

# ارزیابی ژئوشیمیایی پتانسیل هیدروکربن‌زایی سازند گورپی در حوضه خلیج فارس

- صادق براتی بلداجی<sup>۱</sup>، ابراهیم سفیداری<sup>(۱\*)</sup>، هوشنگ مهرابی<sup>۱</sup>، سید محمد زمانزاده<sup>۳</sup> و محمد حسن توکل<sup>۴</sup>
۱. کارشناس ارشد، گروه زمین‌شناسی نفت، پژوهشکده علوم پایه کاربردی، سازمان جهاد دانشگاهی شهید بهشتی، تهران، ایران
  ۲. استادیار، گروه زمین‌شناسی نفت، پژوهشکده علوم پایه کاربردی، سازمان جهاد دانشگاهی شهید بهشتی، تهران، ایران
  ۳. دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران
  ۴. دکتری سنجش از دور، پژوهشکده علوم پایه کاربردی، سازمان جهاد دانشگاهی شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۰

## چکیده

سازند گورپی در حوضه خلیج فارس به دلیل فرآیندهای مختلف زمین‌ساختی و رسوبی، تغییرات ژئوشیمیایی قابل توجهی از شرق به غرب حوضه نشان می‌دهد. این مطالعه بر اساس نتایج حاصل از پیرولیز راک‌ایول و بررسی انعکاس ویتترینایت به بررسی بخش‌های مستعد تولید هیدروکربن سازند گورپی به‌عنوان سنگ منشا احتمالی می‌پردازد. گسترش توزیع مقدار کل کربن آلی برای سازند بیان شده در گستره خلیج فارس نشان می‌دهد، این مقدار در اثر فرآیندهای تکتونیکی قدیمه از قبیل بلندای قدیمه قطر-فارس قرار داشته است. محتوای TOC در امتداد میدین فرزاد C و فروزان به سمت شمال غربی و همچنین به سمت شرق و عمان افزایش می‌یابد.

توزیع میانگین انعکاس ویتترینایت برای سازند گورپی در گستره خلیج فارس نشان می‌دهد، کمترین مقدار بلوغ در محدوده بالآمدگی قطر-فارس قرار می‌گیرد. با حرکت از بلندای قدیمه مذکور به سمت شمال غرب و شرق خلیج فارس مقدار بلوغ افزایش یافته و در شمال غرب به بیشترین مقدار خود می‌رسد که نشان می‌دهد سازند گورپی در ابتدای ورود به پنجره نفت‌زایی قرار دارد.

نتایج این مطالعه آشکار ساخت که سازند مذکور در برخی مناطق، در بالاترین مرحله بلوغ حرارتی خود و در ابتدای پنجره نفتی قرار دارد و در محل تاقدیس‌ها نقش عمده‌ای در تولید هیدروکربن مخازن خلیج فارس بازی نکرده است. نقش این سازند در محدوده ناودیس‌ها و مشارکت هر چند حداقلی در تولید هیدروکربن به‌خصوص در شمال غرب خلیج فارس نیاز به مطالعه بیشتر دارد.

واژه‌های کلیدی: حوضه خلیج فارس، سنگ منشا، گورپی

## مقدمه

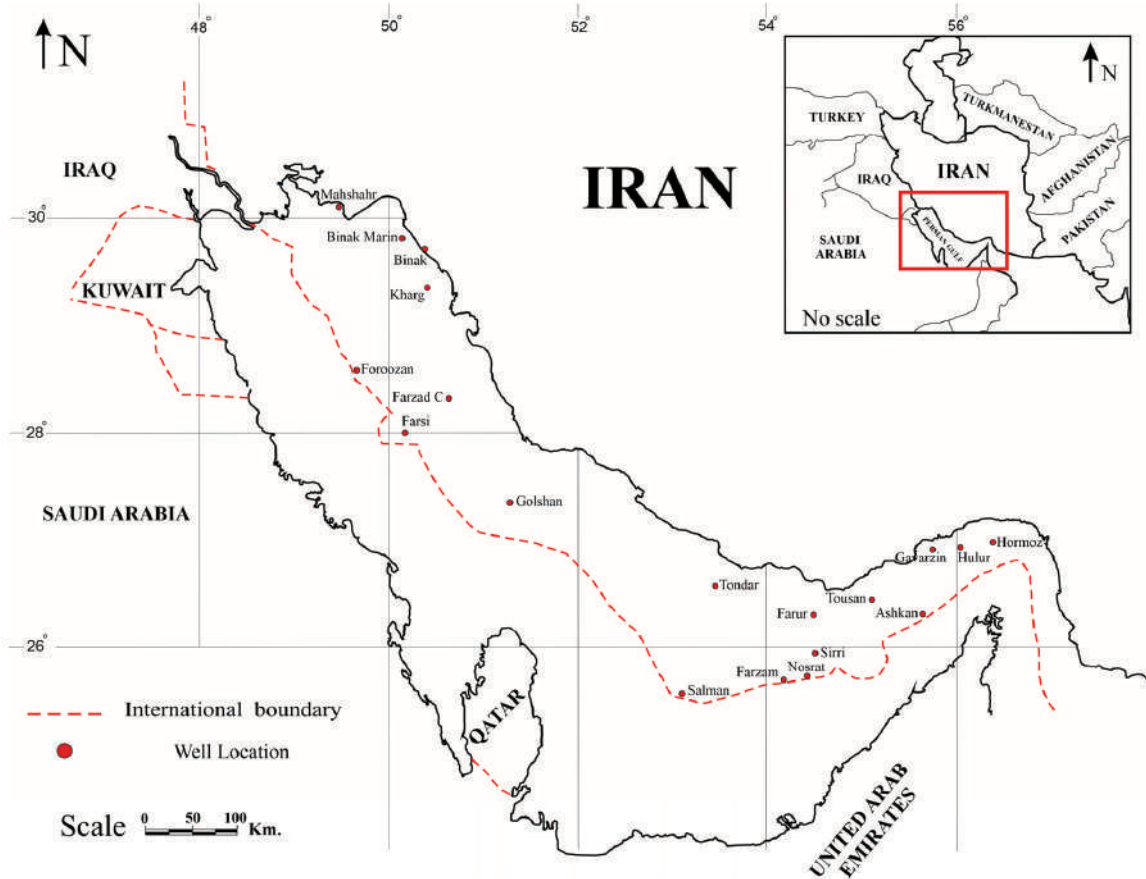
هیدروکربن و همچنین آشپزخانه نفتی در ارتباط با آن کمک کرده که این کار از اتلاف سرمایه در ادامه عملیات اکتشاف و تولید جلوگیری می‌کند (Hunt, 1996).

حوضه رسوبی خلیج فارس، از غنی‌ترین حوضه‌های هیدروکربنی جهان به شمار می‌آید. این حوضه محصور به خشکی‌های شرق عراق، جنوب و جنوب غرب ایران، شرق عربستان و سواحل امارات متحده عربی، قطر، بحرین و کویت می‌باشد و میداین هیدروکربنی فراوانی را دربر دارد. حوضه خلیج فارس به صورت یک فرونشست تکتونیکی کم عمق می‌باشد (Ghazban, 2007) که با مساحتی در حدود ۲۲۶ هزار کیلومتر مربع (Rabhani, 2013)، در بخش جنوبی چین خوردگی زاگرس در اواخر دوره ترشیاری تشکیل شده است. همچنین محور روند اصلی این حوضه در زمان پلیو-پلیستوسن و در اثر چین‌خوردگی زاگرس ایجاد شده است (Ghazban, 2007). ساختار حوضه خلیج فارس نامتقارن است. شیب آن در سواحل ایرانی بیشتر است و همچنین بالاترین عمق این حوضه نیز به سمت ایران است. عمق متوسط خلیج فارس ۳۵ متر و عمیق‌ترین بخش آن در نزدیکی مدخل ورودی تنگه هرمز در حدود ۱۰۰ متر است. در قسمت‌های ایرانی خلیج فارس، تقریباً ۱۵ میلیارد بشکه نفت قابل برداشت، شامل ۱۶ میدان در مخازن کربناته با سن ژوراسیک-کرتاسه و ترشیاری، انباشته شده است (Rabhani, 2013). خلیج فارس به علت لایه‌های رسوبی ضخیم و دارا بودن سنگ‌های منشا، مخزن و پوش سنگ مناسب، گسترش ناحیه‌ای و موقعیت استراتژیک و شرایط ژئوپلیتیکی خاص یکی از اقتصادی‌ترین حوضه‌های نفت و گاز ایران می‌باشد.

بخشی از نهشته‌های کرتاسه بالایی در حوضه زاگرس را سازندگوری گویند که در برش الگو از ۳۲۰ متر مارن‌های خاکستری تا آبی رنگ با میان لایه‌های نازک آهک رسی تشکیل شده است (James and Wynd, 1965; Darvishzadeh, 2009). هدف از انجام این مطالعه بررسی توان هیدروکربن‌زایی سازندگوری به‌عنوان سنگ منشا احتمالی در حوضه خلیج فارس در میداین فرزاد C، گلشن،

امروزه ژئوشیمی آلی در اکتشاف منابع هیدروکربنی نقش تعیین‌کننده‌ای را ایفا می‌کند. بنابراین اکثر شرکت‌های نفتی، تهیه نمودارهای ژئوشیمیایی را برای اکتشاف و تولید الزامی دانسته و بدون این اطلاعات اقدام به حفاری نمی‌کنند (Ramachandran et al., 2013). با توجه به این که در جریان اکتشاف هیدروکربن بدون اطلاعات ژئوشیمیایی کم و بیش از هر چند حلقه چاه فقط یکی از آن‌ها به نتیجه می‌رسد، می‌توان با داشتن این اطلاعات کاربردی از اتلاف سرمایه‌های عظیم جلوگیری کرد (Han et al., 2015). از آنجایی که علم ژئوشیمی نفت به‌عنوان یک علم نو و بنیادی برای بالا بردن بهره‌وری در اکتشاف و تولید است، بنابراین در سالیان اخیر با به‌کارگیری از تئوری‌ها، ورودی‌های مختلف ژئوشیمیایی، بسیاری از مشکلات مربوط به سنگ منشا، مهاجرت و تجمع نفت مورد بررسی قرار گرفت (England, 2007; Asadi Mehmandosti et al., 2012). عناصر سنگ منشا، سنگ مخزن و پوش سنگ و فرآیندهایی همانند زمان زایش، مهاجرت و نحوه به تله افتادن هیدروکربن در شکل‌گیری یک سیستم نفتی نقش اصلی را دارند (Tissot and Welte, 1984; Barati Boldaji et al., 2024). از اصلی‌ترین بخش‌های یک سیستم نفتی سنگ منشا می‌باشد. بنابراین شناسایی و ارزیابی وسعت آن در هر سیستم نفتی به وسیله ارزیابی ویژگی‌های مواد آلی و یا کروژن ضروری است (Kamali et al., 2006; Bordenave and Hegre, 2010) که شامل شناسایی سنگ‌های منشا احتمالی از طریق اندازه‌گیری مقدار کل ماده آلی موجود، کمیت و کیفیت و همچنین بلوغ حرارتی ماده آلی است (James and Wynd, 1965). از ساده‌ترین، سریع‌ترین و مهم‌ترین ابزار و روش‌های ژئوشیمیایی برای توصیف توان هیدروکربن‌زایی سنگ‌های منشا، می‌توان به پیرولیز راک‌ایول اشاره کرد (Hunt, 1996; Behar et al., 2001) که نتایج و اطلاعات مهم و کاربردی از میزان و نوع مواد آلی و همچنین بلوغ حرارتی آن‌ها و پتانسیل باقی مانده نمونه را بیان می‌کند. مطالعه کمیت، کیفیت و بلوغ مواد آلی یک سیستم نفتی، می‌تواند به شناسایی سنگ منشا مولد

بینک دریایی، خارگ، ماهشهر، توسن، اشکان و فروزان است که با ارزیابی مواد آلی و بلوغ حرارتی (میادین فارور، سلمان، تندر، فارسی، بینک، ماهشهر، اشکان، گورزین،



شکل ۱. موقعیت میادین مورد مطالعه سازند گورپی در حوضه خلیج فارس

## زمین شناسی منطقه

از جنبه ساختاری به صورت منشوری از ورقه‌های راندگی فلسی می‌باشد و از توالی‌های رسوبی نئوپروتوزوئیک بالایی و فانروزوئیک با ضخامتی در حدود ۷ تا ۱۲ کیلومتر ایجاد شده است (Alavi, 2004).

سازند گورپی در حوضه خلیج فارس به دلیل فرآیندهای مختلف زمین ساختی و رسوبی، تغییرات زمین شناسی قابل توجهی را تجربه کرده و از شرق به غرب حوضه دارای تغییرات اساسی می‌باشد. بررسی تغییرات زمین شناسی سازند گورپی در کل حوضه خلیج فارس به افزایش درک تکامل سیستم هیدروکربنی این سازند کمک می‌کند. برخورد سپر عربستان

کمبرند چین خورده رانده زاگرس با وسعتی در حدود ۲۰۰۰ کیلومتر از جنوب شرقی ترکیه به شمال سوریه و عراق تا غرب و جنوب غرب ایران، با میادین هیدروکربنی فراوان و عظیم موجود، غنی‌ترین کمربند چین خوردگی-راندگی جهان است. این کمربند چین خورده و رانده در نتیجه تغییر شکل ساختاری سامانه حاشیه‌ای (پروفورلندی) زاگرس است و شکل حال حاضر آن حوضه خلیج فارس و بین‌النهرین می‌باشد (Alavi, 2004).

