



ارزیابی ژئوشیمیایی سازند گرو در برش تنگ‌شنگ واقع در جنوب الیگودرز*

سارا امیدوارعسکری^{۱*}، محمود معماریانی^۲، عزت‌الله کاظم‌زاده^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی نفت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زرنده، زرنده، ایران

۲- استادیار زمین‌شناسی نفت، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۳- استادیار زمین‌شناسی نفت، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

* عهده‌دار مکاتبات: somidvar1986@gmail.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۲/۹، پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۴/۱۴

چکیده

به منظور ارزیابی ژئوشیمیایی سازند گرو در برش تنگ‌شنگ در جنوب الیگودرز، ۱۴ نمونه از رخنمون‌های سطحی جمع‌آوری و بررسی شد. نتایج به‌دست آمده از ارزیابی‌های مقدماتی با استفاده از دستگاه پیرولیز راکاویل II، حاکی از این است که سازند گرو از نظر غنا و محتویات مواد آلی بسیار خوب بوده و پتانسیل هیدروکربن‌زایی خوبی دارد. غنای مواد آلی (کل کربن آلی (TOC)، نمونه‌ها بین دست‌کم ۰/۸۸ تا حداکثر ۵/۷۱ درصد است و کیفیت مواد آلی از نظر شاخص هیدروژن (HI) بین ۲۹۸ تا ۶۱۰ (میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم کل کربن آلی) موجود در نمونه بسیار خوب بوده، خصوصیات کروژنی با کیفیت خوب، غالباً از نوع II و به مقدار کمتری کروژن نوع I با کیفیت بهتر را به نمایش می‌گذارد. میزان بلوغ مواد آلی در این سازند بر اساس پارامتر (TMAX) بین ۴۲۱ تا ۴۴۳ درجه سانتی‌گراد است. این سازند در مقطع مورد مطالعه با ورود به پنجره نفت‌زایی (مرحله کاتازن)، پتانسیل خوبی برای تولید هیدروکربن سیال (نفت) نشان می‌دهد. با توجه به شاخص‌های هیدروژن و اکسیژن، مواد آلی این سازند در محیط رسوبی دریایی رسوب کرده و شرایط کاهیدگی خوبی نیز داشته است. در تعیین رخساره‌های آلی سنگ منشأ، بر اساس نمودار نسبت مقادیر شاخص هیدروژن (HI) در برابر شاخص اکسیژن (OI) نمونه‌ها و رسم آنها در برابر یکدیگر، مشخص شد که مواد آلی موجود در این سازند از جلیک‌های دریایی همراه با اندکی مواد آلی با منشأ خشکی تشکیل شده است. مطالعه زیست‌نشانه‌های نمونه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که منشأ مواد آلی این سازند عمدتاً متعلق به دریای باز بوده هرچند آثاری از مواد آلی با منشأ دلتایی همراه با ورود مقداری مواد آلی قاره‌ای نیز دیده می‌شود. نمونه‌های مورد نظر با استفاده از روش طیف‌سنجی جرمی ارزیابی شد که با مقایسه نسبت هویان‌های منظم C29/C30 در برابر هوموهوریان‌های C34/C35، سنگ‌نگاری سازند مورد نظر شیلی و به مقدار کمتر کرناتی تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: سنگ منشأ، پیرولیز راکاویل، زیست‌نشانه‌گر، سازند گرو، مقطع تنگ‌شنگ

۱- مقدمه

هزینه‌های اکتشافی و به‌ویژه هزینه‌های حفاری را کاهش دهد و با تمامی سعی خود از میزان ریسک عملیات اکتشافی بکاهد تا در مناطقی حفاری کنند که احتمال دستیابی به نفت و گاز زیاد باشد (اشکان، ۱۳۸۳) (Taherkhani, 2006).

هدف از این تحقیق بررسی نتایج به‌دست آمده از تجزیه مقدماتی (پیرولیز راکاویل) نمونه‌های سطحی جمع‌آوری شده از سازند گرو در میدان تنگ‌شنگ در جنوب الیگودرز به‌عنوان سنگ منشأ احتمالی است. در این ارتباط وضعیت سنگ مادر احتمالی گرو از نظر غنای کربن آلی نوع کروژن، میزان پختگی (بلوغ) ماده آلی، رتبه‌بندی سنگ مادر و میزان پتانسیل هیدروکربن‌زایی نیز تحلیل و بررسی شد.

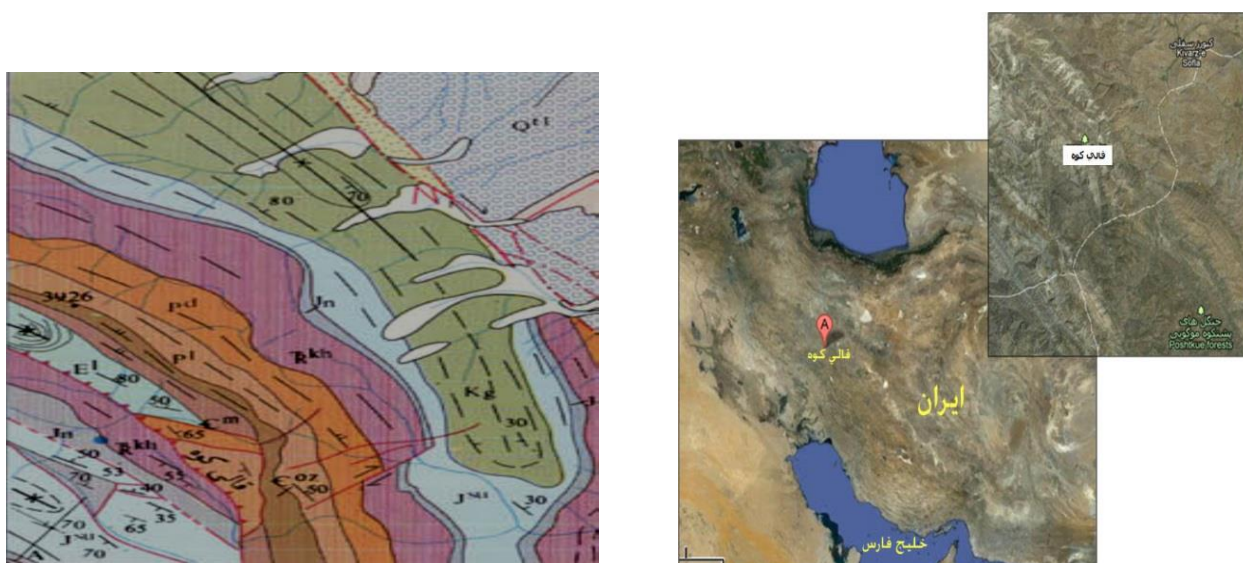
۲- سازند و منطقه مورد بررسی

در این تحقیق بخش‌هایی از سازند گرو از ناحیه قالی‌کوه در جنوب الیگودرز (تنگ‌شنگ) مورد بررسی ژئوشیمیایی و ارزیابی پتانسیل هیدروکربن‌زایی قرار گرفت (شکل ۱).

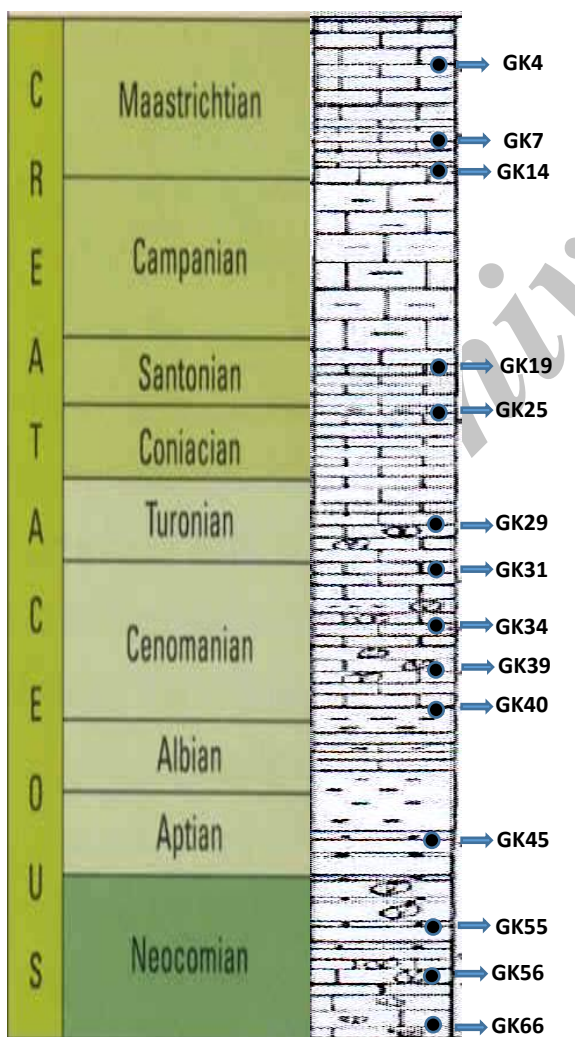
ژئوشیمی آلی، تلفیقی از علوم زمین‌شناسی و شیمی آلی است که هدف از تلفیق این دو علم، پاسخ به سوال‌هایی است که هیچ یک از این علوم به تنهایی قادر به پاسخ آن نیستند. هدف از علم ژئوشیمی آلی اعمال روش‌های شیمیایی با دیدی زمین‌شناسانه به منظور شناخت فرایندهای انباشت مواد آلی و تبدیل آنها به کروژن، تعیین منشأ نفت و گاز، نوع و میزان بلوغ کروژن، بررسی چگونگی تشکیل ترکیبات هیدروکربنی و مهاجرت آن از سنگ منشأ به سنگ مخزن است. همچنین این دانش در اکتشاف، تولید و بازیافت نفت کاربرد دارد. در امر اکتشاف با کمک این دانش می‌توان پارامترهای کنترل‌کننده مقدار نفت تولیدی مانند کیفیت سنگ منشأ، غنای سنگ منشأ و بلوغ گرمایی را محاسبه کرد (Lecompte et al., 2010, Peter et al., 1991).

