

ارزیابی پتانسیل سنگ‌های منشأ هیدروکربوری احتمالی با استفاده از مطالعات ژئوشیمیایی در منطقه ازگله (غرب کرمانشاه)

سمیه قاضوی^۱، سلیمه رضایی^۲، فریدون سحابی^{۳*}، حسین معاریان^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی نفت، دانشگاه تهران، Email: somaye_ghazavi@yahoo.com

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی نفت، دانشگاه تهران، Email: salimehrezaei@yahoo.com

۳- دانشیار دانشگاه تهران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده مهندسی معدن؛ Email: fsahabi@ut.ac.ir

۴- استاد دانشگاه تهران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده مهندسی معدن؛ Email: memarian@ut.ac.ir

(دریافت ۱ تیر ۱۳۸۸، پذیرش ۲ آبان ۱۳۸۹)

چکیده

در زمان حفاری تونل نوسود واقع در غرب استان کرمانشاه، تراوشات هیدروکربوری فراوانی از سطوح شکستگی و دیوار تونل خارج گردید. برای بررسی ظرفیت هیدروکربورزایی سنگ‌های منشأ احتمالی این هیدروکربورها مطالعات و بررسی‌های ژئوشیمیایی، روی نمونه‌های سازندهای پابده، گورپی و ایلام در مسیر حفاری شده تونل و همچنین روی مغزه‌های سازند گرو از چاه‌های شماره ۱ میادین امام حسن (ع) و پاتاق در غرب استان کرمانشاه انجام شد. که تعداد ۲۲ نمونه خرده حفاری و ۹ نمونه مغزه حفاری بررسی شدند. ارزیابی‌های مقدماتی آنالیز پیرولیز راک اول و آنالیزهای تکمیلی شامل اندازه‌گیری میزان انعکاس ویتربینایت، آنالیز تجزیه عنصری، بررسی کانی‌شناسی رس‌ها و آنالیزهای شیمیایی و مطالعات مولکولی نشانه‌های زیستی نشان می‌دهد که سازند پابده (متشکل از شیل و سنگ آهک رسی)، از نظر پتانسیل سنگ منشأ، ضعیف است و میزان بلوغ مواد آلی آن در مراحل اولیه کاتازنز قرار دارد و با داشتن کروژن نوع II و III، مربوط به محیط دریای باز است. سازند پابده شامل شیل و سنگ آهک رسی است. در صورتی که سازند گورپی و سازند گرو در چاه‌های امام حسن ۱ و پاتاق ۱ دارای سنگ منشأ با پتانسیل مناسب است و از نظر بلوغ کروژنی در میانه تا پایان مرحله کاتازنز قرار دارد، غالباً دارای کروژن نوع II و گاهی III و محیط تشکیل احیای دریایی و لیتولوژی شیل و سنگ آهک رسی هستند. سازند ایلام نیز به دلیل لیتولوژی کربناته و خواص مخزنی (مقادیر بالای TPI و S1 و مقادیر ناچیز S2) در زمره سنگ‌های مولد هیدروکربور قرار نمی‌گیرد. بررسی حاضر نشان داد که منشأ آثار H₂S در تونل نوسود و مناطق اطراف آن، عمدتاً در سازند گورپی در مسیر تونل و سازند گرو در اعماق بیشتر، تولید شده است.

کلمات کلیدی

سنگ‌های منشأ هیدروکربوری، تونل نوسود، آنالیزهای ژئوشیمیایی، نشانه‌های زیستی

۱- مقدمه

در تونل نوسود که در منطقه ازگله در غرب استان کرمانشاه در حال حفاری است، نشانه‌هایی از تراوشات هیدروکربوری از لابلای قطعات سیمانی^۱ داخل تونل، مشاهده شده است. سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه و طبقات حفاری شده در تونل نوسود، مربوط به سازندهای پایده (اوسن)، گورپی (مانس تریکتین) و ایلام (سانتونین) می‌باشد. این سنگ‌ها، اکثر دارای آثار و نشانه‌هایی از ترکیبات هیدروکربوری هستند. از سوی دیگر خروج گازهایی مانند CO_2 , CO , CH_4 , H_2S و هیدروکربورهای محلول در آب‌های سازندی، نشانه زایش نفت در منطقه است. همچنین برای بررسی ظرفیت زایش نفت در سازندهای عمیق‌تر در منطقه، تعدادی نمونه مغزه از سازند گرو (کرتاسه آغازی و میانی) در چاه‌های شماره ۱ میدان امام حسن (ع) و پاتاق که در نزدیکی منطقه ازگله قرار دارند، انتخاب شد. با توجه به لزوم مطالعات ژئوشیمیایی آلی در مرحله اکتشاف و توسعه هر میدان نفتی و گازی مانند دیگر مطالعات بررسی سنگ‌های منشأ احتمالی در آن منطقه و ارزیابی از نظر بلوغ، کیفیت و نوع مواد هیدروکربوری، ضروری است و از آن‌جا که تاکنون مطالعات ژئوشیمیایی روی هیدروکربورهای تولیدی در این منطقه صورت نگرفته است و همچنین با توجه به پتانسیل‌های هیدروکربورزایی موجود در این ناحیه، مطالعه و اجرای این تحقیق ضروری است. در این رابطه باید سنگ‌های منشأ احتمالی نفت و گاز با استفاده از روش‌های دستگاه ارزیاب سنگ مادر و پتروگرافی آلی و روش‌های شیمیایی و مولکولی مشخص شوند. روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده در این تحقیق به شرح زیر است:

- آزمایش پیرولیز راک اول برای تعیین بلوغ و کیفیت سنگ‌های احتمالی منشأ؛
- استخراج بیتومین و جدایش برش‌هایی از بیتومین استخراجی و کروماتوگرافی گازی (GC^2)؛
- آنالیز کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی ($GC-MS^3$)؛
- آنالیز کانی‌های رسی؛
- اندازه‌گیری انعکاس و پترینایت کروژن؛
- آنالیز تجزیه عنصری.

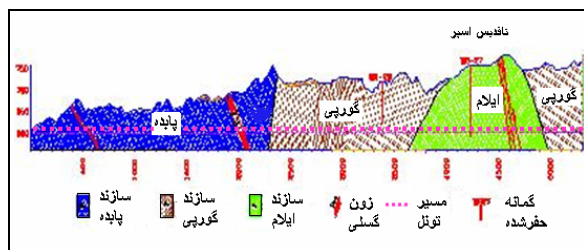
این تحقیق بر آن است که با استفاده از آنالیزهای ژئوشیمیایی، ظرفیت نفت‌زایی در منطقه بررسی و سنگ‌های منشأ هیدروکربوری احتمالی شناسایی گردد.

