



ارزیابی ژئوشیمیایی و توان هیدروکربن‌زایی سازند شیشو (دونین بالایی تا کربنیفر زیرین) در ناحیه ی طبس، ایران مرکزی

منوچهر درباننده¹، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایرانعلی شکاری فرد²، دانشگاه تهراننسرین فلاح‌نواد³، دانشگاه آزاد اسلامی

چکیده

مطالعات ژئوشیمی آلی روی نمونه‌های انتخابی از سازند سیلیسی-آواری شیشو (دونین بالایی تا کربنیفر زیرین) از دو رخنمون سطحی در محدوده ی کوه‌های شتری ناحیه ی رسوبی طبس در ایران مرکزی انجام شد. به‌طور میانگین مقدار کل کربن آلی (TOC) سازند شیشو برابر با ۱/۲ درصد وزنی است. از لحاظ مقدار کربن آلی این سازند به‌عنوان سنگ منشأ خوبی قابل توجه است. مقادیر شاخص هیدروژن (HI) برای نمونه‌های سازند شیشو به‌طور میانگین ۲۱ میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم کربن آلی است. بر اساس این داده‌ها در حال حاضر کروژن‌های موجود در این سازند بسیار فقیر از هیدروژن بوده و از لحاظ ترکیب شیمیایی بیشتر معادل کروژن نوع IV هستند. از لحاظ بلوغ حرارتی، بر اساس مقادیر T_{max} قابل اعتماد، مقادیر انعکاس و یترنیت و به‌ویژه نسبت‌های ژئوشیمی مولکولی شامل $C_{32}22S/(22S+22R)$ ، $C_{29} \beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ و $C_{29} 20S/(20S+20R)$ ، سازند شیشو در حال حاضر در محدوده ی پنجره ی نفتی قرار دارد و بالغ است. بر اساس نسبت‌های ژئوشیمی و بایومارکری GC و GC-MS شامل $C_{29}/C_{27} 20R$ و استران Ph/nC_{18} ، Pr/Ph ، TAR ، Pr/nC_{17} ، کروژن‌های مولد موجود در سازند شیشو مخلوطی از کروژن‌های نوع II و III است که در محیط دریایی و در شرایط نیمه‌احیایی با حفظ‌شدگی نسبتاً خوب تا متوسط ته‌نشین شده است. منشأ ماده ی آلی موجود در نمونه‌های مورد مطالعه ی ترکیبی، ماده ی آلی جلبکی با منشأ دریایی و مواد آلی قاره‌ای می‌باشد. این سازند در محیط‌های زیرسطحی ناحیه ی طبس در حال تولید هیدروکربن است.

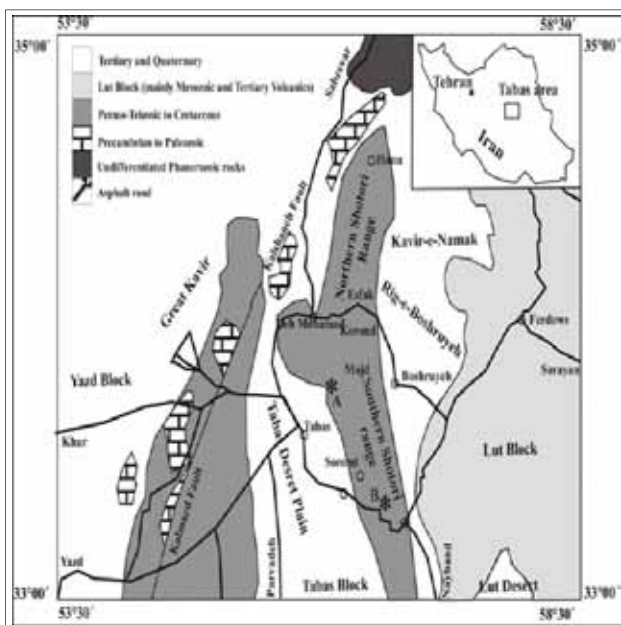
واژگان کلیدی | ارزیابی ژئوشیمیایی سنگ منشأ، سازند شیشو، دونین-کربنیفر، ناحیه ی طبس، ایران مرکزی

مقدمه

ارزیابی ژئوشیمیایی سنگ‌های منشأ احتمالی در ناحیه‌های نفتی، از دیدگاه مطالعات اکتشافی اهمیت زیادی دارد. در ناحیه ی طبس، رسوبات پالئوزوئیک رخساره‌های آلی سازند شیشو (دونین بالایی تا کربنیفر زیرین) به‌عنوان رسوبات سنگ منشأ در ناحیه ی طبس در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱-). که تاکنون مطالعه ی جامعی روی آنها انجام نشده و ضروری است اطلاعات کامل‌تری از رخساره‌های آلی این سازند به‌دست آید. در این مطالعه تلاش شده با ارزیابی‌های ژئوشیمیایی، خصوصیات ماده ی آلی پراکنده در رخساره‌های آلی سازند مورد مطالعه از لحاظ نوع، کیفیت، منشأ و محیط رسوب‌گذاری در ناحیه ی طبس تعیین گردد.

