

ارزیابی ویژگی‌های ژئوشیمیایی مواد آلی سازندهای پابده و گورپی میدان نفتی نصرت در جنوب خاور خلیج فارس با استفاده از پیرولیز راک ایول ۶ و کروماتوگرافی گازی

محمد صادقی^۱، محمدرضا کمالی^۲، رضا قوامی ریابی^۳ و بیوک قربانی^۴

^۱ کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

^۲ دانشیار، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

^۳ استادیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

^۴ کارشناسی ارشد، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۱۱

چکیده

در این مطالعه به منظور ارزیابی ویژگی‌های ژئوشیمیایی سازندهای پابده و گورپی در چاه NH-01 در میدان نفتی نصرت تجزیه‌های ژئوشیمیایی انجام شد. این تجزیه‌ها به ترتیب اولویت شامل راک ایول، استخراج بیومن، جداسازی برش‌های هیدروکربنی و کروماتوگرافی گازی (GC) بودند که روی نمونه‌های تهیه شده از خرده‌های حفاری (Cutting) صورت گرفت. نتایج ژئوشیمیایی نشان‌دهنده این هستند که نوع کروژن نمونه‌ها ترکیبی از انواع II-III است که تمایل بیشتر به کروژن نوع II (توانایی تولید نفت بیش‌تر) دارد و بیانگر وجود مواد آلی با منشأ دریایی و همراه با کمی مواد آلی با منشأ خشکی در سازندهاست. ماده آلی این نمونه‌ها در محیطی با شرایط احیایی - نیمه احیایی نهشته شده‌اند. در مجموع نمونه‌های سازند پابده پتانسیل هیدروکربنی ضعیف تا خوب دارند و وارد پنجره نفت‌زایی شده‌اند و از دید شاخص پتانسیل سنگ منشأ یک سنگ منشأ مناسب به شمار می‌روند در حالی که سازند گورپی با وجود بلوغ مناسب بر خلاف سازند پابده از دید پتانسیل، جزو سنگ‌های منشأ ضعیف به شمار می‌رود نتایج حاصل از تجزیه جداسازی برش‌های هیدروکربنی نشان می‌دهد که در بیشتر نمونه‌ها مقدار برش پارافین بالا بوده که معرف پارافینیک بودن این نمونه‌هاست. همچنین مواد آلی موجود در نمونه‌های سازندهای پابده و گورپی به صورت برجاست و هیچ گونه آلودگی در آنها وجود ندارد.

کلیدواژه‌ها: شاخص پتانسیل سنگ منشأ (SPI)، پیرولیز راک ایول VI، سازندهای پابده و گورپی، کروماتوگرافی گازی، میدان نفتی نصرت.

*نویسنده مسئول: محمدرضا کمالی

E-mail: kamalimr@ripi.ir

۱- پیش‌گفتار

یکی از ارکان اصلی هر سامانه نفتی، سنگ منشأ است. بنابراین شناسایی سنگ مادر و وضعیت آن در هر سامانه‌ای ضروری است. درک این مطلب نه تنها مانع از انجام حفاری در نواحی بدون پتانسیل هیدروکربن می‌شود بلکه از اتلاف سرمایه نیز جلوگیری می‌کند. در این مطالعه سعی شده است به تعبیر و تفسیر پتانسیل هیدروکربنی سازندهای پابده و گورپی در میدان نفتی نصرت بپردازد و برای دستیابی به این هدف از داده‌های به‌دست آمده از دستگاه‌های پیرولیز راک ایول، استخراج بیومن، کروماتوگرافی ستونی و کروماتوگرافی گازی استفاده شده است.

بنابراین شناسایی سنگ مادر و وضعیت آن در هر سامانه‌ای ضروری است. درک این مطلب نه تنها مانع از انجام حفاری در نواحی بدون پتانسیل هیدروکربن می‌شود بلکه از اتلاف سرمایه نیز جلوگیری می‌کند. در این مطالعه سعی شده است به تعبیر و تفسیر پتانسیل هیدروکربنی سازندهای پابده و گورپی در میدان نفتی نصرت بپردازد و برای دستیابی به این هدف از داده‌های به‌دست آمده از دستگاه‌های پیرولیز راک ایول، استخراج بیومن، کروماتوگرافی ستونی و کروماتوگرافی گازی استفاده شده است.

۲- تاریخچه میدان نفتی مورد مطالعه

میدان نصرت در سال ۱۹۶۶ میلادی توسط شرکت ملی نفت امارت متحده عربی (شرکت سوپران) کشف و تولید از آن از سال ۱۹۶۹ توسط این کشور آغاز شد. این در حالی بود که اولین چاه اکتشافی ایران در سال ۱۳۶۰ توسط شرکت نفت فلات قاره حفاری شد و بهره‌برداری ایران از این میدان از سال ۱۳۶۵ با حفر ۴ حلقه چاه در لایه سروک بالایی (میشریف) آغاز شد. مطالعات پتروفیزیکی و ژئوفیزیکی (عملیات لرزه‌نگاری) روی این میدان توسط افراد زیادی انجام شده که سبب شناسایی سازندهای ایلام و سروک (بخش میشریف) به عنوان مخزن اصلی این میدان شده است؛ به‌طوری که آخرین عملیات لرزه‌نگاری در سال ۱۹۸۸ توسط اداره اکتشاف در این منطقه انجام شده است (Bashari & Minaei, 2003; Connally, 1988). از آنجایی که هیچ‌گونه مطالعاتی روی این میدان مبنی بر اینکه نفت موجود در آن از چه سازندهایی منشأ گرفته یا اینکه چه سازندهایی توانسته‌اند به عنوان سنگ منشأ اصلی این میدان به شمار بیایند انجام نشده است، سعی شد تا با تهیه نمونه‌های به‌دست آمده از خرده‌های حفاری میدان نفتی نصرت که در انبار مغزه شرکت ملی نفت نگهداری می‌شوند تعیین کرد که چه سازندهایی توانسته‌اند منشأ

۳- اهداف مطالعه

یکی از اهداف مهم ژئوشیمی آلی، مشخص کردن واحدهای چین‌هایی است که در یک حوضه رسوبی تشکیل بهترین سنگ‌های منشأ را می‌دهند (Hunt, 1996). اهداف اصلی این پژوهش عبارت‌اند از: الف) ارزیابی نوع کروژن، ب) شرایط محیط تشکیل مواد آلی، ج) میزان بلوغ سازندهای مورد مطالعه، د) توان تولید و پتانسیل هیدروکربنی سازندهای مورد مطالعه. برای دستیابی به اهداف تعیین شده لازم است که نمونه‌های به‌دست آمده از سازندهای موجود در میدان نفتی نصرت تحت آزمایش‌های مقدماتی و تکمیلی ژئوشیمیایی آلی قرار گیرند.

۴- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

میدان نفتی نصرت در مجاورت خط مرزی آبی خلیج فارس بین جمهوری اسلامی ایران و کشور امارات متحده عربی (میدان فاتح) مشترک است، این میدان در ۳۵ کیلومتری جنوب خاوری جزیره سیری، ۵۳ کیلومتری جنوب باختر جزیره ابوموسی و ۵۵ کیلومتری جنوب خاور جزیره فرور (Farur) در خاوری‌ترین بخش خلیج فارس واقع شده است (Ghazban, 2007؛ شکل ۱).

تاقدیس این میدان دارای روند شمال خاور، جنوب باختر (NE-SW) بوده که از طرفین آن تحت تأثیر ۳ گسل عمده (Major) و جزئی (Minor) قرار گرفته و مساحت میدان ۸۰ کیلومتر مربع است. سنگ مخزن این میدان آهکی (میشریف) است و ۴۵ متر ستبراً با تخلخل متوسط ۲۰ تا ۲۲٪ دارد (Ghazban, 2007). از آنجایی

سری محصولات راک ایول است. پس از انتخاب نمونه‌ها در آزمایشگاه، مقدار ۶۰ تا ۷۰ میلی‌گرم از هر نمونه تیمار و سپس توسط دستگاه راک ایول VI تجزیه شد و مقدار کل کربن آلی (TOC= Total Organic Carbon)، S_1 ، S_2 و متغیرهای دیگر مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱).