۲- منطقه مورد مطالعه

تونل نوسود برای انتقال آب رودخانه سیروان به سمت دشت ذهاب در منطقه ازگله در غرب استان کرمانشاه و در مختصات جغرافیایی $34^{\circ} 49' 183'' N$ و $45^{\circ} 51' 125'' E$ در حال احداث است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه در زون زاگرس چین خورده ساده^۲ قرار دارد [۲] و سازندهای پایده، گورپی و ایلام را قطع می‌کند. این سازندها به دلیل وضعیت تکتونیکی منطقه، به‌طور متناوب در طول مسیر تونل تکرار می‌شوند (شکل ۲).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در غرب کرمانشاه



شکل ۲: توالی سازندهای موجود در مسیر پیشروی تونل

طول کل تونل، منطقه نوسود تا دشت ذهاب (انتهای جنوبی)، ۵۰ کیلومتر است. انتهای شمالی تونل در ارتفاع توپوگرافی ۶۰۰ متر از سطح دریا و در سنگ آهک‌های نازک لایه مارلی و شیل‌های سبزرنگ سازند پایده شروع می‌شود و پس از ۲۳۰۰ متر حفاری افقی در این سازند، وارد شیل‌های تیره رنگ و آهک‌های رسی گورپی می‌شود و پس از ۳۶۵۰ متر حفاری در این سازند وارد سازند ایلام می‌شود. سازند ایلام، از سنگ آهک‌های خاکستری، حاوی بلورهای درشت پیریت تشکیل شده است. این سازند در محدوده تونل نوسود و در منطقه ازگله، به علت تاثیر گسل‌های مختلف، فراوانی درزه‌ها، شکستگی‌ها و

مغزه‌های چاه‌ها برای آنالیزهای تکمیلی انتخاب شد. نتایج به تفکیک در ذیل بررسی می‌شود.

۳-۱- آنالیز مقدماتی

نتایج پیرولیز راک اول نمونه‌ها در دستگاه راک اول III در ارتباط با ارزیابی ظرفیت هیدروکربورزایی سنگ‌های منشأ [۱]، در جداول ۱ و ۲ آمده است.

۳-۲- آنالیزهای تکمیلی

به‌دنبال بررسی‌های فوق، آنالیزهای تکمیلی شامل اندازه‌گیری انعکاس ویتترینایت، تجزیه عنصری، کانی شناسی رس‌ها و آنالیزهای شیمیایی و مولکولی روی نمونه‌ها انجام شد.

اندازه‌گیری انعکاس ویتترینیت

تعدادی قرص و اسلاید از نمونه‌های منتخب، برای تعیین میزان پختگی کروژن نمونه‌ها به کمک اندازه‌گیری انعکاس ویتترینایت [۱۰] در آن‌ها، آماده‌سازی شد. جدول ۳ نتایج اندازه‌گیری انعکاس ویتترینایت نمونه‌های مورد نظر را نشان می‌دهد.

تجزیه عنصری

پس از استخراج کروژن از نمونه‌ها، آنالیزهای تجزیه عنصری کروژن مربوط به هر نمونه توسط دستگاه آنالیزور CHNO انجام شد و درصد نسبی کربن، هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن در نمونه‌ها به شرح جدول ۴ مشخص گردید.

همچنین کارستی شدن شدید از تخلخل و تراوایی زیادی برخوردار است. گفتنی است که مسیر تونل نوسود، هنگام حفاری سازند ایلام، پایین‌تر از سطح ایستایی در منطقه بود. این امر موجب گردید، عملیات حفاری با ورود آب زیرزمینی به میزان حداکثر ۳۰۰ لیتر در ثانیه و مقادیر قابل ملاحظه گاز H_2S محلول، همراه باشد. افزون بر این، بخش اعظم تخلخل سنگ آهک‌های مورد بحث در سازند ایلام، سرشار از مواد هیدروکربوری است که به نوبه خود ظرفیت مخزنی بالایی را در این سازند نشان می‌دهد. سازند گرو در میداین نفتی پاتاق و امام حسن در غرب استان کرمانشاه، حفاری و از تناوب شیل-های سیاه و سنگ آهک‌های رسی خاکستری رنگ تشکیل شده است. با توجه به ظرفیت نفت‌زایی و سنگ مولد بودن سازند گرو در میداین یاد شده، چنانچه این ویژگی در توالی رسوبی گرو در تونل نوسود، قابل تقسیم باشد، از نظر منشأ H_2S نیز، اهمیت زیادی خواهد داشت.

۳- روش کار

برای شناسایی سنگ‌های منشأ نفت احتمالی در منطقه مورد مطالعه، ۲۲ نمونه از خرده‌های حفاری افقی در تونل نوسود و ۹ نمونه از مغزه‌های سازند گرو در چاه شماره ۱ میدان امام حسن و چاه شماره ۱ میدان پاتاق تهیه شد. در ابتدا برای آنالیز مقدماتی پیرولیز راک اول^۵ آماده و آنالیز شدند. بر اساس نتایج حاصل، تعداد ۷ نمونه از خرده‌های حفاری تونل و ۴ نمونه از

جدول ۱: نتایج حاصل از آنالیز پیرولیز راک اول روی مغزه چاه‌ها

نمونه ها	چاه	سازند	TPI	T_{max}	OI Co2	HI	TOC	S1	S2	S3
C20-b1	امام حسن ۱	گرو	۰/۵۳	۴۱۵	۱۸۴	۷۳	۰/۵۵	۰/۴۶	۰/۴	۱/۰۱
C10-b2	امام حسن ۱	گرو	۰/۵۱	۴۲۱	۲۰۲	۱۰۵	۰/۵۶	۰/۶۱	۰/۵۹	۱/۱۳
C16-b9	امام حسن ۱	گرو	۰/۳۷	۴۳۳	۶۵	۱۱۸	۱/۰۹	۰/۷۵	۱/۲۹	۰/۷۱
C16-b10	امام حسن ۱	گرو	۰/۵۲	۴۲۱	۹۶	۶۷	۰/۷۵	۰/۵۵	۰/۵	۰/۷۲
C20-b10	امام حسن ۱	گرو	۰/۴۵	۴۴۱	۲۲	۱۰۸	۲/۶۵	۲/۳۹	۲/۸۷	۰/۵۸
C2-b1	پاتاق ۱	گرو	۰/۸۹	۵۰۰	۲۹	۵	۲/۶۳	۰/۹۷	۰/۱۲	۰/۷۵
C3-b2	پاتاق ۱	گرو	۰/۷۹	۴۰۶	۱۴۷	۲۵	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۰۹	۰/۵
C2-b4	پاتاق ۱	گرو	۰/۹۲	۲۹۹	۳۱	۵	۲/۳۵	۱/۳۹	۰/۱۲	۰/۷۲
C2-b2	پاتاق ۱	گرو	۰/۷	۳۵۵	۲۴	۲۰	۱/۶	۰/۷۴	۰/۳۲	۰/۳۹