این کمربند کوهزایی نتیجه برخورد ورقه‌ای آفریقایی-عربی و ورقه ایران است (Berberian and King, 1981).

شبه جزیره عربستان، سازند گورپی حرکات زمین‌ساختی ملایم‌تری را نسبت به شرق تجربه می‌کند، در نتیجه دارای لایه‌های رسوبی گسترده‌تر و یکنواخت‌تر می‌باشد و لایه‌های رسوبی بیشتر در مقایسه با ضلع شرقی نازک‌تر با غلبه رسوبات آواری هستند. این تغییر به دلیل نزدیکی به سپر عربی و تاثیر سیستم‌های رودخانه‌ای است و مقادیر قابل توجهی از رسوبات آواری را حمل کرده‌اند. زمین‌شناسی منطقه غربی با ماسه سنگ‌ها، سیلت سنگ‌ها و شیل‌ها مشخص می‌شود و منعکس کننده یک محیط رسوبی دلتایی یا رودخانه‌ای است (Konyuhov and Maleki, 2006).

به طور کلی، زمین‌شناسی سازند گورپی منعکس کننده یک روند از رسوبات کربنات ضخیم در شرق به لایه‌های نازک با غلبه آواری در غرب است که توسط فرآیندهای تکتونیکی و رسوبی متفاوت در سراسر خلیج فارس شکل گرفته و منعکس کننده تغییرات در محیط‌های رسوبی، از محیط‌های دریایی کم عمق به محیط‌های دلتایی و رودخانه‌ای می‌باشد. همچنین، منابع هیدروکربنی در این سازند در اثر فعالیت‌های تکتونیکی عمدتاً به صورت جانبی از شرق به غرب مهاجرت می‌کنند و به طور متوالی تله‌های بالقوه را در طول مسیر شارژ کرده‌اند (شکل ۲) (Talaie et al., 2023).

## روش مطالعه

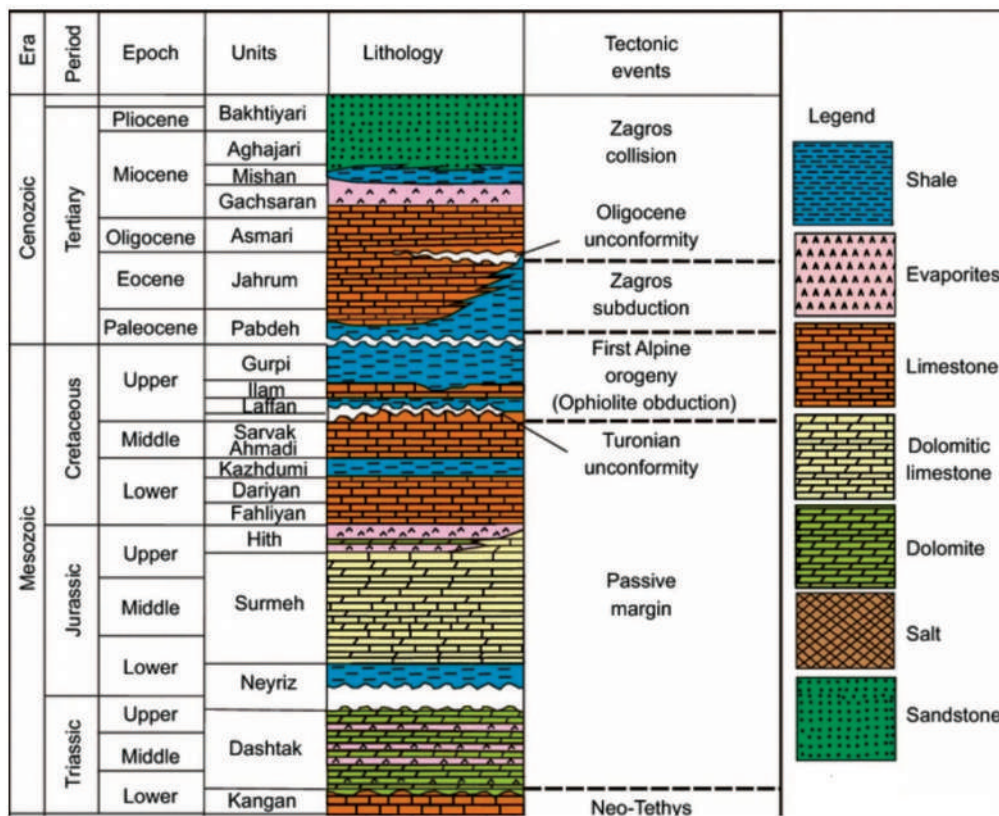
در این مطالعه به بررسی ارزیابی توان هیدروکربن‌زایی سازند گورپی در حوضه خلیج فارس، شامل ۸ میدان فرزاد C، گلشن، بینک دریایی، خارگ، ماهشهر، توسن، اشکان و فروزان با استفاده از نتایج پیرولیز راک‌ایول ۶ و همچنین ۱۵ میدان فارور، سلمان، تندر، فارسی، بینک، ماهشهر، اشکان، گورزین، هُلر، هرمز، نصرت، فرزام، سیری، خارگ و فروزان برای بررسی انعکاس و پترینایت و تعیین نقاط مستعد تولید هیدروکربن پرداخته می‌شود.

## پیرولیز راک‌ایول

آنالیز پیرولیز راک‌ایول، علاوه بر این که در حوضه اکتشاف نفت و گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد، امروزه کاربرد زیادی در ارزیابی پتانسیل هیدروکربن‌زایی سازندها دارد

و بلوک ایران در مرز مزوزوئیک/سنوزوئیک منجر به تشکیل کمر بند چین‌خورده زاگرس و پیش حوضه بین‌النهرین شده است، به صورتی که حوضه خلیج فارس و سازند گورپی در محل اتصال این صفحات تشکیل شده است. در سرتاسر دوره فانروزوئیک، حوضه خلیج فارس بخشی از حاشیه غیر فعال گندوانا است و منجر به تجمع لایه‌های رسوبی ضخیم کربناته و تبخیری شده است. در دوره پلیستوسن، سطح دریا به طور قابل توجهی کاهش یافت و باعث فرسایش دره‌های رودخانه‌ها و تشکیل سکوه‌های دریایی شد. این فرآیندهای زمین‌شناسی، در مجموع سازند گورپی و حوضه وسیع‌تر خلیج فارس را شکل داده‌اند. حرکات تکتونیکی از جمله چین‌خوردگی، گسلس و دیاپیرسم نمکی باعث تغییرات در توپوگرافی حوضه و در نتیجه بر رسوبات و ضخامت سازند گورپی شده است (Kassler, 1973).

تغییرات محیط رسوبی سازند گورپی از شرق به غرب نشان‌دهنده محیط‌های دریایی مختلف، از محیط‌های ساحلی کم‌عمق گرفته تا مناطق حوضه‌ای عمیق‌تر می‌باشد. این سازند در شرق خلیج فارس بیشتر از سنگ‌های کربناته شامل سنگ‌آهک و دولومیت تشکیل شده که نشان‌دهنده وجود یک محیط دریایی کم عمق در دوره کرتاسه پسین است (Alipour et al., 2021). با توجه به خواص مخزنی بسیار خوب سنگ‌های کربناته در این بخش و فعالیت تکتونیکی بالا که منجر به ایجاد تله‌های ساختاری متعددی شده است، این بخش شاهد مخازن هیدروکربنی بالایی می‌باشد. با حرکت به سمت غرب (خلیج فارس مرکزی)، سنگ‌شناسی سازند گورپی با حفظ غلبه کربنات‌ها، پیچیده‌تر شده و لایه‌های شیلی و مارن بین لایه‌ای به آن افزوده می‌شود. این منطقه به دلیل نوسانات سطح دریا و فرونشست زمین‌ساختی، محیط رسوبی متفاوتی را تجربه کرده است. وجود شیل‌ها و مارن‌ها نشان‌دهنده دوره‌های کاهش تولید کربنات است که احتمالاً به دلیل شرایط آب عمیق‌تر یا افزایش ورودی سیلیس آواری است. منطقه مرکزی همچنین شواهدی از تغییرات دیاژنتیکی، مانند دولومیتی شدن و سیمان شدن را نشان می‌دهد و می‌تواند بر کیفیت مخزن تاثیر بگذارد. در بخش غربی خلیج فارس، نزدیک



شکل ۲. ستون چینه‌شناسی کلی، از بخش ایرانی خلیج فارس (Mashhadi et al., 2015)

روش‌ها برای ارزیابی پتانسیل هیدروکربن‌زایی سنگ منشأ به‌شمار می‌آید، استفاده می‌شود (Behar et al., 2001). پیرولیز، حرارت دادن مواد آلی در نبود اکسیژن، برای تولید و آزاد شدن هیدروکربن از ماده آلی و همچنین پتانسیل هیدروکربن‌زایی باقی مانده در درجه حرارت‌های بالا و در مدت زمان کوتاه می‌باشد و به نوعی، تداعی کننده تولید هیدروکربن در مرحله کاتائز می‌باشد (Barker, 1974). از آنجایی که اولین قدم در ارزیابی‌های ژئوشیمیایی انتخاب و آماده‌سازی نمونه است، در این مطالعه هم این فرآیند برای آنالیز پیرولیز راکاییول و سنجش میزان TOC و  $T_{max}$  انجام شده است. در این پژوهش سعی شده که نمونه‌ها به گونه‌ای انتخاب شود که کل حوضه خلیج فارس را پوشش دهد.

پارامترهای اندازه‌گیری شده راکاییول شامل پیک‌های S1 (هیدروکربن آزاد موجود در سنگ)، S2 (هیدروکربن تولیدی حاصل از پیرولیز)، S3 (ترکیبات اکسیژن دار موجود در کروژن) و  $T_{max}$  (دمای بیشینه تولید S2) می‌باشد.

1. Total Organic Carbon: TOC

(Espitalié et al., 1984; Behar et al., 2001; Kobraei et al., 2019). همچنین پیرولیز راکاییول، سریع‌ترین و ساده‌ترین روش برای توصیف هیدروکربن‌زایی سنگ‌های منشأ می‌باشد (Page and Kuhnel, 1980; Hunt, 1996). روش پیرولیز راکاییول به‌صورت حرارت دادن ماده آلی در نبود اکسیژن است که برای تولید و آزاد شدن هیدروکربن از مواد آلی موجود انجام می‌شود (Barker, 1974). این روش به‌دلیل ساده و ارزان بودن و همچنین نیاز نداشتن به صرف مدت زمان زیاد برای اینکار، روش مناسبی برای ارزیابی سنگ منشأ است (Kamali and Ghorbani, 2006; Sfidari, 2024) که اطلاعات مهمی از نوع مواد آلی، کل کربن آلی (بر حسب درصد وزنی)، پتانسیل باقی مانده و تحول حرارتی مواد آلی را به ما نشان می‌دهد. از خرده‌های حفاری، مغزه‌ها و یا نمونه‌های سطحی برای انجام آنالیزهای ژئوشیمیایی می‌توان استفاده کرد (Bordenave, 1993). به‌منظور دستیابی به اطلاعات ژئوشیمیایی از دستگاه پیرولیز راکاییول ۶ که به‌علت بالا بودن دقت آنالیز از بهترین

S3 (برحسب میلی‌گرم دی اکسید کربن بر گرم سنگ) بیان می‌شود (Behar et al., 2001; Sfidari, 2024). این پارامتر کمیت مواد آلی موجود در نمونه‌ها را برای ارزیابی بیشتر بیان می‌کند. مواد آلی باقی مانده در سنگ در آن اکسیداسیون با نرخ ۲۰ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه تا دمای ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد حرارت می‌بیند و پارامترهای دیگری اندازه‌گیری می‌شود. مقدار کربن پسمانده یا پارامتر S4 در سیستم اکسیداسیون اندازه‌گیری می‌شود (Rabbani, 2013).

این آنالیزها بر روی نمونه‌های مورد مطالعه از میداین فرزاد C، گلشن، بینک دریایی، خارگ، ماهشهر، توسن، اشکان و فروزان در خلیج فارس برای ارزیابی توان هیدروکربن‌زایی، تعیین نوع کروژن و میزان پختگی و تعیین میزان بلوغ مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه تعداد ۴۳ نمونه خرده حفاری از سازندگوری با استفاده از روش پیرولیز راکایول برای رسیدن به پارامترهای کمیت، کیفیت و بلوغ مورد ارزیابی ژئوشیمیایی قرار گرفت. نتایج آنالیز راکایول در جدول ۱ آورده شده است.

