

مطالعه ژئوشیمیایی و تأثیر کانی ماتریکس بر پتانسیل سنگ‌های منشأ احتمالی هنگام پیرولیز در میدان نفتی رگ سفید، جنوب غرب ایران

بهرام علیزاده، دانشیار گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید چمران*

محدثه جانباز، کارشناسی ارشد، زمین شناسی نفت

مسعود شایسته، کارشناس ارشد، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب

سید حسین حسینی باغسنگانی، مربی گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید چمران

چکیده

در این مطالعه ۴۵ خرده حاصل از حفاری سازندهای پابده و کژدمی میدان نفتی رگ سفید واقع در فروافتادگی دزفول جنوبی مورد آنالیز راک ایول قرار گرفته است. نمودار S_2 در مقابل کل کربن آلی (TOC) نشان داد که تیپ کروژن در این میدان غالباً از نوع II است. مقدار قابل توجه S_2 جذب شده توسط ماتریکس در سازندهای پابده ($2/5-4$ mgHC/gr rock) و کژدمی ($7-12$ mgHC/gr rock) به علت بلوغ کم و نسبت پایین گاز- نفت بوده و علت تغییرات تأثیر ماتریکس در سازند پابده این میدان، تغییر مقادیر TOC می باشد. مقدار کربن آلی فعال در سازندهای پابده و کژدمی به ترتیب $2/22-2/29$ و $1/7-2/25$ درصد وزنی است که بیانگر سنگ منشأیی متوسط تا غنی می باشد. نسبت دگرسازی کروژن در سازندهای مذکور بسیار کم بوده ($0/07-0/15$) و هنوز مقدار قابل توجهی هیدروکربن تولید نکرده اند که با مقادیر پایین T_{max} نیز تأیید می شود. فاکتور گاز- نفت در سازندهای مطالعه شده ($0/2-0/5$) نشان می دهد که پتانسیل نفت زایی آنها بیشتر از پتانسیل گاززایی است. از نقشه های هم ارزش TOC_{oil} و TOC_{gas} در سازند پابده استنباط می شود که عمق حوضه در زمان ته نشست این سازند در شمال غرب و جنوب شرق میدان بیشتر از میانه میدان بوده است. واژه های کلیدی: تأثیر ماتریکس، نسبت گاز- نفت، آنالیز راک ایول، سنگ منشأ، میدان نفتی رگ سفید

(۱) مقدمه

پیرولیز راکایول گسترده‌ترین روش مورد استفاده برای تعیین پتانسیل تولید پترولیوم و بلوغ حرارتی سنگ‌های غنی از ماده آلی است. علیراده و مرادی در سال ۱۳۸۶، با استفاده از آنالیز راکایول و لاگ‌های ژئوشیمیایی تهیه شده، حداکثر کل کربن آلی (Total Organic Carbon, TOC) در میدان نفتی اهواز را تا ۴/۱٪ و در میدان نفتی زیلاپی ۲/۸٪ تخمین زدند و با استفاده از داده‌های راک-ایول، کروژن موجود در هر دو میدان مخلوط نوع II و III تعیین نمودند. بهبهانی و همکاران در سال ۱۳۸۶ از پیرولیز راکایول برای بررسی هیدروکربن زایی سازند پابده در شمال غرب ایلام استفاده نمودند. مطالعات آن‌ها نشان داد که کروژن در سازند مطالعه شده از نوع II و III بوده و براساس میانگین T_{max} (۴۴۱/۳۷) و R_o (۰/۶) نشان دادند که نمونه‌ها در مرحله بالغ و بالای پنجره نفتی قرار دارند.

در استفاده از پیرولیز راکایول برای ارزیابی ویژگی‌های ماده آلی داده‌های S_2 (هیدروکربن‌های تولید شده توسط پیرولیز بر حسب میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ) و TOC (کل کربن آلی سنگ بر حسب درصد وزنی) یک ابزار مناسب است (Yalcin Erik et al. 2006).

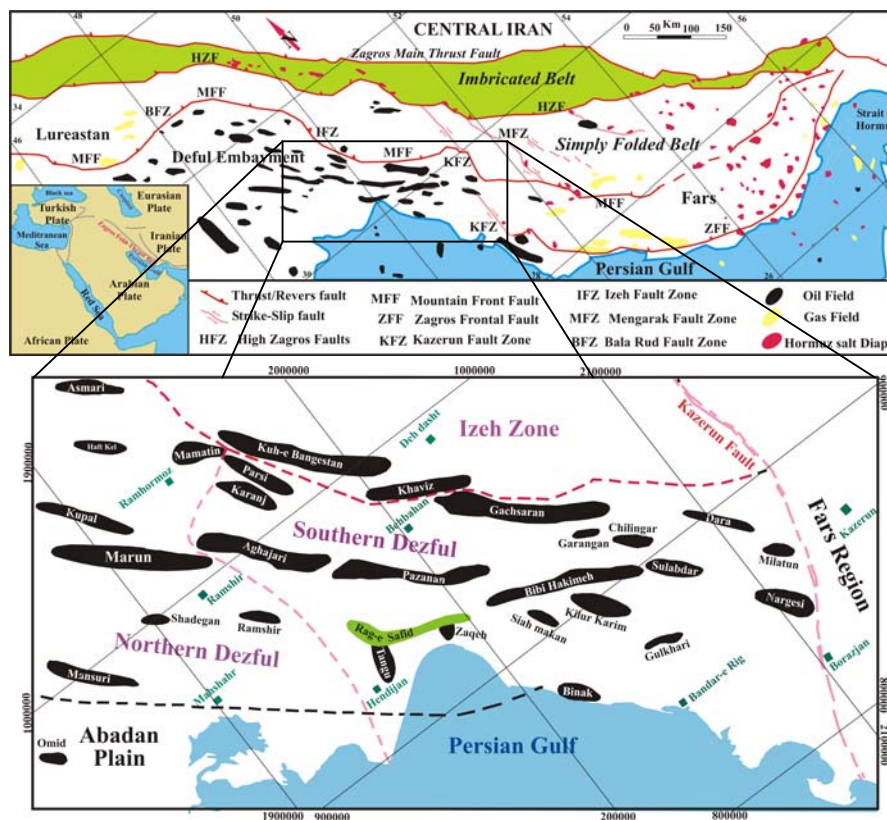
لانگ‌فورد و بلانک والرون در سال ۱۹۹۰ از نمودار S_2 (هیدروکربن‌های تولید شده توسط پیرولیز) در مقابل کل کربن آلی برای تعیین تأثیر ماتریکس و نوع ماده آلی استفاده نمودند (Langford and Blanc-Valleron 1990).

برای دستیابی به مقدار کربن آلی نفت‌زا و گاززا از ضرایبی استفاده می‌شود که از آنالیزهای پیرولیز-کروماتوگرافی گازی (PY-GC) و مطالعات میکروسکوپی کروژن به دست می‌آید (Mukhopadhyay et al. 1985). دال و همکاران در سال ۲۰۰۴ نمودار TOC در مقابل S_2 را برای تعیین تأثیر ماتریکس بر جذب هیدروکربن، مقدار کربن آلی فعال (TOC_{live}) و خنثی (TOC_{inert}) و تعیین مقدار کربن آلی نفت‌زا (TOC_{oil}) و گاززا (TOC_{gas}) به کار بردند. این روش می‌تواند در جاهایی که داده‌های PY-GC و میکروسکوپی کروژن کم هستند، به محققین در تعیین درصد ماده آلی نفت‌زا و گاززا کمک می‌کند، زیرا به علت سهولت روش راکایول نسبت به آنالیز PY-GC و مطالعات پتروگرافی کروژن، بیشتر داده‌های ژئوشیمیایی، داده‌های راکایول هستند (Dahl et al. 2004).

