

ژئوشیمی آلی سازند نایبند (تریاس پسین) در ناحیه پروده طبس، خاور ایران مرکزی

مرتضی یوسفی^۱ و رضا بهبهانی^{۲*}

۱ و ۲- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

نویسنده مسئول: rezabehbahani30@yahoo.com

دریافت: ۹۵/۹/۱۷ پذیرش: ۹۵/۱۱/۱۹

چکیده

سازند نایبند با سن تریاس پسین (نورین-رتین) به طور گسترده در زیر پهنه طبس در خاور ایران مرکزی رخنمون دارد. این سازند با ۱۴۱۰ متر ستبر در ناحیه پروده، عمدتاً از ماسه‌سنگ، سنگ‌آهک ماسه‌ای، مارن، شیل زغال‌دار (افق‌های زغال‌دار) و شیل تیره ساخته شده است. هدف از این پژوهش، بررسی ژئوشیمی آلی، پتانسیل هیدروکربن‌زایی، نوع کروژن، رسش (بلوغ) گرمایی و شناخت شرایط رسوب‌گذاری سازند نایبند می‌باشد. ۸۶ نمونه از شیل‌های زغالی و شیل‌های تیره برداشت شد و توسط راک-اول VI واکاوی شد. یافته‌های واکاوی ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که مقدار کربن آلی کل در شیل‌های زغالی بیش از ۴ درصد وزنی و در شیل‌های تیره کم‌تر از ۴ درصد وزنی است. با توجه به شاخص‌هایی مانند S_1 ، S_2 و S_1+S_2 ، سازند نایبند توان کمی برای تولید هیدروکربن دارد. برپایه مقادیر شاخص هیدروژن، نمونه‌ها عمدتاً گاززا (شیل‌های تیره) تا دارای پتانسیل کم تولید (شیل‌های زغالی) هستند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که بیش‌تر کروژن‌های این سازند در شیل‌های زغال‌دار از نوع IV و در شیل‌های تیره از نوع III و IV هستند. مقادیر بازتاب ویتربینیت شیل‌های زغال‌دار (۱/۱۲-۰/۸۴ درصد) نشان می‌دهد که شیل‌های زغال‌دار در مرحله رسیده (به دلیل سرشاری از مواد آلی اکسید شده دارای توان اندک هیدروکربن‌زایی) قرار گرفته‌اند. چگونگی پخش نقاط در نمودار شناسایی رخساره آلی نشانگر وجود رخساره‌های آلی چیره D و CD (شرایط رسوبی شدیداً اکسیدان تا اکسیدان) برای این واحد سنگی است. بر پایه مقادیر شاخص هیدروژن و کربن آلی کل، بیش‌تر نهشته‌های مورد بررسی در شرایط افت نسبی تراز آب دریا نهشته شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: سازند نایبند، ژئوشیمی آلی، هیدروکربن‌زایی، کروژن، رخساره آلی

مقدمه

پتانسیل هیدروکربن‌زایی توالی رسوبی تریاس پسین

بررسی شد.

تا اواخر دهه ۱۹۶۰ میلادی، بیش‌تر زمین‌شناسان بر این باور بودند که رسوبات دریایی، سنگ منشا نفت، زغال‌ها و شیل‌های زغالی؛ سنگ منشا گاز می‌باشند، زیرا هیچ تطابق جغرافیایی و سنی بین میدان‌های نفتی و رسوبات زغال‌دار انجام نشده بود [۲۶]. وجود بیتومن و انباشت نفت سنگین مومی که گاهی به صورت تراوش‌های نفتی در روی زمین آشکار می‌شوند، نشان می‌داد که احتمالاً زغال‌سنگ، منشا بخشی از هیدروکربن‌های مایع جهان باشد. زغال‌سنگ‌های هومیک از نظر محتوی ماسرال (اجزای آلی در مقیاس میکروسکوپی) و ترکیب شیمیایی بسیار ناهمگن می‌باشند [۲۳ و ۳۹]. مواد با منشا گیاهی مزوزوئیک و به خصوص سنوزوئیک از واکس‌ها سرشارتر بوده و پتانسیل تولید هیدروکربن مایع آن‌ها بیش‌تر است. ماسرال‌های گروه لیپتینیت، دارای محتوی هیدروژن بیش‌تری نسبت به بقیه گروه‌های ماسرالی هستند.

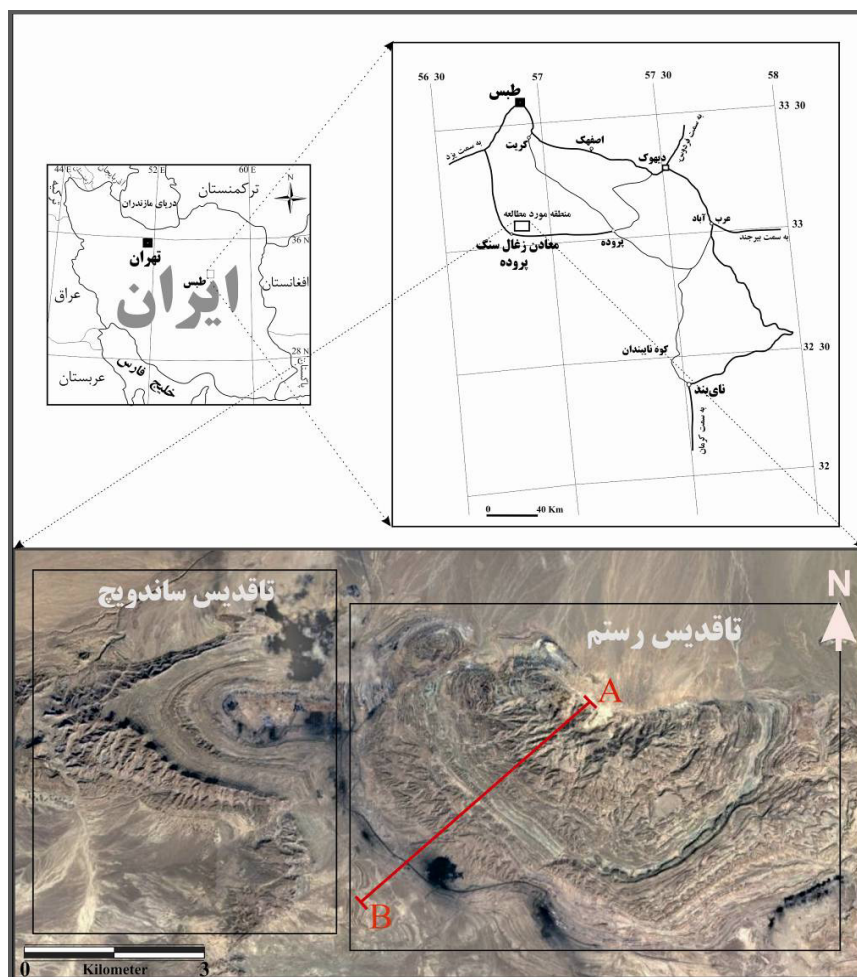
لایه‌های زغال‌دار ایران در رسوبات تریاس پسین و ژوراسیک پیشین-میانی در حوضه‌های البرز و ایران مرکزی گسترش بسیاری دارد [۱]. سازند نایبند به عنوان کهن‌ترین عضو گروه شمشک در ایران مرکزی، به سبب دارا بودن ذخایر عظیم زغال‌سنگ، از دیرباز مورد توجه زمین‌شناسان بوده است. با آنکه پژوهش‌های بسیاری بر روی نواحی زغال‌دار ایران مرکزی انجام گرفته است [۱۴، ۱۸ و ۳۵]، با این حال و به رغم وجود توالی‌های بسیار ستبر شیل‌های زغالی و شیل‌های تیره این واحد سنگی، هنوز پژوهش‌های جامعی در مورد ژئوشیمی آلی و توان هیدروکربن‌زایی احتمالی آن انجام نشده است. ناحیه زغال‌دار پروده در جنوب طبس، رخنمون‌های نسبتاً کاملی از نهشته‌های تریاس پسین و ژوراسیک را داراست که به جهت انجام بررسی‌های ژئوشیمی آلی و پتانسیل احتمالی هیدروکربن‌زایی، در خور توجه هستند. در این پژوهش با بررسی یافته‌های برگرفته از پیرولیز راک-اول،