#### اندازه‌گیری انعکاس ویتربینایت

ویتربینایت یک نوع ماسرال در سنگ‌های منشا، با منشا خشکی است که با بالا رفتن درجه بلوغ میزان انعکاس نور از سطح صیقلی شده ویتربینایت بیشتر می‌شود. بنابراین از بهترین روش‌های شناسایی اندازه بلوغ سنگ منشا می‌توان به انعکاس ویتربینایت اشاره کرد (Hunt, 1996; Dembicki, 2022). با استفاده از میکروسکوپ نوری انعکاسی<sup>۵</sup> مجهز به تجهیزات فتومالیتی‌پلایر<sup>۶</sup> و یک سیستم کامپیوتری متصل به آن و به روش اندازه‌گیری غوطه‌ور در روغن اندازه‌گیری مقادیر انعکاس ویتربینایت انجام می‌شود. در آغاز کار باید میکروسکوپ را کالیبره کرد که از قرص‌های استاندارد شیشه‌ای برای این کار استفاده می‌شود. سپس یک باریکه‌ای

همچنین پارامترهای دیگری همچون TOC، اندیس هیدروژن<sup>۱</sup> (که معرف مقدار هیدروکربنی است که می‌تواند با توجه به مقادیر مواد آلی موجود در سنگ منشا تولید شود)، اندیس اکسیژن<sup>۲</sup> (که بیانگر مقدار دی اکسید کربن تولید شده با توجه به مقدار ماده آلی موجود در سنگ منشا می‌باشد)، اندیس تولید<sup>۳</sup> (که نشان‌دهنده مقدار هیدروکربن تولید شده از سنگ منشا نسبت به کل هیدروکربنی است که سنگ منشا توانایی تولید داشته) و پتانسیل هیدروکربن‌زایی<sup>۴</sup> از نتایج پیک‌های اندازه‌گیری شده محاسبه می‌شوند (Espitalié et al., 1977; Behar et al., 2001; Hosseiny and Barati Boldaji, 2020; Dembicki, 2022).

دستگاه راکایول ۶ از کوره‌های پیرولیز و اکسیدان تشکیل شده است. پتانسیل تولید هیدروکربن نمونه‌های آماده شده به کمک کوره پیرولیز در شرایط محیطی خنثی و افزایش دما با یک برنامه حرارتی خاص، مورد بررسی قرار می‌گیرد (Barker, 1974; Barati Boldaji et al., 2024). در این روش آنالیز، حدود ۷۰ میلی‌گرم نمونه پودر شده از سنگ مورد مطالعه در یک محیط اتمسفری نیتروژن برای مشخص نمودن مقدار هیدروکربن‌های آزاد موجود در سنگ که با پیک S1 و همچنین پتانسیل باقی‌مانده که در صورت بالغ شدن توانایی تولید هیدروکربن را دارد که با پیک S2 بیان می‌شود تا دمای ۶۵۰ درجه با نرخ ۲۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه در آن پیرولیز در معرض حرارت قرار می‌گیرد. مقادیر هیدروکربن‌هایی که تا حرارت ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد آزاد شده تحت عنوان پارامتر S1 (برحسب میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ) بیان می‌شود. همچنین در اثر افزایش حرارت، مواد آلی موجود در سنگ در اثر پیرولیز تبدیل به هیدروکربن شده و با پارامتر S2 (برحسب میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ) اندازه‌گیری می‌شود.  $T_{max}$ ، درجه حرارتی است که در آن درجه بالاترین مقدار هیدروکربن تولید می‌شود و یک پارامتر مهم در ارزیابی بلوغ مواد آلی موجود در سنگ مورد مطالعه است. در دمای ۳۰۰ تا ۳۹۰ درجه سانتی‌گراد گروه‌های کربوکسیلی موجود در کروژن سنگ شکسته شده و به صورت CO<sub>2</sub> آزاد می‌شود که با پارامتر

1. Hydrogen Index:  $HI=100*S2/TOC$   
 2. Oxygen Index:  $OI=100*S3/TOC$   
 3. Production Index:  $PI=S1/(S1+S2)$   
 4. Petroleum Potential:  $PP=S1+S2$   
 5. Reflected Light Microscope  
 6. Photomultiplier

جدول ۱. نتایج آنالیز پیرولیز راک ایول نمونه‌های سازند گویبی در میادین مورد مطالعه حوضه خلیج فارس

Field	Depth (m.)	Petroleum potential (quantity)				Kerogen type (quality)		Thermal maturity		S1/TOC
		TOC	S1	S2	PP	HI	OI	T <sub>max</sub>	PI	
FARZAD C	۱۹۱۴-۱۷	۰/۲۰	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۶۰	۱۵۵	۲۶۰	۴۲۳	۰/۴۸	۱/۴۵
	۱۹۸۱-۸۷	۰/۳۱	۰/۴۳	۰/۵۱	۰/۹۴	۱۶۵	۳۳۹	۴۲۴	۰/۴۶	۱/۳۹
	۲۰۰۶-۰۹	۲/۹۴	۲/۱۲	۴/۵۹	۶/۷۱	۱۵۶	۵۹	۴۱۳	۰/۳۲	۰/۷۲
	Max	۲/۹۴	۲/۱۲	۴/۵۹	۶/۷۱	۱۶۵	۳۳۹	۴۲۴	۰/۴۸	۱/۴۵
	Ave	۱/۱۵	۰/۹۵	۱/۸۰	۲/۷۵	۱۵۹	۲۱۹	۴۲۰	۰/۴۲	۱/۱۹
	Min	۰/۲۰	۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۶۰	۱۵۵	۵۹	۴۱۳	۰/۳۲	۰/۷۲
GOLSHAN	۷۵۰-۶۰	۰/۴۲	۰/۲۷	۱/۲۱	۱/۴۸	۲۸۸	۲۶۹	۴۵۲	۰/۱۸	۰/۶۴
	۷۶۵-۷۰	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۵۵	۰/۹۴	۱۳۱	۳۱۰	۴۲۴	۰/۴۱	۰/۹۳
	۷۷۵-۸۰	۰/۴۵	۰/۴۰	۰/۸۰	۱/۲۰	۱۷۸	۲۹۳	۴۵۱	۰/۳۳	۰/۸۹
	۶۰۰	۱/۷۳	۰/۲۷	۲/۳۰	۲/۵۷	۱۳۳	۷۵	۴۲۱	۰/۱۱	۰/۱۶
	Max	۱/۷۳	۰/۴۰	۲/۳۰	۲/۵۷	۲۸۸	۳۱۰	۴۵۲	۰/۴۱	۰/۹۳
	Ave	۰/۷۶	۰/۳۳	۱/۲۲	۱/۵۵	۱۸۳	۲۳۷	۴۳۷	۰/۲۶	۰/۶۵
BINAK MARIN	Min	۰/۴۲	۰/۲۷	۰/۵۵	۰/۹۴	۱۳۱	۷۵	۴۲۱	۰/۱۱	۰/۱۶
	۲۶۴۶-۵۰	۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۳۴	۰/۵۷	۱۳۱	۳۳۸	۴۳۴	۰/۴۰	۰/۸۸
	۲۶۶۴-۶۸	۰/۲۸	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۷۳	۱۳۶	۴۲۱	۴۳۱	۰/۴۸	۱/۲۵
	۲۶۹۰-۹۴	۰/۵۴	۰/۳۸	۱/۸۵	۲/۲۳	۳۴۳	۱۷۲	۴۳۲	۰/۱۷	۰/۷۰
	۲۷۱۰-۱۴	۱/۲۸	۰/۵۳	۵/۴۸	۶/۰۱	۴۲۸	۷۷	۴۲۹	۰/۰۹	۰/۴۱
	۲۷۲۵-۳۴	۰/۵۹	۰/۴۵	۱/۸۷	۲/۳۲	۳۱۷	۲۴۶	۴۳۰	۰/۱۹	۰/۷۶
KHARG	۲۷۵۲-۶۰	۰/۴۳	۰/۳۹	۱/۲۷	۱/۶۶	۲۹۵	۳۹۳	۴۳۱	۰/۲۳	۰/۹۱
	۲۷۷۰-۷۴	۰/۳۸	۰/۳۵	۱/۲۲	۱/۵۷	۳۲۱	۲۸۹	۴۳۲	۰/۲۲	۰/۹۲
	۲۷۹۰-۹۴	۰/۳۸	۰/۳۳	۰/۹۰	۱/۲۳	۲۳۷	۳۱۳	۴۳۲	۰/۲۷	۰/۸۷
	۲۸۱۶-۲۴	۰/۳۵	۰/۳۱	۰/۷۳	۱/۰۴	۲۰۹	۳۶	۴۳۳	۰/۳۰	۰/۸۹
	۲۸۴۶-۵۰	۰/۴۸	۰/۳۸	۱/۰۴	۱/۴۲	۲۱۷	۲۴۴	۴۳۵	۰/۲۷	۰/۷۹
	۲۸۶۰-۷۰	۰/۷۲	۰/۶۱	۱/۷۷	۲/۳۸	۲۴۶	۳۰۸	۴۳۵	۰/۲۶	۰/۸۵
KHARG	۲۸۸۰-۸۴	۰/۸۶	۰/۷۷	۲/۵۰	۳/۲۷	۲۹۱	۲۴۵	۴۳۳	۰/۲۴	۰/۹۰
	Max	۱/۲۸	۰/۷۷	۵/۴۸	۶/۰۱	۴۲۸	۴۲۱	۴۳۵	۰/۴۸	۱/۲۵
	Ave	۰/۵۵	۰/۴۲	۱/۶۱	۲/۰۴	۲۶۴	۲۵۷	۴۳۲	۰/۲۶	۰/۸۴
	Min	۰/۲۶	۰/۲۳	۰/۳۴	۰/۵۷	۱۳۱	۳۶	۴۲۹	۰/۰۹	۰/۴۱
	۲۵۵۸	۰/۷۷	۰/۵۱	۲/۷۴	۳/۲۵	۳۵۶	۱۶۱	۴۲۰	۰/۱۶	۰/۶۶
	۲۵۶۰-۶۲	۰/۶۲	۰/۳۲	۱/۸۹	۲/۲۱	۳۰۵	۱۹۷	۴۲۳	۰/۱۴	۰/۵۲
KHARG	۲۵۶۶	۰/۷۳	۰/۴۳	۱/۹۹	۲/۴۲	۲۷۳	۱۳۳	۴۲۳	۰/۱۸	۰/۵۹
	۲۵۷۴	۰/۵۷	۰/۴۲	۱/۹۶	۲/۳۸	۳۴۴	۱۹۸	۴۲۵	۰/۱۸	۰/۷۴
	۲۵۷۸	۰/۴۸	۰/۳۵	۱/۴۱	۱/۷۶	۲۹۴	۱۸۱	۴۱۵	۰/۲۰	۰/۷۳
	Max	۰/۷۷	۰/۵۱	۲/۷۴	۳/۲۵	۳۵۶	۱۹۸	۴۲۵	۰/۲۰	۰/۷۴
	Ave	۰/۶۳	۰/۴۱	۲/۰۰	۲/۴۰	۳۱۴	۱۷۴	۴۲۱	۰/۱۷	۰/۶۵
	Min	۰/۴۸	۰/۳۲	۱/۴۱	۱/۷۶	۲۷۳	۱۳۳	۴۱۵	۰/۱۴	۰/۵۲

ادامه جدول ۱.

