

ارزیابی ژئوشیمیایی سازندهای شیشتو و سردر در حوضه طبس بر اساس داده‌های کروماتوگرافی گازی (GC)

نسرین فلاح نژاد*، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران شمال • علی شکاری فرد، انستیتو مهندسی نفت • منوچهر دریابنده، مدیریت اکتشاف

چکیده

مطالعات ژئوشیمی نفت بر روی نمونه‌های انتخابی از سازندهای سیلیسی-آواری شیشتو (دونین بالایی تا کربنیفر زیرین) و سردر (کربنیفر زیرین تا بالایی) از دو رخنمون سطحی در محدوده کوه‌های شتری در حوضه رسوبی طبس در ایران مرکزی انجام گردید. ارزیابی ژئوشیمیایی سنگ‌های منشاء از نظر رخساره آلی، محیط رسوبگذاری، بلوغ حرارتی و تخریب زیستی در مطالعات اکتشافی تعیین کننده است. از لحاظ میزان بلوغ حرارتی، سازندهای شیشتو و سردر در برش‌های رخنمون یافته، در حال حاضر در محدوده پنجره نفتی قرار داشته و بالغ هستند. بر اساس داده‌های ژئوشیمی (CPI، Ph/nC₁₈، Pr/nC₁₇، Pr/Ph، TAR) و الگوی کروماتوگرام‌های گازی، کروژن‌های مولد موجود در سازندهای شیشتو و سردر مخلوطی از کروژن‌های نوع II و III است که در محیط دریایی در شرایط نیمه‌احیایی با حفظ شدگی متوسط تا نسبتاً خوب ته‌نشین شده است. منشاء ماده آلی مولد موجود در نمونه‌های مورد مطالعه ترکیبی از ماده آلی جلبکی با منشاء دریایی و مواد قاره‌ای است.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۴/۱۲/۰۵

تاریخ ارسال به داور: ۹۵/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۰۷/۲۶

واژگان کلیدی:

ارزیابی ژئوشیمیایی، سازندهای شیشتو و سردر، دونین-کربنیفر، حوضه طبس، ایران مرکزی

مقدمه

به یک رژیم قاره‌ای تبدیل کرده است (سازند سردر) [۳].

۲- برش‌های مورد مطالعه و نمونه‌برداری

برش‌های مورد مطالعه شامل برش‌های کال سردر و حوض دوره در محدوده کوه‌های شتری در شکل ۱- آورده شده است. برش الگوی سازند سردر در دره سردر (کال سردر) و برش مرجع آن نیز در مقطع حوض دوره قرار دارد. در محدوده طبس، شتری و شیرگشت رخساره سازند سردر شامل تناوبی از ماسه‌سنگ‌های آهکی، کوارتزیت، سنگ‌آهک‌های ماسه‌ای قهوه‌ای رنگ و شیل‌های سیلتی تا ماسه‌ای است، در حالی که خارج از این محدوده تغییرات رخساره‌ای، رسوبات معادل این سازند به شدت زیاد است. سازند شیشتو یک سازند دو زمانه است که قسمت پایین آن معرف سنگ‌های دونین بالایی و قسمت بالایی آن به سن کربنیفر پسین است. در مقطع حوض دوره زیر سازند شیشتو (۱) از تناوب یکنواخت شیل‌های ماسه‌ای، سیلتی سبز و خاکستری، ماسه‌سنگ‌های کوارتزیتی و کوارتزیت‌های دارای چینه‌بندی متقاطع تشکیل شده است که در آن بین، لایه‌هایی از آهک، آهک ماسه‌ای و گاهی اولیتی دیده می‌شود. حدود ۳۰ متر از رأس زیرسازند شیشتوی (۱) به آهک‌های به‌شدت اولیتی و شیل‌های ماسه‌ای، آهکی، سبز، قهوه‌ای یا زرد و آهک ماسه‌ای هماتی ختم می‌شود. بر روی این واحد راسی یک واحد شیلی-مارنی گچ‌دار قرار گرفته است که تبخیری شدن حوضه و خروج از آب را در دونین بالایی نشان می‌دهد. در رشته کوه شتری زیر سازند شیشتو (۲) از ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌هایی تشکیل شده است که دارای تعداد اندکی بین لایه‌های آهکی است. رأس زیرسازند شیشتو (۲) در این منطقه توسط فرسایش قاره‌ای از بین

ارزیابی ژئوشیمیایی سنگ‌های منشاء احتمالی در حوضه‌های نفتی، از دیدگاه مطالعات اکتشافی اهمیت زیادی دارد. در این مطالعه تلاش شده است با استفاده از روش کروماتوگرافی گازی، خصوصیات ژئوشیمیایی ماده آلی پراکنده در رسوبات پالئوزوئیک بالایی رخساره‌های آلی سازندهای شیشتو (دونین بالایی تا کربنیفر زیرین) و سردر (کربنیفر زیرین تا بالایی) از لحاظ بلوغ حرارتی، نوع، کیفیت و محیط رسوب‌گذاری سنگ منشاء در حوضه طبس تعیین گردد.

