

ارزیابی ژئوشیمیایی و توان هیدروکربن‌زایی سازندهای پابده و گورپی در میدان نفتی گچساران، با استفاده از روش‌های پیرولیز راک اول و پتروگرافی مواد آلی

مجید صفائی فاروجی، حسین رحیم‌پور بناب^{*}، دانشگاه تهران ■ بیوک قربانی، پژوهشگاه صنعت نفت

چکیده

در این مطالعه، سازندهای پابده و گورپی به‌عنوان سنگ‌های منشأ احتمالی در میدان نفتی گچساران مورد بررسی و مقایسه خصوصیات ژئوشیمیایی آلی قرار گرفتند. در ابتدا به‌منظور ارزیابی آلودگی نفتی نمونه‌های مورد مطالعه، از ترسیم نمودار S_1 در مقابل TOC استفاده شد. این نمودار عدم آلودگی نفتی تمام نمونه‌های هر دو سازند پابده و گورپی و به‌عبارتی برجا بودن هیدروکربور موجود در این سازندها را نشان می‌دهد. ترسیم نمودار S_2 در مقابل TOC، و TOC در مقابل پتانسیل ژنتیکی ($PP=S_1+S_2$) حاکی از قرارگیری سازند پابده در طیف وسیعی از پتانسیل تولید هیدروکربور از ضعیف (Poor) تا خوب (good) و قرارگیری سازند گورپی در محدوده ضعیف (Poor) تا مناسب (Fair) می‌باشد. همچنین این نمودارها به‌وضوح نشان می‌دهند که سازند پابده نسبت به سازند گورپی از پتانسیل تولید هیدروکربورزایی بالاتری برخوردار است. نمودارهای شاخص هیدروژن (HI) در مقابل شاخص اکسیژن (OD), HI در مقابل T_{max} و TOC در برابر S_2 حاکی از طیف وسیعی از انواع مختلف کروژن، از نوع II، مخلوط II و III، نوع III و حتی نوع IV (یک نمونه) برای سازند پابده می‌باشد که گویای نهشته شدن سازند پابده در شرایط بسیار متغیری از محیط رسوبی و در پیشروی و پسروی‌های متعدد آب دریا می‌باشد. در مقابل، سازند گورپی حاوی کروژن‌های نوع مخلوط II و III و نوع III می‌باشد. همچنین، نمودار TOC در برابر HI حاکی از نفت‌زاتر بودن سازند پابده نسبت به سازند گورپی است. نمودار T_{max} در برابر شاخص تولید (PI) حاکی از این است که سازند پابده وارد پنجره نفت‌زایی نشده است؛ به‌عبارتی، به میزان بلوغ حرارتی موردنیاز برای تولید هیدروکربور نرسیده که مقادیر میانگین انعکاس و تیرنایت آن را تأیید می‌کند. در طرف مقابل، تعدادی از نمونه‌های سازند گورپی حاکی از ورود این سازند به اوایل زون پنجره نفتی و تولید هیدروکربور از این سازند می‌باشند که با توجه به قرارگیری سازند گورپی نسبت به سازند پابده در عمق بیشتر، بیشتر بودن بلوغ سازند گورپی نسبت به سازند پابده، طبیعی است.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۷/۱۱/۱۸

تاریخ ارسال به داور: ۹۷/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش داور: ۹۸/۰۲/۱۳

واژگان کلیدی:

پابده، گورپی، پتانسیل هیدروکربورزایی، نوع ماده آلی، بلوغ حرارتی، میدان گچساران

مقدمه

جنوب‌غرب لرستان تا عراق، تداوم داشته است. در این حوضه مواد رسی انباشته شده و سازند پابده را تشکیل داده‌اند. برش نمونه این سازند در تنگ پابده در شمال میدان نفتی لالی برداشت شده است و ردیف این سازند مرکب از ۸۰۰ متر رسوبات رسی و مارلی است [۶]. این سازند به شکل رخنمون و زیرسطحی در مناطق مختلفی از جنوب و جنوب‌غرب ایران شناخته شده که در شرایط احیایی تا نیمه‌اکسیدی نهشته شده و ضخامت و لیتولوژی متغیری در هر بخش از زاگرس دارد [۲].

سازند گورپی در مقطع نمونه که توسط [۴] در رخنمون تنگ پابده، شمال میدان نفتی لالی شناسایی شده است، حاوی حدود ۳۲۰ متر مارن و شیل‌های خاکستری می‌باشد. ضخامت در میدان نفتی گچساران، ۶۰ متر است [۳]. در مقطع نمونه، به‌طور پیوسته سازند ایلام را می‌پوشاند و به‌طور ناپیوسته در زیر سازند پابده قرار دارد [۵]. این سازند در اغلب مناطق فروافتادگی دزفول پتانسیل

تخمین توان هیدروکربورزایی از طریق ارزیابی ویژگی‌های مواد آلی یا کروژن یکی از مهم‌ترین رویکردهای مورد استفاده در پروژه‌های اکتشاف هیدروکربور می‌باشد [۱]-[۲]. انجام این رویکرد شامل شناسایی سنگ‌های منشأ احتمالی از طریق اندازه‌گیری مقدار کل ماده آلی موجود، نوع و کیفیت و همچنین سطح بلوغ حرارتی ماده آلی است [۳]-[۴].

سیستم نفتی کرتاسه بالایی - میوسن زیرین به‌عنوان مهم‌ترین سیستم نفتی ایران حاوی دو سنگ منشأ اصلی کژدمی و پابده می‌باشد [۵]. از این رو مطالعه ژئوشیمیایی آلی این سازندها امری مهم محسوب می‌شود که در مطالعه پیش‌رو، سازند پابده و همچنین سازند گورپی به‌عنوان سنگ‌های منشأ احتمالی مورد مطالعه قرار خواهند گرفت. در ائوسن میانی تا پسین در راستای شمال‌غرب - جنوب‌شرق، موازی با امتداد زاگرس [۴] حوضه‌ای با شرایط احیایی از شمال‌شرق تا درون فروافتادگی دزفول، از

* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (rahimpor@ut.ac.ir)

پایینی برای تولید هیدروکربن از خود نشان می‌دهد. در برخی مناطق می‌تواند پتانسیل لازم برای تولید هیدروکربن را داشته باشد، اما اغلب در مراحل اولیه بلوغ قرار دارد [۷]. در واقع سازند گورپی به‌عنوان یک سنگ منشأ فرعی در میادین فروافتادگی دزفول ایفای احتمالی در میدان نفتی گچساران می‌باشد. نقش می‌کند [۷]، [۸].

هدف اصلی پژوهش فعلی ارزیابی ژئوشیمیایی آلی و مقایسه توان هیدروکربن‌زایی سازندهای پابده و گورپی به‌عنوان سنگ‌های منشأ احتمالی در میدان نفتی گچساران می‌باشد.

