

# تطابق هیدروکربنی و مقایسه ژئوشیمیایی سازند کنگان در چاه‌های C و B واقع در میدان گازی پارس جنوبی

پژوهش نفت

سال نوزدهم  
شماره ۶۰  
صفحه ۱۰۳-۸۴، ۱۳۸۸

علیرضا رجبی هرسینی\* و محمود معماریانی  
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال  
arh7248@yahoo.com

## چکیده

تطابق یعنی مقایسه ژئوشیمیایی بین هیدروکربن‌ها یا هیدروکربن‌ها با سنگ منشأ و تعیین چگونگی ارتباط ژنتیکی بین آنها که برای این منظور از ابزارها و عامل‌هایی مانند بیومارکرها و ایزوتوپ استفاده می‌شود. در مغزه‌های حفاری تهیه شده از سازند کنگان (با سن تریاس زیرین) در چاه‌های C و B، آثار هیدروکربنی دیده شده است که در این تحقیق از دیدگاه ژئوشیمیایی با یکدیگر مقایسه و مطابقت داده می‌شوند. برای بررسی و ارزیابی ویژگی‌های ژئوشیمیایی این هیدروکربن‌ها آنالیزهای مقدماتی (پیرولیز راک اول، استخراج و تفکیک بیومن) و آزمایش‌های تکمیلی (کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی) و بررسی‌های ایزوتوپی بر روی نمونه‌های خرده حفاری استفاده شده است. نتایج حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی نشان می‌دهند که کروژن نمونه‌ها، مخلوطی از انواع II و III بوده و مواد آلی تولید کننده هیدروکربن از محیطی دریایی همراه با اندکی ورودی از خشکی تولید شده‌اند. هیدروکربن‌های موجود در سازند کنگان از یک سنگ منشأ

با کلاستیک - کمی کربناته تولید و در شرایطی احیایی - نیمه‌احیایی راسب شده‌اند. کروماتوگرام‌های برش‌های اشباع نمونه‌ها نشج-کان از عدم وجود پدیده تخریب زیستی نمونه‌های تحت مطالعه دارد. نمونه‌های میان لایه‌ای شیلی - آهکی سازند کنگان از چاه C، دارای پتانسیلی فقیر تا متوسط و نمونه‌های چاه B، پتانسیل هیدروکربنی فقیری را نشان می‌دهند. هر دو دسته نمونه‌های تحت بررسی، از نظر درجه بلوغ، در ابتدای پنجره تولید نفت (اواخر دیاژنز - اوایل کاتاژنز) قرار گرفته‌اند. میزان پختگی مواد آلی نمونه‌های چاه B اندکی بیشتر از نمونه‌های چاه C می‌باشد. آثار هیدروکربنی چاه C، خصوصیات پارافینیک - نفتنیک و نفتنیک، و نمونه‌های چاه B، پارافینیک - نفتنیک و پارافینیک را نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد که میان لایه‌های شیلی - آهکی موجود در بخش‌هایی از سازند کنگان، سبب تولید هیدروکربن‌های موجود در ماتریکس سازند کنگان باشند.

واژه‌های کلیدی: آنالیزهای ژئوشیمیایی، تطابق، هیدروکربن، سازند کنگان، پارس جنوبی

## مقدمه

گروه‌های متشکله آن، کروماتوگرافی گازی، کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی و در نهایت بررسی‌های ایزوتوپی کربن ۱۳ روی برش آسفالتن نمونه‌ها.

در شکل‌های ۲ و ۳، ستون چینه‌ای چاه‌های C و B، هم‌چنین موقعیت هیدروکربنی بر اساس مغزه‌های حفاری مشخص شده است. هدف از این تحقیق، ارزیابی و شناخت آثار هیدروکربنی موجود در سازند کنگان در دو چاه C و B (محتویات مخزنی یعنی گازها و کاندنسیت‌ها مد نظر نیستند) و مقایسه و تطابق آن‌ها با یکدیگر است.

## پیرولیز نمونه‌ها

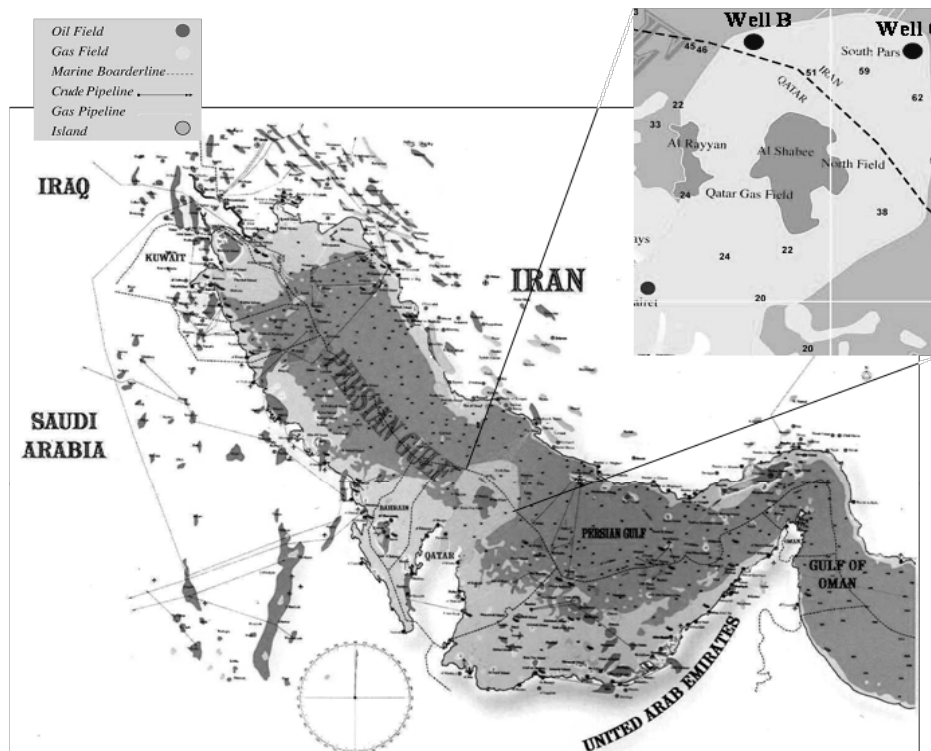
با روش پیرولیزی، ضمن اعمال حرارت ماده آلی در غیاب اکسیژن، هیدروکربن تولید و آزاد شده و کمیت و کیفیت ماده آلی و نوع آن، پتانسیل باقی‌مانده نمونه و تحولات حرارتی ماده آلی، تعیین می‌شود. برای انجام این آنالیز از دستگاه پیرولیز راک-اول استفاده می‌شود [۲]. ابتدا نمونه‌های تهیه شده از مغزه‌های حفاری پودر شده و مقدار ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم آن توسط دستگاه پیرولیز راک-اول II، مورد آنالیز مقدماتی قرار گرفت و پارامترهای TOC،  $T_{max}$ ، HI و سایر پارامترها تعیین شدند.

میدان گازی پارس جنوبی به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین میدانی گازی جهان، در آب‌های خلیج فارس بر روی خط مرزی مشترک ایران و قطر، به فاصله ۱۰۰ کیلومتری بندر عسلویه در ساحل جنوبی ایران، ۱۰۵ کیلومتری شمال شرقی شبه‌جزیره قطر، ۳۳۰ کیلومتری شمال غربی شهر دبی واقع شده است. وسعت این میدان ۹۷۰۰ کیلومتر مربع است که سهم متعلق به ایران ۳۷۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد که بین طول‌های شرقی  $51^{\circ} 50'$  تا  $52^{\circ} 40'$  و عرض‌های شمالی  $25^{\circ} 25'$  تا  $27^{\circ} 05'$  قرار گرفته است (شکل ۱).

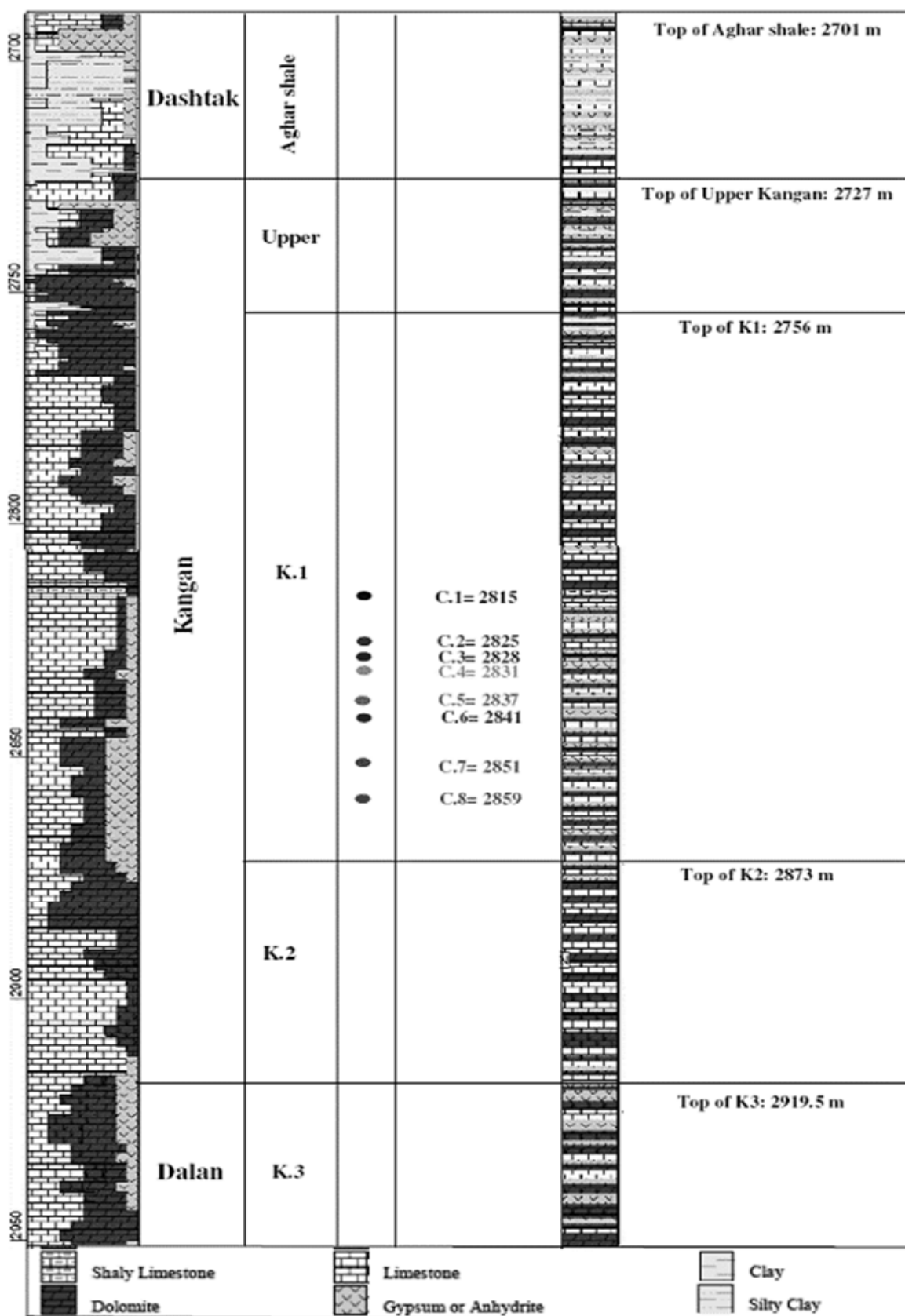
سازند کنگان با سن تریاس زیرین، ترکیب کربناته (بخش زیرین) و شیلی (بخش بالایی) و عمق متوسط ۲۱۰ متر به‌طور فرسایشی و هم‌شیب بر روی سازند دالان با سن پرمین (میانی-بالایی) قرار گرفته است. سازند کنگان به دو واحد مخزنی  $K_1$  و  $K_2$  تقسیم می‌شود [۱].

