

مطالعه‌ی توان هیدروکربورزایی واحدهای شیلی اواخر اردوئیسین-اوایل سیلورین (سازند سرچاهان) در جنوب ایران

محمد حسین صابری*، دانشگاه سمنان • احمدرضا ربانی^۱، دانشگاه صنعتی امیرکبیر • مهدی خالقی^۲، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۱۱/۰۳
تاریخ ارسال به داور: ۹۵/۱۱/۰۴
تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۱۲/۱۸

واژگان کلیدی:

پیرولیز، بلوغ، توان زایش، پالئوژئیک، سازند سرچاهان، شیل داغ

چکیده

از مهم‌ترین فعالیت‌ها در زمینه‌ی اکتشاف نفت مطالعات توان هیدروکربورزایی سنگ منشاء می‌باشد. ذوب یخچال‌های دوران یخبندان در اواخر اردوئیسین در ابرقاره‌ی گندوانا سبب ایجاد سنگ منشائی بسیار غنی در حاشیه‌ی این ابرقاره شده است. مطالعات انجام شده در شبه‌جزیره‌ی عربستان نشان داده که بخش زیرین سازند غلبیه (پاره‌سازند قصیبا) پرتوان‌ترین سازند منشاء در سیستم نفتی دوران پالئوژئیک در این ناحیه است. بر همین اساس، ضروری است سازند سرچاهان (به‌عنوان معادل سنّی سازند غلبیه در ایران) از نظر توان هیدروکربورزایی و بلوغ مطالعه شود. در این مطالعه تعداد ۸۵ نمونه‌ی سطحی و زیرسطحی از سازند سرچاهان مربوط به میادین گلشن، زیره، کوه‌سیاه و برش سطحی سرچاهان در ناحیه‌ی کوه فراقون در شمال بندرعباس توسط راک-اول-۶ مورد مطالعه و آنالیز انعکاس کتینوزوآ قرار گرفته است. این بررسی نشان می‌دهد که تنها بخش زیرین سازند سرچاهان با سنّ اواخر اردوئیسین از نظر تولید هیدروکربور توان زیادی دارد و بلوغ آن در حدود اواخر پنجره‌ی نفتی و اوایل پنجره‌ی گازی است. بخش زیرین سازند سرچاهان عمدتاً شامل کروژن نوع دوم در ترکیب با کروژن نوع سوم است و از نظر مقدار کربن آلی در محدوده‌ی ۷/۱۹-۲/۹۴ درصد وزنی قرار دارد. مقدار کربن آلی سایر بخش‌های سازند سرچاهان در حدود ۰/۵۸-۰/۱ است. مطالعه‌ی انعکاس پالینومرف کتینوزوآ در زیر نور بازتابی نشان می‌دهد که انعکاس و پترینایت معادل بخش زیرین سازند سرچاهان حدود ۱/۹ است. این مطالعه نشان می‌دهد که در ایران شیل‌های داغ در قسمت زیرین سازند سرچاهان قرار دارند و از نظر سنّی در محدوده‌ی اواخر اردوئیسین هستند.

مقدمه

در این نواحی به‌شدت بالا آمده [۶و۷] که این امر سبب ایجاد محیطی احیایی در این مناطق شده و در نتیجه، شرایط مناسب جهت نهشته شدن رسوبات غنی از مواد آلی در این ناحیه فراهم گردیده است.

مقاله‌ی حاضر تلاش می‌کند نبود اطلاعات کامل در مورد سازند سرچاهان به‌عنوان سنگ منشائی غنی از مواد آلی را پوشش داده و با مطالعه‌ی این سازند در گستره‌ی ناحیه‌ای، سنگ مادر سیستم هیدروکربوری دوران پالئوژئیک در ایران و سنگ مادر این سیستم در نواحی اطراف را بررسی کند. در شکل-۱ موقعیت جغرافیایی محل تهیه‌ی نمونه مشاهده می‌شود.

این مطالعه نشان داد که می‌توان سازند سرچاهان را به دو بخش؛ شامل بخش زیرین با غنای بسیار خوب مواد آلی و بخش بالایی با توان تولیدی ضعیف تقسیم کرد. سازند سرچاهان از نظر سنّی معادل سازند قلیبه در شبه‌جزیره‌ی عربستان است. سازند قلیبه در بخش عربی به دو پاره‌سازند غصیبا یا شیل داغ با غنای زیاد مواد آلی و پاره‌سازند شرورا با مقدار بسیار ناچیز مواد آلی تقسیم می‌شود. این تقسیم‌بندی با مطالعه‌ی حاضر سازند سرچاهان منطبق است.