در این مطالعه از نمودار S_2 در مقابل TOC برای تعیین نوع ماده آلی و از نمودار TOC در مقابل S_2 برای تعیین کمی تأثیر ماتریکس، مقدار کربن آلی فعال و خنثی و نیز نسبت کربن آلی نفت‌زا و گاززا در سازندهای پابده و کژدمی میدان نفتی رگ‌سفید به عنوان سنگ‌های منشأ احتمالی استفاده شده است. بررسی‌ها نشان داد که استفاده از نمودار S_2 در مقابل TOC برای تعیین تأثیر ماتریکس (Langford and Blanc-Valleron 1990) نیز نتایج مشابهی را ارائه می‌دهد. به منظور به دست آوردن تصویر جامع از میدان و تفسیرهای دقیق‌تر، نقشه هم-ارزش هر یک از پارامترها تهیه شده است.

حذف سازند ایلام، گورپی و گاهی بخش زیرین سازند پابده شده است، به‌طوری‌که در بخش وسیعی از میدان به‌ویژه در بخش میانی سازند پابده و در قسمت‌های شمالی و جنوب‌شرقی میدان، سازند گورپی (با حداکثر ضخامت ۵۰ متر) با ناپیوستگی بر روی سازند سروک قرار می‌گیرد (چلداوی ۱۳۸۵). به همین علت سازند گورپی به عنوان سنگ منشأ احتمالی در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفته است. موقعیت میدان رگ‌سفید در حوضه زاگرس در شکل (۱) آورده شده است.

(۲) زمین‌شناسی و جایگاه ساختاری منطقه مطالعاتی میدان نفتی رگ‌سفید واقع در فروافتادگی دزفول جنوبی، بین میادین بی‌بی‌حکیمه در شمال‌شرق، پازنان در شمال، رامشیر در غرب و تنگو و زاغه در جنوب قرار گرفته است. این میدان تافیدیسی با طول ۴۹ Km و پهناي Km ۷-۴/۵ به شکل بومرنگ، در ۱۵۰ کیلومتری جنوب-شرقی اهواز، به عرض جغرافیایی $30^{\circ} 30' - 30^{\circ} 10'$ شمالی و طول $49^{\circ} 40' - 50^{\circ} 25'$ شرقی است (طهراب-زاده، ۱۳۸۵). فاز خشکی‌زایی ساب‌هرسینین تمام میدان نفتی رگ‌سفید را تحت تأثیر فرار داده و باعث نبود چینه-ای از تورونین تا پالئوسن شده است. این فاز باعث



شکل (۱) جایگاه میدان نفتی رگ‌سفید در حوضه زاگرس (افتباس از Sepehr et al. 2004)

۳) روش مطالعه

۴۵ نمونه خرده حفاری از سازندهای پابده و کژدمی چاههای شماره ۲، ۱۸، ۹۹، ۳۳، ۱۱۲ میدان نفتی رگ-سفید برای آنالیز راکایول انتخاب شدند. راکایول ۶ آخرین نسل از این دستگاه است که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. در حدود ۶۰ میلی گرم از نمونه پودر و خشک شده خردههای حاصل از حفاری، توزین گردیده و به آون پیرولیز با اکسیژن اتمسفری و دمای 300°C وارد می شود. دما با نرخ $25^{\circ}\text{C}/\text{min}$ افزایش می یابد تا به 750°C برسد. پارامتر S_1 مقدار هیدروکربنهای آزاد شده در 300°C ، پیک S_2 مقدار هیدروکربنهای آزاد شده در پیرولیز برنامه ریزی شده ($300-600^{\circ}\text{C}$) و پیک S_3 مقدار گروههای اکسیژن دار موجود کروژن را نشان می دهند. سپس دمای باقی مانده نمونه به 300°C رسیده و ثابت می ماند. نمونه وارد آون اکسیدان شده که در آن دما با نرخ $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ افزایش می یابد تا به 850°C برسد، سلول Infra Red (IR) مقدار CO_2 نمونه (پیک S_4) را ثبت می کند. کل کربن آلی (TOC) با اکسیداسیون بقایای پیرولیز در آون دوم تعیین می شود. شاخص هیدروژن (Hydrogen Index, HI) مقدار نرمالیز شده S_2 است که به صورت میلی گرم هیدروکربن بر گرم TOC بیان شده و نوع ماده آلی را مشخص می کند.

نتایج این آنالیز در جدول شماره (۱) ارائه شده است.

۴) بحث و بررسی

در این بخش نوع ماده آلی، میزان تأثیر ماتریکس، مقدار کربن آلی خنثی و فعال و نسبت گاز- نفت در سازندهای مطالعه شده با داده های S_2 و TOC مورد بررسی قرار گرفته است.

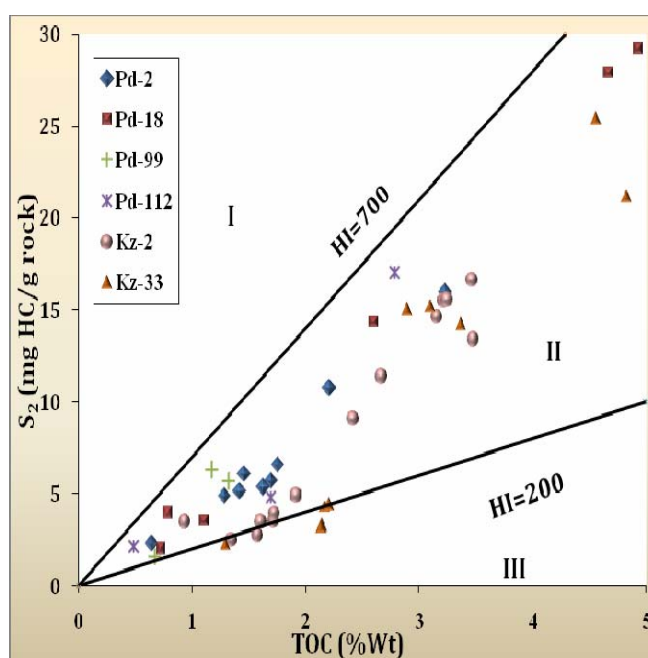
۴-۱) نوع ماده آلی

از دیانگرام S_2 در مقابل TOC برای تعیین نوع کروژن استفاده شده است. در طی پیرولیز، کروژن نوع I، ۸۰ درصد وزنی ($\text{HI}=800\text{ mg HC/gr TOC}$)؛ کروژن نوع II، ۵۰-۶۰ درصد وزنی ($\text{HI}=500-600\text{ mg HC/gr TOC}$) و کروژن نوع III، ۱۵-۳۰ درصد وزنی (mg HC/gr TOC)؛ $\text{HI}=150-300$ هیدروکربن تولید می کند (Espitalie' et al., 1985). بنابراین در این نمودار، mg HC/gr TOC $\text{HI}=700$ (یعنی ماده آلی با ۷۰٪ وزنی هیدروکربن) به عنوان مرز کروژن نوع I و II (زیرا این مقدار بیانگر حد بالایی برای کروژن نوع II است که توسط اسپیتالیه و همکاران در سال ۱۹۸۵ نشان داده شده است) و mg HC/gr TOC $\text{HI}=200$ به عنوان مرز کروژن نوع II و III در نظر گرفته شده است (Langford and Blanc-Valleron 1990). منحنی های ترسیم شده S_2 در مقابل TOC برای سازندهای پابده و کژدمی در میدان نفتی رگ سفید (شکل ۲) نشان می دهد که تیپ کروژن در سازند پابده از نوع II و در سازند کژدمی نیز مخلوطی از نوع II و III و غالباً از نوع II است. بنابراین کروژن در سازندهای مذکور تولیدکننده نفت و گاز می باشد.