جدول ۱ | پارامترهای حاصل از آنالیز راک اول سازندهای پابده و گورپی

سازند	چاه	عمق	S ₁	S ₂	T max	PP	PI	HI	OI	TOC
پابده	۵۵	۱۹۹۰	۰/۳۶	۰/۹۹	۴۲۷	۱/۳۵	۰/۲۷	۳۴۱	۱۴۰	۰/۲۹
پابده	۵۵	۲۰۰۱	۰/۸۹	۱/۲۳	۴۲۹	۲/۱۲	۰/۴۲	۲۱۲	۱۲۱	۰/۵۸
پابده	۵۵	۲۰۱۲	۰/۵۱	۱/۲۱	۴۲۹	۱/۷۲	۰/۳۰	۱۷۸	۲۳۱	۰/۶۸
پابده	۵۵	۲۰۲۵	۰/۹۹	۲/۵۹	۴۲۸	۳/۵۸	۰/۲۸	۲۳۳	۱۴۵	۱/۱۱
پابده	۵۵	۲۰۳۵	۱/۱۲	۵/۵۲	۴۲۹	۶/۶۴	۰/۱۷	۴۴۵	۱۱۱	۱/۲۴
پابده	۵۵	۲۰۴۱	۱/۴۱	۸/۹۳	۴۲۹	۱۰/۳۴	۰/۱۴	۵۵۸	۳۹	۱/۶۰
پابده	۵۵	۲۰۴۸	۱/۴۹	۶/۴۰	۴۳۰	۷/۸۹	۰/۱۹	۴۳۲	۶۰	۱/۴۸
پابده	۵۵	۲۰۵۹	۱/۸۱	۶/۲۴	۴۲۹	۸/۰۵	۰/۲۲	۴۳۹	۶۲	۱/۴۲
پابده	۵۵	۲۰۷۶	۱/۱	۷/۷۵	۴۲۸	۸/۸۵	۰/۱۲	۳۵۶	۱۰۰	۲/۱۸
پابده	۵۵	۲۰۸۵	۱/۴۵	۸/۶۳	۴۳۰	۱۰/۰۸	۰/۱۴	۴۶۱	۹۸	۱/۸۷
پابده	۵۵	۲۰۹۶	۱/۲۶	۵/۷۷	۴۳۰	۷/۰۳	۰/۱۸	۲۹۱	۸۷	۱/۹۸
پابده	۵۵	۲۱۰۶	۱/۶۱	۸/۷۳	۴۳۱	۱۰/۳۴	۰/۱۶	۳۸۱	۲۴۱	۲/۲۹
پابده	۵۵	۲۱۱۴	۰/۸۱	۲/۱۲	۴۳۲	۲/۹۳	۰/۲۸	۱۹۱	۱۵۰	۱/۱۱
پابده	۵۵	۲۱۲۱	۱/۴۶	۱/۹۷	۴۲۹	۲/۴۳	۰/۱۹	۱۵۸	۵۶	۱/۲۵
پابده	۵۵	۲۱۳۲	۱/۳۱	۸/۶۳	۴۳۱	۹/۹۴	۰/۱۳	۴۵۷	۶۳	۱/۸۹
پابده	۵۵	۲۱۴۷	۱/۵۱	۵/۷۷	۴۳۲	۷/۲۸	۰/۲۱	۲۳۶	۵۰	۲/۴۵
پابده	۵۵	۲۱۶۳	۰/۹۱	۴/۵۴	۴۳۱	۵/۴۵	۰/۱۶	۳۵۵	۱۲۹	۱/۲۸
پابده	۵۵	۲۱۷۲	۰/۸۱	۳/۷۸	۴۳۲	۴/۵۹	۰/۹۶	۱۳۱	۱۰۰	۲/۸۹
پابده	۵۵	۲۱۸۲	۰/۶۵	۱/۲۱	۴۳۰	۱/۸۶	۰/۳۵	۴۷	۱۵۹	۲/۵۸
پابده	۵۵	۲۱۹۵	۰/۴۹	۰/۹۸	۴۳۱	۱/۴۷	۰/۳۳	۸۸	۱۸۹	۱/۱۲
پابده	۸۳	۱۶۶۰	۰/۴۵	۱/۴۲	۴۳۰	۱/۸۷	۰/۲۴	۳۲۳	۱۲۸	۰/۴۴
پابده	۸۳	۱۷۰۰	۰/۴۹	۲/۲۵	۴۳۱	۲/۷۴	۰/۱۸	۵۰۰	۹۸	۰/۴۵
پابده	۸۳	۱۷۴۰	۰/۷۴	۳/۸۹	۴۳۰	۴/۶۳	۰/۱۶	۳۹۳	۸۷	۰/۹۹
پابده	۸۳	۱۷۸۰	۰/۵۵	۳/۵۴	۴۲۹	۴/۰۹	۰/۱۳	۱۳۷	۱۱۱	۲/۵۹
پابده	۸۳	۱۸۰۰	۰/۶۳	۲/۲۲	۴۳۰	۲/۸۵	۰/۲۲	۱۷۳	۱۲۹	۱/۲۸
پابده	۸۳	۱۸۲۰	۰/۳۸	۰/۷۶	۴۳۱	۱/۱۴	۰/۳۳	۲۹۲	۲۰۴	۰/۲۶
پابده	۸۳	۱۸۴۰	۰/۵۸	۱/۵۵	۴۳۱	۲/۱۳	۰/۲۷	۱۵۷	۱۵۲	۰/۹۹
گورپی	۵۵	۲۱۹۷	۰/۵۵	۱/۱۱	۴۳۱	۱/۶۶	۰/۳۳	۲۶۴	۱۵۹	۰/۴۲
گورپی	۵۵	۲۲۲۵	۰/۴۵	۰/۸۷	۴۳۲	۱/۳۲	۰/۳۴	۱۷۸	۱۲۴	۰/۴۹
گورپی	۵۵	۲۲۴۴	۰/۵۶	۰/۹۳	۴۳۳	۱/۴۹	۰/۳۸	۹۴	۱۴۵	۰/۹۹
گورپی	۵۵	۲۲۷۰	۰/۸۵	۱/۳۳	۴۳۳	۲/۱۸	۰/۳۹	۲۰۲	۹۸	۰/۶۶
گورپی	۵۵	۲۲۸۴	۰/۶۹	۱/۵۹	۴۳۴	۲/۲۸	۰/۳۰	۲۱۲	۷۹	۰/۷۵
گورپی	۵۵	۲۳۳۱	۰/۸۴	۱/۴۲	۴۳۵	۲/۲۶	۰/۳۷	۱۲۸	۷۴	۱/۱۱
گورپی	۸۳	۱۹۰۰	۰/۴۲	۱/۲۲	۴۳۲	۱/۶۴	۰/۲۶	۱۱۰	۲۸۷	۱/۱۱
گورپی	۸۳	۱۹۲۰	۰/۶۳	۱/۵۹	۴۳۲	۲/۲۲	۰/۲۸	۲۱۲	۳۵۶	۰/۷۵

۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

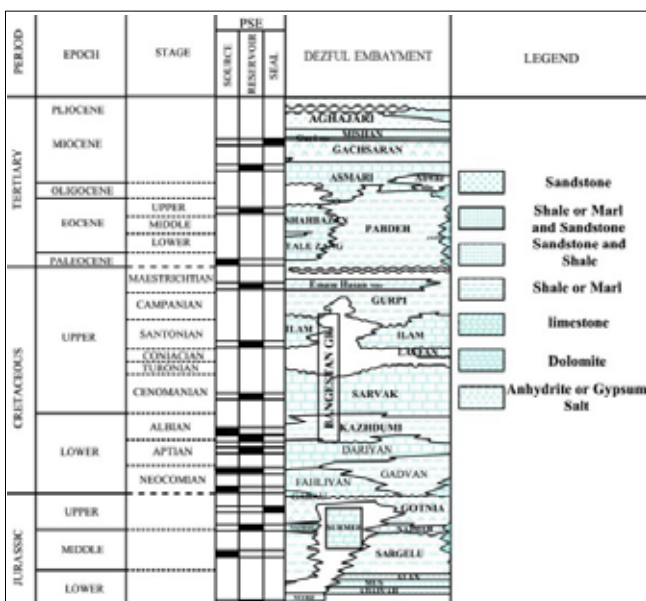
فروافتادگی دزفول واقع در کمربند چین‌خورده-رانده زاگرس که میزبان میداین نفتی متعددی از جمله میدان عظیم نفتی گچساران است، دربرگیرنده توالی‌های رسوبی ضخیمی از مزوزوئیک تا سنوزوئیک می‌باشد و به‌علت اهمیت بالای این منطقه از لحاظ منابع و ذخایر

هیدروکربونی، در بین دیگر مناطق هیدروکربونی ایران بیشترین مطالعه را به‌خود اختصاص داده است [۸]. این حوضه هیدروکربونی منطقه‌ای به‌وسعت ۶۰۰۰۰ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد و حاوی ۴۵ میدان نفتی با ذخیره نفت درجای بیش از ۳۶۰ میلیارد بشکه، مطابق با ۸ درصد از کل ذخایر نفتی جهان می‌باشد [۲].

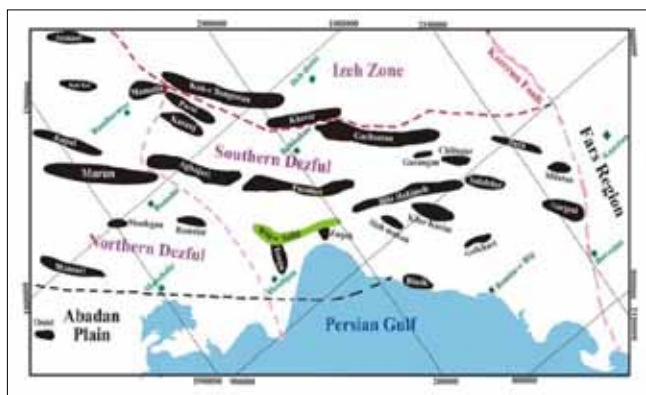
میدان عظیم نفتی گچساران واقع در فروافتادگی دزفول، به شکل تاقدیس نامتقارن [۹] و دارای طول تقریبی ۶۵ کیلومتر است (شکل ۲-۱) که حداکثر عرض آن به وسعت ۹ کیلومتر در انتهای جنوب شرقی میدان واقع شده است [۱۰]. این میدان در بخش شمالی جنوب فروافتادگی دزفول، در مجاورت گسل جبهه کوهستان و با فاصله حدود ۲۰۰ کیلومتری از شهر اهواز، واقع شده است [۸].

۲- مواد و روش‌ها

در این مطالعه در مجموع تعداد ۲۹ و ۸ نمونه خرده حفاری به ترتیب از سازندهای پاینده و گورپی از دو چاه ۵۵ و ۸۳ با استفاده از روش پیرولیز راک اول مورد ارزیابی ژئوشیمیایی برای دست‌یابی به پارامترهایی از قبیل کمیت، کیفیت و بلوغ حرارتی قرار گرفت. در جدول ۱- پارامترهای حاصل از این آنالیز برای این دو سازند نشان داده شده است. یکی از پارامترهای مهم حاصل از این ارزیابی عبارتند از S_1 که با واحد میلی گرم هیدروکربن در هر گرم سنگ (mg HC/g rock) بیان می‌شود و نشان‌دهنده هیدروکربورهای تولیدی یا آزاد موجود در سنگ منشأ می‌باشد که در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌صورت پیک S_1 ثبت می‌شوند. در دمای ۳۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد پیک S_2 که به صورت میلی گرم هیدروکربور در هر گرم سنگ (mg HC/g rock) بیان می‌شود، ثبت می‌گردد و نشان‌دهنده پتانسیل تولید هیدروکربن باقیمانده در کروژن و یا به عبارتی مقدار هیدروکربن‌های تولیدی در اثر شکست حرارتی کروژن بوده و به‌عنوان شاخص مقدار هیدروژن همراه با کروژن موجود در رسوب استفاده می‌شود. در طول حرارت دادن نمونه از دمای ۳۰۰ تا ۳۹۰ درجه سانتی‌گراد، دی‌اکسید کربن حاصله از نمونه اندازه‌گیری می‌شود و به‌عنوان پیک S_3 ثبت می‌گردد. S_3 که با واحد میلی گرم دی‌اکسید کربن در هر گرم سنگ (mg CO_2 /gram rock) بیان می‌شود، به‌عنوان شاخص مقدار اکسیژن همراه با کروژن استفاده می‌گردد. علاوه بر این، شاخص هیدروژن، HI، با فرمول $S_2/TOC \times 100$ بیان می‌شود، شاخص اکسیژن، OI، با فرمول $T \max S_3/TOC \times 100$ به‌عنوان حداکثر درجه حرارتی که پیک S_2 ثبت می‌شود، و مقدار کل کربن آلی (TOC) از دیگر پارامترهای مهم می‌باشند که به کمک پیرولیز راک-ایول به‌دست می‌آیند [۹]. همچنین



شکل ۱ | ستون چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه [۸].



شکل ۲ | موقعیت میدان نفتی گچساران [۱۱].

