

بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی سازند سروک در بلوک D حوضه خلیج فارس

نیلوفر محمدی اکبری^۱ و محمدرضا کمالی^{۲*}

^۱ دانشجوی دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۲ دانشیار، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۳

چکیده

سازند سروک (با سن کرتاسه) یکی از مهم‌ترین مخازن نفتی در جنوب ایران است و حجم قابل توجهی از تولید نفت در حوضه خلیج فارس به این سازند نسبت داده می‌شود. در طرح مطالعاتی حاضر به منظور ارزیابی توان هیدروکربن‌زایی این سازند، بررسی روی مغزه‌ها، خرده‌های حفاری و نمونه‌های نفتی تهیه شده از چاه‌های میدانی در بلوک D خلیج فارس در گستره بخش ایرانی انجام شد. تطابق یعنی مقایسه ژئوشیمیایی میان هیدروکربن‌ها، یا هیدروکربن‌ها با سنگ منشأ و تعیین چگونگی ارتباط ژنتیکی میان آنها که برای این منظور از ابزارها و متغیرهایی مانند بیومارکرها و ایزوتوپ استفاده می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه‌های ژئوشیمیایی شامل تجزیه‌های مقدماتی (تجزیه پیرولیز راک-اول)، استخراج و تفکیک بیتومن، آزمایش‌های تکمیلی (کروماتوگرافی گازی) و کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی و بررسی‌های ایزوتوپی، روی نمونه‌ها بیان می‌دارد که کروژن نمونه‌های بررسی شده مخلوطی از انواع II و III است و نشان می‌دهد که مواد آلی تولید کننده هیدروکربن از محیطی دریایی همراه با کمی ورودی از خشکی تولید شده‌اند. هیدروکربن‌های موجود در سازند سروک از یک سنگ منشأ با جنس کلاستیک-کمی کربناته تولید شده و در شرایطی احیایی-نیمه‌احیایی رسوب کرده‌اند. کروماتوگرام‌های برش‌های اشباع نمونه‌ها نشان از نبود پدیده تخریب زیستی نمونه‌های مورد مطالعه دارد. نمونه‌های نفتی و میان‌لایه‌های شیلی-آهکی سازند سروک پتانسیلی هیدروکربنی متوسط تا خوب را نشان می‌دهند. مجموعه نمونه‌های مورد بررسی، از دید درجه بلوغ، در شروع پنجره نفت‌زایی (اواخر دیاژنز-اوایل کاتاژنز) قرار گرفته‌اند. همچنین هیدروکربن‌ها ویژگی‌های پارافینیک-نفتیک نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد که لایه‌های شیلی-آهکی موجود در بخش‌هایی از سازند سروک (بخش احمدی) در بلوک D خلیج فارس، سبب تولید هیدروکربن‌های موجود در مخزن سروک شده است.

کلیدواژه‌ها: سازند سروک، حوضه خلیج فارس، سنگ منشأ، ویژگی‌های ژئوشیمیایی.

***نویسنده مسئول:** محمدرضا کمالی

E-mail: kamalimr@ripi.ir

۱- پیش‌نوشتار

سنگ منشأ نفت دارد، تغییر رخساره داده است. بر این اساس می‌توان کمیت و کیفیت ماده آلی، درجه بلوغ سنگ منشأ و تولید و مهاجرت نفت به لایه‌های مخزنی در گستره بخش ایرانی خلیج فارس را مطالعه کرد (مطیعی، ۱۳۷۲).

سازند سروک دو رخساره متفاوت دارد (آقانباتی، ۱۳۸۵). در محل بُرش الگو و فارس ساحلی، رخساره‌های کم‌ژرفای این سازند گسترش دارد. در حالی که در ناحیه لرستان، می‌توان رخساره‌های ژرف سازند سروک را دید (آقانباتی، ۱۳۸۵).

رخساره کم‌ژرفای سازند سروک در محل بُرش الگو، شامل ۳۰۰ متر سنگ آهک لایه‌ای رسی و سنگ آهک‌های گل سفیدی در پایین است؛ ولی بیشتر سازند را سنگ آهک‌های سفیدرنگ، توده‌ای، دارای چرت و رودیست تشکیل می‌دهد. در فارس ساحلی، رخساره کم‌ژرفای سازند سروک، شبیه بخش آهکی مدود در قطر و بخش شیلی احمدی در کویت است که این اسامی در زاگرس هم به کار می‌رود (آقانباتی، ۱۳۸۵).

بخش آهکی مدود، زبانه‌ای از سازند مدود است. بُرش الگوی آن در قطر است و تا عراق و کویت نیز ادامه دارد. در ایران این واحد سنگی، سنگ آهک سبترلایه اریتولین دار است که روی سازند کژدمی قرار دارد و با بخشی از سازند سروک برابر است (آقانباتی، ۱۳۸۵).

بخش شیلی احمدی، زبانه‌ای از سازند شیلی احمدی کویت است که در ایران ۳۰ تا ۶۰ متر شیل خاکستری دارای اگزوزیرا، به سن سنوماین است. بخش احمدی به‌طور همیش روی بخش آهکی مدود، ولی به‌صورت دگرشیب در زیر سازند ایلام جای دارد (آقانباتی، ۱۳۸۵).

رخساره ژرف سازند سروک در لرستان، شامل سنگ آهک‌های مارنی-رسی تیره رنگ و نازک‌لایه، با ریزسنگواره‌های پلانکتون فراوان است (آقانباتی، ۱۳۸۵).

حوضه خلیج فارس، به عنوان یکی از غنی‌ترین حوضه‌های هیدروکربنی جهان در خاورمیانه جای دارد (Ghazban, 2007). ژئوشیمی نفت و پتانسیل سنگ منشأ سازند سروک در مطالعات پیشین بررسی شده است (Bordenave & Burwood, 1990; Bordenave & Huc, 1995; Bordenave, 2002; Kamali & Rezaee, 2003; Bordenave & Hegre, 2005; Rabbani & Kamali, 2005; Rabbani, 2008; Rabbani et al., 2014; Ghasemi-Nejad et al., 2009; Bordenave & Hegre, 2010; Rabbani, 2013; Rabbani & Bagheri Tirtashi, 2010). در این مطالعات سازند سروک (احمدی) در منطقه خلیج فارس به عنوان سنگ منشأ نفت است و افت‌های مخزنی این سازند را تغذیه می‌کند (ربابی، ۱۳۹۱). خلیج فارس یک "دریای حاشیه‌ای" است که به‌طور کامل روی فلات قاره قرار دارد و "سراسیمی" آن در خلیج عمان است (Ghazban, 2007). این خلیج ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر پهنا دارد و سطحی در حدود ۲۲۶۰۰۰ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد. ژرفای میانگین آن حدود ۳۵ متر و ژرف‌ترین نقطه آن در کرانه ایرانی تنگه هرمز است که ژرفایی تا ۱۶۵ متر دارد؛ ولی میانگین آن در کناره‌های محور، ۷۴ تا ۹۲ متر است (Ghazban, 2007). فلات قاره ایران (خلیج فارس) بر پایه ویژگی‌های چینه‌شناسی، ساختمانی، سنگ منشأ، سنگ مخزن و پوش سنگ به ۵ بلوک تقسیم می‌شود (Ghazban, 2007) (شکل ۱).

۲- وضعیت چینه‌شناسی سازند سروک

سازند سروک یکی از مهم‌ترین سنگ‌های مخزن در جنوب ایران است و حجم مناسبی از تولید نفت در حوضه خلیج فارس به این سازند نسبت داده می‌شود (مطیعی، ۱۳۷۲). از سوی دیگر سازند سروک در برخی میدانی خلیج فارس به علت تغییرات محیطی از دید ترکیب سنگی به شیل و آهک غنی از ماده آلی که پتانسیل

در جدول‌های ۲ و ۳، نتایج حاصل از تجزیه‌های شیمیایی (درصد ترکیبات جداسازی شده از بیئومن و نفت خام، نتایج حاصل از کروماتوگرام‌های ترکیب‌های اشباع (GC) و نتایج حاصل از روش GC-MS برای بیومارکرها استرانی و هوپانی) نمونه‌های تهیه شده از مغزه‌ها، خرده‌های حفاری و نمونه‌های نفتی چاه‌های میادین تحت بررسی ارائه شده است. در پیوست نیز، طیف‌های حاصل از روش کروماتوگرافی گازی ترکیبات اشباع و طیف‌های به دست آمده از کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی جرمی بیومارکرها هوپانی (هوپانوگرام $m/z = 191$) و بیومارکرها استرانی (استرانوگرام $m/z = 217$) (از هر چاه یک طیف به عنوان نمونه) ارائه شده است.

شرایط دستگاهی به شرح زیر است:
 - کروماتوگراف گازی از نوع Chrompack-CP-9000، دمای اولیه آون ۶۰ درجه سانتی‌گراد و دمای پایانی آن ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد، افزایش دما ۴ درجه بر دقیقه، گاز حامل هلیوم، نوع ستون موئینه از نوع CP-Sil-5 به طول ۲۵ متر و مقدار تزریق نمونه ۰/۲ میکرولیتر.
 - کروماتوگراف گازی - طیف‌سنج جرمی از مدل Varian-3400، نوع ستون DB-1 به طول ۲۵ متر، گاز حامل هلیوم، دمای اولیه آون ۵۰ درجه سانتی‌گراد و دمای پایانی ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد (ایزوترمال در این دما به مدت ۲۰ دقیقه)، افزایش دما ۴ درجه بر دقیقه، نوع طیف‌سنج جرمی از نوع کوادراپل Incos-50، دمای منبع ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، سیستم خلأ (Turbo-molecular pumps)، حالت یونیزاسیون EI، دمای رابط ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد، نرخ پایش ۱ sec/decade و جریان فیلامان ۱۰ eV.

۳-۳. بررسی‌های ایزوتوپی

امروزه استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار در علم ژئوشیمی آلی جایگاه خاصی پیدا کرده است (Sofer, 1984; Chung et al., 1992). در این طرح مطالعاتی از ایزوتوپ پایدار کربن ۱۳ روی برش‌های آسفالتن جداسازی شده از بیئومن و نفت خام، به منظور تعیین سن تقریبی زمین‌شناسی مواد آلی و مقایسه و تطابق هیدروکربن‌های موجود در میادین بلوک D خلیج فارس استفاده شده است. همه تجزیه‌های ایزوتوپی در دانشگاه لهستان انجام شده است.

در جدول ۴، مقادیر ایزوتوپی کربن ۱۳ روی برش‌های آسفالتن نمونه‌های تهیه شده از مغزه‌ها، خرده‌های حفاری و نمونه‌های نفتی چاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است.