۱- جایگاه زمین‌ساختی حوضه طبس

ساختار کنونی حوضه طبس، به شکل یک گرابن در اثر راندگی کوه‌های شتری به سمت غرب و کوه‌های کلمرد به سمت شرق در یک فاز فشارشی از ترشیری میانی تا کواترنر پیشین شکل گرفته است و به این جهت آن را یک حوضه فرو افتاده فشارشی می‌نامند [۱]. سپس حوضه طبس توسط رسوبات قرمز رنگ نوژن و انباشته‌های کویری کواترنر پر شده است. رخنمون‌های تقریباً افقی ژوراسیک پسین در جنوب آن نشان می‌دهد که این کفه در حدود ۶۰۰ متر پایین افتادگی دارد [۲]. بلوک طبس تکامل خود را در زمان پالئوزوئیک مانند سایر قسمت‌های ایران از یک پلاتفرم کربناته کم‌عمق (سازند نیور) در سیلورین آغاز کرده است و با کاهش سطح آب دریا به یک سکوی آواری (سازند پاها) در طی دونین پیشین تبدیل شده است. مجموع این دو سازند گروه گوش کمر را در این ناحیه تشکیل می‌دهد. سپس شرایط کاملاً احیایی در زمان دونین میانی (سازند سبزار) تا ابتدای فرازین (سازند بهرام) برقرار گشته و تا ابتدای کربنیفر پسین (سازند شیشتو) ادامه داشته است (گروه ازبک کوه). بالا آمدگی در اواخر کربنیفر کل ناحیه را

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (nasrinfallah230@yahoo.com)

رفته است و بر روی آن، کنگلومرای پیشرونده سازند سردر (۱) قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده یک ناپیوستگی رسوبی است [۴]. در این مطالعه ۶ نمونه سطحی از سازندهای شیشتو و سردر برای مطالعات کروماتوگرافی گازی انتخاب شده است.

۳- روش مطالعه

آنالیز کروماتوگرافی گازی در آزمایشگاه ژئوشیمی هامبل (Humble) در کشور انگلستان و با استفاده از دستگاه GC Aglient 6890, with FID (1X) انجام گرفته است.

دستگاه کروماتوگراف گازی از یک ستون کروماتوگرافی موین قابل انعطاف از جنس شیشه یا سیلیس گداخته به طول تقریبی ۶۰-۱۰ متر و به قطر داخلی حدوداً ۰/۲۵-۰/۲ میلی‌متر ساخته شده است. سطح داخلی ستون توسط لایه نازکی به ضخامت حدودی ۰/۲۵ میکرومتر از یک ماده غیر فرار (فاز ساکن) که معمولاً یک پلیمر آلی است، پوشیده شده است. فاز ساکن برای برش اشباع می‌تواند دی‌متیل‌پلی‌سیکلوهاگزان

۴- نتایج و بحث

۴-۱- بلوغ حرارتی ماده آلی

۴-۱-۱- سازند سردر

نمونه‌های مورد مطالعه در این بررسی با داشتن مقادیر بالای ترکیبات هیدروکربنی بین ۵۷/۱ تا ۶۳/۲ درصد و مقادیر متوسط ترکیبات قطبی بین ۳۶/۸ تا ۴۲/۹ درصد، بلوغ نسبتاً بالایی را نشان می‌دهند (جدول-۱). در نمونه‌های مورد بررسی نسبت Pristane/nC₁₇ بین ۰/۵۳ تا ۰/۸۳ و نسبت Phytane/nC₁₈ بین ۰/۵۷ تا ۰/۹۸ متغیر است. نمودار Pr/n-C₁₇ در مقابل Ph/n-C₁₈ نشان می‌دهد که نمونه‌های سازند سردر بالغ هستند (شکل-۲).

در نمونه‌ها، مقدار CPI بین ۱/۰۱ تا ۱/۱۱ متغیر است و می‌تواند نشان‌دهنده بالغ بودن نمونه‌ها باشد [۵].