جدول ۲: نتایج حاصل از پیرولیز راک اول روی خرده‌های حفاری از تونل نوسود

نمونه‌ها	RC	TPI	T peak	T _{max}	OI	HI	TOC	S1	S2	S3
پایده ۱	۰/۱۲	۰/۹۸	۴۵۴	۴۵۲	۲۹	۴	۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۰۱	۰/۰۴
پایده ۲	۰/۲۴	۰/۸۶	۴۴۸	۴۴۶	۲۲	۱۶	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۰۴	۰/۰۶
پایده ۳	۰/۴۸	۰/۶۷	۴۴۵	۴۴۳	۲۳	۲۸	۰/۵۲	۰/۳	۰/۱۵	۰/۱۲
پایده ۴	۰/۳۷	۰/۷۱	۴۴۳	۴۴۱	۱۳	۲۲	۰/۳۹	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۰۵
پایده ۵	۰/۱۵	۰/۹۲	۵۲۵	۵۲۳	۶	۱۱	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۰۲	۰/۰۱
گورپی ۱	۰/۶۱	۰/۴۳	۴۴۵	۴۴۳	۲۵	۳۶۵	۱/۲۹	۳/۵۲	۴/۷۱	۰/۳۲
گورپی ۲	۰/۵۷	۰/۲۶	۴۴۸	۴۴۶	۳۱	۳۰۳	۰/۸۷	۰/۹۲	۲/۶۳	۰/۲۷
گورپی ۳	۰/۲۱	۰/۴۵	۴۴۲	۴۴۰	۲۳	۲۱۱	۰/۳	۰/۵۱	۰/۶۳	۰/۰۷
گورپی ۴	۰/۷۲	۰/۲۵	۴۵۱	۴۴۹	۱۴	۲۳۵	۰/۹۷	۰/۷۸	۲/۲۸	۰/۱۴
گورپی ۵	۰/۷۳	۰/۲۷	۴۶۴	۴۶۲	۲۱	۲۲۱	۰/۹۷	۰/۷۸	۲/۱۴	۰/۲
گورپی ۶	۰/۶۱	۰/۳۵	۴۵۱	۴۴۹	۲۶	۲۲۳	۰/۸۶	۱/۰۵	۱/۹۲	۰/۲۲
گورپی ۷	۰/۸۱	۰/۴۶	۴۵۲	۴۵۰	۴۳	۱۳۹	۱/۰۳	۱/۲۲	۱/۴۳	۰/۴۴
ایلام ۱	۰/۴۴	۰/۸۷	۴۶۶	۴۶۴	۴	۲۰	۰/۵	۰/۶۷	۰/۱	۰/۰۲
ایلام ۳	۱/۶۴	۰/۶۸	۴۵۵	۴۵۳	۹	۴۴	۱/۸۶	۱/۷۸	۰/۸۲	۰/۱۷
ایلام ۴	۱/۲۱	۰/۷۹	۴۶۷	۴۷۴	۳	۳۲	۱/۳۹	۱/۶۹	۰/۴۴	۰/۰۴
ایلام ۵	۰/۶۸	۰/۶۶	۴۶۷	۴۶۵	۱	۳۶	۰/۷۵	۰/۵۴	۰/۲۷	۰/۰۱
ایلام ۶	۰/۷۵	۰/۷۸	۴۷۰	۴۶۸	۶	۳۸	۰/۸۸	۱/۲	۰/۳۳	۰/۰۵
ایلام ۷	۲/۶۶	۰/۶۳	۴۷۰	۴۶۸	۴	۴۰	۲/۹۲	۱/۹۸	۱/۱۸	۰/۱۱
ایلام ۸	۱/۵	۰/۷۶	۴۷۳	۴۷۱	۵	۲۷	۱/۶۶	۱/۴۳	۰/۴۴	۰/۰۸
ایلام ۹	۰/۳۷	۰/۹۲	۴۶۰	۴۵۸	۲۳	۱۵	۰/۴۳	۰/۷۲	۰/۰۶	۰/۱

کائولینیت و ورمیکولیت را مشخص می‌کند. نتایج عددی حاصل از گراف‌های کانی‌های رسی در جدول ۵ آورده شده است.

آنالیزهای شیمیایی

برای ارزیابی مواد آلی موجود در سنگ منشاء و شناسایی اجزای تشکیل دهنده نفت خام، یکی از روش‌های مناسب، استفاده از روش‌های شیمیایی است. فاکتورهای اساسی در ارزیابی‌های شیمیایی به صورت زیر است [۳]:

جدول ۴: نسبت هیدروژن و اکسیژن به کربن در کروژن

نمونه‌های مورد مطالعه

نمونه	H/C	O/C
پایده	۱/۲۲	۰/۰۹
گورپی	۰/۸۴	۰/۰۷
ایلام	۰/۹۱	۰/۰۷۹
(امام حسن) گرو	۱/۰۲	۰/۰۴۸
گرو (پاتاق)	۰/۶۳	۰/۰۹۳

جدول ۳: نتایج حاصل از اندازه‌گیری انعکاس ویتربینایت در

نمونه‌های مورد مطالعه

شماره نمونه	(Ro)		
	کمینه	میانگین	بیشینه
G1	۰/۸۰۷	۱/۵۷۵	۱/۲۶۹
G2	۰/۹۸۸	۱/۴۷۷	۱/۲۷
G6	۰/۹۵۸	۱/۵۴۵	۱/۲۲۲
Pb3	۰/۴۶	۰/۷۶۸	۰/۶۴۴
IL1	۱/۳۱۵	۱/۴۸۶	۱/۴۲۳
IL7	بدون ویتربینایت		
C10-b2	۰/۶۸	۰/۸۷۲	۰/۵۵۷
C2-b4	۰/۷۹۷	۰/۹۷۲	۰/۵۶۱
C20-b10	بدون ویتربینایت		
C2-b1	بدون ویتربینایت		

کانی‌شناسی رسی

بررسی کانی‌شناسی رس‌های موجود در نمونه‌های مورد مطالعه با لیتولوژی متفاوت، وجود کانی‌های رسی مانند ایلیت،

درصد گروه‌های متشکله بیتومین (آروماتیک، پارافین، رزین) به روش کروماتوگرافی ستونی. نتایج حاصل از آنالیزهای شیمیایی در جدول ۶ آورده شده است.