از مهم‌ترین سیستم‌های هیدروکربوری در خاورمیانه و شمال آفریقا سیستم نفتی پالئوژئیک است. با اکتشاف منابع هیدروکربوری (عمدتاً گاز-میعانات گازی) مخازن پرمو-تریاس در سازندهایی مثل یونیزه و خوف در شبه‌جزیره‌ی عربستان (عربستان سعودی، امارات متحده‌ی عربی و قطر) و سازندهای دالان و کنگان در ایران، مجموع ذخایر گازی این سیستم هیدروکربوری به بیش از ۱۵۰۰ تریلیون فوت‌مکعب رسیده که ۲۵ درصد کل ذخایر گازی دنیا را شامل می‌شود [۱]. بر اساس گزارش‌های وزارت نفت ایران مجموع ذخایر گازی کشور حدود ۱۰۴۶ تریلیون فوت‌مکعب است که معادل ۱۵/۸ درصد کل ذخایر گازی دنیاست (۳۳ درصد به‌صورت گاز همراه و ۶۷ درصد به‌صورت گاز-میعانات گازی).

مهم‌ترین سنگ منشاء پالئوژئیک در ایران سازند سرچاهان است [۱-۳]. بر اساس مطالعات پالینومرف‌ها و گراپتولیت، سنّ سازند سرچاهان، هرنانتین (آشقیلین) تا لاندوری است [۴-۶]. این سازند در زمان نهشته شدن در حاشیه‌ی ابرقاره‌ی گندوانا گسترش داشته است. در اواخر اردوئیسین و اوایل سیلورین با ذوب شدن یخچال‌های دوران یخبندان در ابرقاره‌ی گندوانا سطح آب دریا

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (mh.saberi@gmail.com)

۱- زمین شناسی

در مطالعه‌ی سیستم نفتی، بررسی وضعیت زمین‌شناختی و ویژگی‌های سازندها از مهم‌ترین اجزاست. دانستن اطلاعات زمین‌شناسی در

مشخص کردن سنگ مادرهای محتمل، سنگ مخزن‌های مناسب، پوش سنگ‌های پربازده، زمان و نحوه‌ی ایجاد تله‌ی هیدروکربوری، مکانیسم‌های مهاجرت هیدروکربورها و بسیاری از تفاسیر مرتبط با تحلیل سیستم نفتی کاربرد دارد.

خلیج فارس و فارس ساحلی فرونشست ساختی کم‌عمقی هستند که در اواخر دوره‌ی ترشیری در بخش جنوبی چین‌خوردگی زاگرس تشکیل شده‌اند. محور و روند اصلی این ناحیه در زمان پلیو-پلیستوسن در اثر چین‌خوردگی زاگرس شکل گرفته است. این منطقه، ساختاری نامتقارن داشته و شیب آن در بخش ایرانی در مقایسه با بخش عربی بیشتر است. خلیج فارس از نظر شرایط ساختاری، ویژگی‌های حوضه‌ی فورلند در حاشیه‌ی رشته کوه‌های زاگرس را دارد [۸].

ناحیه‌ی زاگرس از شمال-شمال‌شرق توسط زاگرس رورانده، از شمال‌غربی توسط ناحیه‌ی چین‌خورده‌ی دریای سیاه، از جنوب‌غربی توسط ناحیه‌ی ریفتی دریای سرخ و از جنوب‌شرقی توسط حاشیه‌ی اقیانوس هند محدود شده است [۹-۱۱].

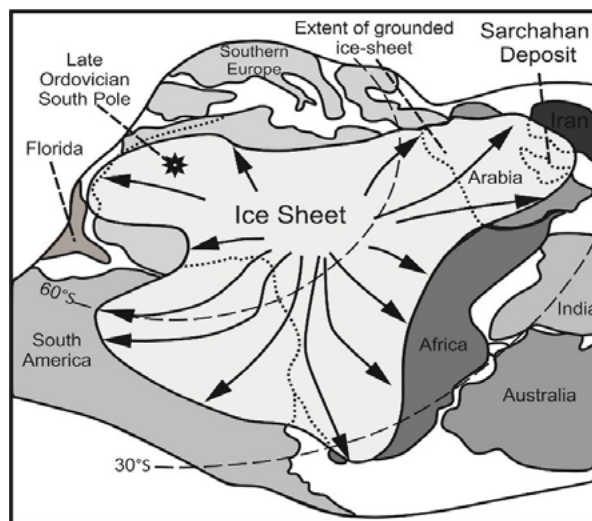
ناحیه‌ی زاگرس و خلیج فارس را می‌توان بخشی از صفحه‌ی عربی در نظر گرفت که ناحیه‌ی زاگرس رورانده‌ی ناشی از برخورد صفحه‌ی عربی با صفحه‌ی ایران مرکزی است. این ناحیه از اواخر پرتروزوئیک تا اواخر پالئوزوئیک بخشی از ناحیه‌ی ساحلی ابرقاره‌ی گندوانا و دریای پالئوتتیس بوده است. در اوایل دوران پالئوزوئیک در این ناحیه رسوبات مربوط به دریای کم‌عمق، رسوبات دلتایی، ماسه‌سنگ، سیلتستون و شیل نهشته شده است. در اواخر اردوئین در این ناحیه دوران یخبندان حاکم بوده که در دوره‌ی هرانتین با ذوب این یخچال‌ها رسوبات دیامیکتایی سازند در گز نهشته شده‌اند. رسوبات سازند در گز به‌وضوح فاز ذوب‌شدن یخ‌های اواخر دوران اردوئین را نشان می‌دهند. در اواخر سیلورین بر اثر فعالیت‌های کوه‌زایی هرسنین، این ناحیه خارج از آب قرار گرفته و سبب عدم رسوب‌گذاری دوران کربونیفر در این منطقه شده‌اند [۴].