Field	Depth (m.)	Petroleum potential (quantity)				Kerogen type (quality)		Thermal maturity		S1/TOC
		TOC	S1	S2	PP	HI	OI	T <sub>max</sub>	PI	
MAHSHAHR	۳۰۵۲	۰/۴۹	۰/۵۰	۰/۵۶	۱/۰۶	۱۱۴	۲۲۴	۴۲۴	۰/۴۷	۱/۰۲
	۳۰۷۰	۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۷۷	۱/۲۰	۱۵۷	۲۳۷	۴۲۷	۰/۳۶	۰/۸۸
	۳۱۵۰	۰/۶۱	۰/۶۸	۱/۲۱	۱/۸۹	۱۹۸	۲۰۰	۴۳۰	۰/۳۶	۱/۱۱
	۳۱۸۲	۰/۸۷	۰/۶۷	۲/۵۳	۳/۲۰	۲۹۱	۱۶۹	۴۳۰	۰/۲۱	۰/۷۷
	Max	۰/۸۷	۰/۶۸	۲/۵۳	۳/۲۰	۲۹۱	۲۳۷	۴۳۰	۰/۴۷	۱/۱۱
	Ave	۰/۶۲	۰/۵۷	۱/۲۷	۱/۸۴	۱۹۰	۲۰۸	۴۲۸	۰/۳۵	۰/۹۵
	Min	۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۵۶	۱/۰۶	۱۱۴	۱۶۹	۴۲۴	۰/۲۱	۰/۷۷
TOUSAN	۳۰۵۴-۶۲	۰/۳۹	۰/۲۵	۰/۳۴	۰/۵۹	۸۷	۷۳۸	۴۱۷	۰/۴۲	۰/۶۴
	۳۰۸۴-۹۲	۰/۲۴	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۳۲	۷۵	۷۷۵	۴۲۶	۰/۴۳	۰/۵۸
	۳۱۰۴-۱۰	۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۲۸	۰/۴۵	۱۲۷	۹۰۹	۴۲۳	۰/۳۸	۰/۷۷
	۳۱۶۰-۷۰	۰/۶۳	۰/۴۸	۰/۹۲	۱/۴۰	۱۴۶	۵۳۷	۴۲۶	۰/۳۴	۰/۷۶
	۳۲۵۰-۵۶	۰/۱۷	۰/۲۳	۰/۵۷	۰/۸۰	۳۳۵	۱۲۲۹	۵۹۵	۰/۲۹	۱/۳۵
	۳۳۱۴-۲۲	۰/۲۱	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۳۳	۸۶	۹۱۴	۴۳۴	۰/۴۵	۰/۷۱
	۳۳۳۸-۴۶	۰/۱۹	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۴۹	۱۳۷	۱۸۴	۴۳۶	۰/۴۷	۱/۲۱
	Max	۰/۶۳	۰/۴۸	۰/۹۲	۱/۴۰	۳۳۵	۱۲۲۹	۵۹۵	۰/۴۷	۱/۳۵
	Ave	۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۳۹	۰/۶۳	۱۴۲	۷۵۵	۴۵۱	۰/۴۰	۰/۸۶
	Min	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۳۲	۷۵	۱۸۴	۴۱۷	۰/۲۹	۰/۵۸
Ashkan	۲۹۴۰-۵۰	۰/۶۷	۰/۵۰	۱/۴۴	۱/۹۴	۲۱۵	۲۱۲	۴۳۰	۰/۲۶	۰/۷۵
	۲۹۷۰-۸۰	۰/۵۰	۰/۳۳	۰/۸۴	۱/۱۷	۱۶۸	۲۷۸	۴۳۲	۰/۲۸	۰/۶۶
	۲۹۹۰-۳۰۰۰	۰/۷۴	۰/۴۸	۱/۲۶	۱/۷۴	۱۷۰	۲۱۲	۴۲۸	۰/۲۸	۰/۶۵
	۳۰۲۰-۳۰	۰/۷۲	۰/۴۰	۱/۵۱	۱/۹۱	۲۱۰	۲۱۷	۴۳۲	۰/۲۱	۰/۵۶
	۳۰۵۰-۶۰	۰/۷۹	۰/۵۱	۱/۸۹	۲/۴۰	۲۳۹	۱۹۷	۴۳۰	۰/۲۱	۰/۶۵
	Max	۰/۷۹	۰/۵۱	۱/۸۹	۲/۴۰	۲۳۹	۲۷۸	۴۳۲	۰/۲۸	۰/۷۵
	Ave	۰/۶۸	۰/۴۴	۱/۳۹	۱/۸۳	۲۰۰	۲۲۳	۴۳۰	۰/۲۵	۰/۶۵
Min	۰/۵۰	۰/۳۳	۰/۸۴	۱/۱۷	۱۶۸	۱۹۷	۴۲۸	۰/۲۱	۰/۵۶	
Feroozan	۱۷۳۸-۳۹	۱/۱۱	۰/۵۳	۲/۶۱	۳/۱۴	۲۳۵	۱۳۸	۴۳۱	۰/۱۷	۰/۴۸
	۱۷۴۴-۴۵	۱/۲۹	۰/۵۶	۴/۳۹	۴/۹۵	۳۴۰	۸۱	۴۲۷	۰/۱۱	۰/۴۳
	۱۷۴۷-۴۸	۰/۹۷	۰/۵۱	۲/۶۹	۳/۲۰	۲۷۷	۱۲۴	۴۲۹	۰/۱۶	۰/۵۳
	Max	۱/۲۹	۰/۵۶	۴/۳۹	۴/۹۵	۳۴۰	۱۳۸	۴۳۱	۰/۱۷	۰/۵۳
	Ave	۱/۱۲	۰/۵۳	۳/۲۳	۳/۷۶	۲۸۴	۱۱۴	۴۲۹	۰/۱۵	۰/۴۸
Min	۰/۹۷	۰/۵۱	۲/۶۱	۳/۱۴	۲۳۵	۸۱	۴۲۷	۰/۱۱	۰/۴۳	

Sfidari, 2024; Barati Boldaji) ویتترینایت<sup>۱</sup> بیان می‌شود (et al., 2024).

تعداد ۵۱ نمونه خرده حفاری جدید و قدیمی از سازند گورپی از میادین فارور، سلمان، تندر، فارسی، بینک، ماهشهر، اشکان، گورزین، هُلر، هرمز، نصرت، فرزام، سیری،

از نور کالیبره شده را به سطح ویتترینایت تابانده و مقدار نوری که انعکاس پیدا می‌کند توسط بخش فتومالی‌پلیتر ثبت و به رایانه ارسال می‌شود. به‌طور معمول بیش از ۳۰ تا ۱۰۰ عدد اندازه‌گیری برای هر نمونه باید انجام شود. در آخر میانگین مقادیر خوانده شده برای هر مقطع به‌عنوان درجه انعکاس

1. Vitrinite Reflectance: Ro%

خارگ و فروزان در حوضه خلیج فارس برای اندازه‌گیری ضریب انعکاس ویتربینایت و بررسی بلوغ حرارتی این سازند  
انتخاب شده است. نتایج این اندازه‌گیری‌ها بر حسب مقادیر میانگین انعکاس ویتربینایت در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. مقادیر میانگین انعکاس ویتربینایت اندازه‌گیری شده بر روی نمونه‌های سازند گورپی در میادین مورد مطالعه حوضه خلیج فارس

Field	Depth (m.)	Number of reading	%Ro			Data source
			Min	Ave	Max	
Farur	۱۶۸۷/۰۵	۹	۰/۲۰	۰/۳۷	۰/۶۹	Old data
Farur	۱۷۳۲/۸	۸	۰/۲۱	۰/۴۴	۰/۵۹	Old data
Salman	۱۲۹۷/۵	-	-	۰/۲۸	-	Old data
Tondar	۱۶۵۳/۵	-	-	۰/۳۳	-	Old data
Farsi	۱۹۸۴/۲۵	۹	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۳۶	Old data
Farsi	۲۰۱۰/۲	۴۶	۰/۱۰	۰/۳۷	۰/۵۳	Old data
Farsi	۲۰۲۵/۴۱	۱۰	۰/۳۵	۰/۴۹	۰/۷۶	Old data
Farsi	۲۰۴۹/۸	۹	۰/۲۰	۰/۳۸	۰/۵۸	Old data
Binak	۲۶۴۸	۴	۰/۲۱	۰/۳۴	۰/۴۵	Old data
Binak	۲۶۹۲	۱۱	۰/۲۱	۰/۳۱	۰/۴۵	Old data
Binak	۲۷۱۲	۷	۰/۳۴	۰/۴۱	۰/۵۳	Old data
Binak	۲۷۵۶	۱۰	۰/۳۰	۰/۴۲	۰/۶۱	Old data
Binak	۲۷۹۲	۸	۰/۲۸	۰/۴۱	۰/۵۷	Old data
Binak	۲۸۶۵	۳	۰/۴۸	۰/۵۷	۰/۶۲	Old data
Mahshahr	۳۱۰۰	۶	۰/۲۲	۰/۴۹	۰/۷۲	Old data
Mahshahr	۳۱۸۲	۷	۰/۲۶	۰/۳۹	۰/۷۴	Old data
Ashkan	۲۹۹۵	-	-	۰/۲۸	-	Old data
Ashkan	۳۱۰۵	-	-	۰/۵۸	-	Old data
Ashkan	۳۲۸۵	-	-	۰/۴۱	-	Old data
Gavarzin	۲۵۹۳	-	-	۰/۳۱	-	Old data
Gavarzin	۲۷۴۶	-	-	۰/۳۸	-	Old data
Hulur	۲۷۶۰	-	-	۰/۳۹	-	Old data
Hulur	۲۸۳۰	-	-	۰/۳۹	-	Old data
Hulur	۲۸۷۵/۵	-	-	۰/۵۳	-	Old data
Hormoz	۲۲۳۵/۵	۱	-	۰/۳۷	-	Old data
Hormoz	۲۲۸۵/۵	۱	-	۰/۴۰	-	Old data
Hormoz	۲۳۹۹/۵	۱	-	۰/۳۰	-	Old data
Nosrat	۲۶۴۹	۱۴	۰/۳۰	۰/۴۴	۰/۵۶	New data
Nosrat	۲۶۸۹	۱۲	۰/۲۹	۰/۴۱	۰/۵۷	New data
Nosrat	۲۷۴۸/۵	۱۱	۰/۳۱	۰/۴۶	۰/۶۰	New data
Nosrat	۲۷۶۸	۸	۰/۳۲	۰/۴۷	۰/۶۰	New data
Nosrat	۲۷۹۲/۵	۱۷	۰/۲۹	۰/۴۸	۰/۶۰	New data
Nosrat	۲۷۱۸/۵	۲۰	۰/۳۰	۰/۵۰	۰/۶۲	New data
Nosrat	۲۸۳۰/۵	۱۹	۰/۲۹	۰/۵۲	۰/۶۲	New data
Nosrat	۲۸۴۸	۲۰	۰/۳۳	۰/۵۱	۰/۶۴	New data
Nosrat	۲۸۶۵/۵	۲۳	۰/۳۳	۰/۵۳	۰/۶۳	New data
Nosrat	۲۸۷۶/۵	۱۲	۰/۳۹	۰/۵۳	۰/۶۳	New data

ادامه جدول ۲.

Field	Depth (m.)	Number of reading	%Ro			Data source
			Min	Ave	Max	
Nosrat	۲۸۸۴	۸	۰/۴۳	۰/۴۹	۰/۵۵	New data
Nosrat	۲۹۰۸/۵	۶	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۵۵	New data
Nosrat	۲۹۲۷	۱۴	۰/۴۱	۰/۵۱	۰/۶۱	New data
Nosrat	۲۹۴۲	۱۲	۰/۴۲	۰/۴۹	۰/۶۰	New data
Nosrat	۲۹۶۵	۹	۰/۴۰	۰/۵۱	۰/۶۰	New data
Farzam	۲۲۱۵	۱۵	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۶۰	New data
Farzam	۲۲۲۹	۱۴	۰/۴۱	۰/۵۱	۰/۶۱	New data
Sirri	۲۳۳۵	۱۹	۰/۴۲	۰/۵۳	۰/۶۵	New data
Sirri	۲۳۴۸	۱۴	۰/۴۶	۰/۵۵	۰/۶۸	New data
Kharg	۲۵۷۸	۱۳	۰/۳۸	۰/۴۵	۰/۶۲	New data
Kharg	۲۵۷۴	۱۴	۰/۳۸	۰/۴۸	۰/۶۳	New data
Kharg	۲۵۶۶	۱۵	۰/۳۶	۰/۴۷	۰/۶۰	New data
Kharg	۲۵۵۸	۱۴	۰/۳۵	۰/۴۷	۰/۵۸	New data
Foroozan	۱۷۳۸/۵	-	-	۰/۴۶	-	Old data

## نتایج

منحنی تغییرات S1 در برابر درصد وزنی TOC برای تعیین این آلودگی استفاده می‌شود (Behar et al., 1996; Hunt, 2001). برای این کار، نمونه‌هایی که مقادیر S1/TOC بیشتر از ۱/۵ (هیدروکربن‌های نابرجا یا مهاجرت یافته و آلوده) و شاخص تولید بالاتر از ۰/۵ را دارا باشند، از ادامه مطالعه حذف می‌کنیم (Hosseiny and Hunt, 1996; Barati Boldaji, 2020). در مطالعه حاضر، کلیه ۴۳ نمونه حوضه خلیج فارس عاری از هر گونه آلودگی است (شکل ۳) و برای ادامه بررسی پتانسیل هیدروکربن‌زایی سازند گورپی قابل اعتماد و استفاده می‌باشد.

### تعیین کمیت و پتانسیل تولید هیدروکربن ماده آلی سازند گورپی

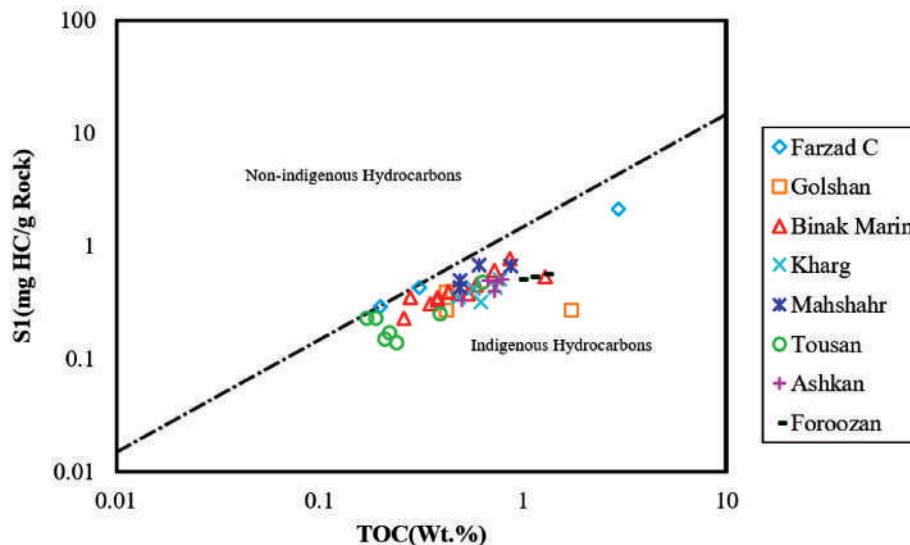
برای بررسی پتانسیل هیدروکربن‌زایی یک سازند و تعیین کمیت ماده آلی آن از مقدار کربن آلی کل یا TOC استفاده می‌کنیم (Hosseiny and Mohseni, 2023). هنگامی که نمونه‌های ما مقادیر TOC کمتر از ۰/۵ درصد وزنی داشته باشند در بازه ضعیف قرار می‌گیرند. همچنین اگر مقادیر TOC در بازه‌های ۰/۵-۱، ۱-۲ و بالاتر از ۲ درصد وزنی

برای مطالعات بیشتر پتانسیل هیدروکربن‌زایی سازند گورپی در گستره حوضه خلیج فارس از میدان‌های مورد مطالعه نمونه‌برداری انجام گرفت و آنالیزهای مورد نیاز این مطالعه توسط دستگاه پیرولیز راک‌ایول صورت پذیرفت. در ادامه بررسی‌ها با توجه به پارامترهای اندازه‌گیری شده از این آنالیزها برای تعیین کمیت، کیفیت و بلوغ مواد آلی، نمودارهای استاندارد مربوطه رسم شد و تفاسیر مربوطه در ادامه مطالعه آورده شده است.