الف) تعیین مقدار بیتومین موجود در نمونه‌های سنگی با استفاده از حلال‌های آلی مناسب و تعیین درصد آن‌ها؛ ب) جداسازی آسفالتن و تعیین درصد آن‌ها؛ ج) بررسی و تعیین

جدول ۵: نتایج حاصل از کانی شناسی رس‌ها در نمونه‌های مورد مطالعه

بلندترین پیک ایلیت	درصد کانی‌های رسی %			کریستالینیتی	کانی‌های رسی			سنگ شناسی	شماره نمونه
	ایلیت	کائولینیت	ایلیت		ویور	ورمیکولیت	کائولینیت		
mm ۴/۵	۰	۰	۱۰۰	mm ۳/۷	-	-	√	سنگ آهک	IL ₇
mm ۱۳	۰	۵۵	۴۵	mm ۳/۲	-	√	√	شیل	Gu ₄
mm ۱۵	۱۵	۰	۸۵	mm ۳/۵	√	-	√	شیل و مارن	Pb ₃
mm ۶	۰	۲۵	۷۵	mm ۳/۵	-	√	√	شیل و مارن	IH ₁
mm ۱۴	۰	۵۳/۳۴	۴۶/۶۶	mm ۳/۷	-	√	√	شیل و مارن	Pq ₁

جدول ۶- نتایج حاصل از آنالیزهای شیمیایی نمونه‌ها

EOM/TOC	As%	Res%	Ar%	Sat%	EOM%	شماره نمونه	سازند
۰/۰۹۸	۱۷/۵	۲۹/۳۱	۳۸/۲	۱۴/۵۶	۰/۰۵۱	Pb3	پابده
۰/۲۴۱	۱۳/۷۲	۲۰/۵۷	۱۵/۷۱	۴۹/۷۱	۰/۲۱	G2	گورپی
۰/۲۲۱	۱۹/۶۴	۲۸/۳۹	۱۶/۱۱	۳۳/۴۸	۰/۱۹	G6	گورپی
۰/۲۷۸	۱۸/۱۸	۱۵/۶۹	۲۱/۵۵	۴۴/۱۵	۰/۱۳۹	IL1	ایلام
۰/۰۸۶	۱۵/۸۱	۱۰/۹۳	۳۵/۷۸	۳۷/۲۷	۰/۱۶	IL3	ایلام
۰/۰۷۵	۲۱/۵۴	۱۴/۶۷	۹/۰۸	۵۴/۲۵	۰/۲۲	IL7	ایلام
۰/۱۶۵	۱۱/۶	۱۷/۰۲	۲۷/۸۱	۴۳/۱۷	۰/۰۷۱	IL9	ایلام
۰/۱۰۹	۰,۹	۱۳/۲	۲۲/۲	۶۳/۵	۰/۲۹	IH1 c20b10	گرو
۰/۱۶۱	۱	۳۵/۴	۹/۵	۵۴	۰/۱۷۵	IH1 c16b9	گرو
۰/۰۸۸	۰,۷	۲۸/۱	۲۱	۵۰/۱	۰/۱۴	PQ1 c2-b2	گرو
۰/۰۸۴	۱/۲	۳۵/۱	۲۳/۲	۴۰	۰/۲۲	PQ1 c2-b1	گرو

از استران‌ها و تری ترپان‌ها می‌دهد. از طیف‌های حاصل از کروماتوگرافی گازی، پارامترهایی محاسبه می‌گردد که نتایج آن در جدول ۷ آورده شده است.

کروماتوگرافی گازی- طیف سنجی جرمی

در این سنجش، تعدادی از هیدروکربورهای اشباع در نمونه‌های مورد مطالعه برای شناسایی خانواده‌های بیومارکرها (شامل استران‌ها و هوپان‌ها) انتخاب شد و با دستگاه کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی برای شناسایی استران‌ها (با نسبت بار به جرم $m/z=۲۱۷$) و خانواده هوپان‌ها (با نسبت بار به جرم $m/z=۱۹۱$) آنالیز شد که نتایج حاصل از آن‌ها در جداول ۸ و ۹ دیده می‌شود.

مطالعات مولکولی:

پس از تعیین درصد ترکیب‌های مختلف هیدروکربوری و غیرهیدروکربوری در هر نمونه، به منظور شناسایی انواع نشانه‌های زیستی^۶ نمونه‌ها، تعدادی از نمونه‌های سازندهای مورد مطالعه به وسیله دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) و کروماتوگرافی گازی- طیف سنجی جرمی (GC-MS) آنالیز مولکولی دش که نتایج هر یک به شرح زیر است:

کروماتوگرافی گازی:

تکنیک کروماتوگرافی هیدروکربورهای اشباع برای شناسایی آلکان‌های نرمال و ایزوپرنوئیدها (مانند پرپستان و فیتان) صورت می‌گیرد. ولی در برخی موارد هم، اطلاعات مفیدی نیز

جدول ۷: پارامترهای حاصل از آنالیز کروماتوگرافی گازی نمونه‌ها

سازند	شماره نمونه	CPI	Pri/Phy	Pri/n-C ₁₇	Phy/n-C ₁₈
پابده	Pb3	۱/۱۱	۰/۸۴	۰/۷۴	۰/۹۳
گورپی	G2	۰/۹۳	۱/۰۷	۰/۶	۰/۴۴
گورپی	G6	۱/۰۲۴	۰/۳۷	۰/۵	۰/۷۴
ایلام	IL1	۰/۹۷	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۸۳
ایلام	IL3	۱/۴۴۵	۰/۴۳	۰/۵۸	۰/۷۴
ایلام	IL7	۰/۹۵	۰/۴۷	۰/۶۱	۰/۶۶
ایلام	IL9	۰/۹۹	۰/۲۱	۰/۳۸	۰/۶۱
گرو	IH1 C20b10	۰/۸۶	۰/۵۱	۰/۴۷	۰/۳
گرو	IH1 C16b9	۰/۸۸	۰/۹	۰/۶	۰/۲۵
گرو	PQ1 C2-b2	۰/۳۹	۰/۷۷	۰/۴۷	۰/۱۹
گرو	PQ1 C2-b1	۰/۳۵	۰/۴	۰/۳۷	۰/۱۱

جدول ۸: پارامترهای حاصل از هویانوگرام‌های نمونه‌های مورد مطالعه در آنالیز کروماتوگرافی گازی- طیف سنج جرمی

نمونه	نوع نمونه	سازند	هویانها			
			C ₂₉ / C ₃₀	T _S / T _S +T _M	C ₃₄ / C ₃₅	OL/ C ₃₀
Pb ₃	گورپی	پابده	۱/۱۸	۰/۱۹	۰/۹۷	۰/۳۱
Gu ₆		گورپی	۰/۸۱	۰/۲۱	۰/۶۱	۰/۱
IL3		ایلام	۰/۷۸	۰/۴۱	۰/۵۱	۰/۱۱
IL7		ایلام	۱/۳۲	۰/۳۹	۰/۴۱	۰/۰۹
C20-b10	گرو	گرو	۰/۲۱	۰/۴۹	۰/۳۸	۰/۱۳
C2-b2		گرو	۰/۹۲	۰/۴۸	-	-
C2-b1		گرو	۰/۶۶	۰/۴۶	-	-
C16-b9		گرو	۰/۷۳	۱/۱۳	۰/۴۳	-

جدول ۹: پارامترهای حاصل از استرانوگرام‌های نمونه‌های مورد مطالعه در آنالیز کروماتوگرافی گازی- طیف سنج جرمی