در سمت راست، جاده فرعی به طول ۶۰ کیلومتر وجود دارد که راه ویژه معادن زغال‌سنگ پروده است. هم‌چنین، برای دسترسی به سایر نقاط منطقه مورد مطالعه می‌توان از جاده‌های خاکی اکتشافی که در گذشته برای ترابری دستگاه‌های حفاری به محل چاه‌های اکتشافی زغال‌سنگ بهره‌گیری می‌شده است، آمدوشد نمود. قاعده برش چینه‌شناسی اندازه‌گیری شده در پهنای جغرافیایی $44^{\circ} 30' N$ و درازای جغرافیایی $48^{\circ} 53' 56'' E$ قرار دارد و مختصات مرز میان سازند نایبند و آب‌حاجی در برش مورد مطالعه در پهنای جغرافیایی $30' 59'' N$ و درازای جغرافیایی $45' 49'' 56'' E$ واقع شده است (شکل ۱).

بنابراین هرچه مقدار این گروه ماسرال در سنگ بیش‌تر باشد، مقدار هیدروکربن مایع تولید شده بیش‌تر خواهد بود [۲۵ و ۳۸]. این نوع زغال‌سنگ‌ها که توان تولید و تراوش نفت‌های بدون مواد فرار دارند (API=25-35) وابسته به کرتاسه و ترشیاری هستند و در استرالیا، زلاندنو و آسیای جنوب خاوری گسترش دارند [۱۵]. در یک پژوهش [۲]، اقی‌های زغال‌دار (زغال‌سنگ هومیک دارای ماسرال‌های ویتیرینیت و لیپتیرینیت) سازنده پابده در شمال باختری ایلام بررسی شد و به عنوان یک سنگ منشا هیدروکربن مایع در نظر گرفته‌شد.

جایگاه جغرافیایی و راه‌های دسترسی

مناسب‌ترین راه دسترسی به برش مورد بررسی از راه طبس- یزد شدنی است. پس از طی نزدیک ۲۰ کیلومتر،



شکل ۱. جایگاه جغرافیایی، راه‌های دسترسی، تصویر ماهواره‌ای تاقدیس رستم و جایگاه قرارگیری پایین (A) و بالای (B) برش چینه‌شناسی مطالعه شده در این پژوهش

زمین‌شناسی منطقه

بلوک طبس بخشی از خرده قاره ایران مرکزی است که میان گسل‌های نایبند در خاور و کلمرد- کوهنجان در باختر قرار دارد. همزمان با فعالیت‌های گسترده فاز کوهزایی سیمین پیشین در زمان تریاس پسین که بیشتر نواحی ایران مرکزی را تحت تاثیر قرار داد، شرایط ساحلی تا دریایی کم‌ژرفا در این ناحیه حکم‌فرما شد و سبب ساخت و گسترش جنگل‌های وسیع و تورب‌زارهایی گردید که بعدها، زغال‌سنگ‌های تریاس پسین منطقه پروده را پدید آورده‌اند. شرایط کرانه‌ای تا دریایی کم‌ژرفا با پیشروی و پسروی‌های پایپی دریا تغییر نمود و سبب ته‌نشینی چرخه‌های متعددی از رسوبات قاره‌ای تا دریایی نیمه‌ژرف گردید. رژیم زمین‌ساختی منطقه زیر تاثیر گسل‌های کهن و اصلی ناحیه (گسل‌های کلمرد و نایبند) از نوع انبساطی بود که سبب کشش و فرونشست سریع

حوضه رسوبی و ته‌نشست ستبرای بسیاری از رسوبات نواحی کم‌ژرفا و کرانه‌ای (سازند نایبند) در مدت زمانی کوتاه شده است. تا پایان تریاس پسین، شرایط یادشده تقریباً باقی ماند. با آغاز ژوراسیک، پسروی سریع دریا سرتاسر ناحیه را فرا گرفت و ماسه‌سنگ‌های دانه درشت کوارتز- فلدسپاتی بخش قاعده‌ای و میکروکنگلومرای بخش‌های میانی سازند آب‌حاجی نهشته شد. در هنگام رسوب‌گذاری سنگ‌آهک‌های الیتی سازند بادامو، محیط رسوبی، کشندی و پرانرژی بود. با شدت گرفتن جنبش‌های زمین‌ساختی سیمین میانی در ژوراسیک میانی، تمامی ناحیه از آب بیرون آمد و کنگلومراها و ماسه‌سنگ‌های قاعده سازند پروده را پدید آورد. سپس دریا به آرامی پیشروی نمود و در یک محیط دریایی با ژرفای کم تا متوسط، سازندهای پروده و بغمشاه نهشته شدند (شکل ۲) [۶، ۳۶ و ۳۷].

دوره	گروه	سازند	لیتولوژی	توصیف صحرایی	دوره	گروه	سازند	لیتولوژی	توصیف صحرایی		
پالئوزوئیک	برمین	طس	750	سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی	مزوزوئیک	پلیوسن	تا نام	500	کنگلومرای فرمز نئون و نهشته های تبخیری		
		دونین	سردر	1000			شیل، ماسه سنگ و سنگ آهک	پالتوسن	کرمان	500	کنگلوبرای پلی میکینک کرمان
			نیشتو	200			تئابو شیل و سنگ آهک ماسه ای	کرناسه	بی نام	100	کنگلو، ماسه سنگ، سنگ آهک و مارن
	بهرام		300	آهک و مارن		لایه های فرمز دو کره	500		شیل، ماسه سنگ، کنگلومرا و سنگ آهک آوری		
	سیزار		100	دولومیت		مگو	استندیا	1000	آهک نوده ای تا ضخیم ریخی، خاکستری تا کرم و زرد روشن		
	پاداها		700	ماسه سنگ و دولومیت			قلعه دختر	1000	توالی شیل و ماسه سنگ در قاعده و آهک های متوسط لایه در بالا		
	نیور		600	آهک، ماسه سنگ و مارن			بغشاه	700	مارن، شیل آهکی به رنگ سبز پسته ای		
	کامبرین	سیلورین	سیرگشت	1200		سیلستون، مارن، سنگ آهک و شیل	تریاس	شمشک	بغشاه	150	سنگ آهک آمونیت دار
			درنحال	800		سنگ آهک، سیلستون، دولومیت و شیل			بغشاه	500	تئابوی از ماسه سنگ و شیل
			کلشانه	1000		دولومیت، سنگ آهک، شیل، مارن با سنگ های آذرین بازک			بغشاه	1000	تئابوی از شیل، سیلستون، ماسه سنگ در پایین با میان لایه های از آهک در بالا
		اردوئیسین	لالون	500		ماسه سنگ فرمز، شیل و کوارتزیت سفید		طبس	سرخ شیل	120	دولومیت های لایه لایه خاکستری تیره مترمتر و صخره ساز دارای بخش آهک اسپیک در بالا
			زاکون	400		شیل های ماسه ای و ماسه سنگ های فرمز					
سلطانه			600	دولومیت، شیل های ماسه ای و سیلستون های آهکی (شیل چیتو و دولومیت بالایی)							
		لایه های	م				تئابوی از سنگ آهک، شیل و سنگهای دگرگونی درجه پایین از نوع اسلیت				

شکل ۲. مگاسکانس بالقوه محلی بلوک طبس (با اندکی تغییرات، برگرفته از یوسفی و همکاران [۱۱])

مگاسکانس بالقوه محلی بلوک طبس

شده است (شکل ۱). شیب لایه های در یال‌های شمالی و جنوبی تاقدیس برابر نیست، به طوری که در یال جنوبی در حدود ۲۰ تا ۳۰ درجه اندازه‌گیری شد و در یال شمالی بسیار بیش‌تر از این مقدار می‌باشد و حتی در بخش‌های میانی چین، لایه های برگشته است [۳، ۴، ۶ و ۱۰].