۱- جایگاه زمین‌ساختی ناحیه ی طبس

ساختار کنونی ناحیه ی طبس به‌شکل یک گرابن در اثر راندگی کوه‌های شتری به‌سمت غرب و کوه‌های کلمرد به‌سمت شرق در یک فاز فشارشی از ترشیری میانی تا کواترن پیشین شکل گرفته و بدین جهت آن را یک ناحیه ی فروافتاده ی فشارشی می‌نامند [۱]. ناحیه ی طبس توسط رسوبات قرمز رنگ نفوذ و انباشته‌های کویری کواترن پر شده است. رخنمون‌های تقریباً



شکل ۱ | نقشه ی زمین‌شناسی و موقعیت رخنمون‌های سطحی برداشت شده در رشته‌کوه شتری (به ترتیب A: کال سردر و B: حوض دوراه)

*نویسنده ی عهده‌دار مکاتبات (Nasrinfallah230@yahoo.com)

و از ماده‌ی غیرفراری (فاز ساکن) که معمولاً پلیمری آلی است پوشیده شده است. فاز ساکن برای برش اشباع می‌تواند دی‌متیل پلی‌سیکلوهاگزان (OV-1, SE-30, DB-1, DB-5) و یا معادل آنها) بوده و برای برش آروماتیک مخلوط ۵۰ درصدی فیل و ۵۰ درصدی متیل پلی‌سیکلوهاگزان باشد. گاز حامل (فاز سیال) نیز می‌تواند هلیوم یا هیدروژن باشد. از مخلوط هوا و هیدروژن نیز برای آشکارگر FID استفاده می‌شود.

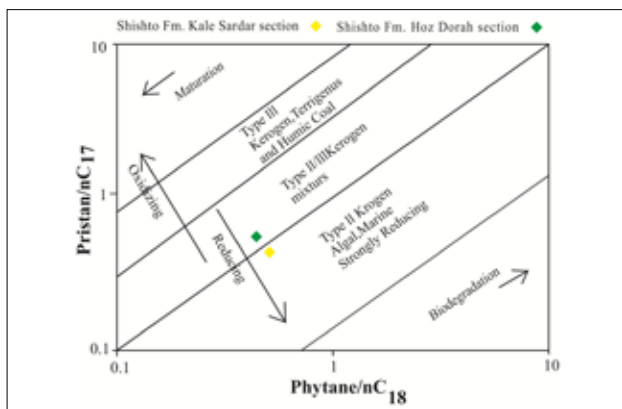
همچنین آنالیز کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنج جرمی در آزمایشگاه ژئوشیمی هامبل در انگلستان و با استفاده از دستگاه GC-MS, Agilent (5973MSD (IX-6980 انجام شده است. برای انجام این آنالیز، مقدار معینی (معمولاً کمتر از ۰/۱ میکرولیتر) از یک برش هیدروکربنی اشباع یا آروماتیک توسط یک سرنگ به داخل ستون موئین تزریق می‌شود. نمونه‌ی تزریق شده در داخل ستون تبدیل به بخار شده و با گاز حامل خنثی (معمولاً هلیوم یا هیدروژن) مخلوط می‌شود. بخار متشکل از نمونه و گاز حامل، در داخل ستون شروع به حرکت می‌کند. قطر داخلی ستون مورد استفاده، معمولاً ۰/۲۵-۰/۲ میلی‌متر و طول آن ۶۰ متر بوده و سطح داخلی آن با غشایی ۰/۲۵ میکرومتری از یک مایع غیرفرار (فاز ساکن) پوشیده شده است. هر کدام از اجزای ترکیب در حین حرکت از میان ستون، بسته به تمایل خود به هر کدام از دو فاز ساکن و سیال، به‌طور متوالی با فاز ساکن واکنش داده، به فاز سیال برگشته و در نهایت پس از مدت معینی از میان ستون عبور می‌کنند [۵].

تعداد ۲۰ نمونه‌ی سطحی از سازند شیشتو جهت پیرولیز راک-اول ۶، تعداد ۶ نمونه برای مطالعات انعکاس و یترنیت، و تعداد ۲ نمونه برای مطالعات کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنج جرمی انتخاب شده‌اند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بلوغ حرارتی

در اغلب موارد به‌علت اکسیداسیون نمونه‌ها و مقادیر بسیار اندک S_2 نمی‌توان به داده‌های T_{max} اعتماد کرد. اما می‌توان مقادیر قابل قبول T_{max} چند

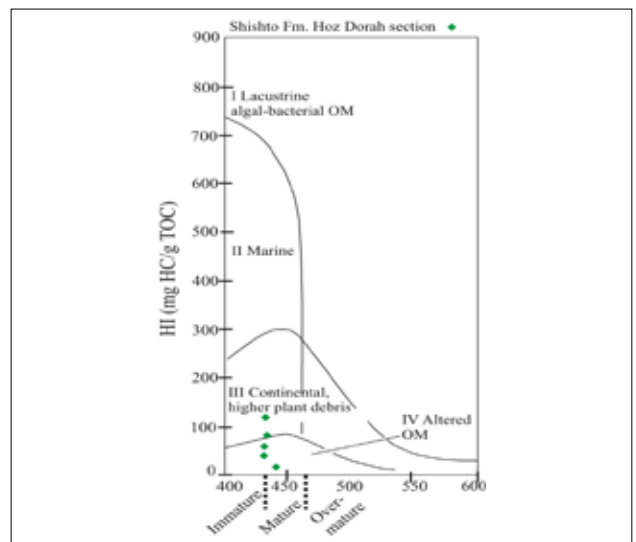


شکل ۳ | نمودار Pr/hC_{17} در مقابل Ph/nC_{18} در نمونه‌های مورد مطالعه

افقی ژوراسیک پسین در جنوب آن و حفاری‌های اکتشافی نشان می‌دهد که این کفه در حدود ۶۰۰ متر پایین افتادگی دارد [۲]. بلوک طیس مانند سایر قسمت‌های ایران تکامل خود را در زمان پالئوزویک و از یک پلاتنوم کربناته‌ی کم‌عمق (سازند نیور) در سیلورین آغاز کرده و با کاهش سطح آب دریا طی دونین پیشین، به یک سکوی آواری (سازند پادها) تبدیل شده است. مجموع این دو سازند در ناحیه‌ی مذکور گروه گوش کمر را تشکیل می‌دهد. سپس شرایط کاملاً آحیایی برقرار شده در زمان دونین میانی (سازند سبیزار) تا ابتدای فرازین (سازند بهرام)، تا ابتدای کربونیفر پسین (سازند شیشتو) ادامه داشته (گروه ازبک کوه) و بالا آمدگی در اواخر کربونیفر، تمامی ناحیه را به رژیم قاره‌ای تبدیل کرده است (سازند سردر) [۳].