از روش‌های ژئوشیمیایی می‌توان برای جداسازی تولیدات آمیخته‌شده و نیز در مطالعات توسعه مخزن و شناخت افق‌های تولیدی و غیرتولیدی استفاده کرد (Sykes et al., 2002, Kaufman et al., 1990). علم ژئوشیمی به همراه سایر علوم زمین امروزه می‌تواند بسیاری از

* این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد می‌باشد.



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی برش قالی کوه در استان لرستان



شکل ۲- ستون چینه‌شناسی رسوبات سازند گرو در مقطع تنگ‌شنگ در جنوب الیگودرز

برش الگوی سازند گرو از تنگ "گرو" در کبیرکوه گرفته شده که در ۱۰ کیلومتری شمال خاوری روستای قلعه‌دره است و ضخامتی برابر ۸۱۴ متر دارد (James et al., 1965). سازند گرو از تناوب آهک‌های بسیار رُسی سیاه رادیولردار با شیل‌های سیاه‌رنگ بیتومین‌دار پیریتی و چرتی آمونیت و بلمنیت‌دار تشکیل شده است. در هر حال، در لرستان مرکزی این سازند بیشتر شیلی است، اما در فروافتادگی دزفول سنگ آهک بیشتر است. مرز پایینی سازند گرو بیشتر رسوبات تبخیری هیث و گوتنیا است. مرز بالایی آن بسیار متغیر است. سازند گرو می‌تواند در زیر سازندهای مختلفی مانند سازند قهلیمان (نئوکومین) (مانند خاور فروافتادگی دزفول و در زیر سازند ایلام (همایون مطیعی، ۱۳۷۴)) و یا در زیر سازند سورگاه (کنیاسین) (مانند نواحی مرکزی لرستان (همایون مطیعی، ۱۳۸۲)) قرار گیرد. این موضوع نتیجه پیشروی رسوبات ساحلی به حوضه رسوبی گرو است. پلانکتون‌ها و رادیولرها نشان‌دهنده محیط کم‌انرژی و بی‌اکسیژن (حوضه ژرف دریایی) هستند. ریزفسیل‌ها، آمونیت و رادیولر، سن سازند گرو را نئوکومین تا کنیاسین نشان می‌دهند. سازند گرو، سنگ منشأ نفت با پتانسیل زیاد است.

یک برش مقطعی از سازند گرو و سازند سرگلو در طول و عرض جغرافیایی $33^{\circ}04.219' N$ و $49^{\circ}32.469' E$ انتخاب شد. در ادامه این مقطع ۱۴ نمونه از ضخامت ۷۰۰ متری برش سازند گرو انتخاب شده است. محدوده نمونه‌برداری شده در ستون چینه‌ای شکل ۲ برای سازند گرو در نظر گرفته شده است.

۳- روش کار

TOC (%)، هیدروکربن‌های تولیدشده (S1) بر حسب میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ)، توان هیدروکربن‌زایی (S2) بر حسب میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ)، و نمودارهای شاخص اکسیژن و شاخص هیدروژن و شاخص تولید (PI)، نمونه‌های سنگ تعیین شد. نتایج به‌دست آمده از تجزیه مقدماتی در جدول ۱ آورده شده است. تجزیه‌های تکمیلی بر روی سازند گرو بر روی ۳ نمونه (GK7, 31, 55) صورت گرفت. بدین منظور از روش‌های کروماتوگرافی ستونی (LC)، روش کروماتوگرافی گازی (GC) و طیف‌سنجی جرمی (GC/MS) با کمک نسبت‌های جرم به بار ۲۱۷ برای استران‌ها و ۱۹۱ برای زیست‌نشانه‌های هویان‌ها استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده از تجزیه کروماتوگرافی ستونی که شامل درصد برش‌های مختلف (اشباع، آروماتیک، رزین، آسفالتین) می‌شود، به همراه پارامترهای حاصل از آزمایش کروماتوگرافی گازی که بر روی برش‌های اشباع نمونه‌های انتخابی صورت گرفت، در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به درصد برش‌های مختلف در سنگ‌های منشأ و نفت‌ها، از آنها برای تعیین منشأ هیدروکربن تولیدی و طبقه‌بندی آنها استفاده می‌شود. بر این اساس برای هیدروکربن‌هایی با منشأ قاره‌ای مقدار آلکان‌ها ۳۰ تا ۷۰ درصد و آروماتیک‌ها ۲۵ تا ۶۰ درصد است. میزان آلکان‌ها برای نفت‌های با منشأ دریایی در حدود ۶۰ تا ۹۰ درصد است، درحالی‌که آروماتیک‌ها بین ۱۰ تا ۳۰ درصد است (Tissot et al., 1984). بنابراین، سازند گرو در محیط دریایی انباشته شده است. در ادامه تجزیه کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی برای شناسایی انواع زیست‌نشانه‌ها مانند هویان‌ها و استران‌ها بر روی ترکیبات اشباع نمونه‌های GK7, GK31, GK55 انتخابی صورت گرفت، که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

یکی از مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده در مطالعات ژئوشیمیایی، دستگاه راکاویل است که از آن در مقیاسی بسیار وسیع برای اکتشاف نفت و گاز در حوضه‌های رسوبی سراسر جهان استفاده می‌شود (Behar et al., 2001; Nyilas et al., 2009). با استفاده از دستگاه پیرولیز راکاویل می‌توان نوع هیدروکربن، بلوغ مواد آلی و پتانسیل تولید هیدروکربن‌زایی در مناطق مختلف یک میدان نفتی را ارزیابی کرد و ریسک حفاری را کاهش داد (Espitalie et al., 1985; Espitalie et al., 1984). با استفاده از روش پیرولیز راکاویل می‌توان توانایی هیدروکربن‌زایی سنگ مادر را با اندازه‌گیری پارامترهای مربوط مشخص کرد (Behar et al., 2001; Barker et al., 1974). همچنین از روش کروماتوگرافی گازی (GC) و کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی (GC-MS) نیز استفاده شد که روش کروماتوگرافی گازی بر روی هیدروکربن‌های اشباع، آروماتیک و یا نفت انجام می‌شود و اطلاعات بسیار مفیدی را در ارتباط با توزیع آلکان‌های نرمال، ایزوپرنوئیدها و ترکیبات آروماتیک فراهم می‌آورد. روش کروماتوگرافی گازی- طیف‌سنجی جرمی نیز امروزه در مطالعه نشانه‌های زیستی، تعیین درجه بلوغ ماده آلی و نفت، تخریب میکروبی، تطابق نفت با نفت و نفت با سنگ منشأ استفاده می‌شود. پس از انجام مطالعات صحرایی، ۱۴ نمونه برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شد. پس از آماده‌سازی و پودر کردن و همگن‌سازی نمونه‌ها، ۱۰۰ میلی‌گرم از نمونه‌ها، تجزیه پیرولیز راکاویل شد. دستگاه مورد استفاده از نوع راکاویل II بوده که طی دو مرحله پیرولیز و اکسایش، پارامترهای کل کربن آلی (بر حسب درصد وزنی با

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه راکاویل بر روی نمونه‌های سازند گرو در برش تنگ‌شک واقع در جنوب الیگودرز

S.NO.	S.SPC.	Formation	S1	S2	S3	TMAX (c)	OI	TOC (%)	HI	TPI
1	GK-4	GARAU	0.76	16.95	0.26	421	102	2.39	540	0.31
2	GK-7		2.07	6.11	0.47	435	98	4.25	610	0.35
3	GK-14		0.71	20.1	0.14	424	56	3.54	564	0.32
4	GK-19		1.03	27.22	0.29	430	62	5.71	476	0.34
5	GK-25		0.52	22.37	0.21	433	77	4.92	454	0.34
6	GK-29		0.17	3.57	0.25	431	84	1.17	320	0.35
7	GK-31		0.23	6.14	0.22	435	108	0.91	298	0.36
8	GK-34		0.41	4.43	0.41	437	97	0.88	346	0.37
9	GK-39		0.24	3.71	0.18	436	121	0.74	386	0.39
10	GK-40		0.35	6.49	0.26	438	66	2.88	504	0.4
11	GK-45		1.44	10.96	0.77	440	73	2.49	576	0.41
12	GK-55		0.84	12.81	0.16	442	84	2.53	494	0.3
13	GK-56		1.06	13.39	0.34	440	77	2.61	535	0.17
14	GK-66		0.61	18.07	0.54	443	69	4.69	385	0.46

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی (استخراج مواد آلی و محاسبه پارامترهای به‌دست آمده از روش کروماتوگرافی گازی بر روی برش اشباع نمونه‌ها)

Sample Name	Extraction (wt. %)					Gas Chromatography			
	EOM	Sat.	ARO.	Res.	Asp.	CPI	Pri/Phy	Pri/C ₁₇	Phy/C ₁₈
GK-7	0.65	28.37	30.74	31.39	9.5	1.46	0.16	0.56	0.38
GK-31	0.71	22.9	24.96	40.32	11.82	1.38	0.25	0.46	0.24
GK-55	1.87	16.49	29.34	46.12	8.05	1.32	0.11	0.24	0.78

جدول ۳- پارامترهای حاصل از تجزیه انجام‌شده توسط روش GC-MS بر اساس طیف‌های به‌دست آمده هویانوگرام و استرانوگرام نمونه‌ها در منطقه موردنظر

Paametes / Sample Name		GK7	GK31	GK55	
Biomarkers	Hopanes	C ₃₄ /C ₃₅	1.1	0.86	0.84
		C ₂₉ /C ₃₀	0.9	0.98	0.67
		T _S /T _S +T _m	0.43	0.52	0.59
		(C ₃₁ -C ₃₅)	0.9	0.88	0.91
		Tri&Tetra Cycle C ₃₀	0.38	0.81	0.73
	Sterans	20S/20S+20R	0.51	0.55	0.57
		C ₂₉ ββ/ββ+αα	0.56	0.49	0.55
		DiaC ₂₇ /DiaC ₂₉	0.7	0.4	0.56
		C ₂₇ (ββ+αα)	0.31	30	41
		C ₂₈ (ββ+αα)	27	31	28
		C ₂₉ (ββ+αα)	42	34	31

با حرکت از نمونه‌های با سن جوان‌تر به سمت نمونه‌های قدیمی‌تر به آهستگی به مقادیر Tmax افزوده می‌شود، که حاکی از افزایش سطح بلوغ مواد آلی است.