شماره چاه	سازند	عمق (متر)	کمینه انعکاس %	بیشینه انعکاس %	میانگین انعکاس %
۵۵	پایده	۲۰۰۰	۰/۲۵	۰/۴۴	۰/۳۸
۸۳	پایده	۱۷۴۰	۰/۲۸	۰/۴۹	۰/۳۲

از پارامترهای دیگر از قبیل، مقادیر S_2 در کنار مقادیر TOC به عنوان شاخصی برای ارزیابی پتانسیل تولید هیدروکربور استفاده می‌شود [۹]. همانطور که در نمودار TOC در مقابل S_2 (شکل-۴) مشخص است، بر اساس مقادیر S_2 سازند پابده در طیف وسیعی از پتانسیل تولید هیدروکربور از ضعیف (Poor) تا خوب (Very good) قرار می‌گیرد. همچنین، سازند گورپی بر اساس مقادیر کل کربن آلی (TOC) از لحاظ کمیت یا غنای ماده آلی و لذا از لحاظ پتانسیل هیدروکربورزایی در سطح ضعیف (Poor) تا خوب (Good) قرار می‌گیرد. اما، بر اساس مقادیر S_2 سنگ منشأیی با پتانسیل ضعیف هیدروکربورزایی محسوب می‌شود. به این معنی که اگرچه این سازند عمدتاً در سطح مطلوبی از میزان کل ماده آلی (TOC) قرار دارد، اما از توانایی ضعیفی برای تولید هیدروکربور برخوردار است. این تفاوت در پتانسیل هیدروکربورزایی سازندهای پابده و گورپی بر حسب مقادیر کل کربن آلی (TOC) و پارامتر S_2 را می‌توان به حضور کربن آلی خنثی (Inert) یا غیرتولیدی در این سازندها نسبت داد. با این تفاوت که سازند گورپی حاوی مقادیر بیشتری از این ماده آلی مرده (Dead) می‌باشد و از این رو نسبت به سازند پابده، پتانسیل هیدروکربورزایی کمتری دارد.

همچنین از نمودار مقدار کل ماده آلی (TOC) در مقابل پتانسیل ژنتیکی ($PP=S_1+S_2$) (شکل-۵) به منظور بررسی توان هیدروکربورزایی سازندهای پابده و گورپی استفاده شد. بر این اساس، نمونه‌های سازند پابده نسبت به سازند گورپی پتانسیل هیدروکربورزایی بیشتری دارند. علاوه بر این، همانطور که به وضوح در این شکل مشخص است، مقادیر پارامترهای سازند پابده نوسانات زیادی را نشان می‌دهند. این شرایط را می‌توان به وجود پیشروی و پسروی‌های متعدد آب دریا هنگام نهشته شدن این سازند نسبت داد. در مقابل، می‌توان گفت سازند گورپی

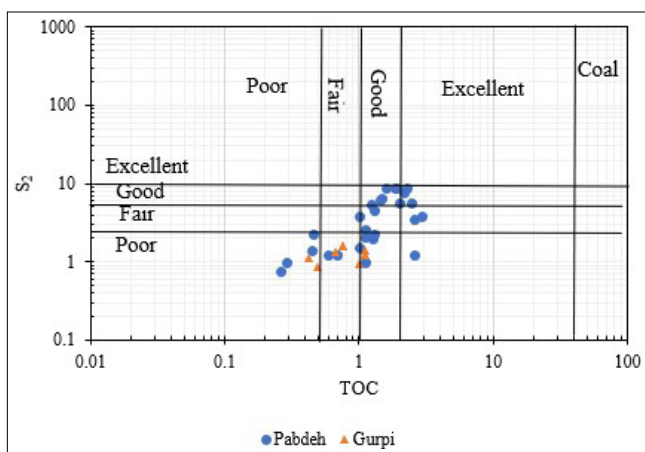
به منظور ارزیابی دقیق بلوغ حرارتی سازند پابده، مقادیر انعکاس و تیرینایت تعداد ۲ نمونه از این سازند مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

۳- بحث و بررسی

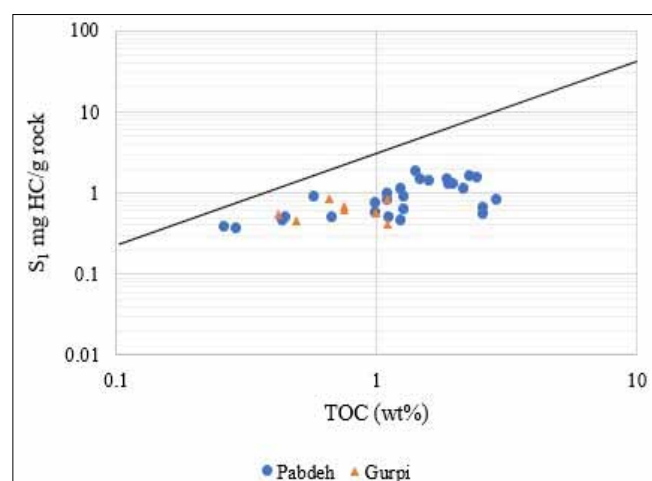
در انجام یک فرایند ارزیابی سنگ منشأ قابل اعتماد، تشخیص هیدروکربن‌های برجها و احتمال آلودگی نمونه‌ها با حضور هیدروکربن‌های مهاجرت کرده امری مهم است [۱۲] چراکه در صورت آلودگی نمونه‌ها نتایج به دست آمده از آنها غیرقابل اعتماد خواهد بود. رسم نمودار S_1 در مقابل TOC [12] عدم آلودگی نفتی تمام نمونه‌های هر دو سازند پابده و گورپی و به عبارتی برجها بودن هیدروکربور موجود در آنها را نشان می‌دهد.

۳-۱- تعیین کمیت یا غنا و پتانسیل تولید هیدروکربور ماده آلی

به طور معمول از مقدار کل ماده آلی^۱ (TOC) به عنوان شاخص غنای ماده آلی و پتانسیل تولید هیدروکربور در رسوبات استفاده می‌شود [۱۳]. بر اساس تقسیم‌بندی [۱۴] نمونه‌های با مقدار کل ماده آلی (TOC) کمتر از ۰/۵، ۰/۵ تا ۱، ۱ تا ۲ و بیش از ۲ درصد وزنی از لحاظ غنای ماده آلی به ترتیب در محدوده ضعیف (Poor)، مناسب (Fair)، خوب (Good) و خیلی خوب (Very good) قرار می‌گیرند. مقادیر محاسبه شده کل ماده آلی (TOC) برای سازند پابده (۰/۲۶ تا ۲/۸۹) نشان از قرارگیری این سازند از لحاظ کمیت ماده آلی در طیف وسیعی از ضعیف (Poor) تا خیلی خوب (Very good) و مقادیر محاسبه شده برای سازند گورپی (۰/۴۲ تا ۰/۱۱) نشان از قرارگیری این سازند از لحاظ غنای ماده آلی در محدوده ضعیف تا خوب می‌باشد. با این حال، استفاده از مقادیر TOC به تنهایی برای ارزیابی پتانسیل سنگ‌های منشأ کافی نمی‌باشد و معمولاً



شکل ۴ | نمودار TOC در برابر S_2 نشان‌دهنده توان هیدروکربورزایی سازندهای پابده و گورپی (با تغییر از [۱۵]).



شکل ۳ | نمودار S_1 در مقابل TOC برای اطمینان از عدم آلودگی نفتی نمونه‌ها [۱۲].