جدول ۱) نتایج حاصل از آنالیز راک‌ایول ۶ بر روی نمونه‌های سازندهای پایده و کژدمی در میدان نفتی رگ سفید (در این جدول عمق بر حسب متر، S_1 ، S_2 بر حسب mg HC/gr rock ، S_3 بر حسب $\text{mg CO}_2/\text{gr rock}$ ، HI بر حسب mg HC/gr TOC ، OI بر حسب mg HC/gr CO_2 ، TOC بر حسب $\text{Wt. \%}$ و T_{max} بر حسب درجه سانتیگراد داده شده است). علت افزایش نیافتن T_{max} با عمق در برخی اینتروال‌ها این است که T_{max} علاوه بر بلوغ، به نوع کروژن و پارامترهای دیگری نیز بستگی دارد. اسنودان عنوان کرده است که پارامتر بلوغ حرارتی راک‌ایول (T_{max}) ممکن است به علت حضور بیتومن در پیک S_2 یا وجود کروژن غنی از سولفور، نسبت به واحدهای سنگی اطراف کاهش یابد (Snowdon 1995).

Well	Formation	Depth	S_1	S_2	S_3	HI	OI	TOC	PI	T_{max}
۲	پایده	۲۳۶۰/۵	۱/۱۷	۶/۰۷	۲/۰۸	۴۱۶	۱۴۲	۱/۴۶	۰/۱۶	۴۳۱
		۲۳۸۹	۱/۷۶	۱۵/۹۶	۲/۵۳	۴۹۴	۷۸	۳/۲۳	۰/۱	۴۳۱
		۲۴۲۷	۱/۲۲	۵/۱۴	۲/۲۳	۳۶۲	۱۵۷	۱/۴۲	۰/۱۹	۴۳۱
		۲۴۴۶	۱/۴۴	۱۰/۷۵	۲/۱۳	۴۸۶	۹۶	۲/۲۱	۰/۱۲	۴۲۹
		۲۴۶۱	۱/۳۳	۵/۷	۲/۱۷	۳۳۵	۱۲۸	۱/۷	۰/۱۹	۴۲۲
		۲۴۸۲	۱/۵۴	۴/۸۸	۲/۳۴	۳۷۸	۱۸۱	۱/۲۹	۰/۲۴	۴۲۶
		۲۵۰۰	۱/۳۹	۵/۳۵	۲/۰۲	۳۲۸	۱۲۴	۱/۶۳	۰/۲۱	۴۲۸
		۲۵۱۹	۱/۱۸	۲/۳۲	۲/۴	۳۵۷	۳۶۹	۰/۶۵	۰/۳۴	۴۲۸
		۲۵۵۵	۱/۵۵	۶/۵۸	۲/۶۳	۳۷۴	۱۴۹	۱/۷۶	۰/۱۹	۴۳۲
	کژدمی	۳۳۷۲	۰/۷۸	۳/۴۶	۱/۳۵	۳۷۰	۱۴۵	۰/۹۴	۰/۱۸	۴۳۲
		۳۳۹۲	۱/۴	۱۳/۳۹	۱/۷۶	۳۸۵	۵۱	۳/۴۸	۰/۰۹	۴۳۴
		۳۴۱۰	۱/۴۲	۱۴/۶۱	۱/۴۶	۴۶۲	۴۶	۳/۱۶	۰/۰۹	۴۳۱
		۳۴۲۹	۱/۴	۹/۰۸	۱/۷۹	۳۷۵	۷۴	۲/۴۲	۰/۱۳	۴۲۷
		۳۴۴۵	۱/۷۶	۱۵/۴۹	۱/۵۸	۴۸۱	۴۹	۳/۲۲	۰/۱	۴۳۳
		۳۴۶۴	۱/۸۱	۱۶/۶۳	۱/۷۴	۴۷۹	۵۰	۳/۴۷	۰/۱	۴۲۶
		۳۵۰۲	۰/۴۷	۳/۵۲	۱/۴۹	۲۰۵	۸۷	۱/۷۲	۰/۱۲	۴۲۸
		۳۵۲۰	۰/۵۷	۳/۹۴	۱/۳۴	۲۲۸	۷۷	۱/۷۳	۰/۱۳	۴۲۸
		۳۵۳۷	۰/۷۲	۳/۴۵	۱/۳۱	۲۱۴	۸۱	۱/۶۱	۰/۱۷	۴۳۲
		۳۵۵۵	۰/۵۳	۲/۷۵	۱/۴۶	۱۷۴	۹۲	۱/۵۸	۰/۱۶	۴۳۲
		۳۵۷۳	۰/۴۷	۲/۴۸	۰/۹۷	۱۸۴	۷۲	۱/۳۵	۰/۱۶	۴۳۴
		۳۵۹۲	۰/۷۸	۴/۹۱	۱/۵	۲۵۶	۷۸	۱/۹۲	۰/۱۴	۴۳۱
		۳۶۱۰	۱/۱۱	۱۱/۳۸	۱/۱۸	۴۲۶	۴۴	۲/۶۷	۰/۰۹	۴۲۷
		۳۶۲۴	۱/۱۴	۱۵/۵۵	۱/۷۱	۴۷۸	۵۳	۳/۲۵	۰/۰۷	۴۳۳
۳۳	کژدمی	۲۸۵۶	۱/۶۴	۲۱/۱۵	۱/۷۹	۴۳۸	۳۷	۴/۸۳	۰/۰۷	۴۲۶
		۲۸۷۴	۱/۵۲	۱۴/۲۲	۲/۲۵	۴۲۲	۶۷	۳/۳۷	۰/۱	۴۲۵
		۲۸۹۲	۲/۲۴	۲۵/۳۹	۳/۳۷	۵۵۸	۷۴	۴/۵۶	۰/۰۸	۴۲۲
		۲۹۲۴	۰/۹	۴/۳	۱/۹۴	۱۹۸	۸۹	۲/۱۷	۰/۱۷	۴۳۰
		۲۹۶۰	۱	۳/۲۷	۲/۵۳	۱۵۲	۱۱۸	۲/۱۵	۰/۲۳	۴۳۱
		۲۹۸۰	۰/۷۹	۲/۲۳	۲/۰۲	۱۷۲	۱۵۵	۱/۳	۰/۲۶	۴۲۸
		۳۰۰۲	۱/۱۶	۴/۴	۲/۵۴	۱۹۹	۱۱۵	۲/۲۱	۰/۲۱	۴۳۲
		۳۰۱۸	۰/۹۲	۳/۱۹	۲/۰۲	۱۴۹	۹۵	۲/۱۴	۰/۲۲	۴۳۴
		۳۰۵۶	۱/۵۲	۱۵/۱۸	۲/۴۵	۴۹۰	۹۱	۳/۱	۰/۰۹	۴۲۷
		۳۰۷۴	۱/۱۲	۱۵/۰۲	۱/۸۵	۵۱۸	۶۴	۲/۹	۰/۰۷	۴۳۱
۱۱۲	پایده	۲۲۶۰	۲/۰۷	۱۷/۰۲	۲/۰۳	۶۱۰	۷۳	۲/۷۹	۰/۱۱	۴۱۷
		۲۳۴۶	۱۱/۲۴	۴/۸	۰/۶۳	۲۸۲	۳۷	۱/۷	۰/۷	۴۳۳