۴- تحلیل نتایج و بحث

۴-۱- نتایج حاصل از تجزیه‌های مقدماتی

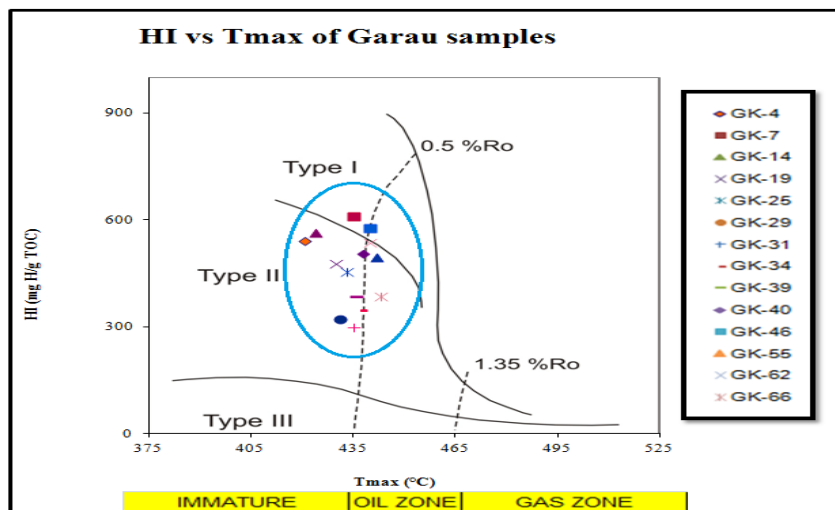
۴-۱-۱- نوع کروژن و میزان بلوغ

برای تعیین نوع مواد آلی و یا به عبارت دیگر نوع کروژن از رسم پارامتر Tmax در برابر شاخص هیدروژن (HI) استفاده شد (شکل ۳). نتایج به‌دست آمده از این نمودار نشان می‌دهد که سازند گرو در مقطع مورد مطالعه، دارای مخلوطی عمدتاً کروژنی از نوع II است. با توجه به مقادیر Tmax این سازند در مقطع مورد مطالعه با ورود به پنجره نفت‌زایی (مرحله کاتناژن)، توان خوبی برای تولید هیدروکربن (نفت) نشان می‌دهد. البته باید در نظر داشت با توجه به اینکه نمونه‌های جمع‌آوری شده از رخنمون‌های

نتایج حاصل از پیرولیز راکا اول (جدول ۱)، بیانگر تولید مقدار کمی هیدروکربن سیال (S1) از حداقل ۰/۱۷ تا حداکثر ۲/۰۷ میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ بوده، در حالی که هنوز توان قابل توجهی برای تولید هیدروکربن (S2) (۲۷/۲۲-۳/۵۷) دارد. غنای مواد آلی (TOC)، نمونه‌ها بین ۰/۸۸-۵/۷۱ درصد است. کیفیت مواد آلی بر اساس مقادیر شاخص هیدروژن (HI) (۶۱۰-۲۹۸) (میلی‌گرم بر گرم کل کربن آلی) است. شاخص هیدروژن (HI) مقادیر بالایی در محدوده ۲۹۰ تا ۶۱۰ را نشان می‌دهد که این امر نشان می‌دهد که نمونه‌های سازند گرو در برش تنگ‌شک به طور عمده دارای توان تولید نفت و مقادیر کمتری گاز هستند.

دیازنز تا اوایل پنجره نفتزایی است. مقدار Tmax نمونه‌های سازند گرو ۴۴۳-۴۲۱ درجه سانتی‌گراد است. بنابراین تعدادی از نمونه‌ها در انتهای دیازنز هستند در حالی که تعداد دیگری از این سازند کاملاً وارد پنجره نفتزایی شده‌اند. با استفاده از پارامتر S1 در برابر TOC می‌توان به ضریب تبدیل مواد آلی به محصول (مواد هیدروکربنی: نفت یا گاز) پی برد (شکل ۴). ضریب تبدیل کل کربن آلی به هیدروکربن برای نمونه‌های تحت مطالعه بین ۱۰ تا ۵۷ درصد است.

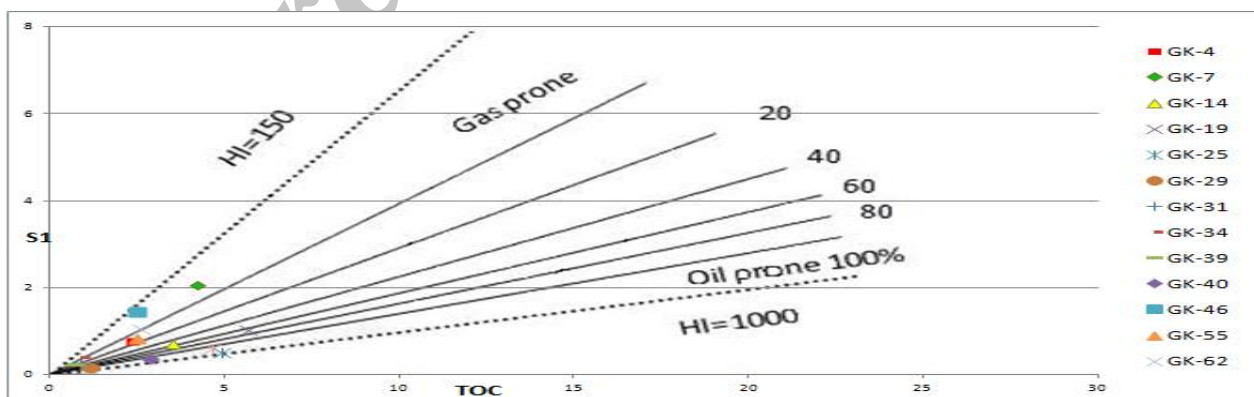
سطحی سازند گرو هستند، سطح پختگی کروژن آنها اندکی کمتر از میزان پختگی کروژن همین سازند در اعماق میدان‌های لرستان است. بنابراین در اعماق پایین‌تر انتظار می‌رود این سازند کاملاً وارد پنجره نفتزایی شده و تولید انبوه هیدروکربن سیال را پشت سر گذاشته است. با در نظر گرفتن سنگ‌شناسی این سازند که شامل تناوبی از آهک‌های تیره و شیل آهکی است و وجود مقدار عددی TPI (شاخص کل تولید) در نمونه‌های این سازند در محدوده ۰/۱ تا ۰/۵ قرار دارد. میزان پختگی مواد آلی سازند گرو بر اساس مقادیر (Tmax) بیانگر قرارگیری این سازند در محدوده انتهایی



شکل ۳- نمودار پارامتر HI در برابر Tmax برای تعیین نوع کروژن و تعیین میزان بلوغ مواد آلی سازند گرو

مولد، می‌تواند به‌عنوان یک سنگ مادر گازی (شیل‌های مولد نفت) در ناحیه مطرح باشد.

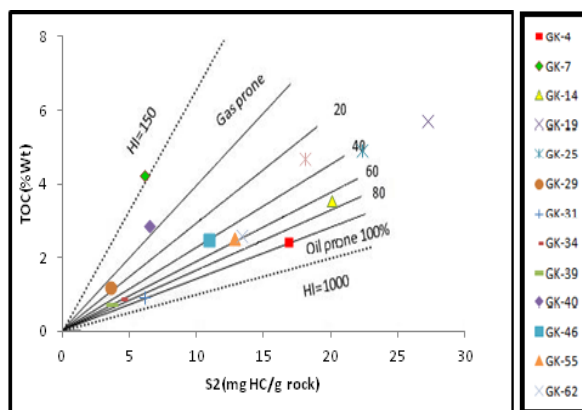
شیل‌های سیاه‌رنگ این سازند در اعماق پایین‌تر توانایی تولید گاز را نیز می‌تواند داشته باشد. این پتانسیل با شکست گرمایی محصولات به‌دست آمده (سیال هیدروکربن) در مخزن و تحول گرمایی سریع در خود سنگ



شکل ۴- نمودار S1/TOC جهت پی بردن به خصوصیات سیالات تولیدی از سنگ مولد

بیشتر مناطق قابلیت تولید نفت بیشتری نسبت به گاز دارد. این شرایط یعنی قابلیت تولید نفت بیشتر با وجود کروژنی که بیشتر از نوع کروژن II است همخوانی کامل دارد.

برای تعیین نفت‌زا یا گاززا بودن سازند گرو در منطقه مورد مطالعه از پلات دو نمودار TOC و S2 در برابر هم استفاده می‌شود (Dahl et al., 2004). با توجه به شکل ۵ مشخص می‌شود که هرچه میزان HI بیشتر باشد توان تولید هیدروکربن (S2) نیز بیشتر است، بنابراین سازند گرو در

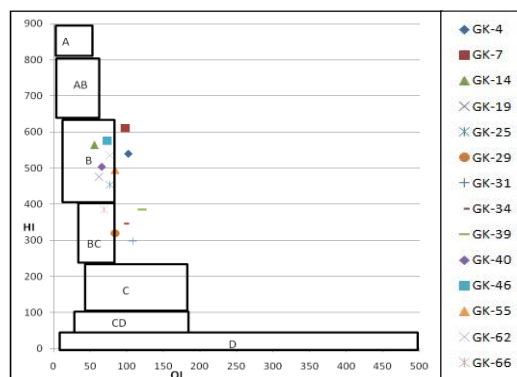


شکل ۵- نمودار TOC در برابر S2 برای تعیین نفتزا یا گاززا بودن سازند گرو (Dahl et al., 2004)

استفاده شد (Justwan et al., 2004) که بدین منظور از نمودار (Jones, 1987) کمک گرفته شد. نمودار رسم شده بر اساس تغییرات مقادیر HI در برابر OI است که در آن محدوده رخساره‌های نمونه‌های مورد مطالعه تعیین شده است (شکل ۶). رخساره‌های آلی سازند گرو در منطقه مورد بررسی بر اساس نمودار HI در برابر OI از نظر رخساره آلی در محدوده B و BC قرار گرفت. رسوبات متعلق به رخساره B در محیط دریایی باز تشکیل شده در حالی که رخساره‌های BC مربوط به محیط‌های دارای مواد آلی دریایی و قاره‌ای و رسوبگذاری سریع در شرایط نسبتاً اکسیده است. رخساره‌های آلی سازند گرو با داشتن محدوده متغیر بین B و BC، دلیلی بر تلفیق ماده آلی دریایی با خشکی بوده که نشان‌دهنده شرایط محیطی با پیشروی‌ها و پسروی‌های متعدد است. از نکات قابل توجه در این مطالعه آن است که با افزایش مقادیر شاخص هیدروژن و کاهش مقادیر شاخص اکسیژن در محدوده B مقدار کل کربن آلی افزایش می‌یابد در حالی که با افزایش مقادیر شاخص هیدروژن و کاهش مقادیر شاخص اکسیژن در محدوده BC مقدار کل کربن آلی کاهش می‌یابد. این مسئله نشان‌دهنده تولید بالای مواد آلی در شرایط کاهیده در محدوده B و تولید نسبتاً پایین مواد آلی در شرایط نسبتاً اکسیدی در محدوده BC است. بر اساس منحنی جونز، مشخص شد که مواد آلی موجود در این سازند از جلبک‌های دریایی همراه با اندکی مواد آلی با منشأ خشکی تشکیل شده است.

