

ژئوشیمی آلی سنگ‌های منشاء کرتاسه بالایی (سازند گورپی) و پالئوژن (سازند پابده) در میدان نفتی پرسپناه، شمال باختری ایذه

میر حسن موسوی، استادیار، گروه مهندسی نفت دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مسجد سلیمان*
سحر عبدالزاده، کارشناس ارشد گروه مهندسی نفت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مسجد سلیمان
محمد رضا کمالی، دانشیار، پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشگاه اکتشاف و تولید
مسعود شایسته، کارشناس ارشد زمین‌شناسی، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب
امین احمدی، کارشناس مهندسی نفت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مسجد سلیمان
ایوب کعبی مفرد، کارشناس مهندسی نفت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مسجد سلیمان

چکیده

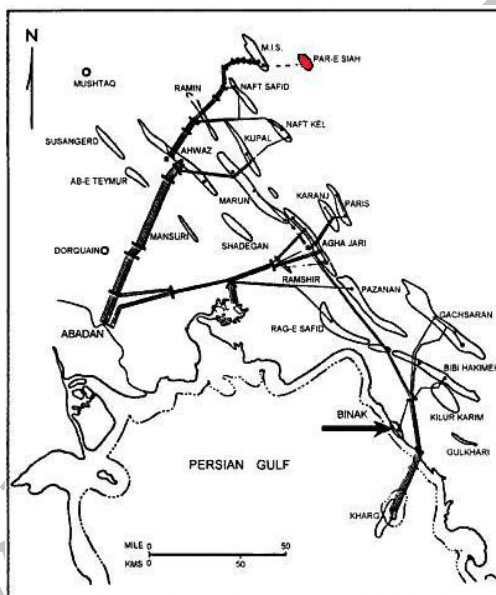
هدف از انجام این مطالعه بررسی پارامترهای حاصل از پیرولیز راک-ایول جهت بررسی خصوصیات سازندهای گورپی (کرتاسه بالایی) و پابده (پالئوژن) در میدان نفتی پرسپناه می باشد، که بعنوان سنگ‌های منشاء احتمالی در این میدان مطرح هستند. این بررسی شامل ارزیابی پتانسیل هیدروکربنی (کمیت)، نوع کروژن (کیفیت) و بلوغ حرارتی است. مقدار TOC در سازند گورپی ۰/۳۵-۱/۲۳ (میانگین ۰/۶۷) و در سازند پابده ۰/۳۱-۱/۱۳ (میانگین ۰/۷۴) درصد وزنی می باشد. همچنین مقدار پارامتر S_2 در سازند گورپی ۰/۳-۲/۷۲ (میانگین ۱/۲۴) و در سازند پابده ۰/۶۷-۴/۳۲ (میانگین ۲/۲۵) میلیگرم هیدروکربن بر گرم سنگ است. که این مقادیر بیانگر پتانسیل ضعیف تا خوب برای این سازندها می باشد. نمودار HI در برابر OI و نمودار S_2 در برابر TOC نشان دهنده آنست که سازند های گورپی و پابده عمدتاً دارای کروژن مخلوط از نوع II/III بوده، در محیط حدواسط دلتایی نهشته شده و توانایی زایش نفت/گاز را دارند. رخساره های آلی تعیین شده برای سازند گورپی محدوده C (بطور عمده) تا D و برای سازند گورپی محدوده BC و C را نشان می دهد. پارامترهای T_{max} و PI بیانگر بلوغ نسبتاً بالای سازند های گورپی و پابده بوده و نشان دهنده ورود آنها به پنجره نفتی است. قطع کردن محور TOC در جهت مثبت توسط خط رگرسیون در نمودار S_2 در مقابل TOC نشان دهنده تاثیر کم ماتریکس سنگ است.

واژه های کلیدی: ژئوشیمی آلی، سنگ منشاء، پتانسیل هیدروکربورزایی، کروژن، بلوغ حرارتی، میدان پرسپناه

مقدمه

کیلومتر است. ساختمان زمین‌شناسی سطحی آن با عمق تطابق ندارد. مخزن آسماری این میدان در سال ۱۳۴۵ و مخزن بنگستان آن در چاه شماره ۲ میدان در سال ۱۳۴۹ حفاری گردیده و تا سال ۱۳۷۰ تنها دو حلقه چاه در آن حفاری شده است. مخزن آسماری پرسیاه دارای نفتی با ۳۸/۲ درجه API و ۰/۵ درصد سولفور بوده ولی در بنگستان نفت اقتصادی یافت نشده است. ذخیره نهایی قابل استحصال آن پنجاه میلیون بشکه تخمین زده شده است (مطیعی ۱۳۷۴).

میدان نفتی پرسیاه در ۴۵ کیلومتری خاور شهرستان مسجد سلیمان و ۲۵ کیلومتری شمال باختری شهرستان ایذه قرار دارد (شکل ۱). پرسیاه تاقدیسی است که دقیقاً در دامنه خمش جبهه کوهستانی قرار گرفته و گسله واژگونی بزرگی موجب راندگی سازند آسماری بر روی سازند آسماری شده است و جالب آنکه هر دو قسمت فرادیواره و فرودیواره تاقدیس نفت خیز هستند. از نظر وسعت در سطح سازند آسماری ابعاد مخزن $۱۹ \times ۵/۵$



شکل ۱- موقعیت میدان نفتی پرسیاه و میداین همجوار (Habibnia and Javanbakht 1996)

سنگ‌های منشاء احتمالی موجود در میدان نفتی بینک (نثارزاده و همکاران ۱۳۸۵)، ارزیابی پتانسیل هیدروکربورزایی سنگهای منشاء احتمالی در میدان نفتی مارون (علیزاده و همکاران ۱۳۸۵)، ارزیابی پتانسیل هیدروکربورزایی سنگهای منشاء احتمالی در میدان نفتی آغاجاری (عبدل زاده و همکاران ۱۳۸۹)، ارزیابی پتانسیل هیدروکربن زایی سازند گدوان در میداین بینک، گچساران و مارون (مرتاضیان و کمالی ۱۳۹۰)، ارزیابی توان هیدروکربورزایی و شرایط رسوبگذاری سازند سرگلو در میدان نفتی مسجد سلیمان (علیزاده و حسینی

هدف از انجام این مطالعه ارزیابی ژئوشیمیایی (پتانسیل هیدروکربنی، مواد آلی، محیط رسوبی و بلوغ حرارتی) سازندهای گورپی و پابده در میدان نفتی پرسیاه با استفاده از داده‌های حاصل از پیرولیز راک-ایول می‌باشد، که این سازندها بعنوان سنگ های منشاء احتمالی در این میدان نفتی، مطرح هستند.

از جمله تحقیقات مشابه در حوضه زاگرس و خلیج فارس می‌توان به ژئوشیمی آلی و پتروگرافی سازندهای کژدمی و پابده در بخش جنوبی فروافتادگی درفول (Alizadeh et al. 2012)، ارزیابی پتانسیل تولیدی

توسط غربالگری سریع نمونه های سنگی با استفاده از دستگاه راک-ایول، انجام می گیرد (Lafargue et al. 1998). تکنیک پیرولیز راک-ایول از یک روش تجزیه‌ای در اثر حرارت برنامه‌ریزی شده بر روی مقدار کمی سنگ (۷۰ میلی گرم) در اتمسفر خنثی (نیتروژن)، استفاده می‌کند، و کلیه پارامترهای حاصل از آن در اهداف اکتشاف کاربرد دارد. پارامترهای مهم حاصل از این تجزیه که در این بررسی از آنها استفاده گردید (شکل ۲)، شامل موارد ذیل می باشند:

TOC (Total Organic Carbon): کربن آلی کل

می‌باشد که به صورت (wt %) بیان می شود.

S_1 (Free hydrocarbons): نشان دهنده هیدروکربن های آزاد موجود در سنگ است که تا دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد با افزایش ۵ درجه در هر دقیقه آزاد می شوند و به صورت (mg HC/g rock) بیان می شود.

S_2 (Oil potential): بیانگر هیدروکربن هایی است

که در طی پیرولیز و در دمای بین ۶۰۰-۳۰۰ درجه سانتیگراد با افزایش ۲۵ درجه در هر دقیقه آزاد می‌شوند و بصورت (mg HC/g rock) بیان می‌شود. در واقع پیک S_2 همان پتانسیل کنونی موجود در نمونه سنگ می‌باشد. در محدوده دمایی ۶۰۰-۳۰۰ درجه سانتیگراد هیدروکربن‌ها و ترکیبات حاوی اکسیژن در اثر شکسته شدن کروژن و ترکیبات سنگین مانند رزین‌ها و آسفالتن‌ها پیک S_2 را به وجود می‌آورند.

S_3 (CO₂ Organic Source): معرف ترکیبات

اکسیژن داری (گروه های کربوکسیل) است که تا دمای ۳۹۰ درجه سانتیگراد تجزیه شده و گاز CO₂ حاصل از تجزیه آنها آزاد شده و به صورت (mg CO₂/g rock) بیان می‌شود.

T_{max} : دمایی که پیک S_2 در آن حداکثر خود را نشان

داده و به عنوان یک پارامتر بسیار عالی جهت ارزیابی بلوغ حرارتی نمونه سنگ منشاء مورد استفاده قرار می‌گیرد و بصورت (°C) بیان می‌شود.

PI (Production index): عبارت است از شاخص

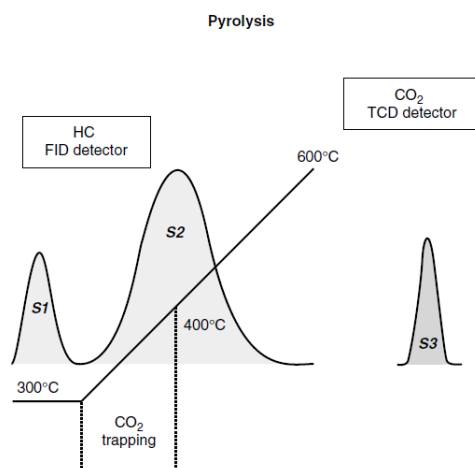
(۱۳۸۹)، ارزیابی ژئوشیمی آلی سازند کنگان در میدان پارس جنوبی (رجبی هرسینی و معماریانی ۱۳۸۸، ۱۳۸۹؛ رجبی هرسینی ۱۳۸۹)، ارزیابی ژئوشیمیایی سنگ‌های منشاء احتمالی موجود در میدان درود (ربانی و شعبانی افرایی ۱۳۸۳) بررسی پتانسیل هیدروکربورزایی و محیط انباش سازند کژدمی در میدان نفتی نوروز (قاسمی‌نژاد و غنی‌آبادی ۱۳۸۸) پتانسیل هیدروکربورزایی سازند کژدمی در برش تنگ ماغر (قاسمی نژاد و میزالو ۱۳۸۷) تعیین سیستم تراکت، نوع کروژن و پتانسیل هیدروکربن زایی سازند پابده در زیر زون رزن - آبگرم و رسوبات بستر خلیج فارس (بهبهانی ۱۳۸۷، ۱۳۸۹)، مطالعه ژئوشیمیایی و تاثیر کانی ماتریکس بر پتانسیل سنگهای منشاء احتمالی هنگام پیرولیز در میدان نفتی رگ سفید (علیزاده و همکاران ۱۳۸۸)، مطالعه ژئوشیمیایی سازندهای فراقون، سرچاهان و سیاهو (ربانی و همکاران ۱۳۸۵) و مقایسه ژئوشیمیایی سازنده پابده در میداین نفتی زیلانی و اهواز (علیزاده و مرادی ۱۳۸۶) اشاره نمود، که در تمامی آنها با استفاده از داده های حاصل از پیرولیز راک-ایول به بررسی و تعیین پتانسیل هیدروکربنی، مواد آلی، محیط رسوبی و بلوغ حرارتی سازند های مورد مطالعه پرداخته می شود.