۴-۱-۲- سازند شیشتو

بر اساس نتایج کروماتوگرافی مایع، در نمونه‌های مورد مطالعه ترکیبات هیدروکربنی بین ۵۲/۷ تا ۷۰/۴ درصد و ترکیبات قطبی بین ۲۹/۶ تا ۴۷/۳ درصد متغیر است. نمونه‌ها با داشتن مقادیر بالای ترکیبات هیدروکربنی و مقادیر متوسط ترکیبات قطبی بلوغ نسبتاً بالایی را نشان می‌دهند.

در نمونه‌های مورد مطالعه نسبت Pr/n-C₁₇ بین ۰/۶۶ تا ۰/۷۶ و نسبت Ph/n-C₁₈ بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ متغیر است که در نمودار Pr/n-C₁₇ در مقابل Ph/n-C₁₈ بلوغ بالای این نمونه‌ها را نشان می‌دهد (شکل-۲). مقدار CPI در نمونه‌ها بین ۱ تا ۱/۰۲ متغیر است که می‌تواند نشان از بلوغ بالای نمونه‌ها باشد [۵].

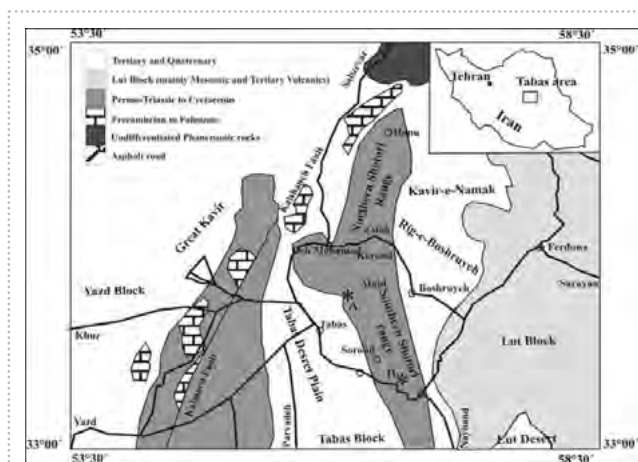
۴-۲- نوع ماده آلی

۴-۲-۱- سازند سردر

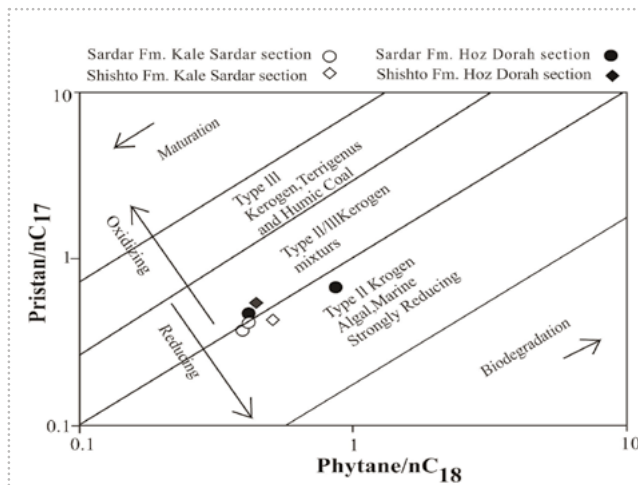
بر اساس نمودار Pr/n-C₁₇ در مقابل Ph/n-C₁₈ این ترکیبات از کروژن‌های نوع II یا II/III با منشأ جلبکی و دریایی منشأ گرفته است (شکل-۲) [۶]. این داده‌ها بیانگر حضور ترکیبی از مواد اکسید شده و مواد مولد (البته به میزان اندک) در نمونه‌های مورد مطالعه است. بنابراین نمودار Pr/n-C₁₇ در مقابل Ph/n-C₁₈ نشان‌دهنده کروژن مولد سازند سردر است.

۴-۲-۲- سازند شیشتو

نمودار Pr/n-C₁₇ در مقابل Ph/n-C₁₈ نشان‌دهنده این است که کروژن سازند شیشتو نوع II/III می‌باشد [۶] (شکل-۲). با توجه به داده‌های ژئوشیمی مولکولی، مواد آلی با منشأ جلبکی می‌توانند کروژن نوع II را تولید کنند و بعضی از مواد هم از گیاهان خشکی مشتق شده‌اند که می‌توانند کروژن نوع III را تولید کنند. بنابراین، این نمودار نشان‌دهنده کروژن‌های مولد سازند شیشتو است.