۴-۴. بررسی روی نمونه‌های گرفته شده از سازند سروک در بلوک D حوضه خلیج فارس

۴-۱. تعیین درجه بلوغ سنگ منشأ احتمالی و نوع کروژن آن

در بررسی‌های انجام شده توسط تجزیه‌های پیرولیز راک-اول و همچنین کروماتوگرافی گازی (GC)، به نظر می‌رسد میزان پختگی کروژن این سنگ مادر احتمالی (میان لایه‌های شیلی - آهکی موجود در بخش‌هایی از سازند سروک) بر پایه متغیرهای T_{max} و HI (شکل ۲)، همچنین بر پایه نسبت‌های استران‌های C_{29} و نیز متغیرهای T_s و T_m هوپان‌ها، (شکل‌های ۴ و ۵)، انتهای دیاژنز و ابتدای کاتازنز (شروع پنجره نفت‌زایی) را به نمایش می‌گذارد. کروژن نوع II و III با متغیرهای T_{max} و HI (شکل ۲) و نیز مقادیر نسبت‌های پرستان و فیتان در برابر آلکان‌های عادی C_{17} و C_{18} از ویژگی‌های سنگ مادر یاد شده هستند (شکل ۳).

به کمک تجزیه‌های پیرولیز راک-اول، کروماتوگرافی گازی (GC) و کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی جرمی (GC-MS) مشخص شد که مجموعه نمونه‌های مورد مطالعه از دید درجه بلوغ پختگی) در محدوده شروع پنجره تولید نفت (اواخر دیاژنز - اوایل کاتازنز) هستند (شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵).

دو رخساره کم‌ژرفا و ژرف سازند سروک با یکدیگر ارتباط میان‌انگشتی دارند. از سوی دیگر، در شمال لرستان، سازند سروک با شیل‌های ژرف گرو همچنان ارتباط میان‌انگشتی دارد. مرز پایینی سازند سروک با شیل‌های کژدمی تدریجی و مرز بالایی آن با سازند ایلام ناهمساز فرسایشی و آغشته به ترکیب‌های آهن است. یک ناپوستگی موازی، به سن پس از سنومانین در میان سازند سروک، این سازند را به سروک پایینی (سنومانین) و سروک بالایی (تورونین) تقسیم کرده است (آقباتی، ۱۳۸۵).

سازند سروک پس از سنگ‌آهک آسماری مهم‌ترین سنگ مخزن حوضه زاگرس است (اشکان، ۱۳۸۳).

۳-۳. اهداف مطالعه و روش کار

طرح مطالعاتی حاضر به مطالعه هیدروکربن‌های موجود در مغزه‌ها، خرده‌های حفاری و نیز نمونه‌های نفتی تهیه شده از سازند سروک و بررسی‌های ژئوشیمیایی تعدادی نمونه به منظور منشأیابی، تعیین درجه بلوغ نمونه‌ها و نوع کروژن آنها، کیفیت هیدروکربنی و درجه‌بندی سنگ مادر احتمالی، تعیین پتانسیل هیدروکربنی احتمالی، تعیین سن نمونه‌ها و غیره پرداخته است. در پایان، این طرح مطالعاتی می‌تواند به این پرسش پاسخ دهد که آیا میان آثار هیدروکربن‌های موجود در زمینه (ماتریکس) سازند سروک با محتویات مخزنی (نفت) ارتباطی وجود دارد؟ و آیا همگی از یک سنگ منشأ واحد یا از سنگ منشأ دیگری تولید شده و ضمن مهاجرت وارد مخزن سروک شده‌اند؟ برای این منظور از روش‌های ژئوشیمیایی زیر استفاده شده است:

۱) تجزیه پیرولیز راک-اول

۲) روش‌های تجزیه شیمیایی (شامل: استخراج بیئومن و جداسازی گروه‌های تشکیل‌دهنده آن، روش کروماتوگرافی گازی و روش کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی جرمی)

۳) بررسی‌های ایزوتوپی روی برش‌های آسفالتن جداسازی شده از بیئومن.

۳-۱. پیرولیز نمونه‌ها

با روش پیرولیز، ضمن اعمال حرارت روی ماده آلی در نبود اکسیژن، هیدروکربن تولید و آزاد می‌شود. به این ترتیب کمیت و کیفیت ماده آلی و نوع آن، پتانسیل باقیمانده نمونه و تحولات گرمایی ماده آلی، تعیین می‌شود. برای انجام این تجزیه از دستگاه پیرولیز راک-اول استفاده می‌شود (Espitalie et al., 1980). بر این اساس، ۳۴ نمونه از مغزه‌ها و یا خرده‌های حفاری تهیه شد. در مرحله بعدی نمونه‌ها پودر، مقدار ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم از آن توسط دستگاه پیرولیز راک-اول ۲، تجزیه مقدماتی و متغیرهای مورد لزوم از جمله TOC ، T_{max} ، HI و دیگر متغیرها تعیین شد. در جدول ۱، نتایج حاصل از تجزیه پیرولیز راک-اول نمونه‌های تهیه شده از مغزه‌ها و خرده‌های حفاری چاه‌های میادین مختلف بلوک D خلیج فارس شامل بیانک (۸ عدد)، درود (۶ عدد)، ماهشهر (۷ عدد)، فروزان (۴ عدد) و سروش (۹ عدد) ارائه شده است.

۳-۲. جداسازی و تفکیک مواد آلی

برای استخراج بیئومن از نمونه‌های مغزه و خرده‌های حفاری، ۳۰ تا ۴۰ گرم از نمونه تهیه و از حلال دی‌کلرومتان و دستگاه سوکسله استفاده شد. پس از خشک کردن، مواد آلی استخراج شد و نمونه‌های مورد نظر به همراه یک سری نمونه‌های نفتی مورد جدایش آسفالتن و باقیمانده نمونه‌ها به وسیله روش کروماتوگرافی ستونی مورد تفکیک برای گردآوری برش‌های ترکیبات اشباع، آروماتیک و رزین قرار گرفت. برش اشباع نمونه‌ها در ادامه کار به وسیله کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی جرمی آزمایش شد. امروزه می‌توان با روش کروماتوگرافی گازی (GC) به بررسی توزیع آلکان‌های عادی و ایزوپرنوئیدها، و با روش کروماتوگرافی گازی - طیف‌سنجی جرمی (GC-MS) به مطالعه بیومارکرها، تعیین درجه پختگی ماده آلی یا نفت و تطابق پرداخت (Peters & Moldowen, 1993; Hunt, 1996).

۴-۲. تعیین پتانسیل هیدروکربنی سنگ مادر

بر پایه مقادیر TOC نمونه‌ها و با توجه به نتایج حاصل از تجزیه پیرولیز راک-اول کمتر از ۲ و پتانسیل ژنتیکی آنها کمتر از ۸ است، می‌توان گفت میان‌لایه‌های تولید کننده هیدروکربنی در سازند سروک، از دید درجه‌بندی غنای کربن آلی ضعیف تا خوب (به نسبت خوب) و از دید توان هیدروکربنی نیز چنین هستند (شکل ۶). بنابراین چنین سنگ مادری توان به نسبت خوبی برای تولید هیدروکربن از دیدگاه‌های اقتصادی دارد.

۴-۳. کیفیت هیدروکربنی

پس از تفکیک بیئومن از نمونه‌ها و رسوب دادن آسفالتن، انجام کروماتوگرافی ستونی و تعیین درصد برش‌های مختلف اشباع، آروماتیک، رزین و آسفالتن، مجموعه نمونه‌های مطالعه شده بر پایه توزیع ترکیبات اشباع، آروماتیک و قطبی، ویژگی‌های پارافینیک- نفتیک را نشان می‌دهند (شکل ۷). در این میان نمونه‌های نفتی کمی پارافینیک‌تر و نمونه‌های سنگی (تهیه شده از مغزه‌ها و خرده‌های حفاری) کمی نفتیکی هستند.

۴-۴. وضعیت محیط رسوب‌گذاری نمونه‌ها و ترکیب سنگی سنگ مادر آنها

بررسی نتایج حاصل از روش‌های کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی نشان می‌دهد که نمونه‌های بررسی شده، در محیطی با شرایط احیایی-نیمه‌احیایی رسوب کرده‌اند و ترکیب سنگی سنگ مادر احتمالی آنها کلاستیک-نیمه کربناته بوده است (میان‌لایه‌های شیلی-آهکی سازند سروک به ویژه بخش احمدی) (شکل ۸). همچنین منشأ مواد آلی نمونه‌ها بر پایه غلظت‌های استران‌های C_{27} تا C_{29} از نوع دریایی با کمی ورودی‌هایی از خشکی است (شکل ۹) و پدیده تخریب‌حیاتی در آنها دیده نمی‌شود (شکل ۳).

گاماسران یکی دیگر از تری‌ترپان‌های ۵ حلقه‌ای است که فراوانی بالای آن در نفت‌خام نشانه شوری بالا در زمان ته‌نشست است. حضور کم این بیومارکر در طیف‌های هوبانوگرام مجموعه نمونه‌های مورد بررسی نشان‌دهنده شوری کم محیط در زمان ته‌نشست مواد آلی است.

از دیگر راه‌هایی که توسط بیومارکرها برای تعیین منشأ مواد آلی (کروژن) و وضعیت محیط رسوب‌گذاری احتمالی سنگ مادر هیدروکربن‌ها استفاده می‌شود، رسم نمودار C_{29}/C_{27} استران‌های منظم در برابر نسبت پرستان به فیتان است (Sofer, 1984; Chung et al., 1992)؛ نمودار رسم شده برای نمونه‌های مورد بررسی، بیانگر شرایط احیایی-نیمه‌احیایی محیط رسوب‌گذاری و نیز محیط دریایی (منشأ جلبکی) برای نمونه‌هاست (شکل ۱۰).

یکی دیگر از راه‌هایی که توسط آن می‌توان به نوع محیط رسوب‌گذاری نمونه‌های سنگ منشأ پی برد، رسم نمودار سافر حاصل از تغییرات مقادیر ایزوتوپ کربن ترکیب‌های اشباع ($\delta^{13}C_{sat}$) در برابر مقادیر ایزوتوپ کربن ترکیب‌های آروماتیک ($\delta^{13}C_{aro}$) است (برگرفته از Sofer (1984)؛ نمودارهای رسم شده نشان می‌دهند که مجموعه نمونه‌های مورد بررسی در محیطی دریایی با کمی ورودی از خشکی رسوب کرده‌اند (شکل ۱۱).

۴-۵. سن نمونه‌ها

یکی از راه‌هایی که توسط آن می‌توان به سن تقریبی هیدروکربن‌ها و همچنین

ترکیب سنگی سنگ مادر آنها پی برد، استفاده از بیومارکر استران‌های منظم با کربن‌های C_{28} و C_{29} به صورت رسم نمودار C_{28}/C_{29} در برابر C_{28} است (برگرفته از Chung et al. (1992)). بر پایه نمودار رسم شده برای نمونه‌های مورد بررسی سن کراتاسه برای هیدروکربن‌ها تأیید می‌شود (شکل ۱۲).