در ناحیه پروده، بیش‌ترین ستبرای سازند نایبند در تاقدیس رستم رخمون دارد. این تاقدیس، تقریباً گنبدی شکل است و محور خاوری- باختری با تفعری به سمت جنوب دارد. درازای محور چین به بیش‌تر از ۵ کیلومتر می‌رسد. هر چهار پاره‌سازند رسمی سازند نایبند در این تاقدیس رخمون دارند، با این حال، بخشی از یال شمالی این چین به سبب کارکرد گسل رستم، بریده و حذف

چینه‌شناسی و محیط رسوبی سازند نایبند

ماسه‌سنگ‌های نازک لایه سبز روشن ساخته شده است (شکل ۳). نجفیان و جعفریان [۹] و نجفیان [۸] بر این باورند که سازند نایبند در ایران مرکزی دارای گسترش فراوان و محیط‌های رسوب‌گذاری متنوعی می‌باشند. ایشان با مطالعه و بررسی سیستماتیک بُرش‌های متفاوت سازند نایبند در ایران مرکزی به این دستاورد رسیدند که پاره سازند گلکن به طور کلی در یک محیط توفانی، پاره سازند حوض‌شیخ در محیط کم انرژی، پاره سازند بیدستان در دلتا و کانال‌های دلتایی و پاره سازند حوض خان از نهشته‌های ریفی ساخته شده‌اند. منانی و ارزانی [۹] با مطالعه سازند نایبند در شمال اصفهان، محیط رسوبی شلف باز آواری-کرناته و زیر اثر امواج توفانی را برای این سازند در نظر گرفتند. علیزاده و همکاران [۱۲]، ضمن در نظر گرفتن یک محیط دریایی به عنوان محیط تهنشینی سازند نایبند در برش کمرماچه‌کوه، پتانسیل هیدروکربن‌زایی این واحد سنگی را اندک عنوان کردند. یوسفی [۱۰]، بر پایه گسترش چینه‌شناسی ماکرو و میکروفسیل‌های گیاهی و حضور فرم‌های شاخص، محدوده سنی تریاس پسین (نورین-رتین) را برای سازند نایبند در ناحیه پروژه پیشنهاد نمود. نامبرده بر پایه برتری کامل عناصر گرده‌شناسی قاره‌ای (اسپور، پولن و خرده‌های گیاهان خشکی‌زی) نسبت به گرده‌یخت‌های (پالینومرف‌های) دریایی (داینوفلاژله‌ها و پوسته داخلی فرامینیفرا)، محیط رسوبی این واحد سنگی را یک محیط دلتایی-مردابی تا دریای کرانه قاره دانستند.

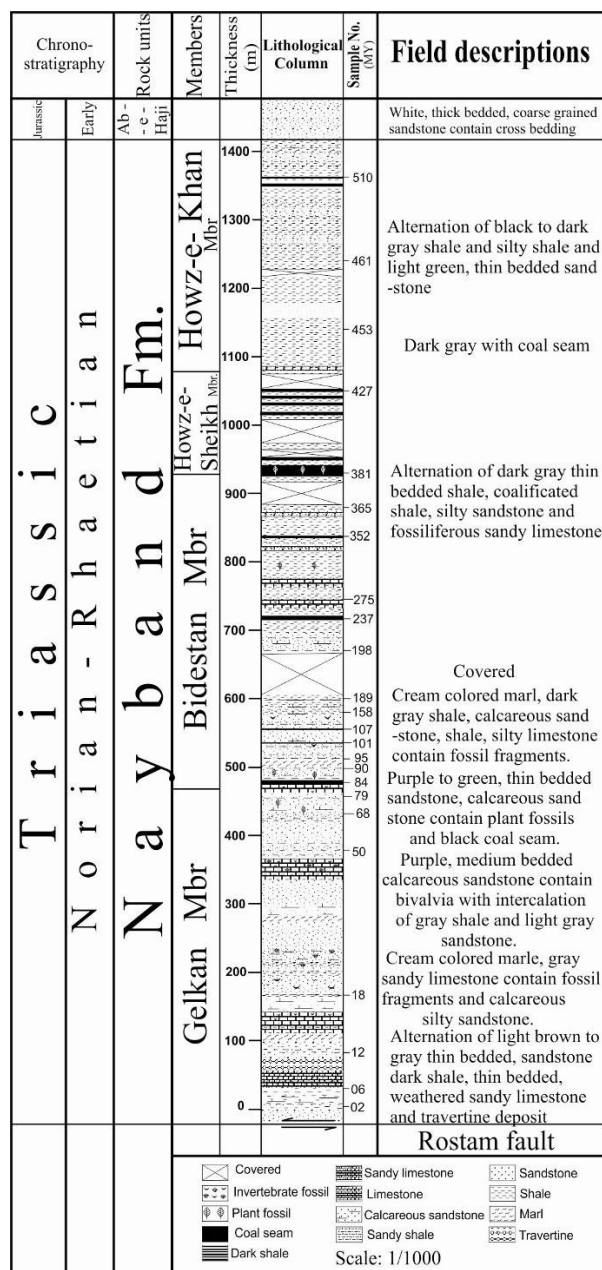
اهداف و روش‌ها

در این پژوهش، شیل‌های زغالی و لایه های شیلی تیره دارای مواد آلی سازند نایبند با بهره‌گیری از داده‌های پیرولیز راک-اول از دیدگاه پتانسیل هیدروکربن‌زایی بررسی شد. در مجموع ۸۶ نمونه از افق‌های مختلف برای انجام بررسی‌های ژئوشیمیایی آلی (۲۱ نمونه شیل زغالی و ۶۵ نمونه شیل‌های دارای مواد آلی) به صورت سیستماتیک برداشت گردید. به منظور ارزیابی توان هیدروکربن‌زایی سازند نایبند از دستگاه پیرولیز راک-اول نوع VI در انستیتو زمین‌شناسی، ژئوشیمی نفت و زغال‌سنگ دانشگاه RWTH آخن کشور آلمان استفاده شد. این واکاوی، داده‌های با ارزشی از نوع کروژن،