۳-۵. تجزیه کروماتوگرافی گازی

تجزیه کروماتوگرافی گازی روش دیگری است که در این مطالعه به منظور ارزیابی ژئوشیمیایی از آن استفاده شده است، کروماتوگرافی گازی از روش‌هایی است که در ژئوشیمی آلی برای تعیین ویژگی نفت‌ها استفاده می‌شود. این روش به‌طور کلی به منظور شناسایی پراکندگی هیدروکربن‌ها و چگونگی حضور ترکیبات مختلف از جمله آلکان‌های عادی، ایزوپرنوئیدهای مانند رستان (Pr=Pristine) و فیتان (Ph=Phytane) و برخی دیگر بیومارکرها است. از داده‌های به‌دست آمده از این روش، می‌توان نوع رخساره آلی، نوع کروژن، نوع محیط رسوب‌گذاری، بلوغ حرارتی و تأثیر پدیده‌های تخریب زیستی روی نمونه‌های مورد مطالعه را تعیین کرد. سپس آسفالتین نمونه‌ها از راه افزودن حلال عادی هگزان رسوب داده می‌شود (باقری و عزیزاده، ۱۳۸۶). در مرحله بعد، تجزیه کروماتوگرافی ستونی (با استفاده از روش‌های استاندارد ثبت شده) به منظور جدایش سه جزو اشباع (Saturate)، آروماتیک (Aromatic) و رزین (Resin) روی نمونه‌ها انجام شد. در نهایت جزو اشباع نمونه‌ها به منظور تجزیه تکمیلی وارد دستگاه کروماتوگراف گازی شد، گفتنی است که دستگاه کروماتوگراف گازی مورد استفاده در این مطالعه مدل CP-3800 بوده که ساخت شرکت VARIAN هلند است، شناسایی پیک‌ها توسط آشکارگر FID انجام گرفته است. ستون موئینه‌ای به طول ۲۵ متر و با قطر داخلی ۰/۵۳ میلی‌متر است. گاز حامل (Carrier Gas) هلیوم بوده و از هوای فشرده و گاز هیدروژن برای شعله آشکارگر (FID) استفاده شده است.

۶-۶. بحث

به منظور اطمینان از عدم آلودگی نمونه‌ها از منحنی تغییرات S_1 در برابر TOC استفاده شد (شکل ۳). همان‌گونه که دیده می‌شود همه نمونه‌های برداشت شده از سازندهای پابده و گورپی زیر خط آلودگی قرار گرفته‌اند. یا به عبارت دیگر نسبت S_1/TOC در این سازندها کمتر از ۱/۵ و از همین رو احتمال آغشتگی و یا آلودگی این نمونه‌ها بسیار پایین است.

۶-۱. تعیین نوع کروژن

بر پایه نتایج حاصل از تجزیه پیرولیز راک ایول نمونه‌های تهیه شده از خرده‌های حفاری (جدول ۱)، برای پی بردن به نوع کروژن و میزان بلوغ آن می‌توان از نمودار تغییرات HI (شاخص هیدروژن) در برابر OI (شاخص اکسیژن) که به نوعی می‌شود آن را نمودار ون کروژن تصحیح شده به شمار آورد (شکل ۴) و نیز نمودار تغییرات HI در برابر T_{max} (شکل ۵) استفاده کرد (Alizade et al., 2012). نمودار ون کروژن تصحیح شده که برای نمونه‌های سازندهای پابده و گورپی رسم شده است (شکل ۴)، بیانگر آن است که نوع کروژن همه نمونه‌ها تلفیقی از کروژن‌های نوع II و III است و بیشتر دارای کروژن نوع II هستند که خود گویای این مطلب است که سازندهای پابده و گورپی توانایی تولید نفت بیشتری دارند (شکل ۴). به نظر می‌رسد که علت اصلی این اختلاف در نوع کروژن‌ها، این نکته باشد که سازندهای پابده و گورپی رخساره‌های متنوعی دارند که باید بررسی شود.

۶-۲. درجه پختگی (Maturity)

یکی از راه‌های تعیین درجه پختگی (میزان بلوغ) مواد آلی موجود در سازندهای پابده و گورپی و نیز تعیین نوع کروژن توسط دستگاه پیرولیز راک ایول، استفاده از متغیر T_{max} است (Hunt, 1996). در نمودار HI بر حسب T_{max} نوع کروژن و میزان بلوغ نمونه‌ها نشان داده شده است (شکل ۵). کروژن همه نمونه‌ها ترکیبی از کروژن

که نمونه‌های به‌دست آمده از چاه NH-01 میدان نفتی نصرت (موقعیت این چاه به دلیل قرارگیری آن در مرز مشترک ایران با امارات متحده عربی محرمانه بوده و از سوی شرکت ملی نفت ایران اجازه انتشار داده نشده است) مربوط به سازندهای پابده و گورپی است، لازم است که اطلاعاتی از این سازندها داده شود.

— سازند پابده: در مقطع نمونه دارای ستبرای ۱۴۱۹ متر است که از پایین به بالا شامل نمونه‌های مارتی با میان‌لایه‌های شیلی و آهکی به سن ترشیری پایینی (ائوسن) است (جدول ۱).

— سازند گورپی: در مقطع نمونه ستبرای ۳۵۸ متر دارد که از پایین به بالا شامل تناوبی از لایه‌های شیلی، مارتی است که در صد شیل و مارن یکنواخت نیست، گاهی شیل و گاهی مارن برتری دارد (جدول ۱). سازند گورپی به سن کرتاسه بالایی (ماستریشین) است.

۵-۵. روش مطالعه

یکی از عوامل مؤثر بر پیشرفت‌های چشمگیر و تحولات بزرگ در علم ژئوشیمی آلی، به‌کارگیری دستگاه‌های دقیق و پیشرفته آزمایشگاهی است، و از آنجا که ژئوشیمیست‌ها با سنگ و سیال سر و کار دارند، طبیعی است که برای ارزیابی سامان‌مند سنگ مادر، نیاز به ابزارها و روش‌های تجزیه‌ای داشته باشند (رجبی هرسینی و معماریانی، ۱۳۸۹). پیش از هر نوع تجزیه، نمونه‌ها باید آماده‌سازی و کاملاً از هر گونه آلودگی پاک‌سازی شوند. سپس به تناسب نوع مطالعه، از روش‌های تجزیه‌ای ژئوشیمیایی اکتشافی مانند روش‌های پیرولیزی و شیمیایی و ژئوشیمیایی بهره گرفته می‌شود.

در این مطالعه پیرامون نتایج حاصل از نمونه‌های تهیه شده از خرده‌های حفاری چاه NH-01 موجود در سازندهای پابده و گورپی در میدان نفتی نصرت و آزمایش‌های ژئوشیمیایی صورت گرفته روی آنها، به منظور احتمال منشأ بودن سازندهای پابده و گورپی بحث می‌شود. بر این اساس در چهار چوب این کار مطالعاتی، شماری نمونه از ژرفای ۱۱۲۸ تا ۲۸۹۶ متری موجود در سازندهای پابده و گورپی در چاه یادشده پس از بررسی و مطالعه روی خرده‌های حفاری، از بخش‌های مناسب تهیه شد. به‌طوری که سعی بر آن شد که نمونه‌هایی برای تجزیه انتخاب شوند که هوازده نباشند و بیشتر شیلی و مارتی باشند.

۹۲ نمونه که از این تعداد خرده حفاری ۵۹ نمونه آن مربوط به سازند پابده و ۳۳ نمونه دیگر مربوط به سازند گورپی است در آزمایشگاه مورد تجزیه پیرولیز راک ایول ۶ قرار گرفت و ۶ نمونه برای تجزیه‌های شیمیایی و تکمیلی انتخاب شد (۳ نمونه مربوط به سازند پابده (Pb#1, Pb#2, Pb#3) و ۳ نمونه دیگر مربوط به سازند گورپی (Gu#1, Gu#2, Gu#3)) که در جدول ۱ ویژگی‌های نمونه‌ها بیان شده است. هدف کلی تعریف شده برای این طرح مطالعاتی، شناخت و آگاهی از ویژگی‌های ژئوشیمیایی آلی سازندهای پابده و گورپی در میدان نفتی نصرت است.

۵-۱. مراحل کلی تجزیه نمونه‌ها در آزمایشگاه ژئوشیمی آلی

در ابتدا مغزه یا خرده حفاری در واحد شستشو و آماده‌سازی به‌صورت پودر در می‌آید. بخشی از این پودر (حدود ۱۰۰ میلی‌گرم) وارد دستگاه پیرولیز راک ایول و بخشی از آن نیز وارد بخش استخراج بیتومن (Bitumen Extraction) می‌شود و بیتومن آن توسط دستگاه سوکسله (Soxhlet) بیرون می‌رود. از بیتومن استخراجی مقدار آسفالتین آن گرفته و وارد بخش کروماتوگرافی ستونی (Column Chromatography) می‌شود تا اجزای رزین، آروماتیک و هیدروکربن‌های اشباع آن جداسازی شود. در ادامه بخش اشباع هیدروکربن وارد دستگاه کروماتوگرافی گازی می‌شود (شکل ۲).

۵-۲. تجزیه پیرولیز راک ایول

روش پیرولیز راک ایول VI، که در این مطالعه به‌کار گرفته شده، آخرین نسل از

متغیر از B, BC و C است. شاید بتوان علت این امر را به متغیر بودن شرایط محیطی از دید اکسیدان و احیا بودن محیط در زمان نهشته شدن این سازند نسبت داد. در شکل ۹ پراکنندگی آن در سه رخساره، نشانی بر تلفیق ماده آلی دریایی با قاره‌ای است.