۴-۱-۲- تعیین رخساره آلی

بر اساس تعریف جونز رخساره آلی، یک زیرمجموعه قابل رسم از واحدهای چینه‌ای معین است که بر اساس ویژگی اجزای آلی آن، بدون در نظر گرفتن جنبه‌های غیرآلی رسوب، از زیر مجموعه‌های مجاور آن تشخیص داده می‌شود. (Jones, 1987) رخساره آلی را بر اساس سه نوع آنالیز کروژن: نسبت اتمی H/C، پیرولیز با دستگاه راکاؤل و TOC و مطالعات میکروسکوپی در نور عبوری- بازتابی تعریف کرد. وی نشان داد که انواع رخساره‌های آلی ممکن است در شیل‌ها یا کربنات‌ها وجود داشته باشند و از آنجائیکه حداقل مقدار TOC لازم برای سنگ‌های مادر از نوع کربنات کمتر از شیل می‌باشد (کربنات‌ها ۰.۳٪ و شیل‌ها ۰.۵٪) می‌باشد، بنابراین سنگ‌های کربناته می‌توانند با داشتن حداقل کربن آلی به عنوان سنگ‌های مادر مطرح شوند. پیدایش رخساره‌های آلی به عواملی چون منشأ ماده آلی و درجه اکسایش ماده آلی در حین رسوبگذاری بستگی دارد. جدول ۴، ویژگی محیط‌های رسوبی و سنگ‌های مولد را بر اساس رخساره‌های آلی و تعریف جونز نشان می‌دهد. با استفاده از مطالعه رخساره‌های آلی می‌توان پیش‌بینی‌های لازم را در مورد محل و نوع هیدروکربن تجمع‌یافته انجام داد (کسایبی نجفی، ۱۳۸۹). ماده آلی در رسوبات از انواع مختلفی تشکیل شده که توسط میکروسکوپ و یا روش‌های ژئوشیمی قابل تشخیص است. برای تعیین رخساره‌های آلی سازند گرو از رسم تغییرات OI، HI و TOC



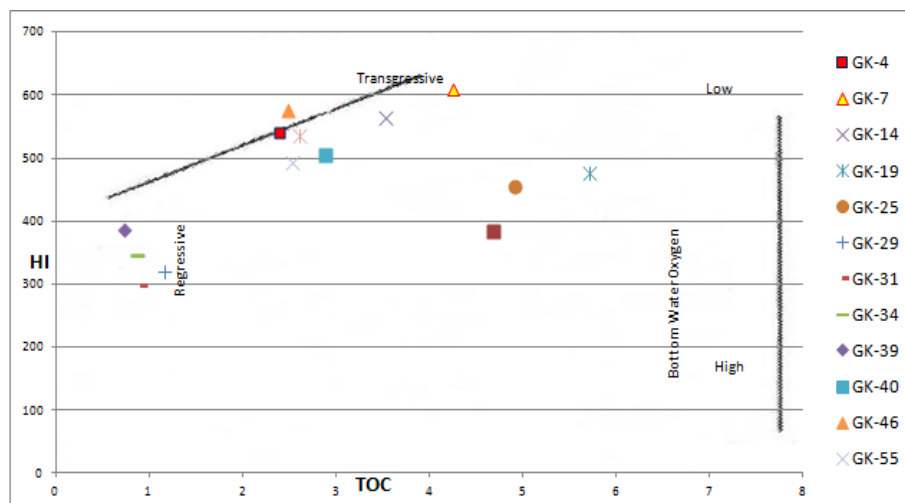
شکل ۶- نمودار تعیین رخساره‌های آلی با استفاده از نسبت تغییرات HI در برابر OI (Jones, 1987)

جدول ۴- جدول تعیین رخساره‌های آلی (Jones, 1987)

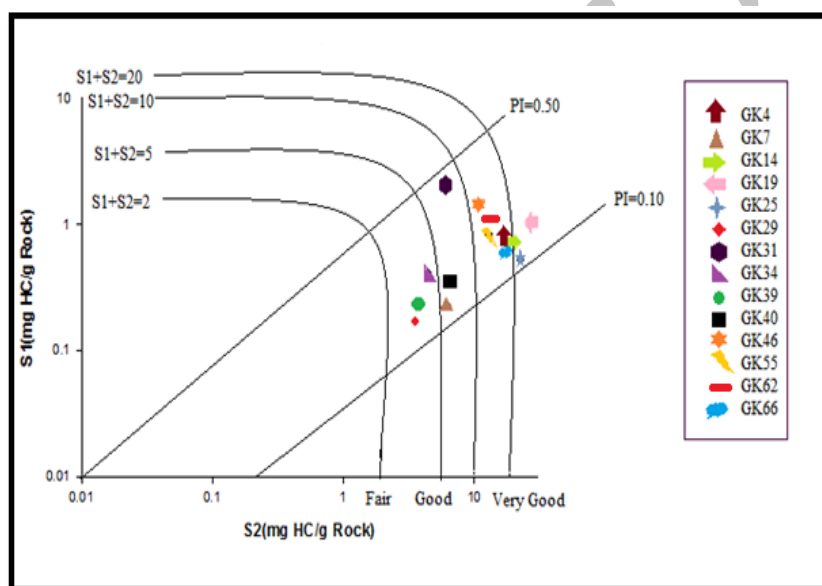
Organic facies	H/C	HI	OI	TOC Wt%	Dominent Organic Matter	Primary Organism	Depositional Enviroment	Primary Products	Exsample Comment s and Note
A	>1.45	>850	10-30	5-20	Algal Amorph	Botryococcus, Tasmanites	Lacustrine, Persistent anoxia, stratified H ₂ O, Warm humid climate	Oil	Green River Oil Shale
AB	1.35-1.45	850-650	20-50	3-10	Amorphous, highly fluor, Minor terrestrial input	Conspicuous Tasmanites	Persistent anoxic, transgressive, warmequable climate, Well Laminated	Oil	Upper J carbonate Saudi Arabia
B	1.15-1.35	650-400	30-80	3-10	Amorphous, common terrestrial input	Conspicuous Tasmanites during K.Marine/non-marine algae&associated bacteria	Less Persistent anoxic mariner or lacustrine. Transgressive seas shallow mediuime depths. Laminatd	Oil	Kimmerigian, North sea
BC	0.95-1.15	400-250	40-80	1-3	Mixed: some oxidation.partially oxidized during K.Algal	Variable algal input.Diverse	Terrestrial&marine OM.prodeltamuds-outershelf,uppercontinental slopes.Rapid deposition in Oxid H ₂ O, Rapid vertical variations	Liquids&Gas	Pro-delta muds
C	0.75-0.95	250-125	50-150	0.5-2	Terrestrial: some oxidation	Telinite&Colinite. Low amounts of spores cuticules&resinite	Oxic H ₂ O Moderate rapid deposition in anoxic conditoin	Gas prone	Lower T, offshore Labrador
CD	0.60-0.75	125-50	40-150	0.5-2	Oxidized: Reworked Organic Matter	Varying amounts terrestrial&reworked OM some fine grain amorphous OM of unknown origin	Marine fore-deeps in front of rising mountain ranges	Moderate Dry Gas capacity	K offshore eastern USA. Lower K Torok, Brooks Ranges
D	>0.6	<50	20-200	<0.5-2	Highly oxidized	Dominant intertinite.Highly oxidized ir re-deposited residual OM.	Deep ocean to terrestrial	Dry Gas only at high maturity	Carbonate shelves

رسم این دو پارامتر، کاملاً مشهود است (شکل ۷). برای تعیین غنای سازند گرو در برش مورد مطالعه از نمودار تغییرات HI/TOC استفاده شده است. به‌وسیله این نمودار، توان تولید هیدروکربن و تا حدودی کیفیت هیدروکربن تولیدی سازند گرو در برش مورد مطالعه تعیین می‌شود (شکل ۷). رسم پارامتر S1 در برابر S2 (شکل ۸)، به خوبی نشان می‌دهد که این سازند در حال حاضر در مرحله زایش هیدروکربن است.

میزان تغییرات شاخص هیدروژن HI حداقل ۲۹۸ و حداکثر ۶۱۰ برای نمونه‌های سازند گرو در مقطع مورد مطالعه است. از سوی دیگر کل کربن آلی نمونه‌های سازند گرو در مقطع مورد بررسی محدوده‌ای از فقیر تا بسیار خوب را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن رخساره آلی این سازند و دامنه تغییرات شاخص هیدروژن و کربن آلی (Peters, 1986)، وجود فرایندهای پیشروی و پسروی آب دریا در زمان نهشته‌شدن سازند گرو با استفاده از



شکل ۷- نمودار تعیین توان و کیفیت هیدروکربن و خصوصیات سنگ مولد مجموع هیدروکربن‌های تولیدشده، همراه با پتانسیل هیدروکربن‌زایی کنونی سازند گرو در مقطع تنگ‌شک نشان می‌دهد، که بخش عظیمی از کربن آلی موجود در نمونه‌ها هنوز کاملاً به هیدروکربن سیال تبدیل نشده است.