روش مطالعه

روش پیرولیز راک-ایول به طور گسترده برای اکتشاف نفت و گاز در حوضه‌های رسوبی سراسر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد (Behar et al. 2001). پیرولیز راک-ایول اطلاعات مربوط به کمیت، کیفیت، نوع و نیز بلوغ مواد آلی در یک سنگ رسوبی را ارائه می‌دهد، به طوری که استفاده از این دستگاه می‌تواند ریسک حفاری را کاهش دهد (Espitalié et al. 1984). پیرولیز راک-ایول ساده ترین و سریع ترین روشی است که جهت توصیف پتانسیل تولید هیدروکربن سنگ‌های منشاء به کار می‌رود (Hunt 1996). شناسایی سنگ‌های منشاء بالقوه، میزان بلوغ و نحوه توزیع آنها در منطقه،

و به صورت (mg HC/g TOC) بیان می‌شود. (Oxygen index) OI عبارت است از شاخص اکسیژن که از نسبت $(S_3 \times 100) / TOC$ به دست می‌آید و به صورت (mg CO₂/g TOC) بیان می‌شود.

پتانسیل هیدروکربن‌زایی که از نسبت $S_1 / (S_1 + S_2)$ به دست می‌آید. (Hydrogen index) HI عبارت است از شاخص هیدروژن که از نسبت $(S_2 \times 100) / TOC$ به دست می‌آید



شکل ۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط دستگاه راک-ایول ۲ (Behar et al. 2001)

نمونه تیمار و هم‌وزن‌بندی شده و سپس توسط دستگاه پیرولیز راک-ایول ۲، مستقر در پژوهشگاه صنعت نفت، مورد آنالیز قرار گرفت و مقادیر کربن آلی کل (TOC) به همراه پارامترهای دیگر ژئوشیمیایی، تعیین گردید (جدول ۱).

در انجام این مطالعه، به دلیل محدود بودن خرده‌های حفاری به دلیل تعداد کم چاه‌های حفاری شده و نیز عمق پایین آنها، تعداد ۸ نمونه از خرده‌های حفاری سازندهای گورپی و پابده مربوط به چاه شماره ۲ میدان پرسپناه استفاده شده است. پس از زدودن مواد افزودنی به گل حفاری و تاثیرگذار بر نتایج، مقدار ۷۰ میلی‌گرم از هر

جدول ۱- نتایج حاصل از آنالیز راک-ایول ۲ بر روی نمونه‌های سازندهای گورپی و پابده در میدان نفتی پرسپناه

Formation	Depth (ft)	TOC	S ₁	S ₂	S ₃	T _{max}	HI	OI	PI
Pabded	8460	0.38	0.35	0.81	1.48	427	213	389	0.30
	9150	1.12	0.75	4.32	1.00	438	386	89	0.15
	9365	1.13	0.65	3.18	1.55	434	281	137	0.17
	10045	0.32	0.43	0.67	3.29	441	209	1028	0.39
	10265	0.47	0.59	1.19	3.52	442	253	749	0.33
Gurpi	10380	0.35	0.55	0.74	3.53	396	211	1009	0.43
	10705	0.62	0.9	0.30	0.87	392	48	140	0.75
	10925	1.23	1.49	2.72	4.94	433	221	402	0.35

بحث

توصیف کمیت، کیفیت و بلوغ حرارتی مواد آلی موجود در سنگ منشاء را نشان می دهد (Peters and Cassa 1994).

یک سنگ منشاء موثر باید سه شرط کمیت، کیفیت و بلوغ حرارتی مواد آلی را داشته باشد تا بتواند تولید هیدروکربور نماید. جدول ۲ معیارهای پذیرفته شده برای

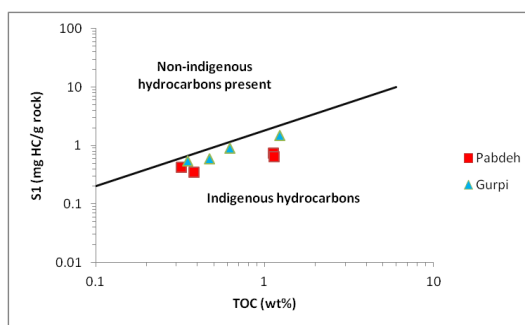
جدول ۲- پارامترهای حاصل از پیرولیز راک-ایول جهت تعیین پتانسیل تولید (کمیت)، نوع کروژن (کیفیت) و بلوغ حرارتی

سنگ های منشاء (Peters and Cassa 1994)

Potential (quantity)	TOC (wt.%)	S ₁ (mg/g rock)	S ₂ (mg/g rock)
Poor	<0.5	<0.5	<2.5
Fair	0.5-1	0.5-1	2.5-5
Good	1-2	1-2	5-10
Very good	2-4	2-4	10-20
Excellent	>4	>4	>20
Kerogen (quality)	Hydrogen index (mg hydrocarbon/g TOC)	S ₂ /S ₃	Main product at peak maturity
I	>600	>15	Oil
II	300-600	10-15	Oil
II/III	200-300	5-10	Oil/gas
III	50-200	1-5	Gas
IV	<50	<1	None
Maturity	R _o (%)	T _{max} (°C)	Production index (S ₁ /(S ₁ +S ₂))
Immature	0.20-0.60	<435	<0.10
Mature Early	0.60-0.65	435-445	0.10-0.15
Peak	0.65-0.90	445-450	0.25-0.40
Late	0.90-1.35	450-470	>0.40
Postmature	>1.35	>470	-

Index) S₁/TOC نمونه‌های سازندهای گورپی (۱/۳۷) و پابده (۰/۸۸) کمتر از ۱/۵ می‌باشد و موقعیت آنها در محدوده هیدروکربن‌های برج‌ا قرار می‌گیرند، که این مطلب بیانگر آنست که مهاجرت نفت از لایه‌های پایینی صورت نگرفته و هیدروکربنی خارج از سازند وارد آنها نشده و نیز نمونه‌های مورد مطالعه فاقد هرگونه آلودگی به مواد آلی افزودنی به گل حفاری است.

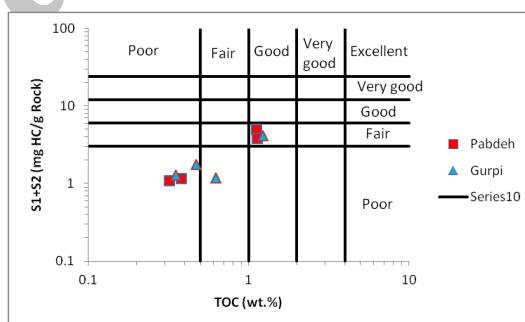
در ابتدا باید اطمینان حاصل نمود که نمونه‌های سنگ منشاء مورد مطالعه، به مواد آلی افزودنی به گل حفاری و نیز نفت‌های مهاجرت یافته از لایه‌های تحتانی، آلوده نشده باشند. بدین منظور از نمودار تغییرات مقادیر TOC در مقابل مقادیر S₁ (شکل ۳) استفاده گردید (Hunt 1996). نفت‌های مهاجرت یافته در سازند را می‌توان با مقدار S₁ زیاد و TOC کم تشخیص داد. همان‌طور که در این نمودار مشخص است میانگین مقادیر (Migration



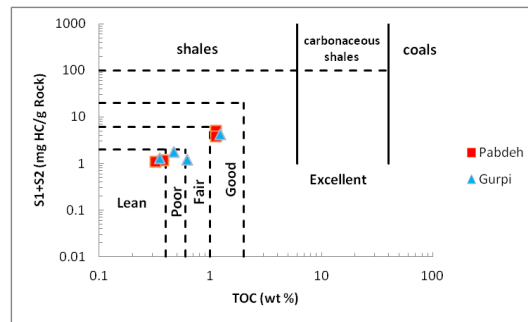
شکل ۳- نمودار تغییرات مقادیر TOC در مقابل مقادیر S_1 جهت تعیین نفت برجا و نابرجا (اقتباس از Hunt 1996)

در نمونه‌های مورد مطالعه با مقادیر استاندارد (جدول ۲) و نیز موقعیت قرارگیری این نمونه‌ها در نمودارهای TOC در مقابل مقادیر S_1+S_2 (اشکال ۴ و ۵) و نمودار مقادیر TOC در مقابل مقادیر S_2 (شکل ۶)، نشان می‌دهد که از نظر کمیت و پتانسیل تولید نمونه‌های سازند گورپی در محدوده ضعیف تا خوب و نمونه‌های سازند پابده در محدوده ضعیف و خوب قرار می‌گیرند. همچنین بر اساس مقادیر TOC، لیتولوژی نمونه‌های مورد مطالعه از نوع شیل است (Burwood et al. 1995) (شکل ۵).

