

DOI: 10.30479/jmre.2019.9726.1203

برآورد پتانسیل هیدروکربن‌زایی به وسیله پارامترهای سینتیکی و آنالیز پیرولیز راک-اول ۶ سازند سرچاهان و میان لایه‌های زغالی سازندهای فراقون در ناحیه فارس ساحلی و خلیج فارس

محمدحسین صابری^۱، یونس جلیلیان^۲، احمدرضا ربانی^۳

۱- استادیار، پردیس علوم و فناوری های نوین، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه سمنان، سمنان
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، پردیس علوم و فناوری های نوین، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه سمنان، سمنان
۳- استاد، دانشکده نفت، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران

(دریافت ۱۳۹۷/۰۹/۱۷، پذیرش ۱۳۹۸/۰۱/۲۵)

چکیده

مطالعات سنگ منشا یکی از مسایل کلیدی در فعالیتهای اکتشاف نفت است. یکی از روش‌های استاندارد برآورد مقدار هیدروکربن تولیدی، تعیین پارامترهای سینتیکی و آنالیز پیرولیز راک-اول از نمونه‌های سنگ منشا است. در این مقاله با استفاده از آنالیز دستگاه راک-اول ۶، به بررسی توان هیدروکربن‌زایی و بلوغ ماده آلی سازندهای سرچاهان و فراقون به دلیل وجود میان لایه‌های شیلی و زغالی در این سازندها در منطقه خلیج فارس و فارس ساحلی پرداخته می‌شود. نتایج آنالیز پیرولیز راک-اول نشان می‌دهد سازند سرچاهان در انتهای پنجره نفتی و سازند فراقون در ابتدای پنجره نفتی قرار دارند. سازند سرچاهان دارای کروژن نوع III، II، و سازند فراقون دارای کروژن نوع III است. با توجه به توزیع انرژی فعالسازی، سازند سرچاهان دارای کروژن نوع II و مقدار انرژی فعالسازی آن بین ۵۲-۴۸ کیلوکالری بر مول و سازند فراقون دارای کروژن نوع III و مقدار انرژی فعالسازی آن بین ۶۰-۴۰ کیلوکالری بر مول است. بر اساس روند پراکندگی نمونه‌های مورد مطالعه مشخص شد که سازند سرچاهان به سمت فارس ساحلی و سازند فراقون (میان لایه‌های زغالی این سازند) از جنوب ایران به سمت بخش مرکزی خلیج فارس از نظر وجود ماده آلی غنی‌تر شده است و میزان بلوغ افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی

پارامترهای سینتیکی، پیرولیز راک-اول، توان هیدروکربن‌زایی، سنگ منشا، سازند فراقون، سازند سرچاهان.

۱- مقدمه

سازند سرچاهان توان هیدروکربن‌زایی ندارد و سازند سیاهو توان هیدروکربن‌زایی کمی دارد.

میرشاهانی و همکاران در مطالعه‌ای پیرامون تعیین بلوغ سازند سرچاهان در محدوده برش کوه فراقون و کوه گهکم نشان دادند که نمونه‌های سازند سرچاهان در محدوده اواسط پنجره نفتی قرار دارد [۵].

واعظیان و همکاران در مقاله‌ای به بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ منشاهای میدان سلمان پرداختند [۶]. آن‌ها با استفاده از نتایج راک-اول و با توجه به T_{max} و TOC نمونه‌ها ثابت کردند که سازندهای کژدمی، دارایان و گدوان اهمیت کمتری به عنوان سنگ منشا پر پتانسیل در این میدان دارند و مقدار مواد آلی، بلوغ و پتانسیل هیدروکربنی در سازند زاگرس از عواملی بود که این سازند را به عنوان محتمل‌ترین سنگ منشا معرفی کرد. دبستانی و همکاران با استفاده از داده‌های آنالیز پیرولیز راک اول، سنگ منشاهای محتمل در ناحیه البرز مطالعه کرده‌اند [۷].

در مطالعه حاضر با توجه به اهمیت مطالعه سیستم هیدروکربنی پالئوزویک اقدام به تعیین پارامترهای سینتیکی، بلوغ ماده آلی و توان هیدروکربن‌زایی و مقدار هیدروکربن تولیدی سنگ منشاهای احتمالی (سازندهای سرچاهان و فراقون) پالئوزویک در ناحیه فارس ساحلی و خلیج فارس می‌شود. برای بررسی تولید هیدروکربن در رسوبات فوق ۲۶۶ نمونه چاهی و سطحی از سازندهای فراقون و سرچاهان انتخاب شده است و مورد آنالیز پیرولیز راک-اول ۶ و آنالیز سینتیکی برای تعیین ویژگی‌های ژئوشیمیایی قرار گرفته است. در نهایت با تلفیق نتایج آنالیز سینتیکی در کنار نتایج آنالیز پیرولیز راک-اول به بررسی دقیق‌تر سازند سرچاهان و فراقون پرداخته شده است که نشان می‌دهد علاوه بر سازند سرچاهان سازند فراقون نیز توان هیدروکربن‌زایی خوبی دارد و می‌تواند به عنوان یک سنگ منشا در این ناحیه عمل کند.

۲- زمین‌شناسی منطقه

نقشه‌های تکتونیکی دنیا، فلات ایران را به صورت یک صفحه کوچک مثلثی در نظر می‌گیرند که بین دو گسل تراستی، البرز در شمال و زاگرس در جنوب‌غربی قرار گرفته است که حوضه زاگرس از شمال‌غربی به جنوب دارای تقسیماتی ساختمانی زاگرس رورانده یا زاگرس مرتفع و زاگرس چین‌خورده است (شکل ۱). زاگرس چین‌خورده خود تقسیمات کوچکتری

تشخیص و ارزیابی سنگ منشا به ویژه در مراحل اولیه اکتشاف امری مهم است. این امر هنگامی مورد توجه قرار می‌گیرد که در یک منطقه به جای یک سنگ منشا چندین نوع از آن شناسایی شود. ژئوشیمی نفت با تعیین بسیاری از پارامترهای کنترل‌کننده تجمعات نفتی، کارایی اکتشاف را بالا می‌برد. این پارامترها شامل کیفیت سنگ منشا، غنای سنگ منشا، بلوغ حرارتی و زمان نسبی تولید، مهاجرت و تجمع برای تشکیل تله نفتی است. تقریباً ۳/۴ نفت و ۲/۳ گاز موجود در جهان کشف شده است [۱]. حوضه خلیج فارس با دارا بودن سنگ‌های منشا غنی و سازندهایی با خواص مخزنی مناسب، از غنی‌ترین منطقه نفتی جهان محسوب می‌شود به طوری که بیش از نیمی از ذخایر نفتی جهان (نزدیک به ۷۱۵ میلیارد بشکه، معادل ۵۷ درصد) به همراه حدود نیمی از ذخایر شناخته شده گاز طبیعی جهان (۴۶۲،۲ تریلیون فوت مکعب، معادل ۴۵ درصد) در میادین و مخازن این حوضه انباشته شده است [۲].

در چند دهه اخیر نهشته‌های پالئوزویک در صفحه عربی و خلیج فارس بسیار مورد توجه زمین‌شناسان نفتی قرار گرفته است زیرا بخش عمده نفت و گاز تشکیل شده در این ناحیه از سنگ‌های منشا دوران پالئوزویک بوده است. با بررسی‌ها و آنالیزهای انجام شده در کشورهای حاشیه خلیج فارس اعلام شده که روند پختگی این سنگ‌های منشا به طرف ایران باید روندی افزایشی داشته باشد اما به دلیل کمبود اطلاعات در بخش‌های جنوب و جنوب‌غرب ایران و حوضه خلیج فارس از پالئوزویک، این مساله با احتمال بیان شده است [۲].

در ایران مطالعه سیستم نفتی دوران پالئوزویک در مقایسه با سایر سیستم‌های نفتی کمتر مورد توجه قرار گرفته است و جز چند کار پراکنده در این مرود مطالعه جامعی انجام نشده است، از این جمله می‌توان به مطالعه صابری و همکاران در سال ۲۰۱۵ اشاره کرد که با بررسی پالئولاگ‌های مربوط به چاه‌های حفاری شده در رسوبات پالئوزویک نشان دادند که سازند سرچاهان به عنوان محتمل‌ترین سنگ منشا رسوبات دوران پالئوزویک مطرح می‌شود همچنین وجود یکسری میان لایه زغالی در سازند فراقون نیز دارای پتانسیل زایشی است [۳]. افشاری و همکاران در مقاله‌ای به بررسی توان گاززایی سازندهای فراقون و سرچاهان و سیاهو پرداخته‌اند [۴]. آن‌ها با استفاده از نتایج راک-اول به این نتیجه رسیدند که سازند فراقون در چاه کوه سیاه دارای توان هیدروکربن‌زایی است،

جدول ۲: میانگین نتایج آنالیز پیرولیز راک- اول خرده‌های حفاری سازند فراقون

OI	HI	TOC(%)	Tmax (°C)	S3 (mg/g)	S2 (mg/g)	S1 (mg/g)	عمق (متر)	میدان/چاه
۱۱۷٫۵	۱۹۶٫۳	۰٫۲۴	۳۷۰	۰٫۲۳	۰٫۴۳	۰٫۴۳	۲۷۲۵-۲۶۲۰	عسلویه غربی ۱/
۶۰	۲۸۹٫۱	۵٫۴۲	۴۳۶	۳٫۲۹	۱۵٫۶	۳۶٫۱۲	۳۷۱۶-۳۶۲۲	کوه سیاه/۱
۲۶۹٫۱	۱۳۷٫۳	۰٫۴۱	۳۳۱	۱٫۰۷	۰٫۵۷	۰٫۶۵	۳۸۱۷-۳۹۹۷	هما/۱
۲۲۹٫۷	۱۲۸٫۵	۳٫۹۳	۴۲۷	۷٫۷۰	۴٫۹۶	۰٫۶۲	۴۵۷۲-۴۴۸۲	سلمان/۱
۴۷۱٫۷	۷۶٫۱	۰٫۴۱	۳۴۱	۱٫۸۵	۰٫۳۶	۰٫۰۹	۳۶۴۵-۳۵۳۵	گلشن/۳
۲۹۶٫۸	۱۱۴٫۱	۰٫۲۱	۳۶۵	۰٫۵۵	۰٫۲۴	۰٫۴۵	۳۳۰۸-۳۲۰۰	زیره/۱
۴۱٫۵	۲۱٫۵	۰٫۶۵	۴۰۳	۰٫۲۷	۰٫۱۳	۱٫۰۲	۷۹۱-۷۷۲	دارنگ/۱
۲۳۴٫۱	۱۵۵٫۴	۰٫۳۷	۳۴۱	۰٫۷۸	۰٫۸۳	۰٫۷۲	۳۲۷۶-۳۱۶۶	نار/۲

شده است (سازند سرچاهان) [۱۵].

در دوره دونین به دلیل تاثیر فرآیندهای کوهزایی کالدونین، بخش اعظم ایران خارج از آب قرار داشته است، در انتهای این دوره با پیشروی دریا گروه سنگ‌های آواری به سن دونین پیشین (سازند زاکین) رسوب کرده است [۱۶]. در اوایل کربونیفر پسین با آغاز جنبش‌های زمین‌ساختی هم‌ارز هرسینین نواحی وسیعی از ایران از آب خارج و فاز فرسایشی در حدود چند میلیون سال بر حوضه زاگرس حاکم شد [۱۵]. با شروع پیشروی دریا در اوایل پرمین در این ناحیه رسوبات آواری (سازند فراقون) به همراه میان‌لایه‌های زغالی نهشته شده است، این شرایط تا اواسط تریاس ادامه داشته است و سبب ایجاد رسوبات کربناته در این ناحیه شده است (سازند دالان). سازند فراقون با دگرشیبی فرسایشی روی ماسه‌سنگ‌های سفید رنگ زاکین و به صورت هم‌شیب زیر آهک‌های دالان قرار گرفته است [۱۷]. برش الگوی سازند دالان با ۷۴۸ متر ضخامت در چاه شماره ۱ کوه سیاه است. این سازند دارای سه بخش کربنات پایینی، تبخیر نار و کربنات بالایی است [۱۴]. در دوره تریاس عمق دریا در حوضه زاگرس یکسان نبوده است به طوری که در زاگرس مرتفع بیشترین عمق و زاگرس چین‌خورده و خلیج‌فارس کمترین عمق (شرایط تبخیری) را داشته‌اند. رسوبات این دوره شامل سازند کنگان در زیر و سازند دشتک در بالا است که در زاگرس چین‌خورده و خلیج‌فارس رخنمون دارند و سازند خانه‌کت که در زاگرس مرتفع رخنمون دارد [۱۱]. برش الگوی سازند کنگان در چاه شماره ۱ کوه سیاه انتخاب شده است. در این سازند سه رخساره معین کربناته تمیز، رسی و شیلی قاعده‌ای و کربناتی تبخیری قابل تشخیص است [۱۲]، همچنین سازند دشتک به دو بخش رسمی شیل آغار و دولویت سفیدار تقسیم می‌شود (شکل ۲) [۱۲].