### آلودگی نمونه‌ها (شاخص مهاجرت)

بررسی مقدار آلوده بودن نمونه‌های مورد مطالعه و اطمینان از عدم آلودگی این نمونه‌ها جزو ابتدایی‌ترین اقدامات در بررسی و مطالعات ژئوشیمیایی می‌باشد. چرا که آلوده بودن نمونه‌های مورد مطالعه اثر مستقیمی بر روی نتایج حاصل از پیرولیز راک‌ایول می‌گذارد. بنابراین در ابتدا باید از عدم آلوده بودن نمونه‌ها اطمینان کامل پیدا کنیم. آلودگی نمونه‌ها می‌تواند از مهاجرت هیدروکربن از لایه‌ها و سازندهای پایینی بوده (Behar et al., 1996; Hunt, 2001) و یا بر اثر نفوذ مواد هیدروکربنی که در گل حفاری موجود هست، باشد (Smith, 1994). بنابراین از بررسی

1. Non-indigenous Hydrocarbon



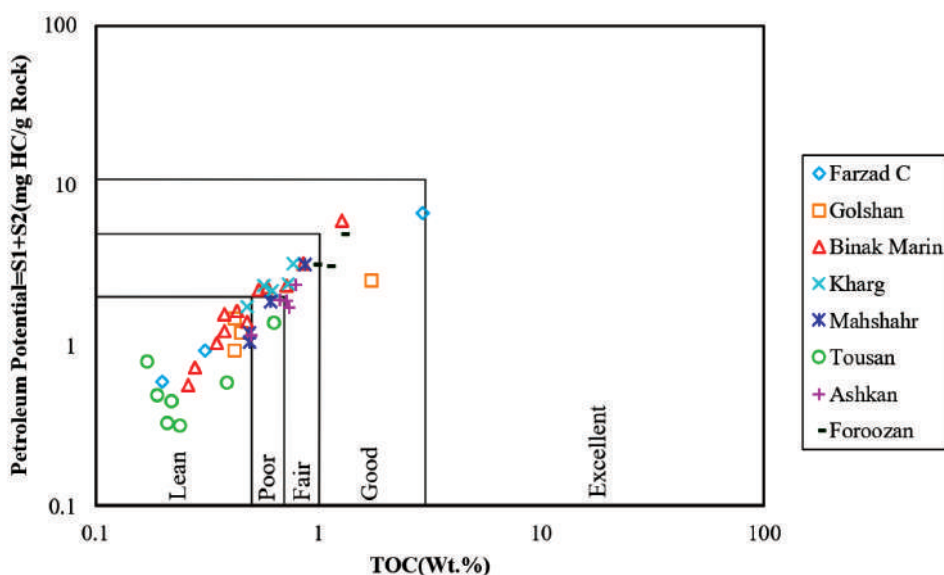
شکل ۳. نمودار شاخص مهاجرت برای تعیین نمونه‌های آلوده سازند گورپی در میداین مورد مطالعه حوضه خلیج فارس (Hunt, 1996)

میانگین TOC ۰/۷۶ درصد وزنی، گستره متوسط کمیت را برای سازند گورپی بیان می‌کند. از دیگر میداین مورد مطالعه می‌توان به میدان بینک دریایی اشاره کرد. مقادیر TOC در این میدان در بازه ۰/۲۶ تا ۱/۲۸ درصد وزنی و نشان‌دهنده گستره ضعیف تا خوب سازند گورپی در این میدان است. همچنین مقدار میانگین TOC این سازند در میدان بیان شده ۰/۵۵ درصد وزنی و نشان‌دهنده کمیت متوسط سازند گورپی می‌باشد. مقدار TOC برای میدان خارگ در گستره ۰/۴۸ تا ۰/۷۷ درصد وزنی است که بازه کمیتی ضعیف تا متوسط را برای سازند گورپی شامل می‌شود. این میدان با مقدار میانگین ۰/۶۳ درصد وزنی TOC، کمیتی در محدوده متوسط را نشان می‌دهد. مقادیر TOC در میدان ماهشهر هم در بازه ۰/۸۷-۰/۴۹ درصد وزنی می‌باشد که کمیت سازند گورپی در این میدان در گستره ضعیف تا متوسط قرار داشته و مقدار میانگین TOC برای این میدان ۰/۶۲ درصد وزنی و بیانگر کمیت متوسط سازند کژدمی این میدان می‌باشد. بازه TOC میدان‌های توسن و اشکان به ترتیب ۰/۶۳-۰/۱۷ درصد وزنی (کمیتی در محدوده ضعیف تا متوسط) و ۰/۷۹-۰/۵۰ درصد وزنی (کمیتی در محدوده متوسط) می‌باشد که مقادیر میانگین TOC برای این میداین نیز به ترتیب ۰/۲۹ و ۰/۶۸ درصد وزنی است که نشان می‌دهد که سازند گورپی در میدان توسن در محدوده ضعیف و میدان اشکان در گستره متوسط

باشند، بیانگر محدوده‌های متوسط، خوب و عالی کمیت آن سازند می‌باشند (Peters, 1986). علاوه بر TOC، از مقادیر S1 و S2 به همراه TOC برای ارزیابی سازند و تعیین کمیت آن استفاده می‌شود، چرا که استفاده از TOC به تنهایی برای بررسی پتانسیل هیدروکربن‌زایی یک سازند کافی نیست (Huang et al., 2003). از موارد دیگری که برای ارزیابی کمیت مواد آلی سازندها استفاده می‌شود، می‌توان به نمودار تغییرات TOC در برابر اندیس پتانسیل هیدروکربن‌زایی اشاره کرد (Tissot and Welte, 1984). هنگامی که اندیس پتانسیل هیدروکربن‌زایی مقداری کمتر از ۶ داشته باشد، توان ضعیف و متوسط سازند مورد نظر را نشان می‌دهد. در حالی که مقادیر بالاتر از ۶ این اندیس، نشان‌دهنده حضور یک سازند با کیفیتی در گستره خوب و عالی می‌باشد (Hosseiny and Barati Boldaji, 2020). با توجه به جدول شماره ۱، میزان کربن آلی کل در سازند گورپی، به صورت کلی در گستره حوضه خلیج فارس در بازه ۰/۱۷ تا ۲/۹۴ درصد وزنی متغیر می‌باشد. در میدان فرزاد C، این مقدار بین ۰/۲۰ تا ۲/۹۴ درصد وزنی در بازه کمیتی ضعیف تا عالی و مقدار میانگین TOC سازند گورپی در این میدان برابر ۱/۱۵ درصد وزنی است که نشان‌دهنده بازه خوب برای کمیت آن می‌باشد. برای میدان گلشن، این مقادیر بین ۰/۴۲ تا ۱/۷۳ درصد وزنی (گستره ضعیف تا خوب کمیت) و مقدار

تمام ضخامت سازند گورپی در این حوضه و میادین باشد که این موضوع نیازمند دقت بیشتری می‌باشد. همچنین مقادیر میانگین اندیس پتانسیل هیدروکربن‌زایی سازند گورپی در میادین فرزاد C، گلشن، بینک دریایی، خارگ، ماهشهر، توسن، اشکان و فروزان به ترتیب برابر با ۲/۷۵، ۱/۵۵، ۲/۰۴، ۲/۴۰، ۱/۸۴، ۰/۶۳، ۱/۸۳ و ۳/۲۳ می‌باشد. این مقادیر میانگین نشان می‌دهد، سازند گورپی در حوضه خلیج فارس از توان هیدروکربن‌زایی ضعیف تا متوسطی برخوردار است (شکل ۴).

از جنبه‌ی کمیتی قرار دارند. آخرین میدان مورد مطالعه هم میدان فروزان است که مقادیر TOC سازند گورپی در این میدان برابر با ۱/۲۹-۰/۹۷ درصد وزنی است و در گستره متوسط تا خوب کمیت قرار دارد. مقدار TOC میانگین در این میدان برابر ۱/۱۲ درصد وزنی است که محدوده کمیتی خوب را شامل می‌شود. در برخی از میادین مورد مطالعه حوضه خلیج فارس در مطالعه حاضر، تعداد سه و یا چهار نمونه مورد ارزیابی قرار گرفته است که این تعداد نمونه نمی‌تواند نماینده و معرف



شکل ۴. نمودار تغییرات TOC در مقابل اندیس پتانسیل هیدروکربن‌زایی سازند گورپی در میادین مورد مطالعه حوضه خلیج فارس (Tissot and Welte, 1984)

### تعیین کیفیت و تیپ کروژن سازند گورپی

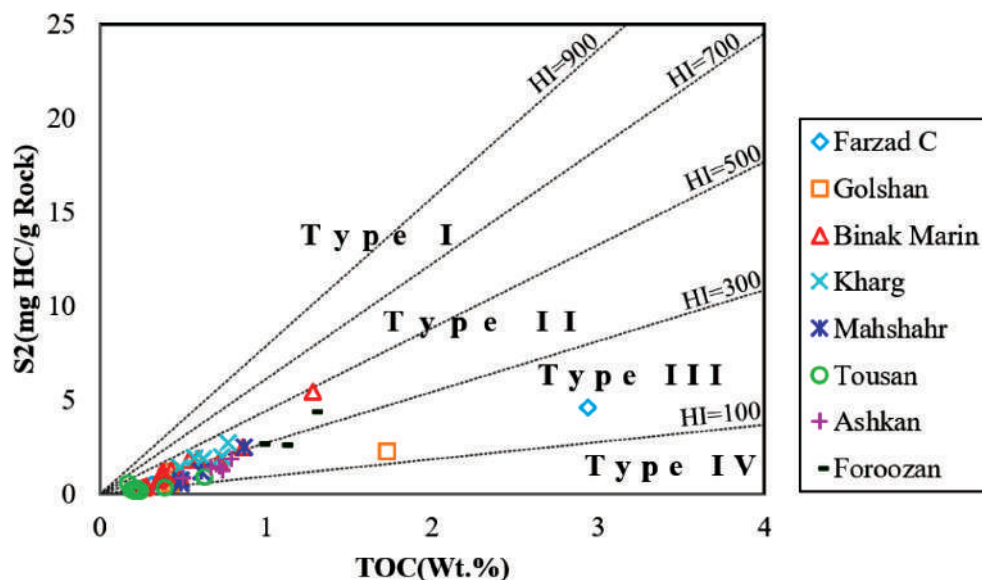
می‌باشد که در سنگ‌هایی از جنس رسوبی شکل می‌گیرند (Batten, 1996; Barati Boldaji et al., 2024). از نمودار تغییرات اندیس هیدروژن در برابر اندیس اکسیژن (نمودار ون کرولن تصحیح شده) برای شناسایی و تعیین تیپ کروژن استفاده می‌شود. همچنین برای دقت بیشتر و تایید نتایج بدست آمده از نمودار تغییرات اندیس هیدروژن در برابر  $T_{max}$  نیز می‌توان استفاده کرد (Peters, 1986; Hunt, 1996). از نمودارهای دیگری که تیپ کروژن حاضر در سنگ منشا و کیفیت سازند مورد نظر را تعیین می‌کند، می‌توان به نمودار تغییرات TOC در برابر S2 اشاره کرد (Peters, 1986) که شیب این نمودار برابر با اندیس هیدروژن می‌باشد

از آنجایی که کمیت و کیفیت هیدروکربن‌زایی یک سازند با نوع ماده آلی موجود در آن بررسی و کنترل می‌شود، بنابراین تعیین تیپ کروژن موجود در سنگ منشا بالقوه امری بسیار مهم به حساب می‌آید (Tissot and Welte, 1984; Hosseiny et al., 2016). تیپ کروژن نقش مهمی در تعیین نفت‌زا و یا گاززا بودن سنگ منشا دارد (Tissot and Welte, 1984). از پارامترهای حاصل از آنالیز راکایول برای تعیین آن استفاده می‌شود (Dembicki, 2022). کروژن یک ماده آلی انحلال ناپذیر در حلال‌های آلی می‌باشد و از انواع ماسرال‌های متنوعی تشکیل شده است. کروژن، از اجزای گیاهان، جانوران و باکتری‌ها