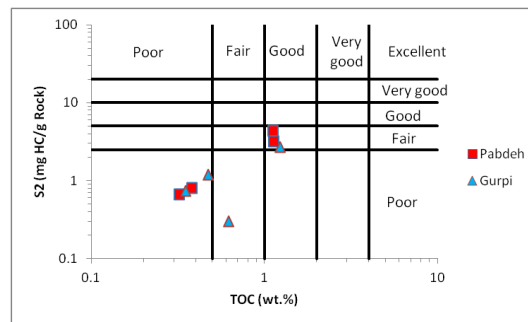
کل کربن آلی (TOC) جهت اندازه‌گیری کمیت کربن آلی در نمونه سنگ و رسوب بکار برده می‌شود. حداکثر میزان TOC در نمونه‌های مورد مطالعه مربوط به سازند گورپی که معادل ۱/۲۳٪ و کمترین مقدار آن مربوط به سازند پابده به میزان ۰/۳۲٪ است. همچنین مقدار S_2 یک پارامتر مفید برای ارزیابی پتانسیل تولید سنگ منشاء است (Peters 1986; Bordenave 1993). حداکثر میزان S_2 در نمونه‌های مورد مطالعه مربوط به سازند پابده که معادل ۴/۳۲٪ و کمترین مقدار آن مربوط به سازند گورپی به میزان ۰/۳٪ است (جدول ۱). مقایسه مقادیر TOC و S_2 حاصل از پیرولیز راک-ایول



شکل ۴- نمودار تغییرات مقادیر TOC در برابر مقادیر S_1+S_2 جهت تعیین پتانسیل تولید (اقتباس از Barker 1974)



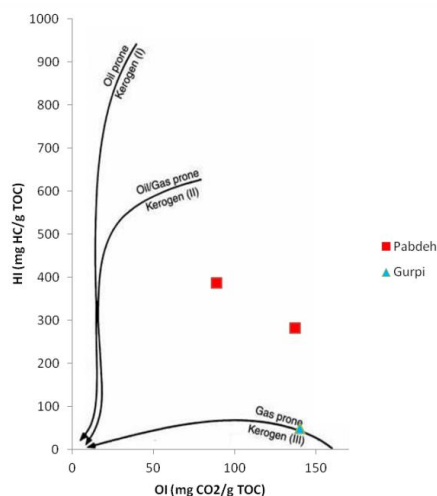
شکل ۵- نمودار تغییرات مقادیر TOC در برابر مقادیر S_1+S_2 جهت تعیین پتانسیل تولید (اقتباس از Huang et al. 2003)



شکل ۶- نمودار تغییرات مقادیر TOC در برابر مقادیر S_2 جهت تعیین پتانسیل تولید (اقتباس از Hakimi et al. 2003)

میزان پارامتر HI است (Espitalié et al. 1986). لازم به ذکر است، نمونه‌هایی که مقدار TOC آنها کمتر از ۱/۵ درصد وزنی است، پیرولیز کل سنگ منجر به HI پایین و OI بالاتری نسبت به پیرولیز کروژن خالص می‌شود (Hunt 1996). براین اساس نمونه‌های سازند گورپی دارای کروژن نوع II/III و IV، و سازند پابده دارای کروژن نوع II و II/III می‌باشد. لذا نمونه‌های سازند گورپی در صورت داشتن بلوغ مناسب، توانایی زایش نفت/گاز و نمونه‌های سازند پابده توانایی زایش نفت و نفت/گاز را دارند.

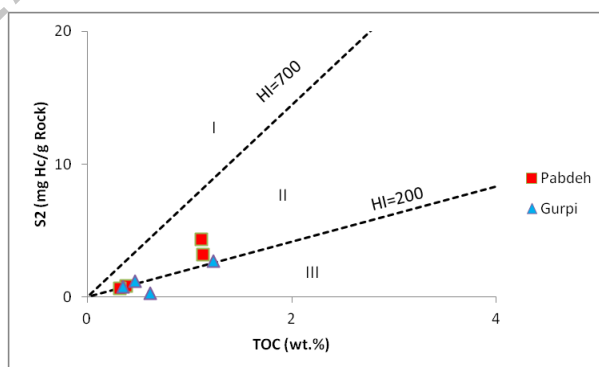
کروژن ماده آلی غیر قابل حل در حلالهای آلی می‌باشد که از انواع ماسرال‌ها تشکیل شده است. منشاء کروژن از اجزای گیاهان، جانوران و باکتریها است که در سنگ‌های رسوبی تشکیل می‌شوند (Batten 1996). برای تعیین کیفیت یا نوع ماده آلی (نوع کروژن) از نمودار شاخص هیدروژن (HI) در مقابل شاخص اکسیژن (OI) (شکل ۷) که به نوعی می‌توان از آن تحت عنوان دیاگرام Van-Krevelan نام برد، استفاده نمود (Espitalié et al. 1977; Peters 1986; Hunt 1996). در این دیاگرام مجزا کردن انواع کروژن اساساً وابسته به



شکل ۷- نمودار HI در مقابل OI جهت تعیین کروژن (اقتباس از Espitalié et al. 1977)

mg HC/gr TOC (یعنی ماده آلی با ۷۰٪ وزنی هیدروکربن) به عنوان مرز کروژن نوع I و II و HI=200 نظر گرفته شده است (Langford and Blanc-Valleron 1990). بنابراین با توجه به این نمودار مشخص گردید که کروژن سازند گورپی از نوع II/III و IV، می باشد که در صورت داشتن بلوغ مناسب، توانایی زایش نفت/گاز را دارد. همچنین براین اساس مواد آلی سازند پابده از نوع کروژن نوع II و II/III می باشد که بترتیب توانایی تولید نفت و نفت/گاز را دارد (شکل ۸).

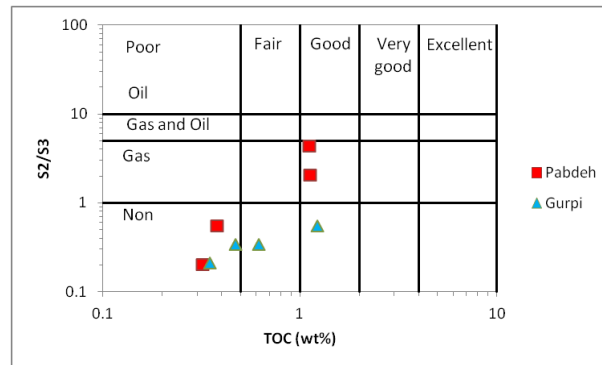
همچنین می‌توان کیفیت یا نوع ماده آلی (کروژن) را با استفاده از نمودار مقادیر TOC در مقابل S₂ (شکل ۸) مشخص نمود (Espitalié et al. 1985; Peters 1986; Langford and Blanc-Valleron 1990). در طی پیرولیز، کروژن نوع I، ۸۰ درصد وزنی (HI=800 mg HC/gr TOC)، کروژن نوع II، ۵۰-۶۰ درصد وزنی (HI=500-600 mg HC/gr TOC)، کروژن نوع III، ۱۵ درصد وزنی (HI=15-30 mg HC/gr TOC) هیدروکربن تولید می‌کند (Espitalié et al. 1985). بنابراین در نمودار مقادیر TOC در مقابل S₂، HI=700،



شکل ۸- نمودار مقادیر TOC در مقابل S₂ جهت تعیین کروژن (اقتباس از Langford and Blanc-Valleron 1990)

پتانسیل تولیدی پایین هستند و نمی‌توانند زایش هیدروکربور داشته باشند، تنها بخشی از سازند پابده که دارای پتانسیل خوب است در صورت داشتن بلوغ مناسب توانایی زایش گاز را دارد.

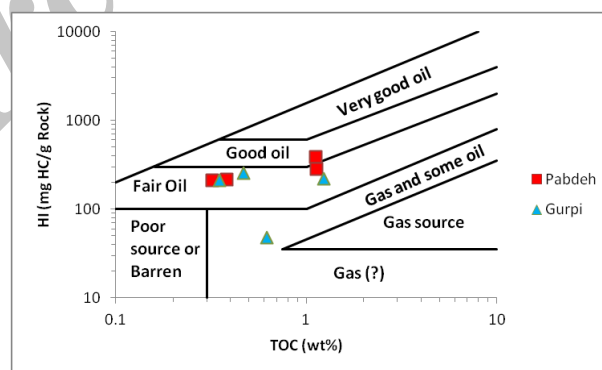
با استفاده از نمودار TOC در مقابل S_2/S_3 (شکل ۹) علاوه بر تعیین کمیت سنگ منشاء می‌توان کیفیت هیدروکربور تولید شده توسط آن سنگ‌ها را مشخص نمود (Peters and Cassa 1994). همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، اکثر نمونه‌های مورد مطالعه دارای



شکل ۹- نمودار TOC در مقابل S_2/S_3 جهت تعیین کمیت و کیفیت هیدروکربن تولیدی (اقتباس از Peters and Cassa 1994)

ضعیف نفت قرار می‌گیرند و بخش کوچکی از سازند پابده در محدوده تولید خوب نفت قرار می‌گیرد که این نمونه‌ها می‌تواند در صورت داشتن بلوغ مناسب تولید نفت نمایند.

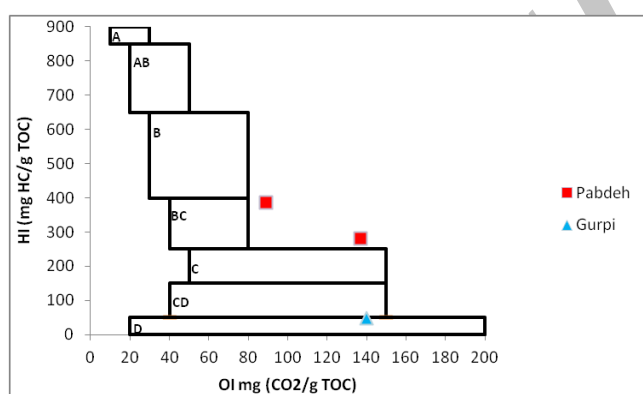
با استفاده از نمودار تغییرات مقادیر TOC در برابر HI (شکل ۱۰) می‌توان غنای منشاء نمونه‌های بالغ را مشخص نمود (Jackson et al. 1985; Altunsoy and Özçelik 1998). همان‌طور که در شکل ۱۰ مشخص است اکثر نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده تولید



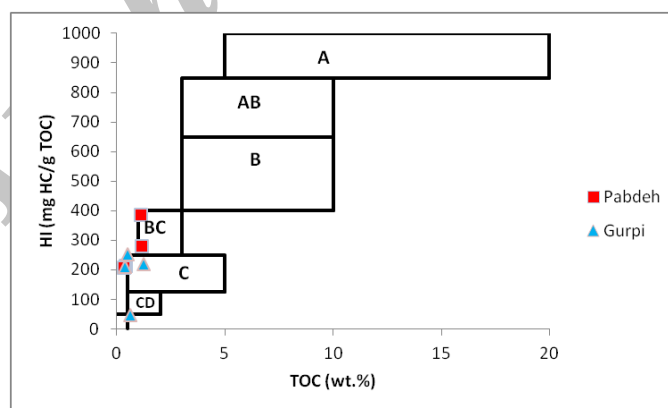
شکل ۱۰- نمودار TOC در مقابل HI جهت تعیین غنای سنگ منشاء (اقتباس از Jackson et al. 1985)

سازند گورپی از نوع اکسیدی (قاره‌ای) بوده و عمدتاً رسوبگذاری آن به طور نسبتاً سریع در آب‌های اکسیدی صورت گرفته و هیدروکربور تولیدی آن گاز است، در صورتی که غالب مواد آلی سازند پابده از نوع مخلوط (قاره‌ای - دریایی) بوده و رسوبگذاری آن بطور عمده در محیط‌های نسبتاً احیایی از قبیل Pro-Delta، شلف خارجی و بخش‌های بالایی شیب قاره صورت گرفته و توانایی زایش میعانات و گاز را دارد (جدول ۳ و شکل ۱۳).