## روش کار

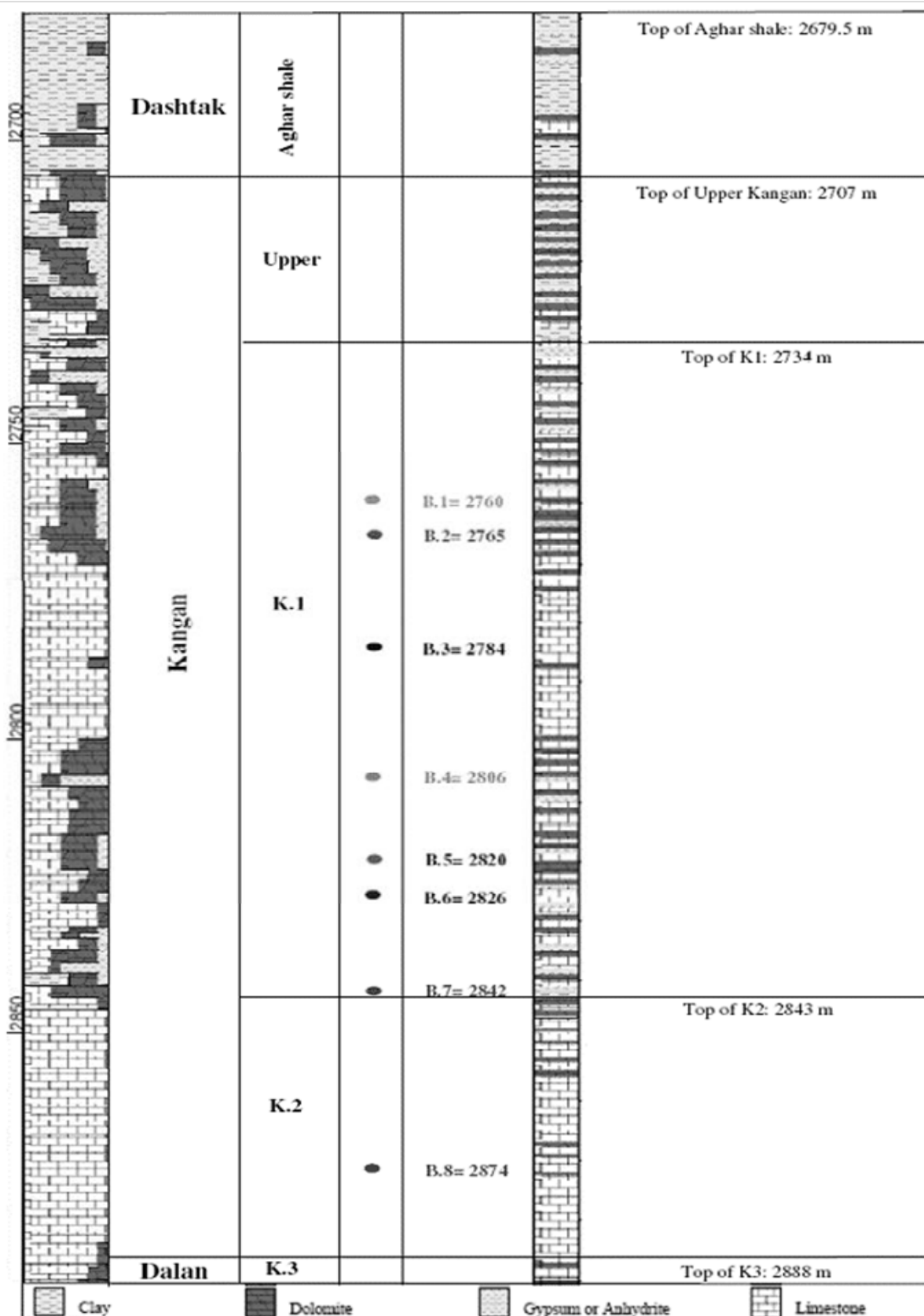
روش‌های مختلفی که در این مطالعه به‌کار گرفته شده است، عبارتند از: پیرولیز راک-اول، استخراج بیتومن و جداسازی



شکل ۱- موقعیت میدان گازی پارس جنوبی در خلیج فارس و موقعیت تقریبی چاه‌های C و B (بدون مقیاس)



شکل ۲- بخشی از ستون چینه‌شناسی چاه C در میدان گازی پارس جنوبی و موقعیت نمونه‌ها برای انجام آنالیزهای ژئوشیمیایی. سازند کنگان در بخش بالایی ۲۹ متر، در بخش‌های K<sub>۱</sub> و K<sub>۲</sub> به ترتیب ۱۱۷ و ۴۶/۵ متر ضخامت و در مجموع سازند کنگان در چاه C، ۱۹۲/۵ متر ضخامت دارد.



شکل ۳- بخشی از ستون چینه‌شناسی چاه B در میدان گازی پارس جنوبی و موقعیت نمونه‌ها برای انجام آنالیزهای ژئوشیمیایی. سازند کنگان در بخش کنگان بالایی ۲۷ متر، در بخش‌های K<sub>۱</sub> و K<sub>۲</sub> به ترتیب ۱۰۹ و ۴۵ متر ضخامت و در مجموع سازند کنگان در چاه B، ۱۸۱ متر ضخامت دارد.

## جداسازی و تفکیک مواد آلی

موجود در چاه‌های C و B، استفاده شده است. کلیه آنالیزهای ایزوتوپی در دانشگاه نانسی فرانسه انجام شده است.

### نتایج حاصل از آنالیز پیرولیز راک-اول

تعداد ۱۶ نمونه از سازند کنگان در چاه‌های C و B انتخاب و پس از ارسال به آزمایشگاه (آزمایشگاه ژئوشیمی آلی پژوهشگاه صنعت نفت) مورد آنالیز پیرولیز راک-اول قرار گرفتند که نتایج حاصل از آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

### بررسی نوع کروژن احتمالی

با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز پیرولیز راک-اول (جدول ۱) و پارامترهای اندیس هیدروژن (HI)، درجه حرارت حداکثر ( $T_{max}$ ) و اندیس اکسیژن (OI) و با ترسیم دیاگرام‌های HI در مقابل  $T_{max}$  و HI در مقابل OI، می‌توان نوع کروژن نمونه‌های تحت آنالیز را تعیین کرد (شکل‌های ۵ و ۴). [۳]. به دلیل آنکه سازند کنگان نمی‌تواند به عنوان سنگ منشأ مناسبی مطرح باشد، بنابراین به نظر می‌رسد که تولید هیدروکربن از سنگ منشأ با کروژن‌های مخلوط از انواع II و III صورت گرفته است.

### تعیین درجه پختگی<sup>۱</sup>

برای تعیین درجه پختگی (میزان بلوغ) مواد آلی توسط دستگاه پیرولیز راک-اول، با استفاده از پارامترهای  $T_{max}$  و HI، و دیاگرام HI در مقابل  $T_{max}$  ترسیم می‌شود [۳]. بر این اساس بلوغ نمونه‌های تهیه شده از چاه‌های C و B و به عبارتی بلوغ سنگ مادر احتمالی، هیدروکربن‌های تحت مطالعه در اواخر مرحله دیاژنز و ابتدای مرحله کاتازنز (شروع پنجره نفت‌زایی) می‌باشد.

یکی دیگر از راه‌های تعیین درجه بلوغ مواد آلی، استفاده از پارامترهای  $S_2$  و TOC (کربن آلی کل) حاصل از آنالیز پیرولیز راک-اول و ترسیم دیاگرام  $S_2$  در مقابل TOC است [۴]. کاربرد این دیاگرام در حالت کلی برای تعیین میزان کربن مرده<sup>۲</sup> می‌باشد که در پی افزایش بلوغ مواد آلی، میزان کربن مرده افزایش می‌یابد.

برای استخراج بیتومن از مغزه‌های حفاری، ۳۰ تا ۴۰ گرم نمونه تهیه و توسط دستگاه سوکسله و با به کار بردن حلال دی‌کلرومتان عمل استخراج انجام شد. پس از خشک کردن، مواد آلی استخراج شد و نمونه مورد جدایش آسفالتن قرار گرفت و باقی‌مانده نمونه‌ها به وسیله روش کروماتوگرافی ستونی برای جمع‌آوری برش‌های ترکیبات اشباع، آروماتیک و رزین مورد تفکیک قرار گرفت. برش اشباع نمونه‌ها در ادامه کار به وسیله کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی مورد آزمایش قرار گرفتند. امروزه توسط تکنیک کروماتوگرافی گازی می‌توان به بررسی توزیع آلکان‌های نرمال و ایزوپرونوئیدها و با کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی به مطالعه بیومارکرها و تعیین درجه پختگی ماده آلی یا نفت پرداخت.

### شرایط دستگاهی

کروماتوگرافی گازی از نوع Chrompack-CP-9000 بوده و دمای اولیه آن  $60^{\circ}\text{C}$  و دمای نهایی  $270^{\circ}\text{C}$ ، افزایش دما  $4^{\circ}\text{C}$  درجه بر دقیقه، گاز حامل هلیوم، نوع ستون موئینه از نوع CP-Sil-5 به طول ۲۵ متر و مقدار تزریق نمونه  $0.2$  میکرولیتر مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، کروماتوگراف گازی-طیف‌سنج جرمی، که نوع کروماتوگراف گازی از مدل Varian-3400، نوع ستون DB-1 به طول ۲۵ متر، گاز حامل هلیوم، دمای اولیه آن  $50^{\circ}\text{C}$  و دمای نهایی  $250^{\circ}\text{C}$  (ایزوترمال در این دما به مدت ۲۰ دقیقه)، افزایش دما  $4^{\circ}\text{C}$  درجه بر دقیقه. نوع طیف‌سنج جرمی از نوع کوادراپل Incos-50، دمای منبع  $200^{\circ}\text{C}$ ، سیستم خلاء (Turbo-molecular pumps)، حالت یونیزاسیون EI، دمای رابط  $280^{\circ}\text{C}$ ، نرخ پایش  $1 \text{ sec/decade}$  و جریان فیلامان  $10 \text{ ev}$  به کار گرفته شد.