۲- روش‌های مطالعه

به‌منظور ارزیابی توان هیدروکربن‌زایی نمونه‌ها، از دستگاه پیرولیز راک-اول ۶ استفاده شده است. این آنالیز به روش Basic که در ارزیابی معمول سنگ‌های منشاء استفاده می‌شود انتخاب شده است. جهت مطالعه‌ی انعکاس و یترنیت با استفاده از میکروسکوپ دو منظوره (عبوری و انعکاسی) مدل Zeiss Axioplan II به کمک عدسی شیء با بزرگ‌نمایی ۵۰ برابر، مقاطع توسط میکروسکوپ بررسی شدند. آنالیز کروماتوگرافی گازی در آزمایشگاه ژئوشیمی هامبل در انگلستان و با استفاده از دستگاه GC Agilent (IX-6980, with FID) انجام شده است. دستگاه کروماتوگراف گازی از یک ستون کروماتوگرافی موئین قابل انعطاف از جنس شیشه یا سیلیس گداخته به طول ۶۰ متر و به قطر داخلی حدوداً ۰/۲۵-۰/۲ میلی‌متر ساخته شده است. سطح داخلی ستون توسط لایه‌ی نازکی به ضخامت حدوداً ۰/۲۵ میکرومتر



شکل ۴ | نمودار HI/T_{max} برای تعیین بلوغ و نوع کروژن نمونه‌ها. در این نمودار مقادیر T_{max} قابل قبول در نظر گرفته شده است. مقادیر T_{max} در نمونه‌های سازند شیشتو در برش کال سردر به‌علت مقادیر اندک S_2 قابل قبول نیست



را نشان می‌دهد. این مقادیر حاکی از آن است که فاز اصلی زایش نفت فرا رسیده یا طی شده است [۶].

با افزایش بلوغ، نسبت $20S/(20S+20R)$ در استران نرمال C_{29} نیز از صفر تا ۰/۵ تقریباً در محدوده‌ی ۰/۵۲ تا ۰/۵۵ افزایش می‌یابد. مقدار نسبت $20S/(20S+20R)$ در استران نرمال C_{29} در نمونه‌ها برابر ۰/۴۶ است که نشان‌دهنده‌ی بلوغ زیاد نمونه‌هاست [۷]. نمودار نسبت ایزومریزاسیون هموئوپان C_{32} و استران C_{29} محدوده‌ی ابتدا تا اوج (پیک) زایش نفت را برای نمونه‌ها نشان می‌دهد (شکل-۴).

با افزایش بلوغ از صفر تا ۰/۷ تقریباً معادل محدوده‌ی ۰/۶۷ تا ۰/۷۱، نسبت $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ در استران نرمال C_{29} افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد این متغیر تا اندازه‌ای مستقل از منشاء ماده‌ی آلی باشد. عواملی مانند سنگ‌ماسه‌اسی سنگ‌های منشاء (حضور ژپیس، نمک و غیره در ترکیب ماتریکس سنگ) بر این نسبت تأثیر گذارند [۷]. نسبت $\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ در استران نرمال C_{29} بین ۰/۵۵ تا ۰/۵۹ است که بر این اساس نمونه‌ها بالغ هستند.

نسبت Mor/C_{30} Hop از ۰/۸ در بیتمن نابالغ تا ۰/۰۵ در سنگ‌های منشاء بالغ کاهش می‌یابد. نوع ماده‌ی آلی و محیط رسوب گذاری بر مقدار این نسبت مؤثرند [۶]. در نمونه‌های مورد مطالعه این نسبت در محدوده‌ی ۰/۱ تا ۰/۱۲ متغیر بوده و نشان‌دهنده‌ی بلوغ زیاد نمونه‌هاست.

نسبت دیاستران به استران در محدوده‌ی مرحله‌ی ابتدایی بلوغ تا ابتدای مرحله‌ی پایانی بلوغ قابل استفاده است. این نسبت برای تعیین بلوغ و سنگ‌ماسه‌اسی (کربنات یا آواری) سنگ‌های منشاء استفاده می‌شود. شاخص نفت‌های مشتق از سنگ‌های منشاء غنی از رس، زیاد بودن نسبت دیاستران به استران است [۸]. نسبت دیاستران به استران در نمونه‌ی برش کال سردر ۰/۵۳ است که بر این اساس نمونه بالغ می‌باشد. اما نمونه‌ی برش حوض دوره با مقدار ۰/۷۶، ظاهراً بیشتر از نسبت نمونه‌ی دیگر است؛ در حالی که به نظر می‌رسد این اختلاف ناشی از زیاد بودن محتوای رس موجود در این نمونه باشد.