با استفاده از نمودار تغییرات مقادیر OI در مقابل HI (شکل ۱۱) و نیز نمودار تغییرات مقادیر TOC در برابر HI (شکل ۱۲) نوع رخساره آلی (Jones 1987) سازندهای گورپی و پابده تعیین شد. در جدول ۳، مشخصات و ویژگی‌های کامل رخساره‌های تعیین شده، ذکر شده است. همان‌طور که در اشکال ۱۱ و ۱۲ مشخص است سازند گورپی دارای محدوده رخساره‌ای C تا D (عمدتاً C) و سازند پابده دارای محدوده رخساره‌ای BC تا C است. بر این اساس غالب مواد آلی



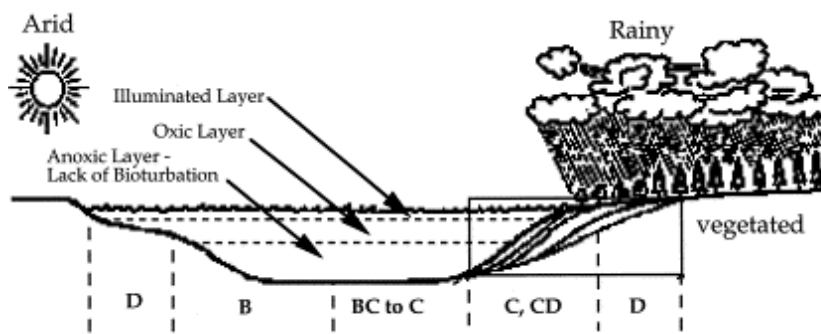
شکل ۱۱- نمودار OI در مقابل HI جهت تعیین رخساره آلی (اقتباس از Jones 1987)



شکل ۱۲- نمودار TOC در مقابل HI جهت تعیین رخساره آلی (اقتباس از Jones 1987)

جدول ۳- رخساره های آلی تعیین شده به همراه مواد آلی غالب، محیط رسوبی و محصولات اولیه (Jones 1987)

Organic Facies	Dominant Organic Matter	Primary Organisms	Depositional Environments	Primary Products
BC	Mixed; some oxidation. Partially oxidized during Cretaceous. Algal	Variable algal input. Diverse	Terrestrial and marine organic matter. Pro-delta muds- outer shelf, upper continental slopes. Rapid deposition in Oxid H ₂ O. Rapid vertical variations	LIQUIDS and GAS
C	Terrestrial; some oxidation	Telinite and Colinite. Low amounts of spores, cuticles and resinite	Oxid H ₂ O Moderate rapid deposition in anoxic conditions	GAS Prone
CD	Oxidized; reworked organic matter	Varying amounts terrestrial and reworked OM. Some fine grain amorphous OM of unknown origin.	Marine fore-deeps in front of rising mountain ranges	Moderate DRY GAS capacity
D	Highly oxidized	Dominant inertinite. Highly oxidized or redeposited residual OM.	Deep ocean to terrestrial	DRY GAS only Dat high maturity



شکل ۱۳- گسترش و موقعیت رخساره های آلی در حوضه رسوبی (اقتباس از Jones 1987)

(Dean et al. 1986; Pasley et al. 1991) نیز دیده می شود (۱۴). همان طور که در این شکل مشاهده می شود، سازند گورپی تماماً در شرایط پسروی (Shelf Margin System Tract) نهشته شده و دارای شرایط اکسیدی بوده، به طوری که مواد آلی عمدتاً از مناطق خشکی وارد حوضه شده است. در صورتیکه سازند پابده در یک محیط کاملاً متغیر از نظر پسروی و پیشروی، رسوبگذاری نموده، به طوری که محیط رسوبی آن دارای شرایط احیایی و اکسیدی بوده که این مطلب منطبق با رخساره های تعیین شده است.

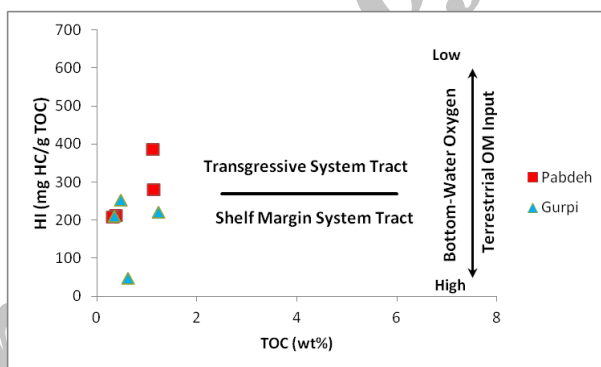
در مجموع نمونه هایی با مواد آلی (کروژن) یکسان،

از نکات قابل توجه در نمودارهای رخساره آلی (اشکال ۱۱ و ۱۲) این است که سازندهای گورپی و پابده دارای محدوده های مختلفی از رخساره آلی می باشند، که علت آن می تواند بدلیل به متغیر بودن شرایط محیطی در زمان نهشته شدن این سازندها باشد. لازم به ذکر است که این حالت در سازند پابده به خوبی قابل مشاهده شده و نشان دهنده پسروی و پیشروی های متعدد این سازند است، این در حالیست که سازند گورپی به مراتب دارای شرایط پایدارتر نسبت به سازند پابده است.

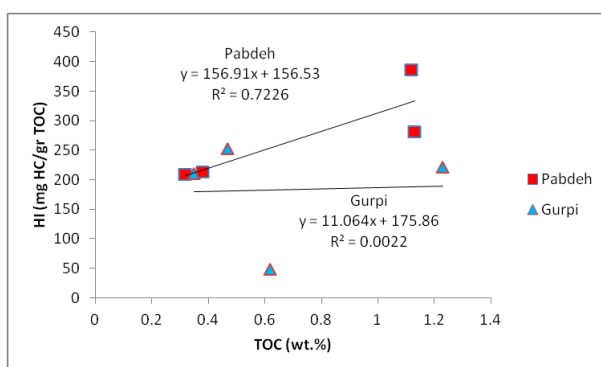
چنین نتیجه ای نیز در نمودار TOC در برابر HI (شکل

نمونه‌هایی که بیشترین مقدار TOC را دارند، OI در آن نمونه‌ها پایین می‌باشد، که دلیل این مطلب حالت احیایی تا نیمه احیایی محیط در زمان رسوبگذاری آن نمونه‌ها است، (Ziegler 2001; Tamburini et al. 2003). همان‌طور که در نمودار تغییرات TOC در مقابل OI (شکل ۱۶) مشخص است، نمونه‌های سازند پابده نسبت سازند گورپی دارای مقادیر بالاتر TOC و مقادیر کمتر OI هستند که نشان دهنده شرایط احیایی در زمان رسوبگذاری سازند پابده و تجمع مواد آلی در آن است، در صورتی که در زمان رسوبگذاری سازند گورپی محیط اکسیدان بوده و بتدریج موجب از بین رفتن مواد آلی در آن شده است، لذا همان‌طور که در اشکال ۴ تا ۶ مشخص شده است، سازند پابده دارای پتانسیل زایش هیدروکربور بیشتری نسبت به سازند گورپی است.

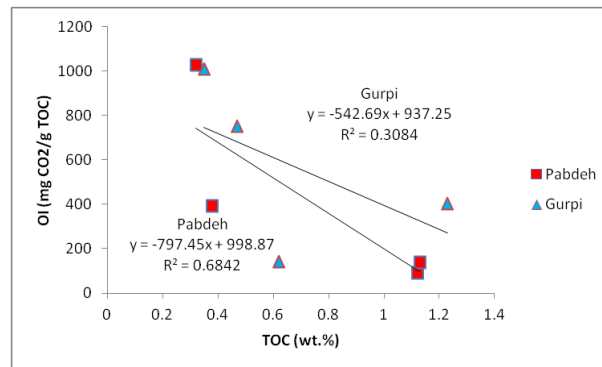
باید دارای HI ثابت باشند (Langford and Blanc-Valleron 1990). با این حال، مشاهده شده است که افزایش مقادیر HI با افزایش مقادیر TOC همراه است (Katz 1983). این مطلب در مورد نمونه‌های مورد مطالعه کاملاً مشخص است (شکل ۱۵)، به طوری که نمونه‌هایی که دارای مقادیر بالایی از TOC هستند، مقادیر HI نیز در آن نمونه‌ها بالا می‌باشد، که این موضوع بیانگر شرایط احیایی و حفظ شدن ماده آلی در آن نمونه‌ها است. بنابراین سازند پابده به دلیل داشتن مقادیر بالاتر TOC و HI نسبت به سازند گورپی، در شرایط احیایی تر نهشته شده است. در واقع از عوامل اصلی که سبب تجمع بالای کربن آلی ($TOC > 1\%$) در سنگ‌ها می‌شود، شرایط احیایی حاکم در زمان رسوبگذاری آنها است. بطورکلی



شکل ۱۴- نمودار مقادیر TOC در مقابل HI به منظور شناسایی شرایط محیط رسوبگذاری (اقتباس از Pasley et al. 1991)



شکل ۱۵- نمودار مقادیر TOC در مقابل HI به منظور شناسایی شرایط محیط رسوبگذاری



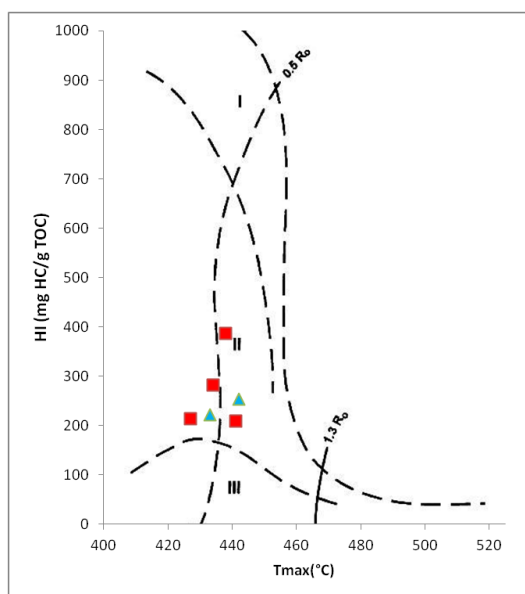
شکل ۱۶- نمودار تغییرات TOC در مقابل OI جهت تعیین شرایط محیط رسوبگذاری

برای تولید گاز خشک از کروژن نوع سوم بیشتر از ۴۷۰ درجه سانتی گراد است (Tissot et al. 1987; Peters 1986).