سه سیستم گسلی در حوضه خلیج‌فارس، تکتونیک زایشی نمک‌های پرکامبرین یک پدیده تکتونیک جوان است و هر دو سمت بالآمدگی قطر فارس را تحت تاثیر قرار داده است. حرکات تکتونیک میوسن میانی که شکل امروزی ناحیه مورد بحث را ایجاد کرده نیز سبب ایجاد گنبد‌های نمکی در حوضه خلیج‌فارس و بی‌نظمی‌هایی در ساختارهای تاقدیسی شده است [۱۱].

مقدار ذخایر کشف شده در خلیج‌فارس حدود ۹۵ بیلیون بشکه نفت، ۲۵ بیلیون بشکه میعانات گازی و ۷۶۰ تریلیون فوت مکعب گاز (محلول + کلاهدک + مستقل) بوده است. تاکنون تقریباً ۱۰۰ تاقدیس و شبه تاقدیس در این ناحیه شناخته شده است که از میان آن‌ها ۷۲ تاقدیس حفاری شده که ۲۲ تاقدیس حاوی نفت و گاز، ۱۱ تاقدیس حاوی گاز و ۳۹ تاقدیس خشک و یا حاوی هیدروکربن به میزان غیراقتصادی بوده است [۱۲]. سیستم نفتی پالئوزویک ایران به دلیل بیرون‌زدگی محدود و پراکنده و عدم برخورد با ردیف‌های پالئوزویک در چاه‌ها، توصیف چینه‌شناسی این دوران را با دشواری‌های زیادی توأم می‌سازد و آن را به یک سیستم پیچیده تبدیل کرده است. از ویژگی‌های این سیستم نفتی وجود سنگ‌های منشأ با بلوغ بالا و غنای بسیار زیاد مواد آلی، مهاجرت طولانی و افقی از اردویسین پسین تا سیلورین پیشین به همراه سنگ‌های مخزنی مناسب است [۱۳]. سرزمین ایران در دوران پالئوزویک به عنوان یک سکوی پلتفرمی با دریای گسترده و کم عمق مطرح است [۱۴]. در اردویسین دریاها پیشروی داشته‌اند ولی به دلیل فاز فرسایشی کالدونین و دوره یخچالی هرناستین این سنگ‌ها رخنمون کمی دارند، در اواخر اردویسین و اوایل سیلورین با توجه به ذوب یخچال‌ها و ایجاد جریان‌های بالارونده شرایط مناسب برای تولید ماده آلی فراهم

۳- مواد و روش‌ها

برای شناسایی سنگ منشاهای هیدروکربنی، تعیین مرحله بلوغ ماده آلی، تعیین زمان و گستردگی تولید نفت روش‌های علمی و تجربی متعددی وجود دارد، از روش‌های متداول می‌توان دستگاه «پیرولیز راک- اول» را نام برد که توسط اسپیتالیه^۲ در سال ۱۹۷۷ معرفی شد [۱۳] که با حرارت دادن ماده آلی در غیاب اکسیژن انجام می‌شود [۱۹، ۱۸]. آنالیز پیرولیز راک- اول بر روی حدود ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه‌های پودر شده و برای تعیین پتانسیل هیدروکربنی، بلوغ و نوع ماده آلی انجام شده است. در این روش نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه در دستگاه راک- اول آنالیز شده‌اند.

به کمک دستگاه راک اول می‌توان پیرامون توان هیدروکربن‌زایی نمونه‌های سنگی و تعیین کیفیت ماده آلی موجود در نمونه‌ها اظهار نظر کرد. همچنین با استفاده از نتایج پیرولیز نمونه‌ها می‌توان سطح بلوغ مواد آلی را تعیین کرد. بر اساس مطالعات ابرقانی و همکاران (۲۰۱۹) در صورتی که نمونه مورد بررسی دارای مجموع کربن آلی بیش از ۰/۲ درصد باشد، می‌توان با استفاده از مقدار T_{max} میزان انعکاس و تیرینایت معادل را محاسبه کرد. همچنین بین ضریب تبدیل کروژن و T_{max} یک ارتباط غیرخطی وجود دارد که تابعی از نوع کروژن و پراکندگی انرژی فعال‌سازی آن است [۲۰].

در این تحقیق از دو روش آنالیز پیرولیز راک- اول و آنالیز سینتیکی برای تعیین ویژگی‌های ژئوشیمیایی سازندهای فراقون و سرچاهان استفاده شده است. آنالیز نمونه‌ها به وسیله دستگاه راک- اول استاندارد ۶ و با متدهای پایه^۳ و اوپتکین^۴ مورد بررسی قرار گرفت. این دستگاه با ۵۰ میلی‌گرم از نمونه استاندارد IFP 160000 کالیبره شده است.

بر اساس مطالعات لی و همکاران نتایج آنالیز پیرولیز دستگاه راک- اول نسبت به آلودگی‌های ایجاد شده در حین حفاری و یا مهاجرت هیدروکربور از سنگ منشای بالغ بسیار حساس است. وجود این آلودگی‌ها سبب افزایش غیرعادی در میزان مجموع کربن آلی و پیک هیدروکربورهای آزاد شده و میزان T_{max} را تغییر می‌دهد، بنابراین قبل از استفاده از نتایج آنالیز راک اول نیاز است با استفاده از نمودار S_1 در برابر TOC نمونه‌های دارای هیدروکربور نابرجا را از ادامه مطالعه حذف کرد [۲۱].

روش کار دستگاه به این صورت است که ابتدا نمونه در داخل کوره پیرولیز در غیاب اکسیژن و در یک محیط اتمسفری نیتروژن

حرارت می‌بیند و گاز متصاعد شده از آن در آشکارساز شعله یونیزه^۵ ثبت می‌شود و سپس نمونه به کوره اکسیدان منتقل شده و با اکسیژن سوزانده می‌شود و گاز متصاعد شده از آن در آشکارساز مادون قرمز^۶ ثبت می‌شود [۲۲]. مقادیر ثبت شده در آشکارسازها با پیک‌های S معرفی می‌شود که به شرح زیر است: S_1 ، در دمای حدود ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است که معرف مقدار هیدروکربن موجود در نمونه است.

S_2 ، در دمای بین ۳۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد است که معرف پتانسیل باقی‌مانده سنگ است.

S_3 ، در دمای بین ۳۰۰ تا ۳۹۰ درجه سانتی‌گراد است که معرف مقدار دی‌اکسید کربن (با منشای آلی) موجود در نمونه است [۲۲].

در مرحله دوم دو پیک S_4 و S_5 با آشکارساز مادون قرمز به شرح زیر مشخص می‌شود:

S_4 معرف دی‌اکسید کربن با منشای آلی (محدوده ۳۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد)

S_5 معرف دی‌اکسید کربن با منشای معدنی (محدوده ۶۰۰ تا ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد) [۲۲].

۳-۱- روش آنالیز سینتیکی

سینتیک علمی است که به مطالعه سرعت فرآیندهای شیمیایی و عوامل موثر بر آن‌ها می‌پردازد. یکی از روش‌های استاندارد برآورد مقدار هیدروکربن تولیدی تعیین پارامترهای سینتیکی از نمونه‌های سنگ منشای است [۲۳]. این پارامترها می‌توانند در نرم‌افزارهای مدل‌سازی حوضه و برای پیش‌بینی مقدار هیدروکربن تولیدی به عنوان تابعی از زمان و دما استفاده شود. سرعت تولید هیدروکربن از کروژن‌ها به وسیله ساختار کروژن‌ها تعیین می‌شود که بر پارامترهای ناخالص سینتیک (انرژی فعال‌سازی و ضریب فرکانس) تاثیرگذار است [۲۵، ۲۴].

با توجه به متفاوت بودن منشای ورودی‌ها، محیط رسوبی و تکامل زمین‌شناسی، برای به دست آوردن مجموعه پارامترهای سینتیک مهم است که بتوان تاریخچه تولید هیدروکربن از کروژن را به طور دقیق برآورد کرد [۱۸]. پارامترهای سینتیکی تولید نفت به طور تجربی تعیین می‌شود و در تاریخچه تدفین- گرمایی به کار می‌رود تا زمان‌بندی و گستردگی تولید نفت یک سنگ منشای درون یک سیستم نفتی مشخص کند [۲۳].

به کار بردن پارامترهای سینتیکی تولید نفت در تاریخچه تدفین- گرمایی معمولاً با استفاده از معادله آرینوس (رابطه ۱)

Iran High Zagros and Fars			
Age (Ma)	Formation	Lithology	
208 Rhaetian	Kangan	[Lithology pattern]	Triassic
235 Norian			
247 Carnian			
Ladinian			
252 Olenekian	Dalan	[Lithology pattern]	Permian
270 Induan			
270 Tatarian	Faraghan	[Lithology pattern]	Carboniferous
290 Kazanian			
315 Artinskian	Hercynian Phase	[Lithology pattern]	Carboniferous
315 Sakmarian			
360 Asselian			
360 Visean			
395 Famennian	Zakeen	[Lithology pattern]	Devonian
410 Frasnian			
430 Givetian-eifelian	Acadian Hiatus	[Lithology pattern]	Silurian
440 Emsian			
440 Siegenian	Sarchahan	[Lithology pattern]	Ordovician
450 Geddinnian			
460 Priddolian	Dargaz	[Lithology pattern]	Ordovician
470 Ludlovian			
480 Wenlockian	Seyahou	[Lithology pattern]	Ordovician
500 Llandevian			
500 Arenigian	Zard Kuh	[Lithology pattern]	Cambrian
525 Tremadocian			
525 Upper	Ilebeyk	[Lithology pattern]	Cambrian
545 Middle	Mila	[Lithology pattern]	
545 Lower	Lalun	[Lithology pattern]	
	Zaigun	[Lithology pattern]	
	Barut	[Lithology pattern]	Precambrian
	Soltanieh Dlo.	[Lithology pattern]	
	Hormuz Salt	[Lithology pattern]	

Evaporite	Dolomite	Shale	Black Shale
Carbonate	Sandstone	Glacial deposits	Grey Shale

شکل ۲: ستون چین‌شناسی حوضه زاگرس در محدوده سنی مورد مطالعه [۱۳]



شکل ۳: محل برداشت نمونه‌ها از میادین مورد مطالعه و کوه فراقون

انجام می‌گیرد. مقادیر زمان و دما از روی تاریخچه تدفین- گرمایی تعیین می‌شود.

$$f(\varepsilon) = A_0 \exp\left[-\left(\frac{E_a}{RT}\right)^\beta\right] \quad (1)$$

که در آن:

E_a : انرژی فعالسازی

A_0 : فاکتور فرکانس (به صورت تجربی برای ماده آلی

درون سنگ منشا تعیین می‌شود) است.

انرژی فعالسازی حداقل مقدار انرژی است و متناسب است با انرژی پیوندی که یک ترکیب قبل از آن که به محصول تبدیل بشود نیاز دارد.

فاکتور فرکانس یک کمیت فیزیکی است و به فرکانس برخورد مربوط می‌شود. هرچه انرژی فعالسازی بیشتر باشد، انرژی مورد نیاز برای تبدیل شدن این ترکیب به محصول نهایی نیز بیشتر می‌شود و دمای این فرآیند هم بیشتر می‌شود در نتیجه هرچه ذرات سریعتر حرکت کنند، فاکتور فرکانس نیز بیشتر می‌شود [۲۴]. بر اساس مدل سینتیکی ارایه شده توسط اسپیتالیه و تیسوت، توزیع پارامترهای سینتیکی باریک با کروژن نوع I، پارامترهای سینتیکی پهن با کروژن نوع II و توزیع پارامترهای سینتیکی کوچک و نامتقارن با کروژن نوع III در ارتباط است [۲۳]. بر اساس مطالعات جن و همکاران و لیو و همکاران، نمودار پراکندگی انرژی فعالسازی کروژن نوع یک حداکثر دارای دو آهنگ و نمودار پراکندگی کروژن نوع دو بیش از دو آهنگ و به صورت تک زنگوله‌ای و کروژن نوع سه دارای پراکندگی گسترده به صورت دو زنگوله‌ای است [۲۶، ۲۷].