سازند گورپی نشان‌دهنده آن است که این سازند دارای محدوده رخساره‌ای BC-C است، این محدوده‌ها شاخص محیط‌های دریایی احیایی تا کمی اکسیدان هستند.

۶-۵. استخراج مواد آلی

۶ نمونه از چاه NH-01 میدان نفتی نصرت برای تجزیه‌های شیمیایی و تجزیه‌های تکمیلی انتخاب شد. پس از تفکیک بیتومن از نمونه‌ها، و سپس رسوب دادن آسفالتین و انجام کروماتوگرافی ستونی سیال، برش‌های مختلف تعیین درصد شدند که نتایج حاصل در جدول ۲ ارائه شده است.

بیتومن استخراج شده از نمونه‌های مورد مطالعه بیشتر غنی از ترکیبات هیدروکربن‌های اشباع (پارافینی) است (جدول ۲).

همان‌گونه که در شکل ۱۰ نشان داده شده است میزان فراوانی ترکیبات اشباع سازنده‌های پایده و گورپی به مراتب بیشتر از بقیه ترکیبات است و همچنین نفت نمونه‌های Pb#1، Pb#2 و Gu#2 با داشتن مقدار ترکیبات اشباع بیشتر نسبت به بقیه نمونه‌های مورد مطالعه، بلوغ بیشتری نشان می‌دهد (شکل ۱۰) که البته این نکته باید با متغیرهای دیگر نیز مورد بررسی قرار گیرد.

۶-۶. تعیین کیفیت هیدروکربنی نمونه‌های مورد مطالعه

برای تعیین نوع نفت‌های مورد مطالعه از نمودار مثلثی Tissot & Welte (1984) - که بر پایه درصد سه جزو اشباع، آروماتیک و قطبی (Polar = NSO = Resin + Asphaltene) است - استفاده شد. کیفیت هیدروکربن‌های موجود طبق نتایج به‌دست آمده از استخراج مواد آلی (جدول ۲) بیان می‌شود (شکل ۱۱). بر این اساس در آثار و بقایای مواد هیدروکربنی موجود در نمونه‌های تهیه شده از میدان نفتی نصرت به‌جز نمونه شماره ۳ سازند پایده (Pb#3) که ترکیب نفت آن نفتیکی است، بقیه نمونه‌ها نشان‌دهنده درصد بالای برش اشباع (پارافینیک) هستند (شکل ۱۱).

پس از تفکیک ترکیبات استخراج شده از نمونه‌ها (ترکیبات اشباع، آروماتیک، رزین و آسفالتین)، برای انجام تجزیه‌های تکمیلی و شناسایی ترکیبات اشباع از روش کروماتوگرافی گازی استفاده شد.

۶-۷. روش کروماتوگرافی گازی (GC)

نتایج حاصل از کروماتوگرافی گازی ترکیبات اشباع نمونه‌های تهیه شده از سازنده‌های پایده (۳ نمونه) و گورپی (۳ نمونه) در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج حاصل از طیف‌های گازی اشباع نمونه‌ها، دارای nC15+ است و هیدروکربورهای سبک (محدوده کمتر از nC15+) به دلیل تبخیر در هنگام انجام آزمایش‌های سوکسله، کروماتوگرافی ستونی و دستگاه تبخیر گردان از زمینه کروماتوگرام محو شده‌اند و اجزای سنگین‌تر (nC15+) بیشتر دیده می‌شوند.

با توجه به کروماتوگرام‌های گازی حاصل از نمونه‌های مورد آزمایش و مقادیر آلکان‌های عادی آنها می‌توان دریافت که محدوده ابتدایی کروماتوگرام‌ها تقریباً خالی از ترکیبات اشباع (تا محدوده nC₁₄) است که خود ناشی از تبخیر شدن مواد آلی در هنگام عملیات جداسازی است و دیگر اینکه نمونه‌ها برای سال‌ها در آرشو (انبار مغزه‌های شرکت ملی نفت) نگهداری شده‌اند بنابراین الگوی هیدروکربنی طبیعی (با فراریت اجزای سبک) را نشان می‌دهند.

۶-۸. ارزیابی بلوغ و محیط رسوب‌گذاری سنگ‌های منشأ بر پایه

- شاخص ترجیحی کربن (CPI = Carbon Preference Index): در سنگ‌های منشأ با بلوغ حرارتی بالا هیدروکربن‌های تولید شده دارای مقادیر CPI بین ۰/۹ تا ۱/۳ هستند. به همین دلیل این متغیر می‌تواند برای ارزیابی بلوغ سنگ‌های منشأ نیز به کار رود (Yensepbayev et al., 2010).

نوع II-III است که نوع II آن نمود بیشتری دارد، بنابراین نمودار HI در برابر T_{max}، نتایج نمودار HI در برابر OI را از دید نوع کروژن تأیید می‌کند. بر پایه نمودار رسم شده (شکل ۵) بیشتر نمونه‌های سازنده‌های پایده و گورپی وارد پنجره نفت‌زایی (Mature Oil Zone) شده‌اند (شکل ۵) و شمار دیگری هم در ورود به پنجره نفت‌زایی قرار دارند. این خود نشان می‌دهد که سازنده‌های پایده و گورپی به عنوان سنگ منشأ احتمالی با رسیدن به مرحله کاتاژنز (T_{max} بالاتر از ۴۳۵ °C) توانسته‌اند در شروع مسیر بلوغ حرارتی قرار گیرند.

۶-۳. تعیین هیدروکربن‌های زایشی

به منظور بررسی نوع هیدروکربن‌های زایشی مورد انتظار از سازنده‌های پایده و گورپی از متغیر HI در برابر TOC استفاده شده است (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۵) و نتایج آن در شکل ۶ دیده می‌شود. رسم نمودار HI در برابر TOC برای سازنده‌های پایده و گورپی نشان می‌دهد که نمونه‌های سازند پایده در محدوده ضعیف تا خوب (Fair - Good) قرار دارند (شکل ۶). در حالی که نمونه‌های سازند گورپی بیشتر در محدوده ضعیف نفتی (Fair Oil Source) قرار دارند و تنها شمار کمی از آنها پتانسیل هیدروکربنی خوبی (Good Oil Source) دارند (شکل ۶).

همچنین می‌توان از نمودار تغییرات S₁+S₂ در برابر TOC برای تعیین توان و پتانسیل ذاتی سازنده‌ها استفاده کرد (Huang et al., 2003). رسم این نمودار برای نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که پتانسیل هیدروکربنی نمونه‌های سازند پایده از ضعیف تا خوب (Lean-Good) متغیر است (شکل ۷) که خود تأیید کننده نتیجه نمودار HI در برابر TOC نیز است.

پتانسیل هیدروکربنی نمونه‌های سازند گورپی از ضعیف تا خوب متغیر است که بخش کمی از نمونه‌ها پتانسیل خوبی دارند و بیشتر پتانسیل ضعیفی دارند (شکل ۷). که باز هم تأیید کننده نتیجه نمودار HI در برابر TOC نیز است.

از دیگر روش‌هایی که توسط آن می‌توان میزان پتانسیل هیدروکربنی نمونه‌ها و میزان بلوغ را تعیین کرد. رسم نمودار حاصل از متغیرهای T_{max} و شاخص تولید (PI) به صورت T_{max} در برابر PI است.

بر پایه نمودار T_{max} در برابر شاخص تولید (PI=S₁/S₁+S₂) ثابت شد که بیشتر نمونه‌های سازنده‌های پایده و گورپی وارد پنجره نفتی شده‌اند (شکل ۸) که این مطلب نیز خود تأیید کننده نتیجه نمودار شاخص هیدروژنی بر حسب T_{max} است.

۶-۴. تعیین رخساره آلی سازنده‌های پایده و گورپی با استفاده از نمودار جونز

برای تعیین رخساره آلی سازنده‌های پایده و گورپی از نمودار جونز استفاده شده است (شکل ۹). این نمودار که بر پایه تغییرات مقادیر HI در برابر OI است محدوده رخساره‌های آلی موجود در سازنده‌ها را مشخص می‌کند. هر کدام از محدوده‌ها در جدول اطلاعاتی جونز ویژگی‌های مخصوص به خود را دارند که در ادامه آمده است؛ ویژگی‌های محدوده‌های مشخص شده عبارت‌اند از:

A: محیط دریاچه‌ای به‌شدت احیایی، AB: محیط‌های دریایی پیشرونده احیایی، B: محیط‌های دریایی یا دریاچه‌ای به‌نسبت احیایی، BC: محیط‌های دارای مواد آلی دریایی و قاره‌ای و رسوب‌گذاری سریع در شرایط به‌نسبت اکسیدان، C: محیط‌هایی با سرعت رسوب‌گذاری متوسط در شرایط احیایی، CD: محیط‌های ژرف در مجاورت نقاط کوهزایی، D: محیط‌های قاره‌ای به‌شدت اکسیدان (Jones, 1987).