ستبرای سازند نایبند در برش چینه‌شناسی پروده در محل تاقدیس رستم، ۱۴۱۰ متر اندازه‌گیری شد. مرز پایین این واحد سنگی گسله و مرز بالایی آن با سازند آب حاجی پیوسته و هم شیب است (شکل ۴ ب و ج). بخش‌های مختلف سازند نایبند در برش پروده در مقایسه با برش الگو، از تغییرات رخساره‌ای ناچیزی برخوردار است و تبدیل پاره‌سازندها به یکدیگر بسیار تدریجی است (شکل ۳). به همین سبب، جداسازی پاره‌سازندهای مختلف در ناحیه مورد بررسی به نسبت دشوار است. در ناحیه پروده، سازند شتری (تریاس میانی) و بخش زیرین پاره‌سازند گلکن بر اثر فعالیت گسل رستم از بین رفته است (شکل ۴ ب). در حالی که سازند نایبند در برش الگو دارای مرز نمایانی با سازند شتری است. این موضوع باعث اختلاف دیدگاه میان کارشناسان شرکت ملی فولاد ایران [۳۴] و زمین‌شناسان سازمان زمین‌شناسی کشور [۱] شده است. به این معنی که زمین‌شناسان شرکت فولاد بر این باورند که پاره‌سازند حوض‌خان در ناحیه پروده وجود دارد و نهشته‌های زیر آن با دو پاره سازند حوض شیخ و بیدستان قابل مقایسه است و پاره‌سازند گلکن در ناحیه پروده وجود ندارد. نیاز به یادآوری است که در این پژوهش، تقسیمات رسمی چهارگانه برونیمین و همکاران [۱۳] که در سال ۱۳۵۵ به تصویب کمیته ملی چینه‌شناسی ایران رسیده است [۷]، ملاک قرار گرفته است. بر پایه برداشت‌های میدانی، پاره‌سازند گلکن از پایین به بالا به ترتیب از تناوب ماسه‌سنگ‌های قهوه‌ای روشن تا خاکستری نازک‌لایه با ریپل‌مارک (شکل ۴ پ)، شیل، سنگ‌آهک‌ماسه‌ای، مارن کرم، سنگ‌آهک‌ماسه‌ای خاکستری رنگ و ماسه‌آهکی ارغوانی متوسط لایه دارای دوکفه‌ای ساخته شده است. پاره‌سازند بیدستان به ترتیب از ماسه‌سنگ نازک لایه ارغوانی تا سبز، ماسه‌سنگ آهکی دارای فسیل‌های گیاهی، شیل‌های زغالی سیاه، مارن کرم، شیل خاکستری سیاه (شکل ۴ الف) و ماسه‌آهکی ساخته شده است. هم‌چنین پاره‌سازند حوض شیخ از تناوب شیل‌های تیره نازک لایه با افق‌های دارای گوگرد (شکل ۴ ت)، شیل زغالی، ماسه‌سنگ‌های سیلتی و سنگ‌آهک‌های ماسه‌ای و پاره‌سازند حوض‌خان از شیل‌های زغالی سیاه تا خاکستری تیره (شکل ۴ چ) و تناوب شیال‌های خاکستری تیره، شیل سیلتی و

برش پروده مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین ضریب بازتاب ویترنیت شیل‌های زغالی برای شناسایی درجه رسش گرمایی مواد آلی، در دانشگاه RWTH آخن با بهره‌گیری از میکروسکوپ پتروگرافی آلی فتومتر دار محاسبه شد.

مقدار کربن آلی کل، شرایط اکسایش و کاهش محیط رسوبی و مهاجرت هیدروکربن از سنگ منشأ را در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد [۲۶]. در این پژوهش، همبستگی میان پارامترهای پیرولیزی S_1 ، S_2 و S_3 ، مقدار کربن آلی کل، شاخص هیدروژن (HI)، شاخص اکسیژن (OI) و شاخص پتانسیل هیدروکربن‌زایی (PI) سازند نایبند در



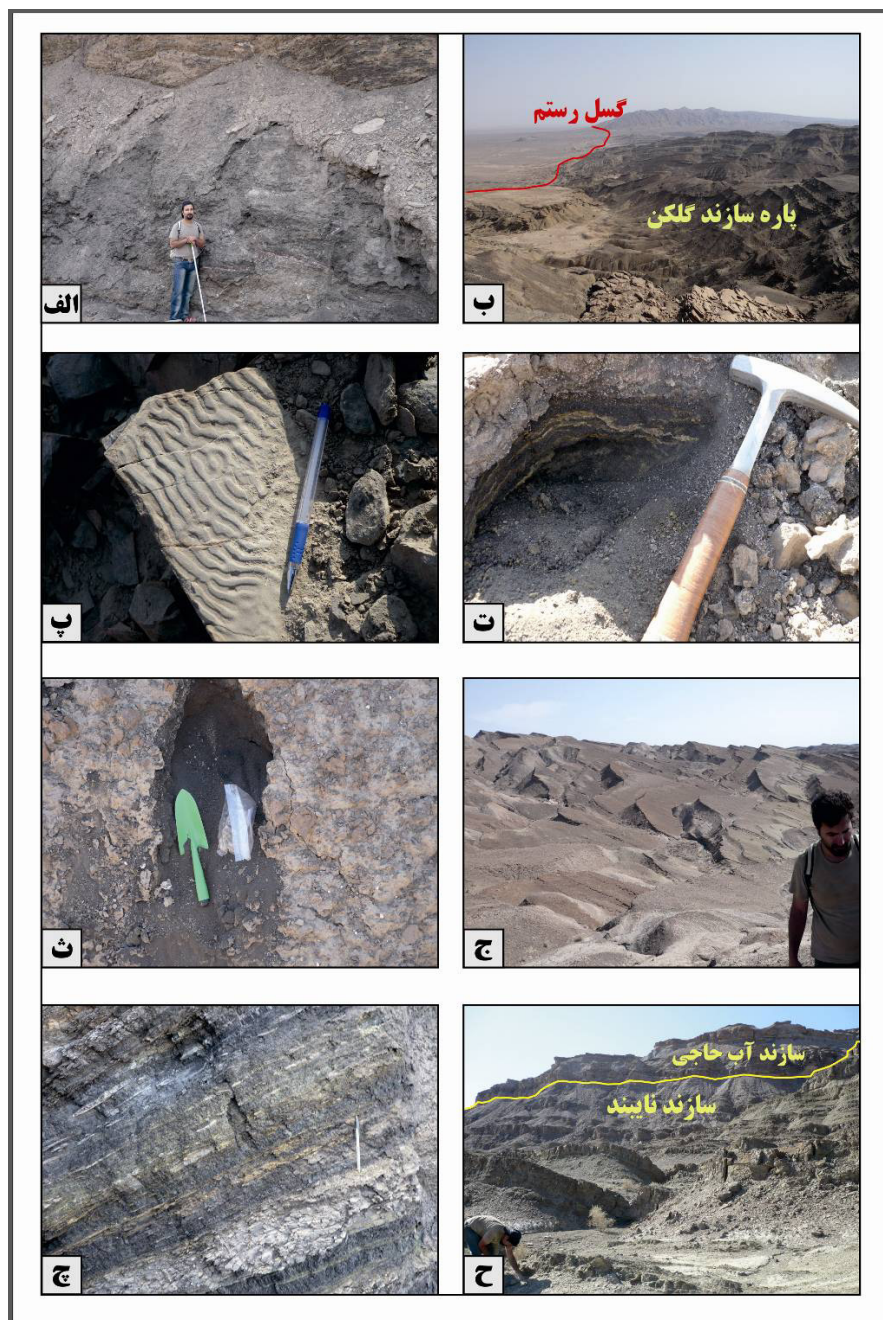
شکل ۳. ستون چینه‌شناسی سازند نایبند در برش تاقدیس رستم، ناحیه پروده طبس

تاثیر هوازدگی در آن‌ها کمترین باشد (شکل ۴ ث). نیاز به یادآوری است که اندیس T_{max} به دلیل کم بودن مقدار HI در تمام نمونه‌های زغالی و حدود ۵۰ درصد شیل‌های

نمونه‌های برداشت شده در باز دیده‌های میدانی، عمدتاً از شیل‌های خاکستری تیره و شیل‌های زغالی انتخاب و از ژرفای ۵۰ سانتی‌متری از سطح زمین اخذ شدند تا میزان

ارزش است و از آن به هیچ وجه در تفسیر و تحلیل برخی از نمونه‌های شیل زغالی و شیل‌های تیره دارای اعتبار نیست و مقادیر قابل اتکای آن‌ها پس از حذف موارد بدون اعتبار در تفسیر نتایج مورد استفاده قرار گرفت [۲۶].