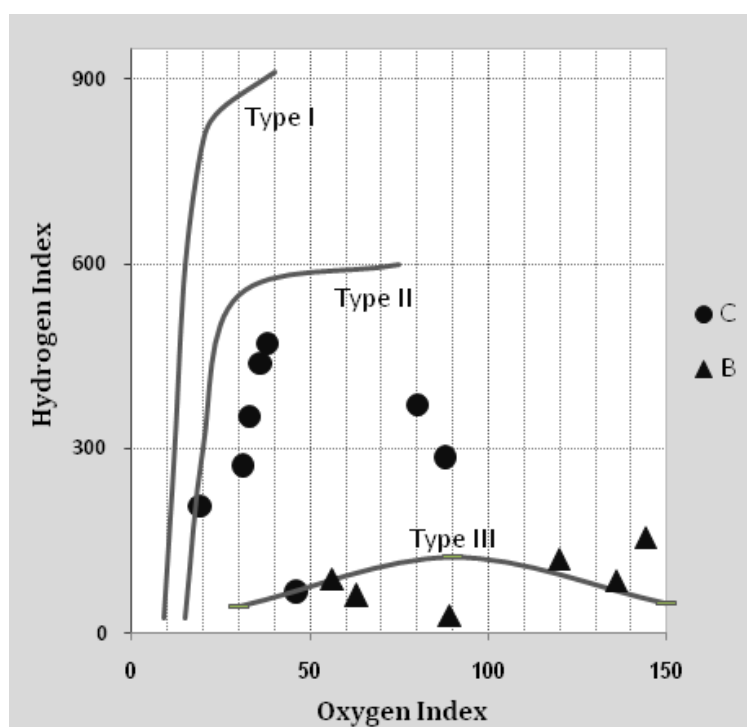
### بررسی‌های ایزوتوپی

امروزه استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار در علم ژئوشیمی آلی جایگاه خاصی پیدا کرده است که در این مطالعه از ایزوتوپ پایدار کربن  $^{13}\text{C}$  بر روی برش‌های آسفالتن جداسازی شده از بیتومن، به منظور تعیین سن تقریبی زمین‌شناسی مواد آلی، مقایسه و تطابق آثار هیدروکربنی

1. Maturity  
2. Residual Carbon

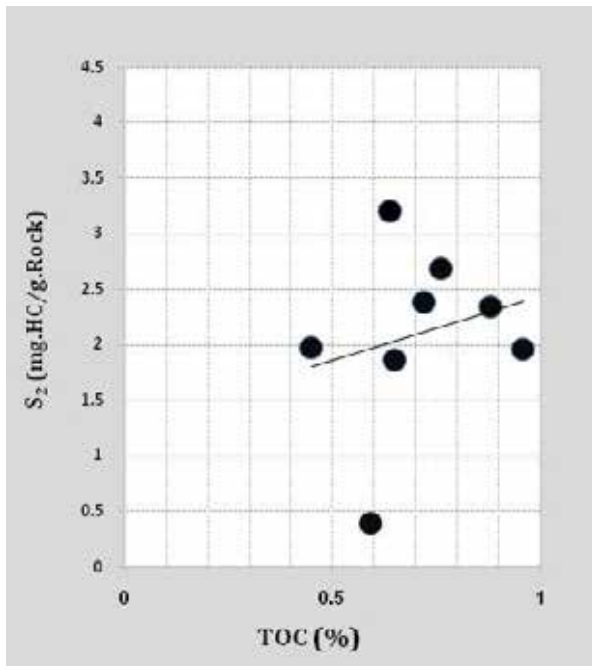
جدول ۱- نتایج حاصل از آنالیز پیرولیز راک- اول نمونه‌های تهیه شده از چاه‌های B و C

TOC %	PI	OI	T <sub>max</sub>	HI	S <sub>3</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	عمق (m)	نام نمونه
۰/۷۶	۰/۳	۳۳	۴۲۹	۳۵۳	۰/۲۵	۲/۶۸	۱/۱۶	۲۸۱۵/۴	C.1
۰/۶۵	۰/۰۸	۸۸	۴۳۶	۲۸۶	۰/۵۷	۱/۸۶	۰/۱۶	۲۸۲۵	C.2
۰/۴۵	۰/۰۶	۳۶	۴۳۶	۴۳۸	۰/۱۶	۱/۹۷	۰/۱۲	۲۸۲۸	C.3
۰/۷۲	۰/۰۶	۳۸	۴۳۶	۴۷۱	۰/۲۷	۲/۳۹	۰/۲۳	۲۸۳۱/۳	C.4
۰/۸۸	۰/۳۴	۳۱	۴۳۵	۲۷۳	۰/۵۷	۲/۳۴	۰/۵۳	۲۸۳۷	C.5
۰/۶۴	۰/۱	۸۰	۴۲۸	۳۷۱	۰/۵۱	۳/۲۱	۱/۶۶	۲۸۴۱	C.6
۰/۹۶	۰/۱۷	۱۹	۴۳۶	۲۰۷	۰/۲۷	۱/۹۶	۰/۶	۲۸۵۱	C.7
۰/۵۹	۰/۳۳	۴۶	۴۳۵	۶۸	۰/۲۷	۰/۴	۰/۲	۲۸۵۸/۹	C.8
۰/۲۵	۰/۱۵	۱۴۴	۴۳۹	۱۵۶	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۰۷	۲۷۶۰	B.1
۰/۱۹	۰/۷۴	۶۳	۴۳۶	۶۳	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۳۴	۲۷۶۵/۳	B.2
۰/۱۵	۰/۵	۴۷	۴۳۸	۱۲۰	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۱۸	۲۷۸۴/۵	B.3
۰/۱۷	۰/۸	۲۵۹	۴۲۷	۱۸	۰/۴۴	۰/۰۳	۰/۱۲	۲۸۰۶/۵	B.4
۰/۰۹	۰/۸۲	۸۹	۴۳۲	۲۹	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۱۲	۲۸۲۰/۵	B.5
۰/۰۹	۰/۵۳	۵۶	۴۲۹	۸۹	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۹	۲۸۲۶	B.6
۰/۱۴	۰/۵۹	۱۳۶	۴۳۵	۸۶	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۱۷	۲۸۴۲/۵	B.7
۰/۱۵	۰/۷۳	۲۱۳	۴۳۳	۲۵	۰/۳۲	۰/۰۴	۰/۱	۲۸۷۴/۵	B.8



شکل ۴- دیاگرام HI در مقابل OI



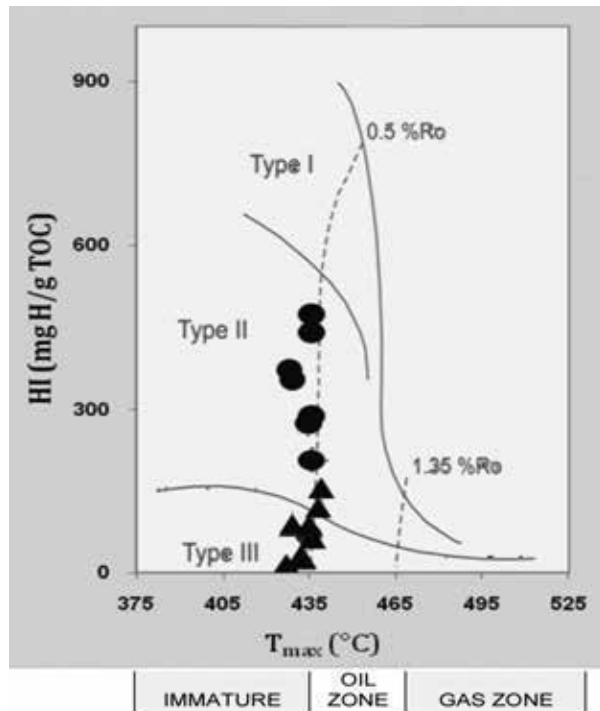


شکل ۶- دیاگرام  $S_2$  در مقابل TOC برای تعیین میزان کربن مرده (میزان بلوغ) نمونه‌های چاه C

۰/۰۸ درصد قطع می‌کند که این مقدار، متوسط میزان آثار و بقایای بیتومن‌های اولیه مهاجرت کرده است که در لابه‌لای ماتریکس سازند کنگان رسوب کرده‌اند که کربن مرده واقعی نیستند چون اگر کربن مرده واقعی بودند، بایستی میزان  $T_{max}$  نمونه‌ها بالا بود و میزان  $T_{max}$  نمونه‌ها، محدوده شروع پنجره تولید نفت را نشان می‌دهد، پس پیرویتومن‌هایی (بیتومن‌های سوخته) کاذب هستند که در ضمن مهاجرت در ماتریکس سازند کنگان در چاه B باقی مانده‌اند.

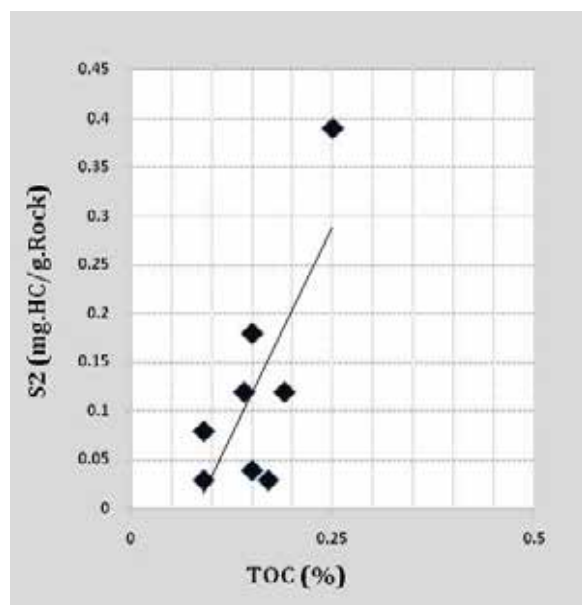
#### تعیین پتانسیل هیدروکربنی احتمالی سازند کنگان

بر اساس پارامترهای  $S_1$  (هیدروکربن‌های سیال تولید شده)،  $S_2$  (توان هیدروکربن‌زایی)، TOC (غناي کل کربن آلی) و شاخص پتانسیل تولید ( $Genetic\ Potential = S_1 + S_2$ ) (که این شاخص برای ارزیابی توان هیدروکربنی باقی‌مانده در سنگ مادر استفاده می‌شود) و با ترسیم شاخص پتانسیل تولید در مقابل مقادیر TOC (%)، می‌توان سنگ منشأ احتمالی را از نظر کیفیت درجه‌بندی کرد. بر این اساس لایه کنگان در محدوده چاه C، از لحاظ درجه‌بندی و توان هیدروکربنی ضعیف (فقیر) تا متوسط، در محدوده چاه B از نظر درجه‌بندی و توان هیدروکربنی ضعیف (فقیر) می‌باشد (شکل ۸).



شکل ۵- دیاگرام HI در مقابل Tmax

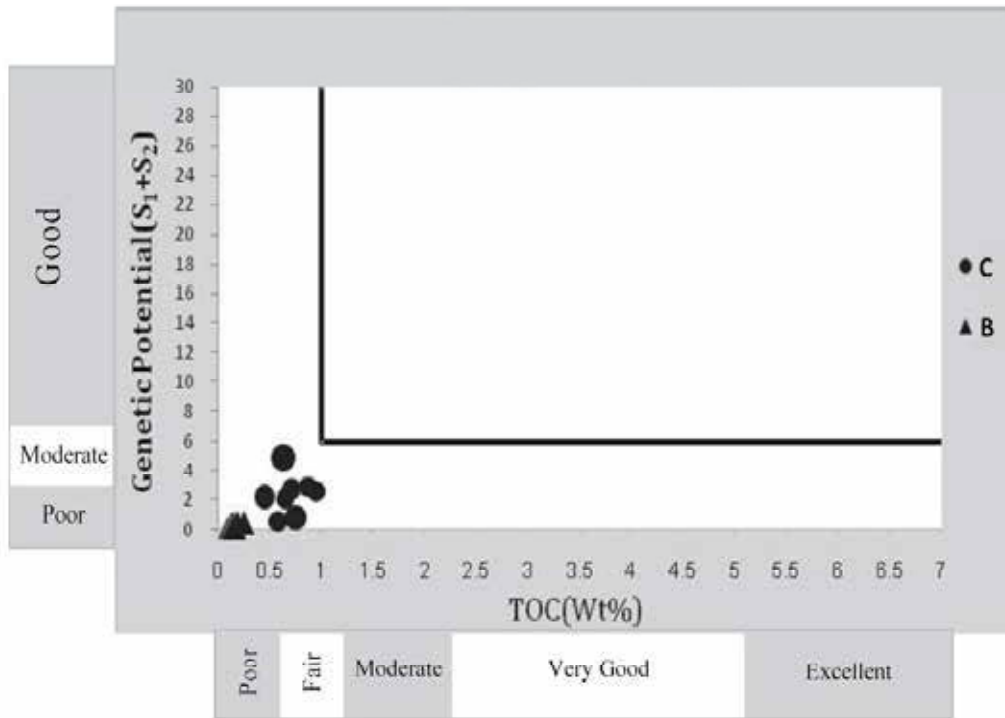
در نمونه‌های چاه C، بر اساس دیاگرام ترسیم شده (شکل ۶)، اگر خط رسم شده را ادامه دهیم محور TOC را قطع نمی‌کند، بنابراین عدم حضور کربن مرده در نمونه‌ها و در نتیجه بلوغ مناسب نمونه‌ها (شروع پنجره نفت‌زایی) را تأیید می‌کند. در دیاگرام ترسیم شده برای نمونه‌های چاه B (شکل ۷)، امتداد خط ترسیم شده، محور TOC را در نقطه