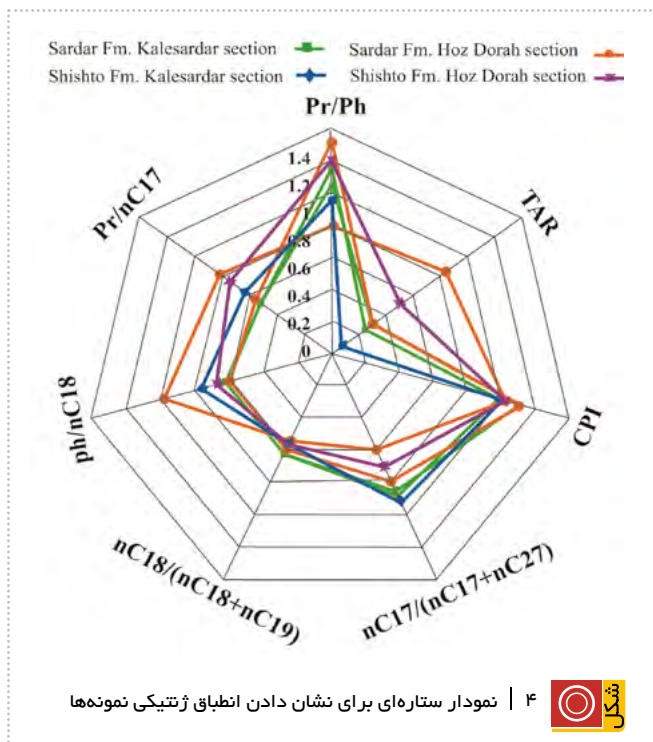
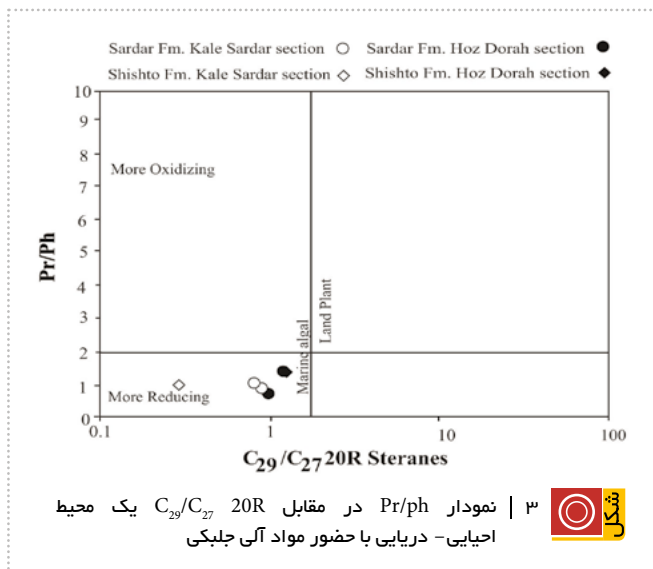


شکل ۱ | نقشه زمین‌شناسی و موقعیت رخنمون‌های سطحی برداشت شده در رشته‌کوه شتری. مقاطع برداشت شده به ترتیب: A-کال سردر و B-حوض دوراه.



شکل ۲ | نمودار Pr/nC₁₇ در مقابل Ph/nC₁₈ در نمونه‌های مورد مطالعه

آلکان‌های نرمال سنگین C₂₇-C₃₁ می‌تواند به علت بالا بودن مواد آلی مشتق شده از جلبک کلنی باتریوکوکوس (*Botryococcus braunii*) یا بالا بودن سهم واکس‌های مشتق شده از گیاهان خشکی باشد، اما با توجه به اینکه جلبک باتریوکوکوس نشان‌دهنده محدوده سنی ژوراسیک به بعد بوده و سن نمونه‌های مورد مطالعه قدیمی‌تر از ژوراسیک می‌باشد، بنابراین وجود آلکان‌های سنگین C₂₇-C₃₁ را می‌توان به بالا بودن سهم واکس‌های مشتق شده از گیاهان خشکی نسبت داد (شکل ۵-پایین) [۴]. در یکی از نمونه‌های سازند سردر در برش حوض دوره به‌نظر می‌رسد که به دلیل عوامل ثانویه مانند آبشویی و دگرسانی زیستی، یک Hump (صعود خط پایه) در نمودار مشاهده می‌شود اما با توجه به اینکه عوامل ثانویه آلکان‌های نرمال سبک را از بین می‌برند و در این شکل این