با استفاده از نمودار T_{max} در مقابل HI (شکل ۱۷) علاوه بر ارزیابی میزان بلوغ حرارتی نمونه‌های مورد مطالعه، نوع ماده آلی (کروژن) موجود در آنها نیز تعیین گردید (Tissot and Welte 1984; Espitalié et al. 1985a, b). همان طوری که در شکل ۱۷ مشخص است، بخش‌های عمده سازند پابده مسیر بلوغ حرارتی را طی نموده و وارد اوایل پنجره نفتی شده (Early Mature) است، در حالی که اکثر نمونه‌های سازند گورپی هنوز به مرحله بلوغ نرسیده است و توانایی زایش هیدروکربن را ندارند و هنوز در مرحله دیاژنز (Immature) قرار دارند. از کاربردهای دیگر دیاگرام HI در مقابل T_{max} ، تعیین نوع ماده آلی موجود در سنگهای منشاء می باشد. همان گونه که در شکل ۱۷ مشاهده می شود، کروژن موجود در سازند گورپی مخلوطی از کروژن نوع II/III و نوع III، و کروژن موجود در سازند پابده مخلوطی از کروژن نوع II و نوع III می باشد که مطابق دیاگرام HI در مقابل OI (شکل ۷) و S_2 در مقابل TOC (شکل ۸) می‌باشد.

مقادیر T_{max} و شاخص تولید (PI) حاصل از پیرولیز راک-ایول می تواند همانند انعکاس ویتربنایت (R_o) و شاخص دگرسانی حرارتی (TAI) به منظور برآورد بلوغ حرارتی استفاده شود (جدول ۱). تغییر در پارامترهای حرارتی مواد آلی در درجه اول به شرایط زمان/حرارت و تا حدودی به نوع ماده آلی بستگی دارد و تقریباً می تواند بیانگر مرحله زایش نفت باشد. همان طوری که در جدول ۱ مشخص است، بیشترین و کمترین مقدار T_{max} به ترتیب ۴۴۲ و ۳۹۲ درجه سانتیگراد و مربوط به سازند گورپی می باشد، که دلیل پایین بودن مقدار T_{max} در این سازند نوع ماده آلی می‌باشد که از نوع کروژن نوع III است. همچنین بیشترین و کمترین مقدار PI به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۱۵ و به ترتیب مربوط به سازند گورپی و پابده می باشد.

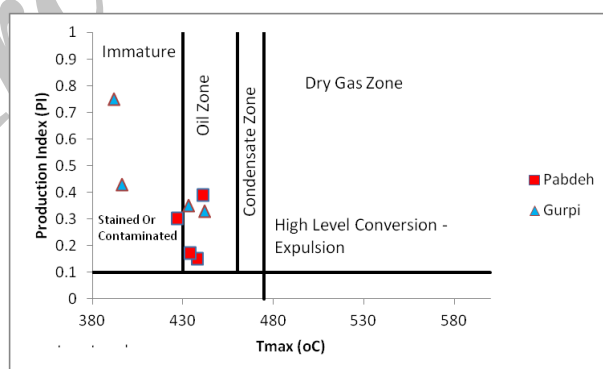
محدوده بلوغ T_{max} ، برای انواع مختلف ماده آلی متفاوت است (Tissot and Welte 1984; Peter 1986; Bordenave 1993). محدوده تغییرات T_{max} برای کروژن نوع I محدود است، ولی برای کروژن نوع دوم گسترده و برای کروژن نوع III خیلی گسترده است که علت آن افزایش پیچیدگی ساختاری مواد آلی است (Tissot et al. 1987). محدوده پنجره بلوغ زایش نفت/میعانات از کروژن نوع اول و دوم ۴۷۰-۴۳۰ درجه سانتی گراد و



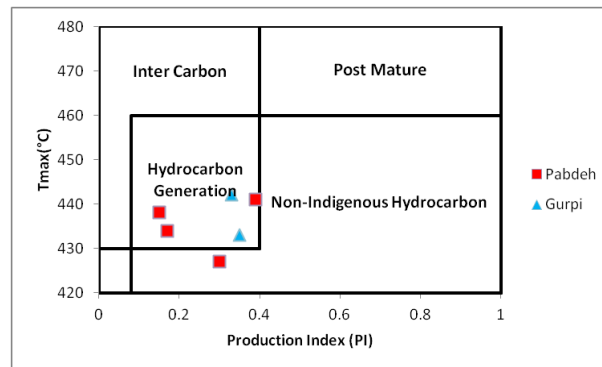
شکل ۱۷- نمودار T_{max} در مقابل HI جهت تعیین میزان بلوغ و نوع کروژن (اقتباس از Espitalié et al. 1985b)

و تعداد کمی از نمونه‌های سازند گورپی در محدوده بلوغ حرارتی و زایش نفت خام (Oil zone) قرار گرفته‌اند (اشکال ۱۸ و ۱۹)، به طوری که کلیه هیدروکربورهای تولیدی توسط این دو سازند از نوع برج‌ها بوده است (شکل ۱۹) که مطابق با شکل ۳ می‌باشد.

همچنین با استفاده از نمودار PI در مقابل T_{max} (اشکال ۱۸ و ۱۹) می‌توان ماهیت هیدروکربور تولید شده توسط نمونه‌ها را تعیین نمود (Al-Ameri et al. 2009; Yalçın Erik et al. 2004). با توجه به موقعیت قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در این نمودارها، مشخص گردید که اکثر نمونه‌های سازند پابده



شکل ۱۸- نمودار PI در مقابل T_{max} جهت تعیین میزان بلوغ (اقتباس از Al-Ameri et al. 2009)



شکل ۱۹- نمودار PI در مقابل T_{max} جهت تعیین میزان بلوغ و ماهیت هیدروکربور تولیدی (اقتباس از Yalçın Erik et al. 2004)

نیافتن T_{max} با عمق نیز همین دو پارامتر (وجود کروژن غنی از سولفور و حضور بیتومن در پیک S_2) می باشد (Snowdon 1995).

همانطور که در جداول ۱ و ۴ مشخص است، تنها دو نمونه از سازند گورپی دارای T_{max} کمتر از ۴۲۰ درجه سانتیگراد و S_2 کمتر از 0.5 mg HC/g rock است، که نمی توان از آنها در تبدیل مقادیر T_{max} به R_o استفاده نمود. همانگونه که در جدول ۴ مشاهده می شود، مقدار R_o محاسبه شده برای سازند گورپی ۰/۶۳-۰/۸۰ درصد و برای سازند پابده ۰/۵۳-۰/۷۸ درصد می باشد، که بیانگر قرار گیری نمونه ها در محدوده بلوغ حرارتی و زایش نفت (Early to Peak) است (جدول ۲)، که این مطلب دقیقاً مطابق مقادیر PI می باشد، به طوری که مقدار PI در سازند گورپی ۰/۷۵-۰/۳۳ و در سازند پابده ۰/۳۹-۰/۱۵ است و نشان دهنده قرارگیری نمونه ها در محدوده پنجره نفتی و زایش نفت (Early to Peak) است (جدول ۲).

همانگونه که در جدول ۴ مشاهده می شود، روند کلی پارامترهای T_{max} و R_o ، نشان دهنده افزایش بلوغ حرارتی با عمق است، بطوریکه بیشترین بلوغ مربوط به نمونه سازند گورپی است. لازم به ذکر است که علت

یکی از پارامترهای دیگری که می توان بلوغ حرارتی سنگ های منشاء را تعیین نمود استفاده از پارامتر انعکاس ویترونیات (R_o) است، ولی به دلیل اینکه در این تحقیق مطالعات پتروگرافی آلی صورت نگرفته است، لذا از فرمول تبدیل مقادیر T_{max} حاصل از پیرولیز راک-ایول به انعکاس ویترونیات (R_o) استفاده گردید (Jarvie et al. 2001):

$$R_o \text{ (calculated)} = (0.0180) \times (T_{max}) - 7.16$$

فرمول فوق را می توان با احتیاط برای تبدیل T_{max} حاصل از پیرولیز راک-ایول به انعکاس ویترونیات مورد استفاده قرار داد. این فرمول از یک مجموعه شیلی حاوی کروژن نوع II با گوگرد پایین مشتق شده است. این فرمول به خوبی برای بسیاری از کروژن های نوع II و نوع III قابل استفاده است، اما برای کروژن نوع I پاسخگو نیست (Jarvie et al. 2001). لازم به ذکر است که استفاده از این فرمول، برای نمونه هایی با بلوغ بسیار پایین و یا بالا، که در آن مقادیر T_{max} کمتر از ۴۲۰ و بیشتر از ۵۰۰ درجه سانتیگراد است (به علت وجود کروژن غنی از سولفور) و یا مواقعی که مقادیر S_2 کمتر از 0.5 mg HC/g rock است (به علت حضور بیتومن در پیک S_2)، توصیه نمی شود. علاوه بر این علت افزایش

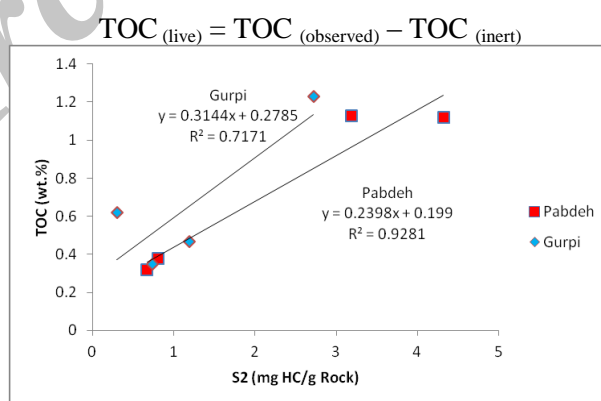
افزایش نیافتن این پارامترها با عمق در برخی فواصل مربوط به نوع کروژن (خصوصاً کروژن غنی از سولفور) افزایش نیافتن این پارامترها با عمق در برخی فواصل مربوط به نوع کروژن (خصوصاً کروژن غنی از سولفور) (Snowdon است S_2 است (Snowdon 1995).