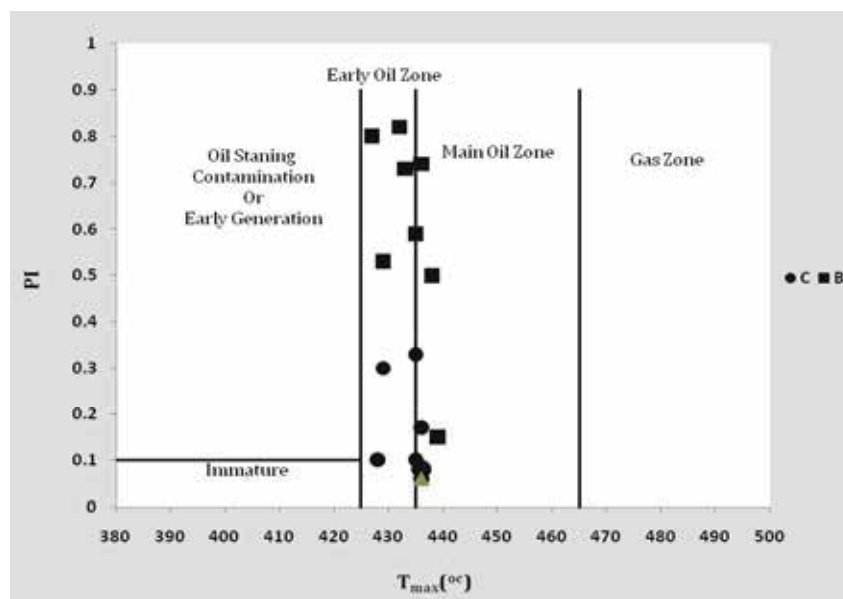
شکل ۷- دیاگرام  $S_2$  در مقابل TOC برای تعیین میزان کربن مرده (میزان بلوغ) نمونه‌های چاه B

نمونه‌ها در محدوده شروع پنجره نفت‌زایی<sup>۱</sup> قرار می‌گیرند (شکل ۹). همچنین مقدار PI بالاتر از ۰/۴ ( $PI > 0.4$ )، معرف آلودگی‌های نمونه‌های تحت مطالعه با مواد آلی زایش شده از سنگ مادرهای احتمالی بوده که ضمن

یکی از روش‌های تعیین میزان پتانسیل هیدروکربنی نمونه‌ها و میزان بلوغ آن، ترسیم دیاگرام حاصل از پارامترهای  $T_{max}$  و شاخص تولید (PI) به صورت PI در مقابل  $T_{max}$  است. با ترسیم دیاگرام برای نمونه‌های چاه‌های C و B،



شکل ۸- دیاگرام  $S_1+S_2$  در مقابل TOC ترسیم شده برای نمونه‌های چاه‌های C و B



شکل ۹- دیاگرام PI در مقابل  $T_{max}$  برای نمونه‌های چاه‌های C و B

1. Main Oil Zone-Early Oil Zone



موجود در مغزه‌های نمونه‌های تهیه شده از چاه C، خصوصیات پارافینیک-نفتیک و نفتیک و نمونه‌های چاه B، پارافینیک-نفتیک و پارافینیک را نشان می‌دهند (شکل ۱۱) [۵].

پس از تفکیک ترکیبات استخراج شده از نمونه‌ها (ترکیبات اشباع، آروماتیک، رزین و آسفالتن)، برای انجام آنالیزهای تکمیلی و تعیین پارامترهای گوناگون ترکیبات اشباع از روش کروماتوگرافی گازی و برای تعیین و شناسایی انواع بیومارکرها، از روش کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی استفاده شد.

### روش کروماتوگرافی گازی (GC)

نتایج حاصل از کروماتوگرافی گازی ترکیبات اشباع نمونه‌های چاه‌های C و B، در جدول ۳ آورده شده است. طیف‌های GC به‌دست آمده از آنالیز نمونه‌ها در پیوست ارائه گردیده است.

مهاجرت به این منطقه وارد شده و مقادیر کاذب و بالای PI را ایجاد کرده‌اند که این حالت در نمونه‌های چاه B بیشتر دیده می‌شود (شکل ۹).

### استخراج مواد آلی

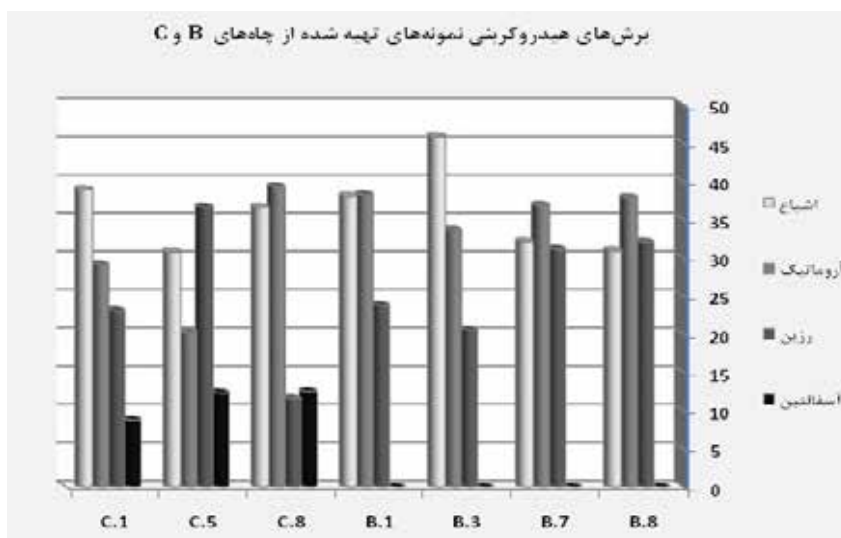
تعداد ۳ نمونه از چاه C و ۴ نمونه از چاه B، برای آنالیزهای شیمیایی و آنالیزهای تکمیلی انتخاب شدند. پس از تفکیک بیتومن از نمونه، و سپس رسوب دادن آسفالتن و انجام کروماتوگرافی ستونی، برش‌های مختلف تعیین درصد شدند که نتایج آن در جدول ۲ مشاهده می‌شوند. فراوانی ترکیبات اشباع، آروماتیک و رزین در نمونه‌های چاه‌های C و B، در شکل ۱۰ آمده است.

### کیفیت هیدروکربنی

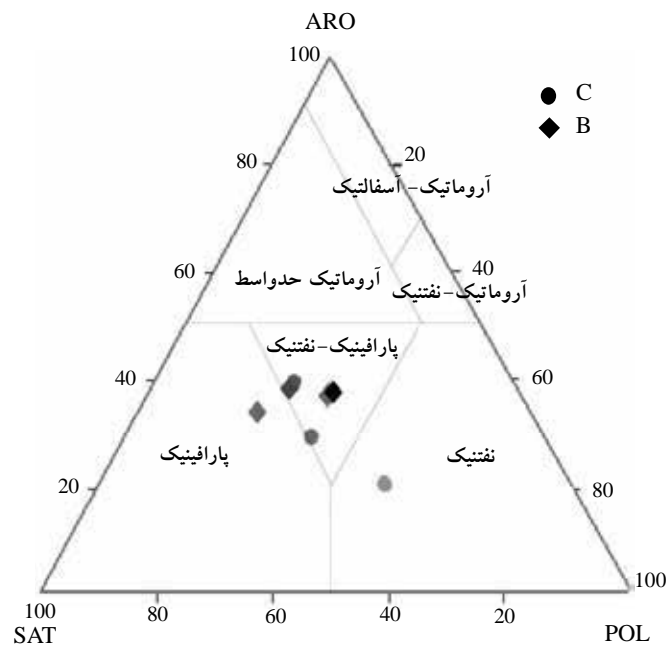
بر اساس دیاگرام مثلثی آثار و بقایای مواد هیدروکربنی

جدول ۲- جدول مربوط به درصد مواد آلی استخراج شده و درصد ترکیبات شیمیایی حاصل از تخلیص نمونه‌ها

نام نمونه	عمق (m)	اشباع (درصد)	آروماتیک (درصد)	رزین (درصد)	آسفالتن (درصد)	قطبی (درصد)
C.1	۲۸۱۵/۴	۳۸/۸۷	۲۹/۰۹	۲۳/۰۴	۸/۷۴	۳۱/۷۸
C.5	۲۸۳۷	۳۰/۷۲	۲۰/۱۸	۳۶/۶	۱۲/۳	۴۸/۹
C.8	۲۸۵۸/۹	۳۶/۵۹	۳۹/۲۴	۱۱/۵۷	۱۲/۴۸	۲۴/۰۵
B.1	۲۷۶۰	۳۸/۰۳	۳۸/۲۲	۲۳/۷۴	مقدار ناچیز	۲۳/۷۴
B.3	۲۷۸۴/۵	۴۵/۸۴	۳۳/۶۴	۲۰/۵	مقدار ناچیز	۲۰/۵
B.7	۲۸۴۲/۵	۳۲/۰۷	۳۶/۸۴	۳۱/۰۸	مقدار ناچیز	۳۱/۰۸
B.8	۲۸۷۴/۵	۳۰/۹	۳۷/۸۶	۳۲/۰۳	مقدار ناچیز	۳۲/۰۳



شکل ۱۰- فراوانی درصد ترکیبات اشباع، آروماتیک و رزین در نمونه‌های چاه‌های C و B



شکل ۱۱- دیاگرام مثلثی ترسیم شده برای نمونه‌های تهیه شده از چاه‌های C و B

جدول ۳- نتایج حاصل از کروماتوگرام‌های ترکیبات اشباع در نمونه‌های چاه‌های C و B

GC Summary				عمق (m)	نام نمونه
Phy/n-C <sub>18</sub>	Pri/n-C <sub>17</sub>	Pri/Phy	CPI		
۰/۴۴	۰/۴۹	۰/۶۹	۱/۰۲	۲۸۱۵/۴	C.1
۰/۴۹	۰/۴۱	۰/۷۵	۰/۹۹	۲۸۳۷	C.5
۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۷۹	۱/۰۲	۲۸۵۸/۹	C.8
۰/۳۸	۰/۳۴	۰/۴۹	۱/۱۳	۲۷۶۰	B.1
۰/۳۸	۰/۵۱	۱	۱/۰۵	۲۷۸۴/۵	B.3
۰/۴۶	۰/۳۸	۰/۷۱	۱/۰۱	۲۸۴۲/۵	B.7
۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۷۹	۰/۹۵	۲۸۷۴/۵	B.8

و Pri/n-C<sub>17</sub> و Pri/Phy و مقایسه توزیع پراکندگی این نسبت‌ها، می‌توان چگونگی توزیع هیدروکربن‌های اشباع را در نمونه‌ها ترسیم و کیفیت آنها را مقایسه کرد.

