

بررسی توان هیدروکربن‌زایی و ارتباط پرتو اورانیوم با محتوای کربن آلی در سازندگورپی، برش‌های سیاه‌کوه دهلران و کوه‌گورپی - زاگرس

علی مبشری^۱، محبوبه حسینی برزی^{۱*}، عباس صادقی^۱، محمدعلی کاوسی^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت، تهران، ایران

(علمی - پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۲/۱۹ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۱۸

چکیده

در این تحقیق سازندگورپی با سن کامپانین تا دانین، در برش یال جنوبی سیاه‌کوه دهلران و یال شمالی کوه‌گورپی بررسی شده است. هدف از این پژوهش بررسی توان هیدروکربن‌زایی و میزان بلوغ حرارتی سازندگورپی براساس پارامترهای حاصل از پیرولیز راک‌اول به همراه استفاده از داده‌های گامای سطحی، جهت بررسی نسبت اورانیوم به کربن آلی (U / TOC) می‌باشد. ضخامت سازندگورپی در برش سیاه‌کوه ۱۲۲ متر و در برش کوه‌گورپی ۳۰۵ متر است. براساس نتایج به دست آمده از پیرولیز راک اول (۳۴ نمونه برداشت شده) از سازندگورپی، این سازند از دیدگاه توان هیدروکربن‌زایی در برش سیاه‌کوه، در محدوده ضعیف و در برش کوه‌گورپی در محدوده ضعیف تا متوسط قرار می‌گیرد. مواد آلی موجود در نمونه‌های سازندگورپی در برش سیاه‌کوه از نوع III و II/III و مواد آلی موجود در برش کوه‌گورپی غالباً از نوع II/III و III می‌باشند. مواد آلی موجود در این نمونه‌ها برجا بوده و براساس میزان بلوغ حرارتی نمونه‌های مورد مطالعه، سازندگورپی در برش‌های سیاه‌کوه و کوه‌گورپی بالغ و مربوط به پنجره نفت‌زایی و مرحله اصلی تولید هیدروکربن می‌باشد. همچنین بر اساس داده‌های اورانیوم برداشت شده توسط دستگاه پرتونگار گامای سطحی در مقایسه با نتایج کربن آلی، مشخص شد که در برش سیاه‌کوه، با افزایش اورانیوم میزان کربن آلی کاهش می‌یابد. این رابطه معکوس می‌تواند بر اثر ارتباط اورانیوم با حضور ترکیبات فسفاتی و گاه‌ها گلوکونیت (نه حضور آن در کربن آلی) بوده باشد. در برش کوه‌گورپی رابطه مستقیم بین تمرکز ماده آلی و مقدار اورانیوم مشاهده شد، فراوانی اورانیوم اغلب توسط کربن آلی کنترل شده است.

واژه‌های کلیدی: اورانیوم، توان هیدروکربن‌زایی، سازندگورپی، سیاه‌کوه، کوه‌گورپی.

مقدمه

سازندگوری توسط برخی از محققین در بخش‌هایی از فروافتادگی دزفول و پیش آمدگی لرستان به عنوان سنگ منشاء معرفی شده است (Ala et al, 1980; Bordenave and Burwood, 1990; Bordenave and Huc, 2010; Bordenave and Hegre, 2010). تاکنون مطالعات متعددی بر روی خواص ژئوشیمیایی و پتانسیل هیدروکربن‌زایی این سازند در ناحیه زاگرس صورت گرفته است. بردانوف و حوس (Bordenave and Huc, 1995) که به بررسی گسترش سنگ‌های منشا اصلی حوضه زاگرس پرداخته است، سازندهای گورپی و گدوان را به عنوان سنگ‌های منشا ثانویه در ارتباط با مخازن زاگرس معرفی کرده است. براساس مطالعه ایشان سازندگورپی در نواحی محدودی که دارای بالاترین میزان پتانسیل هیدروکربن‌زایی بوده دارای TOC در محدوده ۱-۲ درصد وزنی و HI در محدوده ۴۰۰-۱۵۰ HC/kg C می‌باشد. قاضوی و همکاران (۱۳۹۰) به ارزیابی پتانسیل سنگ منشاء هیدروکربنی احتمالی سازندهای پایده و گورپی در منطقه ازگله با استفاده از نتایج پیرولیز راکا اول پرداخته‌اند. مطالعات آنها نشان داد که سازند پایده در این منطقه از پتانسیل ضعیفی برخوردار است، دارای کروژن نوع II و III بوده و در مرحله بلوغ مراحل اولیه کاتائز قرار دارد، حال آن که سازندگورپی سنگ منشاء با پتانسیل مناسب است، دارای کروژن نوع II و کمتر III بوده و محیط تشکیل احیای دریایی را دارا می‌باشد که در منطقه مطالعه شده در میانه تا پایان مرحله کاتائز قرار دارد. مطالعه موسوی و همکاران (۱۳۹۱) که بر روی دو سازند پایده و گورپی در میدان پرسپاه بوده نشان داده است که سازندگورپی در این میدان از پتانسیل ضعیف تا خوبی برای تولید هیدروکربن برخوردار بوده است. همچنین مقدار بلوغ حرارتی آن معادل

با اوایل پنجره نفت‌زایی بوده و از مواد آلی نوع II/III تشکیل شده است. رفیعی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی ژئوشیمی آلی، بلوغ حرارتی و پتانسیل هیدروکربن‌زایی سازندگورپی در منطقه ازگله در شمال غرب کرمانشاه پرداخته‌اند. مطالعات آنها نشان داد که سازندگورپی در این منطقه از پتانسیل ژنتیکی مناسب تا نسبتاً خوب برای تولید هیدروکربن برخوردار است، نوع کروژن III و II/III بوده و در مرحله کاتائز از نظر بلوغ قرار دارد. صادقی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی ژئوشیمیایی مواد آلی سازندهای پایده و گورپی میدان نصرت پرداخته‌اند. نتایج مطالعات آنها نشان داده که سازند پایده دارای کروژن نوع III بوده و از توان هیدروکربن‌زایی مناسبی برخوردار است حال آنکه سازندگورپی از توان ضعیفی برخوردار می‌باشد. حیدری فرد (Heidarifard, 2011) به بررسی غنای هیدروکربنی سازندهای منشا در ناحیه دزفول با استفاده از لاگ‌های برداشت شده از چاه پرداخته است. براساس مطالعه ایشان سازندگورپی به استثنای دو میدان پلنگان و لالی در سایر نواحی دزفول از پتانسیل هیدروکربن‌زایی بالایی برخوردار نمی‌باشد. اسدی مهماندوستی و همکاران (Asadi, 2015) به بررسی و ارزیابی ژئوشیمیایی نمونه‌های نفت و سنگ منشا در میدان مارون پرداخته‌اند.

نتایج مطالعات ایشان نشان داده که سازندگورپی در این میدان اگرچه از نظر بلوغ حرارتی وارد پنجره نفت‌زایی شده و در اوایل آن قرار گرفته است اما از پتانسیل هیدروکربن‌زایی بالایی برخوردار نمی‌باشد. صفائی فاروجی و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی ژئوشیمیایی و توان هیدروکربن‌زایی سازندهای پایده و گورپی در میدان نفتی گچساران با استفاده از پیرولیز راکا اول پرداخته‌اند.