از سوی دیگر بیومارکر "اولنان" هم یکی از تری‌ترپان‌های ۵ حلقه‌ای و از مشتقات آیزوسپرم نواحی گرمسیری است و حضورش منشأ با سن کراتاسه بالایی تا تریاری را نشان می‌دهد. در طیف‌های هوبانوگرام مجموعه نمونه‌های مورد بررسی دیده شد. بنابراین نمونه‌های مورد مطالعه سن کراتاسه دارند.

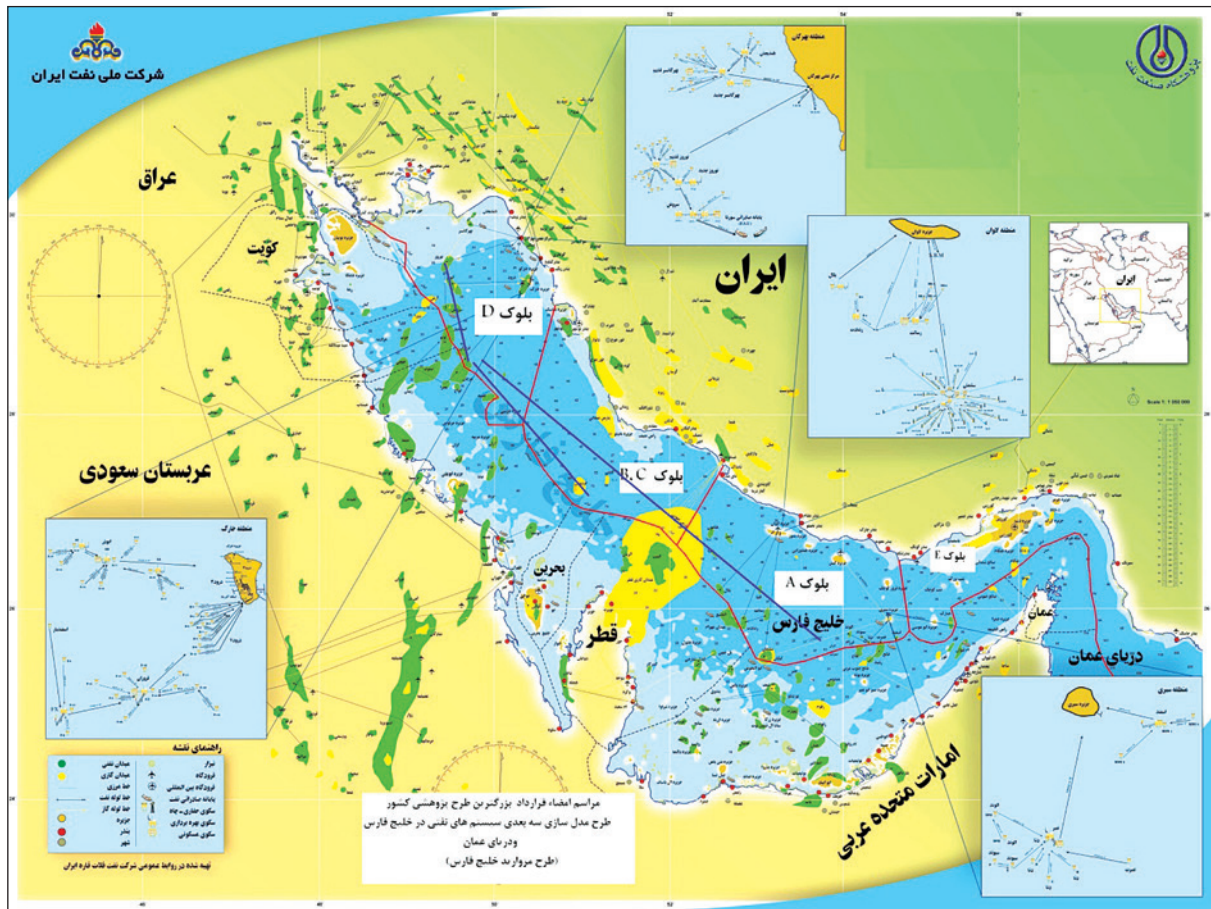
یکی از راه‌هایی که توسط آن می‌توان به سن تقریبی هیدروکربن‌ها و همچنین ترکیب سنگی سنگ مادر آنها پی برد، استفاده از تغییرهای نسبت پرستان به فیتان و ایزوتوپ کربن ^{13}C به صورت رسم نمودار Pri/Phy در برابر ^{13}C است؛ بر پایه نمودار رسم شده برای نمونه‌های مورد مطالعه، سن مزوزویک (کراتاسه) برای هیدروکربن‌ها و ترکیب سنگی شیل همراه با کربنات برای سنگ مادر تأیید می‌شود (شکل ۱۳).

۵- نتیجه‌گیری

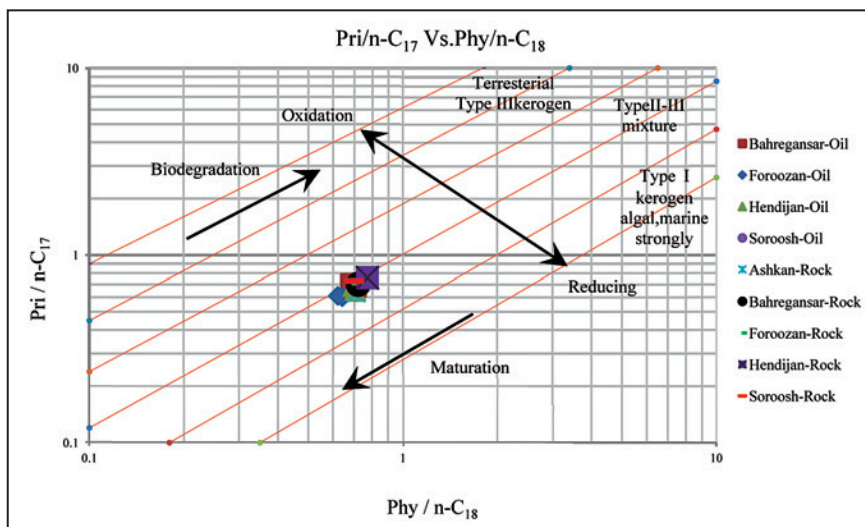
بر پایه نتایج حاصل از تجزیه‌های ژئوشیمیایی (مقدماتی، تکمیلی و نیز ایزوتوپی) روی نمونه‌های گرفته شده از مغزه‌های حفاری، خرده‌های حفاری و نیز نمونه‌های نفتی مربوط به سازند سروک به نظر می‌رسد که میان‌لایه‌های شیلی-آهکی موجود در این سازند (برای نمونه بخش احمدی)، سنگ منشأ مستعد مخزن سروک در میدین نفتی بلوک D حوضه خلیج فارس است. نوع کروژن نمونه‌های مورد بررسی بیشتر از نوع II و III است. میزان پختگی کروژن این سنگ مادر پایان دیاژنز و ابتدای کاتاژنز (شروع پنجره نفت‌زایی) را نشان می‌دهد. بررسی روی نتایج حاصل از روش‌های کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی نشان می‌دهد که نمونه‌های بررسی شده، در محیطی با شرایط احیایی-نیمه‌احیایی رسوب کرده‌اند. بررسی آثار هیدروکربنی موجود در ماتریکس سازند سروک (نمونه‌های خرده حفاری و تهیه شده از مغزه‌ها) نشان می‌دهد که از دید سنی (کراتاسه: Albian-Cenomanian)، درجه بلوغ، ترکیب سنگی و وضعیت محیط رسوب‌گذاری سنگ مادر، ظاهراً با هیدروکربن‌های نفتی موجود در مخزن سروک ارتباط ژنتیکی یکسان دارد و به عبارت دیگر نفت‌های مخزن سروک به صورت برج‌تولید شده‌اند؛ یعنی میان‌لایه‌های شیلی-آهکی سازند سروک (برای نمونه بخش احمدی)، به عنوان سنگ مادر نفت‌های مخزن سروک رفتار کرده است. در نهایت با جمع‌بندی نتایج حاصل از تجزیه‌های پیرولیز راک-اول با تجزیه‌های تکمیلی و دیگر شاخص‌های حرارتی از جمله ادخال سیال، اندیس‌های رنگ‌بندی اسپور (SCI) و اندیس‌های دگرسانی گرمایی (TAI) و مدل‌سازی می‌توان به نتایج قطعی تری در این زمینه رسید که باید در مطالعات به آن توجه شود.

سپاسگزاری

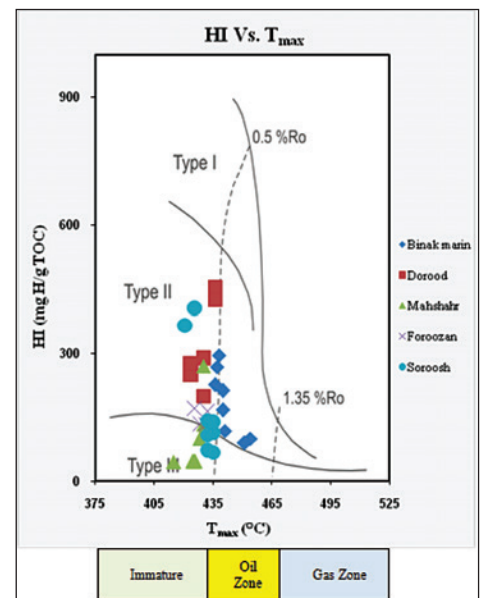
از پژوهشگاه صنعت نفت ایران به دلیل حمایت‌های همه جانبه این طرح مطالعاتی سپاسگزاری می‌شود.



شکل ۱- نقشه تقسیم‌بندی بلوک‌های ۵ گانه نفتی خلیج فارس در فلات قاره ایران (پژوهشگاه صنعت نفت، ۱۳۹۰).