تحت شرایط پایداری از محیط رسوبی نهشته شده است. مطابق با این نمودار، سازند پابده دارای پتانسیل هیدروکربون‌زایی ضعیف (Poor) تا خوب (Good) و سازند گورپی دارای پتانسیل ضعیف (Poor) تا مناسب (Fair) می‌باشد. بنابراین، با توجه به این نمودار سازند گورپی هم دارای توانایی تولید هیدروکربن می‌باشد و سنگ منشأی فرعی محسوب می‌شود.

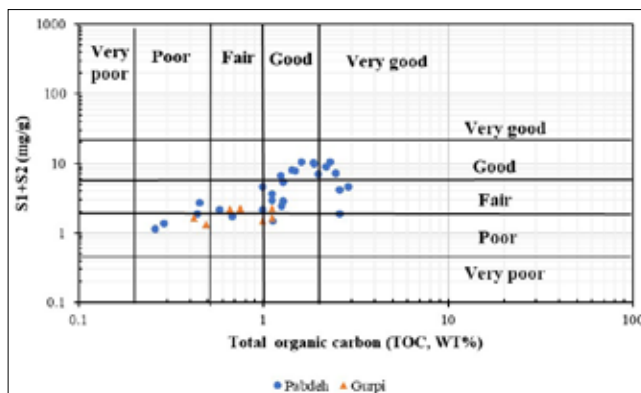
همچنین در نمودار S_1 در مقابل S_2 (شکل-۶)، بیشتر بودن مقادیر S_2 (به‌عنوان پتانسیل تولید هیدروکربن باقی‌مانده در کروژن) در سازند پابده، پتانسیل هیدروکربورزایی بیشتر این سازند را نسبت به سازند گورپی نشان می‌دهد.

۲-۳- نوع کروژن و کیفیت ماده آلی

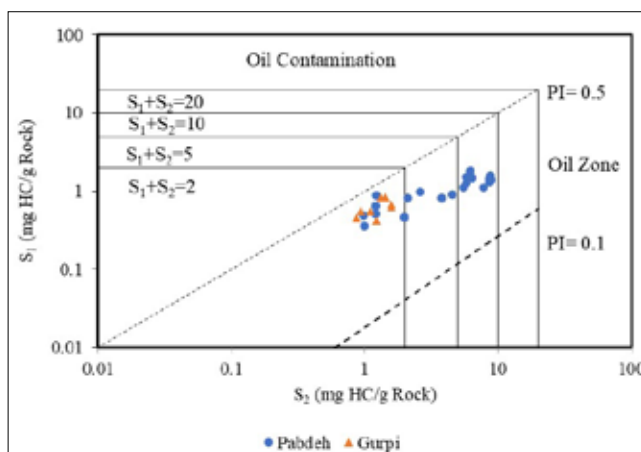
از آنجایی که ویژگی، ترکیب، کمیت و کیفیت هیدروکربن‌های تولیدی با نوع ماده آلی کنترل می‌شوند [۱۶]، تعیین نوع کروژن در سنگ‌های منشأ بالقوه (Potential) امری مهم محسوب می‌شود [۱۷]. نوع ماده آلی فاکتور مهمی در تعیین نفت‌زا یا گاززا بودن سنگ منشأ محسوب می‌شود [۱۶] که می‌توان از پارامترهای حاصل از آنالیز راک اول برای تعیین آن استفاده کرد [۱۸]. برای پی‌بردن به نوع کروژن از نمودارهای شاخص هیدروژن (HI) در مقابل شاخص اکسیژن (OI) (شکل-۷)، HI در مقابل T max (شکل-۸) و همچنین، نمودار TOC در برابر S_2 (شکل-۹) و از نمودار TOC در برابر HI (شکل-۱۰) برای تعیین کیفیت و به‌عبارتی نوع هیدروکربور تولیدی از این دو سازند استفاده شد. بر این اساس، سازند پابده طیف وسیعی از انواع مختلف کروژن را از نوع II، مخلوط II و III، نوع III و یک نمونه از آن نوع IV را نشان می‌دهد که گویای این است که این سازند در شرایط بسیار متغیری از محیط رسوبی و در پیشروی و پسروی‌های متعدد آب دریا نهشته شده است. در مقابل، کروژن سازند گورپی نوع مخلوط II و III و نوع III تعیین شد. همچنین، همانطور که در شکل‌های ۹- و ۱۰ مشخص است، سازند پابده نسبت به سازند گورپی، نفت‌زاتر می‌باشد.

۳-۳- تعیین رخساره آلی

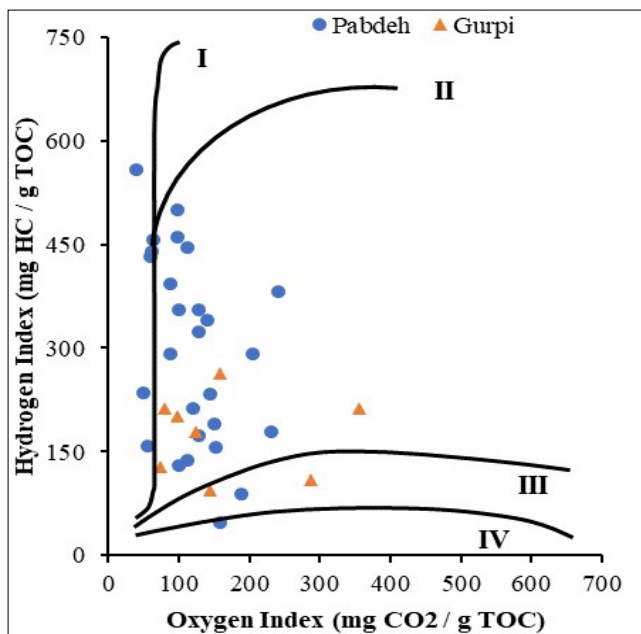
برای تعیین رخساره آلی از شکل-۱۱ استفاده شد. در این نمودار بخش A نشان‌دهنده محیط دریاچه‌ای به‌شدت احیایی، بخش B: محیط دریاچه‌ای یا دریایی نسبتاً احیایی، بخش BC: محیط‌های حاوی هم مواد آواری و هم دریایی نیمه‌اکسیدی با نرخ رسوب‌گذاری بالا، بخش C: محیط‌های احیایی با نرخ رسوب‌گذاری متوسط، بخش CD: محیط‌های عمیق مجاور مناطق کوه‌زایی و بخش D: محیط‌های قاره‌ای



شکل ۵ | نمودار S_1+S_2 در مقابل TOC نشان‌دهنده توان هیدروکربن‌زایی سازندهای پابده و گورپی



شکل ۶ | نمودار S_1 در برابر S_2 نشان‌دهنده توان هیدروکربن‌زایی سازندهای پابده و گورپی