۳-۲- نتایج آنالیز پیرولیز راک- اول

در این مطالعه از خرده‌های حفاری سازند سرچاهان (اردوسین، سیلورین) و فراقون (پرمین) در میدان نفتی سلمان و میدان‌های گازی زیره، عسلویه، گلشن، نار، هما و میادین دارنگ و کوه سیاه، و همچنین از نمونه‌های سطحی این دو سازند در محل رخنمون آن‌ها در کوه فراقون نیز استفاده شده است. در مجموع ۲۹۴ نمونه مورد آنالیز پیرولیز راک- اول و ۶ یا ۷ نمونه مورد آنالیز سینتیکی قرار گرفته است. در شکل ۳ و جدول ۱ محل و جزییات برداشت نمونه‌ها و در جدول‌های ۲ تا ۴ میانگین نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها به تفکیک سازندها آمده است. برای اطمینان از صحت نتایج در این مطالعه مطابق استاندارد به ازای هر ۲۰ نمونه یک نمونه IFP 160000 مورد آنالیز قرار گرفت و نتایج پس از تایید مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۳: میانگین نتایج آنالیز پیرولیز راک- اول خرده‌های حفاری سازند سرچاهان

میدان/چاه	عمق (متر)	S1 (mg/g)	S2 (mg/g)	S3 (mg/g)	Tmax (°C)	TOC(%)	HI	OI
کوه سیاه/۱	۳۶۲۲-۳۷۱۶	۳۴٫۵	۱۱٫۸	۲٫۸	۴۳۳	۴٫۸	۲۴۷٫۵	۵۹٫۲
گلشن/۳	۳۵۳۵-۳۶۴۵	۰٫۲	۰٫۲	۱٫۶	۳۰۹٫۱	۰٫۲	۸۳٫۱	۶۸۶٫۸
زیره/۱	۳۲۰۰-۳۳۰۸	۰٫۵	۰٫۴	۰٫۸	۴۲۲	۰٫۲	۱۵۱	۲۶۲

جدول ۴: میانگین نتایج آنالیز پیرولیز راک- اول نمونه‌های سطحی سازند فراقون و سرچاهان در کوه فراقون

میدان/چاه	S1 (mg/g)	S2 (mg/g)	S3 (mg/g)	Tmax (°C)	TOC(%)	HI	OI
فراقون	۰٫۰۳	۰٫۴۹	۰٫۴۰	۴۴۱	۰٫۷۲	۶۹٫۷	۵۶٫۸
قسمت فوقانی سرچاهان	۰٫۱۷	۱٫۲۹	۰٫۳۷	۴۳۱	۱٫۲۷	۳۹٫۹	۱۳۲٫۸
قسمت تحتانی سرچاهان	۰٫۴۷	۳٫۸۱	۰٫۱۶	۴۵۹	۵٫۲۷	۷۲٫۲	۴٫۱۳

را نشان می‌دهد.

- دمای بیشینه پایین^۹ که نمونه هنوز نابالغ باشد که به صورت مصنوعی با استفاده از دستگاه به بلوغ برسد.
- پیک S₂ بالا باشد به دلیل این که نمونه پتانسیل تولید هیدروکربن را دارد.
- اندیس اکسیژن^{۱۰} نمونه پایین و نمونه اکسید نشده باشد.
اطلاعات تکمیلی از آنالیز سینتیکی این نمونه‌ها در جدول ۵ ارائه شده است.

۴- بررسی نتایج حاصل از آنالیز پیرولیز راک- اول

برای تعیین نوع ماده آلی از نمودار ون کرولن استفاده می‌شود. به این ترتیب ابتدا نمونه‌ها از نظر برج‌ها بودن هیدروکربن و غنی بودن ماده آلی آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس با حذف نمونه‌های نابرجا و فقیر از ماده آلی به بررسی توان هیدروکربن‌زایی سازندهای سرچاهان و فراقون پرداخته می‌شود. نمودار S₁ در مقابل TOC برای تشخیص هیدروکربن‌های نابرجا (مهاجرت کرده) از هیدروکربن‌های برج‌ها (غیرمهاجر) است (شکل ۴). نمونه‌های سازند سرچاهان در چاه کوه سیاه و برخی از نمونه‌های چاه‌های زیره و گلشن دارای هیدروکربن نابرجا (مهاجرت یافته) است ولی دیگر نمونه‌های چاهی و نمونه‌های سطحی دارای هیدروکربن برج‌ها است. نمونه‌های سازند فراقون در چاه‌های عسلویه- غربی، کوه سیاه و هما دارای هیدروکربن نابرجا (مهاجرت یافته) و در دیگر نمونه‌ها دارای هیدروکربن برج‌ها است. نمونه‌های دارای هیدروکربن‌های نابرجا به علت آلودگی از ادامه مطالعه حذف می‌شود و بررسی‌های آتی صرفاً بر روی نمونه‌های فاقد آلودگی انجام می‌شود.

در این مطالعه از نرم‌افزار راکینت^{۱۱} برای تفسیر داده‌های خام به منظور استفاده در نرم‌افزار اپتکین استفاده شده است، اپتکین یک برنامه بهینه‌سازی بر اساس مدل سینتیکی است که مقدار هیدروکربن تولیدی را با کریجینگ اولیه از کروژن، با افزایش دما در طول زمان پیش‌بینی می‌کند. هدف از بهینه‌سازی تعیین بهترین مقدار برای توزیع انرژی فعال‌سازی است که بر اساس نتایج حاصل از چندین پیرولیز راک- اول بر روی نمونه‌های سنگ منشا بالغ یا نابالغ انجام می‌گیرد. کروژن با ثابت آرینوس (فاکتور فرکانس) و توزیع انرژی فعال‌سازی مشخص می‌شود، این توزیع به طور مستقیم با ترکیبات شیمیایی کروژن ارتباط دارد [۲۵].

در این پژوهش با استفاده از دستگاه راک- اول ۶ حدود ۱۰۰ میلی‌گرم نمونه‌های سنگ منشا دو سازند سرچاهان و فراقون در سه دمای ۵، ۱۵ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه مورد بررسی قرار داده شد، از روش بهینه‌سازی به عنوان یک راه حل منحصر به فرد برای تعیین پارامترهای سینتیکی (انرژی فعال‌سازی و فاکتور فرکانس) استفاده شد.

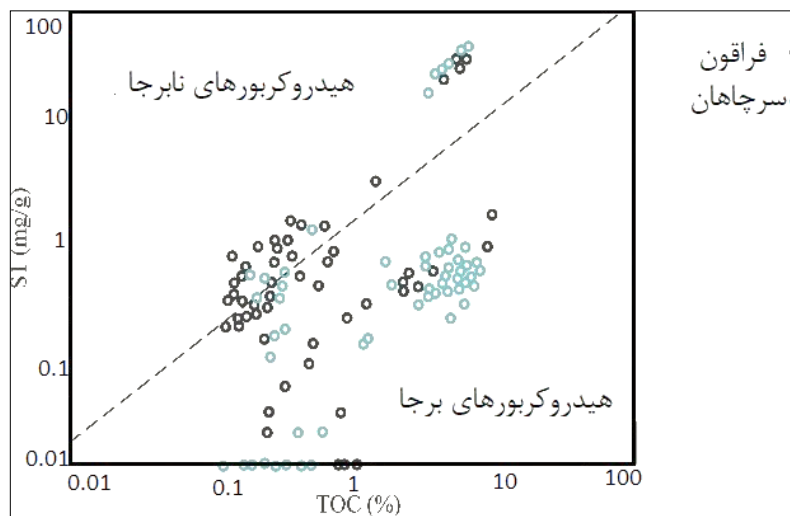
در این تحقیق ۲ نمونه از نمونه‌های سطحی به سن اردویسین و ۱ نمونه به سن سیلورین سازند سرچاهان در کوه فراقون و ۴ نمونه از خرده‌های حفاری سازند فراقون در چاه سلمان را در سه دمای گفته شده مورد آزمایش قرار گرفت (شکل ۳).

نمونه‌های مورد آزمایش در این روش از نتایج حاصل از آنالیز پیرولیز راک- اول (روش اول) انتخاب شده است، به این ترتیب معیار انتخاب این ۸ نمونه به شرح زیر است:

- بالا بودن مقدار مجموع کربن آلی^{۱۲} که توان تولید نمونه

جدول ۵: داده‌های آنالیز مربوط به نمونه‌های انتخابی برای روش اوبتکین

سازند	عمق (متر)	S1 (mg/g)	S2 (mg/g)	S3 (mg/g)	PI	Tmax (°C)	TOC(%)	HI	OI
فراقون	۴۵۰۸	۰/۴۱	۲/۳۳	۵/۸۷	۰/۱۵	۴۲۶	۲/۱۷	۱۰۷	۲۷۱
	۴۵۳۸	۰/۶۲	۴/۷۹	۶/۴۹	۰/۱۱	۴۲۲	۳/۲۵	۱۴۷	۲۰۰
	۴۵۵۰	۱/۶۲	۱۴/۱۹	۱۲/۱۲	۰/۱	۴۲۱	۹/۳۲	۱۵۲	۱۳۰
	۴۵۶۲	۰/۵	۵/۵۹	۳/۴	۰/۰۸	۴۲۵	۴/۲	۲۳۱	۱۴۰
سرچاهان	سطحی	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۳۷	۰/۲۱	۴۴۲	۰/۲۶	۱۲	۱۴۲
	سطحی	۰/۴	۳/۷	۰/۲۸	۰/۱	۴۵۴	۶/۶۹	۵۵	۴
	سطحی	۰/۸۲	۴/۷۹	۰/۰۷	۰/۱۵	۴۵۸	۵/۶۸	۸۴	۱

شکل ۴: S₁ در مقابل TOC برای نمونه‌های سرچاهان و فراقون

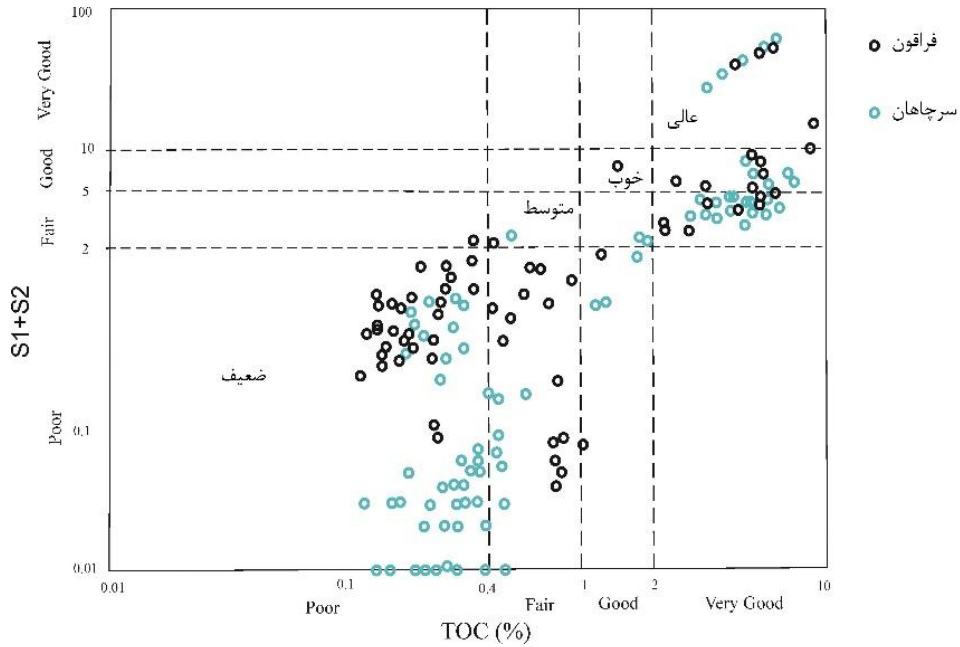
بلوغ و نوع ماده آلی نمونه‌ها مشخص می‌شود [۲۸]، در شکل ۶ اندیس هیدروژن در برابر دمای بیشینه در نمونه‌های مورد بررسی رسم شده است، در استفاده از این نمودار باید به این نکته توجه کرد که با افزایش دمای بیشینه میزان بلوغ نیز افزایش یافته و مقدار اندیس هیدروژن کاهش می‌یابد در نتیجه ممکن است کروژن نوع II به اشتباه کروژن نوع III در نظر گرفته شود. بر همین اساس کروژن سازند سرچاهان در نمونه‌های مورد بررسی نوع II بوده است و در ابتدای پنجره گازی قرار دارد. کروژن نمونه‌های سازند فراقون در ابتدای پنجره تولید نفت قرار دارد و کروژن آن نوع III است.