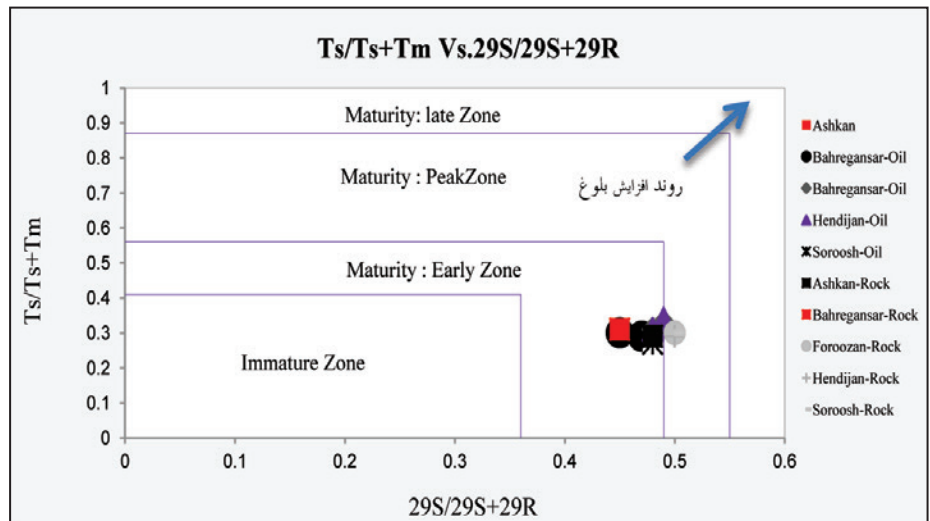


شکل ۳- نمودار نسبت $\text{Phytane}/n\text{-C}_{18}$ در برابر $\text{Pristane}/n\text{-C}_{17}$ برای نمونه‌های نفتی و سنگی حاصل از تجزیه کروماتوگرافی گازی نمونه‌های تهیه شده از میدان بلوک D حوضه خلیج فارس (Connan & Cassou, 1980).

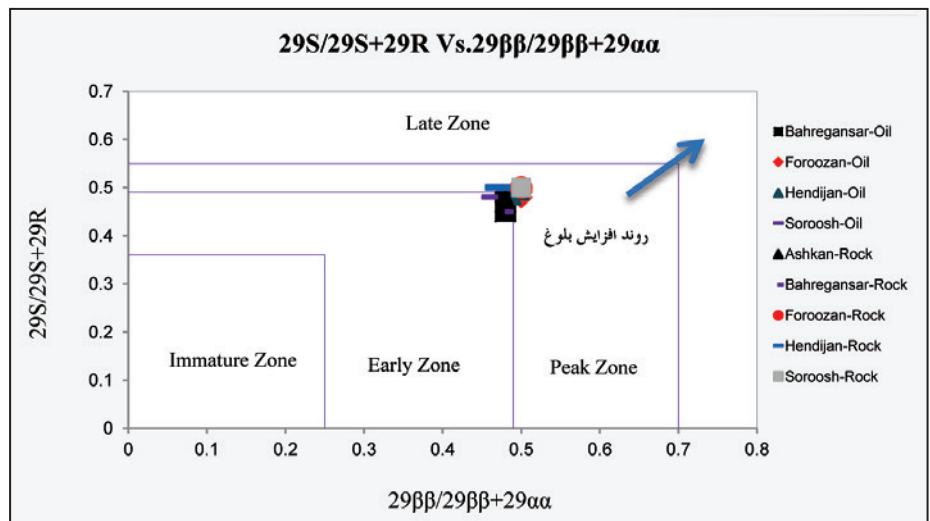


شکل ۲- نمودار شاخص هیدروژن (HI) در برابر T_{\max} (دمای پیشینه) برگرفته از (Hunt (1996) برای داده‌های به دست آمده از تجزیه پیرولیز راک-اول سازند سروک در بلوک D خلیج فارس.

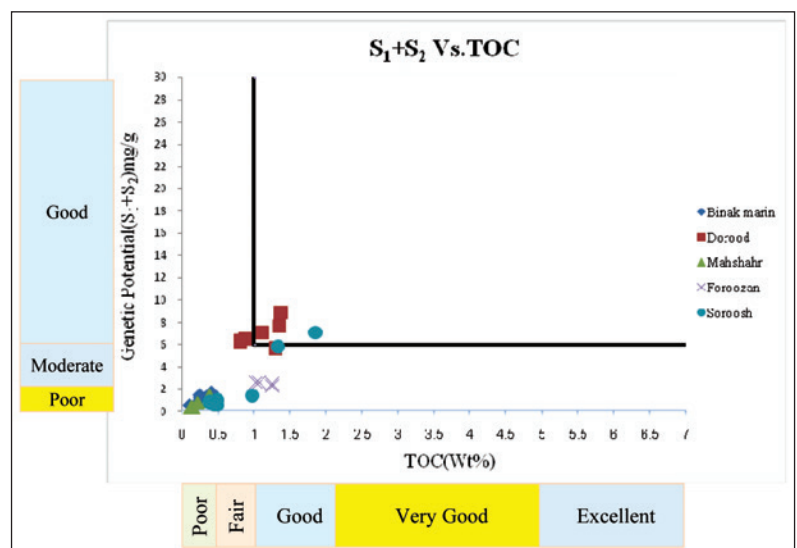
شکل ۴- نمودار نسبت $Ts/Ts+Tm$ هویانها در برابر $29S/29S+29R$ استرانها برای نمونههای سنگی و نفتی حاصل از تجزیه کروماتوگرافی گازی نمونههای تهیه شده از میدین بلوک D حوضه خلیج فارس (Peters & Moldowan, 1993).



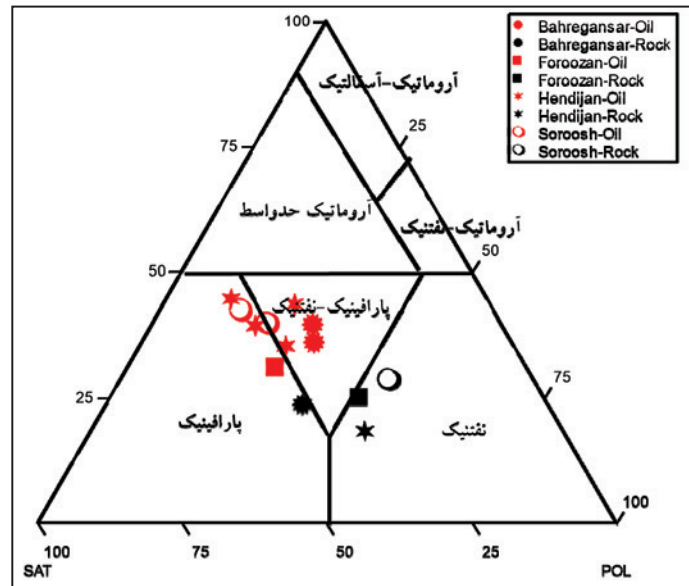
شکل ۵- نمودار نسبت $29\beta\beta/29\beta\beta+29\alpha\alpha$ استرانها در برابر $29S/29S+29R$ استرانها برگرفته از Peters & Moldowan (1993) برای نمونههای نفتی و سنگی حاصل از تجزیه کروماتوگرافی گازی- طیفسنجی جرمی نمونههای تهیه شده از میدین بلوک D حوضه خلیج فارس.



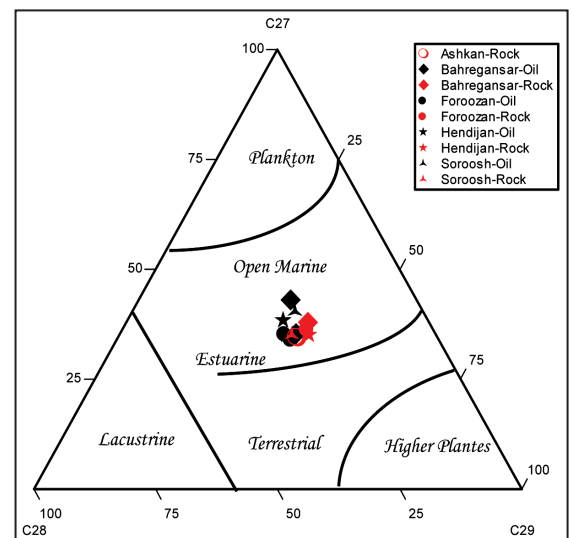
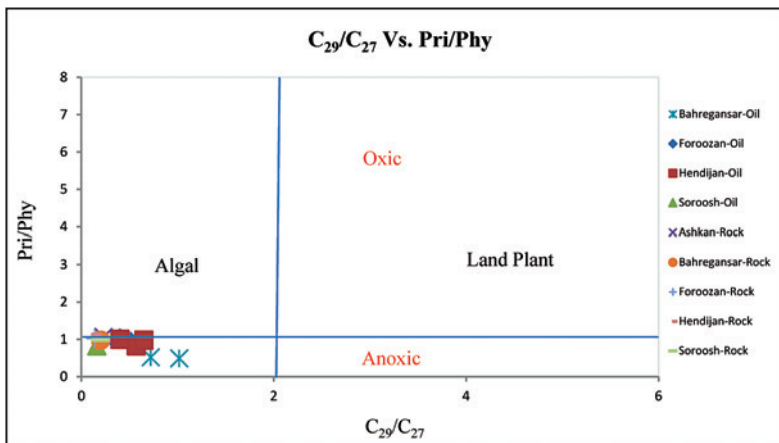
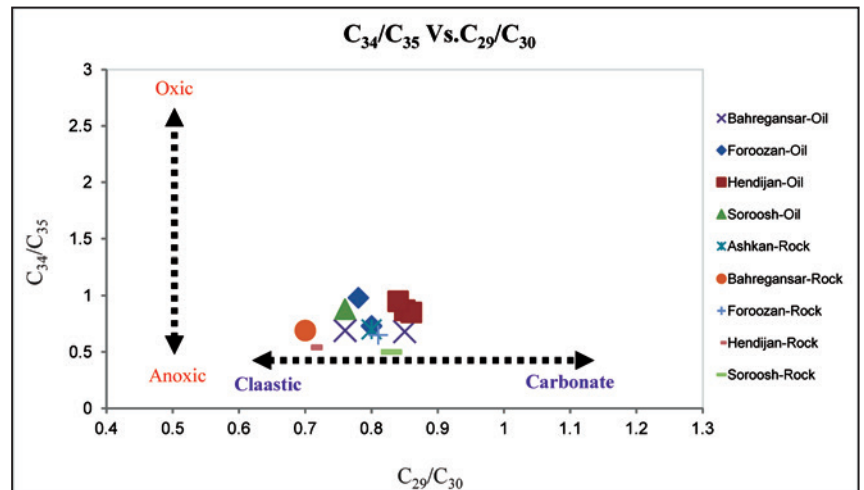
شکل ۶- نمودار پتانسیل ژنتیکی (S_1+S_2) در برابر TOC (کربن آلی کل) برای دادههای به دست آمده از تجزیه پیرولیز راک-اول نمونههای تهیه شده از میدین بلوک D حوضه خلیج فارس (Hunt, 1996).



شکل ۷- نمودار مثلثی پیشنهاد شده توسط Tissot & Welte (1984) رسم شده برای نمونه‌های نفتی و سنگی (تهیه شده از خرده‌ها و مغزه‌های حفاری) چاه‌های میدین بلوک D حوضه خلیج فارس.