		۲۳۸۵	۳/۳۲	۲/۱۳	۰/۶۱	۴۳۵	۱۲۴	۰/۴۹	۰/۶۱	۴۳۱
۱۸	پابده	۲۷۴۴	۰/۹۶	۳/۹۷	۱/۲۹	۵۰۳	۱۶۳	۰/۷۹	۰/۱۹	۴۲۷
		۲۷۹۵	۲/۸۶	۲۹/۲۲	۱/۹۱	۵۹۳	۳۹	۴/۹۳	۰/۰۹	۴۱۸
		۲۸۲۲	۲/۹۶	۲۷/۹۴	۱/۷۲	۵۹۸	۳۷	۴/۶۷	۰/۱	۴۲۳
		۲۸۴۵	۱/۶۷	۱۴/۳۵	۱/۸۱	۵۵۲	۷۰	۲/۶	۰/۱	۴۱۹
		۲۸۹۵	۰/۷۵	۳/۵۴	۲/۴۹	۳۱۹	۲۲۴	۱/۱۱	۰/۱۷	۴۲۹
		۲۹۴۲	۱/۱۷	۲/۰۲	۲/۴۵	۲۷۷	۳۳۶	۰/۷۳	۰/۳۷	۴۳۰
۹۹	پابده	۲۲۹۶	۰/۶۱	۵/۶۷	۲/۸۷	۴۲۶	۲۱۶	۱/۳۳	۰/۱	۴۲۵
		۲۴۰۰	۰/۵۸	۶/۲۹	۲/۲۹	۵۳۳	۱۹۴	۱/۱۸	۰/۰۹	۴۲۶
		۲۴۵۰	۰/۲۸	۱/۵۴	۲/۲۳	۲۲۶	۳۲۸	۰/۶۸	۰/۱۵	۴۳۲



شکل ۲) تعیین نوع کروژن با استفاده از داده های S_2 و TOC در سازندهای پابده و کژدمی در نفتی میدان رگ سفید

است که فرایند شکست رخ می دهد (Espitalie' et al. 1980). با استفاده از نمودار TOC vs. S_2 می توان مقدار کمی ماتریکس را محاسبه نمود. شیب خط رگرسیون در این نمودار (a در معادله ۱)، $1/HI_{live}$ است که HI_{live} شاخص هیدروژن کربن آلی فعال می باشد

۲-۴) تأثیر ماتریکس کانی (Mineral Matrix Effect)

تأثیر ماتریکس می تواند S_2 حاصل از پیرولیز را کاهش دهد و در نتیجه باعث کاهش شاخص هیدروژن و کیفیت سنگ منشأ شود که به علت باقی ماندن هیدروکربن های با وزن مولکولی بالا در سنگ، تا زمانی

مقدار ماتریکس و ماده آلی خشتی در سازندهای پابده و کژدمی میدان نفتی رگ سفید، در شکل (۳) آورده شده است. قطع شدن محور منفی x (S_2) توسط خط رگرسیون در سازندهای پابده و کژدمی میدان رگ سفید و مقدار آن که به ترتیب $2/5-4$ mgHC/gr و $2/5-4$ mgHC/gr rock می‌باشد، نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه ماتریکس است. تأثیر ماتریکس در جذب TOC در این میدان تا حدی است که مقدار کربن آلی جذب شده در سازند کژدمی چاه شماره ۳۳ حتی به یک درصد وزنی نیز می‌رسد.

نقشه هم‌ارزش S_2 جذب‌شده برای سازند پابده (شکل ۴) نشان می‌دهد که مقدار S_2 جذب شده از جنوب شرق میدان به سمت میانه میدان در حال افزایش است، به طوری که در چاه شماره ۹۹ به بیشترین مقدار خود می‌رسد و پس از آن به سمت کوهانک غربی (در چاه شماره ۲) کاهش و به سمت چاه شماره ۱۱۲ دوباره افزایش می‌یابد (از آنجا که تنها دو چاه در مخزن خامی حفاری شده‌اند و مکان آنها بسیار به هم نزدیک است ترسیم منحنی‌های هم‌ارزش برای سازند کژدمی معنی‌دار نخواهد بود).

(این روش برای ارزیابی تک‌تک نمونه‌ها کاربردی ندارد و پارامترهای حاصل یک مقدار میانگین نسبی برای داده‌ها است). معادله خط رگرسیون به صورت:

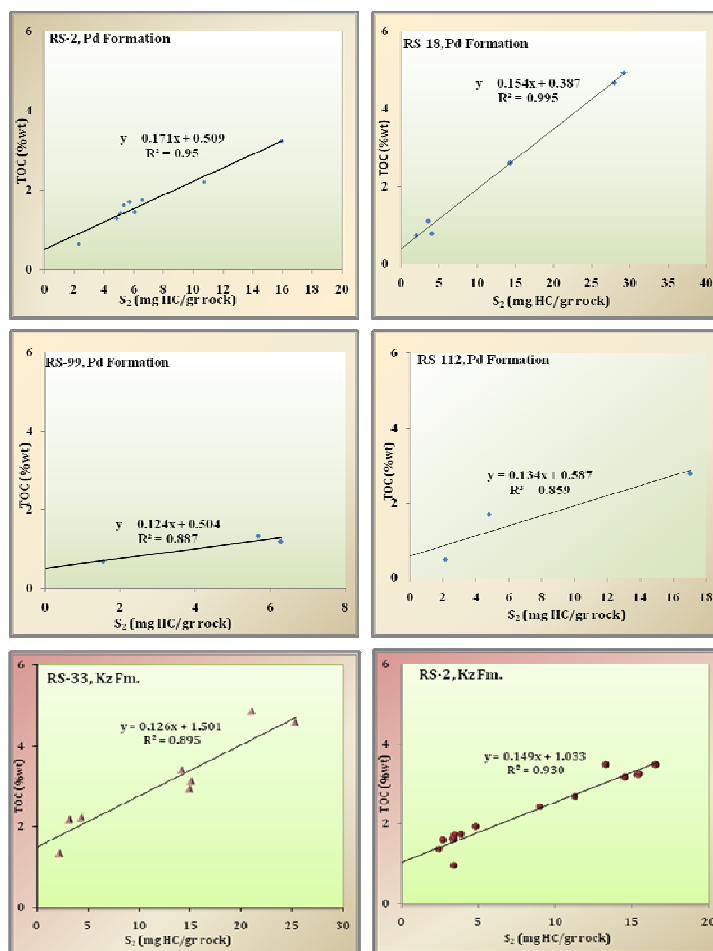
$$TOC = aS_2 + b \quad (\text{معادله ۱})$$

$$a = TOC/S_2 = 100/HI \quad (\text{معادله ۲})$$

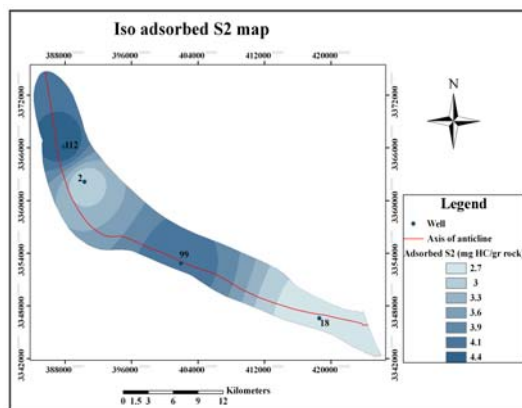
زیرا شاخص هیدروژن به صورت $HI = 100S_2/TOC$ تعریف شده است (Dahl et al. 2004).