در دوره‌ی پرمین پیشروی دریا سبب رسوب‌گذاری سازند ماسه‌سنگی فراقون در ناحیه‌ی زاگرس شده است. در دوران پرمین پیشروی دریا منجر به نهشته شدن کربناته‌های سازند دالان شده است. در اواخر پرمین فاز کششی همراه با ریفت و نازک شدن پوسته در این منطقه حادث شد و سبب جدا شدن صفحه‌ی ایران از باقی ابرقاره‌ی گندوانا در راستای هم‌جهت با رشته کوه‌های زاگرس فعلی گردید. در این دوره دریای نئوپالئوتتیس شکل گرفت. اوایل تریاسیک در ایران با رسوبات کربناته‌ی دریایی همراه است که به‌صورت ناپیوسته روی رسوبات پرمین قرار گرفته‌اند و سازند کنگان را تشکیل می‌دهند [۱۰].

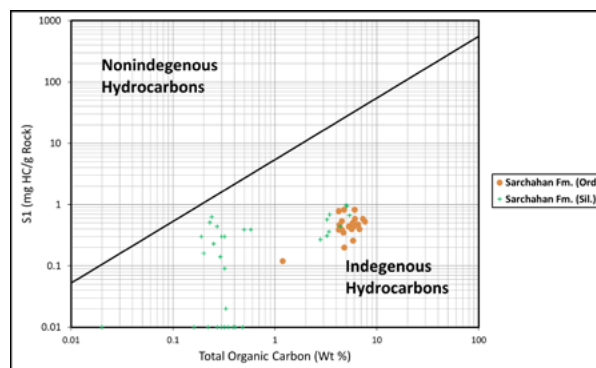
در جنوب ایران شیل‌های سیاه سازند سیاهو با سن اردوئین میانی به‌صورت فرسایشی با بخش زیرین سازند سرچاهان (که در مطالعات سال ۲۰۱۱ قویدل سیوکی و همکاران با نام سازند در گز معرفی گردیده) پوشانده شده است. قویدل و همکاران (۲۰۱۱) بیان کرده‌اند که رسوبات سازند در گز دیامیکتایی بوده و حاصل ذوب



شکل ۱ | موقعیت جغرافیایی مناطق مورد بررسی



شکل ۲ | وضعیت کلاهک یخی و موقعیت جغرافیایی ایران در اواخر دوره‌ی اردوئین



شکل ۳ | نمودار هیدروکربورهای آزاد در برابر مجموع کربن آلی

سرچاهان از چاه‌های اکتشافی گلشن، زیره و کوه‌سیاه و ۶۱ نمونه از مقطع سازند سرچاهان در برش کوه فراقون تهیه شده و توسط راک-اول ۶ مورد آنالیز و انعکاس کتینوزوا قرار گرفت.

ماسرال گیاهی ویتروینایت متغیر قابل اطمینانی جهت بررسی بلوغ است، اما در تمامی رسوبات حضور ندارد (رسوبات پالئوزوئیک زیرین فاقد ماسرال گیاهی ویتروینایت هستند). به همین دلیل باید جایگزینی برای این ماسرال یافت. تریکر و همکاران جهت جایگزینی آن، از پالینومرف کتینوزوا استفاده کردند. کتینوزوا به علت داشتن پوسته‌ی کتینی، اندازه‌ی مناسب، دیواره‌ی ضخیم و شکل خاص، بهترین جایگزین برای ماسرال ویتروینایت در رسوبات پالئوزوئیک زیرین است. تریکر و همکاران با ارتباط ضریب انعکاس کتینوزوا و ضریب انعکاس ویتروینایت رابطه‌ی ۱- را ارائه کردند [۱۵]:

$$Rch = 1.152Ro + 0.08 \quad (1)$$

در این رابطه Rch ضریب انعکاس کتینوزوا و Ro ضریب انعکاس ویتروینایت است. این رابطه انحرافی معادل ۰/۹۸ دارد که نشان انطباق زیاد این دو ضریب با یکدیگر است. جهت انجام آنالیز انعکاس کتینوزوا، پالینومرف‌های تلخیص شده از نمونه‌ها، ابتدا از الک ۵۰ میکرون عبور داده می‌شوند که این کار سبب افزایش درصد فراوانی پالینومرف کتینوزوا در نمونه‌ها می‌گردد. در مرحله‌ی بعد قرص‌های مخصوص مطالعه‌ی انعکاسی از نمونه‌های پالینومرف تهیه شده و پس از صیقل دادن مورد آنالیز انعکاس قرار می‌گیرند. در این مطالعه تمامی مراحل و انجام آنالیز انعکاس در پژوهشگاه صنعت نفت انجام شده است.