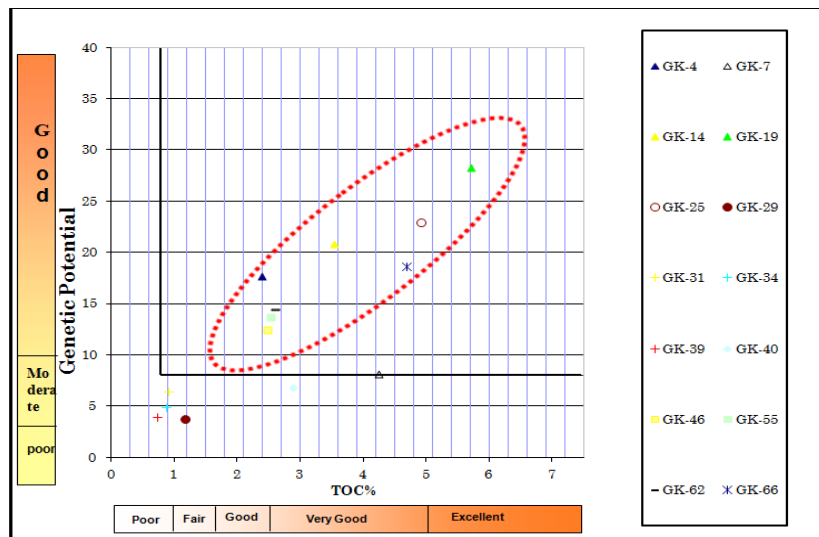


شکل ۸- نمودار تغییرات S_1/S_2 برای تعیین توان هیدروکربن‌زایی

از ۱۵ میلی‌گرم بر گرم سنگ نمونه فراتر نمی‌رود (زیر خط افقی مشخص شده به موازات محور X). در حالی که سایر نمونه‌ها به صورت قطری همگی بالا و بیشتر از خطوط حداقل مقادیر کل کربن آلی و توان هیدروکربن‌زایی قرار دارند. چنین تغییراتی حاکی از تغییرات مقدار و نوع مواد آلی و همچنین تغییر شرایط محیط رسوبی سنگ مولد است. از نظر رتبه‌بندی سنگ مادر از نظر غنای کل کربن آلی، کیفیت مواد آلی، بسیار خوب و با پتانسیل است. توزیع نقاط به‌دست آمده برای سازند گرو از نظر توان هیدروکربن‌زایی در محدوده خوب تا بسیار خوب قرار داشته و از نظر کیفیت سنگ منشأ در محدوده مناسب تا عالی قرار دارد. البته باید در نظر داشت که این برداشتها بر پایه رخنمون‌های سطحی است و قطعاً در شرایط زیرسطحی این سازند باید کاملاً در داخل پنجره نفت‌زایی قرار داشته باشد.

۴-۱-۳- رتبه‌بندی سنگ مادر

برای تعیین توان هیدروکربن‌زایی و رده‌بندی نوع سنگ مولد، از نمودار پارامتر کل کربن آلی (TOC) در برابر پتانسیل ذاتی یعنی مجموع دو پارامتر توان هیدروکربن‌زایی (S_2) و هیدروکربن تولیدی (S_1) استفاده شد. همان‌گونه که شکل ۹ نشان می‌دهد، به موازات افزایش مقادیر کل کربن آلی (محور X)، به آهستگی مقادیر S_1 و S_2 نیز افزایش می‌یابد. تعدادی از نمونه‌ها بر اساس مقادیر کل کربن آلی با کمتر از ۱ درصد، (کمتر از مقادیر خط عمودی به موازات محور Y)، دارای توان هیدروکربن‌زایی کم نیز هستند، به گونه‌ای که حداکثر توان تولیدی و هیدروکربن‌های تولیدشده آنها

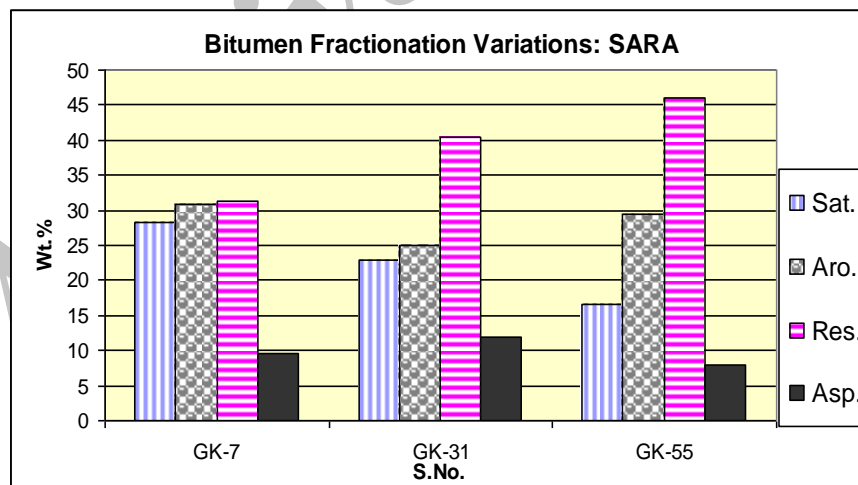


شکل ۹- رسم مقادیر پارامتر TOC (کل کربن آلی) در برابر پتانسیل ذاتی (S1+S2) برای رتبه‌بندی سازند گرو

۲-۴- نتایج تجزیه‌های تکمیلی

افزایش در مقدار برش رزین و کاهش در میزان رسوب آسفالتن (پسروی آب، ورود مجدد مواد آلی با منشأ خشکی: رزین‌های گیاهی) و ترکیبات اشباع دیده می‌شود. این روند تغییرات حاکی از رخداد تغییرات در منشأ و نوع مواد آلی نهشته‌شده در سنگ مولد بوده، که ناشی از تغییرات سطوح آب در زمان رسوبگذاری و در نتیجه تغییرات سنگ‌شناختی سنگ مادر و مواد آلی موجود در آن است.

استخراج مواد آلی (بیتومن)، تفکیک و تهیه برش‌های مختلف هیدروکربنی و غیرهیدروکربنی (برش اشباع، آروماتیک، رزین و آسفالتن) از تعدادی از نمونه‌های سازند گرو نشان داد (شکل ۱۰) که با افزایش عمق نمونه‌ها (به ترتیب افزایش شماره نمونه‌ها)، (GK-7, 31, 55)، به آهستگی

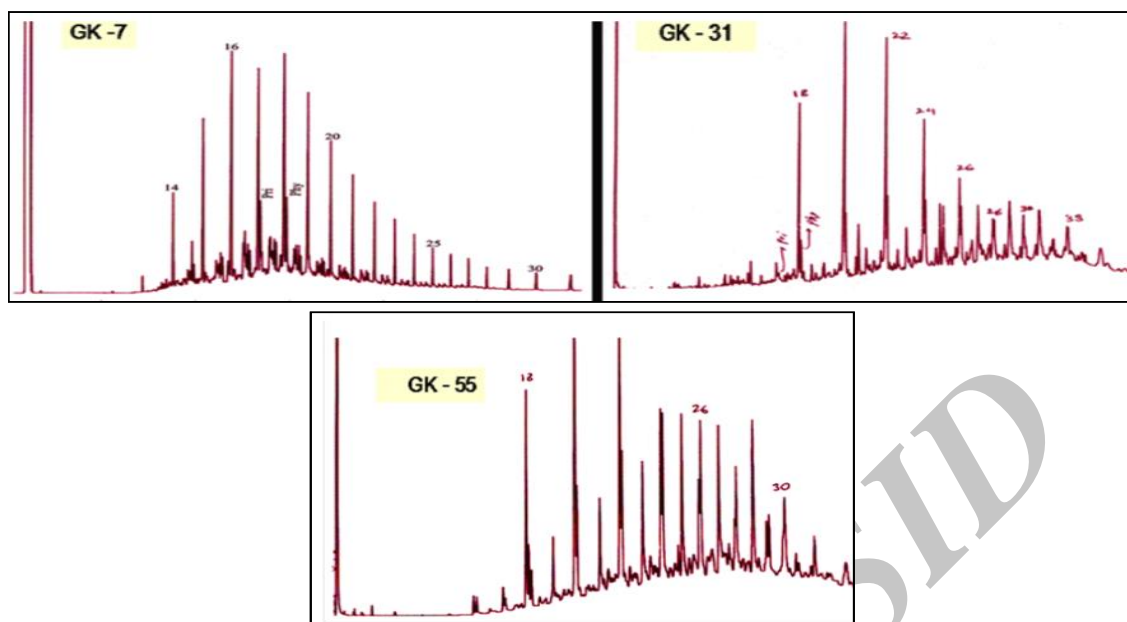


شکل ۱۰- چگونگی توزیع مقادیر برش‌های مختلف SARA نمونه‌های سازند گرو

زوج در این دو نمونه کم می‌شود. روند توزیع آلکان‌های نرمال روندی تقریباً طبیعی را نشان می‌دهد. در خط پایه کروماتوگرام تغییرات افزایشی یا کاهشی مانند پدیده Hump دیده می‌شود که به دلیل هوازدگی نمونه‌ها است. از دیگر ویژگی‌های این طیف وجود آلکان‌های زوج کربنی با غلظت بالا در زمینه کروماتوگرام‌هاست که با استفاده از پارامترهای مختلف به این ویژگی‌ها پرداخته می‌شود.