از دیگر نمودارهای مورد استفاده، نمودار S₂ در مقابل مجموع کربن آلی است که نوع ماده آلی را برای نمونه‌ها مشخص می‌کند که برای سازندهای سرچاهان و فراقون رسم شده است (شکل ۷). کروژن نمونه‌های سازند سرچاهان نوع II

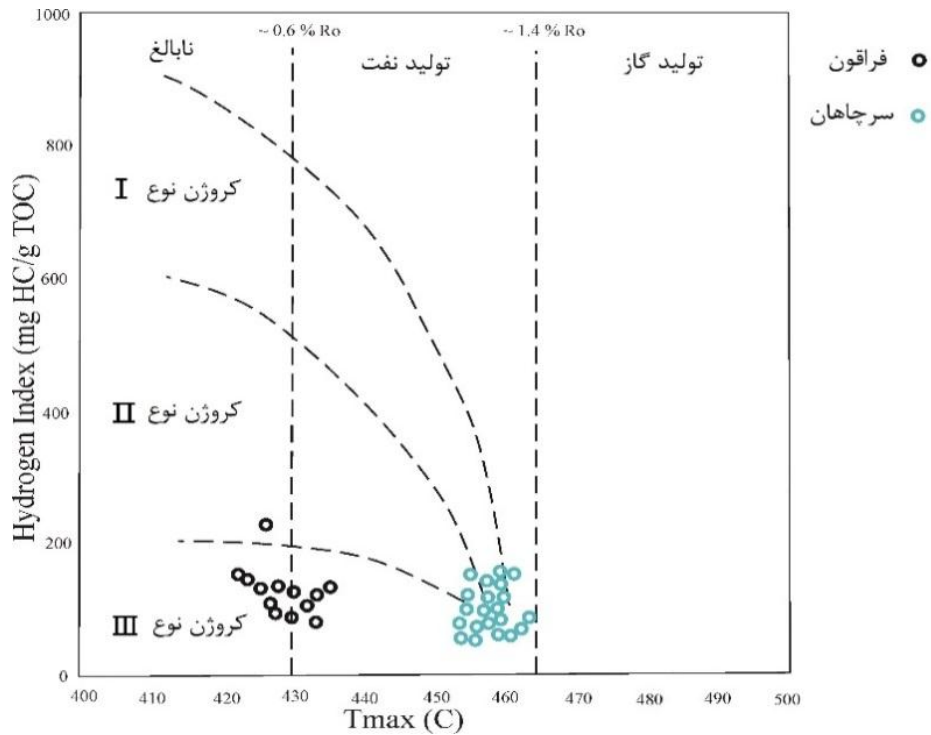
از نمودار S₁+S₂ در مقابل TOC برای تعیین پتانسیل هیدروکربن‌زایی و رتبه‌بندی سنگ‌های مادر استفاده می‌شود (شکل ۵). نمونه‌های سازند سرچاهان در چاه کوه سیاه و برخی نمونه‌های سطحی سرچاهان دارای پتانسیل هیدروکربن‌زایی خیلی خوبی است ولی نمونه‌های چاه گلشن و چاه زیره پتانسیل هیدروکربن‌زایی ضعیفی دارد، بررسی عمقی نمونه‌های سازند سرچاهان نشان می‌دهد که نمونه‌هایی از این سازند که دارای توان بالایی در تولید هیدروکربن‌اند، مربوط به یک سوم پایینی این سازند است. نمونه‌های سازند فراقون در چاه‌های سلمان و کوه سیاه دارای پتانسیل هیدروکربن‌زایی خیلی خوبی است ولی در چاه‌های دیگر و نمونه‌های سطحی پتانسیل هیدروکربن‌زایی ضعیف و خیلی ضعیف دارند. تجربیات اسپیتالی و همکاران نشان داد که با استفاده از نمودار اندیس هیدروژن^{۱۱} در مقابل دمای بیشینه میزان

که سبب تفسیر علت نوع کروژن می‌شود. کروژن نمونه‌های سازند فراقون از نوع III و گاززا است.

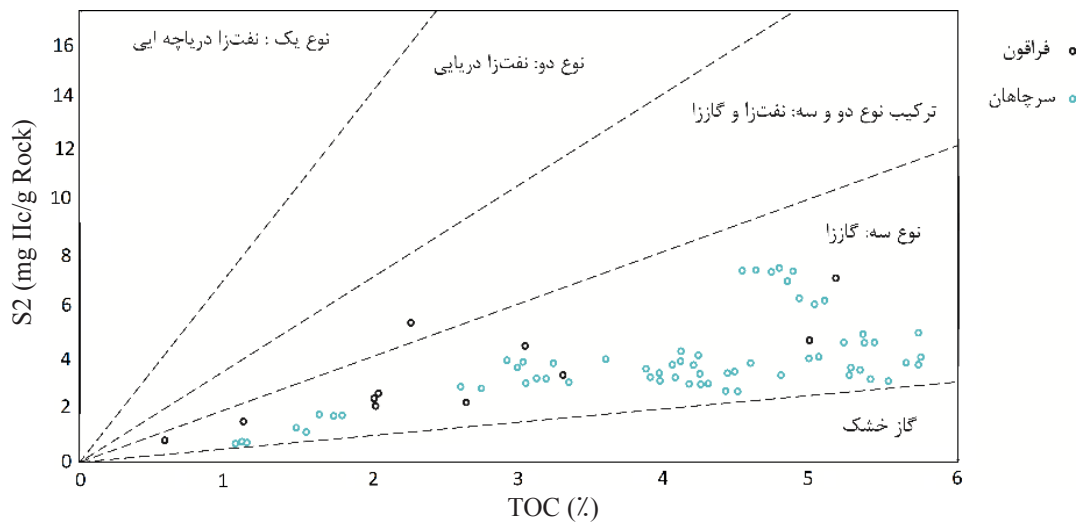
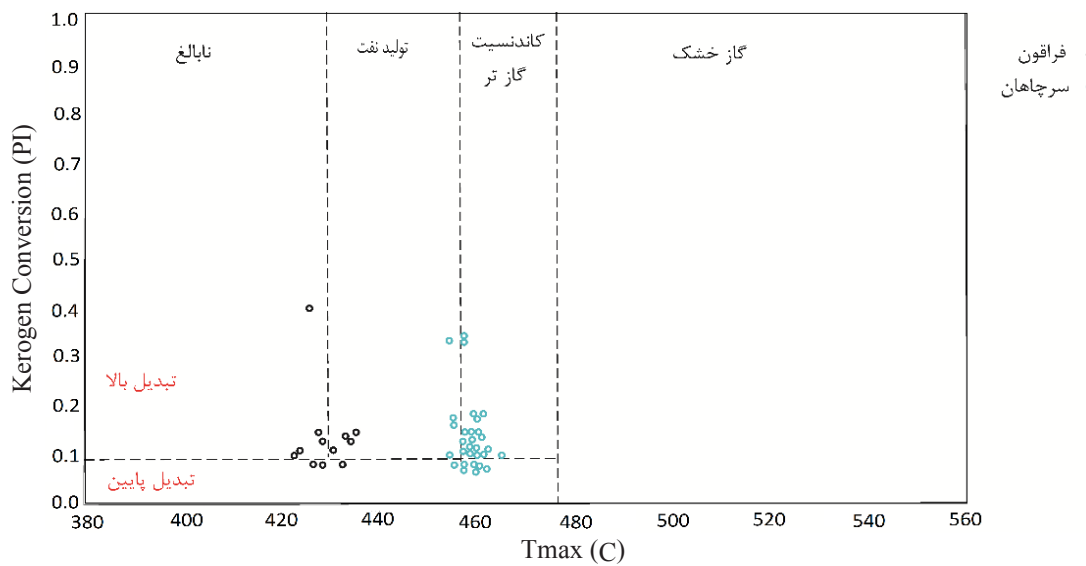
و نفت‌زا است که به اشتباه نوع III و گاززا تعبیر شده است. علت این تفسیر اثرات افزایش بلوغ بر کاهش اندیس هیدروژن است



شکل ۵: S_1+S_2 در مقابل TOC برای نمونه‌های سرچاهان و فراقون



شکل ۶: H_I در مقابل T_{max} برای نمونه‌های سرچاهان و فراقون

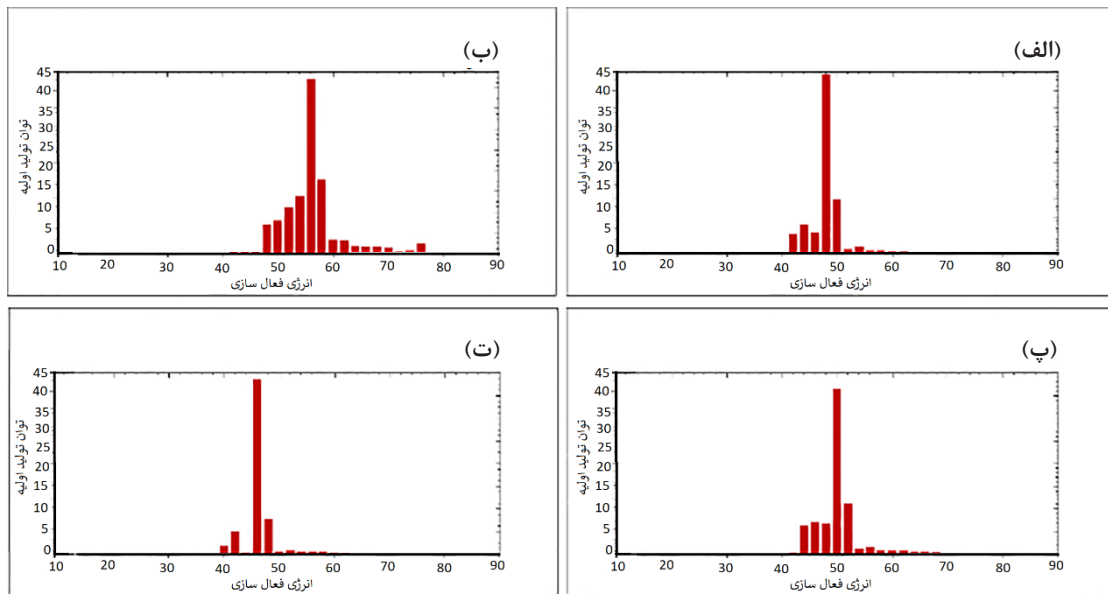
شکل ۷: S_2 در مقابل TOC برای نمونه‌های سرچاهان و فراقونشکل ۸: P_1 در مقابل Tmax برای نمونه‌های سرچاهان و فراقون

سلمان برداشت شده است. در شکل ۹ توزیع پارامترهای سینتیکی بهینه‌سازی شده رسم شده است. در این بهینه‌سازی مقدار خطای تابع هر یک از نمونه‌ها کمتر از ۱ است که نشان از بهینه‌سازی خوب در تمام نمونه‌ها است. خلاصه نتایج مربوط به هر چهار نمونه در جدول ۶ آمده است. شمای کلی هر چهار توزیع انرژی فعال‌سازی کوچک و نامتقارن است و مقدار میانگین آن برای تمام نمونه‌ها بین ۴۰ تا ۶۰ کیلوکالری بر مول است که کروژن نوع III را نشان می‌دهد.

نمودار دیگر، نمودار P_1 در مقابل T_{max} است که برای تعیین بلوغ ماده آلی و انتخاب سنگ منشاهای احتمالی است (شکل ۸). نمونه‌های سازند سرچاهان در ناحیه تولید میعانات و گاز تر قرار دارد. نمونه‌های سازند فراقون در ابتدای پنجره تولید نفت قرار دارد.