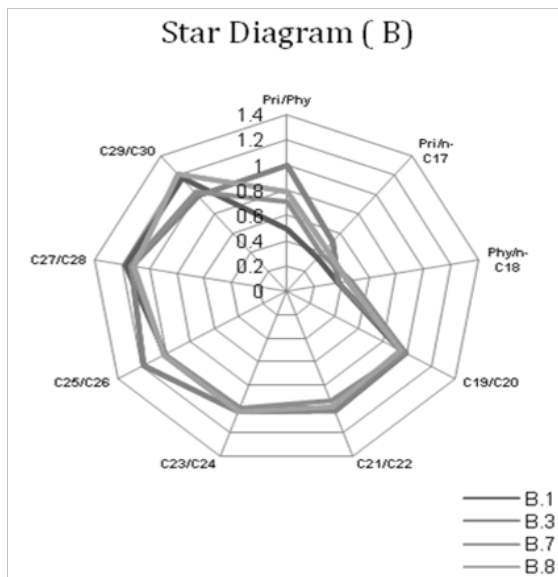
الگوی توزیع آلکان‌های نرمال در نمونه‌های چاه C در دیاگرام ستاره‌ای به صورت توزیع نرمال و همگن می‌باشد و معرف این است که هیدروکربن‌های موجود در این لایه علیرغم داشتن اختلاف عمق بیش از ۴۰ متر، یکسان می‌باشند (شکل ۱۲). در مورد نمونه‌های چاه B نیز برداشتی مشابه حاصل می‌شود (شکل ۱۳)، اگر چه کمی اختلاف در نسبت‌ها دیده می‌شود، اما روند کلی و الگوی توزیع آلکان‌های نرمال در نمونه‌های چاه B و C، مشابه یکدیگر و نرمال می‌باشد و به نظر می‌رسد که دارای یک

### منشأ مواد آلی و وضعیت محیط رسوبی

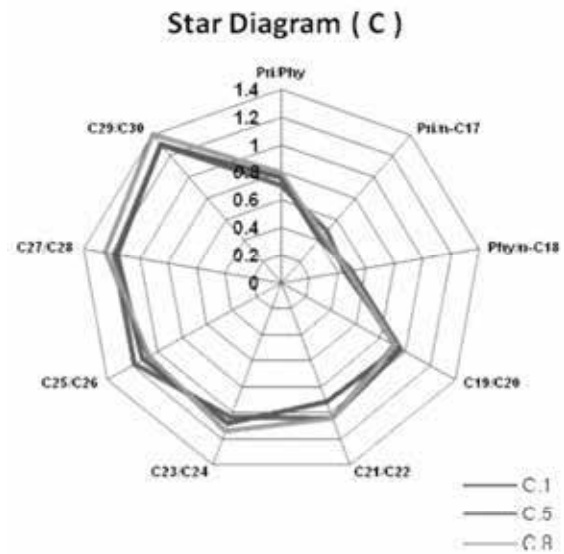
برای تعیین منشأ مواد آلی (کروژن) و وضعیت محیط رسوب‌گذاری با استفاده از روش GC، توسط پارامترهای n-C<sub>17</sub>/n-C<sub>18</sub>، Phy/n-C<sub>18</sub> و Pri/Phy و پارامترهای پارافین‌های نرمال n-C<sub>19</sub> تا n-C<sub>30</sub>، می‌توان دیاگرام Phy/n-C<sub>18</sub> در مقابل n-C<sub>17</sub>/n-C<sub>18</sub> و دیاگرام ستاره‌ای را ترسیم کرد.

### دیاگرام ستاره‌ای

به منظور تشخیص یکسان یا متفاوت بودن خصوصیات سنگ منشأ احتمالی و هیدروکربن‌ها، از دیاگرام ستاره‌ای استفاده می‌شود [۶]. در این دیاگرام با استفاده از نسبت آلکان‌های فرد به زوج در کنار نسبت‌های Phy/n-C<sub>18</sub>



شکل ۱۳- دیاگرام ستاره‌ای نمونه‌های چاه B



شکل ۱۲- دیاگرام ستاره‌ای نمونه‌های چاه C

$m/z=191$  و استران‌ها با جرم مولکولی پایه  $m/z=217$  در نمونه‌های چاه‌های C و B، در پیوست ارائه شده است. هم‌چنین نتایج حاصل در جدول ۴، ارائه شده است.

#### وضعیت محیط رسوبی، لیتولوژی مولد

براساس نتایج حاصل از GC-MS نمونه‌های چاه‌های C و B (جدول ۴)، توسط نسبت‌های  $C_{34}/C_{35}$  هوموئوپان‌ها و  $C_{29}/C_{30}$  هویان‌ها، دیاگرام  $C_{34}/C_{35}$  در مقابل  $C_{29}/C_{30}$  به منظور تعیین لیتولوژی و احیایی بودن محیط برای نمونه‌های تحت مطالعه، ترسیم شد (شکل ۱۵) [۸ و ۴]. بر این اساس نسبت  $C_{34}/C_{35}$  هوموئوپان‌ها حدود ۱ بوده که در محیطی احیایی-نیمه‌احیایی راسب شده‌اند و نسبت‌های  $C_{29}/C_{30}$  کمتر از ۱ است، بنابراین لیتولوژی مولد آنها کلاستیک-کمی کربناته بوده است (شکل ۱۵).

#### منشأ و محیط رسوبی مواد آلی

دیاگرام مثلی<sup>۲</sup> بر اساس توزیع استران‌های منظم با کربن‌های  $C_{27}$ ،  $C_{28}$  و  $C_{29}$  (جدول ۴)، ترسیم و برای تعیین محیط رسوبی و تشخیص منشأ مواد آلی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹]. بر این اساس، منشأ مواد آلی نمونه‌های تحت مطالعه، بیشتر از نوع دریایی با اندکی ورودی‌هایی از خشکی می‌باشد (شکل ۱۶).

سیستم تغذیه هیدروکربنی باشند. هم‌چنین می‌توان گفت از آنجایی که نسبت پریستان به فیتان در تمامی نمونه‌ها کمتر از ۱ می‌باشد، محیط رسوب‌گذاری نمونه‌های تحت مطالعه (منظور سنگ منشأ احتمالی مولد)، محیطی احیایی-نیمه‌احیایی بوده است.

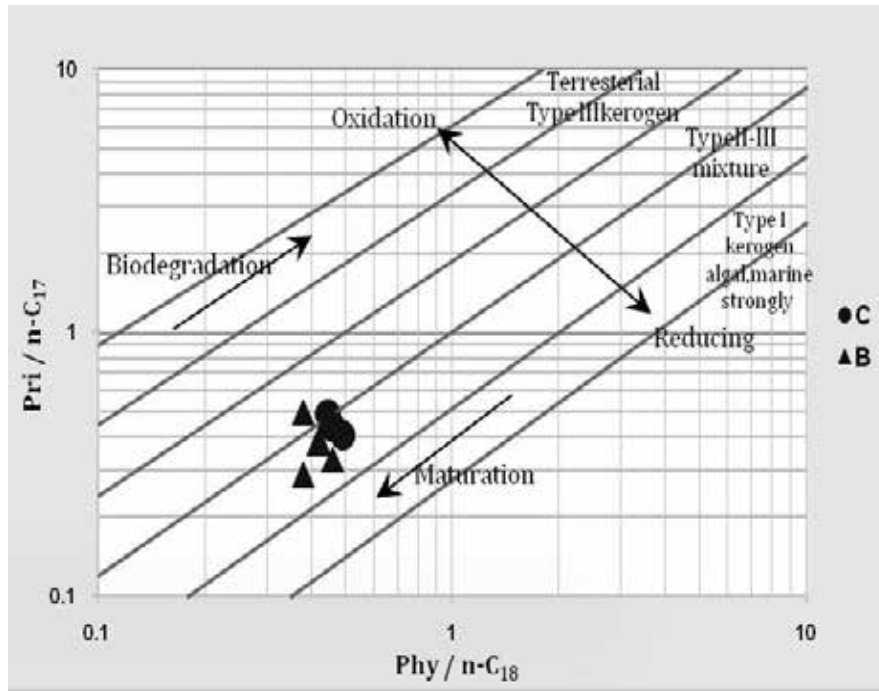
#### دیاگرام $Phy/n-C_{18}$ در مقابل $Pri/n-C_{17}$

توسط این دیاگرام می‌توان شرایط رسوب‌گذاری، نوع مواد آلی (کروژن)، اکسیدی یا احیایی بودن محیط، درجه بلوغ نمونه‌ها و اثرات تخریب حیاتی<sup>۱</sup> را در نمونه‌های نفتی و سنگ‌های منشأ بررسی کرد [۷]. طبق دیاگرام ترسیم شده (شکل ۱۴)، پدیده تخریب حیاتی در نمونه‌های تحت مطالعه مشاهده نمی‌شود و بلوغ نمونه‌ها مناسب و در محدوده بلوغ در اواخر دیاژنز-اوایل کاتازنز (شروع پنجره تولید نفت) می‌باشد. شرایط رسوب‌گذاری نمونه‌ها در محیطی احیایی-نیمه‌احیایی (منظور سنگ مولد احتمالی) بوده است. نوع کروژن (ماده آلی) نمونه‌ها طبق دیاگرام ترسیم شده (شکل ۱۴)، اغلب مخلوطی از انواع II و III می‌باشد.

#### نتایج حاصل از روش کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی

طیف‌های کروماتوگرافی گازی-طیف‌سنجی جرمی حاصل از بیومارکرهای هویانی براساس جرم مولکولی پایه

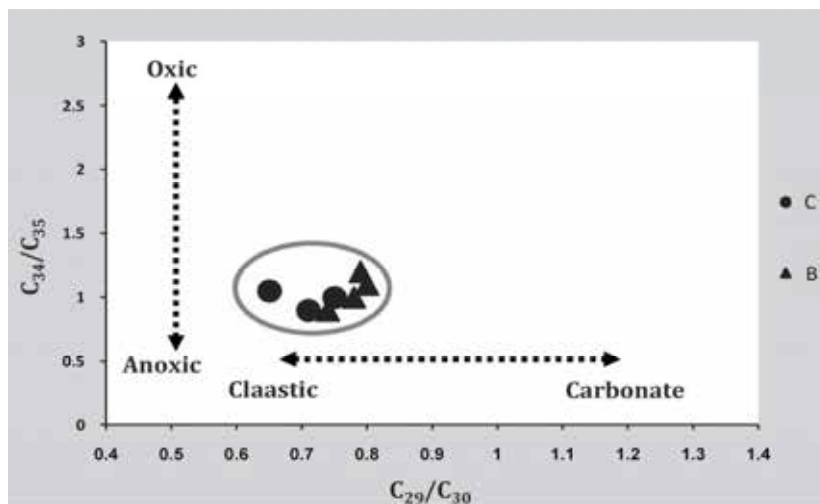
1. Biodegradation  
2. Ternary Diagram



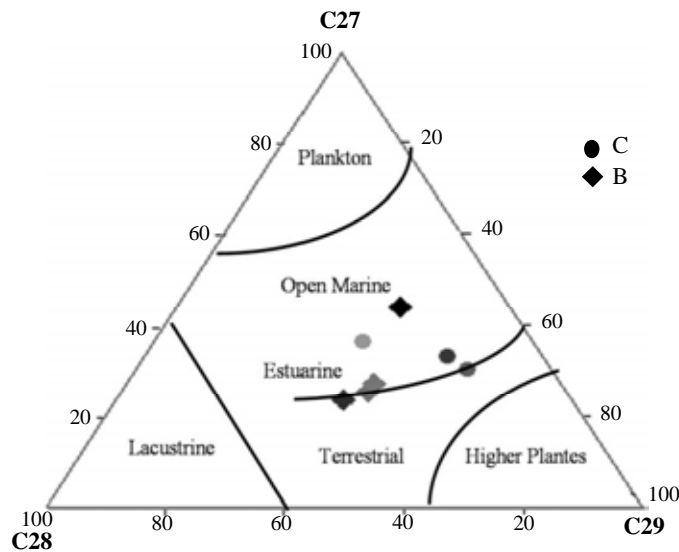
شکل ۱۴- دیاگرام  $Phy/n-C_{18}$  در مقابل  $Pri/n-C_{17}$  برای نمونه‌های چاه‌های C و B

جدول ۴- نتایج حاصل از تکنیک GC-MS برای بیومارکرهای استران‌ها و هوپان‌ها در نمونه‌های چاه‌های C و B