تیره مطالعه شده (کم‌تر از 50 mgHc/gTOC) بدون ارزش استفاده نشده است. همچنین، اندیس‌های HI، OI و S_3 به دلیل کم بودن مقدار TOC (کم‌تر از ۰/۵ درصد وزنی) در برخی از نمونه‌های شیل تیره و اندیس PI به دلیل کم بودن مقدار S_2 (کم‌تر از 0.2 mgHc/gRock) در



شکل ۴. بخش‌های گوناگون سازند نایبند در ناحیه پروده، الف: لایه‌های ستبر شیل‌های تیره، ب: مرز زیرین سازند نایبند که زیر تاثیر فعالیت گسل رستم، گسله است، پ: ریپل مارک‌های موجود در پاره‌سازند گلکن، ت: لایه‌های شیلی دارای افق‌های گوگرد، ث: نمونه-برداری از شیل‌های خاکستری تیره از ژرفای ۵۰ سانتی‌متری، ج: تناوب شیل و ماسه‌سنگ و ایجاد ساختمان کواستا، چ: لایه‌های شیل زغالی در پاره‌سازند حوض خان و ح: مرز فوقانی سازند نایبند با سازند آب‌حاجی

بررسی‌های ژئوشیمیایی

نمونه‌های مناسب برای انجام بررسی‌های ژئوشیمی آلی به صورت سیستماتیک برداشت شد و مورد واکاوی دستگاه راک-اوال ۶ قرار گرفت. نتایج حاصل از واکاوی نمونه‌ها در نمودارهای ژئوشیمیایی مناسب ترسیم و یافته‌های آن تفسیر شد. مقادیر شاخص پارامترهای حاصل از پیرولیز برای شناسایی کیفیت، کمیت و رسش گرمایی سنگ‌ها

منشا [۳۳] در جدول ۱ و نتایج حاصل از پارامترهای پیرولیز راک-اوال در جدول ۲ آورده شده است. نمونه‌های دارای کربن آلی کل بیش از ۴ درصد وزنی به عنوان شیل زغالی و نمونه‌های دارای کربن آلی کل کمتر از ۴ درصد وزنی به عنوان شیل‌های تیره دارای مواد آلی در نظر گرفته شده‌اند. ضریب بازتاب ویتربیت فقط برای نمونه‌های شیل زغالی شناسایی شد.

جدول ۱. مقادیر شاخص پارامترهای حاصل از پیرولیز برای تعیین کیفیت، کمیت و رسش گرمایی سنگ‌های منشا [۳۳]

Quantity	TOC (wt %)	S ₁ (mg HC/g rock)	S ₂ (mg HC/g rock)	
Poor	0-0.5	0-0.5	0-2.5	
Fair	0.5-1	0.5-1	2.5-5	
Good	1-2	1-2	5-10	
Very good	2-4	2-4	10-20	
Excellent	> 4	> 4	> 20	
Quality	HI (mg HC/g TOC)	S ₂ /S ₃	Kerogen type	
None	<50	<1	IV	
Gas	50-200	1-5	III	
Gas and Oil	200-300	5-10	II/III	
Oil	300-600	10-15	II	
Oil	>600	>15	I	
Maturation	R _o (%)	T _{max} (°C)	TAI	
Immature	0.2-0.6	<435	1.5-2.6	
Mature	Early	0.6-0.65	435-445	2.6-2.7
	Peak	0.65-0.9	445-450	2.7-2.9
	Late	0.9-1.35	450-470	2.9-3.3
Postmature	>1.35	>470	>3.3	

بررسی‌های ژئوشیمیایی شیل‌های زغالی

این مطالعات شامل سنجش پارامترهای پیرولیزی و درصد انعکاس ویتربیت بر روی ۲۱ نمونه از شیل‌های زغالی می‌باشد که میزان بیشینه و کمینه هر یک از آن‌ها در قالب جدول ۳ آورده شده است.

بحث

مطالعات انجام شده در شیل‌های زغال‌دار در مناطق مختلف جهان، نشان می‌دهد که اگر نسبت اتمی H/C زغال‌ها از ۰/۸ و HI آن‌ها از ۲۰۰ mgHC/gTOC بیش‌تر باشد، این شیل‌های زغالی توانایی تولید هیدروکربن سیال را خواهند داشت. ماسرال‌های گروه لیپتینیت در زغال‌ها، دارای محتوای هیدروژن بیش‌تری نسبت به بقیه گروه‌های ماسرالی نظیر ویتربیت (ماسرال گاززا) هستند. بنابراین هر چه مقدار این ماسرال‌ها در سنگ بیش‌تر باشد، مقدار هیدروکربن سیال تولید شده بیش‌تر خواهد بود. نیاز به یادآوری است که پتانسیل تولید هیدروکربن سیال شیل‌های زغالی، افزون بر مقدار

انواع ماسرال‌های گوناگون تشکیل‌دهنده، به درجه دگرسانی مراحل اولیه دیاژنز نیز بستگی دارد [۱۷، ۲۶ و ۳۰].

در این بخش برای شناسایی نوع ماده آلی (نوع کروژن) از نمودار HI/OI [۳۳] (شکل ۴)، برای بررسی پتانسیل تولید از نمودار S₂/TOC [۲۴] (شکل ۶) و برای شناسایی رخساره‌های آلی از نمودار HI/OI [۲۸] (شکل ۷) بهره‌گیری شد.

شناسایی نوع کروژن در ارزیابی پتانسیل هیدروکربن‌زایی از اهمیت بسیاری برخوردار است. نوع کروژن کنترل‌کننده نوع هیدروکربن تولید شده است. به دلیل نامعتبر بودن اندیس T_{max} در این پژوهش، برای شناسایی نوع کروژن نمونه‌های زغالی نمی‌توان از نمودار HI/T_{max} بهره‌گیری شد و برای این منظور، نمودار HI/OI به کار گرفته شد (شکل ۵). بر پایه این نمودار، تمام شیل‌های زغالی مطالعه شده، دارای کروژن نوع IV (کروژن سرشار از اینترتینایت؛ مواد آلی اکسید شده) هستند. این کروژن توانایی تولید نفت یا گاز ندارد. کروژن‌های سرشار از

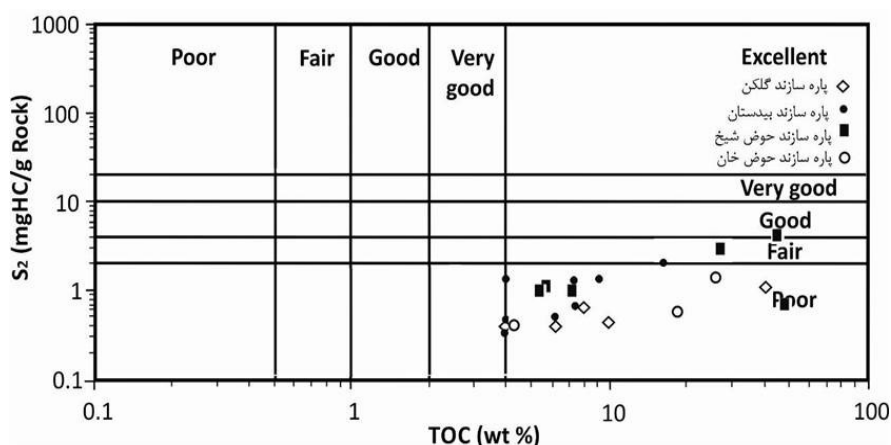
(۰/۰۶ تا ۰/۹۲) حاصل از پیرولیز در نمونه‌های مورد بررسی با مقادیر استاندارد، نشان‌دهنده نبود کیفیت تولید برای نمونه‌های بررسی شده (HI کم‌تر از mg HC/gTOC ۵۰ و نسبت S_2/S_3 کم‌تر از ۱) است.