در حالت ایده‌آل خط رگرسیون باید از مبدأ ($b=0$) عبور کند، اما این حالت تنها در مواردی استثنایی رخ داده و معمولاً خط رگرسیون محور y (TOC) را قطع می‌کند.

این جابجایی (b)، حاصل تأثیر کربن آلی خشتی (Cornford 1994) و تأثیر ماتریکس (Langford and Blanc-Valleron 1990) در طی پیرولیز است. برای تعیین تأثیر ماتریکس، محل برخورد خط رگرسیون با محور x در فاکتور استوکیومتری (α) ضرب شده تا مقدار کربن آلی جذب شده توسط ماتریکس (TOC_{adsorb}) به صورت کمی درآید (تیسوت و ولته در سال ۱۹۷۸ با استفاده از آنالیزهای عنصری، مقدار میانگین این فاکتور را برای نفت‌ها ۰/۰۸۴ مشخص نموده‌اند (Tissot and Welte 1978)). نمودارهای S_2 در مقابل TOC تعیین



شکل ۳) ترسیم خط رگرسیون در سازندهای پابده (Pd) و کزدمی (Kz) در چاههای مطالعه شده میدان نفتی رگ سفید



شکل ۴) نقشه هم‌ارزش مقدار S₂ جذب شده در سازند پابده میدان نفتی رگ سفید

میزان بلوغ است که با تأثیر ماتریکس رابطه معکوس دارد و در بخش بعد توضیح داده شده است) باشد. نقشه‌های هم‌ارزش GORP (شکل ۷ ب) نیز نشان می‌دهد که نسبت گاز به نفت از جنوب شرق میدان به سمت شمال غرب میدان کاهش می‌یابد که این روند نیز با روند افزایش تأثیر ماتریکس هم‌خوانی ندارد. نقشه هم‌ارزش مقدار $TOC_{observed}$ (شکل ۵ الف) در سازند پابده میدان نفتی رگ سفید نشان می‌دهد که این سازند در چاه‌های شماره ۲ و ۱۸ بیشترین مقدار TOC و در چاه‌های شماره ۱۱۲ و ۹۹ کمترین مقدار TOC (به ترتیب ۱/۶۶ و ۱/۰۶ درصد وزنی) را داراست. در نمونه‌های با TOC پایین ($> ۱/۵$ درصد وزنی) پیرولیز کل سنگ منجر به HI پایین و OI بالاتری نسبت به پیرولیز کروژن خالص می‌شود (Hunt 1996). بنابراین علت اصلی تغییرات تأثیر ماتریکس در سازند پابده میدان نفتی رگ سفید را می‌توان تغییرات TOC فلمداد نمود.

۳-۴) تعیین مقدار کربن آلی فعال (TOC_{live}) و خنثی (TOC_{inert})

مقدار کربن آلی فعال از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$TOC_{live} = TOC_{observed} - TOC_{inert} \quad (\text{معادله ۳})$$

برای تعیین مقدار کربن آلی خنثی (TOC_{inert})، میزان TOC جذب شده توسط ماتریکس (TOC_{adsorb}) از مقدار برخورد خط رگرسیون و محور y (b) کم می‌شود (Dahl et al. 2004). نتایج در جدول شماره (۲) ارائه شده است.

هر چند که کانی‌های رسی مهمترین عامل جذب هیدروکربن هستند (Yalcin Erik et al. 2006)، اما از آنجا که غالب سنگ‌های منشأ حوضه رسوبی زاگرس، عمدتاً دارای ماتریکس کربناته هستند (حسینی و همکاران، ۱۳۸۵)، احتمال اینکه در میدان رگ سفید رس-ها باعث جذب هیدروکربن شده باشند، بسیار کم است. در سازندهای مورد مطالعه بلوغ پایین بوده و نسبت گاز-نفت (Gas-Oil Ratio Potential, GORP) نیز کم است (این فاکتور در بخش بعدی توضیح داده شده است). فجرک در سال ۱۳۸۷ عنوان نموده است که بلوغ کم و نسبت پایین گاز-نفت باعث می‌شود نمونه در طول پیرولیز هیدروکربورهای سنگین تولید نموده و با توجه به اینکه ماتریکس معدنی نیز هیدروکربورهای سنگین تولید شده در طول پیرولیز را جذب می‌کند، تأثیر آن افزایش می‌یابد. بنابراین به صورت کلی می‌توان افزایش قابل توجه مقدار S_2 جذب شده در سازندهای مطالعه شده در میدان نفتی رگ سفید نسبت به میادین دیگر در فروافتادگی دزفول نظیر مارون (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۴) و زیلابی (مطهری، ۱۳۸۵) را بلوغ کم این سازندها دانست. علاوه بر این همانگونه که ذکر شد، تغییراتی نیز در مقدار S_2 جذب شده در سازند پابده در بخش‌های مختلف میدان (شکل ۴) دیده می‌شود. مقایسه نقشه هم‌ارزش نسبت دگرسانی کروژن Transformation (Ratio, TR) (شکل ۷ الف) و مقدار S_2 جذب شده ناشی از تأثیر ماتریکس (شکل ۴) نشان می‌دهد که تغییرات موجود در مقدار S_2 جذب شده نمی‌تواند به علت تغییرات بلوغ (نسبت دگرسانی کروژن شاخصی از

جدول ۲) نتایج حاصل از ترسیم خط رگرسیون در نمودار S_2 در مقابل TOC در میدان رگ سفید

سازند	چاه	HI	HI	S_2	S_2	TOC	TOC	TOC	TOC
پابده	۱۱۲	۴۴۲	۷۶۹	۸	۴/۳۸	۱/۶۶	۰/۳۷	۰/۲۱۷	۱/۴۴۳
	۲	۳۴۰	۵۸۵	۷/۴	۲/۹۸	۱/۸۱	۰/۲۵	۰/۲۵۹	۱/۵۵
	۹۹	۳۹۵	۸۰۶	۴/۵	۴/۰۶	۱/۰۶	۰/۳۴	۰/۱۶	۰/۲۱۷
	۱۸	۴۶۰	۶۵۴	۱۳/۵۱	۲/۵۱	۲/۴۷	۰/۲۱	۰/۱۷۷	۲/۲۹۳
کژدمی	۲	۳۳۲	۶۷۱	۷/۷۶	۶/۹۳	۲/۱۴	۰/۵۸	۰/۴۵۳	۱/۶۹
	۳۳	۳۲۵	۷۹۴	۱۰/۰۷	۱۱/۹۱	۲/۷۵	۱	۰/۵۰۱	۲/۲۵

وزنی قرار دارد که براساس تقسیم‌بندی آور در سال ۱۹۸۰ (جدول شماره ۳) سازندهای مذکور پتانسیل متوسط تا غنی برای نفت‌زایی دارند (Ower, 1980).