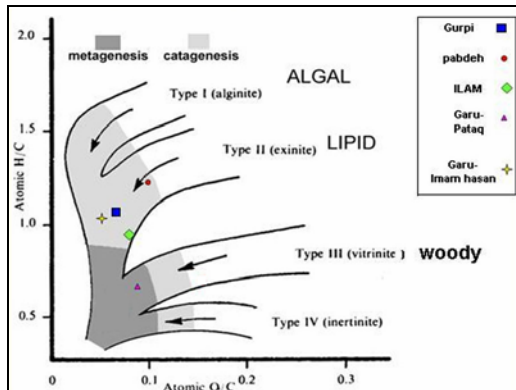
نمونه	نوع نمونه	سازند	استرانها				
			C ₂₉ (S/S+R)	C ₂₉ (ββ/ββ+αα)	C ₂₇ %	C ₂₈ %	C ₂₉ %
Pb	گورپی	پابده	۰/۲۸	۰/۴۳	۳۵	۲۴	۴۱
Gu		گورپی	۰/۳۷	۰/۴۹	۳۷	۳۲	۳۱
IL3		ایلام	۰/۴۱	۰/۶۹	۳۹	۲۸	۳۳
IL7		ایلام	۰/۴	۰/۷۸	۴۱	۲۲	۳۷
c20-b10	گرو	گرو	۰/۴۶	۰/۴۶	۴۰	۳۶	۲۴
c2-b2		گرو	۰/۳۷	۰/۴۶	۴۱	۲۲	۳۷
c2-b1		گرو	۰/۳۵	۰/۳۴	۲۹	۳۲	۳۹
c16-b9		گرو	۰/۲۵	۰/۶۳	۴۶	۲۳	۳۱

۴- بحث و تفسیر

با نتایج جداول ۱ و ۲، می‌توان نوع کروژن نمونه‌ها و میزان پختگی مواد آلی را با استفاده از نمودار اندیس هیدروژن (HI)، در مقابل حداکثر حرارت تولید هیدروکربن (T_{max}) تعیین نمود [۷] (شکل ۳).

نمونه‌های سازند پابده، احتمالاً کروژنی از نوع II یا III را نشان می‌دهند. میزان پختگی کروژن این سازند در مرحله تولید هیدروکربور است (داخل زون نفت). سازند گورپی دارای کروژنی از نوع II و اندیس هیدروژن مناسب است که در زون نفت قرار دارد. نمونه‌های سازند ایلام کروژنی از نوع II یا III را نشان می‌دهند. میزان پختگی مواد آلی این سازند نشانگر اواخر مرحله نفت‌زایی و اوایل مرحله گاززایی است.

نمونه‌های سازند گرو نیز احتمالاً کروژنی از نوع II یا III را نشان می‌دهند. میزان پختگی نمونه‌ها، غالباً مرحله دیانز یا ناپختگی را نشان می‌دهند. علت پایین بودن مقادیر T_{max} در نمونه‌های اخیر می‌تواند به دلیل مهاجرت نفت و آغشتگی نمونه‌ها با ترکیبات نفتی باشد که این امر باعث بالا رفتن مقادیر S_1 و کاهش S_2 و T_{max} می‌شود [۵]. بنابراین، هرگونه استنتاج بر اساس داده‌های راک اول در خصوص تعیین نوع کروژن و یا درجه پختگی، چندان دقیق نیست و باید برای کسب نتایج کامل و دقیق‌تر از روش‌های تکمیلی استفاده کرد.



شکل ۴: نتایج تجزیه عنصری کروژن نمونه‌های مورد مطالعه روی نمودار ون کروژن برای تعیین نوع و میزان پختگی کروژن

۴-۱- پتانسیل و کیفیت هیدروکربورزایی

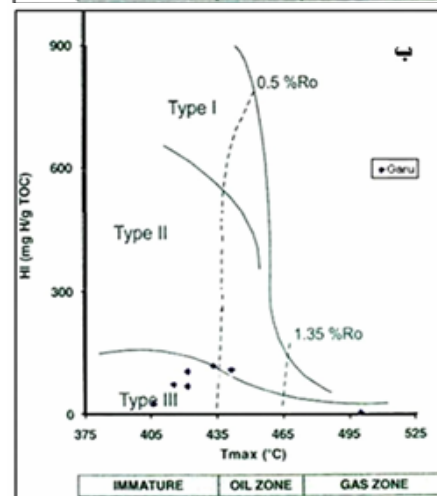
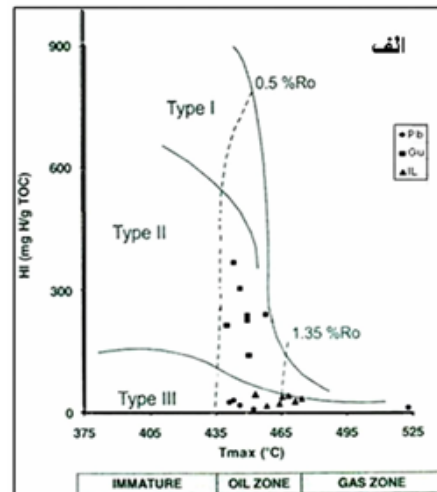
با توجه به میزان پختگی مواد آلی سازندها و با در نظر گرفتن پارامترهای S_1 (هیدروکربورهای سیال تولید شده)، S_2 (توان هیدروکربورزایی) و مقدار کل کربن آلی نمونه‌ها (جدول ۱ و ۲)، توان تولیدی این سازندها مشخص می‌گردد. با رسم مقادیر توان هیدروکربورزایی ذاتی (S_1+S_2) در مقابل مقدار کل کربن آلی (TOC) در نمونه‌های مورد مطالعه، می‌توان سنگ‌های مادر را رتبه‌بندی کرد (اشکال ۵ و ۶).

نمونه‌های خرده حفاری تونل نوسود

سازند پابده از نظر درجه‌بندی سنگ مادر ضعیف هستند و از نظر توان هیدروکربورزایی، ضعیف تا متوسط در نظر گرفته می‌شود؛ در حالی که، سازند گورپی از نظر سنگ مادر در درجه متوسط و از نظر توان هیدروکربورزایی در محدوده خوب قرار دارند. و در نهایت سازند ایلام از نظر درجه‌بندی سنگ مادر در محدوده ضعیف تا متوسط، و از نظر توان هیدروکربورزایی در محدوده ضعیف تا خیلی خوب قرار می‌گیرد. از آنجایی که سازند ایلام در اغلب نقاط دارای خاصیت مخزنی است، نتایج آنالیزهای این سازند به منزله ویژگی‌های سازند مولد نفت تلقی نمی‌گردد و این یافته‌ها با وضعیت لیتولوژی کربناته و سن سازند ایلام مطابقت دارد.

نمونه‌های مغزه‌های چاههای میادین پاتاق و امام حسن

اکثر نمونه‌های سازند گرو از چاه شماره ۱ میدان امام حسن و چاه شماره ۱ میدان پاتاق از نظر توان هیدروکربورزایی ذاتی، نسبتاً ضعیف ولی از نظر مقدار کل کربن آلی تا حدودی مناسب و خوب هستند.