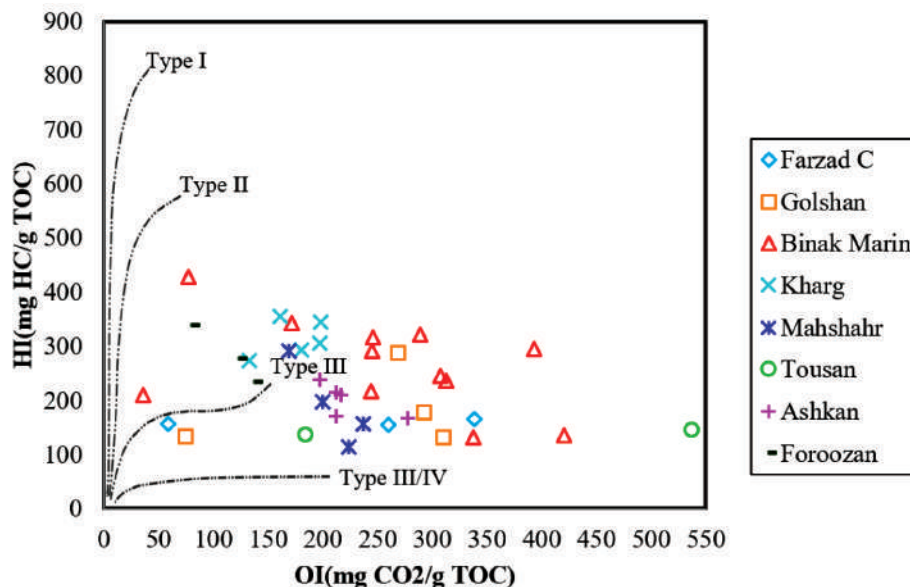
دریابی گستره اندیس هیدروژن بین ۱۳۱ تا ۴۲۸ (میلی گرم هیدروکربن/گرم TOC) است که تیپ کروژن سازند گورپی تلفیقی از تیپ II و III در این میدان است. در میدان خارگ اندیس هیدروژن مقداری بین ۳۵۶-۲۷۳ (میلی گرم هیدروکربن/گرم TOC) را دارد که سازند گورپی این میدان دارای کروژن تیپ II می باشد. مقادیر اندیس هیدروژن ۱۹۱-۱۱۴ (میلی گرم هیدروکربن/گرم TOC) در میدان ماهشهر بیان می کند که تیپ کروژن ما در این میدان، کروژن تیپ II و III برای سازند گورپی است. در میدان توسن اندیس هیدروژن از ۷۵ تا ۳۳۵ (میلی گرم هیدروکربن/گرم TOC) می باشد که کروژن موجود در این میدان، بیشتر از تیپ III است. مقادیر اندیس هیدروژن در میدان اشکان هم در بازه ۲۳۹-۱۶۸ (میلی گرم هیدروکربن/گرم TOC) می باشد که نشان دهنده تیپ III کروژن برای سازند گورپی این میدان است. در نهایت در میدان فروزان هم بازه اندیس هیدروژن از ۲۳۵ تا ۳۴۰ (میلی گرم هیدروکربن/گرم TOC) است و نشان می دهد میدان فروزان دارای تلفیق تیپ II و III کروژن در سازند گورپی می باشد (شکل ۵). همچنین نمودار اندیس هیدروژن در مقابل اندیس اکسیژن هم برای تایید نتایج بالا در ادامه آورده شده است (شکل ۶).

(Espitalié, 1986). مقادیر اندیس هیدروژن بیشتر از ۶۰۰ (میلی گرم هیدروکربن/گرم TOC) بیانگر تیپ I کروژن و مقادیر بین ۳۵۰ تا ۶۰۰ (میلی گرم هیدروکربن/گرم TOC) نشان دهنده تیپ II کروژن می باشد. همچنین کروژن تیپ III مقدار اندیس هیدروژن بین ۵۰ تا ۲۰۰ (میلی گرم هیدروکربن/گرم TOC) را دارد (Langford and Blanc-Valleron, 1990; Peters and Cassa, 1994; Hunt, 1996). هنگامی که مقادیر اندیس هیدروژن کمتر از ۵۰ (میلی گرم هیدروکربن/گرم TOC) باشند، معرف کروژن تیپ IV می باشد و هیچ پتانسیلی برای تولید هیدروکربن در آن ها دیده نمی شود (Tissot and Welte, 1984). برای رسم نمودارهای تعیین کیفیت سازند، باید دقت کرد، پارامترهای موجود علاوه بر نوع مواد آلی، در اثر بلوغ و همچنین عوامل ثانویه تاثیر گذار بر روی مواد آلی نیز قرار ندارد (Peters and Cassa, 1994).

مقادیر اندیس هیدروژن در میدان فرزاد C بین ۱۵۵ تا ۱۶۵ (میلی گرم هیدروکربن/گرم TOC) می باشد و بیانگر تیپ III کروژن برای سازند گورپی در این میدان است. همچنین این مقدار در میدان گلشن از ۱۳۱ تا ۲۸۸ (میلی گرم هیدروکربن/گرم TOC) می باشد که تیپ کروژن سازند گورپی را تیپ III معرفی می کند. در میدان بینک



شکل ۵. نمودار تغییرات S2 در برابر TOC برای تعیین نوع کروژن موجود در سازند گورپی در میادین مورد مطالعه حوضه خلیج فارس (Langford and Blanc-Valleron, 1990)



شکل ۶. نمودار اندیس هیدروژن در برابر اندیس اکسیژن برای سازند گورپی در میدین مورد مطالعه حوضه خلیج فارس (Hunt, 1996)

### بلوغ مواد آلی سازند گورپی

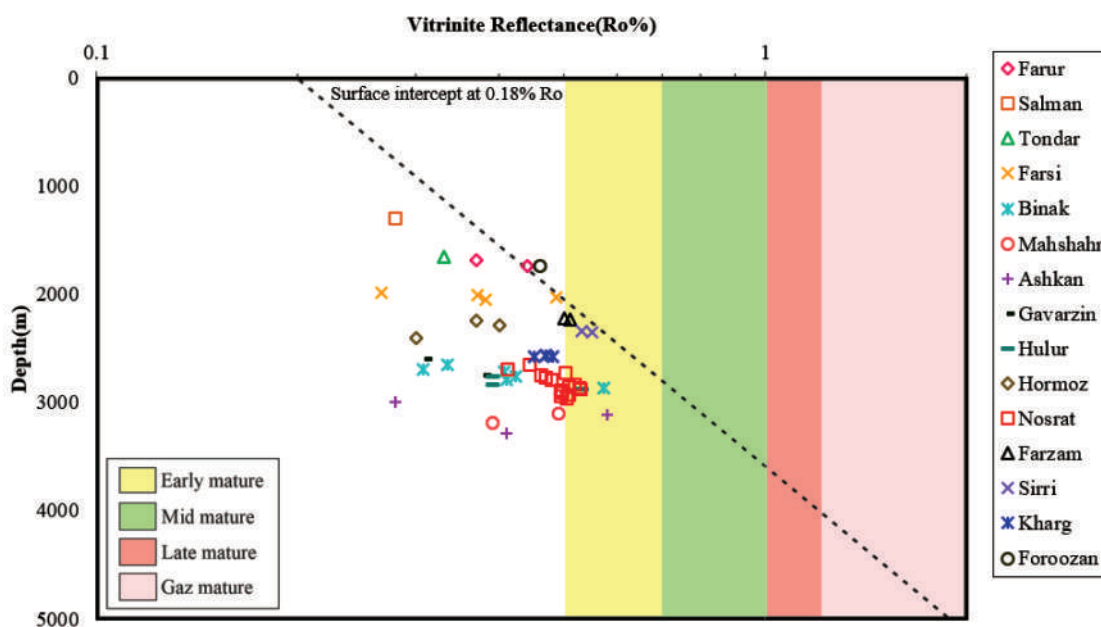
در نمونه‌ها را بررسی و تعیین کرد (Tissot and Welte, 1984; Espitalié et al., 1985).

تغییرات انعکاس ویتربینایت در برابر عمق در شکل ۷ رسم شده است. با توجه به شکل، مقادیر انعکاس ویتربینایت نمونه‌های میدین فارور، سلمان، تندر، فارسی، ماهشهر، گورزین، هرمز، خارگ و فروزان کمتر از ۰/۵ درصد است و این نمونه‌ها نابالغ هستند. اما تعدادی از نمونه‌های میدین بینک، اشکان، هُلر، نصرت، فرزام و سیری مقادیری کمی بالاتر از ۰/۵ درصد را داشته و نشان می‌دهد نمونه‌های این میدین یا نابالغ است و یا در ابتدای بلوغ حرارتی قرار دارند. نمودار اندیس هیدروژن در برابر  $T_{max}$  رسم شده (شکل ۸) برای نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد، نمونه‌های سازند گورپی واقع در حوضه خلیج فارس نابالغ و یا در ابتدای بلوغ حرارتی قرار دارند و نتایج نمودار ۷ را نیز تایید می‌کنند.

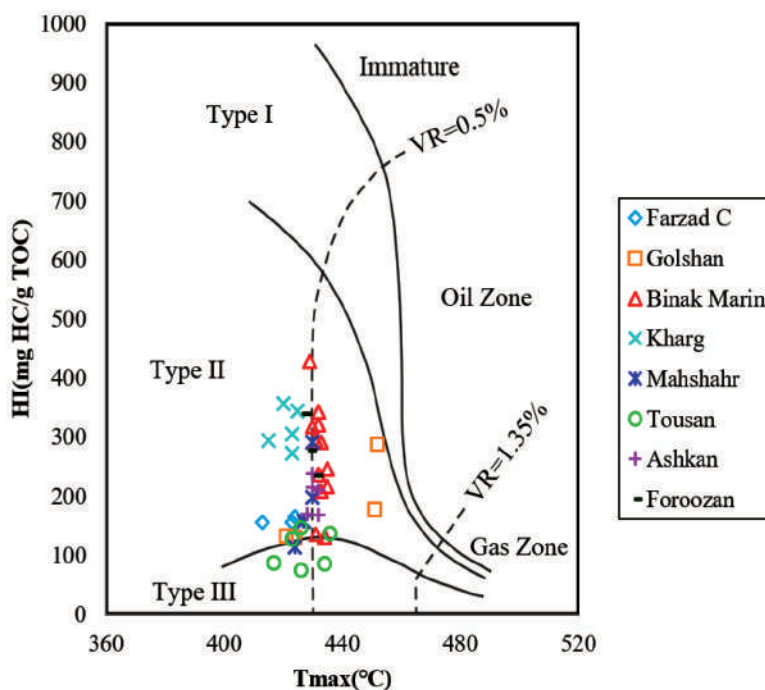
### بحث

گسترش توزیع مقدار کل کربن آلی برای سازند گورپی در محدوده خلیج فارس نشان می‌دهد که این مقدار در اثر فرآیندهای تکتونیکی قدیمه از قبیل بلندای قدیمه قطر-فارس قرار داشته است. مقدار کل کربن آلی با حرکت از

از مهم‌ترین کارهایی که در ارزیابی سنگ‌های منشا باید انجام شود، می‌توان به تعیین بلوغ حرارتی مواد آلی اشاره کرد (Dow, 1977; Waples et al., 1992). چراکه تولید نفت و گاز، به تکامل بلوغ حرارتی مواد آلی موجود در سازند وابسته است (Hosseiny et al., 2016). بنابراین از روش انعکاس ویتربینایت برای بررسی و تعیین اندازه بلوغ سنگ منشا استفاده می‌شود (Dow, 1977; Waples et al., 1992). همچنین به کمک پارامترهای اندیس تولید و  $T_{max}$  نیز می‌توان اندازه بلوغ مواد آلی را تعیین کرد. به صورتی که اگر مقدار اندیس تولید ۰/۱ و پارامتر  $T_{max}$  مقادیری کمتر از ۴۳۵ درجه سانتی‌گراد را داشته باشند، بیانگر نابالغ بودن کروژن و همچنین اگر اندیس تولید بیشتر از ۰/۴ و  $T_{max}$  بالاتر از ۴۶۰ درجه سانتی‌گراد باشد معرف پایان پنجره نفتی و ابتدای محدوده گاز تر می‌باشد (Espitalié et al., 1977). پارامترهای  $T_{max}$  و اندیس تولید می‌توانند در اثر نوع ماده آلی، نوع کانی و آلوده شدن نمونه‌ها قرار گیرند، بنابراین در استفاده از این پارامترها باید دقت داشته باشیم نمودار  $T_{max}$  در برابر اندیس هیدروژن نیز، می‌توان بلوغ حرارتی نمونه‌ها را بررسی و همچنین تیپ کروژن موجود



شکل ۷. نمودار میانگین انعکاس ویترینایت اندازه‌گیری شده در برابر عمق برای نمونه‌های سازند گورپی در میدین مورد مطالعه حوضه خلیج فارس



شکل ۸. نمودار اندیس هیدروژن در برابر  $T_{max}$  برای تعیین تیپ کروژن و بلوغ نمونه‌های سازند گورپی در میدین مورد مطالعه حوضه خلیج فارس (Espitalié et al., 1985)

می‌دهد مقدار کل کربن آلی در انطباق با ضخامت سازند بیان شده قرار دارد. به نظر می‌رسد این افزایش به دلیل عمق بیشتر حوضه رسوبگذاری سازند گورپی در شرق و تاثیر بیشتر ورود مواد مغزی در غرب خلیج فارس همراه با افزایش سرعت رسوبگذاری و در نتیجه آن حفظ شدگی بهتر مواد آلی در

بلندای قدیمه قطر-فارس به سمت شمال غرب (در راستای میدین فرزاد C و فروزان تا میانگین ۱/۲ درصد وزنی) و به سمت شرق و عمان افزایش یافته است (شکل ۹). مقایسه افزایش در مقدار کل کربن آلی با نقشه هم ضخامت رسوبی سازند گورپی در محدوده خلیج فارس (شکل ۱۰) نشان