ایران است (Takin, 1981; Berberian and King, 1972) که از نظر ساختاری، به صورت منشوری از ورقه‌های راندگی فلسی است و از توالی‌های رسوبی نئوپروتروزوئیک بالایی و فانروزوئیک با ضخامت تقریبی ۷ تا ۱۲ کیلومتر تشکیل شده است (Alavi, 2004). سازند گورپی در بیشتر نواحی زاگرس، شامل مارن، شیل‌های خاکستری مایل به آبی است که میان‌لایه‌هایی از سنگ‌آهک‌های نازک رُسی داشته و به دلیل زود فرسا بودن، به صورت پست می‌باشد (مطیعی، ۱۳۸۲؛ آقانباتی، ۱۳۸۳). این سازند با مرز ناپیوسته فرسایشی و اغلب همراه با زون هوازده دارای ترکیبات آهن بر روی سازند ایلام قرار می‌گیرد، مرز بالایی آن در شروع شیل‌های ارغوانی با سازند پابده است، این مرز در فارس و برخی نقاط خوزستان ناپیوستگی فرسایشی ولی در لرستان پیوسته گزارش شده است (مطیعی، ۱۳۸۲). در این تحقیق سازندگورپی در دو رخنمون سیاه‌کوه دهلران و کوه‌گورپی مطالعه گردیده است (شکل ۱). برش سیاه‌کوه در پهنه ساختاری - رسوبی لرستان در تنگ کوله‌هر در یال جنوبی سیاه‌کوه (شمال شرق شهر دهلران) و همچنین برش کوه‌گورپی در پهنه ساختاری - رسوبی ایذه در یال شمالی کوه‌گورپی (شمال شرق شهر لالی) واقع شده است. در برش‌های مورد مطالعه همبری زیرین سازندگورپی با سازند ایلام پلاژیک هم شیب است. این سازند با شیل‌های خاکستری تیره حاوی فسیل شروع می‌شود. ضخامت سازندگورپی در برش سیاه‌کوه ۱۲۲ متر و در برش کوه‌گورپی ۳۰۵ متر است. سازندگورپی در برش سیاه‌کوه شامل بخش‌های شیل پایینی، آهک لופا، آهک امام‌حسن و شیل بالایی (بخش سنگ آهک امام‌حسن مستقیم بر روی بخش لופا قرار دارد) است، و در برش کوه‌گورپی این سازند شامل بخش‌های شیل پایینی، آهک امام‌حسن و شیل بالایی می‌باشد، در هر دو

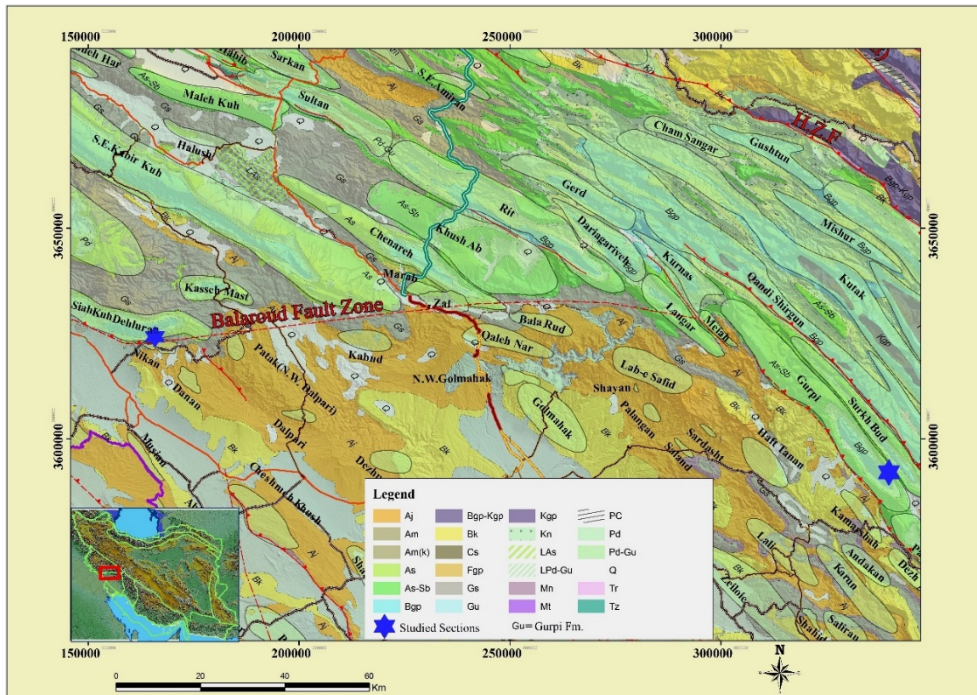
همان‌طور که در مطالعات پیشین بر روی این سازند مشاهده می‌شود، سریع‌ترین و ساده‌ترین روش برای توصیف توان تولید هیدروکربن سنگ‌های منشاء پیرولیز راکا اول است (Behar et al, 1996; Hunt, 2001). به علاوه، اندازه‌گیری رادیواکتیو سازندها در رخنمون‌ها و مقایسه آنها با چاه‌های حفاری شده، تطابق و پیش‌بینی روند تغییرات جانبی سنگ‌شناسی سازندها را ممکن می‌سازد. در واقع، اندازه‌گیری پرتو گاما در کنار داده‌های راکا اول، به مشخص کردن ارتباط آن با حضور مواد آلی می‌انجامد (Parkinson, 1996; Bessa and Hesselbo, 1997; Ahmadi and Coe, 1998; Van Buchem et al, 1992; Davies and Elliott, 1996; Ten Veen and Postma, 1996; Fiet et al, 1979; Gorin, 2000). هدف از این مطالعه ارزیابی توان هیدروکربن‌زایی سازندگورپی، به عنوان سنگ منشاء احتمالی در ناحیه مورد نظر، طی ارزیابی مواد آلی و بلوغ حرارتی می‌باشد. به این منظور، از پیرولیز راکا اول و لاگ گامای سطحی در برش‌های مذکور استفاده شد. به کارگیری این چنین فناوری‌های نوین در پژوهش‌ها و عملیات نفتی ضروری و کاربردی است و سبب کاهش ریسک در اکتشاف می‌شود.

منطقه مورد مطالعه

کمربند چین‌خورده رانده زاگرس با گسترشی حدود ۲۰۰۰ کیلومتر از جنوب شرقی ترکیه به شمال سوریه و عراق تا غرب و جنوب ایران، با میدان‌های هیدروکربنی متعدد و بسیار بزرگ خود، غنی‌ترین کمربند چین‌خورده‌گی - راندگی جهان است. این کمربند چین‌خورده و رانده نتیجه تغییر شکل ساختاری سامانه حاشیه‌ای (پروفورلندی) زاگرس بوده و شکل امروزی آن حوضه خلیج فارس و بین‌النهرین است (Alavi, 2004). این کمربند کوهزایی نتیجه برخورد ورقه قاره‌ای آفریقایی - عربی و ورقه

برش‌های سیاه‌کوه و کوه‌گورپی (Kaboli, 2011; Shafizad, 2011) آشکوب‌های کامپاین، مایس‌تریشتین و دانین تعیین شده است.

برش روی این سازند شیل‌های پابده قرار دارد، که واحد چینه‌ای شیل‌های ارغوانی این دو سازند را به‌طور هم شیب از هم جدا می‌سازد. براساس مطالعات دیرینه‌شناسی سن سازندگورپی در



شکل ۱: موقعیت برش‌های مورد مطالعه (ستاره‌های آبی رنگ) (اقتباس از نقشه ساختمان‌های زاگرس مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، ۲۰۰۳). Pd-Gu: برونزدهای توالی سازندهای پابده و گورپی.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه بررسی‌های صحرایی و برداشت ستون‌های چینه‌شناسی و نمونه‌برداری به فاصله‌های ۱/۵ متری، با میله ژاکوب^۱ و حفر چاله‌های بیش از بیست سانتی‌متری در بازه‌های شیلی انجام شد. برش‌های برداشت شده در مقیاس ۱:۱۰۰۰ ترسیم شد و از توالی سازند، الگوهای لایه‌بندی، توالی سنگ چینه‌ای و محل‌های نمونه‌برداری عکس گرفته شد. همچنین، در این مطالعه میزان پرتو گاما توسط دستگاه (SPP2-NF, Saphymo - Stel) (NaI scintillometer) برداشت گردیده است. مراحل برداشت برای داده‌های پرتو گاما از روش

اجمالی طرح‌ریزی شده توسط مایرز و ویگنل (Myers and Wignail, 1987) استفاده شده است. در این روش، آشکارساز در تماس مستقیم با سطح صاف سنگ قرار گرفته و در زمان اندازه‌گیری میزان پرتو گاما، دستگاه بدون حرکت روی نمونه قرار داده شد. نمونه‌های سنگی از همان نقطه‌ای که آشکارساز قرار گرفته بود برداشت گردید. دستگاه پرتونگار میزان K، U و Th را در یک بازه زمانی برابر نشان می‌دهد و این نتایج را برای پتاسیم (K) به درصد (%^۲) و اورانیوم و توریم (U و Th) به پی پی ام^۲ اندازه می‌گیرد. در این مطالعه از دو برش نامبرده ۳۴ عدد نمونه از بخش‌های مختلف سازند براساس

(PI)، شاخص اکسیژن^۴ (OI)، شاخص هیدروژن^۵ (HI) و Tmax محاسبه شده است، در برش سیاه کوه تعداد چهار نمونه از بخش پلاژیک سازند ایلام انتخاب شده است (جدول ۱).