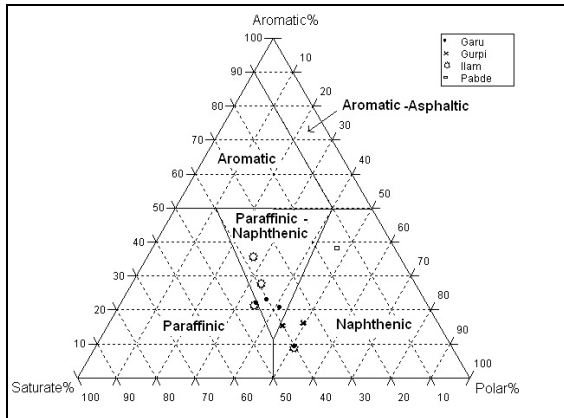


شکل ۳: نمودار HI در مقابل Tmax. الف) نمونه‌های خرده حفاری در تونل نوسود، ب) نمونه‌های مغزه حفاری از چاههای میادین امام حسن و پاتاق

به کمک نتایج حاصل از تجزیه عنصری، نمودار ون کروژن^۷ رسم گردید (شکل ۴). این نمودار، نمونه سازند پابده کروژنی از نوع II را نشان می‌دهد و از نظر بلوغ در اوایل مرحله کاتائز قرار دارد. سازند گورپی نیز با کروژنی از نوع II در اواسط یا اواخر مرحله کاتائز قرار دارد. نمونه سازند ایلام کروژنی از نوع II یا III را نشان می‌دهد که در اواخر مرحله کاتائز قرار دارد. نمونه‌های سازند گرو نیز کروژنی از نوع II یا III را نشان می‌دهند که میزان پختگی نمونه‌ها، اواخر مرحله کاتائز و اوایل مرحله متائز را نشان می‌دهند. همان‌طور که دیده می‌شود ترتیب میزان پختگی نمونه‌ها با سن سازندها منطبق است و سازندهای عمیق‌تر با سن بیشتر، بلوغ بالاتری از خود نشان می‌دهند.

۴-۲- مطالعه بیومارکرها

با توجه به نتایج حاصل از آنالیز کروماتوگرافی گازی و رسم پارامترهای $pri/n-C_{17}$ در مقابل $phy/n-C_{18}$ می‌توان میزان بلوغ و شرایط محیط رسوبی را در سنگ‌های منشأ دقیق‌تر توصیف کرد [۱۰] (اشکال ۸ و ۹).

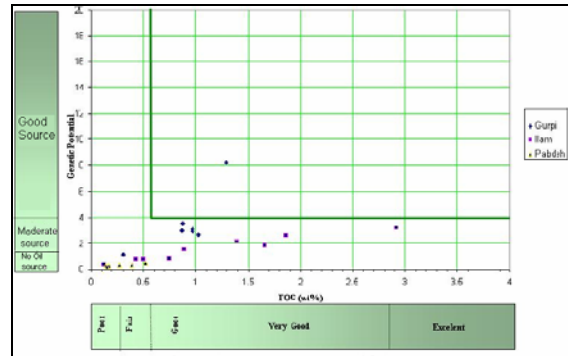


شکل ۷: نمودار مثلثی نمونه‌های مورد بررسی با استفاده از درصد برش‌های ترکیبات قطبی و غیرقطبی

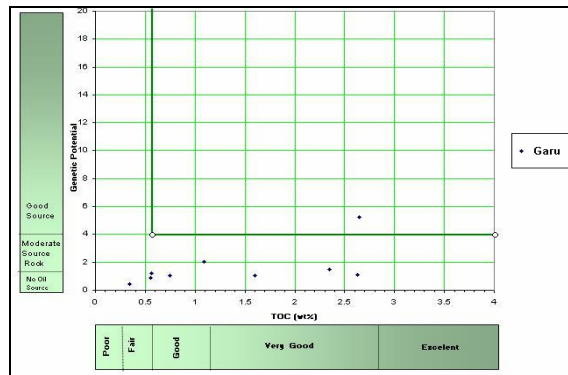
همان‌گونه که در شکل ۸ دیده می‌شود اغلب کروژن‌های موجود در سنگ‌های منشأ احتمالی از نوع II یا III است، و نیز پدیده دگرسانی شدید در نمونه‌ها دیده نمی‌شود. میزان پختگی در سازندهای پابده، گورپی و ایلام سیر صعودی را نشان می‌دهد. نسبت پرستان به فیتان در نمونه‌ها، کمتر از یک می‌باشد که نشانگر محیط‌های احیای دریایی است.

با توجه به شکل ۹ نیز کروژن سازند گرو در چاه‌های امام حسن ۱ و پاتاق ۱ اغلب از نوع II و III یا III است و نیز پدیده دگرسانی شدید در نمونه‌ها دیده نمی‌شود و میزان پختگی این سازند نسبت به سازندهای پابده، گورپی و ایلام بیشتر است. نمونه‌های تحت مطالعه محیط‌های نیمه احیا-نیمه اکسیدان را نشان می‌دهد؛ اما نسبت پرستان به فیتان کمتر از یک می‌باشد که نشانگر محیط احیای دریایی است. این عدم تطابق می‌تواند به دلیل هوازدگی نمونه‌ها و سن زیاد آن‌ها باشد که به از بین رفتن ترکیبات آلکان‌های نرمال C_{18} و C_{17} و کاهش مقادیر آنها و در نتیجه افزایش نسبت $pri/n-C_{17}$ و $phy/n-C_{18}$ منجر شود [۴] عملکرد این فرایند باعث شده است که نمونه‌های این سازند محیط نیمه احیاء و کروژن نوع III را نشان دهند.

تفکیک بیتومین حاصل از نمونه‌های سنگ مادر پس از رسوب دادن آسفالتن و انجام دادن کروماتوگرافی ستونی صورت می‌گیرد که نتایج آن در جدول ۶ آورده شده است. با استفاده از نمودار مثلثی، برش‌های قطبی نمونه‌ها (شامل رزین و آسفالتن) در مقابل برش هیدروکربورهای اشباع و آروماتیک، کیفیت هیدروکربورهای تولیدی این سازندها مشخص می‌شود (شکل ۷).

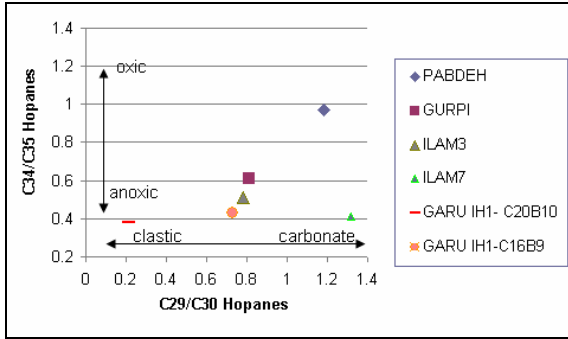


شکل ۵: رتبه بندی سازندهای تحت مطالعه (خرده حفاری تونل نوسود) از نظر توان هیدروکربورزایی ذاتی و مقدار کل کربن آلی