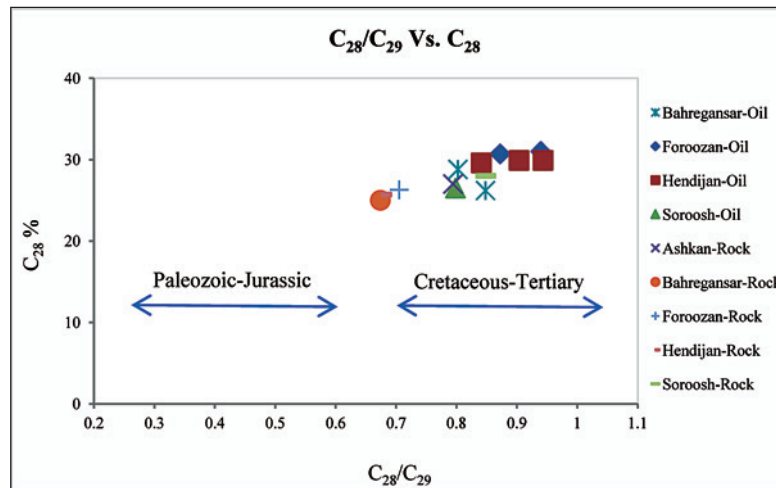
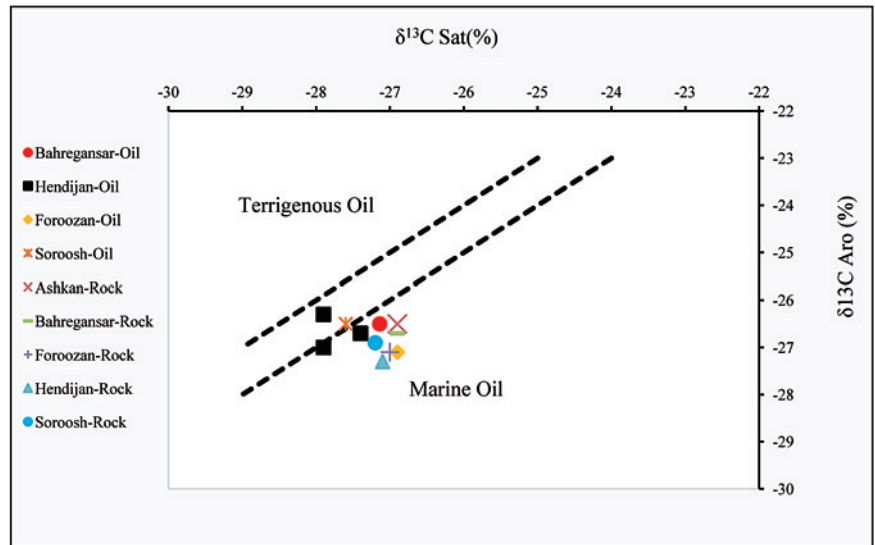
شکل ۸- نمودار Homohopane C_{34}/C_{35} در برابر Hopane C_{29}/C_{30} برگرفته از Peters & Moldowan (1993) برای نمونه‌های نفتی و سنگی حاصل از تجزیه کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی تهیه شده از چاه‌های میدین بلوک D حوضه خلیج فارس.



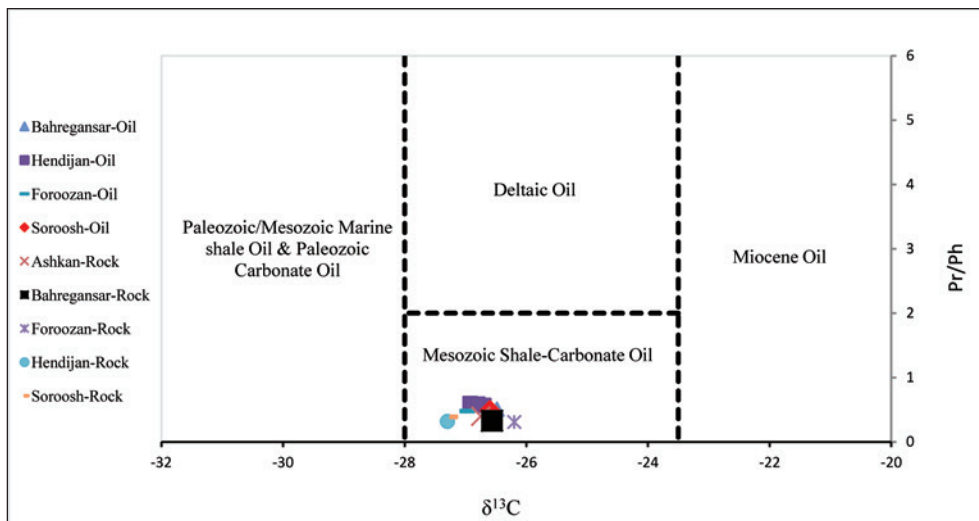
شکل ۱۰- نمودار نسبت پرستان به فیتان در برابر نسبت استران‌های منظم C_{29}/C_{27} نمونه‌های نفتی و سنگی تهیه شده از چاه‌های میدین بلوک D حوضه خلیج فارس.

شکل ۹- نمودار مثلثی استران‌های منظم ($m/z=217$) پیشنهاد شده به وسیله Huang & Meinschein (1979) مورد استفاده برای نمونه‌های نفتی (شکل بالا) و سنگی (شکل پایین) تهیه شده از چاه‌های میدین بلوک D حوضه خلیج فارس.

شکل ۱۱- نمودار سافر حاصل از تغییرات مقادیر ایزوتوپ کربن ترکیبات اشباع ($\delta^{13}C_{sat}$) در برابر مقادیر ایزوتوپ کربن ترکیبات آروماتیکی ($\delta^{13}C_{aro}$) برگرفته از Sofer (1984) و Chung et al. (1992) در نمونه‌های خرده سنگی مورد مطالعه که تداعی کننده نوع محیط رسوبی برای سنگ منشأ خود هستند؛ (برگرفته از Sofer (1984)).



شکل ۱۲- نمودار C_{28}/C_{29} در برابر C_{28} برای مجموعه نمونه‌های تهیه شده از چاه‌های میدین بلوک D حوضه خلیج فارس.



شکل ۱۳- نمودار تغییرات ایزوتوپ کربن ۱۳ نفت خام ($\delta^{13}C$) در برابر نسبت پرستان به فیتان (Pr/Ph) برگرفته از Chung et al. (1992) برای شناسایی سن و ترکیب سنگی منشأ در نمونه‌های نفتی و سنگی تهیه شده از چاه‌های میدین بلوک D حوضه خلیج فارس.

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه پیرولیز راک-اول نمونه‌های سازند سروک در بلوک D حوضه خلیج فارس.

Field	Well	Depth	TOC	T _{max}	S ₁	S ₂	S ₃	PI	HI	OI
Binak marin	BK-13	3256	0.41	437	0.47	1.2	0.49	0.24	268	120
Binak marin	BK-13	3304	0.25	438	0.71	0.74	0.76	0.6	296	204
Binak marin	BK-13	3409	0.31	436	0.41	0.7	0.31	0.37	226	100
Binak marin	BK-13	3471	0.41	454	0.27	0.41	1.02	0.4	100	322
Binak marin	BK-13	3539	0.17	441	0.26	0.2	0.63	0.49	118	271
Binak marin	BK-13	3619	0.31	440	0.29	0.66	0.28	0.31	213	90
Binak marin	BK-13	3695	0.1	451	0.19	0.4	0.32	0.5	90	220
Binak marin	BK-13	3790	0.24	440	0.81	0.4	0.27	0.69	167	112
Dorood	D-1	2551.18	0.87	436	2.58	3.96	1.33	0.39	455	153
Dorood	D-1	2615.18	1.11	430	3.89	3.2	1.17	0.45	288	106
Dorood	D-1	2657.86	1.35	424	4.31	3.37	1.28	0.51	250	95
Dorood	D-1	2694.43	0.81	436	2.8	3.44	1.18	0.34	425	146
Dorood	D-1	2740.15	1.38	424	5.45	3.45	1.07	0.52	277	80
Dorood	D-1	2755.39	1.3	430	3.01	2.6	0.97	0.5	200	85
Mahshahr	MR-1	3238	0.35	430	0.43	0.47	1.01	0.48	134	291
Mahshahr	MR-1	3348	0.12	415	0.3	0.06	0.83	0.97	45	602
Mahshahr	MR-1	3450	0.21	431	0.48	0.27	0.98	0.64	129	471
Mahshahr	MR-1	3578	0.38	430	0.41	1.03	0.69	0.28	271	184
Mahshahr	MR-1	3674	0.15	425	0.26	0.07	0.67	0.79	47	447
Mahshahr	MR-1	3778	0.13	426	0.27	0.1	0.72	0.72	46	454
Mahshahr	MR-1	3852	0.22	428	0.55	0.22	0.75	0.71	100	341
Foroozan	F9-A0	1928	1.25	428	0.78	1.66	2.15	0.32	133	172
Foroozan	F9-A0	1908	1.25	431	0.62	1.67	1.93	0.27	134	154
Foroozan	F9-A0	1886	1.08	432	0.89	1.75	1.68	0.34	162	137
Foroozan	F9-A0	1900	1.02	426	0.9	1.73	2.23	0.34	170	190
Soroosh	SR-19	2520	0.45	432	0.21	0.64	0.85	0.25	143	189
Soroosh	SR-19	2510	0.5	433	0.28	0.7	0.87	0.2	138	171
Soroosh	SR-19	2500	0.5	435	0.22	0.36	0.58	0.25	68	110
Soroosh	SR-19	2490	0.97	435	0.26	1.11	1.21	0.12	113	123
Soroosh	SR-19	2480	0.42	432	0.22	0.47	0.66	0.2	109	154
Soroosh	SR-19	2450	1.34	426	0.35	5.42	1.16	0.1	404	86
Soroosh	SR-19	2420	2.86	421	0.96	6.16	1.73	0.1	366	71
Soroosh	SR-19	2380	0.38	435	0.26	0.52	0.73	0.24	138	193
Soroosh	SR-19	2260	0.44	432	0.24	0.32	1.11	0.3	72	151

جدول ۲- محاسبه نسبت‌های مختلف به دست آمده از هیدروکربون‌های اشباع سازند سروک توسط GC؛ همچنین نتایج حاصل از روش GC-MS نمونه‌های استرانی با جرم مولکولی پایه $m/z=217$ و نمونه‌های هوپان با جرم مولکولی پایه $m/z=191$ مربوط به نمونه‌های نفتی و سنگی در چاه‌های میداین بلوک D خلیج فارس.