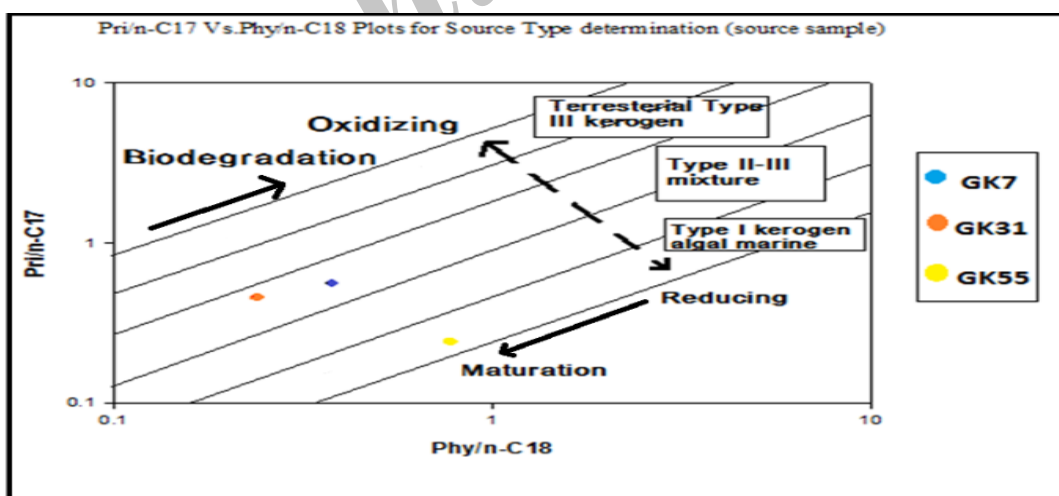
۲-۴-۱- تجزیه کروماتوگرافی گازی (GC)

کروماتوگرام‌های به‌دست آمده از تجزیه‌های مولکولی بر روی نمونه‌های انتخابی از سازند گرو در شکل ۱۱ دیده می‌شود. با توجه به این کروماتوگرام‌ها، توزیع ترکیبات اشباع، به‌ویژه آلکان‌های نرمال در سازند گرو محدوده کربنی C_{12} تا C_{33} را شامل می‌شود. هیدروکربن‌های سبک فراوانی بالا اما هیدروکربن‌های سنگین فراوانی کمتری دارند. روند آلکان‌های فرد به



شکل ۱۱- کروماتوگرام گازی حاصل از برش اشباع نمونه‌های انتخابی از سازند

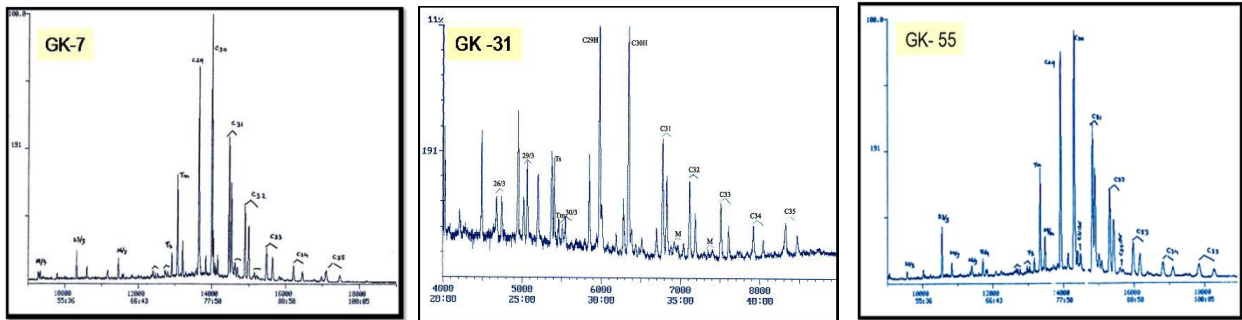
بر اساس نتایج حاصل از تجزیه کروماتوگرافی گازی (جدول ۲)، شاخص‌های CPI (نسبت آلکان‌های زوج به فرد) ۱/۳۲-۱/۴۶ است که حاکی از فراوانی آلکان‌های زوج نسبت به آلکان‌های فرد است. با توجه به اینکه شاخص CPI در نمونه‌های مورد مطالعه بیشتر از ۱ است، حاکی از رسوبگذاری سازند گرو در محیط کاهنده تا نیمه‌کاهنده است. (Hunt, 1995). همچنین با رسم مقادیر نسبت‌های $Pri/n-C_{17}$ در برابر $phy/n-$ C_{18} (شکل ۱۲) مشخص شد، که کروژن این سازند بیشتر از نوع II است. هرچند موقعیت نمونه‌های GK-7 و GK-31 در نمودار مزبور در محدوده مخلوطی از کروژن‌های I و II دیده می‌شوند، این تفاوت می‌تواند به $ngdg$ (تخیر تدریجی بخشی از مواد آلی باشد که به طور غیرطبیعی محیط سنگ مولد را به سمت نیمه‌اکسیدی تغییر داده است (اشکان، ۱۳۸۳).



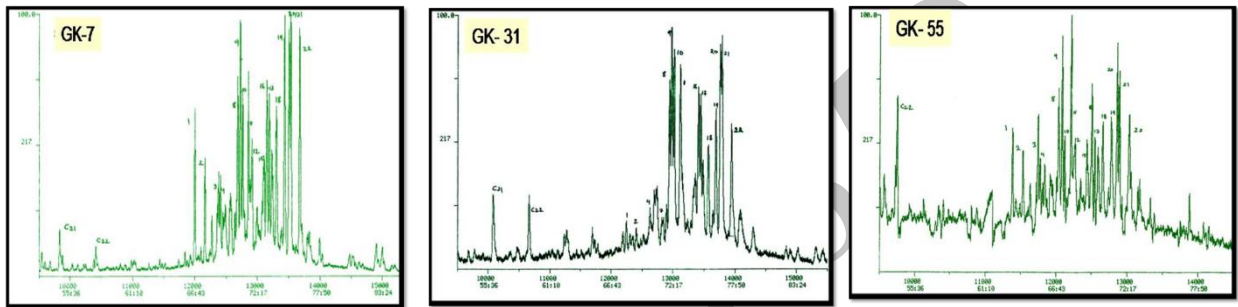
شکل ۱۲- رسم مقادیر ایزوپرنوئیدهای پرستان و فیتان و نسبت‌های آنها به هیدروکربن‌های آلکانی ۱۷ و ۱۸ کربنی در ارزیابی نوع کروژن و فرایند احتمالی برای سازند گرو

۲-۲-۴- تجزیه کروماتوگرافی گازی- طیف سنجی جرمی (GC/MS)
 مورد تجزیه قرار گرفت. طیف‌های به‌دست آمده از زیست‌نشانه‌های هویان‌ها (هویان‌گرام) و استران‌ها (استران‌گرام) در شکل ۱۳ و ۱۴ دیده می‌شوند.

برش اشباع نمونه‌ها برای ارزیابی زیست‌نشانه‌ها و تعیین اثر انگشت



شکل ۱۳- هویانوگرام‌های به‌دست آمده از برش اشباع نمونه‌هایی از سازند گرو در مقطع تنگ‌شنگ



شکل ۱۴- استرانوگرام‌های به‌دست آمده از برش اشباع نمونه‌هایی از سازند گرو در مقطع تنگ‌شنگ

کاهیده است. همچنین یک شاخص سنی در زیر C_{30} به نام اولنثان به سن کرتاسه پیشین وجود دارد که نشان می‌دهد که مواد آلی نمونه‌های مورد نظر مربوط به سن کرتاسه آغازین است (کمالی و قربانی، ۱۳۸۵). (Huang et al., 1979) در استران‌ها، نسبت فراوانی استرول‌های منظم C_{27} ، C_{28} و C_{29} را در جانداران زنده محیط‌های خاص محاسبه کردند. به نظر آنها، با توجه به شواهد به‌دست آمده، استران‌های موجود در رسوبات می‌توانند اطلاعاتی ارزشمند را درباره محیط دیرینه به دست دهند. به نظر آنها غالب بودن استرول‌های C_{29} (یا استران‌ها) نشان‌دهنده محیط خشکی قاره‌ای است در حالی که غالب بودن استران C_{27} غالب بودن فیتوپلانکتون‌های دریایی در آن محیط را نشان می‌دهد. معمولاً مقدار استران C_{28} کمتر از دو استران دیگر است، اما زمانی که مقدار آن از استران‌های C_{27} و C_{29} بیشتر باشد، بالا بودن جلبک‌های دریاچه‌ای را در آن محیط نشان می‌دهد. در نمونه‌های مورد مطالعه در GK7 میزان مقدار C_{29} بیشتر است که نشان‌دهنده فراوانی مواد خشکی قاره‌ای است در حالی که در GK31 و GK55 میزان C_{27} بالا رفته که دال بر فراوانی مواد آلی دریایی در این دو نمونه است. دیاستران‌ها (یا استران‌های آرایش‌یافته) در بیشتر نمونه‌ها حداقل با بلوغ متوسط فراوان یافت می‌شوند. به نظر می‌رسد که نسبت دیاستران‌ها به استران‌های منظم به سنگ‌شناسی رسوبات و بلوغ بستگی داشته باشد. دیاستران‌ها در رسوبات آواری بهتر به وجود می‌آیند. زیرا کانی‌های رسی به‌عنوان کاتالیزور نقشی مهم‌تر از دیگر استران‌ها در تولید آنها دارند. بنابراین می‌توان آنها را برای تشخیص رخساره‌های کربناتی (دیاستران پایین) و آواری به کار برد (Alajbeg et al., 2007). در نمونه‌های GK7 و GK55 دیاستران‌ها غلظت بالایی را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده سنگ‌شناسی شیلی برای این دو نمونه است اما در GK31