نمونه را بررسی نمود. از جمله‌ی آنها نمونه‌های بسیار بالغ شیل سیاه قاعده‌ای گروه شمشک در برش طزره (البرز خاوری) است که مقادیر T_{max} در برخی از این نمونه‌ها از موارد غیر عادی بوده و از جدول داده‌ها حذف شده است [۴]. مقادیر T_{max} هم در سازند شیشو در برش کال سردر قابل قبول نیستند و نمی‌توان برای تعیین بلوغ از آنها استفاده کرد. مقدار T_{max} قابل قبول نمونه‌ها در برش حوض دوره از ۴۳۸ تا ۴۴۲°C متغیر است و با میانگینی برابر ۴۳۹°C، بلوغ نمونه‌ها را در اواسط پنجره نفتی نشان می‌دهد. موقعیت کروژن نمونه‌ها در نمودار HI/T_{max} نشان می‌دهد که نمونه‌ها بلوغ زیادی دارند (شکل-۲). در این نمودار مقادیر T_{max} قابل قبول در نظر گرفته شده‌اند.

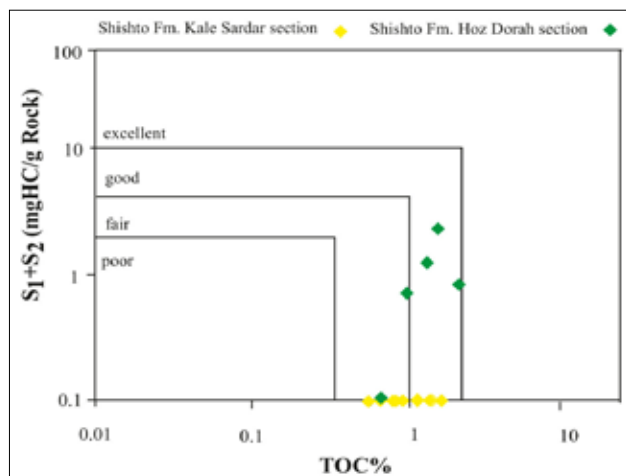
بر اساس میانگین مقدار انعکاس ویترنیت (Ro) که برابر با ۰/۷ درصد است، نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده‌ی اواسط پنجره‌ی نفتی قرار دارد که با توجه به ضخامت سازند و نحوه‌ی برداشت نمونه‌ها، انحراف از معیار داده‌ها زیاد است و نمی‌توان کاملاً به آنها اعتماد کرد.

بر اساس نتایج کروماتوگرافی مایع، در نمونه‌های مورد مطالعه، ترکیبات هیدروکربنی بین ۵۲/۴ تا ۷۰/۴ درصد و ترکیبات قطبی بین ۲۹/۲ تا ۴۷/۳ درصد متغیر است. نمونه‌ها با داشتن مقادیر زیاد ترکیبات هیدروکربنی و مقادیر متوسط ترکیبات قطبی بلوغ نسبتاً زیادی دارند.

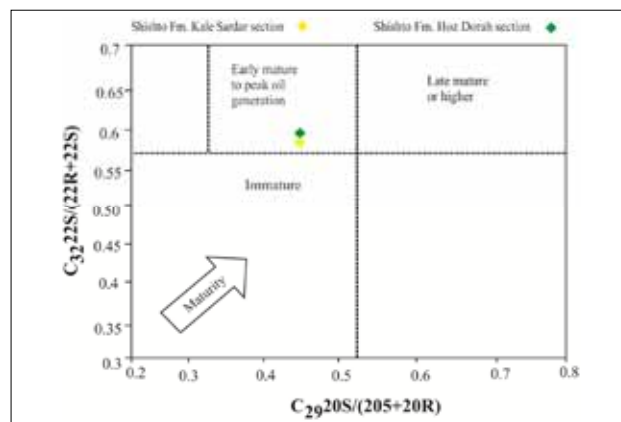
در نمونه‌های مورد مطالعه نسبت $Pt/n-C_{17}$ بین ۰/۶۶ تا ۰/۷۶ و نسبت $Ph/n-C_{18}$ بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ متغیر است. نمودار $Pt/n-C_{17}$ در مقابل $Ph/n-C_{18}$ بلوغ زیاد این نمونه‌ها را نشان می‌دهد (شکل-۳).

مقدار CPI در نمونه‌ها بین ۱ تا ۱/۰۲ متغیر بوده و نشان‌دهنده‌ی بلوغ زیاد نمونه‌هاست [۵].

مقدار نسبت $22S/(22S+22R)$ در هموئوپان C_{32} با افزایش بلوغ از صفر تا ۰/۶ تقریباً معادل محدوده‌ی ۰/۵۷ تا ۰/۶۲ افزایش می‌یابد. نمونه‌هایی با مقادیر بین ۰/۵ تا ۰/۵۴ هنوز وارد پنجره‌ی نفت‌زایی نشده‌اند. در حالی که در مقادیر بین ۰/۵۷ و ۰/۶۲، نمونه‌ها به فاز اصلی زایش نفت رسیده یا آنرا طی کرده‌اند. این نسبت برای نمونه‌های مورد مطالعه مقادیر بین ۰/۵۸ تا ۰/۵۹



شکل ۵ | نمودار S_1+S_2/TOC در نمونه‌های مورد مطالعه



شکل ۴ | نمودار نسبت ایزومریزاسیون هموئوپان C_{32} و استران منظم C_{29} برای تعیین بلوغ سنگ‌های منشاء که محدوده‌ی اوج (پیک) زایش نفت را نیز برای نمونه‌ها نشان می‌دهد

هستند و تنها پتانسیل گاززایی دارند.