نام نمونه	$C_{29}/C_{30}$	$C_{34}/C_{35}$	$Ts/Ts+Tm$	% $C_{27}$	% $C_{28}$	% $C_{29}$	S/S+R
C.1	۰/۷۵	۱	۰/۳۸	۳۲/۷۷	۱۶/۵۴	۵۰/۶۹	۰/۳۶
C.5	۰/۷۱	۰/۹	۰/۲۳	۳۶/۰۰	۲۹/۰۰	۳۵/۰۰	۰/۳۹
C.8	۰/۶۵	۱/۰۵	۰/۱۷	۲۹/۹۴	۱۴/۴۴	۵۵/۶۲	۰/۳۸
B.1	۰/۸	۱/۱	۰/۱۷	۲۳/۲۸	۳۸/۵	۳۸/۱۲	۰/۴۵
B.3	۰/۷۸	۱	۰/۴	۲۵/۰۳	۳۳/۷۴	۴۱/۲۲	۰/۴۸
B.7	۰/۷۴	۰/۹	۰/۳	۲۶/۸۸	۳۱/۶۸	۴۱/۴۲	۰/۴۷
B.8	۰/۷۹	۱/۲	۰/۳۸	۳۰/۷۱	۱۳/۲۴	۲۶/۵	۰/۴۷



شکل ۱۵- دیاگرام Homohopane  $C_{34}/C_{35}$  در مقابل Hopane  $C_{29}/C_{30}$  نمونه‌های چاه‌های C و B



شکل ۱۶- دیاگرام مثلثی استران‌های منظم (m/z=۲۱۷) نمونه‌های چاه‌های C و B

### آنالیزهای ایزوتوپی

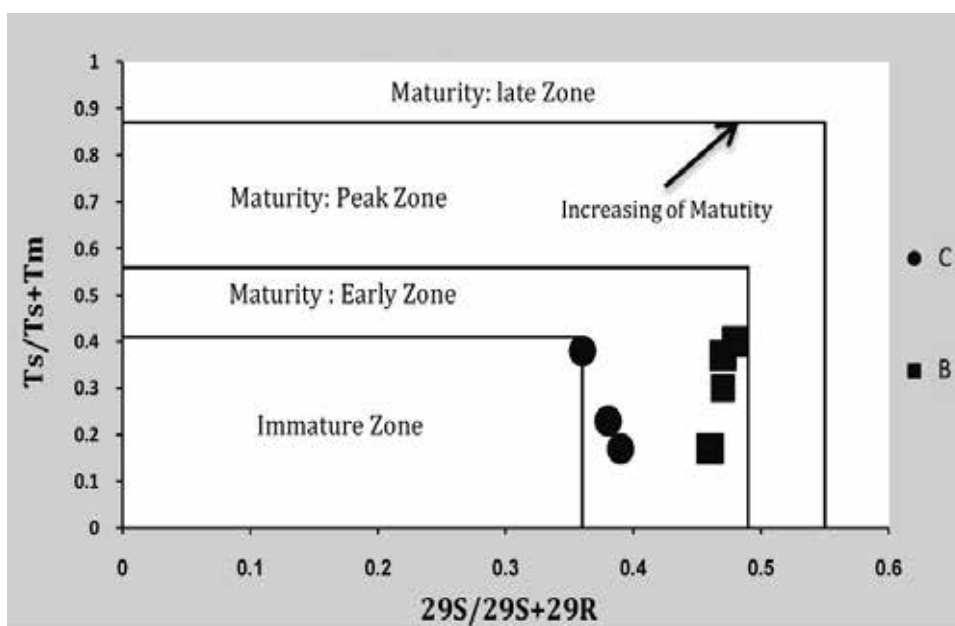
آنالیزهای ایزوتوپی  $^{13}\text{C}$  بر روی برش آسفالتن، روی ۷ نمونه تهیه شده از چاه‌های C و B صورت گرفت که مقادیر ایزوتوپی آنها (به صورت بخش در هزار) در جدول ۵ ارائه شده است.

همان‌طور که در جدول ۵ دیده می‌شود، در نمونه‌های چاه‌های C و B مقادیر ایزوتوپی  $^{13}\text{C}$  بین ۲۷/۶ تا ۲۸/۶ ‰ بوده، که با یکدیگر هم‌خوانی دارد، پس می‌توان گفت که منشأ مواد هیدروکربنی در محدوده چاه‌های مورد مطالعه،

### بلوغ (پختگی)

برای ارزیابی میزان بلوغ (پختگی)، با استفاده از ضریب نسبت هوپان  $\text{Ts}/\text{Ts}+\text{Tm}$  و ضریب نسبت استران منظم  $\text{C}_{29}$  دیاگرام  $\text{Ts}/\text{Ts}+\text{Tm}$  در مقابل  $29\text{S}/29\text{S}+29\text{R}$  ترسیم می‌شود [۸].

میزان بلوغ (درجه پختگی) نمونه‌های تحت مطالعه در محدوده شروع پنجره تولید نفت (اواخر دیاژنز- اوایل کاتازنز) می‌باشد. گرچه نمونه‌های چاه B با اندکی تفاوت، بلوغ جزئی بالاتری را نشان می‌دهند (شکل ۱۷).



شکل ۱۷- دیاگرام  $\text{Ts}/\text{Ts}+\text{Tm}$  در مقابل  $29\text{S}/29\text{S}+29\text{R}$  نمونه‌های چاه‌های C و B

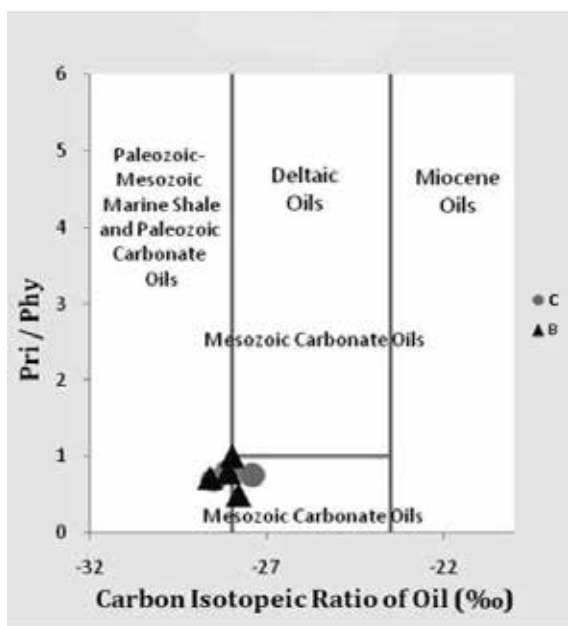
لیتولوژی سنگ مولد آنها پی برد، استفاده از پارامترهای نسبت پرستان به فیتان (جدول ۳) و ایزوتوپ کربن ۱۳ (جدول ۵) به صورت ترسیم دیاگرام Pri/Phy در مقابل  $^{13}C$  می باشد [۱۰]. براساس دیاگرام ترسیم شده برای نمونه های چاه های A و B، سن تریاس برای هیدروکربن ها و لیتولوژی مولد شیل های دریایی - اندکی کربناته آنها تأیید می شود (شکل ۱۹).

برای بررسی دقیق تر در مورد ارتباط بین لایه های کنگان و تداوم آن در دو طرف میدان و همچنین تشابه خواص ژئوشیمیایی هیدروکربن های مابین چاه های C و B، از گزارشات مربوط به آنالیزهای ژئوشیمیایی انجام گرفته در چاه X که مابین چاه های تحت مطالعه واقع شده، استفاده شد (شکل های ۲۰ و ۲۱). مقادیر ایزوتوپی حاصل از آنالیزهای ایزوتوپی  $^{13}C$  بر روی برش آسفالتن روی ۵ نمونه از چاه X، محدوده تغییرات بین  $-28/6$  تا  $-29/05$  % داشته که مشابه مقادیر به دست آمده از چاه های A و B می باشد. بر این اساس، محدوده تغییرات مقادیر ایزوتوپی به اندازه ای نیست که بتوان این اختلاف فاحش را به دو سنگ منشأ متفاوت و یا نوع مواد آلی متفاوت با چاه های C و B نسبت داد. در چاه X عمده پارامترهای ژئوشیمیایی شامل نسبت پرستان به فیتان حدود ۱ ( $Pri/Phy \geq 1$ )، وجود دیاستران با غلظت زیاد، نسبت  $C_{29}$  به  $C_{30}$  بیومارکهای هوپان کمتر

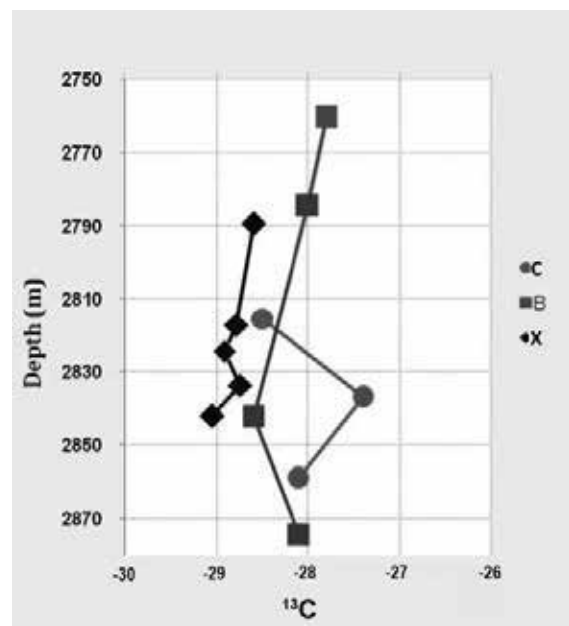
جدول ۵- مقادیر ایزوتوپی نمونه های چاه های C و B

نام نمونه	عمق (m)	ایزوتوپ $^{13}C$ (%)
C.1	۲۸۱۵/۴	-۲۸/۵
C.5	۲۸۳۷	-۲۷/۶
C.8	۲۸۵۸/۹	-۲۸/۱
B.1	۲۷۶۰	-۲۷/۸
B.3	۲۷۸۴/۵	-۲۸
B.7	۲۸۴۲/۵	-۲۸/۶
B.8	۲۸۷۴/۵	-۲۸/۱

هموزن و یکسان می باشد و لایه های سازند کنگان در دو طرف میدان با یکدیگر ارتباط دارند. مواد هیدروکربنی مورد آنالیز در واقع آثار و بقایای موادی هستند که در سازند کنگان دیده می شوند و غیر مرتبط با هیدروکربن های گازی موجود در سازند کنگان هستند، زیرا مواد هیدروکربنی تحت مطالعه نسبت به گازهای موجود در مخزن کنگان از لحاظ درجه بلوغ (پختگی) متفاوت می باشند. شباهت های یکسان از نظر خصوصیات شیمیایی مواد آلی این سازند در دو چاه، نشان می دهد که سیستم تغذیه آنها مشابه بوده و سن تریاس را نشان می دهند. در شکل ۱۸ مقادیر ایزوتوپی  $^{13}C$  نسبت به عمق در نمونه های تحت آنالیز ایزوتوپی چاه های C، B و X ارائه شده است. یکی از راه هایی که توسط آن می توان به سن تقریبی هیدروکربن ها و همچنین