۳- بحث و بررسی

۳-۱- توان تولید هیدروکربور

قبل از مطالعه‌ی نمونه‌ها باید مشخص شود که هیدروکربورهای موجود در آنها مربوط به نمونه بوده یا در اثر مهاجرت از بخش‌های دیگر در نمونه حضور دارند. جهت این امر از نمودار فراوانی هیدروکربور آزاد (S1) در برابر مجموع کربن آلی (TOC) استفاده می‌شود (شکل-۳). بر

شدن یخچال‌های مربوط به دوران اوردوسین در ابرقاره‌ی گندوانا است (شکل-۲). ذوب یخچال‌های دوران یخبندان در اواخر دوره‌ی اوردوسین سبب بالا آمدن سطح آب دریا در حاشیه‌ی این ابرقاره شده و رسوبات کم‌انرژی را به صورت شیل‌های گراپتولیتی نهشته کرده است [۴]. شرایط احیایی پس از ذوب یخبندان سبب ایجاد محیط مناسب جهت حفظ مواد آلی در این دوره شده است [۱۲]. در گذشته به ردیف‌های شیلی سیلورین زاگرس، شیل‌های سیلورین گفته می‌شد. پس از مطالعات پالینولوژیکی ترادف‌های پالئوزوئیک کوه گهکم، قویدل-سیوکی نام سازند سرچاهان را برای این نهشته‌های شیلی پیشنهاد کردند که در آبان ماه ۱۳۷۳ به تصویب کمیته‌ی ملی چینه‌شناسی ایران رسید. گفتنی است که وجود طبقات سیلورین در زاگرس، به استناد گراپتولیت‌های حاصل از نمونه‌های کوه گهکم و فراقون به اثبات رسیده بود. برش الگوی سازند شیلی سرچاهان در کوه گهکم (تنگ آبزاغ) و در ده کیلومتری شمال روستای سرچاهان قرار دارد. این سازند ویژگی‌های سنگ‌شناسی شاخصی دارد و روی زمین به سهولت از سازندهای بالا و پایین جدا می‌شود. تناوبی از شیل‌های ورقه‌ای خاکستری تیره و زیتونی، ماسه‌سنگ و نیز یک لایه‌ی سنگ‌آهک براقیوپوددار در بخش میانی و شیل‌های خاکستری زیتونی در بالا به پایان می‌رسد.

در برش الگو، سازند سرچاهان ۱۲۰ متر ضخامت دارد. در کوه فراقون ضخامت این سازند ۶۶ متر و در چاه‌های اکتشافی زیره و پارس در فارس ساحلی به ترتیب ۷۵ و ۷۰ متر است [۱۳]. حد پایینی سازند سرچاهان در برش نمونه از طریق یک دگرشیمی فرسایشی همراه با نبود چینه‌شناسی به سازند در گز با سن هرنانتین است. حد بالایی این سازند در برش الگو و کوه فراقون با یک دگرشیمی فرسایشی همراه با نبود چینه‌شناسی به سازند ماسه‌سنگی زاگرس به سن دونین است که این همبری در کوه گهکم با کنگلومرا و در کوه فراقون با شیل‌های ارغوانی و آبی‌رنگ مشخص می‌شود [۴].

۲- ابزار و روش‌ها

در این مطالعه در مجموع ۲۴ نمونه خرده‌ی حفاری مربوط به سازند

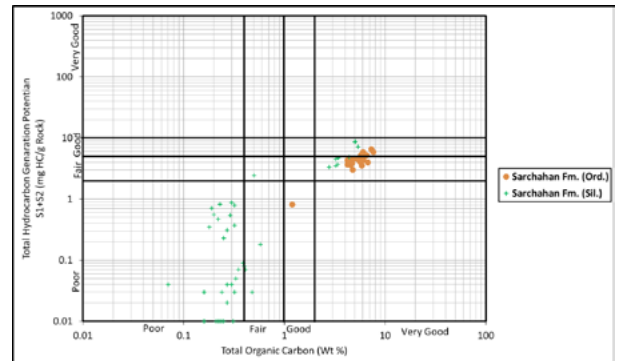
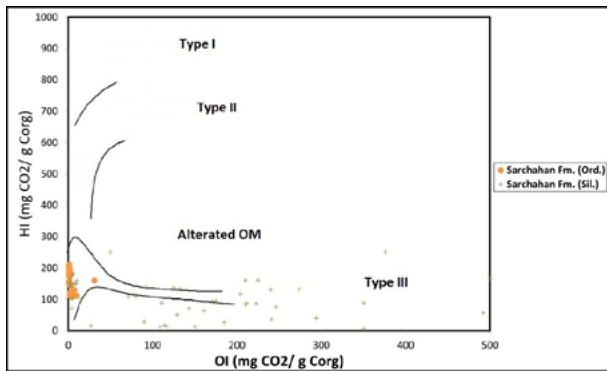
۱ | خلاصه‌ی نتایج (میانگین) آنالیز راک-اول ۶ نمونه‌های سازند سرچاهان