برای شناسایی رخساره‌های آلی نمونه‌های مورد بررسی، نمودار HI/OI به کار برده شد [۲۸] (شکل ۷). در این نمودار، محدوده رخساره‌ای D برای شیل‌های زغال‌دار سازند نایبند شناسایی گردید. رخساره شناسایی شده عموماً بدون توانایی تولید هیدروکربن است (به استثنای درجات رسش زیاد که دارای پتانسیل تولید گاز خشک است) [۲۸]، چنین رخساره‌ای با نوع کروژن شناسایی شده (کروژن نوع IV؛ سرشار از مواد آلی اکسید شده) مطابقت دارد. در جدول ۴، مشخصات و ویژگی‌های کامل رخساره‌های معرفی شده در شکل ۷ آورده شده است. مقایسه محیط رسوبی معرفی شده برای رخساره D در جدول ۴ (اقیانوسی ژرف تا قاره‌ای) و محیط رسوبی شناسایی شده بر پایه مطالعات گرده‌شناسی در این ناحیه (محیط دلتایی- مردابی تا دریای حاشیه قاره) [۱۰]، نشان‌دهنده محیط اکسیدان متأثر از ورود مواد آلی شدیداً اکسید شده است. در جدول ۵، ارتباط بین رخساره‌های آلی با محیط رسوب‌گذاری نشان داده شده است. بر این پایه، مواد آلی شیل‌های زغالی سازند نایبند از نوع قاره‌ای (اکسیدی) بوده و رسوب‌گذاری آن‌ها آرام در آب‌های شدیداً اکسیژن‌دار و در بخش‌های دور از منشا انجام گرفته است.

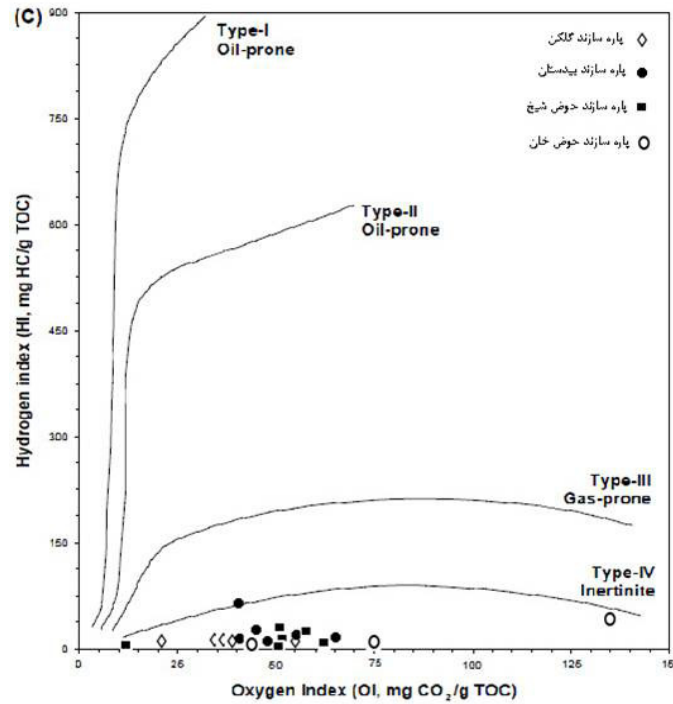
اکسیژن معمولاً دارای اندیس S_1 پایین هستند که مقادیر پایین این اندیس در نمونه‌های مطالعه شده (۰/۰۳-۰/۷۱) $S_1 =$ موید وجود کروژن نوع IV در منطقه مورد بررسی است. پایین بودن نسبی میزان شاخص تولید (PI = ۰/۰۵-۰/۱۸) در نمونه‌های زغالی کاملاً طبیعی است و اصولاً شاخص تولید، اندیس مناسبی برای شناسایی پتانسیل هیدروکربن‌زایی نمونه‌های زغالی نیست [۳۸]. بر پایه ضریب انعکاس ویتربیت نمونه‌های زغالی (۰/۸۴-۱/۱۲ درصد)، این نمونه‌ها در مرحله رسیده و از نظر تولید هیدروکربن در پنجره تولید نفت ($R_o = ۰/۶-۱/۲\%$) قرار می‌گیرند. ولی به دلیل سرشار بودن از مواد آلی اکسید شده، بدون توان تولید هیدروکربن هستند.

مقایسه مقادیر S_1 و S_2 حاصل از پیرولیز راک-اوال در نمونه‌های مورد بررسی با مقادیر استاندارد (جدول ۱) و نیز جایگاه فرارگیری نمونه‌های زغالی در نمودار S_2/TOC (شکل ۶)، نشان می‌دهد که از نظر پتانسیل تولید، ۹۲ درصد نمونه‌ها در محدوده ضعیف و ۸ درصد از نمونه‌ها (برخی از نمونه‌های پاره‌سازند حوض‌شیخ) در محدوده نسبتاً خوب با S_1 mgHC/gRock ۰/۵-۱ و S_2 بیش از mgHC/gRock ۲/۵ قرار می‌گیرند.

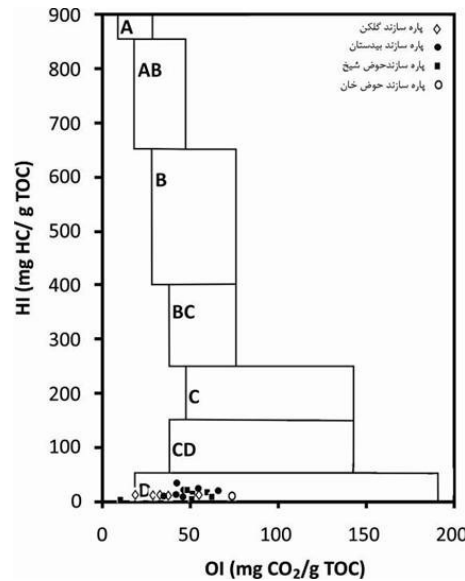
به دلیل پایین بودن مقادیر اندیس هیدروژن نمونه‌های زغالی (کم‌تر از ۵۰ mgHC/gTOC)، نمی‌توان در این پژوهش از نمودار HI/TOC معرفی شده توسط جکسون و همکاران [۲۷] برای شناسایی غنای سنگ منشا و نوع پتانسیل تولیدی استفاده کرد. مقایسه مقادیر HI و S_2/S_3



شکل ۵. نمودار S_2/TOC شیل‌های زغالی سازند نایبند [۲۴]، بیشتر نمونه‌های بررسی شده دارای توان کم تولید هیدروکربن هستند.



شکل ۶. نمودار HI/OI شیل‌های زغالی سازند نایبند [۳۳] نمونه‌های بررسی شده دارای کروژن نوع IV هستند.



شکل ۷. نمودار HI/OI شیل‌های زغالی سازند نایبند [۲۸]، نمونه‌های بررسی شده در رخساره D قرار گرفته‌اند.

بررسی‌های ژئوشیمیایی شیل‌های تیره

این بررسی‌ها شامل سنجش پارامترهای پیرولیزی بر روی ۶۵ نمونه از شیل‌های تیره سازند نایبند می‌باشد. مقادیر بیشینه و کمینه پارامترهای پیرولیزی در نمونه‌های مورد بررسی پس از حذف داده‌های نامعتبر در قالب جدول ۶ آورده شده است.