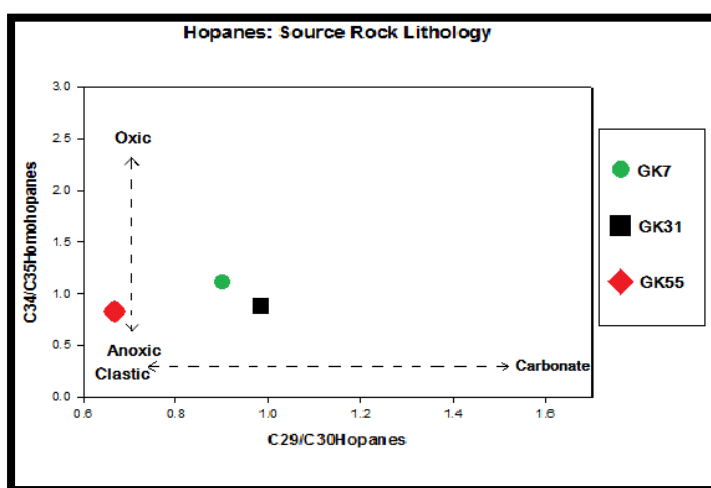
با توجه به طیف‌های هویانوگرام و استرانوگرام حاصل از برش اشباع نمونه‌های GK7، GK31، GK55، از سازند گرو مشاهده می‌شود که پدیده‌های دگرسانی از قبیل تخریب میکروبی، آبشویی، شکست گرمایی، جذب سطحی بر روی کانی‌ها را تحمل نکرده‌اند. با توجه در هویانوگرام‌های حاصل از نمونه‌های GK7 و GK55 (شکل ۱۳) میزان غلظت هویان‌های C_{30} کربنی نسبت به C_{29} کربنی بیشتر است، که این نشان‌دهنده سنگ‌شناسی شیلی برای این دو نمونه است در حالی که نمونه GK31 میزان غلظت هویان‌های C_{29} و C_{30} کربنی تقریباً برابر است که نشان‌دهنده وجود سنگ‌شناسی غالب کربناتی-شیلی است (کمالی و قربانی، ۱۳۹۰). نسبت T_m نشان‌دهنده میزان بلوغ در نمونه‌هاست. با افزایش بلوغ، T_m به تدریج ناپدید می‌شود و مقدار T_s افزایش می‌یابد (کمالی و قربانی، ۱۳۹۰). با افزایش عمق نمونه‌ها نسبت $T_s/T_m + T_s$ به آهستگی افزایش می‌یابد (جدول ۳).

وجود هویان‌های کمتر از C_{26} کربنی (تریسیکلک ترپان‌ها) با غلظت بالا، نشان‌دهنده محیط عمیق دریایی برای نمونه GK31 است. مقدار زیاد هویان توسعه‌یافته C_{35} به رخساره‌های کربناتی یا تخییری مربوط است (Riediger et al., 1990). این پدیده را می‌توان نسبت هویان‌های توسعه‌یافته C_{35}/C_{34} دانست (Jones and Philp, 1990). با این حال (Peters et al., 1991) ترجیح دادند که نسبت بالای C_{35}/C_{34} را در محیط‌های دریایی به پتانسیل کاهندگی محیط مربوط بدانند تا سنگ‌شناسی، به‌خصوص این که به نظر می‌رسد در همه سنگ‌های کربناتی مقدار هویان‌های توسعه‌یافته C_{35} زیاد نیست (Palacas et al., 1984). در نمونه‌های مورد مطالعه هویان‌های C_{31} تا C_{35} روند کاهشی را نشان می‌دهد. همچنین در این نمونه‌ها نسبت C_{35}/C_{34} نمایانگر محیط کاملاً

برابر C_{34}/C_{35} Homo hopane (معماریانی، ۱۳۷۲، Suborto et al., 1991) استفاده شد (شکل ۱۵). با توجه به این نمودار مشخص می‌شود که سه نمونه موردنظر از سنگ منشای با سنگ‌شناختی آواری (شیلی) تولید شده‌اند که محیط نهشته‌شدن آنها شرایط کاهیدگی را نشان می‌دهد البته نمونه GK31 دارای مقداری سنگ‌شناسی کربناتی علاوه بر شیلی نیز است.

غلظت دیااستران‌ها پایین است که نشان‌دهنده سنگ‌شناسی کربناتی شیلی برای این نمونه است.

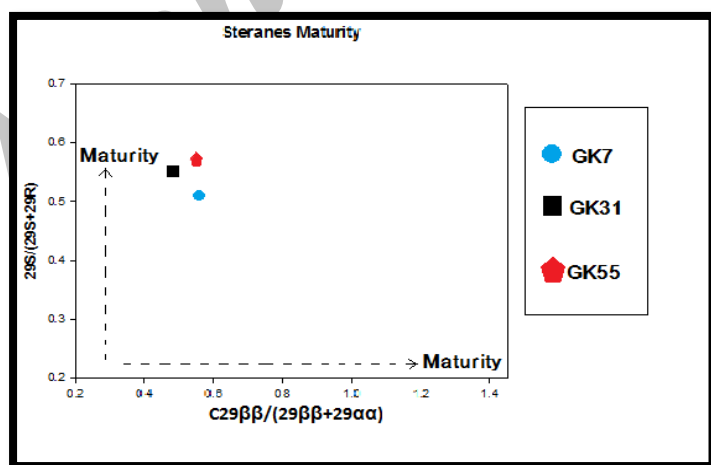
برای تعیین سنگ‌شناسی و محیط رسوبی سنگ منشأ مولد هیدروکربن‌های تجمع‌یافته در رخنمون‌های سازند گرو، از پارامترهای زیست‌نشانگر مانند خانواده هوپان‌ها و از نسبت‌های C_{29}/C_{30} Hopane در



شکل ۱۵- تعیین سنگ‌شناسی و محیط رسوبی سنگ منشأ سازند گرو در برش مورد مطالعه بر اساس نسبت هوپان‌های منظم C_{29}/C_{30} در برابر هوموهوپان‌های C_{34}/C_{35}

قرارگیری سه نمونه مورد مطالعه متمرکز در یک محدوده مشابه است که در محدوده ۰/۵ تا ۰/۶ قرار دارند. به‌طور کلی تمام نمونه‌ها بلوغی یکسان و در حد شروع زایش هیدروکربن رانشان می‌دهند.

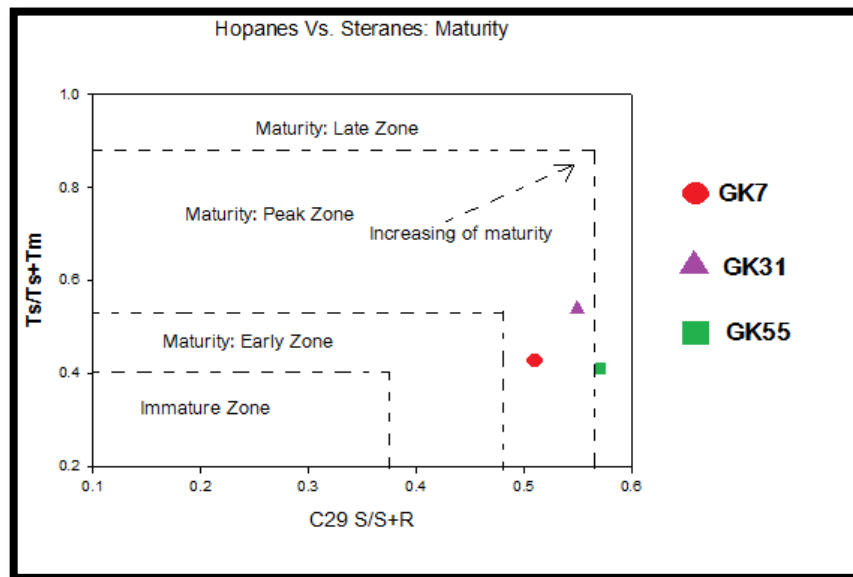
برای تعیین بلوغ دقیق مواد آلی نمونه‌های مورد مطالعه از نمودار مقادیر زیست‌نشانگرهای خانواده استران‌های ۲۹ کربنی از نوع ایزواستران به‌ویژه $(C_{29}\beta\beta/\beta\beta+\alpha\alpha)$ در برابر استران‌های منظم $(C_{29}S/S+R)$ کمک گرفته شد (Seifert et al., 1986) (شکل ۱۶). با توجه به این نمودار،



شکل ۱۶- تعیین میزان بلوغ با استفاده از رسم مقادیر ایزواستران $(C_{29}\beta\beta/\beta\beta+\alpha\alpha)$ در برابر استران‌های منظم $(C_{29}S/S+R)$

استران‌های منظم $(C_{29}S/S+R)$ در شکل ۱۷ آورده شده است. با توجه به نمودار رسم شده مشاهده می‌شود که نمونه‌های مورد مطالعه در اوایل پنجره نفت‌زایی قرار گرفته‌اند.

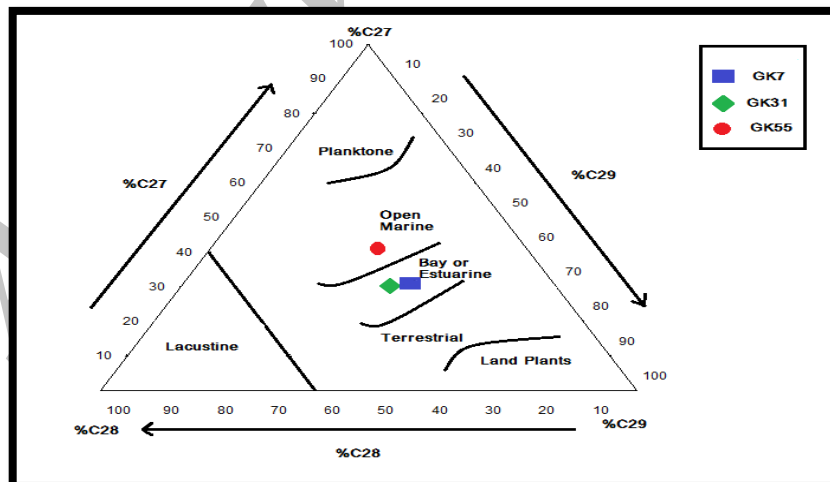
برای چک کردن میزان بلوغ نمونه‌های مورد مطالعه، یکی دیگر از پارامترهای زیست‌نشانگر خانواده هوپان‌ها نیز مورد استفاده قرار گرفت. این پارامتر T_S/T_S+T_m است، که از نسبت هوپان‌های ۲۹ کربنی از نوع T_m و T_S به‌دست آمده و مقادیر آن در برابر مقادیر استران‌های ۲۹ کربنی از نوع



شکل ۱۷- تعیین میزان بلوغ با استفاده از رسم مقادیر استران‌های منظم (C29 S/S+R) در مقابل تریس‌نورهوپان‌های Ts & Tm

را به نمایش می‌گذارد، چنین ویژگی‌هایی از اثر انگشت مواد آلی با نتایج پیرولیز راکاول همخوانی دارد و این سازند دارای کروژنی از نوع I بوده که در محیطی نسبتاً کاهنده رسوب کرده است.