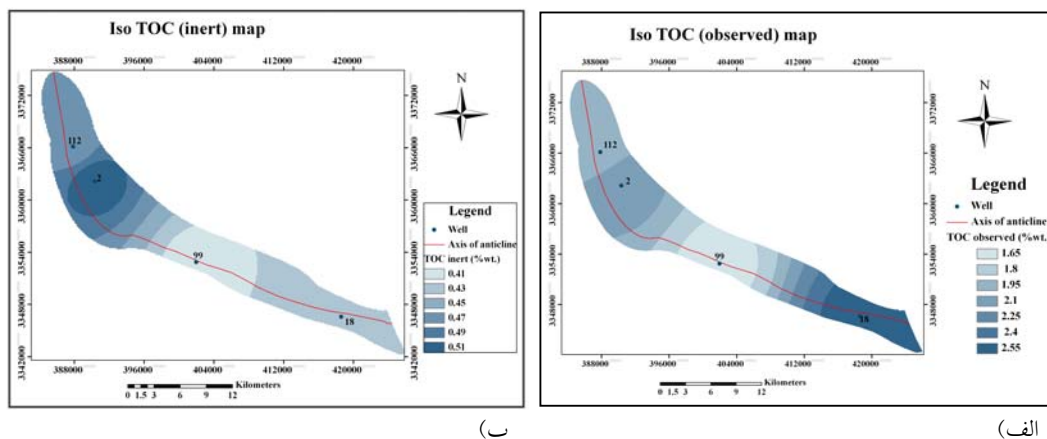
میانگین کربن آلی فعال در سازند کژدمی از ۲/۲۵ درصد وزنی در چاه ۳۳ تا ۱/۷ درصد وزنی در چاه ۲ تغییر می‌کند و سازند پابده در محدوده ۲/۲۹-۰/۲۲ درصد

جدول ۳) تقسیم‌بندی سنگ‌های منشأ هیدروکربنی براساس محتوی کل کربن آلی (Ower 1980)

میزان کل کربن آلی (TOC) (درصد وزنی)	> 0.5	$0.5-1$	$1-2$	$2-10$
میزان غنی‌شدگی (توان تولید هیدروکربن)	ضعیف	متوسط	خوب	غنی

کربن آلی خنثی در این سازند از جنوب شرق (چاه شماره ۱۸) به سمت شمال غرب میدان افزایش می‌یابد.

در این میدان مقدار کربن آلی خنثی در سازند پابده در محدوده ۰/۲۶-۰/۱۶ درصد وزنی و در سازند کژدمی در حدود ۰/۵ درصد وزنی است. نقشه هم‌ارزش TOC_{inert} در سازند پابده (شکل ۵ ب) نشان می‌دهد که مقدار



شکل ۵) نقشه هم‌ارزش کل کربن آلی (الف) و کربن آلی فعال (ب) در سازند پایده میدان نفتی رگ‌سفید

S_2 مقابل TOC با نسبت‌های معین نفت به گاز، تهیه و روی نمودار S_2 در مقابل TOC سازند مربوطه طوری قرار داده می‌شود که مبدأ آن در محل برخورد خط رگرسیون با محور y (b) قرار گیرد. سپس درصد جزء نفت‌زا (m) و گاززا (n) از روی آن فرانت و GORP با استفاده از معادله (۸) تعیین می‌شود (Dahl et al. 2004).

۴-۴) ترکیب کروژن فعال

با استفاده از نمودار TOC در مقابل S_2 می‌توان درصد ماده آلی نفت‌زا و گاززا را تعیین نمود. برای تعیین مقدار کربن آلی نفت‌زا و گاززا، باید فاکتور GORP تعیین شود. برای به‌دست آوردن این نسبت از پارامتر TR استفاده می‌شود، علاوه بر این باید TOC به مقدار اولیه خود (پیش از دگرسانی) بازگردانده شود. با استفاده از معادله (۶) و مقدار TR هر سازند (معادله ۷)، نمودارهای

(معادله ۶)

$$TOC_{restored} = TOC_{observed} + [S_{2observed} TR / (1 - TR)] \alpha$$

α ضریب استوکیومتری است و اسپیتاله و بردناو در سال ۱۹۹۳، TR را به‌صورت زیر تعریف کرده‌اند (معادله ۷) (Espitalie' and Bordenave 1993)

$$TR = (HI_o - HI_z) / HI_o \quad (\text{معادله ۷})$$

نمودارهای ترسیم شده برای میدان رگ‌سفید در شکل (۶) ارائه شده‌اند.

HI_o ، میانگین HI نمونه‌های نابالغ و HI_z شاخص هیدروژن در اعماق مختلف است.

$$GORP = n / (m + n) \quad (\text{معادله ۸})$$

$$TOC_{oil} = TOC_{live, restored} (1 - GORP) \quad (\text{معادله ۹})$$

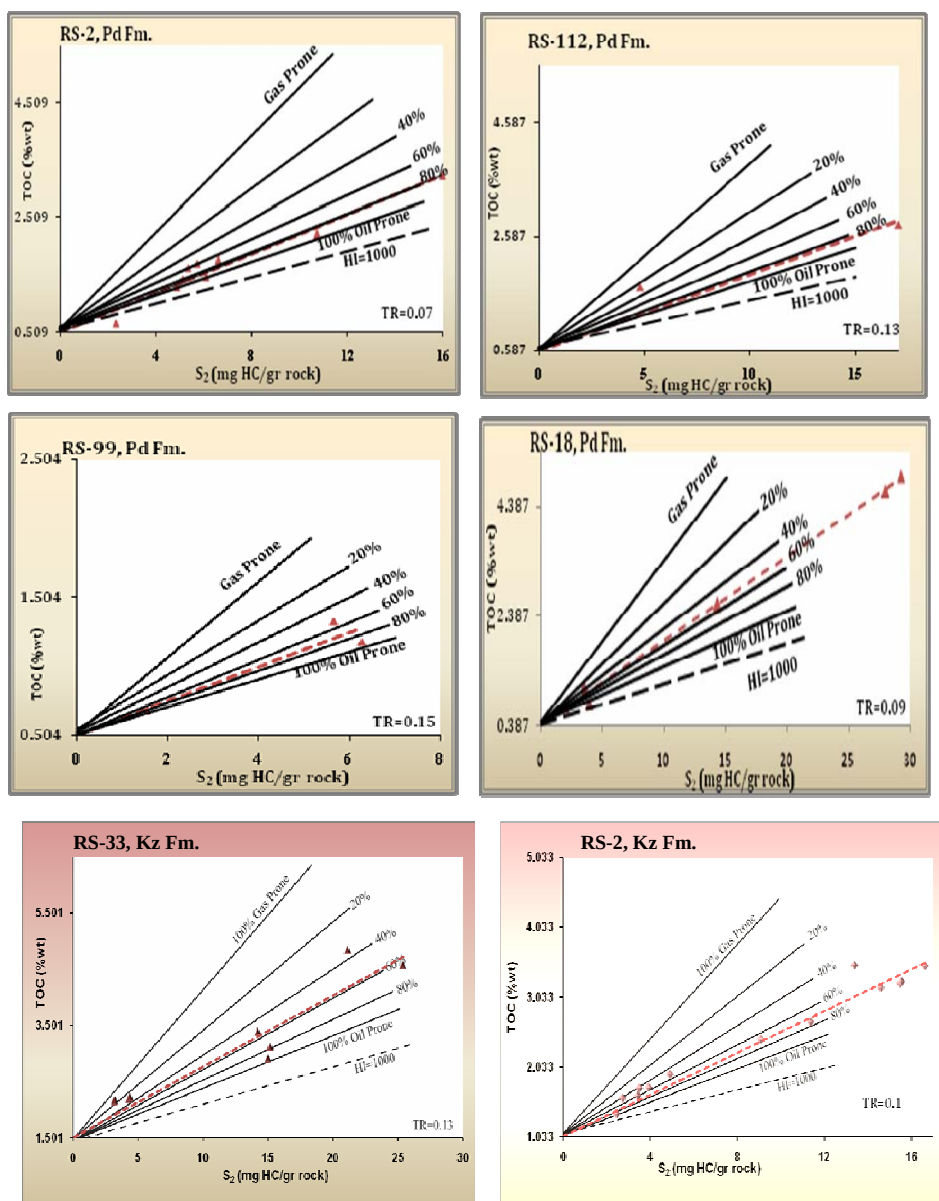
$$TOC_{gas} = TOC_{live, restored} GORP \quad (\text{معادله ۱۰})$$

مؤلفه‌های تولید کننده نفت و گاز TOC، به ترتیب

TOC_{oil} و TOC_{gas} نامیده شده و به صورت زیر محاسبه

می‌شوند (Dah et al., 2004).