نوع لیتولوژی و میزان اورانیم، برای پیرولیز راک اول (سیاه کوه ۱۳ و گوه گورپی ۲۱ نمونه) انتخاب گردید. آنالیزها در آزمایشگاه پژوهشگاه صنعت نفت با دستگاه مدل راک اول ۶ انجام شده است. در پیرولیز راک اول پارامترهای S1، S2، شاخص تولید^۳

جدول ۱: داده‌های آنالیز پیرولیز راک اول و پرتو نگار گامای سطحی در برش سیاه کوه و کوه گورپی

Section	Sample	TOC wt%	S1 mg HC/g Rock	S2 mg HC/g Rock	S3 mg HC/g Rock	HI mg HC/g TOC	OI mg CO ₂ /g TOC	PI	Tmax °C	U (ppm)	K [%]	Th (ppm)	SGR nGy/h	CGR API
Syah Kuh	2706	0.03	0.01	0.053	0.19	21	577	0.00	457	6.47	0.4	3.01	49.5	12.74
Syah Kuh	2701	0.1	0.05	0.111	0.36	40	357	0.20	447	5.97	0.96	2.18	51.91	17.99
Syah Kuh	2696	0.1	0.08	0.113	0.62	66	601	0.13	443	3.86	0.93	2.47	40.18	18.32
Syah Kuh	2673	0.03	0.06	0.167	0.3	142	865	0.17	447	5.9	0.29	0.3	38.01	4.54
Syah Kuh	2669	0.05	0.15	0.542	0.24	257	464	0.13	437	5.25	0	0.34	30.64	0.85
Syah Kuh	2664	0.05	0.06	0.12	0.25	70	505	0.50	478	6.76	0	1.1	41.08	2.74
Syah Kuh	2663	0.24	0.15	0.169	0.71	51	295	0.20	427	3.08	0.92	6.64	46.09	28.59
Syah Kuh	2657	0.53	0.45	0.545	0.77	78	145	0.07	423	2.39	0.72	3.94	32.78	19.24
Syah Kuh	2653	0.38	0.6	0.8	0.7	148	183	0.07	438	3.12	0.32	2.13	27.29	9.5
Syah Kuh	2644	0.14	0.29	0.548	0.42	170	307	0.21	437	4.38	0	1.03	27.43	2.57
Syah Kuh	2629	0.13	0.51	0.589	0.56	267	451	0.35	446	2.16	0.14	0.33	14.92	2.653
Syah Kuh	2611	0.09	0.42	0.778	0.36	302	380	0.33	445	3.37	0	0.86	21.28	2.145
Syah Kuh	2605	0.1	0.14	0.209	0.43	96	445	0.36	477	5.57	0.12	0.95	35.48	3.94
Kuh Gurpi	3632	0.2	0.01	0.07	0.25	33	124	0.13	445	3	0.82	5.77	42.17	24.11
Kuh Gurpi	3623	0.27	0.01	0.12	0.4	44	150	0.08	437	2.72	0.85	3.8	36.07	20.59
Kuh Gurpi	3618	0.15	0.01	0.05	0.41	31	274	0.17	441	4.87	0.85	2.14	44.11	16.45
Kuh Gurpi	3610	0.37	0.01	0.14	0.62	37	167	0.07	444	2.78	1.04	3.55	38.23	22.45
Kuh Gurpi	3604	0.21	0.01	0.12	0.38	57	182	0.08	440	2.74	0.91	1.55	31.28	15.77
Kuh Gurpi	3600	0.19	0.01	0.05	0.49	25	253	0.17	440	2.93	0.94	3.16	36.84	20.17
Kuh Gurpi	3596	0.16	0.02	0.04	0.48	28	305	0.33	445	2.64	0.84	3.18	33.84	18.92
Kuh Gurpi	3583	0.22	0.02	0.11	0.52	47	234	0.15	443	3	1.03	3.08	38.17	21.15
Kuh Gurpi	3567	0.06	0	0.03	0.28	53	471	0.00	444	2.6	0.48	0.93	23.39	8.6
Kuh Gurpi	3558	0.15	0.2	0.11	0.58	71	379	0.65	461	2.83	0.84	1.17	29.98	13.9
Kuh Gurpi	3543	0.07	0.03	0.05	0.4	69	579	0.38	490	1.99	0.84	2.48	28.53	17.17
Kuh Gurpi	3489	0.35	0.03	0.22	0.85	63	244	0.12	443	2.92	0.91	1.54	32.25	15.74
Kuh Gurpi	3484	0.43	0.07	0.29	1.04	67	242	0.19	439	4.73	0.6	1.52	38.51	11.64
Kuh Gurpi	3479	0.24	0.01	0.1	0.79	42	331	0.09	438	4.82	0.61	1.14	38.18	10.82
Kuh Gurpi	3472	0.66	0.08	0.55	1.03	84	156	0.13	441	4.79	0.67	1.52	39.73	12.55
Kuh Gurpi	3467	0.94	0.14	2.43	0.72	259	77	0.05	438	4.4	0.93	2.43	43.15	18.22
Kuh Gurpi	3461	1	0.11	2.67	0.84	267	85	0.04	438	3.64	0.74	4.1	40.5	19.9
Kuh Gurpi	3454	0.91	0.14	2.12	0.98	233	108	0.06	438	5.02	0.67	2.5	43.44	15
Kuh Gurpi	3448	0.43	0.19	0.77	1.08	179	250	0.20	443	5.56	0.45	1.7	41.75	10.12
Kuh Gurpi	3441	0.39	0.02	0.17	0.86	45	221	0.11	441	4.49	0.65	2.04	39.02	13.59
Kuh Gurpi	3432	0.04	0.01	0.06	0.3	129	693	0.14	456	7.85	0.07	1.15	48.32	3.78

است، و هدف از این تحقیق تعیین روند کلی پرتو گامای سطحی است تاثیر در این زمینه نخواهد داشت. گامای تصحیح شده (CGR) برش‌های

واحد اندازه‌گیری پرتوگامای سطحی بر حسب نانوگری بر ساعت (nGy/h) است، هرچند تفاوت داده گاما بر حسب ای پی آی و نانوگری بسیار کم

این روش به علت نیاز نداشتن به صرف زمان زیاد و ساده و ارزان بودن، روش مناسبی برای ارزیابی ابتدایی سنگ منشأ می‌باشد (Kamali, 2006). این آنالیز بر روی نمونه‌های مورد مطالعه جهت بررسی توان هیدروکربن‌زایی، تعیین نوع کروژن و میزان پختگی و نیز تعیین میزان بلوغ مورد استفاده قرار گرفت:

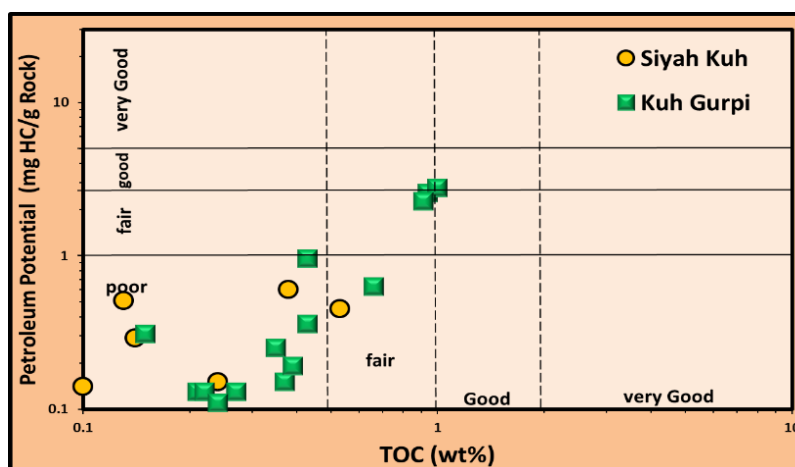
توان هیدروکربن‌زایی

براساس نمودار (S1+S2) در برابر TOC روش هونگ و همکاران (Huang et al, 2003)، به منظور بررسی توان هیدروکربن‌زایی در این سازند، نمودار (S1+S2) در برابر TOC ترسیم شد (شکل ۲). با توجه به این نمودار توان هیدروکربن‌زایی سازندگورپی در برش‌های مورد مطالعه از ضعیف تا متوسط می‌باشد.