پتانسیل زایش نمونه‌ها (S_1+S_2) از ۰/۰۲ تا ۲/۴۶ میلی گرم هیدروکربن بر گرم سنگ متغیر بوده و نشان می‌دهد نمونه‌ها توان هیدروکربن‌زایی ضعیفی دارند (شکل-۵) [۱۱].

بر اساس داده‌های HI-T_{max} سازند شیشتو حاوی کروژن‌های نوع III و IV است که این مطلب نشان‌دهنده‌ی مشارکت بیشتر مواد مشتق شده از خشکی، اکسیداسیون شدید مواد آلی در رخنمون سطحی یا حین رسوب‌گذاری و غلبه‌ی مواد تخریب‌شده‌ی سازنده‌ی قدیمی تر است. اما نمودار Pr/n-C₁₇ در مقابل Ph/n-C₁₈ نشان می‌دهد که بخشی از کروژن سازند شیشتو از نوع II/III است (شکل-۳). با توجه به داده‌های ژئوشیمی مولکولی، مواد آلی با منشأ جلبکی می‌توانند کروژن نوع II تولید کنند. بعضی مواد که از گیاهان خشکی مشتق شده‌اند هم می‌توانند تولید کننده‌ی کروژن نوع III باشند. بنابراین نمودار Pr/n-C₁₇ در مقابل Ph/n-C₁₈ نشان‌دهنده‌ی کروژن مولد سازند شیشتو است.

۳-۳- منشأ و محیط رسوب‌گذاری

به‌طور کلی نسبت‌های Pr/Ph > 1 بیانگر محیط اکسیدی و Pr/Ph < 1 بیانگر محیط احیایی در هنگام رسوب‌گذاری مواد آلی است [۱۲].

در نمونه‌های مورد مطالعه نسبت Pr/Ph بین ۰/۹۶ تا ۱/۲ متغیر بوده و نشان‌دهنده‌ی شرایط نیمه‌احیایی در زمان رسوب‌گذاری سازند سردر در بخش‌های مورد مطالعه است. در نمونه‌ی برش حوض دواره، نسبت Pr/Ph برابر ۱/۲ است که نشان‌دهنده‌ی وجود شرایط اکسیدی در زمان رسوب‌گذاری سازند شیشتو در این برش است. این مقدار Pr/Ph رانمی‌توان به درجات بالای بلوغ نسبت داد؛ چراکه با افزایش بلوغ، این نسبت که تا اندازه‌ای تحت تأثیر سنگ‌ماسه‌اسی شیلی است کم می‌شود. چراکه در رسوبات کربناته این نسبت کمتر یا برابر با یک بوده و در توالی‌های شیلی مقدار آن بیشتر است [۵]. Pr/Ph < 1 در نمونه‌ی برش کال سردر، سبب ایجاد شرایطی احیایی و حفظ

نسبت Ts/(Ts+Tm) در بیتومن‌های مورد مطالعه تغییرات ۰/۵۵ تا ۰/۵۹ را به‌نمایش می‌گذارد. با توجه به تشابه تقریبی رخساره‌ی آلی این رسوبات، مقادیر نسبتاً یکسان این نسبت تا اندازه‌ای بیانگر بلوغ حرارتی یکسان آنهاست [۹].

مقادیر شاخص MDR بین ۳/۵۵ تا ۴/۰۷ متغیر است. بلوغ حرارتی تعیین شده بر این اساس با استفاده از رابطه‌ی ۱- در محدوده‌ی Ro بین ۰/۷۷ تا ۰/۸۱ قرار می‌گیرد که تأییدی بر سایر متغیرهای بلوغ است [۱۰].

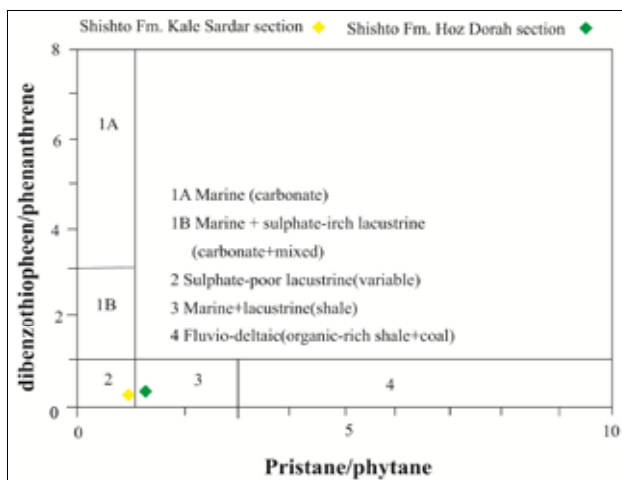
$$Ro = 0.40 + 0.30(MDR) - 0.094(MDR)^2 + 0.011(MDR)^3 \quad (1)$$

بر اساس مقادیر Tmax قابل اعتماد، مقادیر انعکاس ویتربینیت و به‌ویژه نسبت‌های ژئوشیمی مولکولی شامل $C_{32}22S/(22S+22R)$ ، $C_{29}\beta\beta/(\beta\beta+\alpha\alpha)$ ، $C_{29}20S/(20S+20R)$ ، $C_{29}Hop$ و Mor/C_{30} ، در حال حاضر سازند شیشتو در برش‌های رخنمون یافته در محدوده‌ی پنجره‌ی نفتی قرار داشته و بالغ است.