بنابراین با جانمایی نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار جونز (گفتنی است که شاخص اکسیژن نمودار جونز به اندازه ۴۰۰ واحد افزوده شده است که دلیل آن هم بالا بودن OI نمونه‌های مورد مطالعه نسبت به OI نمودار جونز است)، رخساره‌های آلی سازنده‌های پایده و گورپی به‌صورت زیر تعیین شدند (شکل ۹):

سازند پایده دارای محدوده رخساره ای B- BC و به مقدار کمتر در محدوده رخساره C است، این محدوده‌ها شاخص محیط‌های دریایی احیایی تا کمی اکسیدان هستند. از نکات قابل توجه در این نمودار آن است که سازند پایده دارای محدوده

ممکن است با وجود داشتن کروژن‌های نوع I و II و پتانسیل ژنتیکی عالی (معمولاً $S_1 + S_2 > 10 \text{ mg HC/g rock}$) به سبب کم بودن ستبرایش هیدروکربن اقتصادی از آن تولید نشود. شاخص توان سنگ مادر (SPI = Source Potential Index) به عنوان کمیت هیدروکربن قابل تشکیل از یک سنگ مادر به مساحت یک متر مربع تعریف شده است و توسط رابطه ۳ محاسبه می‌شود (Demaison & Huizinga, 1991):

$$SPI = \frac{h(S_1 + S_2)\rho}{1000} \quad (3)$$

در رابطه ۳ SPI شاخص توان سنگ منشأ (بر حسب تن متریک هیدروکربن در هر متر مربع)، h ستبرای خالص سنگ منشأ (بر حسب متر) که میان‌لایه‌هایی بدون پتانسیل منشأ قابل ملاحظه را مستثنی می‌کند، $(S_1 + S_2)$ میانگین پتانسیل ژنتیکی (بر حسب کیلوگرم هیدروکربن در تن متریک سنگ) و ρ چگالی سنگ (بر حسب تن متریک در متر مکعب) است (شکل ۱۳).

روش محاسبه SPI یا جمع کل توان هیدروکربن‌زایی روش ساده‌ای است که از آن برای درجه‌بندی سنگ‌های مادر از دید میزان مولد بودن استفاده می‌شود. در این روش هم میزان غنی بودن سنگ مادر و هم ستبرای آن مد نظر قرار می‌گیرد (Demaison & Huizinga, 1991).

در مناطقی که فعالیت اکتشافی گسترده‌ای انجام شده است، بین اندازه SPI‌های سنگ منشأ و منابع نفتی مربوط به آن سامانه نفتی تطابق مثبتی برقرار است. سنگ‌های منشأ با SPI‌های زیاد از دید آماری با منابع هیدروکربنی و تولیدی میدان‌های نفتی بسیار بزرگ همراه هستند، برخلاف اینها، سنگ‌های منشأ با SPI کم یا با منابع نفتی و تولیدی میادین کوچک‌تر از میدان‌های بزرگ، همراه یا غیر مولد هستند. سه واژه‌ای که از آنها برای توصیف مقدار تغذیه استفاده می‌شود شامل سوپرشارژ (Super Charge)، شارژ معمولی (Normal Charge) و شارژ کم (Under Charge)، به صورت مشروط بر حسب اندازه SPI (زیاد، متوسط و کم) نسبت داده می‌شوند (Demaison & Huizinga, 1991؛ شکل ۱۴).

در میدان نفتی نصرت با توجه به ستبرای سازند (h)، میانگین پتانسیل ژنتیکی $(S_1 + S_2)$ ، چگالی (ρ) ۲/۵ کیلوگرم بر مترمکعب برای هر سازند، مقدار شاخص پتانسیل سنگ منشأ هر سازند محاسبه می‌شود (جدول ۶).

با توجه به سامانه زهکشی عمودی میدان نفتی نصرت و رده‌بندی‌های SPI (شکل ۱۴) تعیین شد که سازند پابده دارای SPI میانه و سازند گورپی SPI کم است و می‌توان این نتیجه را گرفت که سازند پابده به دلیل داشتن ستبرای بیشتر نسبت به سازند گورپی دارای پتانسیل زایش هیدروکربنی بیشتری است؛ بنابراین از دید اقتصادی دارای اهمیت است.

۷- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات صورت گرفته و تفسیرهایی که از نتایج تجزیه‌های مختلف انجام شده روی نمونه‌های تهیه شده از سازندهای پابده و گورپی از چاه NH-01 در میدان نفتی نصرت از حوضه رسوبی خلیج فارس به دست آمد، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد:

نمونه‌های سازندهای پابده و گورپی در پیرولیز راک ایول VI نشان دادند که هیچ گونه آغشتگی یا آلودگی در آنها دیده نشده است. ارزیابی نمونه‌های مورد مطالعه نشان‌دهنده وجود احتمالی کروژن از انواع II-III با نمود بیشتر از نوع II است که توان تولید نفت بیشتری دارد. نمونه‌های مورد مطالعه سازند پابده از دید غنای مواد آلی، ضعیف تا خوب و از دید درجه‌بندی سنگ منشأ احتمالی، با پتانسیل هیدروکربنی متوسط ارزیابی می‌شوند. در حالی که نمونه‌های سازند گورپی از دید غنای مواد آلی، ضعیف تا متوسط و از دید درجه بندی سنگ منشأ احتمالی، با پتانسیل هیدروکربنی ضعیف ارزیابی می‌شوند. بررسی ویژگی‌های مواد آلی حاصل از نمونه‌ها، نشان می‌دهد که نمونه‌ها بیشتر غنی از ترکیبات اشباع (پارافینیک) هستند.

بدین ترتیب شاخص برتری کربن مطابق رابطه ۱ محاسبه می‌شود

(Bray & Evans, 1961):

$$CPI = \frac{2 \times (C_{23} + C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33})}{C_{22} + 2 \times [C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32}] + C_{34}} \quad (1)$$

بر پایه جدول ۴، نوع سنگ منشأ را با توجه به CPI ارزیابی می‌کنند. بر پایه مقادیر به دست آمده از تجزیه GC انجام شده نسبت CPI برای نمونه‌های مورد مطالعه مورد محاسبه قرار گرفت (جدول ۳)؛ که بر این اساس CPI در حدود ۱ (CPI~1) در این نمونه‌ها، نشان‌دهنده بالغ بودن آنهاست. همچنین این مقدار می‌تواند نشان‌دهنده سنگ منشأ دریایی برای نمونه‌ها نیز باشد.

– **نسبت پرستان به فیتان (Pr/Ph):** از نسبت پرستان به فیتان (Pr/Ph) برای جدایش نوع محیط رسوب‌گذاری نفت و یا سنگ منشأ استفاده می‌شود. در محیط‌های اکسیدان، نسبت Pr/Ph (مانند باتلاق‌های پتی (Peat Swamps)) بالاست در حالی که در محیط‌های احیایی این نسبت رو به کاهش می‌گذارد (جدول ۵؛ Hunt, 1996).

نسبت پرستان به فیتان (Pr/Ph) محاسبه شده برای نمونه‌های مورد مطالعه نشان داد که این نسبت در همه نمونه‌ها به جز نمونه شماره ۲ سازند گورپی (Gu#2) کمتر از ۱ است (جدول ۳) و نشان‌دهنده این است که نمونه‌ها در شرایط احیایی رسوب کرده‌اند ولی نمونه شماره ۲ سازند گورپی در شرایط اکسیدی رسوب کرده است. گفتنی است که در به کار بردن این نسبت باید محتاط رفتار کرد چرا که این نسبت ممکن است در شرایط مختلف تغییر کند. به عبارت دیگر این نتیجه باید با متغیرهای دیگر نیز مقایسه شود (کمالی و قربانی، ۱۳۸۵).