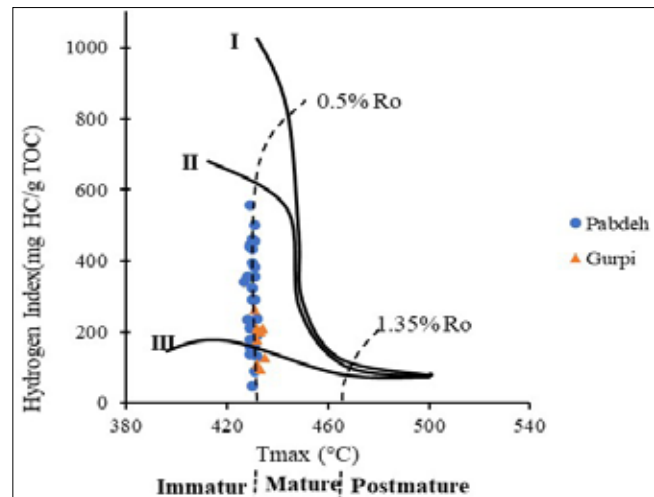
شکل ۷ | نمودار HI در مقابل OI برای تشخیص نوع کروژن سازندهای پابده و گورپی [۱۹].

به شدت اکسیدان می‌باشند [۲۰]. ترسیم نمودار جونز برای سازند پابده و قرارگیری این سازند در محدوده رخساره‌های C، B+BC، و CD حاکی از طیف وسیعی از رخساره آلی برای این سازند و به عبارتی نهشته شدن این سازند تحت شرایط بسیار متغیری از محیط رسوبی می‌باشد. همچنین، تغییرات رخساره آلی در سازند گورپی نسبت به سازند پابده کمتر است و به طور کلی این سازند در محدوده C و CD قرار می‌گیرد.

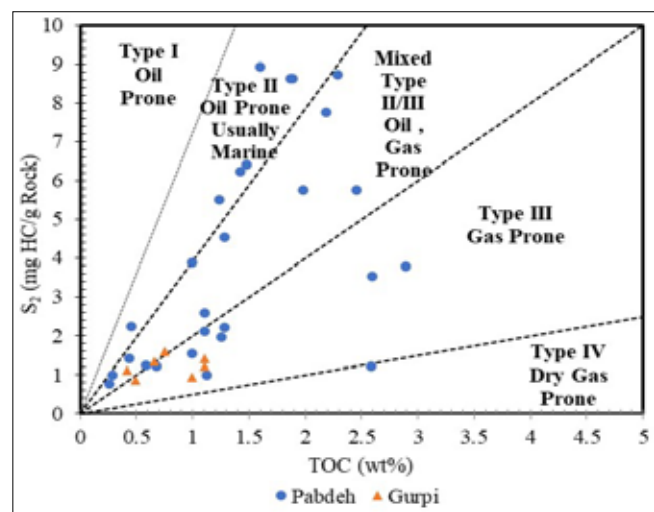
۴-۳- بلوغ حرارتی

به دلیل اینکه تولید هیدروکربن به تکامل حرارتی ماده آلی بستگی دارد، در فرایند ارزیابی سنگ منشأ تعیین بلوغ حرارتی ماده آلی فرایندی بسیار مهم می‌باشد [۱۷]. می‌توان به کمک نمودار T_{max} در برابر شاخص تولید (PI) تکامل حرارتی ماده آلی را ارزیابی کرد (شکل ۱۲-۹). T_{max} پارامتر اصلی حاصل از آنالیز راک اول برای ارزیابی بلوغ حرارتی می‌باشد [۵]. با این حال، به طور کلی، مقادیر T_{max} کمتر از ۴۳۵ درجه سانتی گراد شاخص کروژن نابالغ و مقادیر بیش از ۴۶۰ درجه سانتی گراد پایان پنجره نفت‌زایی و آغاز زون تولید گازتر را نشان می‌دهد [۱۹]. ذکر این نکته ضروری است که برای اینکه مقادیر T_{max} محاسبه شده قابل اعتماد باشند، باید مقادیر S_2 بیش از ۰/۲ (میلی گرم هیدروکربن بر هر گرم سنگ) باشد [۱۴]. از این رو، با توجه به مقادیر محاسبه شده بیش از ۰/۲ برای تمام نمونه‌های مورد مطالعه می‌توان به مقادیر T_{max} اندازه‌گیری شده اعتماد کرد. البته باید در نظر داشت که T_{max} علاوه بر بلوغ حرارتی به نوع کروژن هم بستگی دارد [۱۴]، [۱۸]، [۲۴]. شاخص تولید پارامتر دیگر حاصل از آنالیز پیرولیز راک ایول و مورد استفاده در تعیین بلوغ حرارتی می‌باشد، به طوری که مقادیر بیش از ۰/۱ و ۰/۴ به ترتیب نشان‌دهنده مرحله بالغ و فوق بالغ می‌باشد [۲۵]. همانطور که در نمودار T_{max} در برابر شاخص تولید (PI) (شکل ۱۰-۱) مشخص است، سازند پابده وارد پنجره نفت‌زایی نشده است؛ به عبارتی، به میزان بلوغ حرارتی مورد نیاز برای تولید هیدروکربور نرسیده است. در طرف مقابل، تعدادی از نمونه‌های سازند گورپی حاکی از ورود این سازند به اوایل زون پنجره نفتی و به عبارتی تولید هیدروکربور از این سازند می‌باشند که با توجه به قرارگیری سازند گورپی نسبت به سازند پابده در عمق بیشتر، بیشتر بودن بلوغ سازند گورپی نسبت به سازند پابده امری طبیعی است.

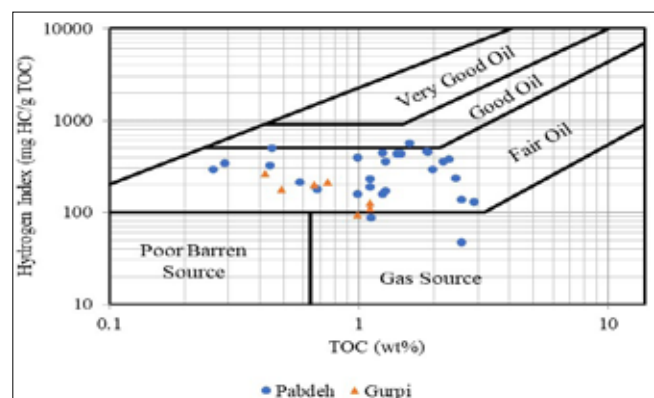
همچنین، در این مطالعه از داده‌های حاصل از پتروگرافی مواد آلی (میانگین انعکاس ویتربنایت) برای ارزیابی بلوغ حرارتی سازند پابده استفاده شد. افزایش در انعکاس ذرات ویتربنایت با افزایش زمان و دما برای اولین بار در زغال‌ها مشاهده شد و به عنوان ابزاری برای تعیین بلوغ



شکل ۸ | نمودار HI در مقابل T_{max} برای تشخیص نوع کروژن و بلوغ حرارتی سازندهای پابده و گورپی [۲۰].