مورد مطالعه براساس ضرایب پیشنهادی توسط شرکت سازنده محاسبه شده و به واحد ای‌پی‌آی تبدیل شده است،

پیرولیز راک‌اول

آنالیز پیرولیز راک‌اول که اغلب برای اکتشاف نفت و گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد و امروزه کاربرد گسترده در ارزیابی سازندهای هیدروکربن‌زا دارد (Espitalie et al, 1984; Peters, 1986; Behar et al, 2001; Dahl et al, 2004; Rabbani, 2006; Kobraei et al, 2019) سریع‌ترین و ساده‌ترین روش برای توصیف توان تولید هیدروکربن سنگ‌های منشأ (Hunt, 1996; Page et al, 1980) است. روش پیرولیز راک‌اول، حرارت دادن ماده آلی در نبود اکسیژن، برای تولید و آزاد شدن هیدروکربن از مواد آلی است (Barker, 1974).

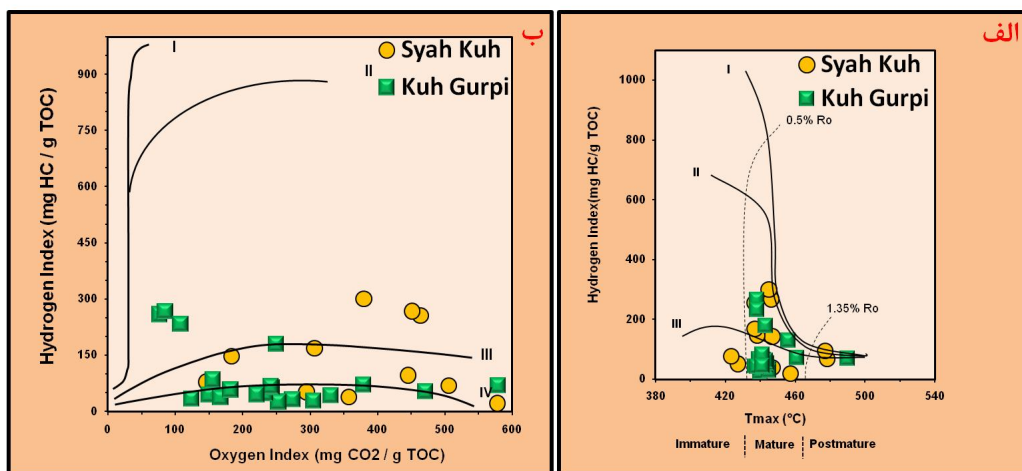


شکل ۲: نمودار TOC در برابر S1+S2 در نمونه‌های سازندگورپی در منطقه مورد مطالعه، لازم به ذکر است که نمونه‌های با مقادیر TOC کمتر از ۰/۱ بر روی نمودار مشاهده نمی‌شوند.

برای تعیین نوع ماده آلی موجود در سازندگورپی به کار گرفته شده است (Tissot and Espitalie, 1977; Espitalie et al, 1975). مواد آلی موجود در نمونه‌های این سازند از نوع III و II/III است و براساس پارامتر بلوغ حرارتی Tmax این نمونه‌ها بیانگر محدوده وسیعی از نابالغ تا بالغ است.

تعیین نوع کروژن و میزان بلوغ

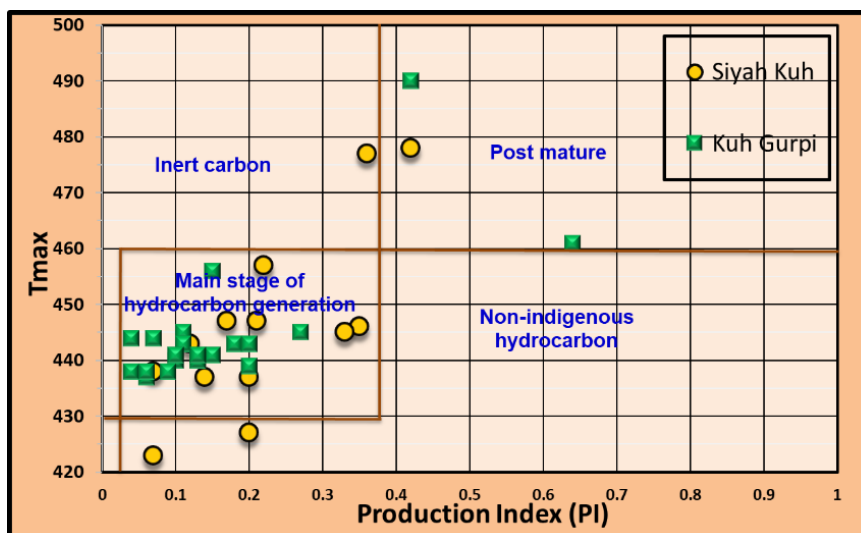
از نمودارهای ون کروولن (شکل ۳) برای تعیین نوع کروژن و میزان بلوغ در نمونه‌های سازندگورپی منطقه مورد مطالعه استفاده شده است، مانند شاخص اکسیژن (OI) در برابر شاخص هیدروژن (HI) است و از طرفی نمودار HI در برابر Tmax،



شکل ۳: الف) نمودار Tmax در برابر HI و ب) نمودار OI در برابر HI برای نمونه‌های سازندگورپی.

ارزیابی می‌شود (Al-Ameri et al, 2009). براساس نمودار Tmax در برابر PI (شکل ۴) معرفی شده توسط راقب (Ragheb et al, 2012) نمونه‌های مورد مطالعه اغلب در مرحله اصلی تولید هیدروکربن بوده و دارای هیدروکربن برجای می‌باشند.

علت گسترش کروژن نوع II و III افزایش پیچیدگی ساختاری مواد آلی (Tissot et al, 1987) است. همچنین با توجه به رنج داده‌های Tmax نمونه‌های مطالعه شده که اغلب از ۴۳۰ تا ۴۶۰ هستند، میزان بلوغ در حد شرایط پنجره نفتی



شکل ۴: نمودار Tmax در برابر PI در نمونه‌های سازندگورپی در منطقه مورد مطالعه

وابسته به سه عنصر پتاسیم (K^{40})، توریم (Th^{232}) و اورانیوم (U^{238}) می‌باشد. نمودار پرتو گاما وسیله خوبی برای بررسی مرزهای چینه‌شناسی و تطابق رخنمون‌ها است (Correia, et al, 2012). داده‌های پرتو گامای برداشت شده از نمونه‌هایی که آنالیز

طیف سنجی پرتو گاما

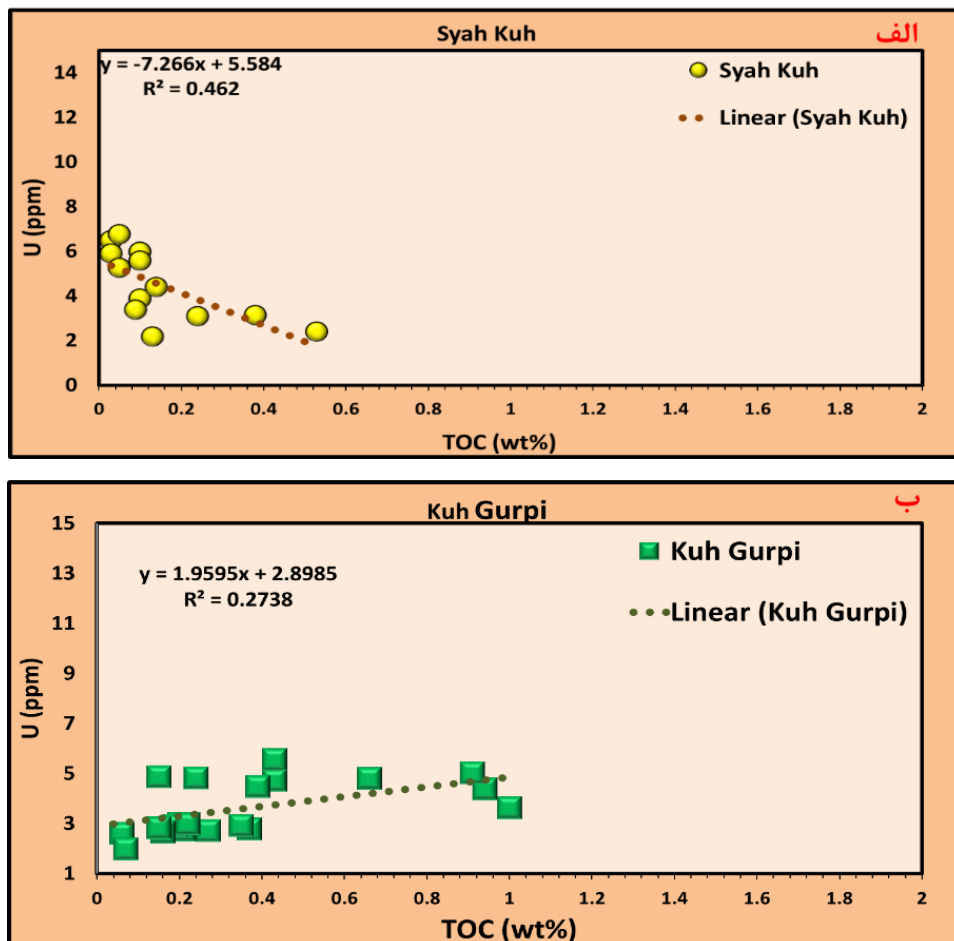
روش رادیومتری براساس اندازه‌گیری جریان و انرژی پرتو گامای منتشر شده در طول واپاشی ایزوتوپ‌های رادیواکتیو این عناصر و تخمین نسبی این مواد در سنگ‌ها می‌باشد. معمولاً فعالیت گاما

