPG Bulletin*, v. 49, p. 2182- 2245.
- 21- Jones, R. W., 1987, Organic facies. in J. Brooks, and D. Welte (Eds.), *Advances in petroleum geochemistry: London, Academic Press*, v. 2, p. 1-90.