شکل ۹ | نمودار TOC در برابر S_2 به منظور تعیین نوع کروژن سازندهای پابده و گورپی (با تغییر از [۲۱]).



شکل ۱۰ | نمودار TOC در برابر HI جهت تعیین کیفیت ماده آلی یا نوع هیدروکربور تولیدی از سازندهای پابده و گورپی [۲۲].

سازند پابده دارد. نوع کروژن موجود در این سازند، مخلوط II و III و نوع III تعیین شد.

۳- ترسیم نمودار T max در برابر شاخص تولید (PI) حاکی از عدم ورود سازند پابده به پنجره نفت‌زایی است. در طرف مقابل، تعدادی از نمونه‌های سازند گورپی حاکی از ورود این سازند به اوایل زون پنجره نفتی و به عبارتی تولید هیدروکربور از این سازند می‌باشند که با توجه به قرارگیری سازند گورپی نسبت به سازند پابده در عمق بیشتر، بیشتر بودن بلوغ سازند گورپی نسبت به سازند پابده، طبیعی است. همچنین، مقادیر اندازه‌گیری شده از میانگین انعکاس ویترنایت برای سازند پابده حاکی از بلوغ حرارتی کم این سازند می‌باشد.

۴- ترسیم نمودارهای TOC در مقابل S₂ و TOC در برابر S₁+S₂ نشان می‌دهد که اگرچه سازند گورپی از لحاظ مقادیر کل کربن آلی (TOC) سازندی با غنای ماده آلی در سطح ضعیف (Poor) تا خوب (Good) قرار می‌گیرد اما بر اساس مقادیر پارامتر S₂ و S₁+S₂ به ترتیب سازندی با پتانسیل هیدروکربن‌زایی ضعیف (Poor) و ضعیف (Poor) تا مناسب (Fair) محسوب می‌شود که دلیل آن را می‌توان به حضور مقادیر نسبتاً زیاد کربن آلی خنثی یا غیرتولیدی در سازند گورپی نسبت داد.

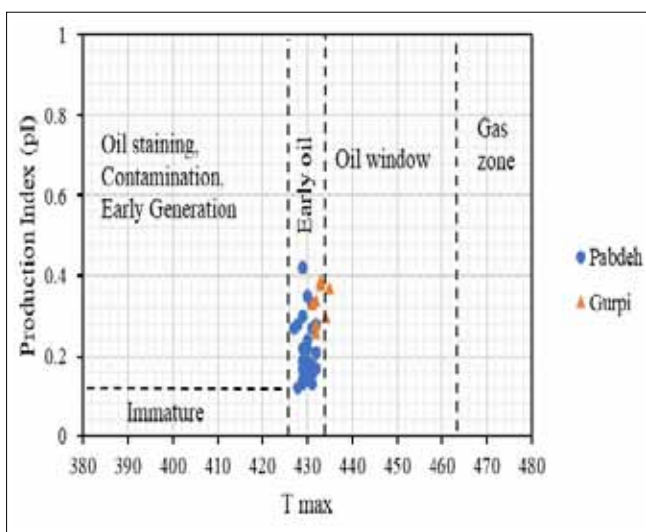
۵- در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت اگرچه سازند پابده نسبت به سازند گورپی از پتانسیل و کیفیت بالایی برای تولید هیدروکربور برخوردار است، اما به سطح لازم از بلوغ حرارتی برای تولید هیدروکربور نرسیده، در حالی که سازند گورپی وارد پنجره نفت‌زایی شده است. ■

حرارتی و درجه‌بندی زغال‌ها به کار گرفته شد [۲۶]. بعد از شناسایی ویترنایت به‌عنوان یک جزء در کروژن موجود در سنگ‌های منشاء، این افزایش سیستماتیک در انعکاس ویترنایت به تاریخچه تولید هیدروکربن رسوبات ارتباط داده شد و به‌عنوان شاخص بلوغ در ارزیابی‌های سنگ منشاء مورد استفاده قرار گرفت [۵]. به‌طور کلی، در بالای پنجره نفتی انعکاس ویترنایت برابر با ۰/۶٪ (T max= ۴۳۵) و در اوج پنجره نفتی در محدوده ۰/۶۵ تا ۰/۹ (T max) در محدوده ۴۴۵ تا ۴۵۰ می‌باشد [۲۴]، [۲۵]. از این رو، مقادیر به‌دست آمده از میانگین انعکاس ویترنایت برای دو نمونه از سازند پابده (۰/۳۲ و ۰/۳۸) بلوغ پایین و عدم ورود این سازند به پنجره نفت‌زایی را تأیید می‌کند.

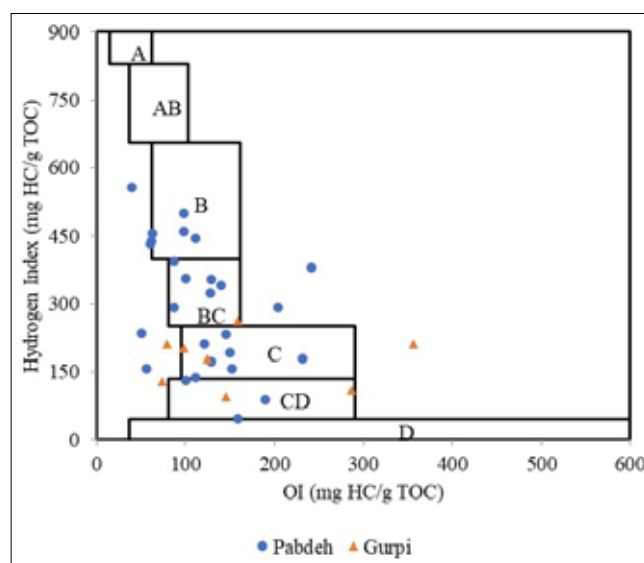
نتیجه‌گیری

۱- نتایج به‌دست آمده از آنالیز پیرولیز راکت‌اول نشان می‌دهد که سازند پابده در میدان نفتی گچساران از لحاظ کمیت ماده آلی و پتانسیل تولید هیدروکربن در محدوده ضعیف (Poor) تا خیلی خوب (Very good) و از لحاظ نوع ماده آلی طیف وسیعی از انواع مختلف کروژن، از نوع II، مخلوط II و III، نوع III و نوع IV (تنها یک نمونه) را شامل می‌شود که گویای نهشته شدن این سازند در شرایط بسیار متغیری از محیط رسوبی و در پیشروی و پسروی‌های متعدد آب دریا می‌باشد.

۲- همچنین نتایج نشان از توانایی بیشتر تولید نفت سازند پابده نسبت به سازند گورپی است. در مقابل، سازند گورپی از لحاظ پتانسیل هیدروکربورزایی در محدوده ضعیف (Poor) تا خوب (Good) قرار می‌گیرد و در مجموع، پتانسیل هیدروکربورزایی کمتری نسبت به



شکل ۱۲ | نمودار شاخص هیدروکربن‌زایی (PI) در برابر T max برای تعیین میزان بلوغ نمونه‌های سازند پابده و گورپی (با تغییر از [۲۷]).