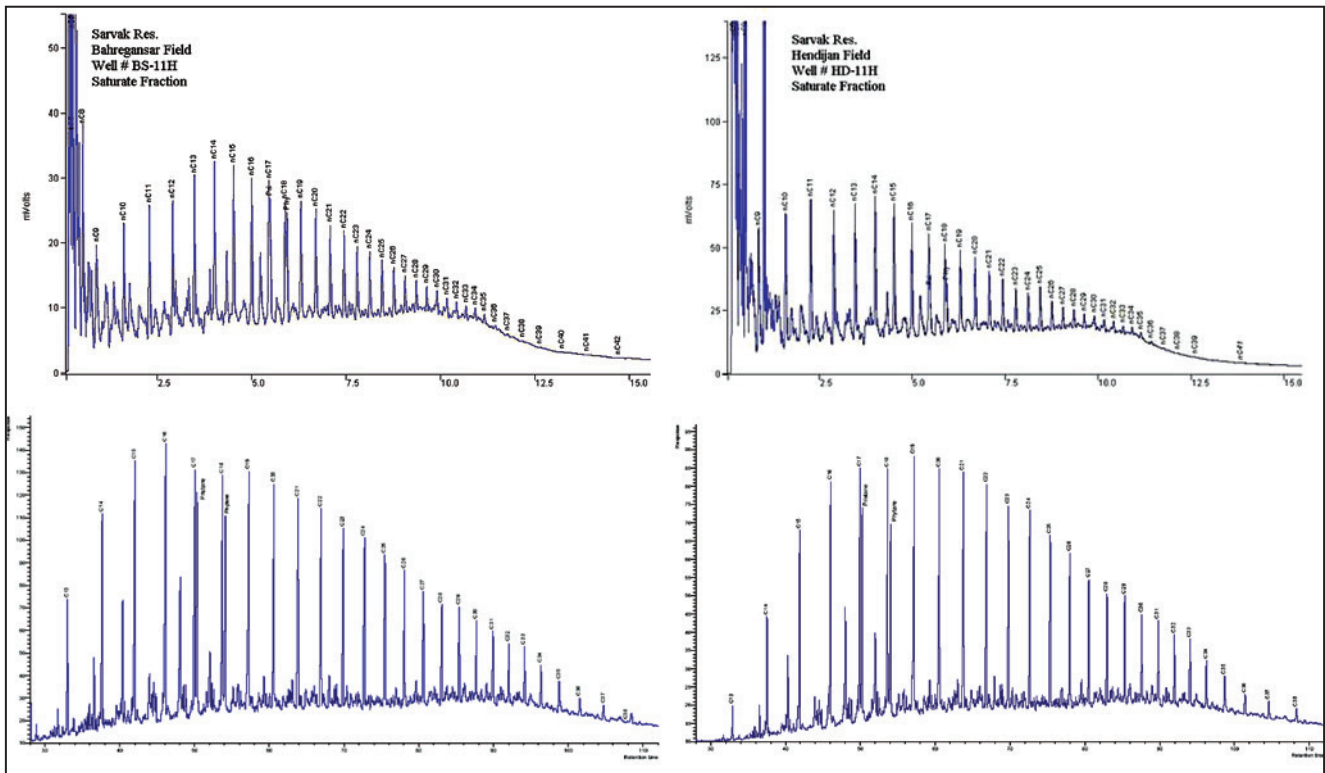
نمونه	Field	Pri/Phy	Pri/C17	Phy/C18	Ts/(Ts+Tm)	CPI	C ₃₄ /C ₃₅	C ₂₉ /C ₃₀	S/S+R	29BB/29BB+29aa	%C ₂₉	%C ₂₈	%C ₂₇	C29/C27	28/29
نفتی	Bahregansar	0.52	0.69	0.7	0.29	0.9	0.68	0.85	0.47	0.48	30.9	26.2	42.9	0.72	0.8
		0.49	0.69	0.69	0.3	1	0.69	0.76	0.45	0.48	35.9	28.8	35.3	1.0	0.8
	Foroozan	0.51	0.6	0.64	0.31	0.97	0.98	0.78	0.48	0.5	33	31	35	0.9	0.9
		0.4	0.61	0.62	0.33	0.92	0.73	0.8	0.49	0.5	35.2	30.7	34.1	1.0	0.8
	Hendijan	0.57	0.68	0.69	0.32	0.86	0.87	0.85	0.49	0.5	31.7	29.9	38.4	0.8	0.9
		0.65	0.65	0.7	0.31	0.89	0.85	0.86	0.48	0.49	33.1	29.9	33.8	0.97	0.9
		0.4	0.64	0.71	0.34	0.88	0.95	0.84	0.49	0.5	35.2	29.6	35.1	1.0	0.8
Soroosh	0.16	0.71	72.	0.27	1	0.88	0.76	0.48	0.46	33.2	26.5	40.3	0.8	0.7	
سنگی	Ashkan	0.23	0.63	0.71	0.29	0.91	0.7	0.8	0.48	0.48	34	27	32	1.0	0.79
	Bahregansar	0.2	0.7	0.72	0.31	0.94	0.69	0.7	0.45	0.48	37.1	25	37.9	0.9	0.67
	Foroozan	0.14	0.72	0.69	0.3	0.92	0.65	0.81	0.5	0.5	37.3	26.3	36.4	1.0	0.7
	Hendijan	0.11	0.76	0.77	0.29	0.98	0.54	0.71	0.5	0.47	38	25.7	34.3	1.1	0.67
	Soroosh	0.2	0.73	0.7	0.3	1	0.5	0.83	0.5	0.5	33	28	33	1	0.84

جدول ۳- درصد مواد آلی استخراجی و ترکیب‌های شیمیایی مختلف حاصل از مواد آلی تخلیصی نمونه‌های نفتی و سنگی تهیه شده از سازند سروک در بلوک D حوضه خلیج فارس.

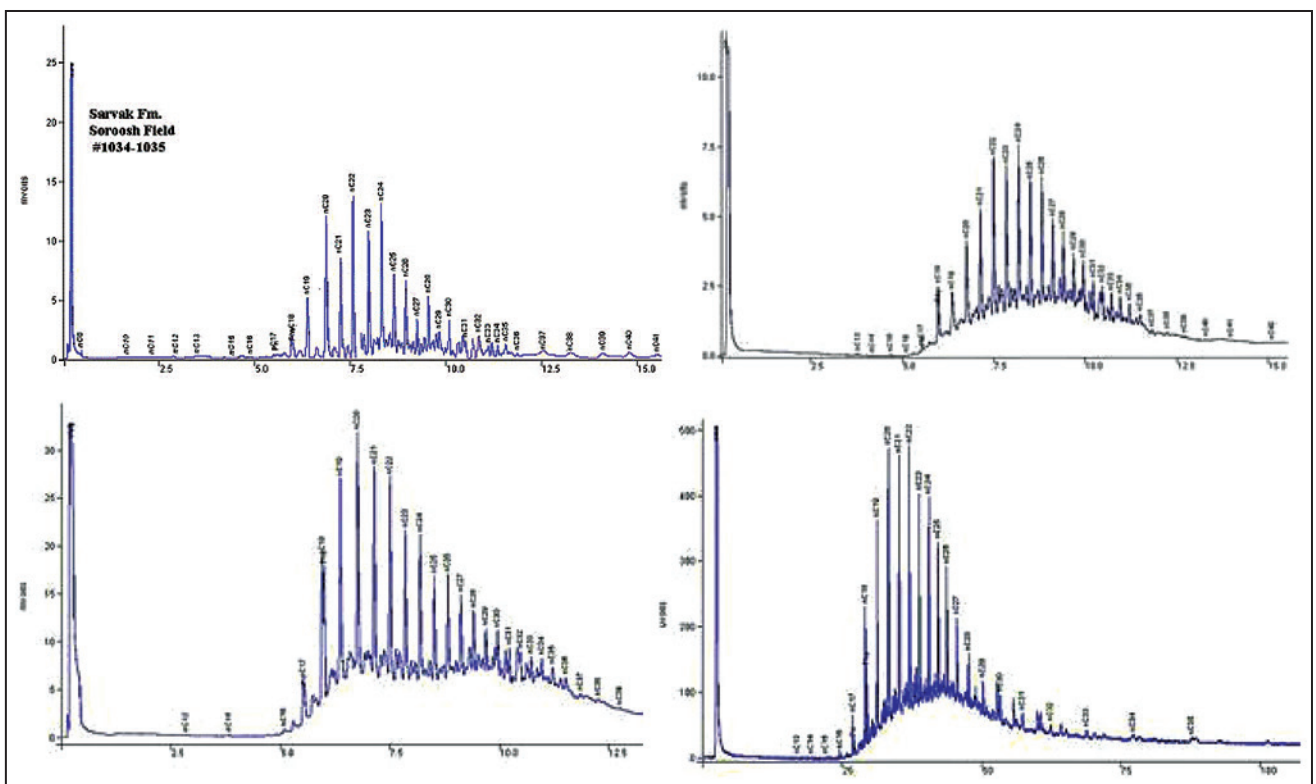
Field	نمونه‌های نفتی					نمونه‌های سنگی (تهیه شده از خرده‌سنگ‌ها و مغزه‌های حفاری)				
	Column chromatography (SARA)					Column chromatography (SARA)				
	Saturate%	Aromatic%	Resin%	Asphaltene%	Polar %	Saturate%	Aromatic%	Resin%	Asphaltene%	Polar %
Bahregansar	34.39	36.04	14.8	14.76	29.56	42.54	23.5	27.96	5.97	33.93
	29.9	36.1	15.9	9.2	25.1					
Hendijan	34.15	43.32	16.22	6.3	22.52	34.7	18.3	47	0.51	47.5
	39.4	35.2	4.9	20.2	25.1					
	41	41	9	9	10					
	38.1	35.1	13.2	2.66	15.86					
Soroosh	43.56	42.45	12.16	1.62	13.78	25.3	28.8	45.9	0.82	46.7
	40.47	39.95	17.37	2.21	19.58					
Foroozan	43.42	31.11	20.85	4.52	25.37	32	25	41	2	43

جدول ۴- مقادیر ایزوتوپی نمونه‌های نفتی تهیه شده از بلوک D حوضه خلیج فارس (به صورت بخش در هزار؛ %).