بحث

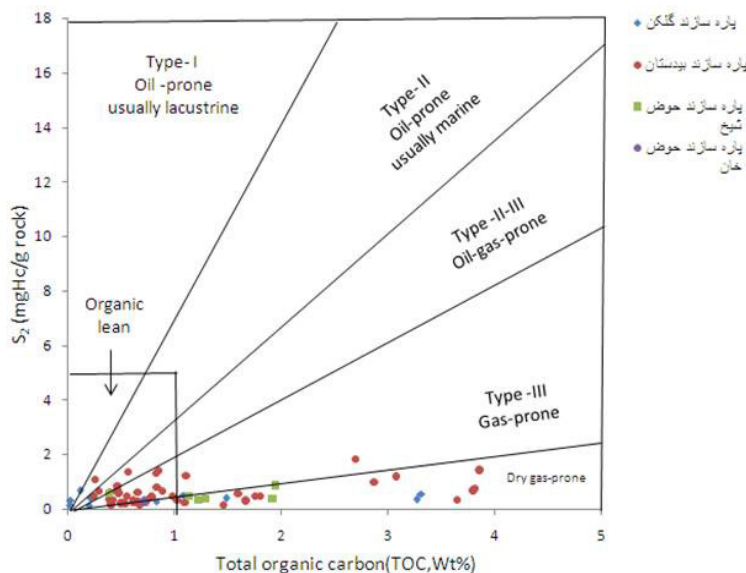
مطالعاتی که بر روی رسوبات دارای مواد آلی در نقاط گوناگون جهان انجام شده است، نشان می‌دهد که در T_{max} (۴۳۵-۴۶۵ درجه سانتی‌گراد)، HI (بیش از ۳۰۰ mg Hc/g Rock)، S_1 (بیش از ۲ mg Hc/g Rock)، S_2 (بیش از ۱۰ mg Hc/g Rock)، TOC (بیش از ۲ درصد وزنی)، S_2/S_3 بیش از ۱۰ و R_o (۰/۶-۱/۲ درصد) شرایط

گاز) تشکیل شده است (شکل ۸). هم‌چنین نمونه‌های شیلی با TOC کم‌تر از یک درصد وزنی دارای کروژن‌های نوع IV (حدود ۴۲ درصد)، نوع III (حدود ۴۵ درصد)، آمیخته نوع II/III (حدود ۸ درصد؛ دارای پتانسیل تولید گاز و نفت) و نوع II (حدود ۵ درصد؛ با منشأ دریایی و سرشار از ماسرال لیپتینیت، دارای پتانسیل تولید نفت هستند (شکل ۹). در مجموع، نمونه‌های شیلی تیره سازند نایبند عمدتاً دارای کروژن‌های نوع IV و نوع III هستند. با استفاده از نمودار تغییرات HI/TOC (شکل ۱۰) می‌توان درجه سرشاربودن سنگ منشأ را ارزیابی نمود [۲۷]. نمونه‌های مورد بررسی بیشتر از نوع گاززا (۵۸ درصد نمونه‌ها) و دارای توانایی تولید گاز با کمی نفت (۱۹ درصد از نمونه‌های پاره‌سازند بیدستان و گلکن) و به مقدار کم‌تر دارای توانایی تولید نفت نسبتاً خوب (۱۸ درصد نمونه‌ها) و توان کم تولید هیدروکربن (۵ درصد از نمونه‌های پاره‌سازند بیدستان و گلکن) هستند. با توجه به یافته‌های برگرفته از شکل ۱۰ و مقایسه مقادیر HI (عمدتاً کم‌تر از 200 mgHc/gTOC) حاصل از پیرولیز راک-اوال در نمونه‌های مورد بررسی با مقادیر استاندارد (جدول ۱)، عمده نمونه‌های مطالعه شده گاززا هستند. هم‌چنین مقایسه مقادیر S_1 و S_2 نمونه‌های مورد بررسی با مقادیر استاندارد نشان می‌دهد که از نظر پتانسیل تولید در محدوده ضعیف (S_1 کم‌تر از 0.5 mgHc/gRock و S_2 کم‌تر از $2/5 \text{ mgHc/gRock}$) قرار می‌گیرند.

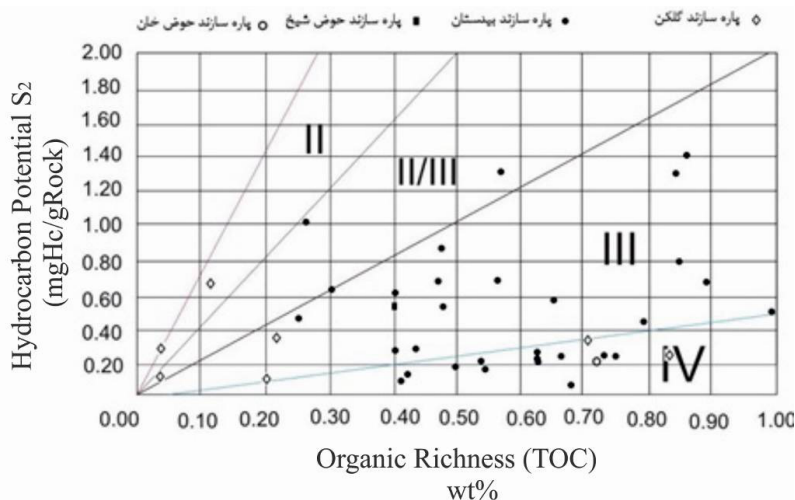
برای ایجاد یک سنگ منشأ با کیفیت بسیار خوب و تولید هیدروکربن مایع (نفت) آماده است [۱۹، ۲۱، ۲۲، ۲۶ و ۲۹].

در این بخش، برای شناسایی نوع ماده آلی (نوع کروژن) از نمودار S_2/TOC [۳۳] (شکل ۸)، برای شناسایی و جدایش دقیق‌تر انواع مواد آلی نمونه‌های دارای TOC کم‌تر از ۱ درصد وزنی از نمودار S_2/TOC گوارد و همکاران [۲۰] (شکل ۹)، برای شناسایی نوع پتانسیل تولیدی نمودارهای HI/TOC (شکل ۱۰)، به منظور تعیین رخساره‌های آلی از نمودارهای HI/TOC و HI/OI (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) و برای شناسایی شرایط محیط رسوب‌گذاری از نمودارهای HI/TOC (شکل‌های ۱۳ و ۱۴) بهره‌گیری شده است.

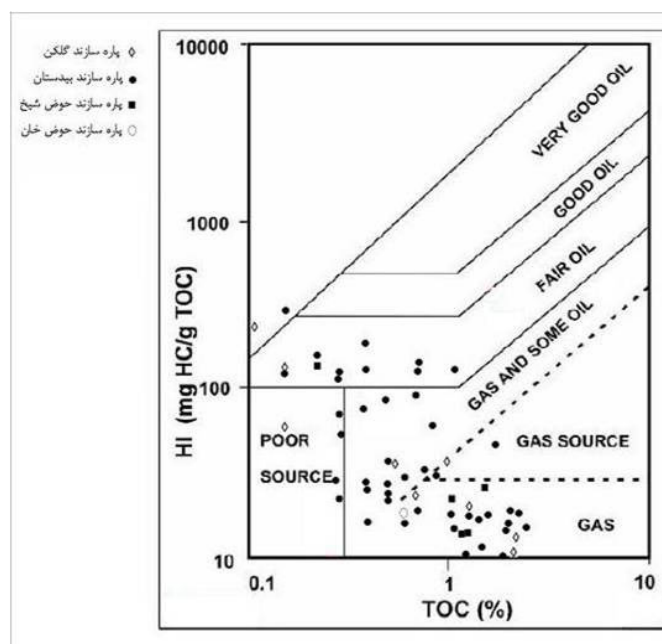
به دلیل نامعتبربودن اندیس T_{max} در برخی از شیل‌های تیره و بدون استفاده از نمودار HI/T_{max} برای شناسایی نوع ماده آلی، در این بخش از نمودارهای S_2/TOC استفاده شده است (شکل‌های ۸ و ۹). بر پایه این نمودار-ها مشخص گردید که کروژن شیل‌های تیره با TOC بیش از ۱ درصد وزنی عمدتاً از نوع IV (حدود ۶۰ درصد نمونه‌ها، بدون پتانسیل تولید هیدروکربن و یا در درجات بالای رسش دارای پتانسیل تولید گاز خشک) و به مقدار کم‌تر (حدود ۳۰ درصد نمونه‌ها) از نوع III (با منشأ خشکی‌زی و سرشار از ماسرال ویتیرینیت (قطعات فیبری، چوبی و مواد کلونیدی هومیک)؛ دارای پتانسیل تولید