۵- بررسی نتایج حاصل از آنالیز سینتیکی

چهار نمونه آنالیز شده مربوط به سازند فراقون از چاه



شکل ۹: توزیع پارامترهای سینتیکی برای نمونه‌های سازند فراقون؛ (الف) نمونه اول، (ب) نمونه دوم، (پ) نمونه سوم، (ت) نمونه چهارم

جدول ۶: خلاصه نتایج سینتیکی نمونه‌های سازند فراقون در چاه سلمان

نمونه	عمق (m)	خطا	HI (mg/g)	E (Kcal/Mole)	A (mg/g)
۱	۴۵۰۸	۰٫۰۳۷	۸۸	۵۲-۴۴	۲٫۷۲۲
۲	۴۵۳۸	۰٫۵۳۱	۹۳	۶۰-۵۲	۵٫۹۹۲
۳	۴۵۵۰	۰٫۱۴۳	۱۵۰	۵۴-۴۶	۹٫۱۱۰
۴	۴۵۶۲	۰٫۰۳۳	۲۲۹	۵۰-۴۲	۶٫۲۹۴

جدول ۷: مقدار هیدروکربن تولیدی

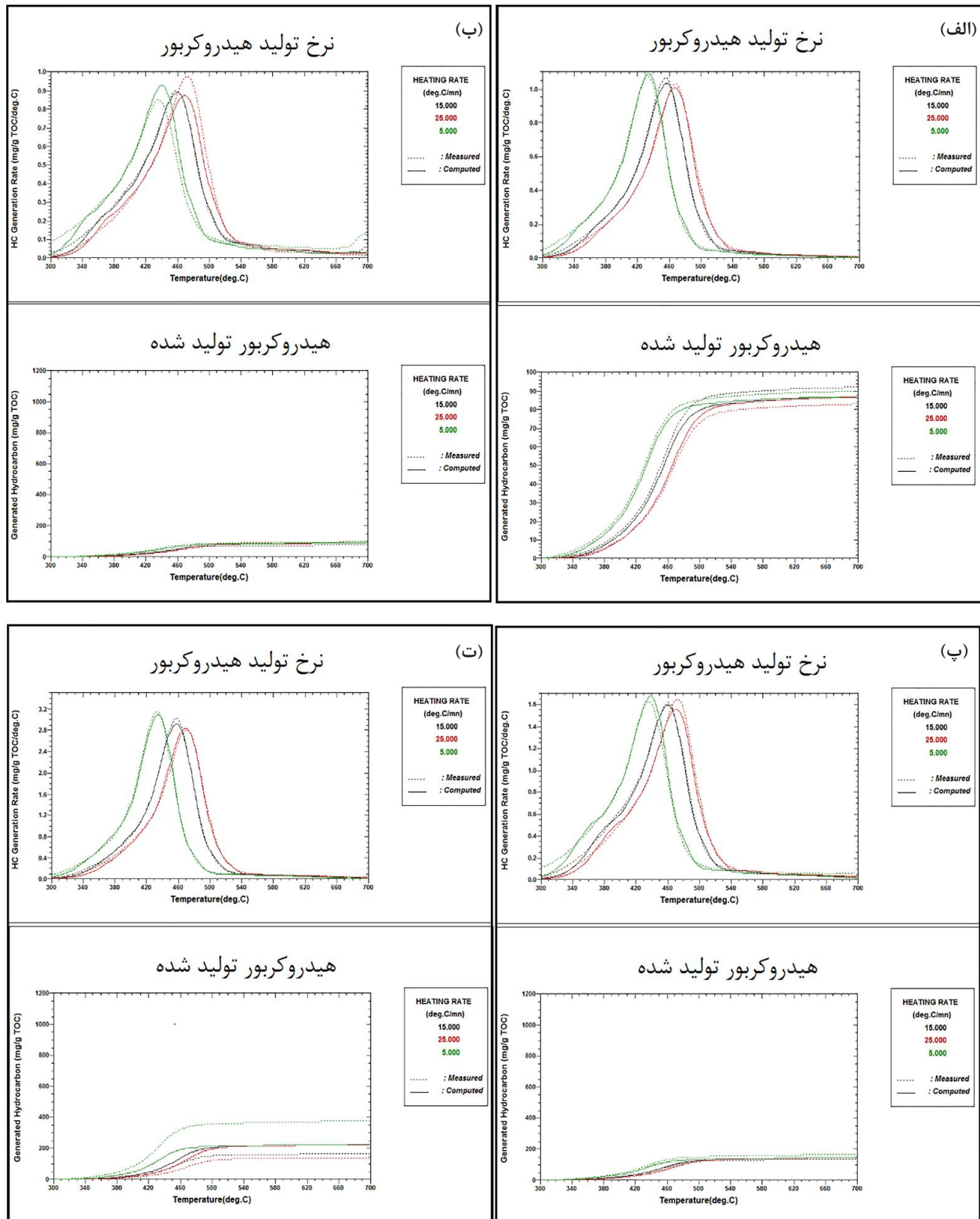
نمونه	هیدروکربور تولیدی به ازای هر گرم ماده آلی
۱	۸۷
۲	۹۰
۳	۱۵۰
۴	۲۲۰

اوپتکین است. منحنی اندازه‌گیری شده با خط‌چین و منحنی محاسبه شده با خط پیوسته در نمودار مشخص شده است. در این نمودار آهنگ تبدیل کروژن به هیدروکربن بر اساس درصد، نسبت به دما بیان شده است که در همه نمونه‌ها، آهنگ تبدیل کروژن به هیدروکربن در محدوده دمایی ۳۷۰ تا ۵۲۰ درجه سانتی‌گراد است. با توجه به بزرگ بودن بازه دمایی می‌توان نتیجه گرفت که نوع کروژن سازند فراقون از نوع III است.

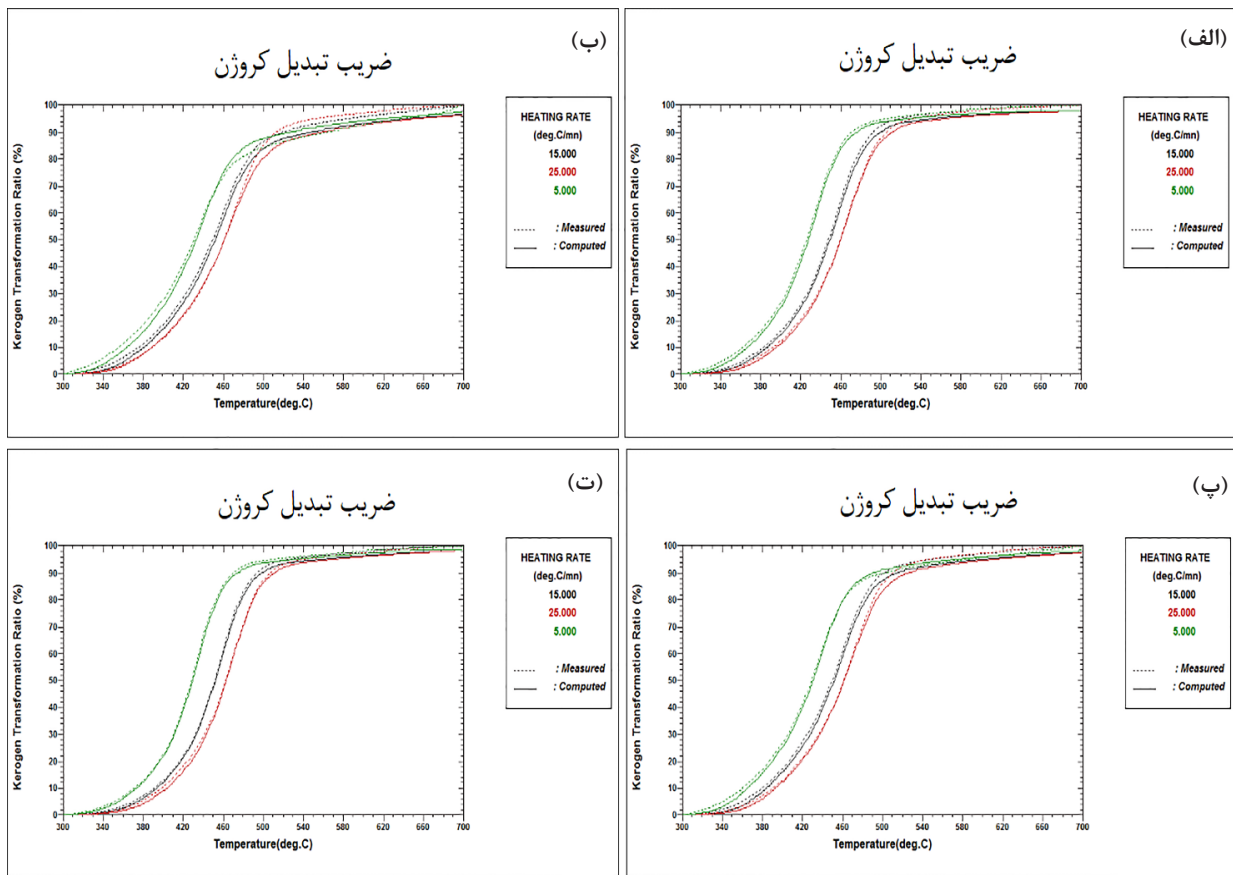
هیدروکربن تولیدی و مقدار هیدروکربن تولید شده در سه دما برای هر کدام از نمونه‌ها در شکل ۱۰ نشان داده شده است که مقایسه‌ای بین منحنی پیرولیز اندازه‌گیری شده با دستگاه راک-اول ۶ و منحنی پیرولیز محاسبه شده با نرم‌افزار اوپتکین است. منحنی اندازه‌گیری شده با خط‌چین و منحنی محاسبه شده با خط پیوسته در نمودار مشخص شده است.

چهار نمونه سازند فراقون در بازه دمایی در حدود 120° تا 150° درجه سانتی‌گراد هیدروکربن تولید می‌کنند (اصطلاحاً شکل زنگوله‌ای پهن است) که نشان‌دهنده کروژن تیپ III است. همچنین مقدار کل هیدروکربن تولید شده برای هر کدام از نمونه‌ها در جدول ۷ آمده است که مقادیر بالای آن به ازای هر گرم ماده آلی نشان‌دهنده بلوغ کم نمونه‌ها است.

شکل ۱۱ مربوط است به آهنگ تبدیل کروژن در سه دما است که مقایسه‌ای بین منحنی پیرولیز اندازه‌گیری شده با دستگاه راک-اول ۶ و منحنی پیرولیز محاسبه شده با نرم‌افزار



شکل ۱۰: نرخ هیدروکربن تولیدی و هیدروکربن تولید شده برای نمونه‌های سازند فراقون؛ الف) نمونه اول، ب) نمونه دوم، پ) نمونه سوم، ت) نمونه چهارم



شکل ۱۱: نرخ تبدیل کروژن برای نمونه‌های سازند فراقون: الف) نمونه اول، ب) نمونه دوم، پ) نمونه سوم، ت) نمونه چهارم

جدول ۸: نتایج سینتیکی نمونه‌های سازند سرچاهان

نمونه	سن	خطا	HI (mg/g)	E (Kcal/Mole)	A (mg/g)
۱	سیلورین	۰٫۷۴۸	۲۴	۸۰-۵۵	۳٫۶۶۸
۲	اردویسین	۰٫۰۶۴	۶۵	۵۰-۴۶	۱٫۵۹۲
۳	اردویسین	۰٫۰۱۷	۹۳	۵۲-۴۸	۲٫۰۴۷

در حدود ۴۸ تا ۵۲ کیلوکالری بر مول است که نشان‌دهنده کروژن نوع II است.

شکل ۱۳ مربوط به نرخ هیدروکربن تولیدی و مقدار هیدروکربن تولید شده در سه نرخ دمایی برای نمونه‌های سازند سرچاهان است. با توجه به طول بازه دمایی مربوط به نرخ تبدیل کروژن به هیدروکربن نمونه دوم و سوم سازند سرچاهان (سیلورین) دارای بازه دمایی در حدود ۱۱۰-۱۲۰ درجه سانتیگراد می‌باشند (اصطلاحاً شکل زنگوله‌ای کوچک است) که نشان دهنده‌ی کروژن تیپ II است و با توجه به مقدار نسبتاً بالای تولید هیدروکربن می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌ها

سه نمونه آنالیز شده مربوط به سازند سرچاهان از نمونه‌های سطحی در کوه فراقون برداشت شده است. شکل ۱۲ مربوط است به توزیع پارامترهای سینتیکی که از بهینه‌سازی نتیجه شده است، مقدار خطا تابع هر کدام از نمودارها کمتر از ۱ بوده که نشان از بهینه‌سازی خوب در تمام نمونه‌ها است. خلاصه نتایج مربوط به پارامترهای سینتیکی در جدول ۸ ارائه شده است. شکل کلی نمودار اول (سرچاهان بالایی) نامتقارن است و مقدار انرژی فعال‌سازی آن در حدود ۵۵ تا ۸۰ کیلوکالری بر مول است که کروژن نوع III را نشان می‌دهد و نمودار دوم و سوم (سرچاهان پایینی) پهن و متقارن است و مقدار آن

بررسی‌های دقیق‌تر نوع ماده آلی و تعیین پارامترهای سینتیکی از آنالیز سینتیکی (۳ نمونه سرچاهان و ۴ نمونه فراقون) استفاده شده است و نتایج به دست آمده به شرح زیر است:

۱- در اواخر دوره اردوئیسین با ذوب یخچال‌ها جریان‌های بالارونده در این منطقه حاکم بوده است که سبب نهشته شدن شیل‌های غنی از ماده آلی در اواخر دوره اردوئیسین و اوایل سیلورین (سازند سرچاهان) شده است. مطالعه ژئوشیمیایی راک-اول بر روی این سازند نشان می‌دهد که سازند سرچاهان به دو بخش سرچاهان بالایی (فقیر از ماده آلی) و بخش سرچاهان پایینی (غنی از ماده آلی) تقسیم می‌شود. بخش پایینی این سازند دارای میزان اندیس هیدروژن حدود ۷۳ میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ مجموع کربن آلی حدود ۲۵ درصد و دمای بیشینه ۴۵۹ درجه سانتی‌گراد است. کروژن این سازند نوع II و III/II است و از نظر بلوغ مواد آلی در انتهای پنجره نفتی قرار دارد.