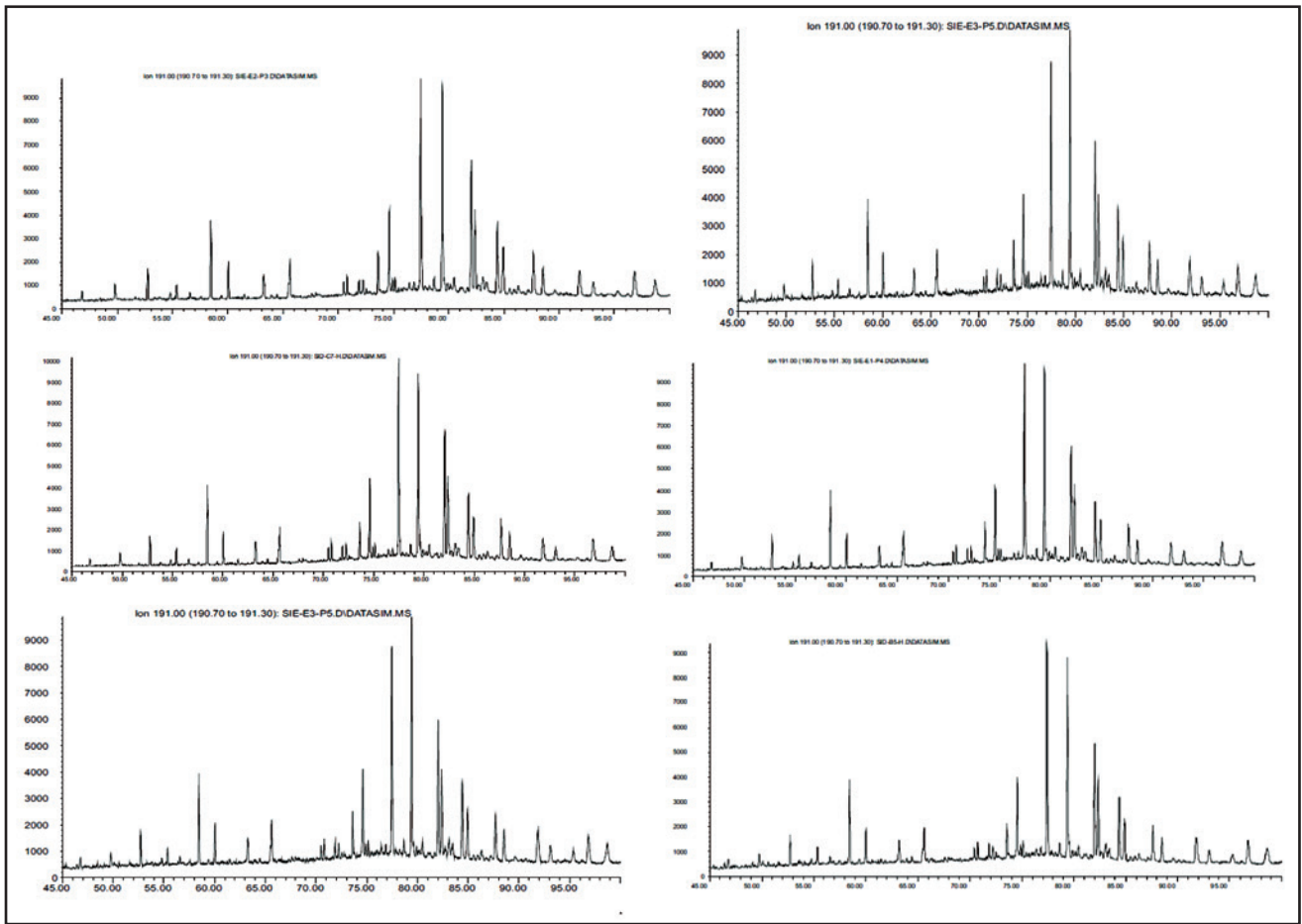
نمونه	میدان	Sat	Aro	Res	Asph	Av
نفتی	Bahregansar	-27.14	-26.5	-26.1	-26.2	-26.4
	Hendijan	-27.4	-26.7	-26.5	-26.2	-26.7
	Hendijan	-27.9	-27	-26.4	-26.4	-26.9
	Hendijan	-27.9	-27	-26.2	-26.4	-26.8
	Hendijan	-27.9	-26.3	-26.15	-26.2	-26.8
	Foroozan	-26.9	-27.1	-26.9	-27	-26.9
	Soroosh	-27.6	-26.5	-26.2	-26.1	-26.6
سنگی (تهیه شده از خرده سنگ‌ها و مغزه‌های حفاری)	Ashkan	-26.9	-26.5	-26.7	-26.9	-26.7
	Bahregansar	-26.9	-26.7		-26.1	-26.5
	Foroozan	-27	-27.1		-26.6	-26.2
	Hendijan	-27.1	-27.3		-27.3	-27.3
	Soroosh	-27.2	-26.9	-27.6	-27.3	-27.2



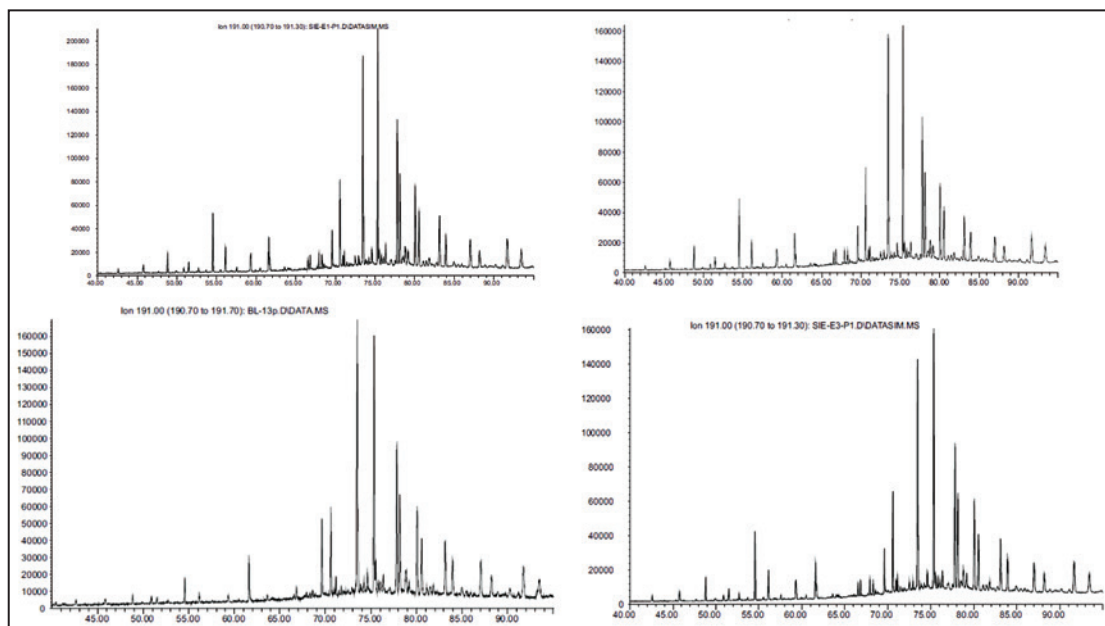
الف- ۱) چگونگی توزیع برخی از ترکیب‌های اشباع حاصل از تجزیه کروماتوگرافی گازی برای نمونه‌های نفتی.



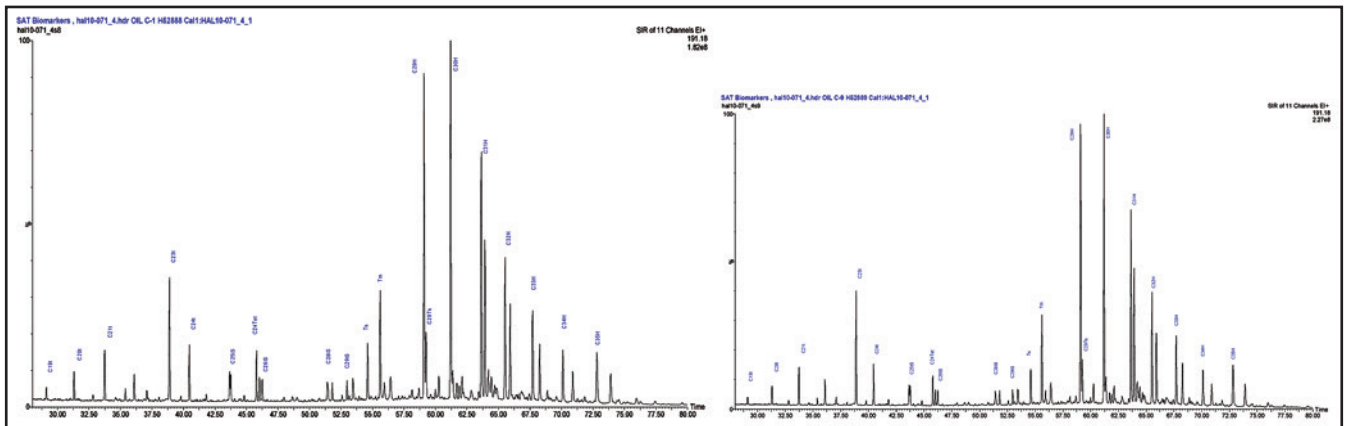
الف- ۲) چگونگی توزیع برخی از ترکیب‌های اشباع حاصل از تجزیه کروماتوگرافی گازی برای نمونه‌های سنگی.



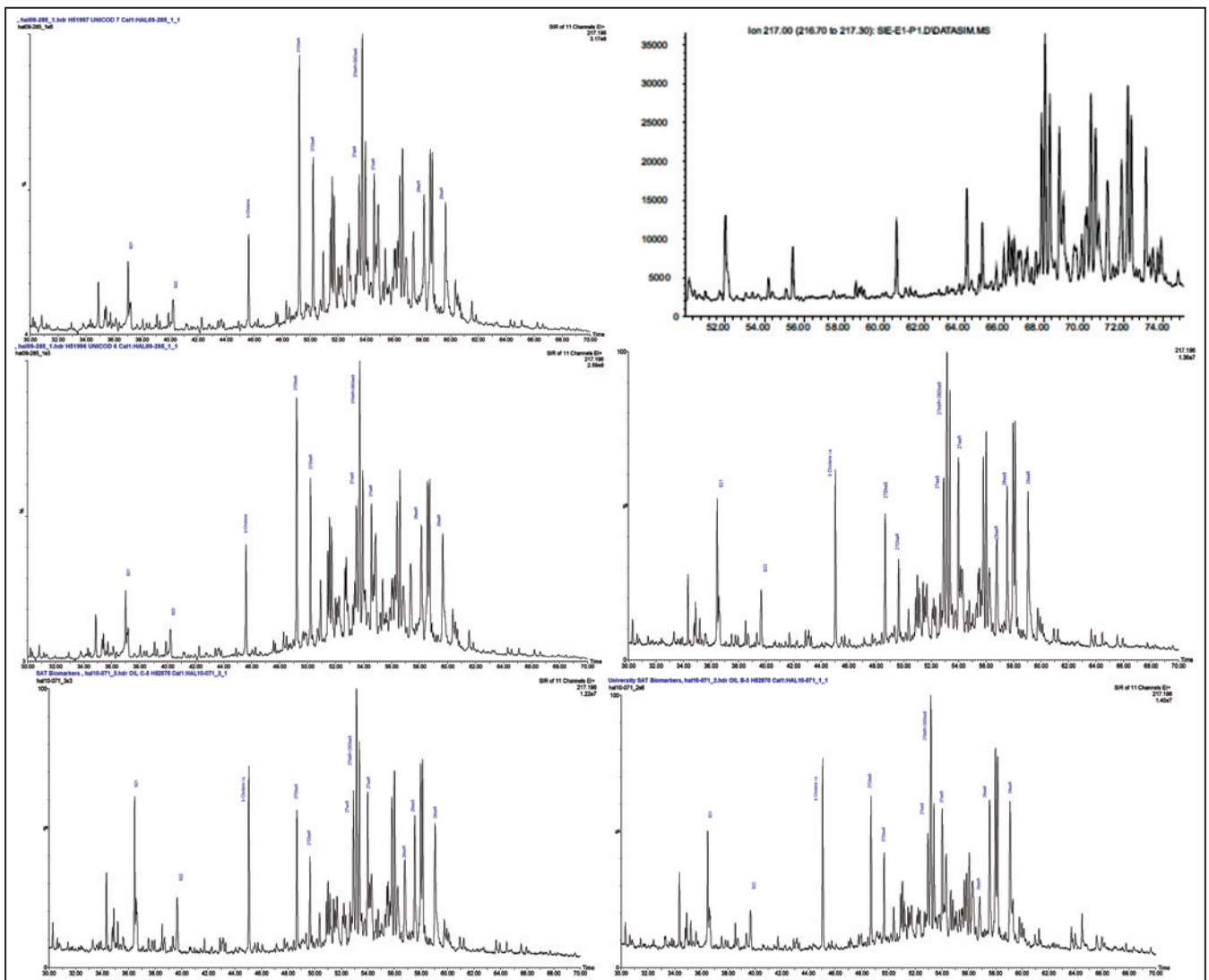
ب-۱) برخی از طیف‌های حاصل از روش GC-MS برای بیومارکرهای هوپان‌ها (هوپانوگرام $m/z=191$) در نمونه‌های نفتی.