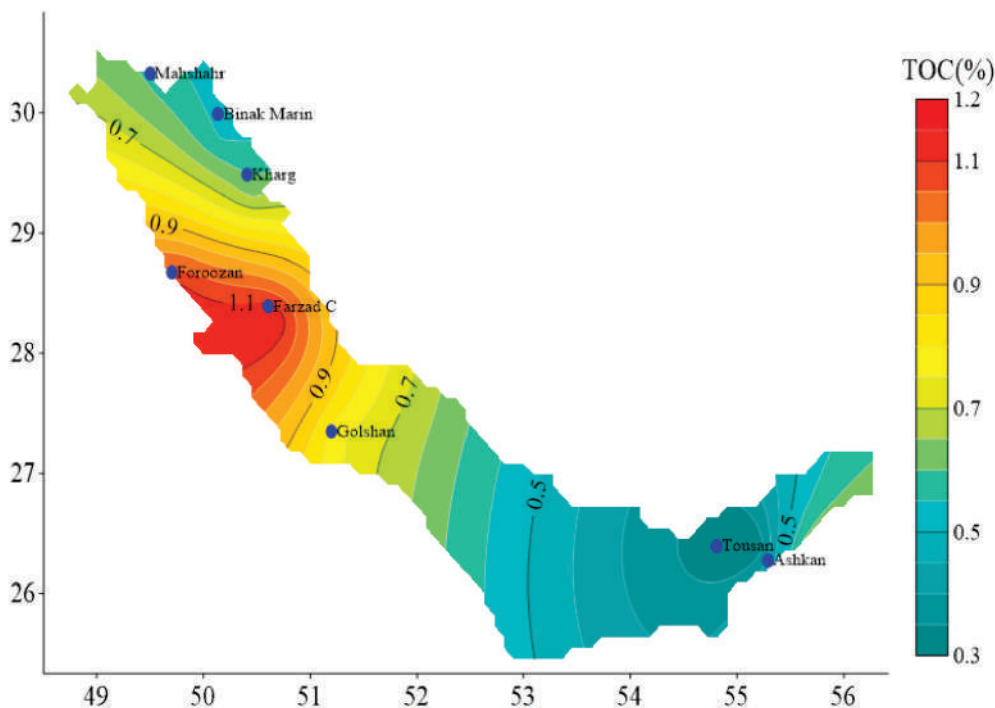
نسبت به کروژن نوع III دارد. ضخامت بالای سازند گورپی در محل میداین فروزان، خارگ، بینک تا ماهشهر نشان از عمق بیشتر دریای قدیمه گورپی و تاثیر پذیری بیشتر ورودی آواری از رسوبات قاره‌ای است. این نتایج در انطباق با نتایج حاصل از مقدار کل کربن آلی (شکل ۹) و ضخامت سازند گورپی (شکل ۱۰) می‌باشد.

گسترش توزیع میانگین انعکاس ویتربینایت برای سازند گورپی در محدوده خلیج فارس (شکل ۱۲) نشان می‌دهد که بلوغ سازند گورپی به شدت در اثر بلندای قدیمه قطر-فارس قرار داشته است. کمترین مقدار بلوغ سازند کژدمی در محدوده بالآمدگی قطر-فارس با میانگین ۰/۳ می‌باشد. با حرکت از بلندای قدیمه بیان شده به سمت شمال غرب و شرق خلیج فارس مقدار بلوغ افزایش یافته و در شمال غرب در گستره میداین فروزان، خارگ تا ماهشهر به میانگین ۰/۵ درصد رسیده است که نشان می‌دهد سازند گورپی در ابتدای ورود به پنجره نفت‌زایی قرار دارد. همچنین به سمت شرق خلیج فارس مقدار انعکاس ویتربینایت افزایش یافته است (شکل ۱۲).

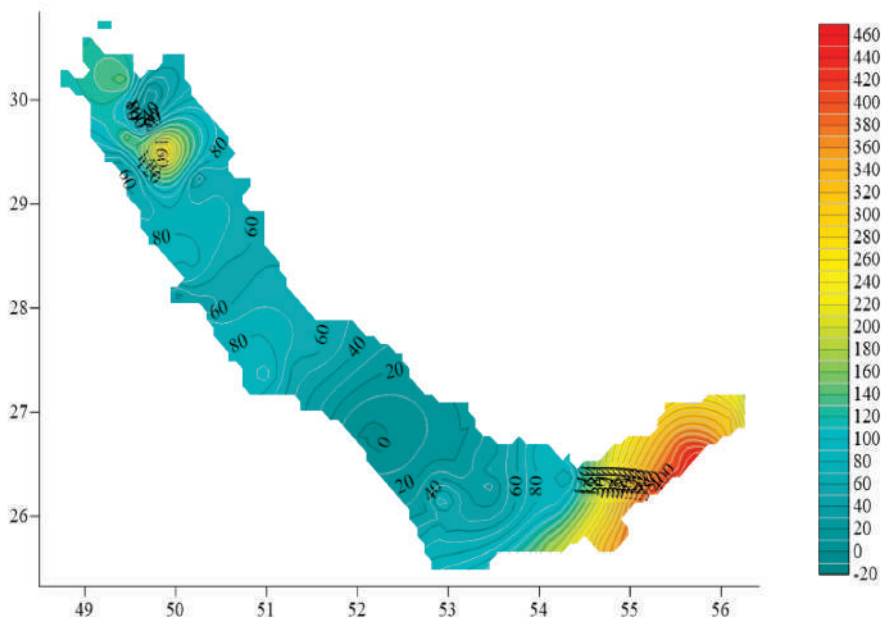
نتیجه نبود زمان کافی برای تجزیه تفسیر گردد. از طرف دیگر افزایش در مقدار اندیس هیدروژن (شکل ۱۱) نشان می‌دهد که شرایط نیمه اکسیدان تا فاقد اکسیژن برای حفظ شدگی مواد آلی در رسوبات سازند گورپی به سمت شمال غرب خلیج فارس افزایش یافته است. این نتایج نشان می‌دهد، در بخش شمال غربی خلیج فارس که به ورودی آواری نزدیکتر می‌باشد، شرایط محلی برای حفظ مواد آلی تشکیل شده به صورت محیط‌های جلودلتایی تا دریایی در بخش غربی ایجاد شده است (Konyuhov and Maleki, 2006).

این افزایش در مقدار کل کربن آلی و اندیس هیدروژن در بخش غربی با نتایج ارائه شده قبلی که تغییر را به دلیل نزدیکی به سیر عربی و تاثیر سیستم‌های رودخانه‌ای و ورود مقادیر قابل توجهی از رسوبات آواری از قبیل سیلت سنگ‌ها که منعکس کننده یک محیط رسوبی دلتایی یا رودخانه‌ای است (Konyuhov and Maleki, 2006) تفسیر کرده‌اند همخوانی و انطباق دارد.

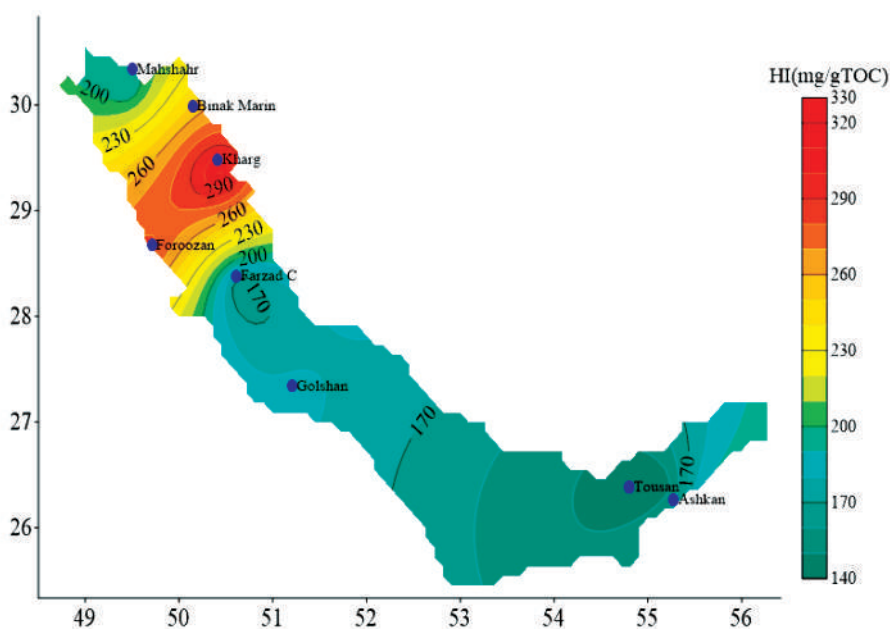
مقدار اندیس هیدروژن در میداین شمال غربی خلیج فارس به میانگین ۲۹۰ میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ رسیده است و نشان‌دهنده مشارکت بیشتر کروژن نوع II



شکل ۹. مدل هم‌ضخامت مقدار TOC سازند گورپی در خلیج فارس



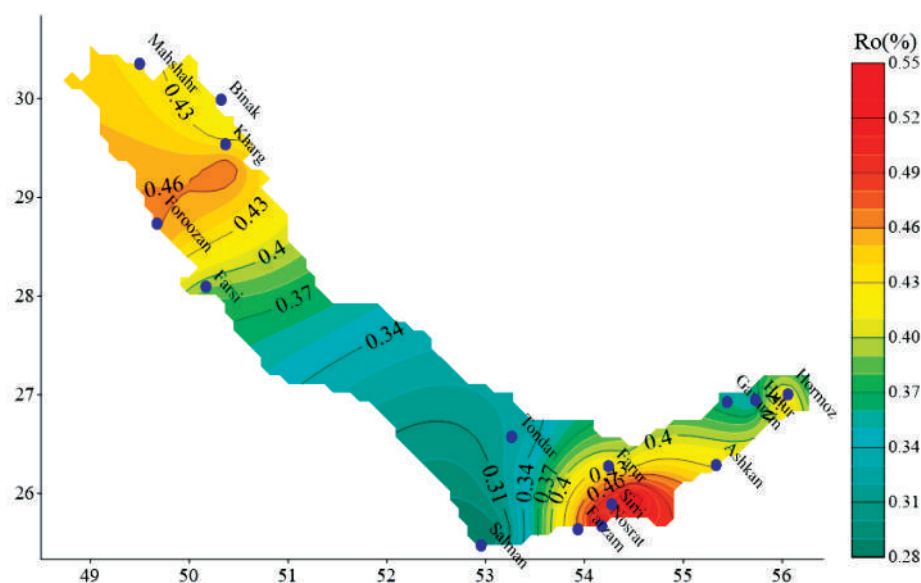
شکل ۱۰. مدل هم‌ضخامت سازند گورپی در خلیج فارس



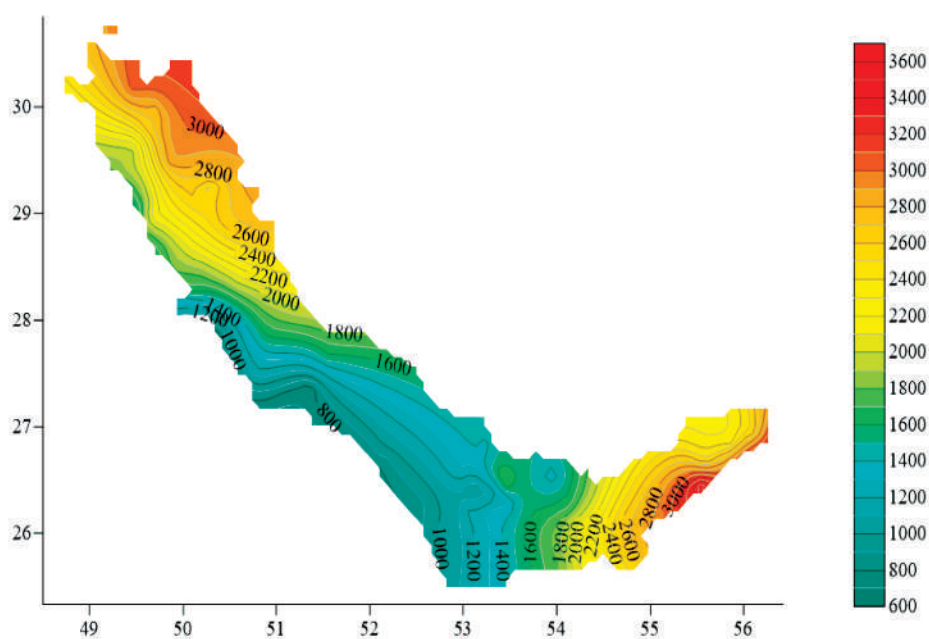
شکل ۱۱. مدل هم‌ضخامت مقدار HI سازند گورپی در خلیج فارس

غرب و شرق خلیج فارس این مقدار به ۳۰۰۰ متر رسیده است. این نتایج نشان می‌دهد، سازند گورپی در شمال غرب و شرق خلیج فارس در محدوده عمقی دو برابری نسبت به مقدار انعکاس ویتربینایت (در محل تاقدیس‌های نمونه‌برداری شده) نشان می‌دهد، سازند بیان شده در بیشترین حالت خود در ابتدای پنجره نفتی قرار دارد و در محل‌های تاقدیسی

ضخامت رسوبات بالای سازند گورپی را می‌توان به‌عنوان عاملی برای تفسیر عمق تدفین سازند گورپی در محدوده خلیج فارس مورد استفاده قرار داد (شکل ۱۳). ضخامت رسوبات بالای سازند گورپی نشان می‌دهد، در محدوده مرکزی خلیج فارس و در محل بلندای قدیمه قطر-فارس کمترین ضخامت لایه‌های رسوبی وجود داشته است (۹۰۰ تا ۱۵۰۰ متر). با این وجود با حرکت به سمت شمال



شکل ۱۲. مدل هم ضخامت مقدار انعکاس ویتربنایت سازند گورپی در خلیج فارس



شکل ۱۳. مدل هم ضخامت تدفین رسوبات بالای سازند گورپی در خلیج فارس

## نتیجه‌گیری

توان هیدروکربن‌زایی سازند گورپی به‌عنوان سنگ منشأ احتمالی در حوضه خلیج فارس بر اساس نتایج حاصل از پیرولیز راکایول همراه با نتایج آنالیز انعکاس ویتربنایت مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفت. نتایج پیرولیز راکایول نشان داد، سازند مذکور در بخش‌های مختلف خلیج فارس از توزیع کمی و کیفی و نوع کروژن متفاوتی تشکیل شده است.