– **نسبت مواد قاره‌ای به دریایی (Terrigenous / Aquatic Ratios, TARs):** بر پایه مقادیر محاسبه شده برای نسبت مواد آلی قاره‌ای به دریایی این مقدار در نمونه‌های مورد مطالعه دارای مقدار کمی (در حدود ۰/۱۵) است (جدول ۳). این امر نشان‌دهنده تأثیر بیشتر مواد آلی دریایی نسبت به قاره‌ای در سنگ منشأ نفت‌های این میدان است. شاخص TARs به صورت رابطه ۲ محاسبه می‌شود (Hunt, 1996):

$$TARs = \frac{(nC_{27} + nC_{29} + nC_{31})}{(nC_{15} + nC_{17} + nC_{19})} \quad (2)$$

– **رسم تغییرات نمودار نسبت‌های Pristane/nC17 در برابر Phytane/nC18:** با استفاده از نمودار نسبت‌های Pr/nC17 و Ph/nC18 می‌توان شرایط رسوب‌گذاری، نوع مواد آلی (کروژن)، اکسیدی یا احیایی بودن محیط، درجه بلوغ نمونه‌ها و اثرات تخریب حیاتی را در نمونه‌های سنگ‌های منشأ بررسی کرد (شکل ۱۲). بر این اساس مشخص شد که:

نمونه Pb#3 تحت تأثیر تجزیه‌شدگی زیستی در هنگام دیاژنز قرار نگرفته است زیرا در شرایط احیایی بالایی رسوب کرده، محیط رسوب‌گذاری اولیه مواد آلی آن دریایی بوده و از ماده آلی جلبکی (کروژن نوع II) است و نسبت به بقیه نمونه‌ها میزان بلوغ بالاتری دارد. در نمونه‌های Gu#1، Gu#3، Pb#1، Pb#2، تخریب حیاتی دیده نشد و بلوغ نمونه‌ها مناسب است. شرایط رسوب‌گذاری نمونه‌ها در محیط احیایی-نیمه احیایی بوده است (سنگ منشأ احتمالی). نوع کروژن (ماده آلی) نمونه‌ها بر پایه نمودار رسم شده (شکل ۱۲) بیشتر مخلوطی از انواع کروژن نوع II-III است. نمونه Gu#2 که در شرایط اکسیدی رسوب کرده و دارای کروژن نوع III است، نشان‌دهنده نهشته شدن مواد آلی در محیط تخریبی یا قاره‌ای است (شکل ۱۲).

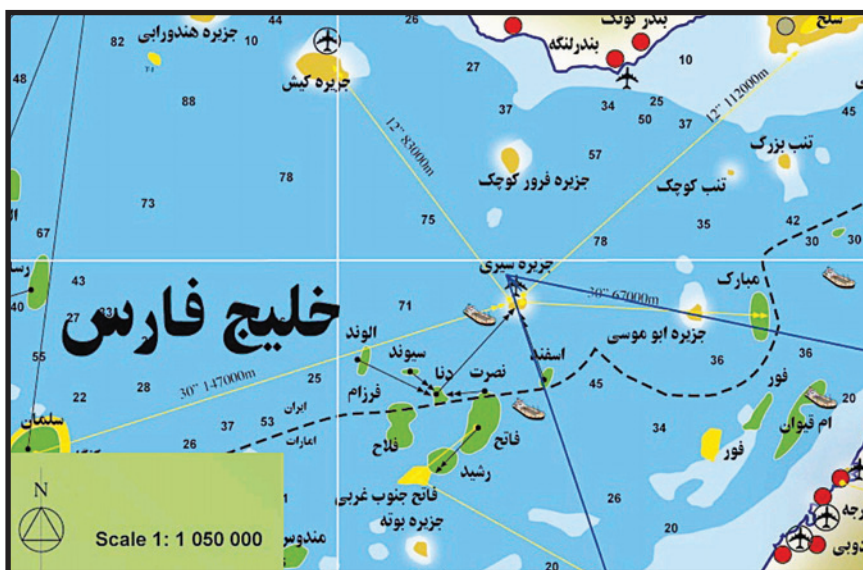
۶-۹- شاخص پتانسیل سنگ منشأ میدان نفتی نصرت

در هنگام ارزیابی حوضه‌های رسوبی، محاسبات حجمی سنگ مادر (شامل ستبرا و گسترش افقی) را نباید از نظر دور داشت. یک سنگ مادر مستعد برای نفت‌زایی،

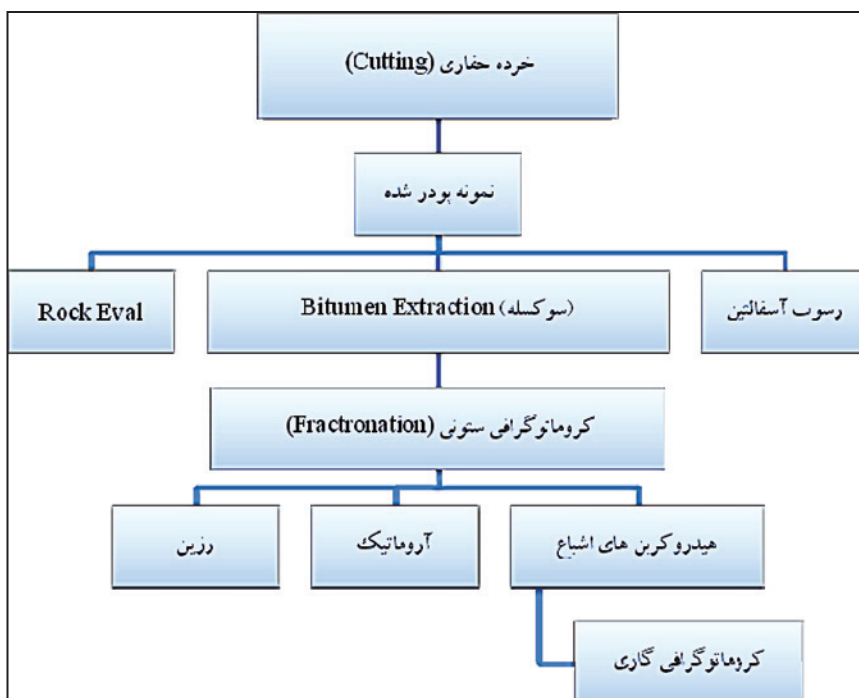
سپاسگزاری

این مقاله با حمایت‌های مادی و معنوی شرکت ملی نفت ایران انجام شده است؛ بنابراین نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از واحد تحقیق و پژوهش شرکت نفت فلات قاره ایران برای در اختیار نهادن داده‌های مورد نیاز سپاسگزاری کنند. همچنین جا دارد از پرسنل آزمایشگاه AGH کراکوف لهستان که زحمت تجزیه‌های پیرولیز راک ایول VI را کشیدند و همچنین پرسنل محترم آزمایشگاه کروماتوگرافی گازی پژوهشگاه صنعت نفت برای انجام آزمایش‌های مربوط به کروماتوگرافی ستونی و کروماتوگرافی گازی نمونه‌ها، سپاسگزاری ویژه‌ای شود.

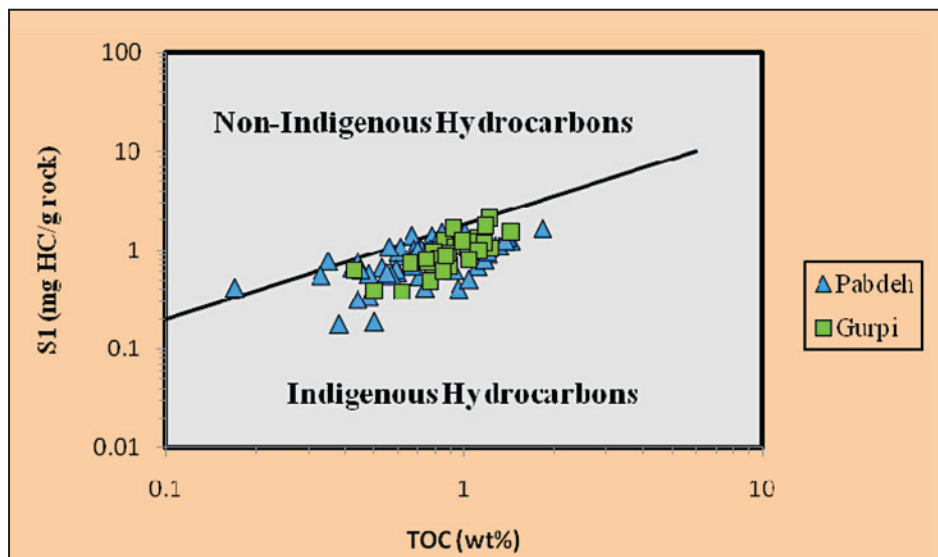
منشأ مواد آلی نمونه‌ها (سنگ منشأ مولد احتمالی) بیشتر از نوع دریایی با کمی ورودی از خشکی است. محیط رسوب‌گذاری نمونه‌ها (سنگ منشأ مولد احتمالی) با شرایط احيایی- نیمه‌احیایی بوده است و آثار تخریب زیستی در نمونه‌ها دیده نمی‌شود. از دید میزان بلوغ سنگ مادر احتمالی مولد در هیدروکربن‌های مورد مطالعه، نمونه‌ها بیشتر بالغ هستند و وارد پنجره نفت‌زایی شده‌اند. بنابراین با توجه به موارد گفته شده در بالا به نظر می‌رسد که میان‌لایه‌های ماری- آهکی موجود در سازند پابده مسئول تولید هیدروکربن در میدان نفتی نصرت هستند.