نتایج محاسبات در سازند پایده و کژدمی میدان نفتی رگ سفید در جدول شماره ۴ آورده شده است.



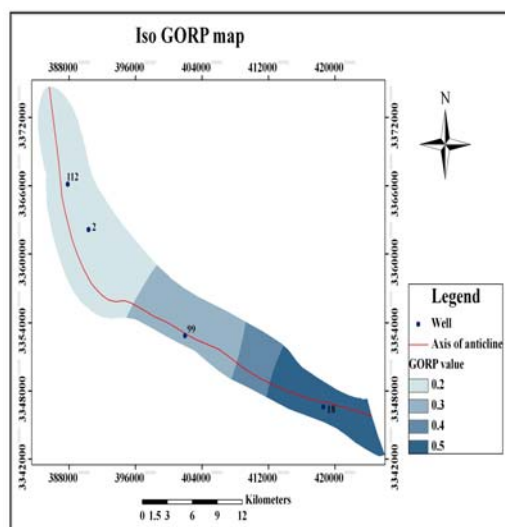
شکل ۶) نمودارهای ترسیم شده برای تعیین GORP در سازندهای پایده (Pd) و کژدمی (Kz) میدان نفتی رگ سفید

جدول ۴) تعیین درصد ماده‌آلی نفت‌زا و گاززا در سازندهای پابده و کژدمی میدان نفتی رگ سفید (در این جدول S_2 بر حسب

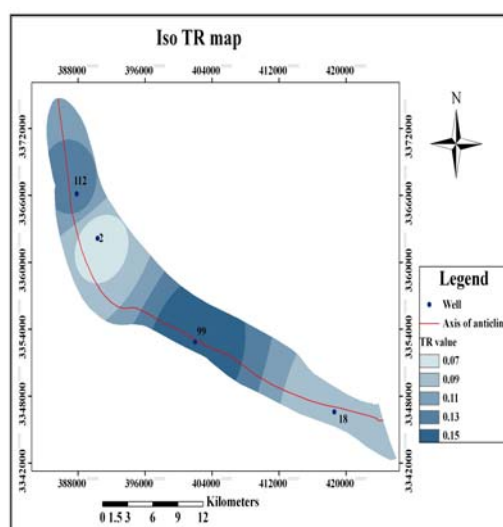
TOC و mg HC/gr rock برحسب درصد وزنی داده شده‌اند												
سازند	چاه	TR	S_2	S_2	S_2 lost	TOC	TOC	GORP	TOC	TOC	S_2 oil	S_2 gas
			observ	restore		lost	restore		II	III		
پابده	۱۱۲	۰/۱۳	۸	۹/۱۹	۱/۱۹	۰/۱	۱/۵۴	۰/۲	۱/۲۳	۰/۳۱	۷/۳۵	۱/۸۴
	۲	۰/۰۷	۷/۴	۷/۹۶	۰/۵۶	۰/۰۵	۱/۶	۰/۲	۱/۲۸	۰/۳۲	۶/۳۷	۱/۵۹
	۹۹	۰/۱۵	۴/۵	۵/۲۹	۰/۷۹	۰/۰۷	۰/۹۷	۰/۳	۰/۶۸	۰/۲۹	۳/۷	۱/۵۹
	۱۸	۰/۰۹	۱۳/۵۱	۱۴/۸۵	۱/۳۴	۰/۱۱	۲/۴	۰/۵	۱/۲	۱/۲	۷/۴۲	۷/۴۲
کژدمی	۲	۰/۱	۷/۷۶	۸/۶۲	۰/۸۶	۰/۰۷	۱/۷۶	۰/۳	۱/۲۳	۰/۵۳	۶/۰۳	۲/۵۹
	۳۳	۰/۱۳	۱۰/۰۷	۱۱/۵۷	۱/۵	۰/۱۲۶	۲/۴۸	۰/۴	۱/۴۹	۰/۹۹	۶/۹۴	۴/۶۳

هم‌ارزش GORP سازند پابده (شکل ۷ ب) نسبت کربن آلی نفت‌زا (TOC_{oil}) به کربن آلی گاززا (TOC_{gas}) در این سازند از جنوب‌شرق به سمت شمال غرب میدان افزایش می‌یابد.

مقدار فاکتور GORP در سازندهای پابده و کژدمی میدان نفتی رگ سفید (۰/۲-۰/۵) نشان می‌دهد پتانسیل نفت-زایی این سازندها بیشتر از پتانسیل گاززایی آنها است، اما با توجه به مقدار پایین TR و T_{max} این پتانسیل به صورت دست نخورده باقی مانده است. با توجه به نقشه



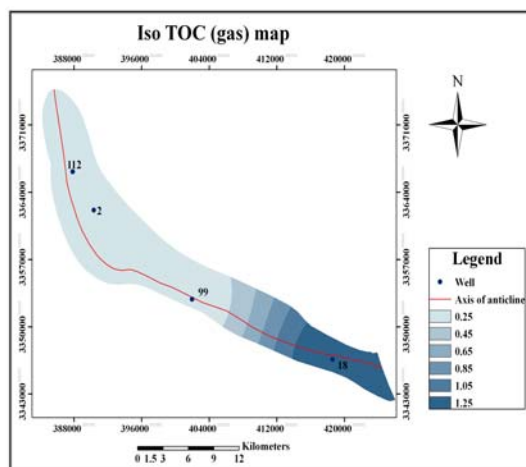
(ب)



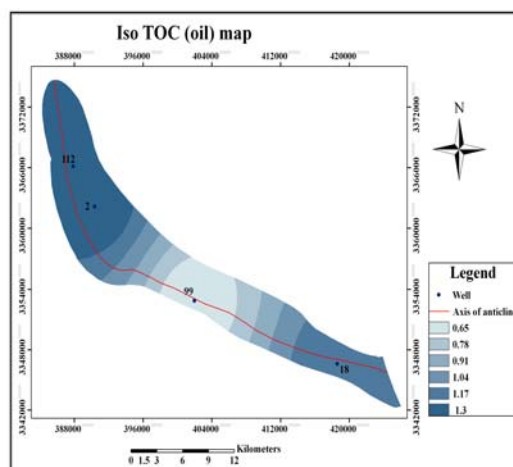
(الف)

شکل ۷) نقشه‌های هم‌ارزش TR (الف) و GORP (ب) در سازند پابده میدان نفتی رگ سفید.

کاهش می‌یابد، در حالی که مقدار کربن آلی گاززا (شکل ۸ ب) از شمال غرب میدان به سمت جنوب شرق میدان افزایش می‌یابد.