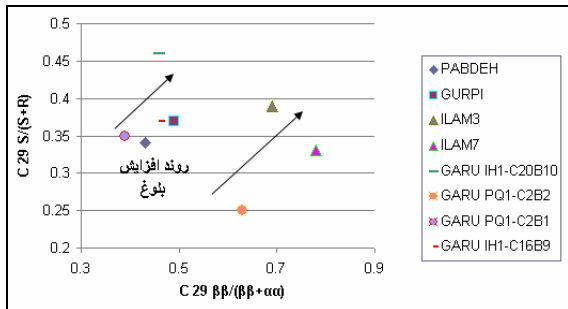
شکل ۶: رتبه بندی سازندهای تحت مطالعه (مغزه‌های چاه‌های پاتاق و امام حسن) از نظر توان هیدروکربورزایی ذاتی و مقدار کل کربن آلی

با توجه به فرایندهای تبخیر طبیعی مواد آلی از خرده‌های حفاری، از غلظت هیدروکربورهای سبک از برش‌های اشباع و آروماتیک کاسته و به غلظت ترکیبات قطبی افزوده می‌شود [۸]؛ بنابراین پراکندگی نمونه‌ها در وسط دیاگرام مثلثی طبیعی به نظر می‌رسد. البته به طور یقین نتایج حاصل از نمونه‌های مغزه‌های چاه‌ها بهتر خواهد بود. کیفیت هیدروکربورهای تولیدی با توجه به دیاگرام مثلثی، اغلب نفتینیک و یا پارافینیک-نفتینیک است.



شکل ۱۰: رسم نسبت هویان‌های منظم C_{29}/C_{30} در مقابل اندیس هوموهویان‌های C_{35}/C_{34} که نشان دهنده جنس و محیط رسوبی سنگ‌های منشأ مورد مطالعه است.

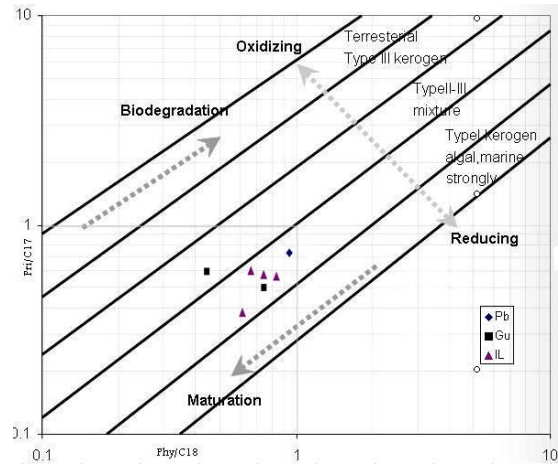
استران‌ها هم مانند هویان‌ها در شناسایی ویژگی‌های سنگ‌های منشأ سهم مهمی دارند. یکی از پارامترهای مهم که برای ارزیابی بلوغ سنگ منشأ کاربرد دارد، مقدار ایزواستران‌ها و استران‌های منظم است. مقدار پارامتر $C_{29}(\beta\beta/\beta\beta+\alpha\alpha)$ استران‌ها با افزایش بلوغ ماده آلی افزایش می‌یابد. مقدار پارامتر استران منظم $C_{29}S/(S+R)$ نیز با افزایش بلوغ زیاد می‌شود و سپس مقدار آن کاهش می‌یابد، که در نتیجه از دقت این پارامتر کاسته می‌شود. معمولاً دامنه کاربردی پارامتر $C_{29}S/(S+R)$ از ۰/۳ تا ۰/۷ است (اواخر دیازن تا اواسط پنجره نفت‌زایی)؛ زیرا در اواخر مرحله کاتازن، این ترکیبات به آهستگی شکسته شده و محاسبه این نسبت در انتهای پنجره نفت‌زایی امکان‌پذیر نیست (شکل ۱۱ و ۱۲).



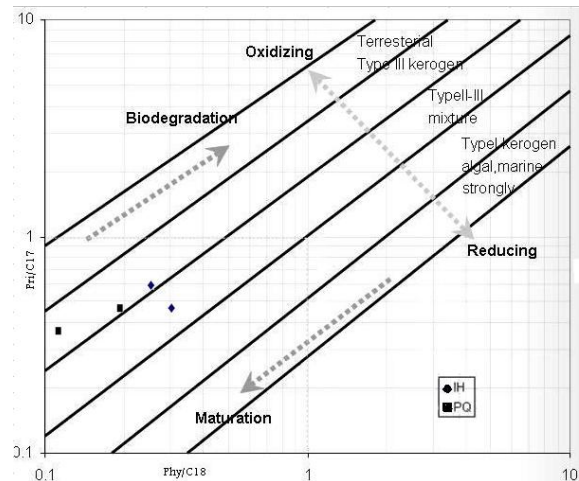
شکل ۱۱: رسم پارامترهای استران منظم C_{29} در مقابل ایزواستران‌های C_{29} که نشان دهنده میزان بلوغ سنگ‌های منشأ مورد مطالعه

در دیاگرام مثلی شکل ۱۳، فراوانی استران‌های C_{27} ، C_{28} و C_{29} نشان داده شده است. در این دیاگرام، فراوانی استران‌ها برای نمونه‌های تحت مطالعه، نمایانگر محیط رسوبی دریای باز است. آثار ورود اندکی مواد آلی با منشأ خشکی (قاره‌ای) در رسوبات سازند گرو در چاه پاتاق به چشم می‌خورد.

با استفاده از نتایج آنالیز کروماتوگرافی گازی- طیف سنج جرمی، می‌توان از نسبت C_{29}/C_{30} هویان‌ها برای تعیین جنس سنگ منشأ استفاده نمود. در این مورد سنگ‌های منشأ با نسبت C_{29}/C_{30} کمتر از یک، لیتولوژی شیلی یا کلاستیک و با نسبت بیشتر از یک، لیتولوژی کربناته دارند [۹].



شکل ۸: وضعیت و نوع مواد آلی موجود در سنگ‌های منشأ طبق برای نمونه‌های حفاری تونل $phy/n-C_{18}$ و $pri/n-C_{17}$ پارامترهای



شکل ۹: وضعیت و نوع مواد آلی موجود در سنگ‌های منشأ طبق برای نمونه‌های مغزه چاه‌های پاتاق $phy/n-C_{18}$ و $pri/n-C_{17}$ پارامترهای و امام حسن

رسم نسبت هویان‌های منظم C_{29}/C_{30} در مقابل اندیس هوموهویان C_{34}/C_{35} نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشتر نمونه‌ها در محیطی احیایی رسوب کرده‌اند و لیتولوژی نمونه‌های سازند گرو کلاستیک و یا آهک رسی هستند و نمونه‌های سازندهای گورپی و پابده نیز لیتولوژی آهک رسی دارند، در حالی که نمونه‌های سازند ایلام کربناته است (شکل ۱۰).