al, 2020; Eyre et al, 2019; Huang et al, 2015; Correia, 2012; Luning and Kolonic, 2003; Schovsbo, 2002; Peters and Cassa, 1994; Buchardt et al, 1986) در این مطالعه هم جهت تعیین ارتباط بین عیار کربن آلی و اورانیوم نمودار نسبت این دو عنصر ترسیم شد (شکل ۵).

پیرولیز راکااول بر روی آنها انجام شده، در جدول ۱ نشان داده شده است.

ارتباط بین پرتو اورانیوم و TOC

تاکنون بر روی ارتباط بین عیار کربن آلی و اورانیوم مطالعاتی صورت گرفته است از جمله (Ibrahim et



شکل ۵: نسبت اورانیوم به کربن‌آلی (U/TOC). الف) برش سیاه‌کوه، ب) برش کوه‌گورپی.

بحث و نتایج

نتایج مطالعات پیرولیز راکااول نمونه‌های سازندگورپی بیانگر آن است که میزان مواد آلی (TOC) در این سازند بین ۰/۰۳ تا ۱ با میانگین ۰/۲۷ درصد وزنی است. در برش سیاه‌کوه میزان این مواد بین ۰/۰۳ تا ۰/۵۳ با میانگین ۰/۱۵ درصد وزنی است، و در برش کوه‌گورپی بین ۰/۰۴ تا ۱ با

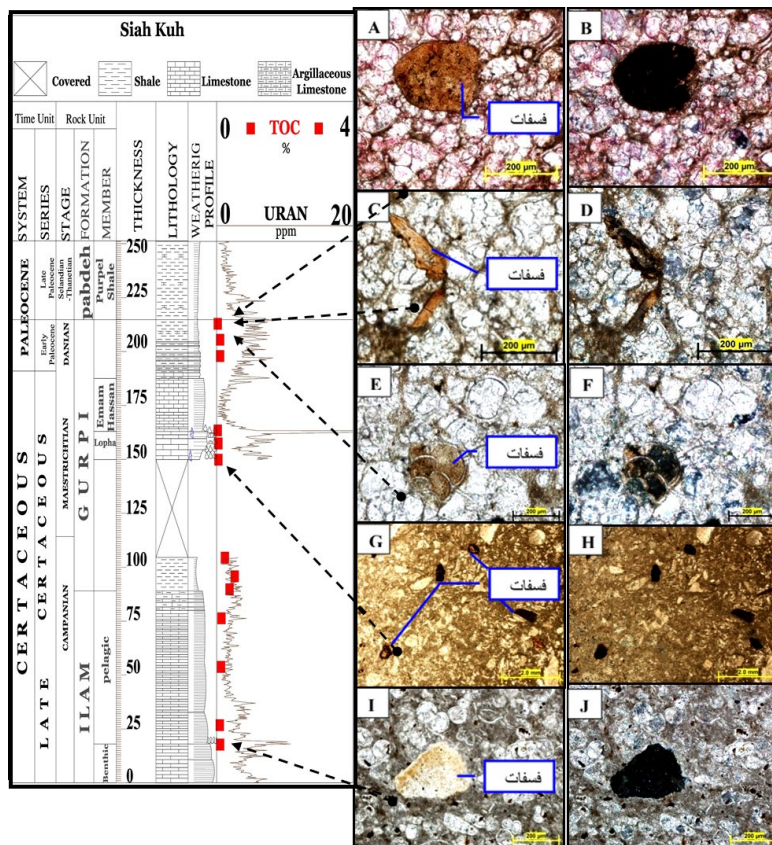
میانگین ۰/۳۵ درصد وزنی را نشان می‌دهد و در واقع تفاوت چشمگیری در میزان مواد آلی هر دو برش مشاهده نمی‌شود. بر این اساس و همچنین با توجه به نسبت میزان مواد آلی (TOC) به (S1+S2) در این مطالعه توان تولید هیدروکربن سازندگورپی در محدوده ضعیف تا متوسط ارزیابی گردید که در برش سیاه‌کوه دارای توان هیدروکربن‌زایی بسیار کم

و در برش کوه‌گورپی فقیر تا متوسط می‌باشند. نکته قابل توجه اینکه در برش کوه‌گورپی بهترین توان هیدروکربن‌زایی در سه نمونه برداشته شده از بخش‌های بالایی سازند مشاهده شده است. بر اساس شکل ۳، مواد آلی موجود در نمونه‌های سازندگورپی از نوع III و II/III است و براساس پارامتر بلوغ حرارتی Tmax و توجه به منحنی‌های مقادیر RO روی این نمودار، این نمونه‌ها هرچند در محدوده وسیعی از نابالغ تا فوق بالغ قرار دارند، اما غالب آنها در محدوده بالغ واقع شده‌اند و شرایط پنجره نفتی را تداعی می‌نمایند. با توجه به نمودار Tmax در برابر PI (شکل ۴) و قرارگیری داده‌ها در محدوده مرحله اصلی تولید هیدروکربن^۷ با نتایج دیگر دیگرام‌ها هماهنگ بوده و نیز حاکی از آن است که نمونه‌ها حاوی هیدروکربن برجا هستند که اعتبار مطالعه و تفاسیر ارائه شده را نشان می‌دهد. در بررسی ارتباط بین نسبت اورانیوم به کربن آلی در نمونه‌های مورد مطالعه، باید توجه داشت که از آنجائی که ماده آلی و اورانیوم درج‌ازا، دارای محیط رسوبی مشابهی هستند و هر دو در یک محیط احیایی نهشته می‌شوند؛ با اندازه‌گیری مقدار تغییرات اورانیوم رسوب می‌توان درباره مقدار ماده آلی آن اظهار نظر کرد (Hassan, 1976). همچنین طبق تحقیقات فیت (Fiet, 2000) بخش غنی از مواد آلی رسوبات مارنی پلاژیک آلبین در مرکز ایتالیا، لاگ اورانیوم شاخص خوبی برای لایه‌های غنی از مواد آلی است. در همین راستا، جولیان (Julian, 1995) در مطالعه رسوبات لیاس جنوب بریتانیا، حداکثر تمرکز گاما را مرتبط با ترکیب اورانیوم در مواد آلی دانست. در برخی از رسوبات با افزایش مقدار مواد آلی (TOC) در رسوب، اغلب تمرکز اورانیوم و توریوم افزایش می‌یابد در حالی که محتوای پتاسیم کاهش نشان می‌دهد (Vigh et al, 2013). از طرفی طبق مطالعات جولانتا و لیدال