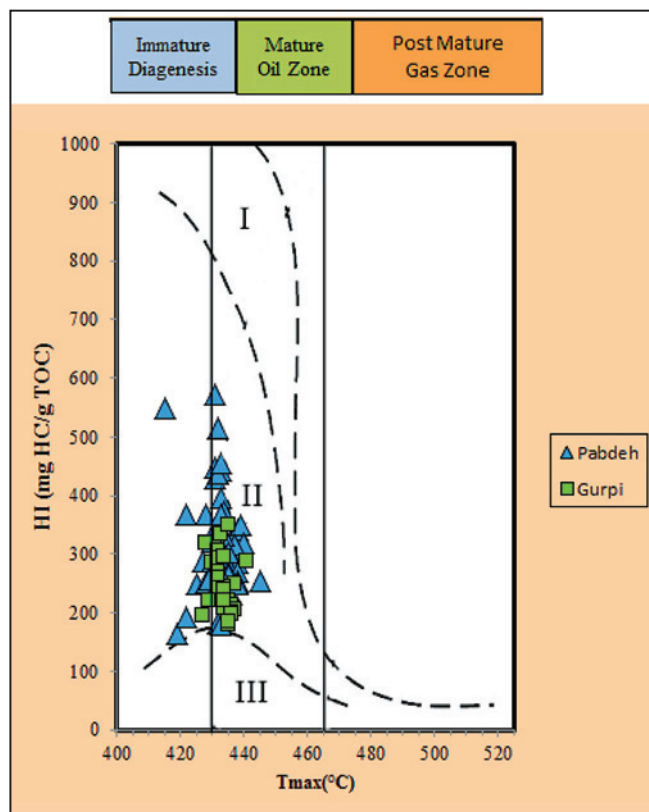
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی میدان نفتی نصرت.



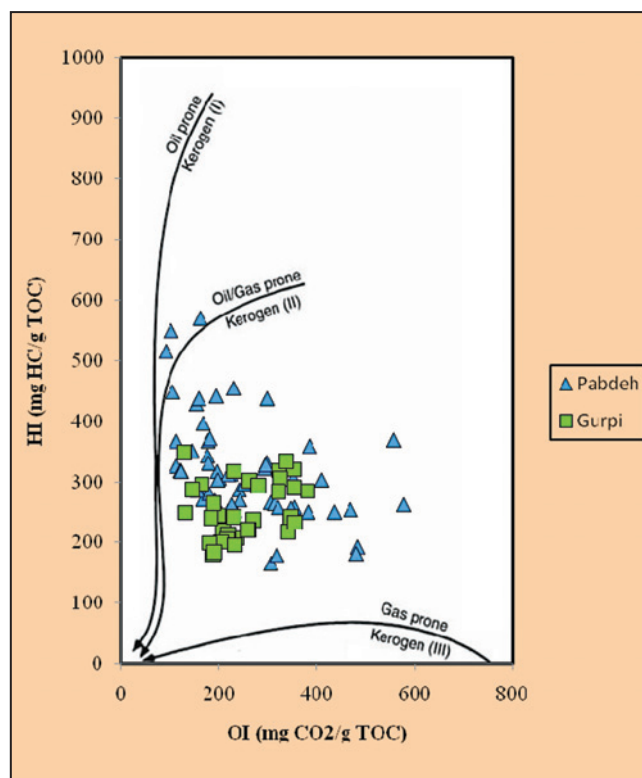
شکل ۲- ترتیب مراحل انجام تجزیه نمونه.



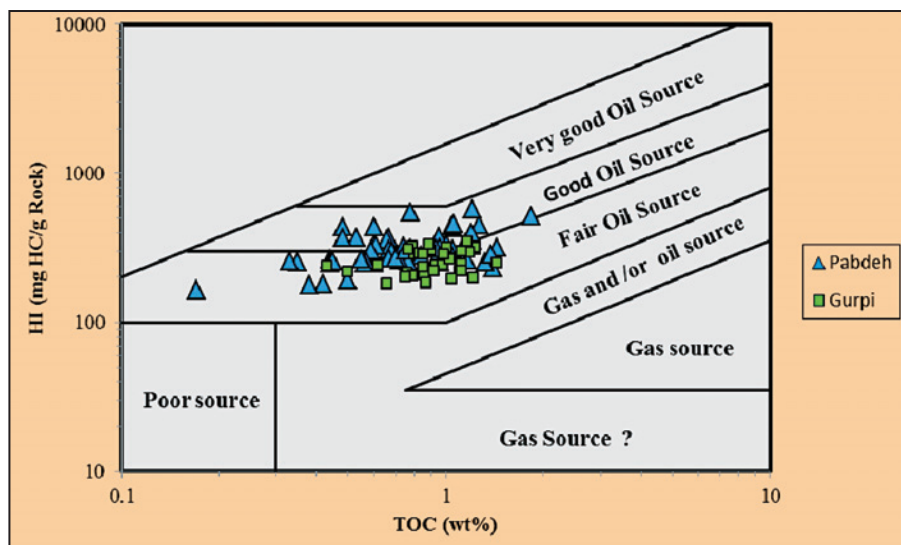
شکل ۳- منحنی تغییرات S_1 در برابر TOC نمونه‌های مورد مطالعه سازندهای پابده و گورپی (Hunt, 1996).



شکل ۵- نمودار HI در برابر Tmax به منظور تعیین بلوغ و نوع کروژن نمونه‌های مورد مطالعه سازندهای پابده و گورپی (Hunt, 1996).

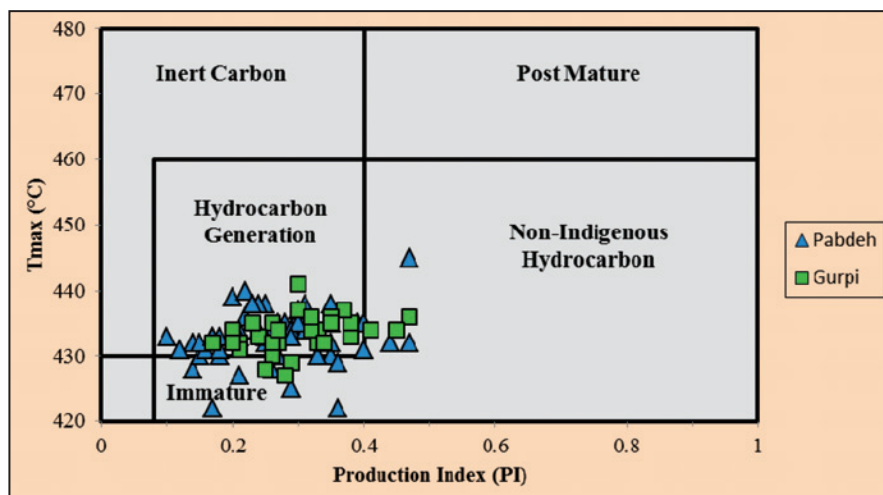
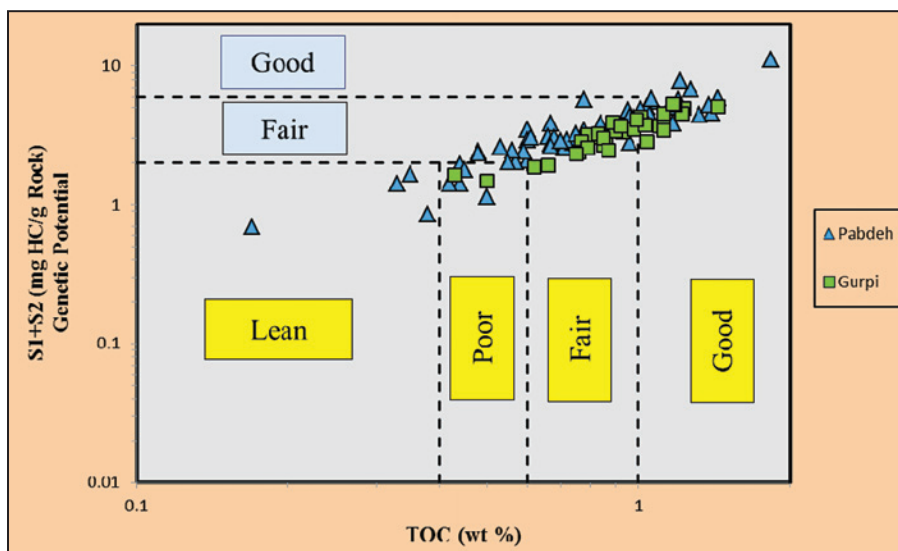


شکل ۴- نمودار تغییرات HI در برابر OI نمونه‌های سازندهای پابده و گورپی (Hunt, 1996).