نسبتاً بالغ هستند. در نمونه اول سازند سرچاهان (اردوئیسین) با توجه به بالا بودن بازه دمایی نرخ هیدروکربن تولیدی و مقدار کم تولید هیدروکربن (۲۴ میلی‌گرم به ازای هر گرم ماده آلی) می‌توان نتیجه گرفت که نمونه به شدت بالغ شده است. همچنین مقدار کل هیدروکربن تولید شده برای هر کدام از نمونه‌ها در جدول ۹ ارائه شده است.

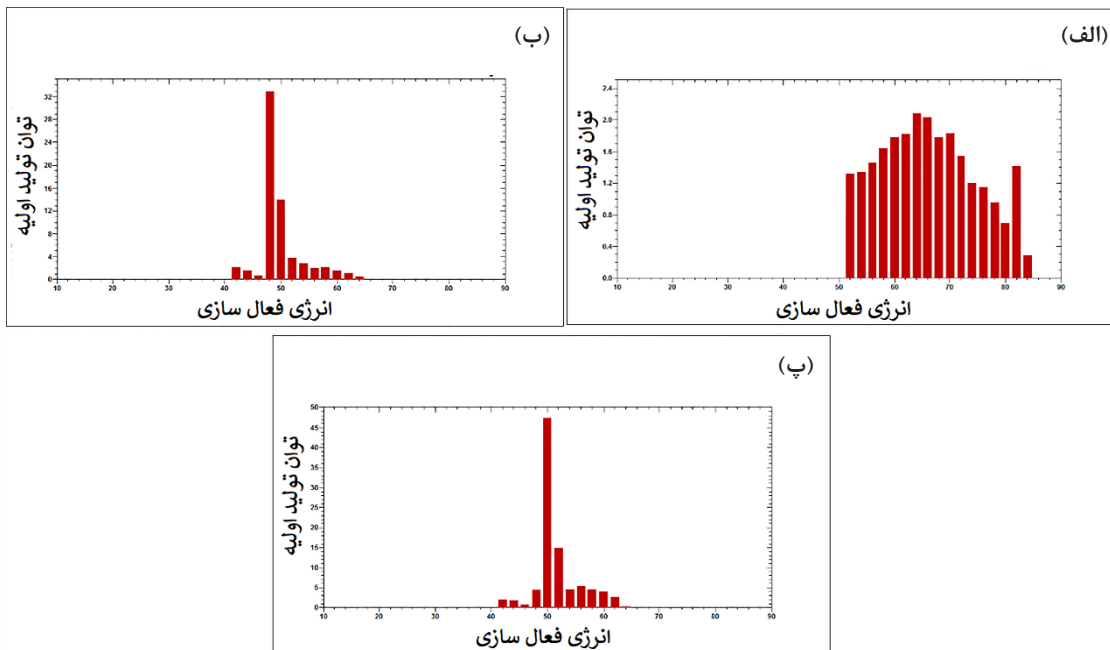
شکل ۱۴ مربوط است به نرخ تبدیل کروژن به هیدروکربن در سه نرخ دمایی، در این نمودار نرخ تبدیل کروژن به هیدروکربن بر اساس درصد، نسبت به دما بیان شده است که در نمونه اول، نرخ تبدیل کروژن به هیدروکربن در محدوده دمایی ۳۶۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد است. با توجه به بزرگ بودن بازه می‌توان نتیجه گرفت که نوع کروژن سازند سرچاهان از نوع III است. در نمونه دوم و سوم نرخ تبدیل کروژن به هیدروکربن در محدوده دمایی ۴۲۰ تا ۵۴۰ است که کروژن نوع II را نشان می‌دهد.

۶- نتیجه‌گیری

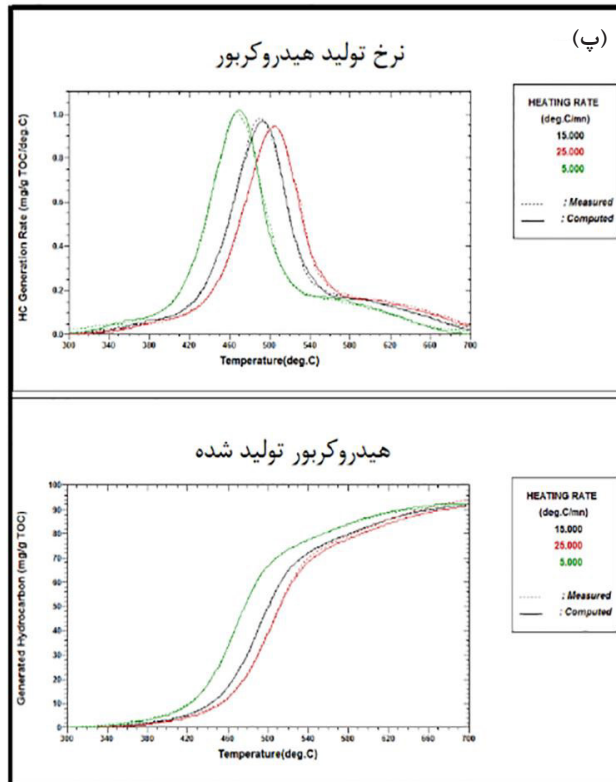
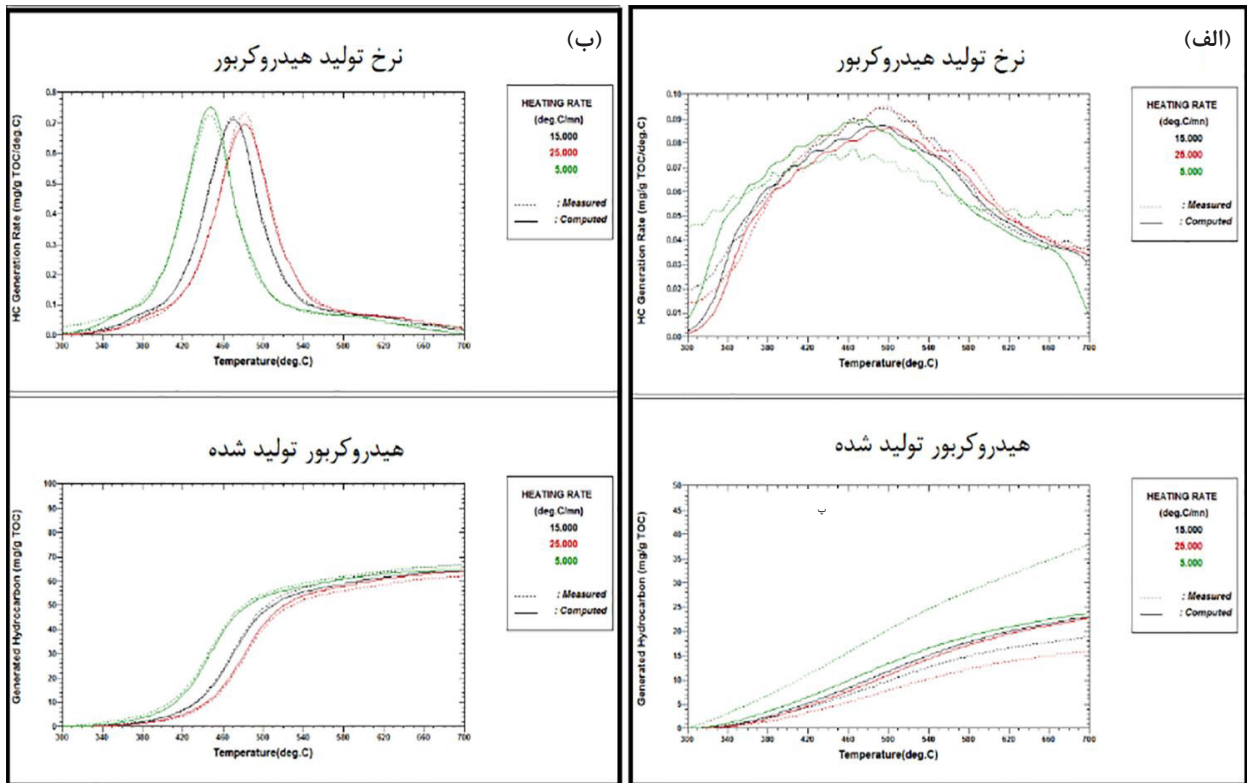
آنچه در این مقاله آمده است، حاصل بررسی دو روش آنالیز ژئوشیمیایی بر روی نمونه‌های سازند سرچاهان و فراقون در جنوب ایران است. بدین منظور برای بررسی توان هیدروکربن‌زایی و بلوغ ماده آلی و تعیین نوع ماده آلی از آنالیز پیرولیز راک-اول (۶ ۱۸۷ نمونه سرچاهان و ۷۲ نمونه فراقون) استفاده شده و برای انجام

جدول ۹: مقدار هیدروکربن تولیدی

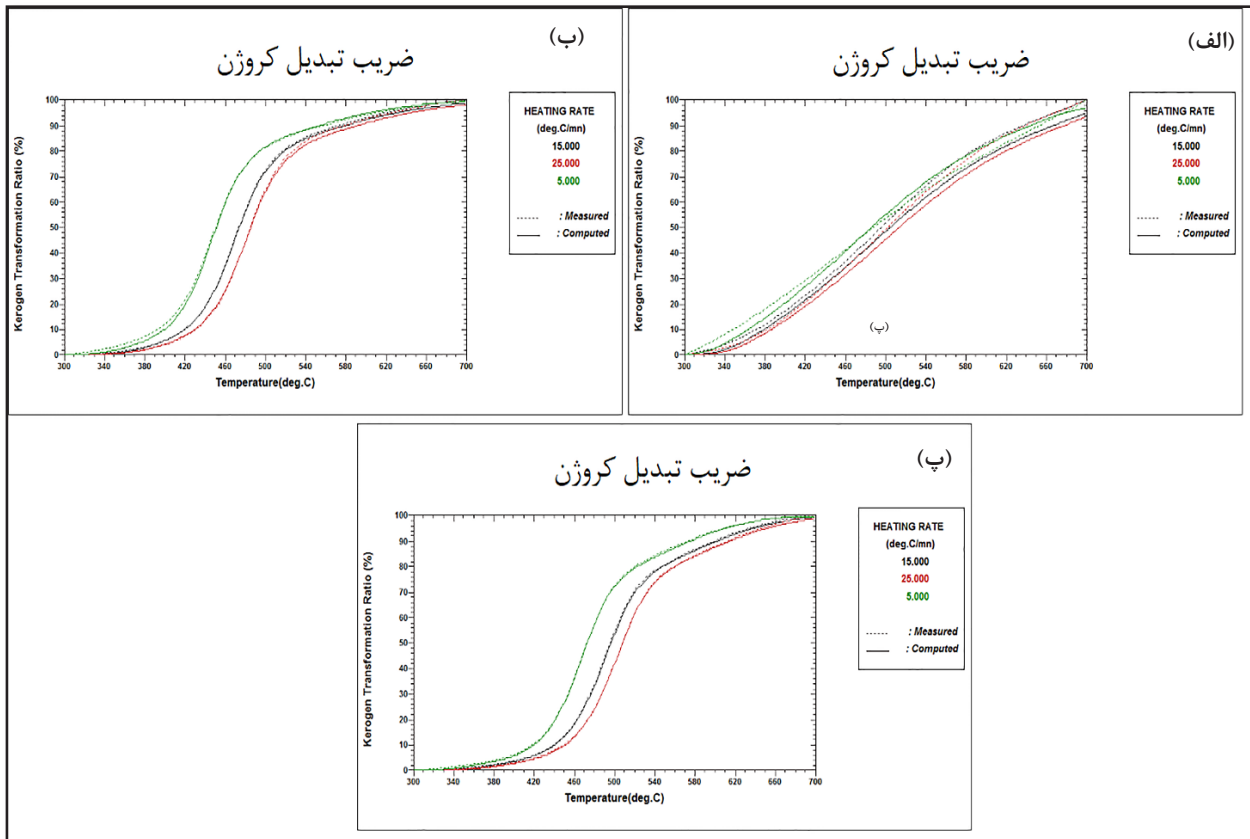
نمونه	هیدروکربور تولیدی به ازای هر گرم ماده آلی
۱ (سیلورین)	۲۴
۲ (اردوئیسین)	۶۵
۳ (اردوئیسین)	۹۳



شکل ۱۴: توزیع پارامترهای سینتیکی برای نمونه‌های سرچاهان؛ الف) نمونه اول، ب) نمونه دوم، پ) نمونه سوم



شکل ۱۳: نرخ هیدروکربن تولیدی و مقدار هیدروکربن تولید شده برای نمونه سازند سرچاهان؛ الف) نمونه اول، ب) نمونه دوم، پ) نمونه سوم



شکل ۱۴: نرخ تبدیل کروژن برای نمونه‌های سازند سرچاهان؛ الف) نمونه اول، ب) نمونه دوم، پ) نمونه سوم

حدود ۴۰ تا ۶۰ کیلوکالری بر مول است و بلوغ نمونه‌ها در محدوده اوایل پنجره نفتی است.