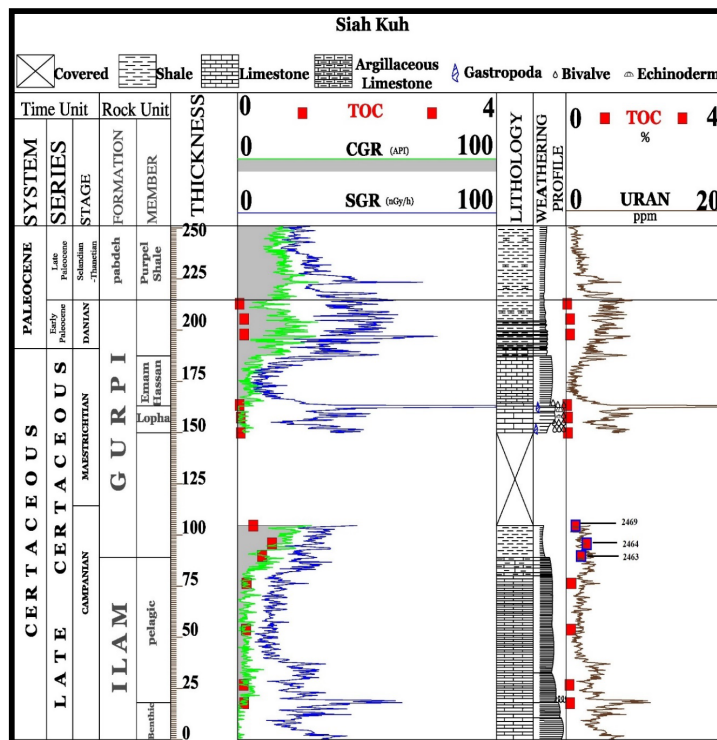
(Jolanta and Lidia, 2016) بر روی تعدادی گمانه، تطابق خوبی بین مقدار مواد آلی (TOC) و میزان اورانیوم در این رسوبات به دست آوردند. هرچند براساس مطالعات متعددی پرتو اورانیوم ابزاری برای بررسی ارتباط گاما با ماده آلی است (Eyre et al, 2019; Huang et al, 2015; Correia, 2012; Schovsbo, 2002; Peters and Cassa, 1994; Buchardt et al, 1986)، با این حال، همیشه اورانیوم رابطه مستقیمی با درصد وزنی ماده آلی ندارد. به عنوان مثال در بیتومن‌های پزیدونین حوضه چیفر لهستان ارتباطی بین اورانیوم و درصد وزنی ماده آلی وجود ندارد و با افزایش اورانیوم ماده آلی کاهش می‌یابد (Luning and Kolonic, 2003). ارتباط بین عیار کربن آلی و اورانیوم توسط عوامل گوناگون مانند توانائی و تمرکز جذب کننده‌های اورانیوم (همانند فسفات، مواد آلی و نوع مواد آلی مقدار یا نرخ رسوبگذاری و مدت دوام محیط احیایی) (پاریاب و کمالی، ۱۳۸۵) کنترل می‌شود. سنگ-شناسی به عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورهای کنترل کننده رابطه ماده آلی با اورانیوم، حاکی از ته نشین شدن شیل‌های گورپی در محیط عمیق پلاژیک در منطقه مورد مطالعه است (آقانباتی ۱۳۸۳؛ مطیعی ۱۳۸۲) و در واقع این شیل‌ها مناسب‌ترین لیتولوژی برای بررسی تناسب ماده آلی با اورانیوم را دارا می‌باشند که در شکل ۵ الف این رابطه برای نمونه‌های برش کوه‌گورپی به وضوح مشاهده می‌شود. با این حال، براساس شکل ۵ ب در برش سیاه‌کوه بین نسبت اورانیوم به کربن آلی ارتباط معکوس دارند. به عبارتی با کاهش کربن آلی میزان اورانیوم کاهش نمی‌یابد، بلکه میزان آن افزایش می‌یابد. با توجه به وجود فسفات و گاه گلوکونیت در نمونه‌های برداشت شده در برش سیاه کوه (شکل ۶) ارتباط بین میزان کربن آلی و اورانیوم در برش سیاه‌کوه می‌تواند توسط فسفات و

شدن رابطه مورد نظر به‌طور مجزا برای نمونه‌های مورد مطالعه، داده‌های گامای به همراه پرتو اورانیوم برداشت شده از سازند گورپی در برش‌های مورد مطالعه و میزان TOC حاصل از آنالیز پیرولیز راک-اول نمونه‌ها در نرم‌افزار ژئولاگ (شکل ۷ و ۸) رسم شد. براساس این شکل‌ها نیز در برش سیاه‌کوه (به غیر از نمونه‌های ۲۶۶۳، ۲۶۶۴ و ۲۶۶۹ مربوط به شیل‌های قاعده سازند گورپی در برش سیاه‌کوه) (شکل ۷) به ندرت ارتباط مستقیم بین میزان کربن آلی و اورانیوم مشاهده می‌شود (شکل ۷) و در برش کوه‌گورپی رابطه مستقیم بین تمرکز ماده آلی و مقدار اورانیوم وجود دارد (شکل ۸).

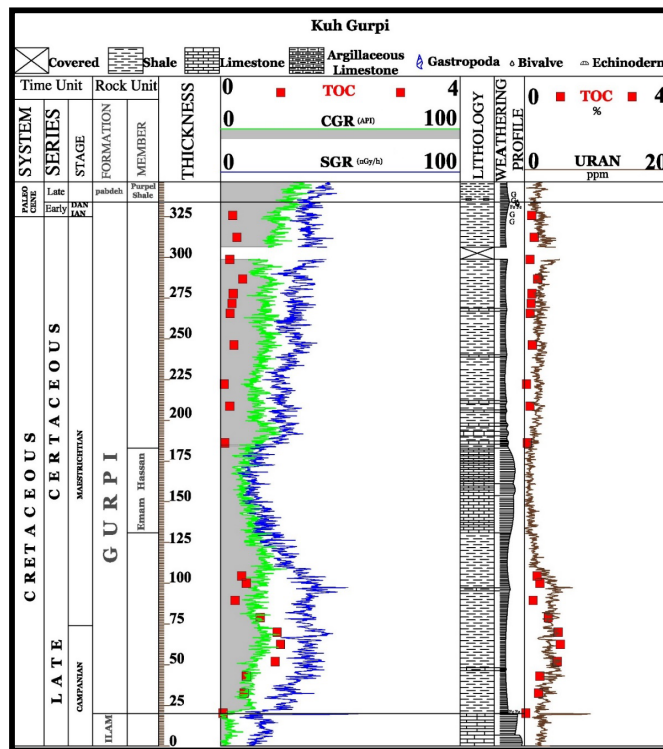
گلوکونیت کنترل شده باشد. البته بالا بودن کانی‌های کربناته نیز می‌تواند از اصلی‌ترین عوامل مزاحم در ارتباط U / TOC باشد (Lüning and Kolonic, 2003). در برش کوه‌گورپی گسترش میزان اورانیوم اغلب توسط کربن آلی کنترل شده است (شکل ۵). در برش کوه‌گورپی مقادیر مربوط به نمونه شماره ۳۴۳۲ ($U=7/85$) که از مرز بین سازندگورپی با ایلام برداشت شده است، به دلیل عدم هماهنگی با دیگر نمونه در نمودار U / TOC از این نمودار حذف شد و همان‌طور که در شکل ۵ قابل مشاهده است، رابطه مستقیم U / TOC به‌طور قابل توجهی ($r=0.27$) دیده می‌شود. جهت روشن



شکل ۶: ترکیبات فسفاتی در نمونه‌های برش سیاه‌کوه که بر روی آنها آنالیز راک‌اول صورت گرفته است. (A, C, E) ترکیبات فسفاتی در نمونه شماره ۲۷۰۶ با نور طبیعی (B, D, E) ترکیبات فسفاتی در نمونه شماره ۲۷۰۶ با نور پلاریزه (G) ترکیبات فسفاتی در نمونه شماره ۲۶۶۴ با نور طبیعی (H) ترکیبات فسفاتی در نمونه شماره ۲۶۶۴ با نور پلاریزه (I) ترکیبات فسفاتی در نمونه شماره ۲۶۰۵ با نور طبیعی (J) ترکیبات فسفاتی در نمونه شماره ۲۶۰۵ با نور پلاریزه.



شکل ۷: ارتباط بین میزان کربن آلی و اورانیوم در برش سیاه‌کوه، تاثیر فراوانی فسفات و گاه‌گاه گلوکونیت تمرکز اورانیوم را در این برش کنترل کرده است. نمونه‌های با کادر آبی شامل نمونه‌های ۲۶۶۳، ۲۶۶۴ و ۲۶۶۹ رابطه مستقیم U / TOC را نشان می‌دهد.



شکل ۸: لاگ اورانیوم در برش کوه‌گورپی که الگوی مشابه با محتوای TOC نشان می‌دهد و بیانگر نقش کربن آلی در تمرکز اورانیوم مشخص است.