جدول ۴- مقادیر T_{max} و S_2 جهت تعیین مقدار انعکاس ویترونیات (R_0) در نمونه‌های مورد مطالعه

Formation	Depth (ft)	S_2 (mg HC/g rock)	T_{max} ($^{\circ}C$)	R_0 (calculated)
Pabdeh	8460	0.81	427	0.53
	9150	4.32	438	0.72
	9365	3.18	434	0.65
	10045	0.67	441	0.78
	10265	1.19	442	0.80
Gurpi	10380	0.74	396	-
	10705	0.3	392	-
	10925	2.72	433	0.63

خشتی در واقع هیچ نقشی در پتانسیل هیدروکربورزائی ندارد. برای تعیین مقدار کربن آلی خشتی (TOC_{inert}) میزان TOC جذب شده توسط ماتریکس ($TOC_{observed}$)، از مقدار برخورد خط رگرسیون با محور TOC ، کم می‌شود (Dahl et al. 2004). مقدار کربن آلی فعال (TOC_{live}) از رابطه زیر به دست می‌آید (Dahl et al. 2004):

یکی دیگر از راه‌های تعیین درجه بلوغ مواد آلی، استفاده از نمودار S_2 در مقابل TOC (شکل ۲۰) است. کاربرد این دیاگرام در حالت کلی برای تعیین میزان کربن مرده یا بی اثر (Inert Carbon) می‌باشد که در پی افزایش بلوغ مواد آلی، میزان کربن مرده افزایش می‌یابد (Dahl et al. 2004). کربن مرده جزئی از کربن کروژن موجود در نمونه سنگی بوده که در پیرولیز راک-ایول به همراه کربن آلی تحت عنوان TOC محاسبه می‌گردد. کربن



شکل ۲۰- نمودار S_2 در مقابل TOC

جدول ۵- محاسبه مقادیر کربن خشتی و زنده برای سازندهای مورد مطالعه

Formation	TOC (observed)	S ₂ -TOC equation	TOC (inert)	TOC (live)
Pabdeh	0.74	y = 0.2398x + 0.199	0.54	0.20
Gurpi	0.67	y = 0.3144x + 0.2785	0.39	0.28

همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، کربن آلی خشتی در سازندهای گورپی و پابده به ترتیب ۰/۳۹ و ۰/۵۴ درصد است. میانگین کربن آلی زنده در سازندهای گورپی و پابده در چاه شماره ۲ میدان پرسیاه به ترتیب ۰/۲۸ و ۰/۲۰ درصد می‌باشد، که بر اساس تقسیم بندی (Cooper and Ower 1984)، سازندهای مذکور پتانسیل ضعیفی برای نفت زایی دارند (جدول ۶).

همان گونه که در شکل ۲۰ مشاهده می‌شود، خط رگرسیون سازندهای گورپی و پابده محور TOC را به ترتیب در نقاط ۰/۲۸ و ۰/۲ قطع می‌کند، که بیانگر حضور کربن مرده در نمونه‌های مورد مطالعه است که موجب بلوغ نامناسب و نسبتاً پایین نمونه‌ها شده است. براساس شکل ۲۰ و با استفاده از رابطه فوق، مقدار کربن زنده سازندهای گورپی و پابده تعیین گردید (جدول ۵).

جدول ۶- تقسیم بندی سنگ‌های منشاء هیدروکربنی براساس محتوی کل کربن آلی (Cooper and Ower 1984)

میزان کل کربن آلی (درصد وزنی)	< ۰/۵	۰/۵-۱	۱-۲	۲-۱۰
میزان غنی شدگی (توان تولید هیدروکربور)	ضعیف	متوسط	خوب	غنی

$$3) a = \text{TOC}/S_2 = 100/\text{HI}$$

$$4) \text{HI}_{(\text{live})} = 100S_2 / (\text{TOC}_{(\text{observed})} - \text{TOC}_{(\text{inert})})$$

میزان شاخص هیدروژن تصحیح شده میانگین (HI live) برای سازندهای گورپی و پابده محاسبه گردید که به ترتیب برابر ۴۴۱ و ۱۱۲۲ است، که این مقادیر نسبت به میانگین شاخص بدست آمده از پیرولیز راک-ایول هر دو سازند بیشتر می‌باشد (جدول ۷)، لذا با توجه به این مقادیر کروژن سازند گورپی از نوع II و کروژن سازند پابده از نوع I است که مستعد زایش نفت هستند.

بخش‌هایی از نمونه‌های سنگ منشاء که حاوی کربن مرده می‌باشند، دارای شاخص هیدروژن ظاهری بوده که نسبت به شاخص هیدروژن واقعی (HI live)، کمتر است و در حقیقت در تولید هیدروکربور نقشی ندارند. شیب خط رگرسیون در نمودار S₂ در مقابل TOC، برابر 1/HI live است. که HI live، شاخص هیدروژن کربن آلی فعال می‌باشد (Dahl et al. 2004).

$$1) Y = ax + b$$

$$2) \text{TOC} = aS_2 + b$$

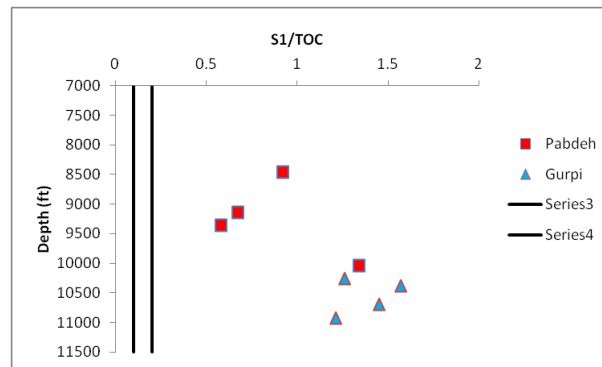
جدول ۷- میزان HI میانگین حاصل از پیرولیز راک-ایول و HI تصحیح شده میانگین

Formation	HI _{Rock-Eval}	HI _{live}
Pabdeh	272	1122
Gurpi	183	441

این میدان تا حدی است که مقدار کربن آلی جذب شده در اکثر نمونه‌های مورد مطالعه، حتی به کمتر از یک درصد وزنی نیز می‌رسد (جدول ۱). مطالعات بیانگر آنست که کانی‌های رسی مهمترین عامل جذب هیدروکربن هستند (Yalçın Erik et al. 2006)، همان گونه که بنظر می‌رسد، سازند گورپی به دلیل لیتولوژیک، دارای رس بیشتری نسبت به سازند پابده است، که علت آن قطع کردن محور S_2 با مقادیر بیشتری، توسط خط رگرسیون است (شکل ۲۰) و این عامل منجر به جذب میزان بیشتری هیدروکربن در زمان پیرولیز می‌گردد.

با استفاده از نمودار S_1/TOC در برابر عمق (شکل ۲۱)، عمقی که در آن تراوش نفت از سنگ منشاء آغاز می‌شود، تعیین گردید. مقدار S_1 با افزایش عمق افزایش می‌یابد و این روند تا هنگام زایش نفت ادامه می‌یابد، در این حالت نسبت S_1/TOC بایستی $0/1-0/2$ باشد (Smith 1994). اگر این نسبت کمتر از $0/1$ باشد، آن سنگ در هر مرحله از بلوغ که باشد، نمی‌تواند زایش نفت داشته باشد، هر چند که می‌تواند گاز تولید کند (Hunt 1996). با استفاده از این نمودار (شکل ۲۱) مشخص گردید که نسبت S_1/TOC در نمونه‌های سازندهای گورپی و پابده بیشتر از $0/2$ است و در عمقی قرار دارند که به دلیل بلوغ حرارتی مناسب، شرایط لازم برای زایش نفت را دارا می‌باشند.

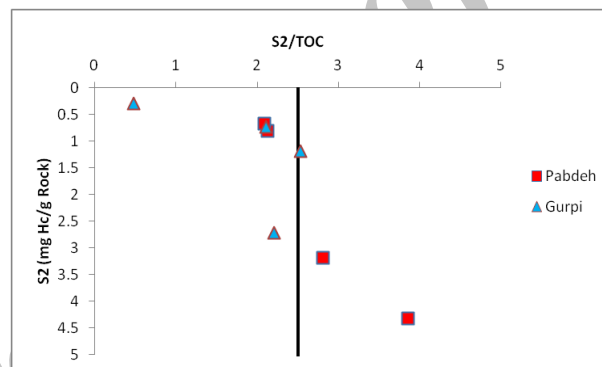
تاثیر ماتریکس می‌تواند S_2 حاصل از پیرولیز را کاهش دهد و در نتیجه باعث کاهش شاخص هیدروژن (HI) و کیفیت سنگ منشاء شود که علت آن باقی ماندن هیدروکربن‌هایی با وزن مولکولی بالا در سنگ است، زمانی است که فرآیند شکست رخ می‌دهد (Espitalié et al. 1980). با استفاده از نمودار S_2 در مقابل TOC (شکل ۲۰) می‌توان مقدار کمی ماتریکس را محاسبه نمود. در حالت ایده‌آل خط رگرسیون نمونه‌های مورد مطالعه باید از مبدا عبور کند، اما این حالت تنها در مواردی استثنایی رخ داده و معمولاً خط رگرسیون محور TOC را قطع می‌کند. این جابجایی حاصل تاثیر کربن آلی خنثی (Cornford 1994) و تاثیر ماتریکس (Langford and Blanc-Valleron 1990) در طی پیرولیز است. برای تعیین تاثیر ماتریکس، محل برخورد خط رگرسیون با محور S_2 در فاکتور استوکیومتری (α) ضرب شده تا مقدار کربن آلی جذب شده توسط ماتریکس صورت کمی درآید. مقدار میانگین این فاکتور (α) برای نفت‌ها با استفاده از آنالیزهای عنصری برابر $0/084$ است (Tissot and Welte 1984). همان گونه که در شکل ۲۰ مشاهده می‌شود، قطع شدن محور منفی S_2 توسط خط رگرسیون در سازند های گورپی و پابده در میدان پرسپاه، که مقدار آن به ترتیب برای سازند های گورپی و پابده برابر $0/89$ و $0/83$ می‌باشد، نشان دهنده تاثیر قابل توجه ماتریکس است. تاثیر ماتریکس در جذب TOC در



شکل ۲۱- نمودار S_1/TOC در مقابل عمق جهت تعیین عمق زایش نفت (اقتباس از Smith 1994)

نمودار S_2/TOC در برابر S_2 (شکل ۲۲) می‌توان محدودده اتمام زایش نفت را مشخص نمود (Reid 2002). همان طوری که در شکل ۲۲ مشخص است، سازندهای مورد هنوز در حال تراوش و زایش هیدروکربور هستند.