Code	Location	Age	S1 (mg/g)	S2 (mg/g)	PI	Tmax (°C)	TOC (%)	HI	OI
MHS-112-142	Kuh-e Faraghan	Ordovician	۰/۵۰	۶/۱۲	۰/۱۱	۴۵۸/۹۵	۵/۲۹	۱۵۴/۳۰	۴/۲۰
MHS-143-172	Kuh-e Faraghan	Silurian (Low TOC)	۰/۰۴	۰/۱۳	۰/۳۳	۴۲۹/۹۰	۰/۳۷	۷۷/۲۷	۱۶۲/۹۰
MHS-173-180	GOLSHAN#3	Silurian	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۵۴	۴۲۹/۱۴	۰/۲۶	۸۳/۱۴	۶۸۶/۸۶
MHS-181-188	ZIRREH#1	Silurian	۰/۵۳	۰/۵۰	۰/۵۴	۴۲۲/۰۰	۰/۳۰	۱۵۱/۰۰	۲۶۲/۰۰
MHS-189-197	Kuh-e Siah#1	Silurian	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۰۸	۴۴۴/۰۰	۰/۸۳	۱۰/۰۰	۶۰/۰۰

مقادیر کمتر از ۲ میلی گرم هیدروکربور بر گرم سنگ نشان دهنده‌ی عدم توان تولید، مقادیر ۲-۶ میلی گرم هیدروکربور بر گرم سنگ نشان دهنده‌ی توان تولید متوسط و مقادیر بیش از ۶ میلی گرم هیدروکربور بر گرم سنگ نشان دهنده‌ی توان تولید خوب و بسیار خوب منشاء در تولید هیدروکربور است [۱۶ و ۱۷]. در بخش زیرین سازند سرچاهان این مقدار در بازه‌ی ۴/۳-۸/۷۸ متغیر است که این امر نشان دهنده‌ی توان خوب این بخش از سازند مذکور در تولید هیدروکربور است.

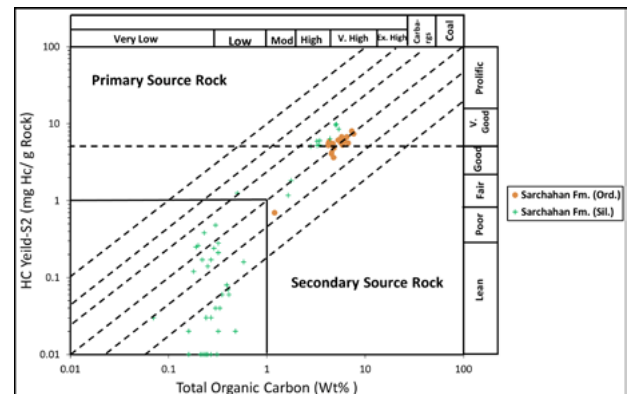
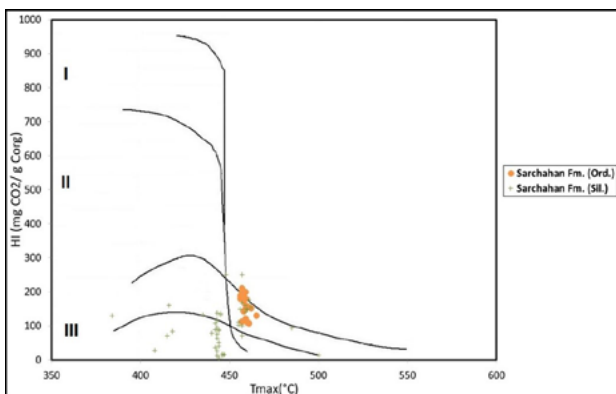
اساس این نمودار هیدروکربورهای موجود در نمونه‌های مورد مطالعه به صورت برجاستند.

میزان مجموع کربن آلی در سازند سرچاهان در بازه‌ی ۰/۰۱-۷/۲۶ درصد وزنی متغیر است. بیشترین مقدار درصد کربن آلی در قسمت زیرین سازند سرچاهان قرار دارد. این نمونه‌ها از قسمت زیرین سازند سرچاهان با سنّ اواخر اردوئین در کوه فراقون تهیه شده‌اند. مجموع متغیرهای S1 و S2 به عنوان توان تولید منشاء معرفی می‌شوند.