نقش عمده‌ایی در تولید هیدروکربن مخازن خلیج فارس بازی نکرده است. با این وجود به نظر می‌رسد سازند گورپی در محدوده ناودیس‌ها وارد پنجره نفتی شده باشد و مشارکت هر چند حداقلی در تولید هیدروکربن بخصوص در شمال غرب خلیج فارس داشته است.

علمی علوم زمین، ۲۱(۸۲)، ۳۱-۳۸. Doi: 10.22071/gsj.2011.54436

- براتی بلداجی، ص.، سفیداری، ا.، مهرابی، ه. و زمان زاده، س.م.، ۱۴۰۳. ارزیابی ژئوشیمیایی سنگ مادرهای احتمالی میدان فروزان بر اساس پیرولیز راکا اول و انعکاس ویتربینایت. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۴(۲)، ۷۴-۵۹. Doi: <https://10.22071/gsj.2023.422750.2119>

- حسینی، ا. و براتی بلداجی، ص.، ۱۳۹۹. ارزیابی توان هیدروکربن زایی سنگ مادر سرگلو در گستره جنوب غرب ایران و شمال غرب خلیج فارس. روش های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، ۱۰(۲۳)، ۷۹-۸۹. Doi: <http://doi:10.29252/anm.2020.14351.1451>

- ربانی، ا.ر.، ۱۳۹۲. زمین شناسی و ژئوشیمی نفت خلیج فارس. تفرش، دانشگاه تفرش، ۵۸۲.

- سفیداری، ا.، ۱۴۰۲. ژئوشیمی مخزن. جهاد دانشگاهی واحد شهید بهشتی، ۲۸۷.

- کمالی، م. و قربانی، ب.، ۱۳۸۵. ژئوشیمی آلی از فیتوپلانکتون تا تولید نفت، آربین زمین، تهران، ۳۱۸.

- Alavi, M., 2004. Regional Stratigraphy of the Zagros Fold-Thrust Belt of Iran and Its Pro-foreland Evolution. American Journal of Science, 304(1): 1-20. Doi: <http://dx.doi.org/10.2475/ajs.304.1.1>.

- Alipour, M., Alizadeh, B., Mirzaie, S. and Chehrizi, A., 2021. Basin and petroleum system analysis in the southeastern Persian Gulf basin: a 2D basin modeling approach. J Petrol Explor Prod Technol 11, 4201-4214 (2021). Doi: <https://doi.org/10.1007/s13202-021-01310-2>.

- Barker, C., 1974. Pyrolysis techniques for source-rock evaluation. AAPG Bulletin, 58(11): 2349-2361. Doi: <https://doi.org/10.1306/83D91BAF-16C7-11D7-8645000102C1865D>.

- Batten, D.J., 1996. Palynofacies and Palaeoenvironmental Interpretation. In: Jansonius, J. and McGregor, D.C., Eds. Palynology: Principles and Applications, 3, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, College Station, 1011-1064.

بر اساس گسترش توزیع مقدار کل کربن آلی برای سازند بیان شده در محدوده خلیج فارس می توان نتیجه گیری کرد که کمیت مواد آلی در اثر فرآیندهای تکتونیکی قدیمه از قبیل بلندای قدیمه قطر-فارس قرار داشته است. با حرکت از بلندای قدیمه قطر-فارس به سمت شمال غرب در راستای میادین فرزاد C و فروزان این مقدار افزایش داشته است. همچنین به سمت شرق و عمان نیز بر مقادیر آن افزوده شده است.

گسترش نقشه مقدار اندیس هیدروژن برای سازند گورپی در محدوده خلیج فارس نشان داد که شرایط نیمه اکسیدان تا فاقد اکسیژن برای حفظ شدگی مواد آلی در رسوبات سازند گورپی به سمت شمال غرب خلیج فارس افزایش یافته است. این نتایج نشان می دهد، در بخش شمال غربی خلیج فارس که به ورودی آواری نزدیک تر هستند، شرایط محلی برای حفظ مواد آلی تشکیل شده به صورت محیط های جلودلتایی تا دریایی در بخش غربی ایجاد شده است.

توزیع میانگین انعکاس ویتربینایت برای سازند گورپی در محدوده خلیج فارس نشان داد، کمترین مقدار بلوغ سازند مذکور در محدوده بالآمدگی قطر-فارس می باشد. با حرکت از بلندای قدیمه مذکور به سمت شمال غرب و شرق خلیج فارس مقدار بلوغ افزایش یافته و در شمال غرب به بیشترین مقدار خود رسیده است و نشان می دهد سازند گورپی در ابتدای ورود به پنجره نفت زایی قرار دارد.

نتایج این مطالعه نشان داد که سازند مذکور در بیشترین حالت خود در ابتدای پنجره نفتی قرار دارد و در محل های تاقدیسی نقش عمده ای در تولید هیدروکربن مخازن خلیج فارس بازی نکرده است. نقش این سازند در محدوده ناودیس ها و مشارکت هر چند حداقلی در تولید هیدروکربن به خصوص در شمال غرب خلیج فارس نیاز به مطالعه بیشتر دارد.

## منابع

- اسدی مهماندوستی، ا.، علیزاده، ب. و آدابی، م.ح.، ۱۳۹۰. ارزیابی ژئوشیمیایی سنگ های منشأ و نفت های خام میدان نفتی مارون با استفاده از دستگاه پیرولیز راکا ایول ۶ و کروماتوگرافی گازی (GC). فصلنامه

- Behar, F., Beaumont, V.D.E.B. and Pentead, H.D.B., 2001. Rock-Eval 6 technology: performances and developments. *Oil & Gas Science and Technology*, 56(2): 111-134. Doi: <https://doi.org/10.2516/ogst:2001013>.
- Berberian, M. and Kings, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18(2), 210-265. Doi: <https://doi.org/10.1139/e81-019>.
- Bordenave, M.L. 1993. Applied petroleum geochemistry. Editions Technip, Paris.
- Bordenave, M.L. and 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. London, Geological Society, 330 (Special Publications), 291-353. Doi: <https://doi.org/10.1144/SP330.14>.
- Darvishzadeh, A., 2009. Geology of Iran. Amirkabir publication company, 434.
- Dembicki, H., 2022. Practical petroleum geochemistry for exploration and production. Elsevier.
- Dow, W.G., 1977. Kerogen studies and geological interpretations. *Journal of geochemical exploration*, 7: 79-99. Doi: [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(77\)90078-4](https://doi.org/10.1016/0375-6742(77)90078-4).
- England, W.A., 2007. Reservoir geochemistry-A reservoir engineering perspective. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 58(3-4): 344-354. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2005.12.012>.
- Espitalié, J., 1986. Use of Tmax as a Maturation Index for Different Types of Organic Matter. Comparison with Vitrinite Reflectance. In: *Thermal Modeling in Sedimentary Basins*. ed. By Burrus, J. Publications de l'Institut Français du Pétrole / Institut Français du Pétrole, 44. Editions Technip, Paris, 475-496. Doi: <https://oceanrep.geomar.de/id/eprint/40227>.
- Espitalié, J., Deroo, G. and Marquis, F., 1985. La pyrolyse Rock-Eval et ses applications. Deuxième partie. *Revue de l'Institut français du Pétrole*, 40(6): 755-784. Doi: <https://doi.org/10.2516/ogst:1985045>.
- Espitalié, J., Laporte, J.L., Madec, M., Marquis, F., Leplat, P. and Paulet, J., 1977. Méthode rapide de caractérisation des roches mères, de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution, *Review Institut Français du Pétrole*, 32(1): 23-42. Doi: <https://doi.org/10.2516/ogst:1977002>.
- Espitalie, J., Marquis, F. and Barsony, v., 1984. Geochemical logging. In: K. J. Voorhees (Eds), *Analytical Pyrolysis: Techniques and applications*, Butterworths, Boston, 276-304. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-408-01417-5.50013-5>.
- Ghazban, F., 2007. Petroleum Geology of the Persian Gulf. Tehran University and National Iranian Oil Company Publications, Tehran, 707.
- Han, H., Zhong, N.N., Huang, C.X. and Zhang, W., 2015. Pyrolysis kinetics of oil shale from northeast China: Implications from thermogravimetric and Rock-Eval experiments. *Fuel*, 159, 776-783. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.07.052>.
- Hosseiny, E. and Mohseni, A., 2023. Garau Formation as an unconventional hydrocarbon resource in southwestern Iran: a geochemical investigation. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 13(7): 1535-1549. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13202-023-01634-1>.
- Hosseiny, E., Rabbani, A.R. and Moallemi, S.A., 2016. Source rock characterization of the Cretaceous Sarvak Formation in the eastern part of the Iranian sector of Persian Gulf. *Organic geochemistry*, 99: 53-66. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2016.06.005>.
- Huang, B., Xiao, X. and Zhang, M., 2003. Geochemistry, grouping and origins of crude oils in the Western Pearl River Mouth Basin, offshore South China Sea. *Organic Geochemistry*, 34(7):

- 993-1008. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(03\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(03)00035-4).
- Hunt, J.M., 1996. *Petroleum Geochemistry and Geology*. 2nd Edition, W.H. Freeman and Company, New York, 743.
  - James, G.A. and Wynd, J.G., 1965. Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. *AAPG bulletin*, 49(12): 2182-2245. Doi: <https://doi.org/10.1306/A663388A-16C0-11D7-8645000102C1865D>.
  - Kamali, M. R., Fathi, M. A. and Mohsenian, E., 2006. Petroleum geochemistry and thermal modeling of Pabdeh Formation in Dezful Embayment. *Journal of science (university of Tehran)*, 32(2), 1-11.
  - Kassler, P., 1973. The Structural and Geomorphic Evolution of the Persian Gulf. In: Purser, B.H. (eds) *The Persian Gulf*. Springer, Berlin, Heidelberg. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-65545-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-65545-6_2).
  - Kobraei, M., Sadouni, J. and Rabbani, A.R., 2019. Organic geochemical characteristics of Jurassic petroleum system in Abadan Plain and north Dezful zones of the Zagros basin, southwest Iran. *Journal of Earth System Science*, 128(3), 50-68. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12040-019-1082-0>.
  - Konyuhov, A.I. and Maleki, B., 2006. The Persian Gulf Basin: Geological history, sedimentary formations, and petroleum potential. *Lithol Miner Resour* 41, 344-361. Doi: <https://doi.org/10.1134/S0024490206040055>.
  - Langford, F.F. and Blanc-Valleron, M.M., 1990. Interpreting Rock-Eval Pyrolysis Data Using Graphs of Pyrolizable Hydrocarbons vs. Total Organic Carbon. *AAPG bulletin*, 74(6): 799-804. Doi: <https://doi.org/10.1306/0C9B238F-1710-11D7-8645000102C1865D>.
  - Mashhadi, Z.S., Rabbani, A.R., Kamali, M.R., Mirshahani, M. and Khajehzadeh, A., 2015. Burial and thermal maturity modeling of the Middle Cretaceous-Early Miocene petroleum system, Iranian sector of the Persian Gulf. *Petroleum Science*, 12, 367-390. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12182-015-0040-y>.
  - Page, M.M. and Kuhnel, C., 1980. Rock-Eval pyrolysis as source rock screening technique. *AAPG Bulletin*, 64(5): 762-762.
  - Peters, K.E. and Cassa, M.R., 1994. Applied Source-Rock Geochemistry. In: Magoon L.B. and Dow W.G. Eds. *The Petroleum System. From Source to Trap*, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, 93-120.
  - Peters, K.E., 1986. Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. *AAPG bulletin*, 70(3): 318-329. Doi: <https://doi.org/10.1306/94885688-1704-11D7-8645000102C1865D>.
  - Ramachandran, K., Babu, V., Behera, B.K. and Harinarayana, T., 2013. Source rock analysis, thermal maturation and hydrocarbon generation using rock-eval pyrolysis in parts of Krishna-Godavari basin, India: a case study. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 3, 11-20.
  - Smith, J.T., 1994. Petroleum System Logic as an Exploration Tool in a Frontier Setting. *AAPG Mem*, 60: 25-49.
  - Talaie, F., Kadkhodaie, A., Arian, M. and Chehrazi, A., 2023. Geochemical characteristics and oil-oil correlation of the upper Cretaceous oils from the Iranian part of the Persian Gulf Basin. *J Petrol Explor Prod Technol* 13, 2031-2048. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13202-023-01669-4>.
  - Tissot, B.P. and Welte, D.H., 1984. *Petroleum Formation and Occurrence* Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, New York, Tokio, 699.
  - Waples, D.W., Kamata, H. and Suizu, M., 1992. The art of maturity modeling, part 1: finding a satisfactory geologic model. *AAPG bulletin*, 76(1): 31-46. Doi: <https://doi.org/10.1306/BDF875E-1718-11D7-8645000102C1865D>.