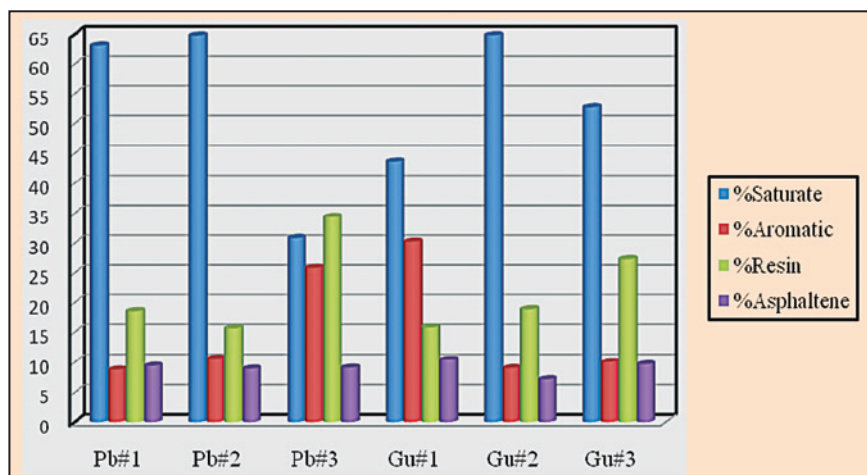
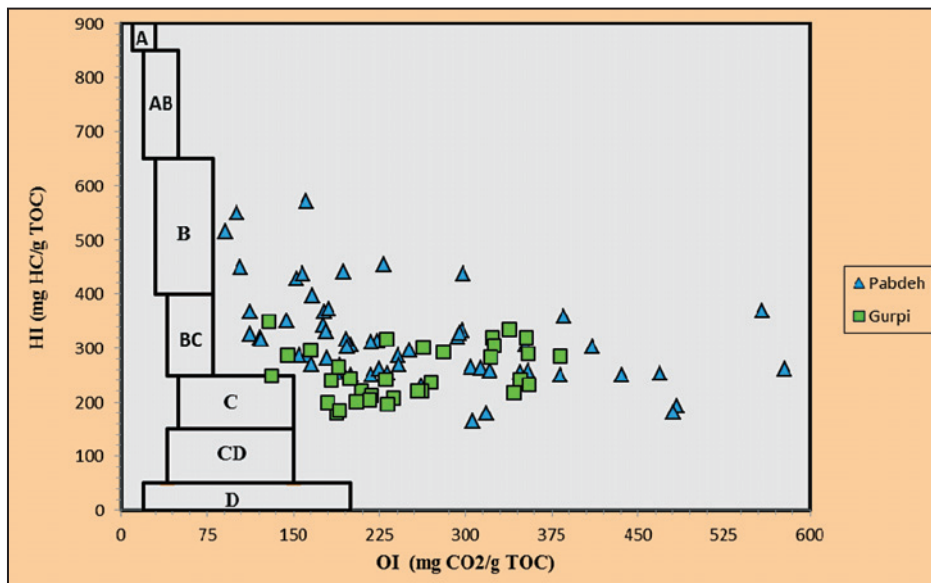
شکل ۶- نمودار HI در برابر TOC برای تعیین پتانسیل هیدروکربنی سازندهای پابده و گورپی (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۵).

شکل ۷- نمودار تغییرات S1+S2 در برابر TOC به منظور ارزیابی پتانسیل ژنتیکی نمونه‌های مورد مطالعه سازندهای پابده و گورپی (Huang et al., 2003).



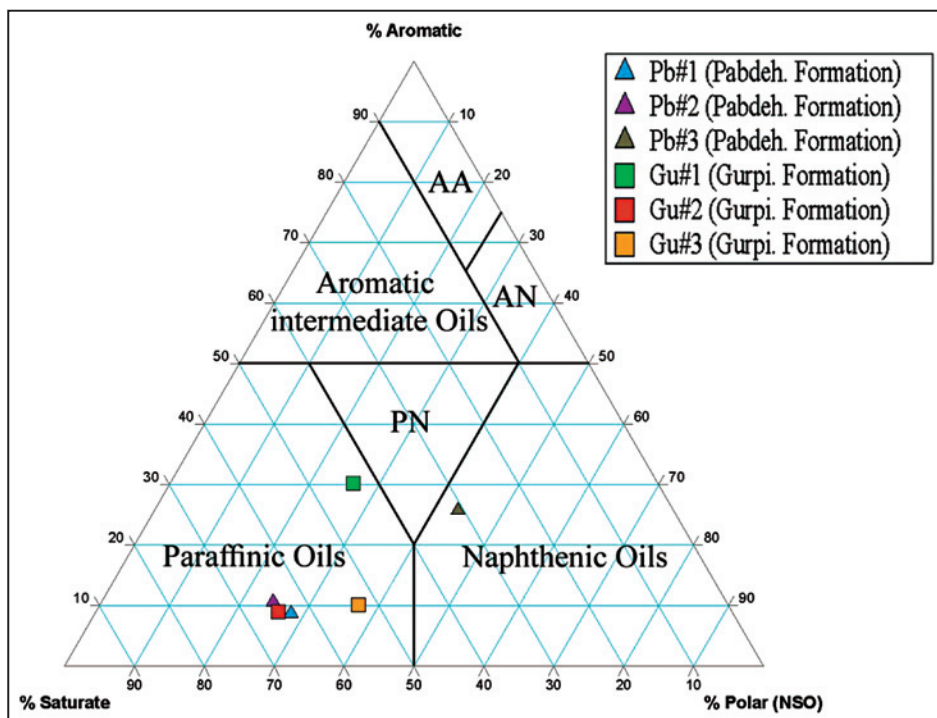
شکل ۸- نمودار Tmax در برابر شاخص تولید سازندهای پابده و گورپی.

شکل ۹- نمودار تعیین رخساره آلی سازندهای پابده و گورپی با استفاده از نسبت تغییرات HI در برابر OI (Jones, 1987).

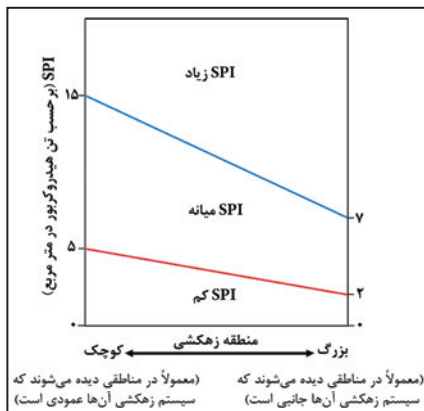
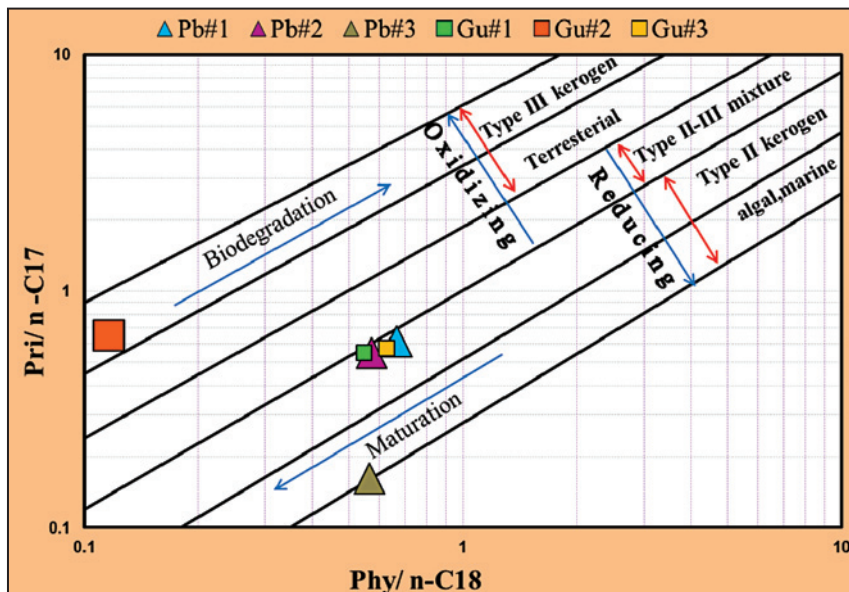


شکل ۱۰- نمودار ستونی فراوانی ترکیبات اشباع، آروماتیک، رزین و آسفالتین موجود در نمونه‌های مورد مطالعه.

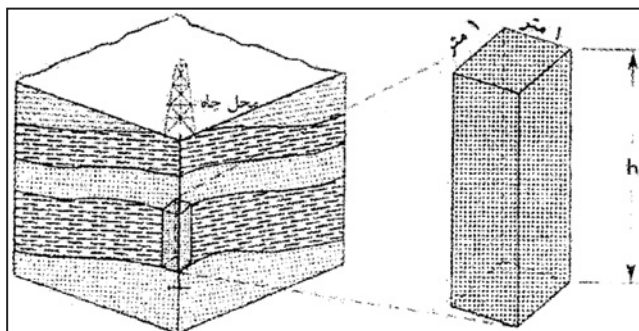
شکل ۱۱- نمودار مثلثی رسم شده برای تعیین نوع نفت نمونه‌های مورد مطالعه (Tissot & Welte, 1984). AA: Aromatic-asphaltic Oils, AN: Aromatic-naphthenic Oils, PN: Paraffinic-naphthenic Oils



شکل ۱۲- نمودار تغییرات نسبت $Pri/n-C17$ / $Phy/n-C18$ به $Phytane/n-C18$ (Hunt, 1996).