Lewan (۱۹۸۷) با استفاده از مشاهدات پتروگرافی تعیین کرد که سنگ‌هایی که کمتر از ۲/۵ درصد، TOC دارند، توانایی تشکیل یک شبکه پیوسته بیتومن را جهت تراوش ابتدایی و اصلی نفت ندارند. بنابراین با استفاده از



شکل ۲۲- نمودار S_2/TOC در مقابل S_2 جهت تعیین محدوده اتمام زایش نفت (اقتباس از Reid 2002)

زایش فقیر تا خوب برای سازند گورپی و ضعیف و خوب برای سازند پابده است. مقدار S_2 در سازند گورپی ۲/۷۲-۰/۳ (به طور میانگین ۱/۲۴) و در سازند پابده ۴/۳۲-۰/۶۷ (به طور میانگین ۲/۲۵) میلیگرم هیدروکربن در هر گرم سنگ می‌باشد که بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب مربوط به سازند پابده و گورپی می‌باشد که خود نشان دهنده پتانسیل زایش فقیر برای سازند گورپی و ضعیف برای سازند پابده است. کروژن

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات پیرولیز راک-ایول بر روی نمونه‌های انتخابی سازندهای گورپی و پابده در میدان نفتی پرسپناه نشان دهنده آنست که میزان مواد آلی (TOC) در سازند گورپی ۰/۲۳-۰/۳۵ (به طور میانگین ۰/۶۷) و در سازند پابده ۰/۱۳-۰/۳۲ (به طور میانگین ۰/۷۴) درصد وزنی است، که بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب مربوط به سازند گورپی و پابده می‌باشد که این بیانگر پتانسیل

می‌باشد، که بیشترین و کمترین مقدار T_{max} به ترتیب ۴۴۲ و ۳۹۲ درجه سانتیگراد و مربوط به سازند گورپی می‌باشد. همچنین مقدار PI در سازند گورپی ۰/۷۵-۰/۳۳ و در سازند پابده ۰/۳۹-۰/۱۵ می‌باشد که بیشترین و کمترین مقدار PI بترتیب ۰/۷۵ و ۰/۱۵ و به ترتیب مربوط به سازند گورپی و پابده می‌باشد. نمودار T_{max} در مقابل HI علاوه بر تایید نوع کروژن‌های تعیین شده نشان دهنده بلوغ نسبتاً بالای اکثر نمونه‌های سازند پابده و بخش کمی از سازند گورپی است و بیانگر ورود آنها بدرون پنجره نفتی و زون کاتازنز است. همچنین نمودار T_{max} در مقابل PI علاوه بر اینکه نشان دهنده برجا بودن نفت موجود در این سازندها است، خود نیز تایید کننده ورود اکثر نمونه‌های سازند پابده و بخش کمی از سازند گورپی بدرون پنجره نفتی و زون کاتازنز می‌باشد. نمودار S_1/TOC در برابر عمق نشان دهنده آنست که همه نمونه‌های سازند گورپی و پابده در عمقی هستند که توانایی زایش هیدروکربن را داشته باشند. همچنین نمودار S_2/TOC در برابر S_2 حاکی از آنست که تراوش هیدروکربور از سازندهای گورپی و پابده متوقف نشده و هنوز ادامه دارد. همچنین براساس نمودار S_2 در مقابل TOC، مشخص گردید که سازند گورپی دارای پتانسیل هیدروکربوری پایین‌تری نسبت به سازند پابده می‌باشد به طوری که سازند گورپی دارای پتانسیل فقیر تا خوب (به طور میانگین فقیر) و سازند پابده دارای پتانسیل فقیر و خوب (به طور میانگین ضعیف) است. کروژن در سازند گورپی از نوع II/III (عمدتاً) و IV و در سازند پابده از نوع II و III (عمدتاً) است که تولید کننده نفت و گاز می‌باشند. مقدار کربن آلی خنثی در سازند گورپی ۰/۳۹ و در سازند پابده ۰/۵۴ درصد وزنی است

تعیین شده براساس نمودار HI در مقابل OI در سازند گورپی از نوع II/III (غالباً) و IV، و در سازند پابده از نوع II و III (غالباً) می‌باشد که عمدتاً توانایی زایش نفت و گاز را دارند. همچنین مقادیر S_2/S_3 نشان دهنده آنست که فقط سازند پابده توانایی زایش هیدروکربور (گاز) را دارا می‌باشد. نمودار TOC در مقابل HI بیانگر غنای ضعیف سازندهای گورپی و پابده برای تولید نفت است. رخساره آلی تعیین شده براساس نمودار HI در مقابل OI و نمودار TOC در برابر HI در سازند گورپی دارای محدوده رخساره‌ای C تا D (عمدتاً C) و سازند پابده دارای محدوده رخساره‌ای BC تا C است. بر این اساس غالب مواد آلی سازند گورپی از نوع اکسیدی (قاره‌ای) بوده و عمدتاً رسوبگذاری آن به طور نسبتاً سریع در آب‌های اکسیدی صورت گرفته و هیدروکربور تولیدی آن گاز است، در صورتی که غالب مواد آلی سازند پابده از نوع مخلوط (قاره‌ای-دریایی) بوده و رسوبگذاری آن به طور عمده در محیط‌های نسبتاً احیایی صورت گرفته و توانایی زایش میعانات و گاز را دارد. براساس نمودار TOC در برابر HI سازند گورپی تماماً در شرایط پسروی نهشته شده و دارای شرایط اکسیدی بوده، به طوری که مواد آلی عمدتاً از مناطق خشکی وارد حوضه شده است، در صورتیکه سازند پابده در یک محیط کاملاً متغییر از نظر پسروی و پیشروی، رسوبگذاری نموده است، بطوریکه محیط رسوبی آن دارای شرایط احیایی و اکسیدی بوده است. همچنین سازند پابده به دلیل داشتن مقادیر بالاتر TOC و HI و OI پایین‌تر نسبت به سازند گورپی، در شرایط احیایی نهشته شده است. مقدار T_{max} در سازند گورپی ۴۴۲-۳۹۲ و در سازند پابده ۴۴۱-۴۲۷ درجه سانتیگراد

ع. مقدسی، ۱۳۸۷، نقش مؤثر شواهد پتروگرافی (میکروفاسیس)، ژئوشیمی آلی و آثار فسیلی در تعیین محیط رسوبی (یک مثال از سازند پابده، حوضه زاگرس، جنوب غرب ایران): مجله علوم دانشگاه تهران، ج. ۳۴، ش. ۲، ص ۱۳۱-۱۲۱.

ربانی، ا. ر.، و م. شعبانی افرایلی، ۱۳۸۳، طبقه بندی ژئوشیمیایی نفت میدین بخش غربی خلیج فارس: مجله دانشکده فنی دانشگاه تهران، ش. ۸۷، ص ۶۲۴-۶۱۱.

ربانی، ا. ر.، ن. افشاری، م. خالقی، ۱۳۸۵، مطالعه ژئوشیمیایی سازند های فراقون، سرچاهان و سیاهو و بررسی نقش آنها در زایش گاز در ناحیه فارس و بندرعباس: مجله امیرکبیر، ش. ۶۵، ص ۵۳-۶۱.

رجبی هرسینی، ع. و م. معماریانی، ۱۳۸۸، تطابق هیدروکربنی و مقایسه ژئوشیمیایی سازند کنگان در چاه های B و C واقع در میدان گازی پارس جنوبی: مجله پژوهش نفت، ش. ۶۰، ص ۱۰۳-۸۴.

رجبی هرسینی، ع. و م. معماریانی، ۱۳۸۹، ارزیابی ویژگی های ژئوشیمی آلی سازند کنگان در میدان پارس جنوبی: مجله علوم زمین، ش. ۷۵، ص ۹۵-۱۰۲.

رجبی هرسینی، ع.، ۱۳۸۹، تعیین عدم ارتباط نفت باقیمانده (بیتومن) موجود در سازند کنگان با گاز و میعانات گازی این مخزن (میدان نفتی پارس جنوبی): مجله علوم زمین، ش. ۷۶، ص ۱۳۴-۱۲۷.

عبدل زاده، س. م. ر. کمالی، ح. امیری بختیار، م. شایسته، و م. ح. موسوی، ۱۳۸۹، ارزیابی پتانسیل

و میانگین کربن آلی فعال در سازند گورپی ۰/۲۸ و در سازند پابده ۰/۲۰ درصد وزنی است که نشان می دهد این سازندها از لحاظ پتانسیل نفت زایی در محدوده ضعیف قرار دارند. میزان شاخص هیدروژن تصحیح شده میانگین (HI live) برای سازندهای مورد مطالعه بیانگر آنست که کروژن سازند گورپی از نوع II و کروژن سازند پابده از نوع I است و این سازندها مستعد زایش نفت هستند. تاثیر ماتریکس در سازند گورپی و پابده در میدان پرسیاه نسبتاً قابل توجه می باشد، به طوری که مقدار کربن آلی جذب شده در اکثر نمونه های مورد مطالعه، حتی به کمتر از یک درصد وزنی نیز می رسد. چنین تاثیری می تواند به علت بلوغ حرارتی نسبتاً پایین سنگ های مطالعه شده باشد. لذا این مطالعه سازند پابده را به عنوان موثرترین سنگ منشاء هیدروکربن در میدان پرسیاه در مقایسه با سازند گورپی معرفی می نماید.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند که از پژوهشگاه صنعت نفت به دلیل در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز این تحقیق تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

بهبهانی، ر.، ر. لک، س. خدابخش، ح. محسنی، ز. آتش مرد، و م. معینی، ۱۳۸۹، تعیین سیستم تراکت، نوع کروژن و پتانسیل هیدروکربن زایی با استفاده از پارامترهای -راک اول (مثلهایی از سازند پابده، زیر زون رزن-آبگرم و رسوبات بستر خلیج فارس): مجله پژوهشهای چینه نگاری و رسوب شناسی، ش. ۳۸، ص ۱۴۴-۱۲۱.