۴-۳- منشاء و محیط رسوب گذاری

۴-۳-۱- سازند سردر

به‌طور کلی نسبت‌های Pr/Ph > 1 بیانگر محیط اکسیدی و Pr/Ph < 1 بیانگر محیط احیایی در هنگام رسوب گذاری مواد آلی است [۷]. در نمونه‌های مورد مطالعه نسبت Pr/Ph بین ۰/۸۶ تا ۱/۳۲ متغیر است و میانگین ۱/۰۹ نشان دهنده شرایط نیمه‌احیایی در زمان رسوب گذاری سازند سردر در بخش‌های مورد مطالعه است. البته تفسیر شرایط احیایی محیط نیازمند بررسی دیگر پارامترهای موجود است، زیرا این نسبت تا اندازه‌ای تحت تأثیر بلوغ و منشاء ماده آلی موجود می‌باشد [۵]. با توجه به مقادیر Pr/Ph > 1 در نمونه‌های برش کال سردر و یکی از نمونه‌های برش حوض دوره، این مقادیر را نمی‌توان به درجات بالای بلوغ نسبت داد، چراکه با افزایش بلوغ این نسبت کم می‌شود، این نسبت می‌تواند تا اندازه‌ای تحت تأثیر وجود شیل در ترکیب سنگ‌شناسی باشد زیرا در توالی‌های شیلی این نسبت بیشتر از ۱ است [۴]. نسبت Pr/Ph < 1 در نمونه دیگر برش حوض دوره، سبب ایجاد یک شرایط احیایی شده است. در نمونه‌های مورد بررسی نمودار Pr/n-C₁₇ در مقابل Ph/n-C₁₈ نشان می‌دهد که نمونه‌های مورد مطالعه از سازند سردر در محیط دریایی در شرایط نیمه احیایی قرار دارند و نمونه‌ها از حفظ‌شدگی نسبتاً خوبی برخوردارند (شکل ۲) [۶].

مقادیر نسبت استران‌های منظم C₂₉/C₂₇ 20R از ۰/۷۷ تا ۱/۴۷ متغیر است و همراه با مقادیر نسبتاً پایین Pr/Ph می‌تواند بیانگر یک محیط رسوب گذاری با غالب بودن شرایط دریایی احیایی باشد (شکل ۳-۳) [۸].

به‌منظور تطابق ژنتیکی نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از پارامترهای به‌دست آمده از روش کروماتوگرافی گازی از نمودار ستاره‌ای بهره برده شده است. در این نمودار که بر اساس پارامترهای تفسیری نظیر نسبت‌های Pr/Ph، CPI، TAR ترسیم شده است، تغییرات پارامترها در مواد آلی نزدیک به هم است و جز در یکی از نمونه‌های برش حوض دوره، انطباق نسبتاً خوبی بین نمونه‌ها مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد ترکیب ماده آلی موجود در نمونه‌ها کم‌ویش یکسان است (شکل ۴-۴).

در نمونه‌های سنگی برش کال سردر، TAR بین ۰/۲۷ تا ۰/۳۲ متغیر بوده است (جدول ۱)؛ با توجه به این مقادیر کم، سهم مواد دریایی در این برش بیشتر است.

نمودار گاز کروماتوگراف دو نمونه برش کال سردر تقریباً یک حالت یک کوهانه را نشان می‌دهند. گسترش آلکان‌های نرمال در این دو نمونه از n-C₁₃ تا n-C₃₃ می‌باشد که دارای بیشترین فراوانی در محدوده آلکان‌های نرمال C₁₅ تا C₁₈ می‌باشد. فراوانی آلکان‌های زیر C₂₀ نشان‌دهنده بالا بودن مواد آلی با منشاء جلبکی است (شکل ۵-بالا) [۵]. در نمونه‌های سنگی برش حوض دوره، TAR بین ۰/۳۱ تا ۰/۸۴ متغیر است و با میانگین ۰/۵۷ نشان می‌دهد که در مقایسه با برش کال سردر سهم مواد دریایی آن کمتر است.