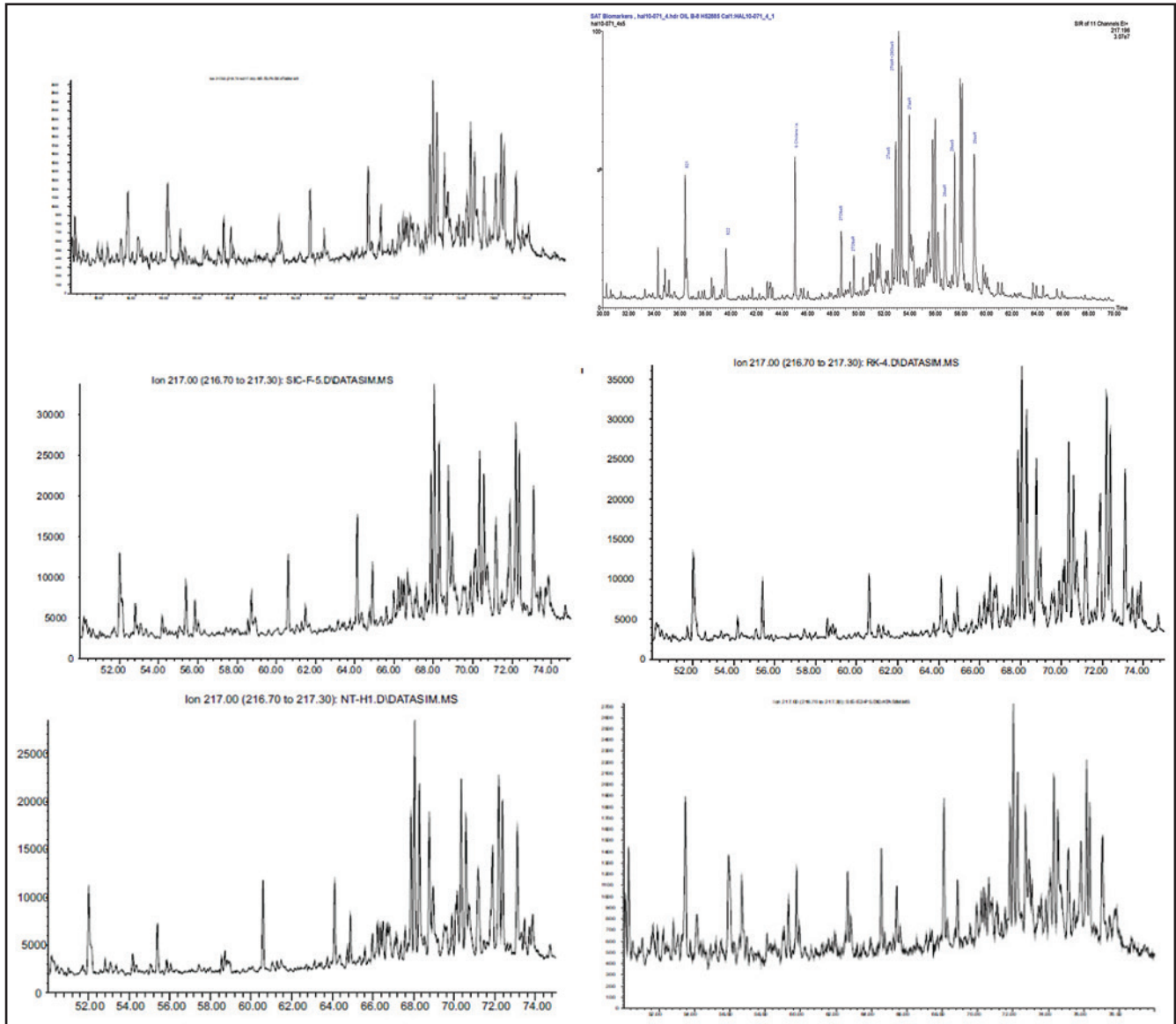
ب-۲) برخی از طیف‌های حاصل از روش GC-MS برای بیومارکرهای هوپان‌ها (هوپانوگرام $m/z=191$) در نمونه‌های نفتی.



ادامه شکل ب-۲) برخی از طیف‌های حاصل از روش GC-MS برای بیومارکرای هوبان‌ها (هوبانو گرام $m/z=191$) در نمونه‌های نفتی.



ج-۱) برخی از طیف‌های حاصل از روش GC-MS برای بیومارکرای استران‌ها (استرانو گرام $m/z=217$) در نمونه‌های نفتی.



ج-۲) برخی از طیف‌های حاصل از روش GC-MS برای بیومارکرهای استران‌ها (استرانوگرام $m/z=217$) در نمونه‌های سنگی.

کتابنگاری

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۵- زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- اشکان، ع.، م.، ۱۳۸۳- اصول مطالعات ژئوشیمیایی سنگ منشأ هیدروکربنی و نفت‌ها با نگرش ویژه به حوضه رسوبی زاگرس، شرکت ملی نفت ایران، ۳۵۵ ص.
- ربانی، ا. ر.، ۱۳۹۱- زمین شناسی و ژئوشیمی نفت خلیج فارس. پژوهشگاه صنعت نفت ایران، ۱۳۹۰- گزارشات داخلی.
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۲- زمین شناسی ایران چینه‌شناسی زاگرس، سازمان زمین شناسی کشور، ۵۳۶ ص.

References

- Bordenave, M. L. & Burwood, R., 1990- Source rock distribution and maturation in the Zagros orogenic belt, provenance of the Asmari and Sarvak reservoirs oil accumulations. *Organic Geochemistry* 16, 369–387.
- Bordenave, M. L. & Hegre, J. A., 2005- The influence of tectonics on the entrapment of oil in the Dezful embayment, Zagros foldbelt, Iran. *Journal of Petroleum Geology*, Vol. 28(4), pp 339 – 368.
- Bordenave, M. L. & Hegre, J. A., 2010- Current distribution of oil and gas fields in the Zagros Fold Belt of Iran and contiguous offshore as the result of the petroleum systems. *Geological Society, London, Special Publications*; v. 330; p. 291-353.
- Bordenave, M. L. & Huc, A. Y., 1995- The Cretaceous source rocks in the Zagros foothills of Iran: an example of a large size intra-cratonic basin. *Revue de l'Institut Français du Pétrole* 50, 527–753.
- Bordenave, M. L. 2002- The Middle Cretaceous to Early Miocene Petroleum System in the Zagros Domain of Iran, and its prospect evaluation. Presented at the AAPG Convention, Houston, 10–13 March 2002 (extended abstract).
- Chung, H. M., Rooney, M. A., Toon, M. B. & Claypool, G. E., 1992- Carbon isotope composition of marine crude oils. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 76, pp. 1000-1007.
- Connan, J. & Cassou, A. M., 1980- Properties of gases and petroleum liquids derived from terrestrial kerogen at various maturation levels. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 44, pp. 1-23.
- Espitalie, J., Madec, M. & Tissot, B., 1980- Role of mineral matrix in kerogen pyrolysis: Influence in petroleum generation and migration. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 64, 59-66.
- Ghasemi-Nejad, E., Head, M. J. & Naderi, M., 2009- Palynology and petroleum potential of the Kazhdumi Formation (Cretaceous: Albian–Cenomanian) in the South Pars field, northern Persian Gulf, *Marine and Petroleum Geology* 26, 805–816.
- Ghazban, F., 2007- *Petroleum geology of the Persian Gulf*. Tehran University Press, 707p.
- Huang, W. Y. & Meinschein, W. G., 1979- Sterols as ecological indicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 43, pp.739-745.
- Hunt, J. M., 1996- *Petroleum geochemistry and geology*: San Fransisco, W. H. Freeman, 473 p.
- Kamali, M. R. & Rezaee, M. R., 2003- Burial history reconstruction and thermal modelling at Kuh-e Mond, SW Iran. *Journal of Petroleum Geology*, vol.26 (4), pp 451-464 451.
- Kamali, M. R. & Rezaee, M. R., 2003- Burial history reconstruction and thermal modeling at Kuh-e Mond, SW Iran, *J. Pet. Geol.*, Vol. 26, No. 4, pp. 451-464.
- Peters, K. E. & Moldowan, J. M., 1993 (eds) - *The biomarker guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 363p.
- Rabbani, A. R. & Bagheri Tirtashi, R., 2010- Hydrocarbon source rock evaluation of the super giant Ahwaz oilfield, SW Iran. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 4, 673–686.
- Rabbani, A. R. & Kamali, M. R., 2005- source rock evaluation and petroleum geochemistry, offshore SW Iran, *Journal of Petroleum Geology*, 28(4), pp 413 – 428.
- Rabbani, A. R., 2008- Geochemistry of crude oil samples from the Iranian sector of the Persian Gulf. *Journal of Petroleum Geology*, Vol. 31(3), pp 303-316.
- Rabbani, A. R., 2013- *Petroleum Geology and Geochemistry of the Persian Gulf*. Tafresh University.
- Rabbani, A. R., Kotarba, M. J, Baniasad, A. R, Hosseiny, E. & Wieclaw, D., 2014- Geochemical characteristics and genetic type of the crude oils from the iranian sector of the Persian Gulf, pp 29-43.
- Sofer, Z., 1984- Stable carbon isotope composition of crude oils: Application to source depositional environments and petroleum alteration. *AAPG Bulletin*, 68, 31-49.
- Tissot, B. P. & Welte, D. H., 1984- *Petroleum Formation and Occurrence: (2 nd ed.)* Heidelberg, Springer Verlag, 538 p.