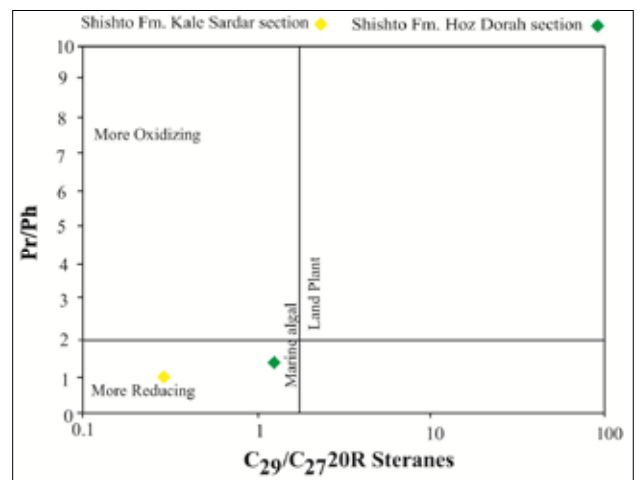
داده‌های ژئوشیمی مولکولی و بایومارکری در مقایسه با داده‌های راک-وال و داده‌های انعکاس ویتربینیت به‌ویژه در مورد نمونه‌های مورد مطالعه اعتبار بیشتری دارند. بنابراین بلوغ حرارتی به‌عنوان مبنای تخمین در نظر گرفته شده است.

۳-۲- مقدار، نوع و پتانسیل هیدروکربن‌زایی ماده‌ی آلی

مقدار TOC در نمونه‌های سازند شیشتو از ۰/۴۸ تا ۲/۳۶ درصد وزنی متغیر است. به‌طور میانگین مقدار کربن آلی حدود ۱/۲ درصد وزنی است که نشان‌دهنده‌ی یک سنگ منشأ خوب است [۱۰]. با توجه به مقادیر خیلی کم S_1 ، این مقدار TOC می‌تواند حاصل مواد تخریب‌شده‌ی سازنده‌ی قدیمی تر باشد. در سازند شیشتو مقدار HI از ۲ تا ۱۳۸ میلی گرم در هر گرم کربن آلی متغیر است. بر این اساس در حال حاضر کروژن‌های موجود در این سازند فقیر از هیدروژن بوده، از لحاظ ترکیب شیمیایی بیشتر معادل کروژن نوع IV



شکل ۷ | نمودار نسبت دی‌بنزوتیوفن به فنانتران در مقابل نسبت پریستان به فیتان جهت تعیین محیط رسوب‌گذاری ماده‌ی آلی



شکل ۸ | نمودار Pr/Ph در مقابل $S_{29}/S_{27} 20R$ برای یک محیط احیایی-دریایی با حضور مواد آلی جلبکی

مناسب ماده‌ی آلی است.

نمودار $Pr/n-C_{17}$ در مقابل $Ph/n-C_{18}$ نشان می‌دهد نمونه‌های مورد مطالعه از سازند شیشتو در محیط دریایی در شرایط نیمه‌احیایی قرار داشته و نمونه‌ها حفظ‌شدگی نسبتاً خوبی دارند (شکل-۳) [۱۳].

مقادیر نسبت استران‌های منظم $20R/C_{27}$ از $0/56$ تا $1/3$ متغیر است که در نمودار $20R/C_{27}$ همراه با مقادیر نسبتاً کم Pr/Ph می‌تواند بیانگر یک محیط رسوب‌گذاری با غلبه‌ی شرایط دریایی نسبتاً احیایی و مواد آلی با منشاء جلبکی و گیاهان عالی مشتق شده از خشکی باشد (شکل-۶) [۱۴].

در نمونه‌های مورد مطالعه نسبت $Dibenzothiophene/Phenanthrene$ بین $0/2$ تا $0/27$ و نسبت $Pristane/Phytane$ بین $0/97$ تا $1/2$ متغیر است. نمودار $Dibenzothiophene/Phenanthrene$ در مقابل $Pristane/Phytane$ نشان می‌دهد که نمونه‌ها در محدوده‌ی شیل‌های دریایی تا رسوبات دریاچه‌ای فقیر از سولفات قرار گرفته‌اند (شکل-۷) [۱۵].

مقدار ضریب گاماسران در سازند شیشتو بسیار اندک (بین $0/09$ تا $0/11$) است که نشان‌دهنده‌ی شوری نرمال در زمان رسوب‌گذاری است [۵].

به‌منظور تطابق ژنتیکی نمونه‌های مورد مطالعه توسط متغیرهای حاصل از روش کروماتوگرافی گازی، از نمودار ستاره‌ای استفاده شده است. در این نمودار که بر اساس متغیرهای تفسیری نظیر نسبت‌های TAR و Pr/Ph ، CPI ترسیم شده، تغییرات متغیرها در مواد آلی نزدیک به یکدیگر است؛ به‌جز در نمونه‌ی برش حوض دوره، که مقدار TAR آن بیشتر از نمونه‌ی دیگر بوده و نشان می‌دهد سهم مواد خشکی آن بیشتر است. همچنین در این نمونه تحت تأثیر ترکیب سنگ‌ماسه‌اساسی شیلی، مقدار Pr/Ph بیشتر از یک خواهد بود (شکل-۸).