شکل ۱۱ | نمودار جونز برای تعیین رخساره آلی سازندهای پابده و گورپی

1. Total organic carbon

منابع

- [1] M. L. Bordenave and J. A. Hegre, "Current distribution of oil and gas fields in the Zagros Fold Belt of Iran and contiguous offshore as the result of the petroleum systems," *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, vol. 330, no. 1, pp. 291–353, 2010.
- [2] M. Kamali, A. Fathi Mobarakabad, and E. Mohsenian, "Petroleum geochemistry and thermal modeling of Pabdeh Formation in Dezful Embayment," *J. Sci. (University Tehran)*, vol. 32, pp. 1–11, 2006.
- [3] M. L. Bordenave and J. A. Hegre, "The influence of tectonics on the entrapment of oil in the Dezful embayment, Zagros foldbelt, Iran," *J. Pet. Geol.*, vol. 24, pp. 339–368, 2005.
- [4] G. A. James and J. G. Wynd, "Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area," *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, vol. 49, no. 12, pp. 2182–2245, 1965.
- [5] A. Opera, B. Alizadeh, H. Sarafdokht, M. Janbaz, R. Fouladvand, and M. H. Heidarifard, "Burial history reconstruction and thermal maturity modeling for the middle cretaceous–early miocene petroleum System, southern Dezful Embayment, SW Iran," *Int. J. Coal Geol.*, vol. 120, pp. 1–14, 2013.
- [6] [شایسته مسعود، کمالی محمدرضا، ژئوشیمی نفت: مطالعه موردی از میدانی جنوب غرب ایران، انتشارات پژوهشگاه صنعت نفت، ۱۳۹۱.
- [7] B. Alizadeh, H. Sarafdokht, M. Rajabi, A. Opera, and M. Janbaz, "Organic geochemistry and petrography of Kazhdumi (Albian–Cenomanian) and Pabdeh (Paleogene) potential source rocks in southern part of the Dezful Embayment, Iran," *Org. Geochem.*, vol. 49, pp. 36–46, 2012.
- [8] B. Alizadeh, K. Maroufi, and M. Fajrak, "Hydrocarbon reserves of Gachsaran oilfield, SW Iran: Geochemical characteristics and origin," *Mar. Pet. Geol.*, vol. 92, pp. 308–318, 2018.
- [9] H. Dembicki, *Practical petroleum geochemistry for exploration and production*. Elsevier, 2016.
- [10] [زینل زاده، ا. معین پور م.، شایسته م.، حیدری فرد م.، "مدل سازی دوبعدی سیستم هیدروکربوری میدانی گچساران و بی بی حکیمه"، مجله پژوهش های چینه نگاری و رسوب شناسی، سال بیست و ششم، شماره پیاپی ۴۱، شماره چهارم، صفحات ۱۱۱ تا ۱۲۴، زمستان ۱۳۸۹.
- [11] [علیزاده ب.، جانباز م.، شایسته م.، حسینی باغسنگانی س.ح.، مطالعه ژئوشیمیایی و تأثیر کانی ماتریکس بر پتانسیل سنگ های منشأ احتمالی هنگام پیرولیز در میدان نفتی رگ سفید، جنوب غرب ایران، پژوهش های چینه نگاری و رسوب شناسی، شماره ۲۶، صفحه ۱–۱۶، ۱۳۸۸.
- [12] J. M. Hunt, *Petroleum geochemistry and geology*, vol. 2. WH Freeman New York, 1996.
- [13] Mahbobipour H, Kamali M R, Solgi, Ali., "Organic geochemistry and petroleum potential of Early Cretaceous Garau Formation in central part of Lurestan zone, northwest of Zagros, Iran," *Marin and Petroleum Geology*, 77, 9911009-.
- [14] K. E. Peters, "Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis," *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, vol. 70, no. 3, pp. 318–329, 1986.
- [15] H. Dembicki Jr, "Three common source rock evaluation errors made by geologists during prospect or play appraisals," *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, vol. 93, no. 3, pp. 341–356, 2009.
- [16] B. P. Tissot and D. H. Welte, *Petroleum Formation and Occurrence*. 1984.
- [17] E. Hosseiny, A. R. Rabbani, and S. A. Moallemi, "Source rock characterization of the Cretaceous Sarvak Formation in the eastern part of the Iranian sector of Persian Gulf," *Org. Geochem.*, vol. 99, pp. 53–66, 2016.
- [18] J. Espitalie, G. Deroo, and F. Marquis, "La pyrolyse Rock-Eval et ses applications. Deuxième partie." *Rev. l'Institut français du Pétrole*, vol. 40, no. 6, pp. 755–784, 1985.
- [19] J. Espitalié, J. L. Laporte, M. Madec, F. Marquis, P. Leplat, and J. Paulet, "Méthode rapide de caractérisation des roches mères, de leur potentiel pétrolier et de leu degree d'évolution," *Rev. l'Institut Français du Pétrole*, vol. 32, pp. 23–45, 1977.
- [20] P. Mukhupadhyay, "Organic facies and maturation of Jurassic/Cretaceous rocks, and possible oil-source rock correlation based on pyrolysis of asphaltenes, Scotian Basin, Canada," *Org. Geochem.*, vol. 22, pp. 85–104, 1995.
- [21] B. J. Katz and L. . Elrod, "Organic geochemistry of offshore California, Middle Miocene to Lower Pliocene strata," *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 47, pp. 389–396, 1983.
- [22] K. S. Jackson, P. . Hawkins, and A. J. R. Bennett, "REGIONAL FACIES AND GEOCHEMICAL EVALUATION OF THE SOUTHERN DENISON TROUGH, QUEENSLAND," *APPEA J.*, vol. 20(1), pp. 143–158, 1980.
- [23] R. . Jones, "Organic Facies. In: Brooks, J., Welte, D. (Eds.), *Advances in Petroleum Geochemistry*," *Acad. Press. New York*, pp. 1–90, 1987.
- [24] J. Espitalié, "Use of Tmax as a maturation index for different types of organic matter. Comparison with vitrinite reflectance," *Therm. Model. Sediment. basins*, vol. 44, pp. 475–496, 1986.
- [25] K. E. Peters and J. M. Moldowan, "The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments," 1993.
- [26] M. Teichmuller, "The genesis of coal from the viewpoint of coal petrology," *Int. J. Coal Geol.*, vol. 12, pp. 1–87, 1989.
- [27] T. K. Al-Ameri and J. Zumberge, "Middle and upper Jurassic hydrocarbon potential of the Zagross fold Belt, North Iraq," *Mar. Pet. Geol.*, vol. 36, no. 1, pp. 13–34, 2012.