در نمودارهای گاز کروماتوگراف می‌توان مشاهده نمود که در نمونه‌های سازند سردر در برش حوض دوره، گسترش آلکان‌های نرمال در یکی از نمونه‌ها از C₁₂ تا C₃₄ و در نمونه دیگر از C₁₃ تا C₃₄ می‌باشد و یک الگوی تقریباً دو کوهانه را به نمایش گذاشته است. همچنین داشتن

هم است، البته در نمونه برش حوض دوره، مقدار TAR بالاتر از نمونه دیگر است و این امر نشان می‌دهد که سهم مواد خشکی آن بیشتر است، همچنین مقدار Pr/Ph در این نمونه تحت تأثیر ترکیب سنگ‌شناسی شیلی مقدار بالاتر از ۱ را نشان می‌دهد (شکل-۴).

در نمونه سنگی برش کال سردر، TAR برابر ۰/۱ است (جدول-۱) و بیانگر حاکم بودن شرایط دریایی بر محیط رسوب‌گذاری این نمونه است.

بر اساس آنالیزهای گاز کروماتوگرافی بخش اشباع بیثومن استخراج شده از نمونه سطحی برش کال سردر، می‌توان بیان داشت که گسترش کلی آلکان‌های نرمال از C₁₂ تا C₃₃ بوده است و بیشترین فراوانی از C₁₅ تا C₁₈ می‌باشد و نمودار، حالت یک کوهانه دارد. این مطلب بیانگر بلوغ نسبتاً بالای این نمونه است و فراوانی آلکان‌های نرمال زیر C₂₀ نشان‌دهنده این است که بیثومن مورد مطالعه متعلق به سنگ منشاء دریایی با ماده آلی نوع جلبکی می‌باشد (شکل-۶-۵).

در نمونه برش حوض دوره، مقدار TAR برابر ۰/۵۳ است و وجود مواد آلی خشکی و دریایی با فراوانی مواد آلی خشکی را نشان می‌دهد. نمودار گاز کروماتوگرام بخش اشباع نمونه سطحی برش حوض دوره، نشانگر فراوانی آلکان‌های نرمال از C₁₃ تا C₃₅ است که بیشترین فراوانی را در محدوده C₁₅ تا C₁₉ می‌توان مشاهده نمود. همچنین این نمودار یک حالت دو کوهانه را نشان می‌دهد. با توجه به محدوده سنی جلبک باتریوکوکوس که ژوراسیک به بعد می‌باشد و همچنین سن نمونه‌های مورد مطالعه که قدیمی‌تر از ژوراسیک بودند، وجود آلکان‌های نرمال سنگین C₂₇-C₃₁ را

ترکیبات وجود دارند، پس بالا رفتن خط پایه را می‌توان به هوازگی نمونه‌ها نسبت داد. بنابراین در این نمونه نمی‌توان با استفاده از داده‌های GC به نتایج درستی رسید.

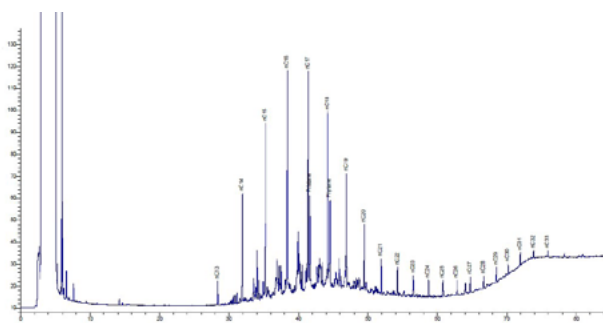
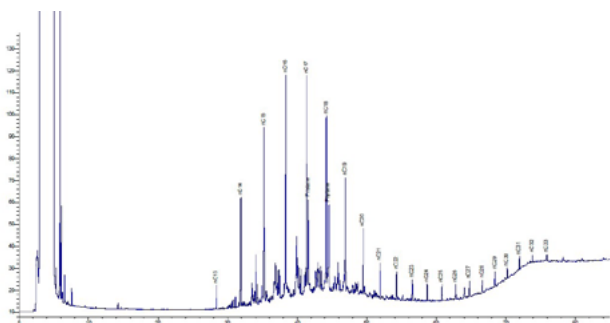
۴-۳-۲- سازند شیشو

در نمونه‌های مورد مطالعه نسبت Pr/Ph بین ۰/۹۶ تا ۱/۲ متغیر است و نشان‌دهنده شرایط نیمه‌احیایی در زمان رسوب‌گذاری سازند سردر در بخش‌های مورد مطالعه است. در نمونه برش حوض دوره نسبت Pr/Ph برابر ۱/۲ می‌باشد که این مقدار به درجات بالای بلوغ نسبت داده نمی‌شود، زیرا با افزایش بلوغ این نسبت کم می‌شود. بنابراین مقدار فوق می‌تواند تحت تأثیر سنگ‌شناسی شیلی باشد [۵]. نسبت Pr/Ph < 1 در نمونه‌ی برش کال سردر، سبب برقراری یک شرایط احیایی و حفظ‌شدگی خوب ماده آلی شده است. نمودار Pr/n-C₁₇ در مقابل Ph/n-C₁₈ نشان می‌دهد که نمونه‌های مورد مطالعه از سازند شیشو در محیط دریایی در شرایط نیمه‌احیایی قرار دارند و نمونه‌ها حفظ‌شدگی نسبتاً خوبی را نشان می‌دهند (شکل-۲-۶).