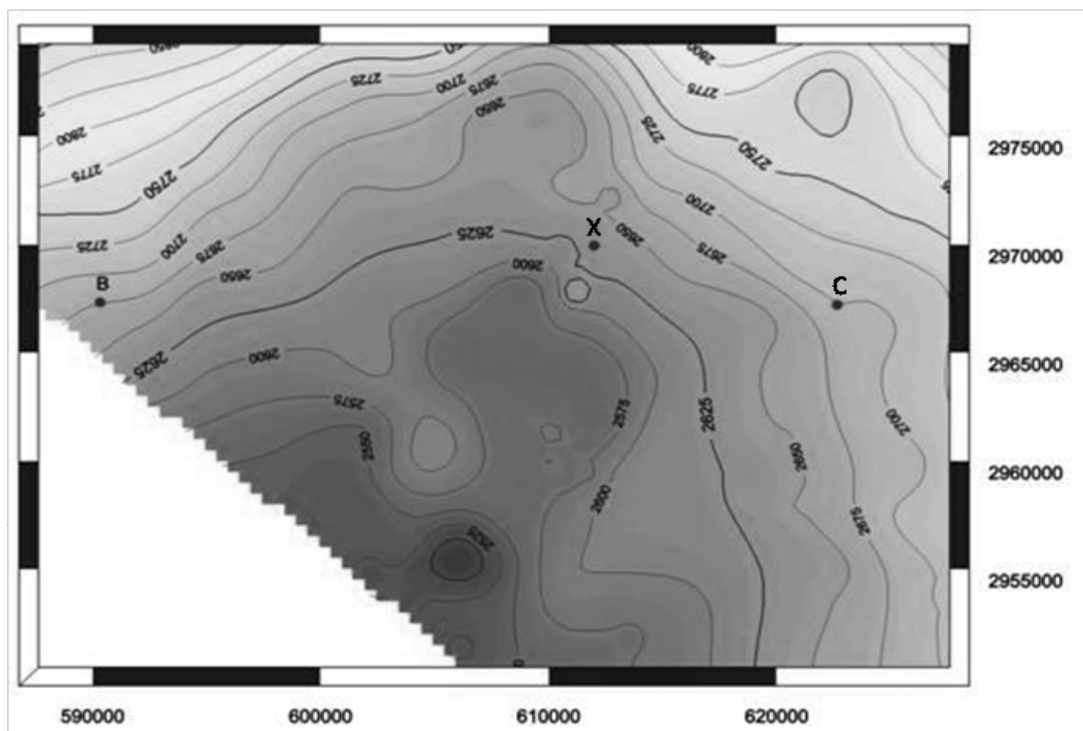


شکل ۱۹- دیاگرام Pri/Phy در مقابل  $^{13}C$

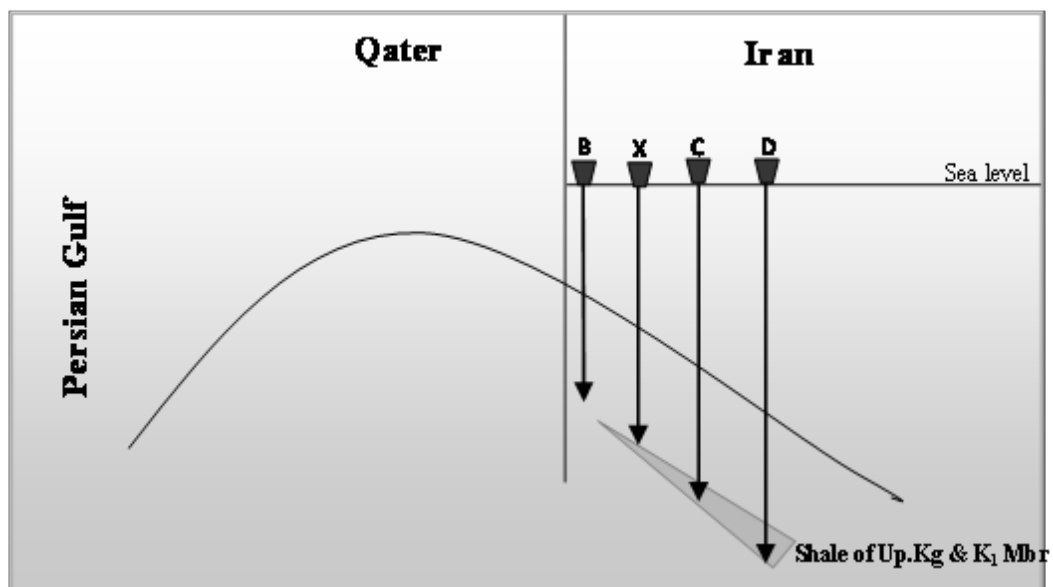


شکل ۱۸- مقادیر ایزوتوپی  $^{13}C$  نسبت به عمق





شکل ۲۰- موقعیت چاه‌های B، C و X بر روی تاپ کنگان



شکل ۲۱- شکل شماتیک از ساختمان پارس جنوبی و تداوم میان لایه‌های احتمالی حاوی مواد آلی تولیدکننده هیدروکربن در سازند کنگان

و پارافینیک می‌باشد.

- در نمونه‌های چاه C، هیچ یک از موارد و شواهد دلیلی بر وجود نابرجا بودن و مهاجرت و آلودگی به مواد هیدروکربنی (مثلاً PI نمونه‌ها کمتر از ۰/۴ بوده و مقدار پارامترهای  $S_1$  کمتر از  $S_2$  می‌باشد) دیده نمی‌شود، لذا خاصیت سنگ مولد بسیار ضعیفی را نشان می‌دهند، اما نمونه‌های تهیه شده از چاه B معرف آلودگی‌های نمونه‌های تحت مطالعه با مواد آلی زایش شده از مکان دیگر می‌باشد.

- در محدوده چاه C، لایه‌ای شیلی-آهکی (Shaly-limestone) با ضخامت کم در بخش‌های بالایی سازند کنگان و  $K_1$  دیده می‌شود و نیز مطالعات انجام شده روی لاگ‌های حاصل از چندین چاه دیگر در میدان تحت مطالعه نشان می‌دهد که در بخش‌های شمالی میدان (بخش ایرانی) میان لایه‌های شیلی یا شیلی-آهکی حضور دارد که به تدریج به سمت مرز مشترک ایران-قطر از ضخامت این میان لایه‌ها کم می‌شود، در صورتی که این میان لایه‌ها حاوی مواد آلی بوده باشد و شرایط مناسب برای تولید هیدروکربن مهیا بوده است. از آنجایی که نتایج حاصل از آنالیزهای ایزوتوپی نمونه‌های چاه‌های C، B و X، منشأ مشترک و سن مشترک (تریاس) هیدروکربن‌ها را بیان می‌دارد، آنچه به استناد نتایج حاصل از سایر آنالیزها در این طرح مطالعاتی مسلم گشته است، این است که بخشی از مواد هیدروکربنی موجود در سازند کنگان در محدوده چاه C (نه محتویات مخزن)، به صورت برجا تولید شده است و مهاجرتی (نابرجا) نیستند و مواد هیدروکربنی موجود در محدوده چاه B (نه محتویات مخزن) نیز از میان لایه‌های سازند کنگان، سبب آلوده شدن این محدوده از مواد هیدروکربنی شده است (شکل‌های ۲۰ و ۲۱).

#### تقدیر و تشکر

از شرکت نفت و گاز پارس به دلیل حمایت‌های مادی و معنوی و همچنین آقایان دکتر محمدرضا کمالی (پژوهشگاه صنعت نفت) و دکتر احمدرضا ربانی (دانشگاه صنعتی امیرکبیر) در انجام این پروژه سپاس‌گزاری می‌شود.

از ۱ (C29/C30 < 1)، همگی نشان می‌دهند که مواد آلی موجود در لایه کنگان (نه گازها و میعانات محتویات مخزن) منشأ دریایی با اندکی آثار ورودی از خشکی داشته و لیتولوژی مولد آنها کلاستیک-کمی کربناته بوده است. بر اساس پارامترهای S/S+R استران‌ها و  $Ts/Ts+Tm$  هوپان‌ها، مواد آلی تولید شده در ابتدای پنجره نفت‌زایی قرار دارند که با نتایج حاصل از آنالیزهای چاه‌های C و B کاملاً هم‌خوانی دارد. بنابراین لایه‌های سازند کنگان در چاه‌های C، B و X در محدوده میدان تحت مطالعه با یکدیگر ارتباط دارند و همان‌طور که گفته شد با توجه به شباهت‌های یکسان خصوصیات شیمیایی مواد آلی این سازند در سه چاه یاد شده، سیستم تغذیه‌ای مشابه دارند.

#### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی روی نمونه‌های هیدروکربنی تهیه شده از مغزه‌های چاه‌های C و B، مربوط به سازند کنگان در میدان پارس جنوبی و مقایسه آنها با یکدیگر به منظور تطابق ژئوشیمیایی می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد:

- میزان بلوغ مواد آلی نمونه‌ها، در اواخر مرحله دیاژنز-ابتدای مرحله کاتازنز و به عبارتی شروع پنجره نفت‌زایی می‌باشد.

- منشأ مواد آلی نمونه‌های چاه‌های C و B، بیشتر از نوع دریایی با اندکی ورودی‌هایی از خشکی بوده و نوع کروژن آنها مخلوطی از انواع II و III می‌باشد.

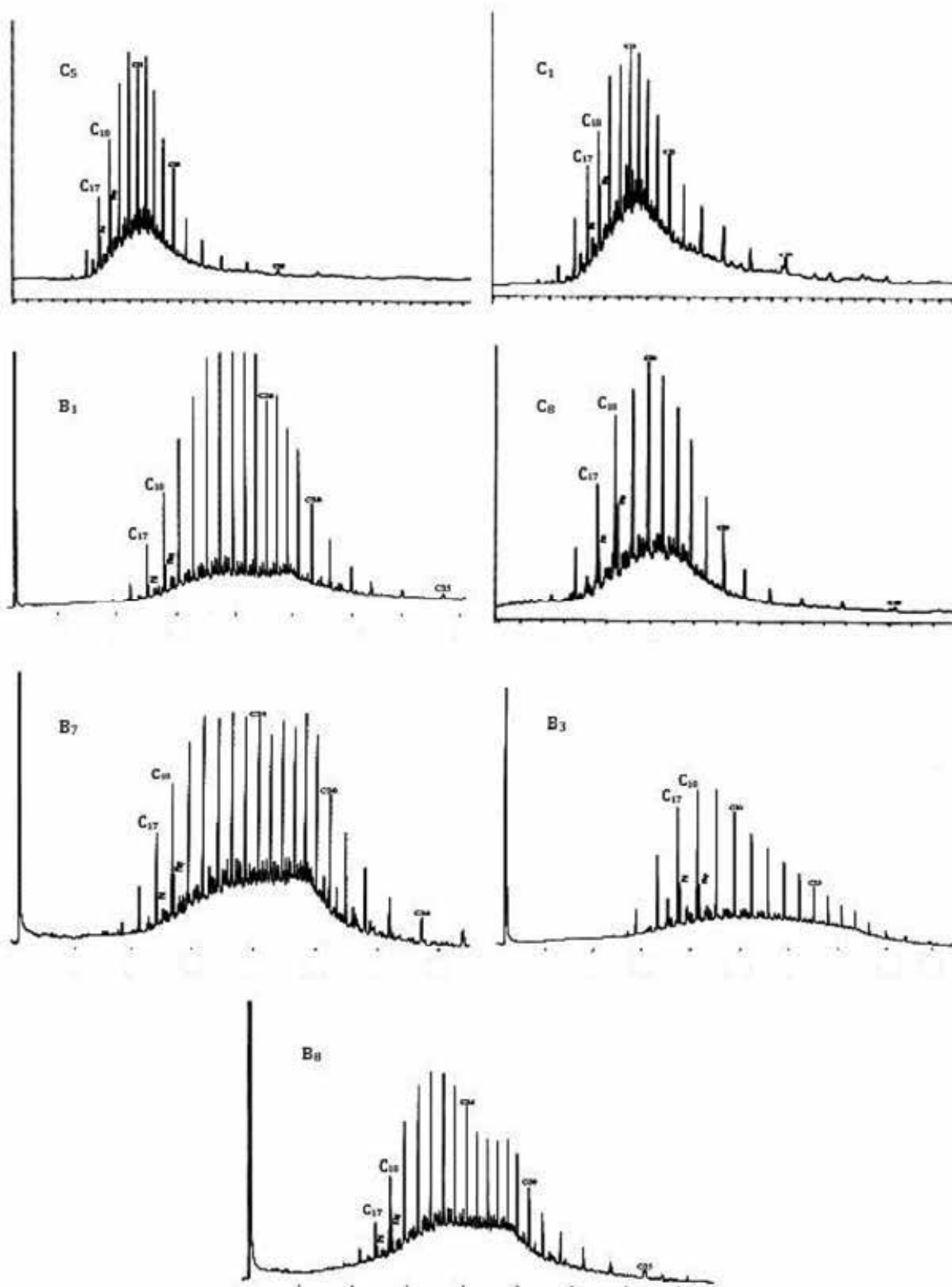
- مجموعه نمونه‌ها در محیطی احیایی-نیمه‌احیایی راسب شده و لیتولوژی سنگ(های) مولد احتمالی آنها کلاستیک-جزئی کربناته بوده است و پدیده تخریب حیاتی در نمونه‌ها مشاهده نمی‌شود.