۵- با توجه به جنس سازند فراقون (ماسه‌سنگ، لای‌سنگ و شیل‌های زغالی) که می‌تواند به عنوان یک سنگ مخزن نقش‌آفرینی کند و این نکته که برخی از میان لایه‌های این سازند در منطقه مورد مطالعه دارای توان بالایی در تولید هیدروکربن دارند، بنابراین پیشنهاد می‌شود این سازند به عنوان یک هدف اکتشافی دوران پالئوزویک در نظر گرفته شود. میان لایه‌های زغالی سازند فراقون می‌توانند به عنوان یک سنگ منشا، بخش‌های ماسه‌سنگی این سازند (بخش مخزنی) را شارژ و ذخایر هیدروکربنی ایجاد کنند (بخش‌های ماسه‌سنگی این سازند نیاز به مطالعات دقیق‌تر دارد تا بتوان ظرفیت مخزنی آن را اثبات کرد).

۶- نتایج به دست آمده از این مطالعه می‌تواند برای استفاده در معادلات سینتیکی مربوط به مدلسازی‌های حوضه رسوبی در این ناحیه مورد استفاده قرار گیرد.

۲- بر اساس نتایج به دست آمده از راک- اول سازند فراقون در برخی از میان لایه‌های زغالی دارای توان تولید هیدروکربن است، میان لایه‌های زغالی سازند فراقون در ابتدای پنجره نفتی قرار دارد و نوع کروژن آن از نوع III است و دارای اندیس هیدروژن حدود ۱۲۰ میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ مجموع کربن آلی حدود ۳٫۹ درصد و دمای بیشینه ۴۲۷ درجه سانتی‌گراد است. هیدروکربن این سازند در برخی از نواحی میان لایه‌های این سازند می‌تواند به عنوان سنگ منشا خوب معرفی شود.

۳- با توجه به نتایج حاصل از آنالیز سینتیک، بخش بالایی سازند سرچاهان دارای انرژی فعال‌سازی در حدود ۵۵ تا ۸۰ کیلوکالری بر مول و کروژن نوع III است. بخش زیرین سرچاهان دارای انرژی فعال‌سازی در حدود ۴۸ تا ۵۲ کیلوکالری بر مول و کروژن نوع II است که نمونه‌های آن نسبتاً بالغ است.

۴- بر اساس پراکندگی انرژی فعال‌سازی، سازند فراقون دارای کروژن نوع III است و مقدار انرژی فعال‌سازی آن در

۷- مراجع

- [14] French Institute of Petroleum. "Software Note: OPTKIN-The Basin Modeling Line-User Guide". Beicip-Franlab, pp. 78.
- [15] حمدی، ب؛ ۱۳۷۴؛ "زمین شناسی ایران کامبرین و پرکامبرین". سازمان زمین شناسی ایران، ۳۱۱ صفحه.
- [16] مطیعی، ه؛ ۱۳۷۲؛ "زمین شناسی ایران، چینه شناسی زاگرس". سازمان زمین شناسی ایران، ۲۱۰ صفحه.
- [17] Sweeney, J. J., Burnham, A. K., and Braun, R. L. (1987). "A model of hydrocarbon generation from type I kerogen: application to Uinta Basin, Utah". AAPG Bulletin, 71(8): 967-985.
- [18] Mangotra, S. R., Chari, M. V. N., Thomas, N. J., Mishra, K. N., and Chandra, K. (1995). "Determination and analysis of optimal kinetic parameters for hydrocarbon generation from source rock sequences of Cambay basin, India". Organic Geochemistry, 23(5): 371-378.
- [19] Rabbani, A. R. (2008). "Geochemistry of crude oil samples from the Iranian sector of the Persian Gulf". Journal of Petroleum Geology, 31(3): 303-316.
- [20] Abarghania, A., Ostadhassana, M., Gentzisz, T., Carvajal, S., Ocubalidtb, O., Bubacha, B., Mann, M., and Houc, X. (2019). "Correlating Rock-Eval™ Tmax with bitumen reflectance from organic petrology in the Bakken Formation". International Journal of Coal Geology, 205: 87-104.
- [21] Lia, M., Chenb, X., Caoa, T., Mac, X., Liub, X., QiguiJianga, Z., and Wud, S. (2018). "Expelled oils and their impacts on Rock-Eval data interpretation, Eocene Qianjiang Formation in Jiaghan Basin, China". International Journal of Coal Geology, 191: 37-48.
- [22] Espitalié, J., Deroo, G., and Marquis, F. (1985). "La pyrolyse Rock-Eval et ses applications. Première partie". Revue de l'Institut français du Pétrole, 40(5): 563-579.
- [23] Hunt, J. M. (1996). "Petroleum geology and geochemistry". W.H. Freeman, pp. 743.
- [24] Lewan, M. D., and Ruble, T. E. (2002). "Comparison of petroleum generation kinetics by isothermal hydrous and nonisothermal open-system pyrolysis". Organic Geochemistry, 33(12): 1457-1475.
- [25] Rabbani, A. R. (2007). "Petroleum geochemistry, offshore SE Iran". Geochemistry International, 45(11): 1164-1172.
- [26] Chen, Z., Liua, Z., and Osadetz, Z. (2019). "Petroleum generation kinetic models for Late Ordovician kukersite Yeoman Formation source rocks, Williston Basin
- [۱] کمالی، م. ر.، قربانی، ب؛ ۱۳۸۵؛ "ژئوشیمی آلی از فیتوپلاکتون تا تولید نفت". انتشارات آراین زمین، ۳۱۸ صفحه.
- [۲] رضایی، م. ر؛ ۱۳۹۴؛ "زمین شناسی نفت". انتشارات علوی، ۴۷۲ صفحه.
- [۳] صابری، م. ح.، جلیلیان، ی؛ ۱۳۹۶؛ "بررسی توان هیدروکربن زایی سازندهای زاگرس و فراقون با استفاده از داده‌های پیرولیز راک -اول". چهارمین همایش بین المللی نفت، گاز و پتروشیمی: مرکز پژوهش‌های صنعتی و معدنی، ۱۲ صفحه.
- [۴] ربانی، ا. ر.، افشاری، ن.، خالقی، م؛ ۱۳۸۵؛ "مطالعه ژئوشیمیایی سازندهای فراقون، سرچاهان و سیاهو و بررسی نقش آن‌ها در زایش گاز در ناحیه فارس و بندرعباس". نشریه امیر کبیر، دوره هفدهم، شماره ۶۵، ص ۶۱-۵۳.
- [۵] میرشاهانی، م.، خواجه‌زاده، ا.، خانی، ب؛ ۱۳۹۵؛ "کاربرد انعکاس گراپتولیت و کیتینوزوا در تعیین پختگی سازندهای پالئوزوئیک زبرین ناحیه بندرعباس". مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، دوره ششم، شماره ۲۱، ص ۳۵-۴۵.
- [۶] واعظیان، ا.، ضیایی، م.، کمالی، م. ر.، قیاسی فریز، ج؛ ۱۳۹۲؛ "مطالعه‌ای بر ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ منشاهای احتمالی میدان نفتی سلمان در حوضه رسوبی خلیج فارس". اولین همایش زمین شیمی کاربردی ایران، دامغان، دانشگاه دامغان.
- [۷] دبستانی، ن.، حسن‌نژاد، ع. ا.، معماریان، م.، مصدق، ج؛ ۱۳۹۴؛ "مقایسه داده‌های زمین‌شیمیایی آلی سازند مبارک (البرز شرقی) در برش‌های تویه رودبار، لب نساو و میغان". مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، دوره پنجم، شماره ۱۷، ص ۳۷-۴۷.
- [۸] مطیعی، ه؛ ۱۳۸۹؛ "مقدمه‌ای بر ارزیابی مخازن نفتی زاگرس". انتشارات آراین زمین، ۴۱۹ صفحه.
- [۹] آقاناتی، ع؛ ۱۳۸۵؛ "زمین شناسی ایران". سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۷۱ صفحه.
- [10] Ghazban, F. (2007). "Petroleum geology of Persian Gulf". Teheran University and National Iranian Oil Company, pp. 734.
- [۱۱] علوی نائینی، م؛ ۱۳۷۲؛ "زمین شناسی ایران، چینه شناسی پالئوزوئیک ایران". سازمان زمین شناسی کشور، ۵۱۱ صفحه.
- [۱۲] مطیعی، ه؛ ۱۳۷۴؛ "زمین شناسی ایران، زمین شناسی نفت زاگرس". دو جلد، سازمان زمین شناسی کشور، ۵۳۷ صفحه.
- [13] Saberi, M. H., Rabbani, A. R., and Ghavidel-syooki, M. (2016). "Hydrocarbon potential and palynological study of the Latest Ordovician-Earliest Silurian source rock (Sarchahan Formation) in the Zagros Mountains, southern Iran". Marine and Petroleum Geology, 71: 12-25.

(southern Saskatchewan), Canada". Fuel, 241: 234-246.

[27] Liao, I., Wang, Y., Chen, C., and Deng, R. (2018). "Kinetic study of marine and lacustrine shale grains using Rock-Eval pyrolysis: Implications to hydrocarbon generation, retention and expulsion". Marine and Petroleum Geology, 89(1): 164-173.

[28] Karimi, A. R., Rabbani, A. R., and Kamali, M. R. (2016). "A bulk kinetic, burial history and thermal modeling study of the Albian Kazhdumi and the Eocene-Oligocene Pabdeh formations in the Ahvaz anticline, Dezful Embayment, Iran". Journal of Petroleum Science and Engineering, 146: 61-70.

¹ Salient

² Espitalie

³ Basic

⁴ Optkin

⁵ FID

⁶ IR-Cell

⁷ Rockint

⁸ TOC

⁹ T_{max}

¹⁰ O₁

¹¹ H₁



Imam Khomeini International University
Vol. 4, No. 3, Autumn 2019, pp. 5-8



نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

DOI: 10.30479/jmre.2019.9726.1203

Determination and Estimation of Hydrocarbon Potential by Calculating Kinetic Parameters and Rock-Eval 6 Pyrolysis Analysis in Sarchahan Formation and Coal Inter-Layers of Faraghoun Formations in Coastal Fars and Persian Gulf, Iran

Saberi M.H.^{1*}, Jalilian Y.², Rabbani A.R.³

1- Assistant Professor, New Technology Campus, Dept. of Petroleum Engineering, Semnan University, Semnan, Iran
mh.saberi@semnan.ac.ir

2- M.Sc Student, New Technology Campus, Dept. of Petroleum Engineering, Semnan University, Semnan, Iran
Uns.jalilian@gmail.com

3- Professor, Dept. of Petroleum Engineering, Amirkabir University, Tehran, Iran
Rabbani@aut.ac.ir

(Received: 08 Dec. 2018, Accepted: 14 Apr. 2019)

Abstract: This paper aims to investigate the hydrocarbon potential and organic matter maturity of Sarchahan and Faraghoun formations between coal layers. To do this, we implemented the kinetic parameter and Rock-Eval 6 Pyrolysis analysis methods. Results showed that moving toward the coastal Fars (Sarchahan Formation) and from south of Iran to the central part of Fars bay (Faraghoun Formation), there is an increase in the maturity of the organic matter.