نتیجه‌گیری

و II/III است و در برش کوه‌گورپی غالباً از نوع II/III و III می‌باشند. همچنین هیدروکربن موجود در این نمونه‌ها بر جا بوده و میزان بلوغ حرارتی آنها در حد محدوده پنجره نفتی و در مرحله اصلی تولید هیدروکربن می‌باشد. ارتباط بین میزان کربن آلی و اورانیوم در برش سیاه‌کوه با توجه به گسترش فسفات و گاه‌گاه‌گلوکونیت کنترل شده است. در برش کوه‌گورپی رابطه خطی یا مستقیم بین تمرکز ماده آلی و مقدار اورانیوم وجود دارد، به عبارتی در این برش گسترش میزان اورانیوم اغلب توسط کربن آلی کنترل شده است.

نتایج مطالعات پیرولیز راک‌اول بر نمونه‌های سازند گورپی بیانگر آن است که میزان مواد آلی در این سازند بین ۰/۰۳ تا ۱ با میانگین ۰/۲۷ درصد وزنی است، که بیشترین مقدار مربوط به برش کوه‌گورپی می‌باشد. از دیدگاه توان هیدروکربور زایی سازند گورپی در برش سیاه‌کوه دارای توان ضعیف و در برش کوه‌گورپی ضعیف تا متوسط برای تولید هیدروکربن تعیین شده است. مواد آلی موجود در نمونه‌های سازند گورپی در برش سیاه‌کوه از نوع III

پانویس

- 1-Jacob Staff
- 2-ppm
- 3-Productivity Index
- 4-Oxygen Index

- 5-Hydrogen Index
- 6-Main stage of hydrocarbon generation
- 7-Main stage of hydrocarbon generation

منابع

باختری ایذه، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، دوره ۲۸، شماره ۴، ص ۱-۲۴.
 رفیعی، ب.، اربابی، م.، محسنی، ح. و بیاتی، م.، ۱۳۹۲. ژئوشیمی آلی، بلوغ حرارتی و پتانسیل هیدروکربن‌زایی سازند گورپی، از گله، شمال غرب کرمانشاه، رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۱، شماره ۲، ص ۲۹-۳۷.
 صادقی، م.، کمالی، م.، قوامی ریابی، ر. و قربانی، ب.، ۱۳۹۳. ارزیابی ویژگی‌های ژئوشیمیایی مواد آلی سازندهای پابده و گورپی میدان نفتی نصرت در جنوب خاور خلیج فارس با استفاده از پیرولیز راک‌ایول ۶ و کروماتوگرافی گازی، فصلنامه علوم زمین، زمستان ۹۳، سال ۲۴، شماره ۹۴، ص ۳-۳۱۷.
 صفائی فاروجی، م.، رحیم پوربناب، ح. و قربانی، ب.، ۱۳۹۸. ارزیابی ژئوشیمیایی و توان هیدروکربن

-آقاناتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران، ۵۸۶ ص.
 -پاریاب، م. و کمالی، م.ر.، ۱۳۸۵. طیف‌سنجی پرتو اورانیوم به منظور تعیین TOC سازندهای پابده و گورپی در یکی از میادین واقع در جنوب غرب ایران، یازدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
 -مطیعی، ه.، ۱۳۸۲. زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران، ۵۵۶ ص.
 -موسوی، م.ح.، کمالی، م.ر.، عبدل‌زاده، س.، احمدی، ا. و کعبی‌مفرد، ا.، ۱۳۹۱. ژئوشیمی آلی سنگ‌های منشاء کرتاسه بالایی (سازند گورپی) و پالئوژن (سازند پابده) در میدان نفتی پرسپناه، شمال

هیدروکربوری احتمالی با استفاده از مطالعات ژئوشیمیایی در منطقه ازگله (غرب کرمانشاه)، نشریه مهندسی معدن، دوره هشتم، شماره ۱۱، ص ۱-۱۱.

-Aghanabati, S.A., 2004. Geology of Iran. Ministry of industry and mine geological survey of Iran, 586 p.
 -Al - Ameri, T.K., Al-Khafaji, A.J. and Zumberge, J., 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.
 -Ala, M.A., Kinghorn, R.R.F. and Rahman, M., 1980. Organic geochemistry and source rock characteristics of the Zagros petroleum province, southwest Iran. Journal of Petroleum Geology, v. 3(1), p. 61-89.
 -Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. American Journal of Science, v. 304, p. 1-20.
 -Alavi, M., 2007. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. American Journal of Science, v. 307, p. 1064-1095.
 -Alavi, M., 2008. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran; American Journal of Science, v. 307, p. 1064-1095.
 -Asadi Mehmandosti, E., Adabi, M.H.A., Bowden, S. and Alizadeh, B., 2015. Geochemical investigation, oil-oil and oil-source rock correlation in the Dezful Embayment, Marun Oilfield, Zagros, Iran. Marine and Petroleum Geology, v. 69, p. 619-660.
 Barker, C., 1974. "Pyrolysis techniques for source rock evaluation", AAPG Bullrtin, v. 58, p. 2349-2361.
 -Behar, F., Beaumont, V. and Penteadó, H.L. and De, B., 2001. Rock-Eval 6 Technology: Performances and

زایی سازندهای پابده و گورپی در میدان نفتی گچساران، با استفاده از روشهای پیرولیز راکایول و پتروگرافی مواد آلی، ماهنامه علمی اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۵۶، ص ۴۵-۵۲.
 -قاضوی، س.، رضایی، س.، سجایی، ف. و معماریان، ح.، ۱۳۹۰. ارزیابی پتانسیل سنگهای منشأ

Developments: Oil & Gas Science and Technology - Rev. IFP, v. 12, p. 111-134.
 -Bell, K.G., Goodman, C. and Whitehead, W.L., 1940. Radioactivity of sedimentary rocks and associated petroleum. AAPG Bull, v. 24, p. 1529-1547.
 -Berberian, M. and Kings, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences, v. 18, p. 210-265.
 -Bordenave, M.L. and Burwood, R., 1990. Source rock distribution and maturation in the Zagros orogenic belt: Provenance of the Asmari and Bangestan reservoir oil accumulations. Organic Geochemistry, v. 16(1-3), p. 369-387.
 -Bordenave, M.L. and Huc, A.Y., 1995. The Cretaceous source rocks in the Zagros Foothills of Iran: an example of a large size intracratonic basin, Rev. Inst. Fr. Pet., p. 727-753.
 -Bordenave, M.L. and Hegre, J.L., 2010. Current distribution of oil and gas fields in the Zagros Fold belt of Iran and contiguous offshore as the result of petroleum systems. Geological Society, London, Special Publications, v. 330, v. 291-353.
 -Bordenave, M.L. and Huc, A.Y., 2010. The Cretaceous source rocks in the Zagros foothills of Iran. Revue de l'Institut Français du Pétrol, v. 50, p. 727-753.
 -Buchardt, B., Clausen, J. and Thomsen, E., 1986. Carbon isotope composition of Lower Paleozoic kerogen: effects of