- نمونه‌های چاه C، از لحاظ غنای مواد آلی و پتانسیل هیدروکربنی فقیر تا متوسط و نمونه‌های چاه B از این حیث فقیر می‌باشند.

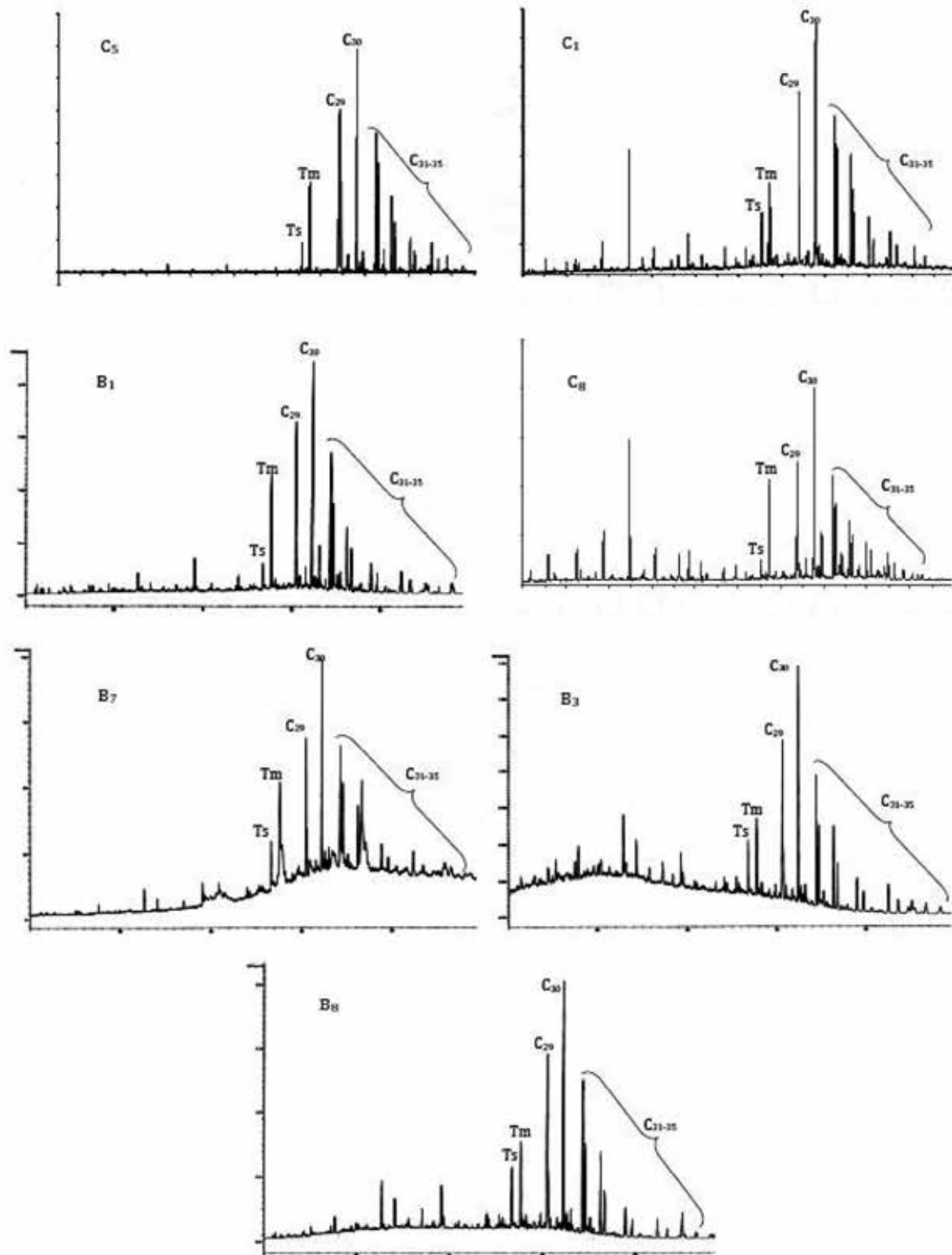
- مواد آلی نمونه‌های چاه C، خصوصیات پارافینیک-نفتینیک و نفتینیک و کیفیت نمونه‌های چاه B، پارافینیک-نفتینیک

پیوست‌ها

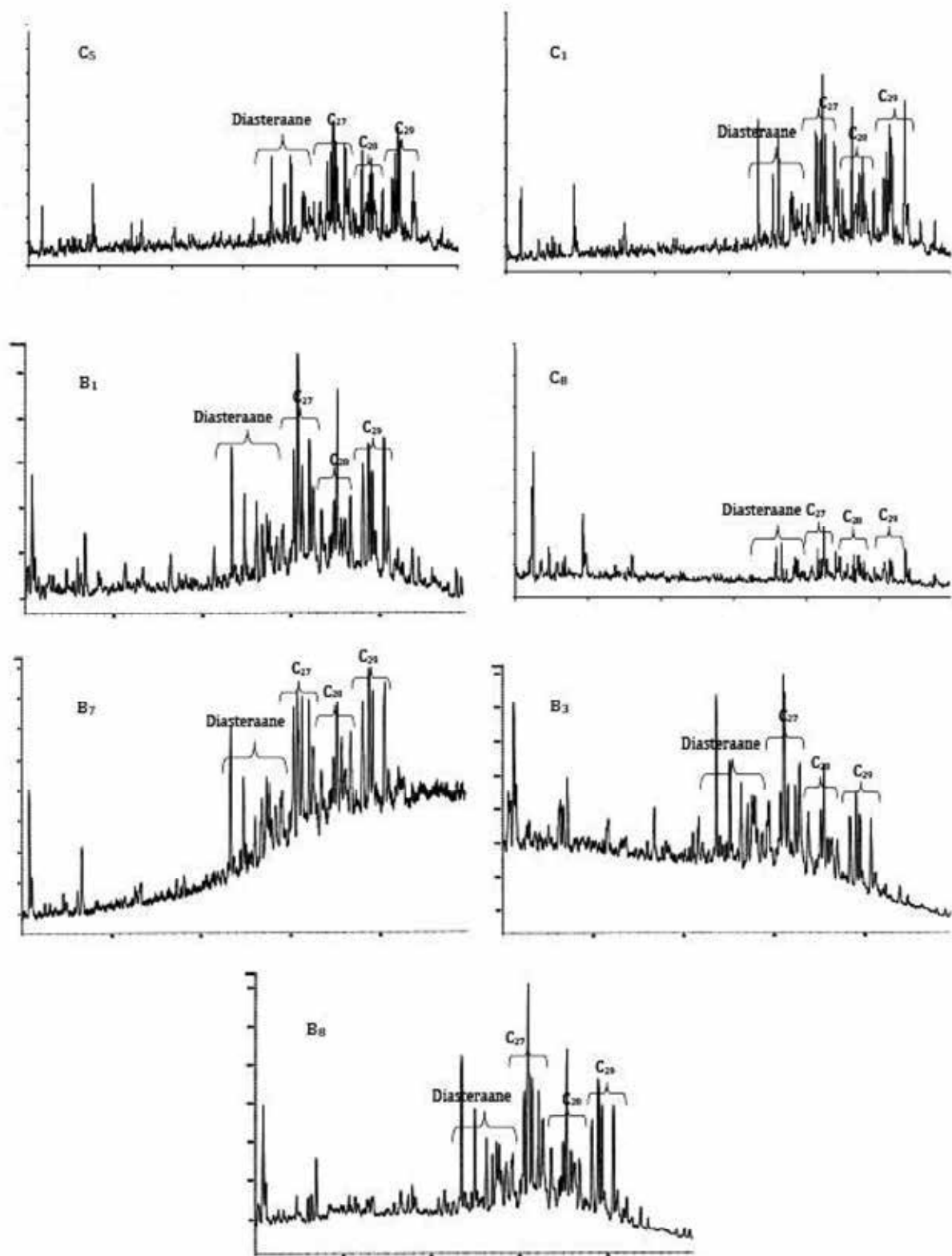
پیوست ۱- چگونگی توزیع ترکیبات اشباع حاصل از آنالیز کروماتوگرافی گازی برای نمونه‌های تهیه شده از چاه‌های C و B



پیوست ۲- طیف‌های حاصل از تکنیک GC-MS برای بیومارکرهای هوپان‌ها (هوپان‌وگرام  $m/z=191$ ) در نمونه‌های تهیه شده از چاه‌های C و B



پیوست ۳- طیف‌های حاصل از تکنیک GC-MS برای بیومارکرهای استران‌ها (استرانوگرام  $m/z=217$ ) در نمونه‌های تهیه شده از چاه‌های C و B



## منابع

- [1] Kashfi M.S., "Greater Persian Gulf Permian- Teriassic stratigraphic nomenclature requires study", Oil and Gas Journal, Tulsa, Vol. 15, pp. 36-44, 2000.
- [2] Espitalie J., Madec M. & Tissot B., "Role of mineral matrix in kerogen pyrolysis: Influence in petroleum generation and migration", Am. Assoc. Pet. Geol. Bull., Vol. 64, pp. 59-66, 1980.
- [3] Hunt J.M., Petroleum Geochemistry and Geology: San Fransisco, W.H. Freeman, 473 p. -,1996.
- [4] Dahl B., Bojeson-Koefead J., Holm A., Justwan H., Rasmussen E. & Thomson E., "A new approach to interpreting Rock- Eval S<sub>2</sub> and TOC for kerogen quality assessment organic geochemistry", V.V., pp. 119-157, 2004.
- [5] Tissot B.P. & Welte D.H., *Petroleum formation and occurrence*, 2<sup>nd</sup> Ed., Heidelberg, Springer Verlag, 538 p, 1984.
- [6] Kaufman R.L., Ahmad A.S. & Elsinger R.J., Gas chromatography as development and production tools for fingerprinting oil from individual reservoirs: application in the Gulf of Mexico in: GCSSEPM foundation with annual research conference proceeding, pp. 263-282, 1990.
- [7] Connan J. & Cassau A.M., "Properties of gas petroleum liquid derived from terrestrial kerogen at various maturation levels", Geochim.Cosmochim. Acta, Vol. 44, pp. 10-23, 1980.
- [8] Peters K.E. & Moldown J.M. (eds), *The biomarker guide: Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 363p, 1993.
- [9] Hung W.Y. & Meinchein W.G., "Sterols as ecological indicators", eochemical et cosmochemicaActa, Vol. 43, pp. 739-745, 1979.
- [10] Chung H.M., Rooney M.A., Toon M.B. & Claypool G.E., "Carbon isotope composition of marine crude oil", AAPG, V.V, pp. 904-924, 1992.