Keywords: Hydrocarbon potential, Source rock, Faraghoun and Sarchahan formations.

INTRODUCTION

Petroleum geochemistry helps to increase the exploration success through which many parameters of the petroleum accumulations such as source rock quality and maturity, temperature maturity, migration and gatherings for the oil trap are determined [1]. Most of the oil and gas in Arabian plate and Fars bay are derived from Paleozoic source rock, therefore, it has been an interesting region for the petroleum geologists. According to the research studies done on Fars bay countries, it has been stated that the source rock must have had an increasing maturation trend toward Iran, however, with respect to the lack of data, this has been stated as a possibility [2]. In Iran, petroleum system studies on Paleozoic has been neglected compared to the other systems and there are just some scattered investigations such as Saberi et. al. (2015) which has focused on the paleo-logs of the drilled wells in Paleozoic layers which revealed that the Sarchahan formation is the most probable source rock of the Paleozoic formations. Besides, Saberi et. al. showed that the existence of some coaly interlayers in Faraghoun may have the potential to produce oil [3].

In this article, regarding the importance of Paleozoic hydrocarbon system, kinetic parameters of the

probable source rocks (Sarchahan and Faraghun formations) in coastal Fars and Fars bay is determined. To do this, the drilling cuttings of Sarchahan formation (Ordovician and Silurian) and Faraghun formation (Permian) in Salmas oilfield and Zireh, Asaluyeh, Golashan, Naar, Homa, Daarang and Kouh Siah gas fields are analyzed and the outcrops of these two formation has been thoroughly investigated (totally 294 samples Rock-Eval pyrolysis and 7 samples Kinetical analysis). Putting together the results of Kinetic analysis along Rock-Eval results, we have scrutinized the Sarchahan and Faraghun formations which reveals that not only the Sarchahan has the possibility of petroleum generation, the Faraghun formation do the same and can be a proper source rock in this region.

METHODS

Study of hydrocarbon source rocks indicated that Rock-Eval pyrolysis is done by heating the organic matter in the absence of oxygen [4,5]. In this study, we have implemented two different approaches, Rock-Eval pyrolysis analysis (organic matter, maturity and hydrocarbon potential determination) and Kinetic analysis (estimation of the produced hydrocarbon) for the samples of Faraghun and Sarchahan formations. The sample analysis is done through standard Rock-Eval 6 and also basic methods which incorporated 25 °C temperature range for Rock-Eval pyrolysis and the Optkin method for Kinetic analysis in the temperature range of 5, 15 and 25 °C.

The apparatus method incorporates putting about 100mg for the powdered samples in the pyrolysis oven (absence of oxygen) which is heated in a Nitrogen atmospheric condition (specified heating range due to the specified method) and the emitted gas is studied and recorded in Flame Ionization Detector (S_1 and S_2). Then, the samples are transferred into the oxidation oven and being burnt by oxygen and the emitted gas is analyzed infrared detector (S_3 , S_4 and S_5). Then, the results are recorded [6].

In this study we have benefited from Rockint software to interpret the raw data so that we can input them into the Optkin software. Optkin is an optimization software based on the Kinetik model. The reason for optimization is to determine the best quantity for the activation energy distribution which is accomplished based on several Rock-Eval pyrolysis on mature or immature source rock samples [7]. Kinetic parameters can benefit us for the anticipation of the amount of the produced hydrocarbon as a function of time and temperature in basin simulation software. The speed of hydrocarbon production is related to the type of kerogen structure affecting the gross kinetic parameters (activation energy and frequency factor) [8]. Kinetic parameters application of the petroleum generation in the burial-heating history is used by Arrhenius function.

DISCUSSION

According to Van Krevelen graphs as shown in Figures 1 and 2, Sarchahan Formation is in the early stages of oil window and identified with kerogen type II/III, II and Faraghun Formation is in the early stages of oil window and the kerogen types is III. T_{max} and HI for surface samples of Sarchahan Formation is 51.4 and 441 °C and for Faraghun Formation in Salman field is 128.5 and 427 °C respectively.

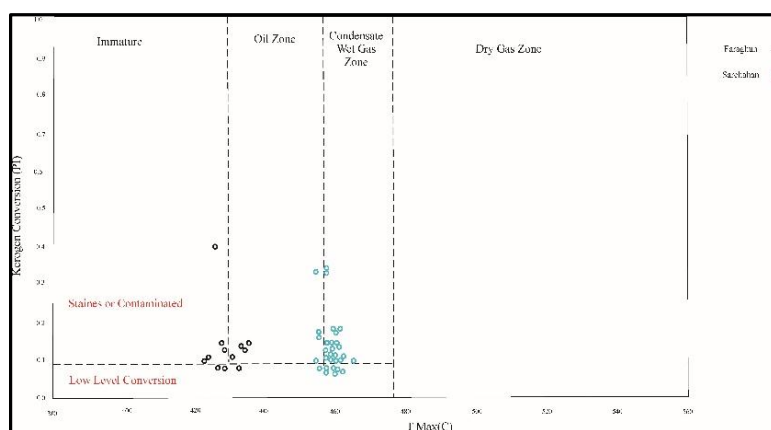


Figure 1. PI versus T_{max} for Sarchahan and Faraghun samples

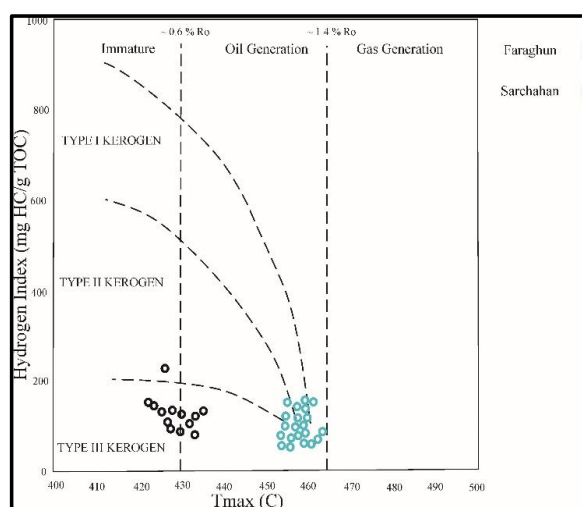


Figure 2. HI versus T_{max} for Sarchahan and Faraghun samples

Also results of kinetic from pyrolysis with Optkin method has been identified with error less than 1 that shows a great optimization is accomplished (Figure 3). Considering activation energy distribution, Sarchahan Formation has kerogen type II with 45-55 Kcal/mole content and Faraghun formation kerogen is of type III with a content of 46-54 Kcal/mole.

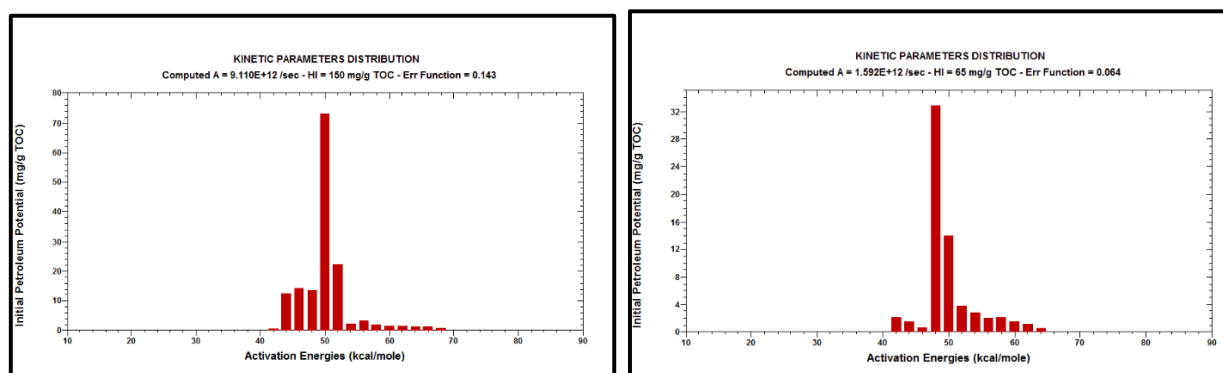


Figure 3. Activation energy distributions (kcal/mole) for Sarchahan Formation (right) and Faraghun Formation (left), Samples from open system pyrolysis at three different heating rates (5, 15 and 25 °C/min)

CONCLUSION

At the end of Ordovician, and melting of the natural ice, the upcoming streams were dominated which has caused the organic rich shales to be precipitated (Sarchahan formation). Studies showed that we can divide Sarchahan formation into the upper Sarchahan (poor organic material) and the lower Sarchahan (rich with organic matter). The lower part of Sarchahan has the hydrogen index of 73 mg hydrocarbon per each grams of the rock and the total of organic carbon reaches to 2.5% and the maximum temperature of 459°C. We can also state that Sarchahan is mainly composed of the kerogen type II and II/III which is in the end of the oil window.

Based on Faraghun Rock-Eval analysis, the possibility of hydrocarbon potential could be seen in the interlayers of coaly layers. These layers stand at the beginning of the oil window and mainly comprised of kerogen type II. The hydrogen index is estimated to be 120 mg hydrocarbon per each grams of the rock and the total of organic carbon reaches to 3.9% and the maximum temperature of 427°C. Faraghun's hydrocarbon in some coaly interlayers can be stated to have a potential of source rock.

With respect to the upper section kinetic result of Sarchahan formation, the activation energy is 55-80

Kcal/mol and the kerogen is of type III. The lower Sarchahan formation has activation energy of 48-52 Kcal/mol and the kerogen is of type II which the subsequent samples are semi- mature. Regarding the dissipation of the activation energy, Faraghun formation kerogen in of type III with activation energy of 40-60 Kcal/mol and samples are in at the very first stage of the oil window.

With due attention to the constituent of the Faraghun formation (sandstone, siltstone and coaly shales) which can play a role as a reservoir rock and due to the fact that some interlayers of this formation in the studied area are capable of having the hydrocarbon potential, we propose that this formation can be considered as an exploration target of Paleozoic era. The coaly interlayers of Faraghun formation can be capable of charging the sandy layers of itself (reservoir section) and produce hydrocarbon reservoirs (sandy sections of this formation needs further investigation to accentuate the possibility of being a reservoir). The produced result of the current research can be used in kinetic functions regarding the simulation of sedimentary basin of this region.

REFERENCES

- [1] Kamali, M. R. (2006). "Organic Geochemistry". Ariyan Zamin, pp. 245 (in Persian).
- [2] Rezaei, M. R. (2015). "Petroleum Geology". Alavi, pp. 472 (in Persian).
- [3] Saberi, M. H., and Jalilian, Y. (2017). "Evaluation of Faraghun and Zakeen Formation for Hydrocarbon Generation by Means of Rock-Eval Pyrolysis Data". 4TH International Conference On Oil, Gas and Petrochemical, Tehran University, Iran (in Persian).
- [4] Saberi, M. H., Rabbani, A. R., and Ghavidel-syooki, M. (2016). "Hydrocarbon potential and palynological study of the Latest Ordovician–Earliest Silurian source rock (Sarchahan Formation) in the Zagros Mountains, southern Iran". Marine and Petroleum Geology, 71: 12-25.
- [5] Sweeney, J. J., Burnham, A. K., and Braun, R. L. (1987). "A model of hydrocarbon generation from type I kerogen: application to Uinta Basin, Utah". AAPG Bulletin, 71(8) : 967-985.
- [6] Espitalié, J., Deroo, G., and Marquis, F. (1985). "La pyrolyse Rock-Eval et ses applications. Première partie". Revue de l'Institut français du Pétrole, 40(5): 563-579.
- [7] Rabbani, A. R. (2007). "Petroleum geochemistry, offshore SE Iran". Geochemistry International, 45(11): 1164-1172.
- [8] Karimi, A. R., Rabbani, A. R., and Kamali, M. R. (2016). "A bulk kinetic, burial history and thermal modeling study of the Albian Kazhdumi and the Eocene-Oligocene Pabdeh formations in the Ahvaz anticline, Dezful Embayment, Iran". Journal of Petroleum Science and Engineering, 146: 61-70.