شکل ۱۴- رده‌بندی ابتدایی شاخص پتانسیل منشأ (Demaision & Huizinga, 1991).



شکل ۱۳- نمودار ضریب ستبرای سنگ منشأ (h) در معادله شاخص پتانسیل منشأ (کسایی نجفی، ۱۳۸۹).

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه پیرولیز راک ایل ۶ نمونه‌های مورد مطالعه.

NO	Formation	Litho	Depth (m)	TOC (wt. %)	T _{max} (°C)	S ₁	S ₂	HI	OI	PI	
1	Pabdeh	LimMl	1128	0.78	415	1.4	4.29	550	101	0.25	
2		LimMl	1185	0.67	422	1.41	2.46	367	112	0.36	
3		Ml	1259	0.17	419	0.42	0.28	165	306	0.6	
4		Ml	1350	0.71	427	0.55	2.04	287	241	0.21	
5		Ml	1506	0.5	422	0.19	0.96	192	484	0.17	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
55	Gurpi	LimMl	2512	0.33	431	0.56	0.85	258	321	0.4	
56		LimMl	2521	0.44	438	0.32	1.1	250	436	0.23	
57		LimMl	2530	0.42	432	0.67	0.76	181	481	0.47	
58		Ml	2540	0.45	429	0.64	1.15	256	347	0.36	
59		Ml	2547	0.38	433	0.18	0.68	179	318	0.21	
60		Ml	2558	0.43	433	0.63	1.02	237	270	0.38	
61		Ml	2567	0.5	435	0.39	1.09	218	342	0.26	
62		ShMl	2580.5	0.66	435	0.74	1.19	180	188	0.38	
-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
89	MlSh	2884	1.12	429	0.99	2.47	221	258	0.29		
90	MlSh	2896	0.99	441	1.24	2.84	287	145	0.3		
91	MlSh	2908.5	1.04	427	0.8	2.04	196	232	0.28		
92	MlSh	2916	0.87	435	0.88	1.6	184	190	0.35		

Litho ≈ Lithology, Lim ≈ Lime stone, Ml ≈ Marle, Sh ≈ Shale, S₁ = mg Hc/ g rock, S₂ = mg Hc/ g rock, HI = mg HC/g TOC, OI = mg CO₂/g TOC, PI = S₁ / (S₁ + S₂)

جدول ۴- تعیین نوع سنگ منشأ از روی

شاخص CPI (Hunt, 1996).

CPI	Source Rock Type
0.9 – 1.02	Mature
1.02 – 5	Immature

جدول ۵- تعیین نوع و محیط رسوبی اولیه به کمک

نسبت پرستان به فیتان (Hunt, 1996).

انواع رسوبات	Pristine/Phytane
رسوبات دریایی احیایی	< ۱
رسوبات دریایی اکسیدی	۱-۲

جدول ۶- محاسبه شاخص پتانسیل سنگ منشأ برای

تمامی سازندهای مورد مطالعه.

Formation	h (m)	$(S_1 + S_2)$	SPI
Pabdeh	1419	3.57	12.67
Gurpi	358	3.38	3.02

جدول ۲- داده‌های حاصل از استخراج بیومن و کروماتوگرافی ستونی نمونه‌های مورد مطالعه.

NO	Name	Depth(m)	% Saturate	% Aromatic	% Resin	% Asphaltene	HC ¹ /NSO ²
1	Pb#1	1960	63	8.73	18.56	9.38	2.57
2	Pb#2	2162	64.78	10.6	15.61	8.91	3.07
3	Pb#3	2236	30.81	25.77	34.36	9.06	1.30
4	Gu#1	2657	43.6	30.21	15.79	10.4	2.82
5	Gu#2	2763	64.83	8.99	18.88	7.15	2.84
6	Gu#3	2857	52.78	10.07	27.22	9.64	1.71

¹%HC= % Saturate + % Aromatic

²%NSO=% Resin + % Asphaltin

جدول ۳- نتایج حاصل از تجزیه کروماتوگرافی گازی روی برش اشباع نمونه‌های

به دست آمده از میدان نفتی نصرت.

NO	Name	Pr/Ph	Pr/nC17	Ph/nC18	CPI	TARs
1	Pb#1	0.32	0.61	0.67	0.99	0.10
2	Pb#2	0.46	0.55	0.57	0.94	0.11
3	Pb#3	0.09	0.16	0.57	1.00	2.25
4	Gu#1	0.50	0.55	0.55	0.94	0.10
5	Gu#2	3.56	0.65	0.06	0.95	0.12
6	Gu#3	0.41	0.57	0.63	0.92	0.12

کتابنگاری

- باقری، س. و علیزاده، ب.، ۱۳۸۶- ارزیابی بلوغ نفت‌های خام مخزن آسماری در میدان نفتی لالی جنوب غرب ایران، یازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- رجبی هرسینی، ع. ر. و معمارانی، م.، ۱۳۸۹- ارزیابی ویژگی‌های ژئوشیمی آلی سازند کنگان در میدان پارس جنوبی. مجله علوم زمین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، سال نوزدهم، شماره ۷۵، صفحه ۹۵ تا ۱۰۲.
- علیزاده، ب. آدابی، م. ح. و تزه، ف.، ۱۳۸۵- ارزیابی پتانسیل هیدروکربورزایی سنگ‌های منشأ احتمالی در میدان نفتی مارون با استفاده از دستگاه پیرولیز راک ایول ۶. مجله علوم دانشگاه تهران، ص ۲۶۷-۲۷۴.
- کسای نجفی، م.، ۱۳۸۹- "سیستم نفتی از سنگ منشأ تا تله هیدروکربنی" ویراستاران، لزللی بی. مگن، والاس جی داو، مترجم، محمد کسای نجفی، تهران، انتشارات پژوهشگاه صنعت نفت، ص ۱۲۵-۱۴۸.
- کمالی، م. و قربانی، ب.، ۱۳۸۵- "ژئوشیمی آلی از فیتوپلانکتون تا تولید نفت" انتشارات آریز زمین، ص ۳۱۸.

References

- Alizadeh, B., Sarafdokht, H., Rajabi, M. & Janbaz, M., 2012- Organic geochemistry and petrography of Kazhdumi (Albian-Cenomanian) and Pabdeh (Paleogene) potential source rocks in southern part of the Dezful Embayment, Iran. *Journal of Organic Geochemistry*, 49, 36-46.
- Bashari, A. & Minaei, M., 2003- Regional Study of Sarvak and Ilam Formations in the Sirri District of the Persian Gulf, AAPG International Conference Barcelona, Spain September 21-24, 2003.
- Bray, E. E. & Evans, E. D., 1961- Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source beds. *Journal of Geochimica et Cosmochimica Acta*, 22, 2-15.
- Connally, T. C., 1988- Cretaceous Carbonates of Fateh Field, Dubai, United Arab Emirates, *Houston Geological Society Bulletin*, Volume 26, No. 7, March 1984. Pages 4-4.
- Demaison, G. J. & Huizinga, B. J., 1991- Genetic classification of petroleum systems. *AAPG Bulletin*, 75. 1626-1643.
- Ghazban, F. 2007- *Petroleum Geology of the Persian Gulf*. University of Tehran, 707 pp.
- Huang, B., Xiao, X. & Zhang, M., 2003- Geochemistry, grouping and origins of crude Oils in the western Pearl River Mouth Basin, Offshore South China Sea. *Journal of Organic Geochemistry*, 34, 993-1008.
- Hunt, J. M., 1996- *Petroleum Geochemistry and Geology*, W.H. Freeman and Company, New York, 2nd edition, 764.
- Jones, R. W., 1987- Organic Facies. In: Brooks, J., Welte, D. (Eds.), *Advances in Petroleum Geochemistry*. Academic Press, New York, 1-90.
- Tissot, B. P. & Welte, D. H., 1984- *Petroleum Formation and Occurrence*. 2nd Edition. Springer-Verlog, New York.
- Yensepbayev, A., Izart, G., Joltaev, Y., Hauteville, M. & Elie, I., 2010- Geochemical characterization of source rocks and oils from the eastern part of the Precaspian and Pre-Uralian Basins (Kazakhstan): Palaeoenvironmental and palaeothermal interpretation, *Journal of Organic Geochemistry*, 41, 719-720.