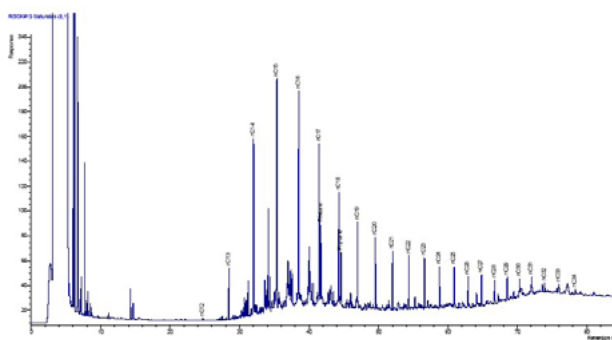
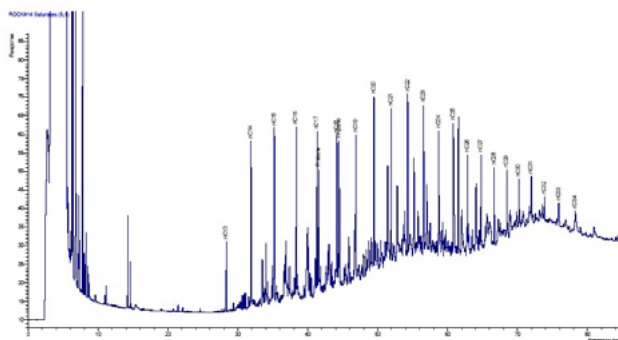
مقادیر نسبت استران‌های منظم C₂₉/C₂₇ 20R از ۰/۵۶ تا ۱/۳ متغیر است که در نمودار C₂₉/C₂₇ 20R با داشتن مقادیر نسبتاً پایین Pr/Ph بیانگر یک محیط رسوب‌گذاری با غالب بودن شرایط احیایی و محیط دریایی باشد (شکل-۳-۸).

در نمودار ستاره‌ای که بر اساس پارامترهایی نظیر نسبت‌های Pr/Ph، TAR، CPI، ترسیم شده است، تغییرات پارامترها در مواد آلی نزدیک به

SardarFm. Kale Sardar section



Sardar Fm. Hoz Dorah section



۵ | نمودار گاز کروماتوگرام بخش اشباع نمونه سازند سردر در برش کال سردر (بالا) و برش حوض دوره (پایین)