به‌منظور تعیین منشأ مواد آلی نمونه‌های مورد مطالعه، نمودار مثلثی (با استفاده از غلظت‌های استران‌های ۲۷ تا ۲۹ کربنی) شکل ۱۸، رسم شد. نتایج به‌دست آمده وجود مواد آلی با منشأ دریایی و دریاچه‌ای در سازند گرو



شکل ۱۸- نمودار مثلثی استران‌ها به‌منظور تعیین منشأ مواد آلی نمونه‌های مورد مطالعه

GK55 و مقایسه خصوصیات مواد آلی موجود در آنها به کمک زیست‌نشانه‌ها به صورت زیر جمع‌بندی می‌شود: سازند گرو از نظر کیفیت مواد آلی، خصوصیات کروژنی عمدتاً از نوع II و به مقدار کمتری کروژن نوع I با کیفیت بهتر را به نمایش می‌گذارد. میزان بلوغ مواد آلی در این سازند در حد اواخر دیاژنز تا اواسط پنجره نفت‌زایی است. شاخص تولید نشان

نتیجه‌گیری

ارزیابی ژئوشیمیایی مقدماتی (استفاده از روش پیرولیز راکاول) بر روی نمونه‌های سازند گرو از برش تنگ‌شکنک در جنوب الیگودرز و همچنین بررسی‌های شیمیایی و مولکولی بر روی نمونه‌های GK7، GK31 و

- A., Sundararaman P., Pena M. and Stelting C. E., 2004, "Source rock quality determination from oil biomarkers I-An example from the Aspen Shale, Scully's Gap, Wyoming", *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 78 (10), P.1507-1526.
- Espitalie, J., Deroo, G. & Marquis, F., 1985, "La pyrolysis Rock-Eval et ses applications Rev", *Inst. Franc. Du Petr., Part I, (40): 563-578, Part II, (40): 755-784, Part III, (41): P.73-89.*
- Espitalie, J., Marquis, F. & Barsony, I., 1984, "Geochemical logging", In: Voorhees, K. J. (Ed), *analytical Pyrolysis, Techniques and Application. London (Butterworth): P.276-304.*
- Hunt, J.M., 1995, "Petroleum geochemistry and geology. 2ed", *New York, Freeman, W.H., and company, P.734.*
- Huang, W. Y. and Meinschein, W.G., 1979, "Sterols as ecological indicator", *Geochemical Cosmochimical Acta, v. 43, P. 739-745.*
- Justwan, H. & Dahl, B., 2004, "Quantitive hydrocarbon potential mapping and organo facies study in the Greater Balder Area. North Sea", In: DORE, A.g., Vining, B. (Eds), *Petroleum Geology: North West Europe and Global. Prespective-Proceeding of 6th Petroleum Geology Conference. P.1-9.*
- Jones, R. W., 1987, "Organic Facies", In: Brooks, J., Welte, D. H. (Eds.), *Advances in Petroleum Geochemistry. Academic Press, New York: P.1-90.*
- Jones, P. J. and Philip, RP., 1990, "Oils and source rocks from Pauls Valley, Anadarko Basin, Oklahoma, U.S.A.", *Applied Geochemistry, V.5, P.429-448.*
- James, G.A., and Wynd, J.G., 1965, "Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area", *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, V. 49, P. 2182-2245.*
- Kaufman, R.I, Ahmad, A. S., Elsinger, R. J., and Gas, 1990, "chromatography as development and production tools for fingerprinting oils from individual reservoirs", *application in the gulf of Mexico. In: GCSSEPM foundation Ninth annual Research Conference Proceedings, P.263-282.*
- Lecompte, B, Hursan G, Hughes B, 2010, "Quantifying source rock maturity from logs. How to get more than TOC from Delta Log R, SPE Ann", *Tech. Confer. Exhibit. Held in Florence, Italy, P. 19-22.*
- Nyilas, T., Imre, M., 2009, "Rock-Eval pyrolysis as tool for characterization of organic matter in soil samples", *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara -J. OF Engi", Tome VII, Fascicule 4 (ISSN 1584-2665), P.25-28.*
- Palacas, J.G., Anders, D.E. and King, J.D., 1984, "South Florida Basin- aprime example of carbonate source rocks of petroleum", in J.G. Palacas, ed., *Geochemistry and Source Rock Potential of Carbonate Rocks, AAPG Studies in Geology #18: Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, P. 71-96.*
- Peters, K.E. and J.M. Moldowan, 1991, "Effects of source, thermal maturity, and biodegradation on the distribution and isomerization of homohopanes in petroleum", *Organic Geochemistry, V. 17, P. 47-61.*
- می دهد که مواد آلی این سازند در مراحل اولیه شکست کروژن (با مقادیر ۱۰ تا ۵۰ میلی گرم هیدروکربن بر گرم سنگ)، قرار داشته و هنوز توان تولید هیدروکربن‌های سیال خوبی را نیز داراست. از نظر توان هیدروکربن‌زایی و رتبه‌بندی سنگ‌های مولد، این سازند در محدوده خوب تا بسیار خوب قرار دارد و از نظر کیفیت سنگ منشأ در محدوده مناسب تا عالی قرار دارد. البته باید در نظر داشت که این برداشتها بر پایه رخنمون‌های سطحی است و قطعاً در شرایط زیرسطحی، این سازند قاعدتاً باید کاملاً در داخل پنجره نفت‌زایی و حتی در انتهای کاتاژنز قرار داشته باشد. بر اساس مقادیر شاخص هیدروژن سازند گرو در محیط رسوبی دریایی رسوب کرده و از شرایط کاهیدگی خوبی نیز برخوردار است و با توجه به ضریب تبدیل مواد آلی به هیدروکربن، این سازند می‌تواند به‌عنوان منابع شیل‌های گازی مطرح باشد. بر اساس مقادیر پارامترهای محاسبه‌شده نسبت آلکان‌های زوج به فرد در محدوده C₃₂ تا C₁₇ و همچنین نسبت ایزوپرنوبیویدهای ناحلقوی Pri/Phy و Pri/n-C17 و Phy/n-C18، کروژن این سنگ مولد از جلبک‌های دریایی منشأ گرفته است. بر پایه نتایج زیست‌نشانه‌ها سازند گرو در محیطی نسبتاً کاهیده رسوب کرده و تغییرات سنگ‌شناختی آن بین سنگ‌های کاملاً شیلی و کربناتی-شیلی، می‌تواند نشانگر پیشروی و پسروی دریا در زمان رسوبگذاری باشد.

مراجع

- اشکان، م.، ۱۳۸۳، "اصول مطالعات ژئوشیمیایی سنگ‌های منشأ هیدروکربوری و نفت‌ها" انتشارات مدیریت اکتشاف، تهران، صفحه ۳۵۵.
- کسایبی نجفی، م.، ۱۳۸۹، "سیستم نفتی از سنگ منشأ تا تله هیدروکربنی" انتشارات پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، صفحات ۱۸۲-۱۹۳.
- کمالی، م.، قربانی، ب.، ۱۳۹۰، "کاربرد نشانه‌های زیستی در ژئوشیمی آلی" انتشارات پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، صفحه ۱۷۴.
- کمالی، م.، قربانی، ب.، ۱۳۸۵، "ژئوشیمی آلی از فیتوپلانکتون تا تولید نفت" انتشارات آریز زمین، تهران، صفحه ۲۳۰.
- مطیعی، ه.، ۱۳۸۲، "زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس" انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، صفحات ۳۰۷-۳۲۷.
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۴، "زمین‌شناسی ایران، زمین‌شناسی نفت زاگرس ۱" انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، صفحه ۱۲۰.
- معمارسانی، م.، انگجی‌مند، م.، زرغامی، ص.، ۱۳۷۲، "جداسازی و شناسایی بیومارکرهای نفت‌خام و سنگ‌های رسوبی گروه بنگستان" پنجمین کنفرانس نفت و گاز پتروشیمی، اصفهان، صفحه ۲۴.
- Alajbeg, A., V. Britvic, S.Svel-Cerovecki, C. Cornford, A. Todoric, j. Rajkovic, G.Baric, and A. Putnikovic, 2007, "Geochemical study of the oils and source rocks in the Pannonia". *vol.16, P. 339-352.*
- Barker, C., 1974, "Pyrolysis Techniques for Source-Rock Evaluation", *AAPG Bulletin, vol.58, P.2349-2361.*
- Behar, F., Beaumont, V., 2001, "Penteado Rock-Eval technology", *performances and developments Oil Gas Sci. Technology, 56, P. 111-134.*
- Dahl J. E., Moldowan J. M., Teerman S. C., McCaffrey M.

- Peters, K.E., 1986**, "Guidelines for evaluating petroleum source rock using Programmed pyrolysis", *AAPG Bulletin*, V.70, P.318-329.
- Riediger, C.L., Fowler, M.G., Brooks, P.W. and Snowdon, L.R., 1990**, "Triassic oils and potential Mesozoic source rocks, Pease River Arch area, Western Canada Basin", *Organic Geochemistry*, V. 16, P. 295-305.
- Sykes, R., Snowdon, L. R. Guidelines, 2002**, "for assessing the petroleum potential of coaly source rocks using Rock-Eval pyrolysis", // *Org. Geochemistry*, Vol. 33. P. 1441-1455.
- Suborto, E.A., Alexander, R., Kagi, R.I., 1991**, "30-Nr hopanes: Their occurrence in sediments and crude oils", *Chemical geology*, V.93, P.179-192.
- Seifert, W.K., and Moldwan, J.M., 1986**, "Use of biological marker in petroleum Exploration. In: Methods in geochemistry and geophysics", (R.B. Johns, Ed.) Vol. 24, P.261-290.
- Taherkhani, R., 2006**, "Evaluate geochemical and basin modeling in the area of the Strait of Hormuz", *Master thesis, Tehran University P.1-4*
- Tissot, B.P., Welte, D.H., 1984**, "Petroleum formation and occurrence", 2nd ed, Berlin, springer, verlag, 538.

Archive of SID