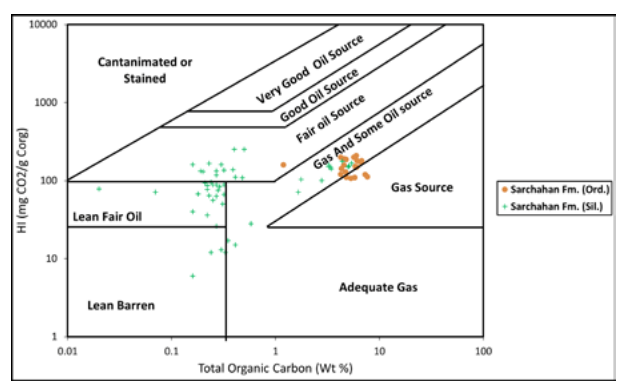
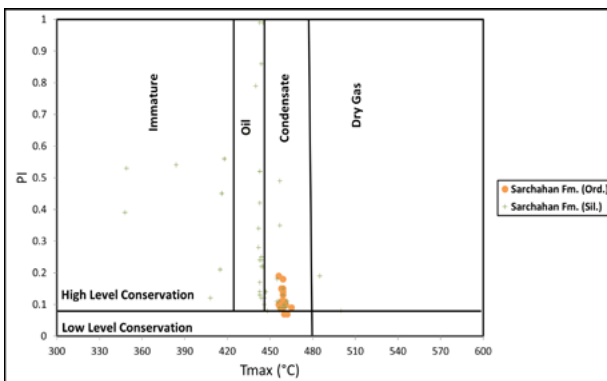
شکل ۴ | نمودار اندیس هیدروژن در برابر اندیس اکسیژن

شکل ۵ | نمودار اندیس زایش در برابر مجموع کربن آلی [۶]



شکل ۶ | نمودار اندیس هیدروژن در برابر دمای بیشینه

شکل ۷ | نمودار توان زایش در برابر مجموع کربن آلی [۶]



شکل ۸ | نمودار اندیس تولید در برابر دمای بیشینه

شکل ۹ | نمودار اندیس هیدروژن در برابر مجموع کربن آلی [۷]

از دست دادن هیدروژن کروژن‌ها با افزایش بلوغ است).

۳-۳- بلوغ حرارتی مواد آلی

مقدار بلوغ مواد آلی را می‌توان با استفاده از متغیرهای حاصل از آنالیز پیرولیز راک-اول (اندیس Tmax و PI) و آنالیز پتروگرافی آلی مشخص کرد.

در نمودار شکل-۹ مقدار دمای بیشینه در برابر اندیس تولید مشاهده می‌شود. بر اساس این نمودار عمده‌ی نمونه‌ها در محدوده‌ی اواخر پنجره‌ی نفتی و اوایل پنجره‌ی گازی قرار دارند.

همان‌طور که در نمودار قبل مشاهده می‌شود، در نمونه‌های بخش زیرین سازند سرچاهان مقدار دمای بیشینه بسیار متغیر است. چنین حالتی ناشی از وابستگی دمای بیشینه به نوع ماده‌ی آلی، مقدار سولفور و همچنین وجود کانی‌های رسی در نمونه است. بنابراین باید بلوغ مواد آلی با استفاده از روش دیگری مثل مطالعات پتروگرافی آلی کنترل شود.

آنالیز پتروگرافی انعکاس ویتترینیت از دقیق‌ترین روش‌ها در تعیین مقدار بلوغ حرارتی مواد آلی است. تنها محدودیت این آنالیز، عدم امکان استفاده از آن در صورت نبود ماسرال ویتترینیت در رسوبات پالئوزوئیک زیرین است.

بر اساس کارهای تریکر (۱۹۹۲) به جای استفاده از انعکاس ویتترینیت می‌توان از انعکاس کتینوزوا استفاده کرد و با قطعیت بسیار زیادی مقدار آنرا به انعکاس ویتترینیت معادل تبدیل کرد.

در مطالعه‌ی حاضر تعداد سه نمونه از بخش زیرین سازند سرچاهان جهت مطالعه انعکاس کتینوزوا انتخاب گردید و با استفاده رابطه‌ی تریکر مقدار این انعکاس را به انعکاس ویتترینیت معادل تبدیل کرد (جدول-۲).

بر اساس مطالعات پتروگرافی انعکاس کتینوزوا مواد آلی بخش زیرین سازند سرچاهان در محدوده‌ی پنجره‌ی گازی قرار دارند.

اختلاف بین نتایج آنالیز پیرولیز راک-اول و انعکاس کتینوزوا، مقدار بارزی است که با توجه به اهمیت تعیین مقدار بلوغ حرارتی، پیشنهاد می‌شود جهت ارزیابی مقرون به‌صحت از سطوح حرارتی تحمل شده توسط اقیانوس‌های سنگ مادر هیدروکربوری، از سایر روش‌هایی پالئوژئومتری مثل مطالعات کانی‌های رسی استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تعداد ۸۵ نمونه مربوط به سازند سرچاهان مورد مطالعات آنالیز پیرولیز راک-اول و انعکاس کتینوزوا قرار گرفت. این مطالعات جهت تعیین توان هیدروکربوری، نوع ماده‌ی آلی و بلوغ مواد آلی این سازند استفاده شد. نتایج آنالیز راک-اول نشان می‌دهد که بیشترین مقدار کربن آلی در نمونه‌ها ۷/۱۹ درصد وزنی، مقدار اندیس هیدروژن ۲۵۰-۶ میلی گرم دی‌اکسید کربن در گرم کربن آلی و مقدار دمای بیشینه در بازه‌ی ۴۴۲-۴۶۵ درجه‌ی سانتی‌گراد تغییر می‌کند.