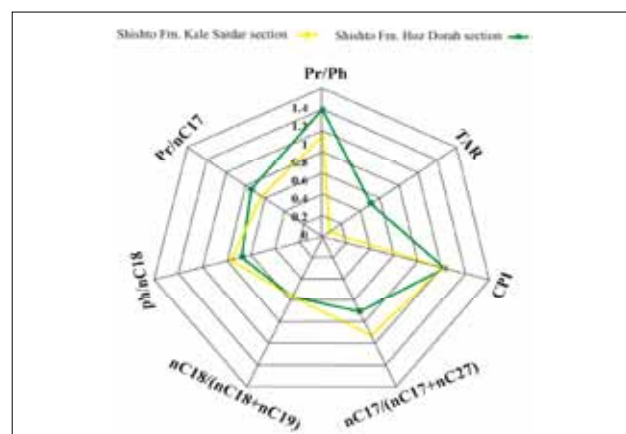
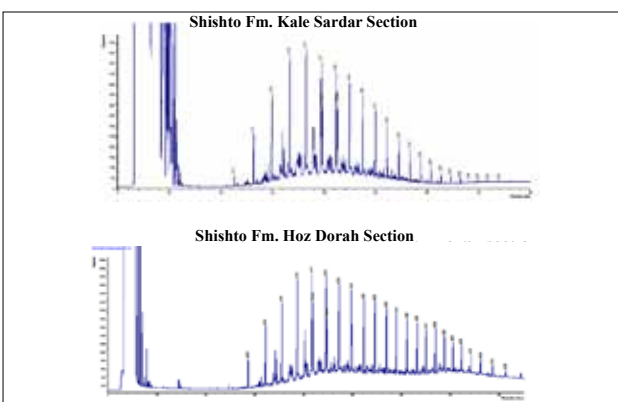
در نمونه‌ی سنگی برش کال سردر، TAR برابر $0/1$ و بیانگر حکم‌فرمایی شرایط دریایی بر محیط رسوب‌گذاری این نمونه است. همچنین در این نمونه استران‌های نرمال C_{27} ، بیشترین فراوانی را دارند که تأییدی بر این مطلب است. بر اساس آنالیزهای کروماتوگرافی گازی بخش اشباع بیثومن استخراج شده از نمونه‌ی، سطحی برش کال سردر، گسترش کلی آلکان‌های نرمال از

C_{12} تا C_{33} بوده و بیشترین فراوانی مربوط به C_{15} تا C_{18} است که نمودار آن یک کوهانه است. این مطلب بیانگر بلوغ نسبتاً زیاد این نمونه بوده و فراوانی آلکان‌های نرمال زیر C_{20} نشان‌دهنده‌ی آن است که بیثومن مورد مطالعه متعلق به سنگ منشاء دریایی با ماده‌ی آلی نوع جلبکی است (شکل-۹)، بالا [۵].

در نمونه‌ی برش حوض دوره، مقدار TAR برابر $0/53$ است. همچنین نمونه، نشان‌دهنده‌ی وجود مواد آلی خشکی و دریایی با فراوانی مواد آلی خشکی است. نمودار کروماتوگرام گازی بخش اشباع نمونه‌ی سطحی برش حوض دوره، فراوانی آلکان‌های نرمال از C_{13} تا C_{35} را نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی را می‌توان در محدوده‌ی C_{15} تا C_{19} مشاهده نمود. همچنین نمودار دو کوهانه‌ی مذکور نشان می‌دهد که داشتن آلکان‌های نرمال سنگین $C_{27}-C_{31}$ می‌تواند به دلیل زیادی مواد آلی مشتق از جلبک کلنی بوتریوکوکوس یا سهم واکس‌های مشتق از گیاهان خشکی باشد. اما با توجه به اینکه جلبک بوتریوکوکوس نشان‌دهنده‌ی محدوده‌ی سنی بعد از ژوراسیک بوده و سن نمونه‌ی مورد مطالعه قدیمی‌تر از ژوراسیک است. بنابراین وجود آلکان‌های نرمال سنگین $C_{27}-C_{31}$ را به زیادی سهم واکس‌های مشتق از گیاهان خشکی نسبت می‌دهیم (شکل-۹، پایین) [۵]. همچنین در نمونه‌ی مذکور مقدار استران نرمال C_{29} بیشترین مقدار است و بعد از آن C_{27} بیشترین فراوانی را دارد که این مطلب نشان‌دهنده‌ی فراوانی مواد آلی خشکی در این برش است.

بر اساس نسبت‌های ژئوشیمی و بایومارکری $GC-MS$ و GC شامل Ph/nC_{18} ، Pr/nC_{17} ، TAR ، Pr/Ph ، و استران $20R/C_{27}$ و الگوی کروماتوگرام‌ها، کروژن‌های مولد موجود در سازند شیشتو در محیط دریایی در شرایط نیمه‌احیایی با حفظ‌شدگی نسبتاً خوب تا متوسط، تهنشین شده است. منشاء ماده‌ی آلی موجود در نمونه‌های مورد مطالعه، ترکیبی از ماده‌ی آلی جلبکی با منشاء دریایی و مواد آلی قاره‌ای است.

در نمونه‌های سازند شیشتو نسبت استران $20R/C_{29}$ که بین $0/5$ تا $0/76$ متغیر است به‌خوبی سن پالئوزوئیک بالایی را برای نمونه‌ها نشان می‌دهد



شکل ۹ | کروماتوگرام‌های گازی در نمونه‌های سازند شیشتو در برش‌های کال سردر و حوض دو راه

شکل ۸ | نمودار ستاره‌ای برای نشان دادن انطباق ژنتیکی نمونه‌ها

در سازند شیشتو مخلوطی از کروژن‌های نوع II و III است. با توجه به این داده‌ها، اغلب مواد آلی منشاء جلبکی داشته، می‌توانند کروژن نوع II را تولید کنند و بعضی مواد هم از گیاهان خشکی مشتق شده‌اند که می‌توانند تولید کننده‌ی کروژن نوع III باشند. بنابراین داده‌های مذکور نشان‌دهنده‌ی کروژن‌های مولد سازند شیشتو هستند.