- maturation. *Organic Geochemistry*, v. 10, p. 127-134.
- Correia, G.C., Duarte, L.V., Pereira, A. and Silva, R.L., 2012. Outcrop gamma-ray spectrometry: applications to the Sinemurian- Pliensbachian organic-rich facies of the Lusitanian basin (Portugal).
- Dahl, B., Bojesen-Koefoed, J., Holm, A., Justwan, H., Rasmussen, E. and Thomsen, E., 2004. "A new approach to interpreting Rock-Eval S2 and TOC data for kerogen quality assessment", *Organic Geochemistry*, v. 35(11- 12), p. 1461-1477.
- Espitalie, J., Deroo, G. and Marquis, F., 1985. "La pyrolyse Rock-Eval et ses applications. Première partie", *Rock-Eval Pyrolysis and Its Applications (Part One)*, *Oil & Gas Science and Technology-Rev. IFP*, v. 40(5), p. 563-579.
- Espitalie, J., Marquis, F. and Barsony, v., 1984. *Geochemical logging*. In: K. J. Voorhees (Eds), *Analytical Pyrolysis: Techniques and applications*, Butterworths, Boston, p. 276-304.
- Espitalie, J.J.L., Laporte, M., Madec, F., Marquis, P., Leplat, J., Paulet, J. and Boutefeu, A., 1977. *Methode rapide de caracterisation des roches meres, de leur potentiel petrolier et de leur degre d'evolution: Revue de l'Institut Francais du Petrole*, v. 32, p. 23-42.
- Eyre, T.S., Eaton, D.W., Garagash, D.I., Zecevic, M. and Venieri, M., 2019. Ronald Weir, Donald C. Lawton. 2019. The role of aseismic slip in hydraulic fracturing-induced seismicity. *Science Advances*. DOI: 10.1126/sciadv.aav7172.
- Fiet, N. and Gorin, G.E., 2000. Gamma-ray spectrometry as a tool for stratigraphic correlations in the carbonate-dominated, organic-rich, pelagic Albian sediments in Central Italy, *Eclogae Geologicae Helvetiae*, p. 175-181.
- Ghazavil, S., Memarian, H., Rezaei, S. and Sahabi, F., 2011. Assessment of Probable Hydrocarbon Source Rock Potentiality using Geochemical Studies in Azgaleh Region (West of Kermanshah), *Iranian Journal of Mining Engineering*, v. 6(11), p. 1-17.
- Hassan, M., Husen, A. and Combaz, A., 1976. *Fundamentals of the differential gamma log interpretation technique*. Transactions of SPWLA 17 th Annual Logging Symposium, June 9-12, Paper H.
- Heidarifard, M., 2011. TOC predication from well log using Δ logr method and neural network technique in the Northern Dezful Embayment, Zagros, Iran, The 2nd South Asian Geoscience Conference and Exhibition, GEOIndia, Gearter Noida, New.
- Huang, B., Xiao, X. and Zhang, M., 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.
- Huang, R., Wang, Y., Cheng, S., Liu, S. and Cheng, L., 2015. Selection of logging-based TOC calculation methods for shale reservoirs: A case study of the Jiaoshiba shale gas field in the Sichuan Basin. Research Institute of Sinopec Exploration Southern Company, Chengdu, Sichuan 610041, China.
- Hunt, J.M., 1996. *Petroleum Geochemistry and Geology (Second Edition)*: W.H. Freeman and Company, New York, 743 p.
- Jolanta, K. and Lidia, D., 2016. Geological interpretation of spectral gamma ray (SGR) logging in selected boreholes, Oil and Gas Institute – National Research Institute, NAFTA-GAZ.
- Julian, L.B., 1995. High-Resolution Outcrop Gamma-Ray Spectrometry of the Lower Lias, Southern Britain,

- volume 1, Thesis presented to the University of Oxford for the Degree of Doctor of Philosophy, 208 p.
- Ibrahim, W.E., Salim, A.M.A. and Sum, C.W., 2020. Mineralogical investigation of fine clastic rocks from Central Sarawak, Malaysia. *J Petrol Explor Prod Technol*, v. 10, p. 21-30. <https://doi.org/10.1007/s13202-019-00751-0>.
- Kaboli, S., 2011. Biostratigraphy and micropaleontological Studies on the surface samples collected from the Kule Har stratigraphic section, in South flank of Siah Kuh Anticline, Southeast of Dehluran city, Southwest Iran. Paleontological note # 810, National Iranian Oil Company, Exploration Directorate, Department of Geological and Geochemical Studies and Researches.
- Kamali, M. and Ghorbani, B., 2006. Organic geochemistry from phytoplankton to oil production, Arian press, Tehran, 318 p.
- Kobraei, M., Sadouni, J. and Rabbani, A.R., 2019. Organic geochemical characteristics of Jurassic petroleum system in Abadan Plain and north Dezful zones of the Zagros basin, southwest Iran. *Journal of Earth System Science*, v. 128(3), p. 50-68
- Lafargue, E., Espitalié, J., Marquis, F. and Pillot, D., 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.
- Lüning, S. and Kolonic, S., 2003. Uranium spectral gamma-ray response as a proxy for organic richness in black shales: Applicability and limitations. *Journal of Petroleum Geology*, v. 26, p. 153-174.
- Motiei, H., 1993. Geology of Iran: Stratigraphy of Zagros. *Treatise on the geology of Iran* (p. 536). Tehran: Geological Survey of Iran.
- Mousavi, M.H., Kamali, M.R., Shayesteh, M., Ahmadi, A. and KaabiMofrad, A., 2012. Organic geochemistry of Upper Cretaceous (Gurpi Formation) and Paleogene (Pabdeh Formation) rocks in Persia oil field, northwest of Izeh, stratigraphic and sedimentological research, year 28, consecutive number 49, number four, Winter 2012, H 1 to 24.
- Myers, K.J. and Wignail, P.B., 1987. Understanding Jurassic organic-rich mudrocks - new concepts using gamma-ray spectrometry and paleoecology: example from the Kimmeridge Clay. Dorset and the Jet Rock of Yorkshire. In: *Marine Clastic Sedimentology: New Developments and Concepts*. (Ed. by J.K. Legget & G.G. Ziti a). Graham & Trotman. London, p. 172- 189.
- Page, M.M. and Kuhnel, C., 1980. Rock EvalPyrolysis as source rock using programmed pyrolysis", *AAPG Bulletin*, v. 64, p. 762.
- Paryab, M. and Kamali, M.R., 2006. Uranium beam spectroscopy to determine the TOC of Pabdeh and Gurpi formations in one of the fields located in the southwest of Iran, 11th National Congress of Chemical Engineering, Tehran, TarbiatModares University.
- Peters, K.E., 1986. "Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis", *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 70, p. 318-329.
- Peters, K.E. and Cassa, M.R., 1994. Applied source rock geochemistry: chapter 5—part II. Essential elements. In: Magoon LB, Dow WG (eds) *The petroleum system—from source to trap*, vol 60. American Association of Petroleum Geologists, Memoir, p. 93-120.
- Rabbani, A.R., 2006. *Petroleum Geochemistry - Offshore SE Iran*,

- Geochemistry International, v. 45, p. 1164-1172.
- Rafiei, B., Arbabi, M., Mohseni, H. and Bayati, M., 2013. Organic geochemistry, thermal maturity and hydrocarbon generation potential of the Gurpi Formation, Ezgeleh, NW Kermanshah, Journal of Applied sedimentary Bu-Ali Sina University, v. 1(2), p. 29-37.
- Sadeghi, M., Kamali, M.R., Ghavami Riabi, R. and Qorbani, B., 2015. Geochemical Evaluation of Organic Matter of The Pabdeh and Gurpi Formations in Nosrat Oil Field, Se Persian Gulf, Using Rock-Eval Vi and Gas Chromatography, Geosciences, Winter, v. 24(94), p. 317-326.
- Safaei Farooji, M.R., Haim Pour banab, H. and Ghorbani, B., 2019. Geochemical evaluation and hydrocarbon generation potential of Pabdeh and Gurpi formations in Gachsaran oil field, using rock oolol pyrolysis methods and petrography of organic materials, Scientific Monthly of Oil and Gas Exploration and Production, 156 p.
- Schovsbo, N.H., 2002. Uranium enrichment shorewards in black shales: A case study from the Scandinavian Alum Shale, GFF -Uppsala, v. 124, p. 107-116.
- Shafizad, M., 2011. Biostratigraphy and micropaleontological studies on the surface samples collected from the Kul-e Khodā-Dād and Tal-e Hhāji-Ali stratigraphic section in Kuh-e Gurpi anticline, North of Lāli city, in Izeh zone, Souhtwestern Iran. Paleontological note # 826, National Iranian Oil Company, Exploration Directorate, Department of Geological and Geochemical Studies and Researches.
- Takin, M., 1972. Iranian geology and continental drift in the Middle East. Nature, v. 235(5334), p. 147-150.
- Tissot, B. and Espitalie, J., 1975. Thermal evolution of organic materials in sediments; application of a mathematical simulation; petroleum potential of sedimentary basins and reconstructing the thermal history of sediments, Revue de l'Institut Francais du Petrole et Annales des Combustibles Liquides, v. 30(5), p. 743-777.
- Tissot, B.P., Pellet, R. and Ungerer, P.H., 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.
- Vigh, T., Kovács, T., Somlai, J., Kávási, N., Polgári, M. and Bíró, L., 2013. Terrestrial Radioisotopes in Black Shale Hosted Mn-Carbonate Deposit (Úrkút, Hungary). Acta Geophysica, v. 61(4), p. 831-847.
- Zelt, F.B., 1985. Natural gamma-ray spectrometry, lithofacies, and depositional environments of selected Upper Cretaceous marine mud rocks, western United States, including Tropic Shale and Tununk Member of Mancos Shale. PhD thesis, Princeton University.