۵- نتیجه گیری

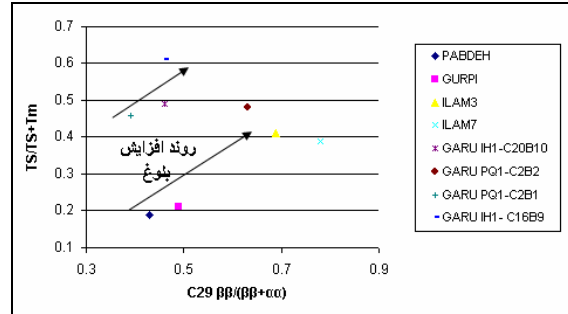
از میان سنگ منشأهای احتمالی در محل احداث تونل نوسود در غرب کرمانشاه، سازند گورپی در مسیر عبور تونل نوسود با لیتولوژی شیل سیاه رنگ و آهک رسی آلتزه شده و سازند گرو در چاه امام حسن ۱ و پاتاق ۱ نیز با لیتولوژی شیل تیره و آهک رسی از نظر دارا بودن پتانسیل سنگ منشأ، مناسب است و دارای کروژن نوع II و III و محیط تشکیل احيای دریایی می باشند و نمونه های این دو سازند از نظر میزان بلوغ در اواسط تا اواخر مرحله کاتازن قرار دارند. کیفیت هیدروکربورهای تولیدی، اغلب نفتیک و یا پارافینیک- نفتیک است. سازند پابده در مسیر تونل با لیتولوژی شیل سبز رنگ و آهک رسی آلتزه شده، پتانسیل ضعیف سنگ منشأ دارد و غالباً دارای کروژن نوع II و III و محیط احياء تا نیمه احيای دریایی است. همچنین مطالعات نشانه های زیستی و مقادیر انعکاس ویتربیت نمونه های این سازند اوایل کاتازن را نشان می دهند. سازند ایلام نیز با لیتولوژی سنگ آهک ضخیم لایه و دارا بودن خواص مخزنی از قبیل مقادیر بالای TPI و S₁ و مقادیر ناچیز S₂، در گروه سنگ های مولد نفت قرار نمی گیرد.

۶- تقدیر و تشکر

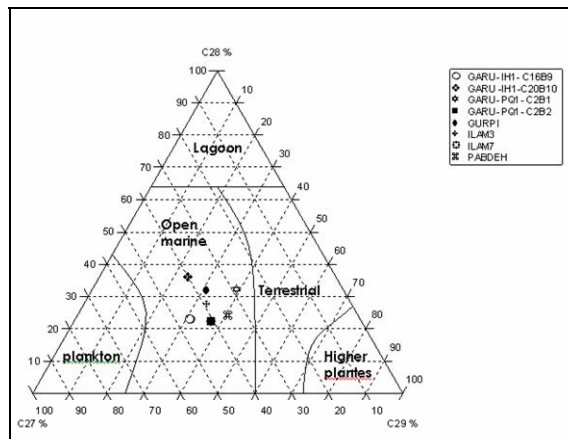
به این وسیله از آقایان دکتر محمدرضا کمالی، دکتر محمود معاریانی، دکتر اشکان، مهندس معین پور و همکارانشان در واحد ژئوشیمی آلی پژوهشگاه اکتشاف و تولید پژوهشگاه صنعت نفت و همچنین دکتر مختاری و دکتر میرحجری و همکارانشان در شرکت مهندسی مشاور ساحل که در این تحقیق ما را یاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می شود.

منابع

- [1] Barker, C., 1974, "Paralysis techniques for source rock evaluation", AAPG Bullrtin, Vol. 58, pp. 2349-2361.
- [2] Berberian, M., 1995, "Master blind thrust faults hidden under the Zagoros folds", active basement tectonics and surface morphotectonics Tectonophysics, 241, pp. 193-224.
- [3] Bordenave, M.L. 1993. "Applied Petroleum Geochemistry", Editions Technip, Paris.
- [4] Connan, J. A.M, Cassou, 1980. "Properties of gases and petroleum liquids derived from terrestrial kerogen at various maturation levels", Geochimica et Cosmochimia Acta, Vol.44, pp. 1-23.
- [5] Hunt, J.M., 1996, "Petroleum Geochemistry and Geology", 2nd ed., SanFrancisco: Freeman pp. 5-6.



شکل ۱۲: رسم پارامتر T_g/T_g+T_m در مقابل ایزواستران های C_{29} که نشان دهنده میزان بلوغ سنگ های منشأ مورد مطالعه می باشد.



شکل ۱۳: دیاگرام مثلثی فراوانی استران های C_{27} ، C_{28} و C_{29} وضعیت محیط رسوبی نمونه های سنگ منشأ مورد نظر را نشان می دهد

۴-۳- مطالعه کانی های رسی

با استفاده از کانی های رسی می توان درجه پختگی و بلوغ مواد آلی در سنگ منشاء را تعیین کرد. در روش ویور^۸، با استفاده از درجه تبلور کانی ایلیت در نمونه های مورد مطالعه، بلوغ آن ها به صورت جدول ۱۰ تعیین می شود [۱۲]:

جدول ۱۰: تعیین میزان بلوغ نمونه ها با استفاده از روش ویور

میزان بلوغ نمونه ها	درجه تبلور کانی ایلیت
نابالغ	$2/5 >$
نفت زا	$2/5 - 4/5$
گاززا	$4/5 <$

با توجه به جدول ۵ و نتایج حاصل از روش ویور در منطقه مورد مطالعه، سازند پابده در ابتدای مرحله نفت زایی است و سازند گورپی از نظر میزان بلوغ در اواسط مرحله نفت زایی قرار دارد. سازند ایلام و سازند گرو در چاه های امام حسن و پاتاق نیز اواخر مرحله نفت زایی را نشان می دهند.

- [9] Peters, K.E. Walters, C.C. Moldowan, J.M., 2005, "The Biomarker Guide", second ed. Cambridge University Press, New York.
- [10] Powell, T.G. McKirdy, D.M. 1973, "Relationship between ratio of pristane to phytane, crude oil composition and geological environment in Australia", Nature, Vol. 243, pp.37-39.
- [11] Tissot, B. P. 1984, "Recent advances in petroleum geochemistry applied to hydrocarbon exploration", AAPG Bull. 68, 545-563.
- [12] Weaver, C. E. 1960, "Possible uses of clay minerals in search for oil", AAPG, Vol. 44, No. 9, pp.1505-1518.
- [6] Kadir G., 2003, "Correlation, alteration, and origin of hydrocarbons in the GCA, Bahar, and Gum Adasi fields, western South Caspian Basin", geochemical and multivariate statistical assessments, Marine and Petroleum Geology 20, pp. 1119-1139.
- [7] Page, M.M and C. Kuhnel, 1980, "Rock Eval Pyrolysis as source rock using programmed pyrolysis", AAPG Bulletin, Vol. 64, p. 762.
- [8] Peters. K.E. 1986, "Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis", AAPG Bulletin, Vol. 70, pp. 318-329.

پی‌نوشت

-
- ¹ Cement Segment
² Gas Chromatography
³ Gas Chromatography – Mass spectrometry
⁴ Zagros simply folded zone
⁵ Rock-Eval
⁶ Biomarkers
⁷ Van krevelen
⁸ Weaver