بهبهانی، ر.، س. خدابخش، ح. محسنی، ز. آتش مرد، و

- کژدمی در برش تنگ ماغر: مجله علوم دانشگاه تهران، ش. ۲، ص ۱۶۴-۱۵۵.
- مرتاضیان، ن. و م. ر. کمالی، ۱۳۹۰، ارزیابی پتانسیل هیدروکربن زایی سازند گدوان در میداین بینک، گچساران و مارون با استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی و مدل‌سازی حرارتی: مجله زمین‌شناسی نفت ایران، ش. ۱، ص ۱-۱۴.
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۴. زمین‌شناسی ایران، زمین‌شناسی نفت زاگرس: انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۰۹ ص
- نثارزاده، ر.، ب. علیزاده، و ه. قلاوند، ۱۳۸۵، ارزیابی پتانسیل تولیدی سنگهای منشاء احتمالی موجود در میدان نفتی بینک، جنوب غرب ایران: مجله علوم دانشگاه تهران، ش. ۳، ص ۲۱۹-۲۱۳.
- Al-Ameri, T. K., A. J., Al-Khafaji, and J. Zumberge, 2009, Petroleum System Analysis of The Mishrif Reservoir in the Ratawi, Zubair, North and South Rumaila Oil Fields, Southern Iraq: *GeoArabia*, v. 14, p. 91-108.
- Alizadeh B., H., Sarafdokht, M., Rajabi, A., Opera and M. Janbaz, 2012, Organic geochemistry and petrography of Kazhdumi (Albian-Cenomanian) and Pabdeh (Paleogene) potential source rocks in southern part of the Dezful Embayment, Iran: *Organic Geochemistry*, v. 49, p. 36-46.
- Altunsoy, M., and O., Özçelik, 1998, Organic Facies Characteristics of the Sivas Tertiary Basin (Turkey): *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 20, p. 73-85.
- Barker, C., 1974, Pyrolysis techniques for source-rock evaluation: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 58, p. 2349-2361.
- Batten, D. J., 1996, Palynofacies and Palaeo Environmental Interpretation. In: J., Jansonius, and D. C., Mcgregor, (Eds.), *Palynology: Principals and Applications*, American Association of Stratigraphic
- هیدروکربورزائی سنگهای منشاء احتمالی در میدان نفتی آغاچاری: مجله پژوهشهای چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ش. ۴۱، ص ۴۳-۵۶.
- علیزاده، ب.، م. ح. آدابی، و ف. تزه، ۱۳۸۵، ارزیابی پتانسیل هیدروکربورزایی سنگهای منشاء احتمالی در میدان نفتی مارون با استفاده از دستگاه پیرولیز راک-ایول ۶: مجله علوم دانشگاه تهران، ش. ۳، ص ۲۶۷-۲۷۴.
- علیزاده، ب.، و س. ح. حسینی، ۱۳۸۹، ارزیابی توان هیدروکربورزایی و شرایط رسوبگذاری سازند سرگلو در میدان نفتی مسجد سلیمان: مجله علوم زمین، ش. ۷۵، ص ۱۷۳-۱۷۸.
- علیزاده، ب.، و م. مرادی، ۱۳۸۶، مقایسه ژئوشیمیایی سازنده پابده در میداین نفتی زیلائی و اهواز: مجله علوم دانشگاه شهید چمران، ش. ۱۷، ص ۳۳-۴۴.
- علیزاده، ب.، م. جانباز، م. شایسته، و س. ح. حسینی باغستانی، ۱۳۸۸، مطالعه ژئوشیمیایی و تأثیر کانی ماتریکس بر پتانسیل سنگهای منشاء احتمالی هنگام پیرولیز در میدان نفتی رگ سفید، جنوب غرب ایران: مجله پژوهشهای چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ش. ۳۸، ص ۱-۱۶.
- قاسمی نژاد، ا.، و س. غنی آبادی، ۱۳۸۸، بررسی پتانسیل هیدروکربورزایی و محیط انبایش سازند کژدمی در میدان نفتی نوروز، شمال غرب خلیج فارس: مجله پژوهشهای چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ش. ۳۷، ص ۱۹-۳۴.
- قاسمی نژاد، ا.، و م. میزالی، ۱۳۸۷، تطابق رخساره‌های پالینولوژیکی و پتانسیل هیدروکربورزایی سازند

- 276-304.
- Espitalié, J., J. L. Laporte, M. Madec, F. Marquis, P. Leplat, J. Paulet, J., and A. Boutefeu, 1977, Méthode rapide de caractérisation des roches mères, de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution: *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, v. 32, p. 23-42.
- Espitalié, J., M. Madec and B. Tissot, 1980, Role of Mineral Matrix in Kerogen Pyrolysis: Influence on Petroleum Generation and Migration: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 4, p. 59-66.
- Habibnia, B. and D. Javanbakht, 1996, Stratigraphic Zonation of Bangestan Reservoir, Binak Field Persian Gulf coast, SW Iran: *Proceedings of the 30th International Geological Congress*, Beijing, China, v. 18, p. 225-237.
- Hakimi, M. H., W. H., Abdullah, and M. R., Shalaby, 2010, Source Rock Characterization and Oil Generating Potential of The Jurassic Madbi Formation, Onshore East Shabowah Oilfields, Republic of Yemen: *Organic Geochemistry*, v. 41, p. 513-521.
- Huang, B., X. Xiao and M. Zhang, 2003, Geochemistry, grouping and origins of crude oils in the Western Pearl River Mouth Basin, offshore South China Sea: *Organic Geochemistry*, v. 34, p. 993-1008.
- Hunt, J. M., 1996, *Petroleum Geochemistry and Geology (Second Edition)*: W.H. Freeman and Company, New York, 743 p.
- Jackson, K. S., P. J., Hawkins, and A. J. R., Bennett, 1985, Regional Facies and Geochemical Evolution of The Southern Denison Trough: *APEA Journal*, v. 20, p.143-158.
- Jarvie, D. M., B. L., Claxton, F., Henk, and J. T., Breyer, 2001, Oil and Shale Gas from the Barnett Shale, Fort Worth Basin, Texas: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 85, A100.
- Jones, R. W., 1987, Organic facies. In: J., Brooks, and D., Welte (Eds), *Advances In Petroleum Geochemistry*, Academic Press, London, v. 2, p. 1-90.
- Katz, B. J., 1983, Limitations of Rock-Eval Pyrolysis for Typing Organic Matter: *Palynologists Foundation*, Dallas, Texas, v. 3, p. 1011-1064.
- Behar, F., V. Beaumont, and H.L. De B. Pentead, 2001, Rock-Eval 6 Technology: Performances and Developments: *Oil & Gas Science and Technology - Rev. IFP*, v. 12, p. 111-134.
- Bordenave, M. L., 1993, *Applied Petroleum Geochemistry*, Editions Technip, Paris, 524 p.
- Burwood, R., S. M. De Witte, B. Mycke, and J. Paulet, 1995, Petroleum Geochemical Characterization of the Lower Congo Coastal Basin Bucomazi Formation. In: B. J., Katz, (Ed.), *Petroleum Source Rocks*. Springer-Verlag, Berlin, p. 235-263.
- Cooper, B. S., and J. Ower, 1984, *Elements of geochemistry: Robertson Research International Limited*, 53 p.
- Cornford, C., 1994, The Mandal-Ekofisk (!) Petroleum System in the Central Graben of the North Sea. In: L. B., Magoon, and W. G., Dow, (Eds.), *The Petroleum System - From Source to Trap*, American Association of Petroleum Geologists Memoir, v. 60, p. 537-571.
- Dahl, B., J., Bojesen-Koefoed, A., Holm, H., Justwan, E., Rasmussen and E., Thomsen, 2004, A New Approach to Interpreting Rock-Eval S₂ and TOC Data for Kerogen Quality Assessment: *Organic Geochemistry*, v. 35, p. 1461-1477.
- Dean, W. E., M. A., Arthur, and G. E., Claypool, 1986, Depletion of ¹³C in Cretaceous Marine Organic Matter: Source, Diagenetic, or Environmental Signal: *Marine Geology*, v. 70, p. 119-157.
- Espitalié, J., G., Deroo, and F., Marquis, 1985a, Rock-Eval Pyrolysis and its Applications (Part One): *Oil & Gas Science and Technology - Revue de l'Institut Français du Pétrole*, v. 40, p. 563-579.
- Espitalié, J., G., Deroo, and F., Marquis, 1985b, Rock-Eval Pyrolysis and its Applications (Part Two): *Oil & Gas Science and Technology - Revue de l'Institut Français du Pétrole*, v. 40, p. 755-784.
- Espitalié, J., F. Marquis, and I. Barsony, 1984, Geochemical logging. In: K. J. Voorhees (Eds), *Analytical Pyrolysis: Techniques and applications*, Butterworths, Boston, p.

- from the Oman Margin: New Evidence of High Productivity during Glacial Period: *Paleoceanography*, v. 18, p. 1015.
- Tissot, B. P. and D. H., Welte, 1984, *Petroleum Formation and Occurrence* (Second Edition): Springer-Verlag, Berlin, 699 p.
- Tissot, B. P., R., Pelet, and P. H., Ungerer, 1987, Thermal History of Sedimentary Basins, Maturation Indices, and Kinetics of Oil and Gas Generation: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 71, p. 1445-1466.
- Yalçın Erik, N., O., Özçelik, M., Altunsoy and H., İllez, 2004. Source Rock Hydrocarbon Potential Middle Triassic-Lower Jurassic Cudi Group Units in the Eastern Part of the SE Turkey: *International Geology Review*, v. 10, p. 163-171.
- Ziegler, M. A., 2001, Late Permian to Holocene Paleofacies of the Arabian Plate and Its Hydrocarbon Occurrences: *GeoArabia*, v. 6, p. 445-504.
- Organic Geochemistry, v. 4, p. 195-199.
- Lafargue, E., J. Espitalié, F. Marquis and D. Pillot, 1998, Rock-Eval 6 Applications in Hydrocarbon Exploration, Production and in Soil Contamination Studies: In *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, v. 53, p. 421-437.
- Langford, F.F., M. and M., Blanc-Valleron, 1990, Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydrocarbons vs. total organic carbon: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 74, p. 799-804.
- Lewan, M. D., 1987, Petrographic Study of Primary Petroleum Migration in the Woodford Shale and Related Rock Units. In: B. Doligez, (Ed.), *Migration of Hydrocarbons in Sedimentary Basins*, Editions Technip, Paris, p. 113-130.
- Pasley, M., W. Gregory, and G. F. Hart, 1991, Organic Matter Variations in Transgressive and Regressive shales: *Organic Geochemistry*, v. 17, p. 483-509.
- Peters, K. E. and M. R. Cassa, 1994, Applied source rock geochemistry. In: L. B. Magoon and W. G. Dow (Eds), *The Petroleum System - From Source to Trap: American Association of Petroleum Geologists*, Tulsa, p. 93-117.
- Peters, K. E., 1986, Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 70, p. 318-29.
- Reid, C., 2002, The Tasmania Basin-Gondwanan Petroleum System. Partial Report, 22 p., Unpublished.
- Smith, J. T., 1994, Petroleum System Logic as an Exploration Tool in a Frontier Setting. In: L. B., Magoon, and W. G., Dow, (Eds.), *The Petroleum System - From Source to Trap: American Association of Petroleum Geologists Memoir*, v. 60, p. 25-49.
- Snowdon, L. R., 1995, Rock-Eval T_{max} Suppression: Documentation and Amelioration: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 79, p. 1337-1348.
- Tamburini, F., K. B., Follmi, Adatte, T., Bernasconi, S. M., and P. Steinmann, 2003, Sedimentary Phosphorous Record