بر اساس نتایج این مطالعه سازند سرچاهان را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد؛ بخش اول قسمت زیرین که توان بسیار خوبی در تولید

مقدار مجموع کربن آلی به‌تنهایی نشان‌دهنده‌ی توان تولید هیدروکربور نیست؛ مثلاً مجموع کربن آلی گرافیت ۱۰۰ درصد اما توان تولید هیدروکربوری آن صفر است. علاوه بر این توان تولید هیدروکربور از ماده‌ی آلی، به نوع آن نیز بستگی دارد [۱۸]. بنابراین جهت بررسی توان تولید هیدروکربور می‌توان از نمودارهای مجموع S1 و S2 در برابر مجموع کربن آلی (TOC)، S2 در برابر TOC و HI در برابر TOC استفاده کرد (شکل‌های ۶ و ۷). این نمودارها نشان می‌دهند که تنها بخش زیرین سازند سرچاهان توان خوبی جهت تولید هیدروکربور دارد و سایر بخش‌های این سازند توان هیدروکربورزایی ندارند. با توجه به نتیجه‌ی این بخش در ادامه‌ی مطالعه تنها نمونه‌های بخش زیرین سازند سرچاهان مطالعه خواهند شد و نمودارها تنها نشان‌دهنده‌ی متغیرهای این بخش هستند.

۳-۲- نوع ماده‌ی آلی

نوع کروژن را می‌توان با استفاده از مقدار اندیس هیدروژن مشخص کرد [۱۷]. کروژن نوع اول دارای اندیس هیدروژنی بیش از ۶۰۰، کروژن نوع دوم دارای اندیس هیدروژنی ۶۰۰-۳۵۰ و کروژن نوع سوم دارای اندیس هیدروژنی ۲۰۰-۷۵ است (واحد: میلی گرم هیدروکربور بر گرم کربن آلی). با افزایش بلوغ، مقدار اندیس هیدروژن انواع کروژن کاهش می‌یابد. بنابراین در بررسی تعیین نوع کروژن بر اساس اندیس هیدروژن لازم است مقدار بلوغ مواد آلی مدنظر قرار گیرد [۱۹]. در نمونه‌های مورد مطالعه در این مقاله مقدار اندیس هیدروژن مواد آلی بخش زیرین سازند سرچاهان ۲۱۰-۱۰۰ است (تنها بخشی که توان زیادی جهت تولید هیدروکربور دارد). این مقدار با در نظر گرفتن مقدار بلوغ این مواد آلی نشان‌دهنده‌ی ترکیب کروژن نوع دوم و سوم است. علاوه بر استفاده از مقدار اندیس هیدروژن به‌تنهایی، می‌توان از نمودارهای اندیس هیدروژن در برابر اندیس اکسیژن و اندیس هیدروژن در برابر دمای بیشینه (Tmax) نیز کمک گرفت (شکل‌های ۷ و ۸). بر اساس هر دو نمودار، کروژن موجود در بخش زیرین سازند سرچاهان ترکیب نوع دوم و سوم است (بر اساس مطالعات اسپیتالیو و همکاران در سال ۱۹۹۸ در این نمودارها به علت بلوغ زیاد نمونه‌ها باید نمونه‌هایی که در محدوده‌ی کروژن نوع چهارم هستند را کروژن نوع سوم و آنهایی که در محدوده‌ی کروژن نوع سوم هستند را کروژن نوع دوم به حساب آورد. علت این عمل

۲ | مقادیر انعکاس کتینوزوا حاصل از آنالیز و انعکاس ویتترینیت معادل محاسبه شده

Sample	Tmax (°C)	Chitinozoan Reflectance (Rch)	Vitrinite Reflectance (Ro)
MHS-115	۴۶۰	۲/۲۶	۱/۸۹
MHS-124	۴۵۷	۲/۲۲	۱/۸۶
MHS-137	۴۶۱	۲/۳۶	۱/۹۸

راک-اول، از انعکاس کتینوزو آن نیز استفاده شد. بر اساس این آنالیز مواد آلی سازند سرچاهان از نظر بلوغ در محدوده پنجره‌ی گازی قرار دارند. سازند سرچاهان از نظر زمان نهشته شدن معادل سازند قصبیا در شبه‌جزیره‌ی عربستان است. سازند قصبیا در این مناطق شامل دو پاره‌سازند غلیبه با توان بسیار زیاد تولید هیدروکربور و شرورا با توان ضعیف تولید هیدروکربور است. می‌توان گفت قسمت زیرین سازند سرچاهان معادل پاره‌سازند غصبیا و قسمت بالایی آن معادل پاره‌سازند شروراست.