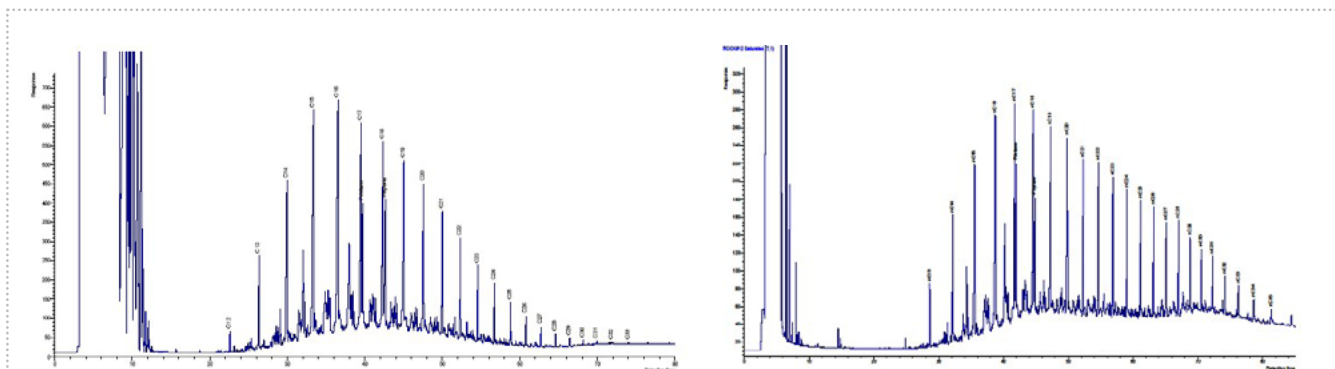


۳. بر اساس داده‌های ژئوشیمی، نمونه‌های مطالعه شده در یک محیط دریایی در شرایط نیمه‌احیایی با حفظ شدگی نسبتاً خوب ته‌نشین شده‌اند و ماده آلی موجود در نمونه‌ها ترکیبی از مواد آلی جلبکی با منشاء دریایی و واکس‌های مشتق شده از مواد قاره‌ای (گیاهان عالی) است. مواد آلی موجود در رخساره‌های آلی این دو سازند، منشاء کم‌وبیش یکسانی داشته و در شرایط نسبتاً یکسانی رسوب‌گذاری کرده‌اند. تنها، نقش مواد آلی قاره‌ای در سازند سردر بیشتر از سازند شیشتو است. ■

می‌توان به بالا بودن سهم واکس‌های مشتق شده از گیاهان خشکی نسبت داد (شکل ۶- راست) [۵].

نتیجه‌گیری

۱. داده‌های ژئوشیمی مولکولی، نشان‌دهنده بلوغ بالای سازندهای شیشتو و سردر حوضه طیس می‌باشد.
۲. بر اساس داده‌های ژئوشیمی مولکولی، کروژن‌های موجود در سازندهای شیشتو و سردر مخلوطی از کروژن‌های نوع II و III است.



۶ | نمودار گاز کروماتوگرام بخش اشباع نمونه سازند شیشتو در برش کال سردر (چپ) و برش حوض دوره (راست)



۱ | نتایج حاصل از آنالیز GC نمونه‌های سازندهای شیشتو و سردر در حوضه طیس.



Formation	Section	n-Alkane and isoprenoids								
		Sat%	Aro%	Resin%	Asp%	Pr/Ph	Pr/nC17	Ph/nC18	CPI	TAR
Sardar	Kale Sardar	41	17.5	29.2	12.3	1.14	0.53	0.6	1.01	0.27
		41.9	15.6	31.4	11.1	1.05	0.53	0.59	1.10	0.32
	Hoz Dorah	46.6	10.5	36.1	6.8	1.32	0.56	0.57	1.11	0.31
		50.6	12.6	25.4	11.4	0.86	0.83	0.98	1.02	0.84
Shishto	Kale Sardar	49.2	21.2	14	15.6	0.96	0.66	0.75	1.00	0.1
	Hoz Dorah	44.2	8.5	42.2	5.1	1.2	0.76	0.65	1.02	0.53

منابع

[1] Stocklin, J.; Eftekhar-Nezhad, J., Hushmand-Zadeh, A.; 1965; Geology of Sotori Range. Geology Report. No.3. Geological Survey of Iran.

[۲] آقائاتی، سید علی، ۱۳۸۵، زمین‌شناسی ایران، چاپ دوم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

[3] Wendt, J., Kaufmann, B., Belka, Z., Farsan, N. and Karimi Bavandpur, A. R., 2005, Devonian/Lower Carboniferous Stratigraphy, Facies Patterns and Palaeogeography of Iran. Part Ii. Northern and Central Iran. Acta Geologica Polonica, Vol. 55 (2005), No. 1, pp. 31-97.

[۴] گزارش چینه‌شناسی پروژه طیس، ۱۳۸۸، مدیریت اکتشاف، شرکت ملی نفت ایران.

[5] Peters, K. E.; Walters, C. C.; Moldowan, J. M.; 2005; The Biomarker

Guide: Biomarkers in The Environment and Human History, Vol.1. Second Edition. Cambridge University Press. United Kingdom.

[6] Connan, J. & Cassou, A. M.; 1980; Properties of gases and petroleum liquids derived from terrestrial kerogen at various maturation levels. Geochimical Cosmochimical Acta, 44: 1-23

[7] Didyk, B. M.; Simoneit, B. R. T.; Brassell, S. C. and Eglinton, G.; 1978; Organic Geochemical Indicators of Paleoenvironmental Conditions of Sedimentation. Nature, 272, pp. 216-222.

[8] Mackenzie, A.S.; Hoffmann, C.F.; Maxwell, J.R.; 1981; Molecular Parameters of Maturation in The Toarcian Shales, Paris Basin, France-Iii. Changes in Aromatic Steroid Hydrocarbons. Geochimica Et Cosmochimica Acta, V. 45, pp. 1345-1355.