(ب)



الف

شکل ۸) نقشه هم‌ارزش کربن آلی نفت‌زا (الف) و گاززا (ب) در سازند پابده میدان نفتی رگ سفید

نمودار S_2 -TOC روش مناسبی برای تفسیر داده‌های راکایول است که در تعیین نوع کروژن، تعیین کمی تأثیر ماتریکس در جذب هیدروکربن‌ها، مقدار کربن آلی خنثی، نسبت گاز-نفت، به ویژه در جایی که مطالعات تکمیلی مانند PY-GC و یا انعکاس ویتربایت برای تعیین ضرایب تولید نفت و گاز در سنگ‌منشأ در دسترس نباشند، بسیار مؤثر است. براساس این نمودار، کروژن در سازند پابده از نوع II و در سازند کژدمی مخلوطی از نوع II و غالباً از نوع II است که تولید کننده نفت و گاز می‌باشد. میانگین کربن آلی فعال آنها (در سازند کژدمی

با توجه به این نقشه‌ها، در شمال غربی میدان مقدار کربن آلی نفت‌زا، درمیان میدان مقدار کربن آلی گاززا و در جنوب شرق میدان به صورت مساوی از هر دو نوع کربن آلی وجود دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت عمق حوضه (در زمان ته‌نشست پابده) در شمال غرب و جنوب شرق میدان بیشتر از میانه میدان (چاه شماره ۹۹) بوده، زیرا مقدار کربن آلی فاره‌ای در این بخش از میدان افزایش یافته است.

(۵) نتیجه‌گیری

- بهیانی، ر.، خدابخش، س.، محسنی، ح.، آتش‌مرد، ز.، ۱۳۸۶ بررسی پتانسیل هیدروکربن‌زایی سازند پابده (پالئوژن) (شمال غرب ایلام) براساس مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمی آلی، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم پایه)، جلد ۲۷.

- حسینی، س. ح.، علیزاده، ب.، فلاوند، ه.، ۱۳۸۵، تعیین میزان جذب هیدروکربن توسط کانی‌های رسی موجود در ماتریکس سنگ‌منشأ سازند سرگلو در میدان نفتی مسجد سلیمان. بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- جلداوی، ع.، ۱۳۸۵، لیتواستراتیگرافی و بایواستراتیگرافی رسوبات کرتاسه بالایی در میدان نفتی رگ سفید با تأکید بر عملکرد فاز کوهزایی ساب‌هرسی-نین، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.

- فجرک، م.، ۱۳۸۷، مطالعه ژئوشیمیایی مخزن بنگستان میدان نفتی مارون، رساله کارشناسی ارشد زمین‌شناسی نفت، دانشگاه شهید چمران اهواز.

- طهراب‌زاده، م.، ۱۳۸۵، مطالعه زمین‌شناسی مخزن نفت آسماری میدان نفتی رگ سفید، گزارش شماره پ-۵۹۵۴، مناطق نفت‌خیز جنوب.

- علیزاده، ب.، آدابی، م. ح.، تژه، ف.، ۱۳۸۴، ارزیابی پتانسیل هیدروکربورزائی سنگهای منشأ احتمالی در میدان نفتی مارون با استفاده از دستگاه پیرولیز راک - ایول ۶، مجله علوم دانشگاه تهران.

از ۲/۲۵-۱/۷ درصد وزنی و در سازند پابده ۲/۲۹-۰/۲۲ درصد وزنی) نشان می‌دهد که از لحاظ پتانسیل نفت‌زایی در محدوده متوسط تا غنی قرار دارند و مقدار کربن آلی خنثی ۰/۱۶-۰/۲۶ در سازند پابده و ۰/۵ درصد وزنی در سازند کژدمی است. با توجه به فاکتور GORP پتانسیل نفت‌زایی سازندهای مطالعه شده بیشتر از پتانسیل گاززایی آن‌ها است و پتانسیل نفت‌زایی در سازند پابده از جنوب شرق میدان به سمت شمال غرب میدان افزایش می‌یابد. تأثیر ماتریکس در سازند پابده و کژدمی در میدان نفتی رگ سفید قابل توجه است (به ترتیب mgHC/gr rock ۲/۵-۴ و mg HC/gr rock ۷-۱۲) به‌طوری که در سازند کژدمی چاه شماره ۳۳ باعث جذب حدود ۱٪ وزنی از کل کربن آلی (TOC) شده است. چنین تأثیر قابل توجهی می‌تواند به علت بلوغ حرارتی پایین سنگ‌های منشأ مطالعه شده ($T_{\text{max}} < 430^{\circ}\text{C}$, $TR \sim 0.1$) و نسبت پایین گاز - نفت آن‌ها باشد. با توجه به نقشه‌های هم‌ارزش GORP، TR و TOC_{observed} ، علت تغییرات مقدار هیدروکربن جذب‌شده در سازند پابده تغییرات TOC است. با توجه به نقشه‌های هم‌ارزش مقدار کربن آلی نفت‌زا و گاززا در سازند پابده می‌توان نتیجه گرفت که عمق حوضه در زمان ته‌نشست پابده در شمال غرب و جنوب شرق میدان بیشتر از میانه میدان (چاه شماره ۹۹) بوده است.

منابع

- Langford, F.F., Blanc-Valleron, M.-M., 1990, Interpreting Rock-Eval pyrolysis data using graphs of pyrolyzable hydrocarbons vs. total organic carbon. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 74, v. 6, p. 799–804.
- 16- Mukhopadhyay, P.K., Hagemann, H.W., Gormly, J.R., 1985, Characterization of kerogens as seen under the aspect of maturation and hydrocarbon generation. Erdöl u. Kohle Edgas – Petrochem. V. mit Brennstoff-Chem, v. 38, p. 7–18.
- 17- Ower, J., 1980, Elements of geochemistry in petroleum exploration, North Wales. Robertson research institute, London.
- 18- Sepehr, M., Cosgrove, J.W., 2004, Structural framework of the Zagros Fold–Thrust Belt, Iran: Marine and Petroleum Geology, v. 21, p. 829–843.
- 19- Snowdon, L. R., 1995, Rock-Eval T_{max} suppression: Documentation and amelioration: AAPG Bulletin, v. 79, p. 1337–1348.
- 20- Tissot, B.P., Welte, D.H., 1978, Petroleum Formation and Occurrence. Springer, Berlin.
- 21- Yalcin Erik, N., Özçelik, O., Altunsoy, M., 2006, Interpreting Rock–Eval pyrolysis data using graphs of S_2 vs. TOC: Middle Triassic–Lower Jurassic units, eastern part of SE Turkey: Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 53, p. 34–46.
- علیزاده، ب.، مرادی، م.، ۱۳۸۶، مقایسه ژئوشیمیایی سازند پایده در میادین نفتی زیلایی و اهواز، مجله علوم دانشگاه شهید چمران، شماره ۱۷، ص ۳۳-۴۵.
- مطهری، ح.، ۱۳۸۶، بررسی ژئوشیمیایی سنگ‌های منشأ احتمالی در افق‌های مختلف میدان نفتی زیلایی، رساله کارشناسی ارشد، گرایش نفت، دانشکده علوم دانشگاه شهید چمران.
- Cornford, C., 1994, The Mandal-Ekofisk(!) Petroleum System in the Central Graben of the North Sea. In: Magoon, L.B., Dow, W.G. (Eds.), From Source to Trap: AAPG Memoir, v. 60, p. 537–571.
- Dahl, B., Bojesen-Koefoed, J., Holm, Justwan, H., Rasmussen, E., Thomsen, E., 2004, A new approach to interpreting Rock-Eval S_2 and TOC data for kerogen quality assessment: Organic Geochemistry. v. 35, p. 1461–1477.
- Espitalie', J., Madec, M., Tissot, B., 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.
- Espitalie', J., G. Deroo., Marquis., F, 1985, La Pyrolyse Rock-Eval et ses applications, Revue de l'Institut Francais du Pe'trole, v. 40, p. 755-784.
- Espitalie', J., Bordenave, M.L., 1993, Rock-Eval pyrolysis. In: Bordenave, M.L. (Ed.), Applied Petroleum Geochemistry. Editions Technip, Paris, p. 237–261.
- Hunt, J.M., Petroleum Geochemistry and Geology, second ed. Freeman, New York, 1996,