هیدروکربور دارد (میانگین مقدار کربن آلی ۵/۲۹ درصد) و در آن کروژن نوع دوم در ترکیب با کروژن نوع سوم است. بخش دوم که قسمت بالایی این سازند است از نظر توان تولید در محدوده‌ی ضعیف قرار می‌گیرد (میانگین مقدار کربن آلی ۰/۳۴ درصد). با توجه به سن سازند سرچاهان (اواخر اردوئیسین تا اوایل سیلورین) و عدم وجود ماسرال و یترنایت در رسوبات قبل از دونین، امکان تعیین بلوغ با استفاده از انعکاس و یترنایت در سازند سرچاهان وجود ندارد. بنابراین در تحقیق حاضر جهت بررسی بلوغ، علاوه بر استفاده از دمای بیشینه‌ی حاصل از

پانویس‌ها

1. Rabbani@aut.ac.ir

2. Khaleghi_meh@yahoo.com

منابع

- [1] Bordenave, M. L. (2008). The Origin of the Permo-Triassic Gas Accumulations in The Iranian Zagros Foldbelt and Contiguous Off-shore Areas: A Review of the Palaeozoic Petroleum System. *Journal of Petroleum Geology*, 31(1), 3–42.
- [2] Bordenave, M. L. (2014). Petroleum Systems and Distribution of the Oil and Gas Fields in the Iranian Part of the Tethyan Region. *AAPG Memoir*, 106, 505–540.
- [3] Hubert, H. (1978). Geological and tectonic map of Southwest Iran. Explanatory Notes and Cross Sections, Sheet No 4, NIOC, Tehran.
- [4] Ghavidel-syooki, M., Alvaro, J. J., Popov, L., Pour, M. G., Ehsani, M. H., & Suyarkova, A. (2011). Stratigraphic evidence for the Hirnantian (latest Ordovician) glaciation in the Zagros mountains, Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 307(1-4), 1–16.
- [5] Ghavidel-syooki, M., Popov, L., Alvaro, J. J., Ghobadi-pour, M., Tolmacheva, T. Y., & Ehsani, M. H. (2014). Darwinian-Lower Darriwilian (Ordovician) Stratigraphic gap in the Faraghan mountains, Zagros Ranges, Southeast Iran. *Bulletin of Geosciences*, 89(4), 679–706.
- [6] Rickards, R. B., Wright, A. J., & Hamed, A. M. (2000). Late Ordovician and Early Silurian graptolites from southern Iran. *Records West Australian Museum Supplement*, 58, 103–122.
- [7] Loydell, D. K. (1998). Early Silurian sea-level changes. *Geology Magazine*, 135(4), 447–471.
- [8] Adabi, M. H. (2008). Geochemical Investigation of Kangan Formation in South Pars Field. *Journal of University of Tehran*.
- [9] Alavi, M. (2004). Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science*, 304(1), 1–20. <http://doi.org/10.2475/ajs.304.1.1>.
- [10] Sepehr, M., & Cosgrove, J. W. (2004). Structural framework of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 21(7), 829–843. <http://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2003.07.006>.
- [11] Sherkati, S., Letouzey, J., Lamotte, D., & Frizon, D. (2006). Central Zagros fold-thrust belt (Iran): New insights from seismic data, field observation, and sandbox modeling. *Tectonics*, 25(4), 1–27. <http://doi.org/10.1029/2004TC001766>.
- [12] Luning, S., Craig, J., Loydell, D. K., Storch, P., & Fitches, B. (2000). Lower Silurian "Hot Shales" in North Africa and Arabia: Regional distribution and depositional model. *Earth Science Reviews*, 49(1-4), 121–200.
- [13] Ghavidel-syooki, M., & Khosravi, M. E. (1995). Investigation of Lower Paleozoic Sediments at the Tang-e-Zakeen of Kuh-e-Faraghan and Introduction of Seyahou and Sarchahan Formations in the Zagros basin. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 4, 2–21.
- [14] Espitalie, J., Deroo, G., & Marquis, F. (1985). La pyrolyse Rock-Eval et ses applications. *Revue de l'Institut Français Du Pétrole*, 40, 563–579.
- [15] Tricker, P. M., Marshall, J. E. a., & Badman, T. D. (1992). Chitinozoan reflectance: a Lower Palaeozoic thermal maturity indicator. *Marine and Petroleum Geology*, 9(3), 302–307. [http://doi.org/10.1016/0264-8172\(92\)90078-S](http://doi.org/10.1016/0264-8172(92)90078-S).
- [16] Le Heron, D. P., & Dowdeswell, J. a. (2009). Erratum for Le Heron & Dowdeswell, *Journal of the Geological Society, London*, 166 (3) 277-281. Calculating ice volumes and ice flux to constrain the dimensions of a 440 Ma North African ice sheet. *Journal of the Geological Society*, 166(4), 825–825.
- [17] Tissot, B. P., & Welte, D. H. (1985). Petroleum Formation and Occurrence. *Eos, Transactions American Geophysical Union (Second, Vol. 66)*. Springer-Verlag, Berlin.
- [18] Jackson, K. S., Hawkins, P. J., & Bennett, J. R. (1980). Regional facies and geochemical evaluation of the Southern Denison Trough, Queensland. *APEA Journal*, 20, 143–158.
- [19] Peters, K. E. (1986). Guidelines for evaluating petroleum source rocks using programmed pyrolysis. *AAPG Bulletin*, 70, 318–329.