■ بر اساس داده‌های T_{max} قابل قبول، مقادیر شدت انعکاس ویتربینیت، داده‌های ژئوشیمی مولکولی و شاخص‌های بلوغ بیومار کری، سازند شیشتو در ناحیه‌ی طیس از لحاظ بلوغ حرارتی در محدوده‌ی پنجره نفتی تا اوج (پیک) پنجره‌ی نفتی قرار دارند.

■ بر اساس داده‌های ژئوشیمی و متغیرهای بیومار کری، نمونه‌ها در یک محیط دریایی و در شرایط نیمه‌احیایی با حفظ شدگی نسبتاً خوب ته‌نشین شده‌اند و ماده‌ی آلی موجود در نمونه‌ها ترکیبی از مواد آلی جلبکی با منشاء دریایی و واکس‌های مشتق از مواد قاره‌ای (گیاهان عالی) است. ■

[۱۶]. این مقادیر همچنین می‌توانند تا اندازه‌ای بیانگر حضور داینوفلاژله‌ها یا کوکولیتوفرها در ترکیب مواد آلی باشند.

نتیجه‌گیری

■ محتوای کل کربن آلی (TOC) سازند شیشتو با میانگین ۱/۲ درصد وزنی بیانگر آن است که سازند شیشتو (به‌عنوان یکی از سنگ‌های منشاء خوب در ناحیه‌ی طیس) مقدار ماده‌ی آلی خوبی محسوب می‌شود.

■ در حال حاضر کروژن‌های موجود در این سازند بسیار فقیر از هیدروژن و از نوع III و IV بوده و تنها پتانسیل گاززایی دارند. وجود این نوع کروژن‌ها می‌تواند نشان از اکسیداسیون شدید مواد آلی در رخنمون سطحی یا حین رسوب‌گذاری و غلبه‌ی مواد تخریب‌شده‌ی حاصل از سازندهای قدیمی‌تر باشد.

■ بر اساس داده‌های ژئوشیمی مولکولی، بخشی از کروژن‌های موجود

پانویس‌ها

¹ Shekarifard@gmail.com

² Mdaryabandeh@yahoo

منابع

- [1] Stocklin, J.; Eftekhari-Nezhad, J.; Hushmand-Zadeh; A.; 1965; Geology of Shotori Range. Geology Report. No.3. Geological Survey of Iran.
- [۲] آقاباتی، سید علی، ۱۳۸۵، زمین‌ماسه‌های ایران، چاپ دوم، سازمان زمین‌ماسه‌های 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. 3197-.
- [۴] شکاری‌فرد، علی، ۱۳۹۱، بررسی ویژگی‌های ماده‌ی آلی و مدل‌سازی حرارتی شیل قاعده‌ای گروه شمشک (تریاس بالایی-ژوراسیک میانی) در برش طزره، البرز خاوری، شمال ایران، نشریه‌ی علوم زمین، شماره‌ی ۸۳، ص ۲۱۹ تا ۲۲۸
- [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] Seifert; W.K.; Moldowan; J.M.; 1980; The Effect Of Thermal Stress On Source-Rock Quality As Measured By Hopane Stereochemistry. Physics And Chemistry Of The Earth, V. 12, Pp. 229237-.
- [7] Seifert; W.K.; Moldowan; J.M.; 1986; Use Of Biological Markers In Petroleum Exploration. In: Methods In Geochemistry And Geophysics; Vol. 24. (R. B. Johns, Ed), Elsevier, Amsterdam, Pp 261-90.
- [8] Seifert; W.K.; Moldowan; J.M.; 1978; Application Of Steranes, Terpanes And Monoaromatics To The Maturation, Migration And Source Of Crude Oils. Geochimica Et Cosmochimica Acta, V. 42, Pp. 7795-.
- [9] Moldowan; J.M.; And Fago; F.J.; 1986; Structure And Significance Of A Novel Rearranged Monoaromatic Steroid Hydrocarbon In Petroleum Geochimica Et Cosmochimica Acta, V.50, P.
- [10] Radke; M. ; 1985; Application Of Aromatic Compounds As Maturity Indicators In Source Rocks And Crude Oils. Marine And Petroleum Geology, V. 5, Pp. 224236-.
- [11] Peters; K.E.; Cassa; M.R.; 1994; Applied Source Rock Geochemistry. In: The Petroleum System - From Source To Trap; Magoon; L.B.; Dows, W.G (Eds.), American Association Of Petroleum Geologists Memoir 60, Pp 93117-.
- [12] 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. 216222-.
- [13] Connan; J. & Cassou; A. M.; 1980; Properties Of Gases And Petroleum Liquids Derived From Terrestrial Kerogen At Various Maturation Levels. Geochimical Cosmochimical Acta, 44: 123-
- [14] 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. 13451355-.
- [15] Hughes; W.B.; Holba, A.G.; Dzou; L.I.P.; 1995; The Ratios Of Dibenzothiophene To Phenanthrene And Pristine To Phytane As Indicators Of Depositional Environment And Lithology Of Petroleum Source Rocks. Geochimica Et Cosmochimica Acta, V. 59, Pp. 3581-359.
- [16] Grantham; P.J.; Wakefield; L.L.; 1988; Variations In The Sterane Carbon Number Distributions Of Marine Source Rock Derived Crude Oils Through Geological Time; Organic Geochemistry, V.12, Pp.6173-.