شکل ۸. نمودار S_2/TOC شیل‌های تیره سازند نایبند با TOC بیش از ۱ درصد وزنی [۳۳]. این نمونه‌ها بیشتر از کروژن‌های نوع IV (ماده آلی اکسید شده) و نوع III تشکیل شده‌اند.



شکل ۹. نمودار S_2/TOC شیل‌های تیره سازند نایبند با TOC کم‌تر از ۱ درصد وزنی [۲۰] این نمونه‌ها عمدتاً از کروژن‌های نوع IV و نوع III تشکیل شده‌اند.



شکل ۱۰. نمودار HI/TOC جهت تعیین نوع پتانسیل تولیدی [۲۷]. ۵۸ درصد از نمونه‌های مورد مطالعه از نوع گاززا و ۱۹ درصد از نمونه‌ها دارای توانایی تولید گاز با کمی نفت هستند.

شیل‌های پارچه سازند بیدستان نشان‌دهنده رخساره‌های D، CD و C با فراوانی رخساره D هستند. در نمودار HI/TOC ، نمونه‌های بررسی شده دارای محدوده‌های رخساره‌های CD (۷۲ درصد نمونه‌ها)، C (۲۴ درصد نمونه‌ها) و BC (۴ درصد نمونه‌ها) هستند. این محدوده‌های رخساره‌ای، شاخص محیط‌های قاره‌ای تا دریایی شدیداً اکسیدان (رخساره D)، اکسیدان (رخساره CD و C) و کم اکسیژن (رخساره BC) هستند

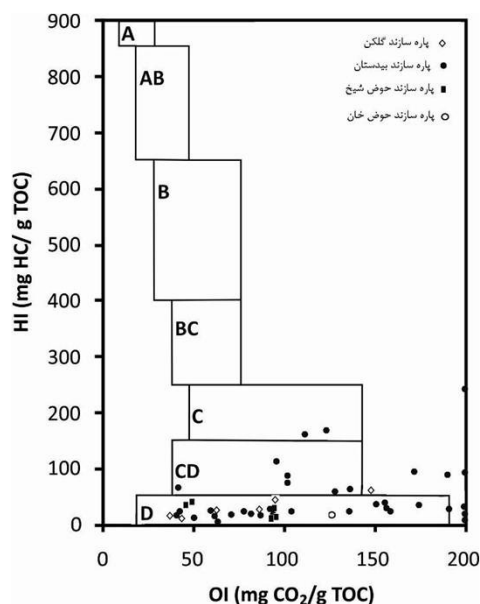
برای شناسایی رخساره‌های آلی شیل‌های تیره سازند نایبند از نمودارهای HI/TOC و HI/OI بهره‌گیری شد [۲۸] (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). در نمودار HI/OI ، شیل‌های تیره دارای محدوده‌های رخساره‌های D (۷۰ درصد نمونه‌ها)، CD (۲۳ درصد نمونه‌ها) و C (۷ درصد نمونه‌ها) هستند. شیل‌های تیره پارچه‌سازندهای حوض خان و حوض شیخ نشان‌دهنده رخساره D، نمونه‌های پارچه‌سازند گلکن دارای رخساره D و CD با فراوانی رخساره D و

کروژن‌های غالب III و IV و پراکندگی رخساره‌های آلی شناسایی شده (به طور عمده رخساره آلی D) این مطلب را تایید می‌کند. نیاز به یادآوری است که معمولاً نمونه‌هایی با مقادیر TOC بین ۱ تا ۲ درصد وزنی و بیش از ۲ درصد وزنی به ترتیب نشانگر یک محیط حد واسط اکسیدی و احیایی بوده و از لحاظ پتانسیل تولید هیدروکربن خوب تا عالی هستند [۳۲ و ۳۳]. اما یافته‌های این پژوهش (شکل‌های ۱۳ و ۱۴) نشانگر آن است که با وجود شیل‌های تیره با بیش از ۱ درصد وزنی کربن آلی کل (حدود ۵۰ درصد نمونه‌ها)، نمونه‌های بررسی شده بیشتر نشانگر محیط اکسیدان و بدون پتانسیل تولید تا گاززا هستند (شکل ۹). این موضوع به دلیل مواد آلی چوبی و اکسید شده خشکی‌زی است که با این که میزان TOC به نسبت زیاد برخی نمونه‌ها، پتانسیل بالای تولید هیدروکربن را نشان نمی‌دهند. بنابراین همواره نسبت مستقیمی میان میزان TOC و اکسیژن در محیط رسوبی وجود ندارد و مقدار TOC به تنهایی نمی‌تواند معیاری برای شناسایی پتانسیل تولید هیدروکربن باشد. بر همین پایه، و همان‌گونه که در جدول ۱ آمده است، افزون بر TOC، باید اندیس‌های S_1 و S_2 جهت تعیین پتانسیل تولید در نظر گرفته شوند که بیش‌تر بر روی نوع ماده آلی تشکیل دهنده رسوبات تاکید دارند [۲۶ و ۳۳].

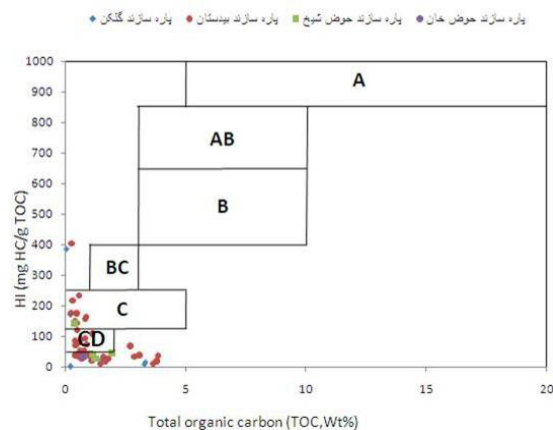
(جدول‌های ۴ و ۵). همچنین با مراجعه به جدول‌های ۴ و ۵ می‌توان رخساره‌های آلی شناسایی شده را از لحاظ پتانسیل تولید هیدروکربن و ارتباط آن‌ها با محیط رسوب‌گذاری بررسی نمود. نیاز به یادآوری است که رخساره‌های شناسایی شده با انواع کروژن‌های شناسایی شده (کروژن‌های غالب نوع IV و III متناسب با رخساره‌های آلی D، C و CD و کروژن‌های کم‌تر دیده شده مخلوط II/III و II متناسب با رخساره BC) نیز مطابق است.

بر پایه یافته‌های برگرفته از نمودارهای HI/TOC [۱۶ و ۳۱]، نمونه‌های سازند نایبند بیشتر در محدوده آب‌های بستر اکسیژن‌دار و ورود بالای مواد آلی قاره‌ای (۱۰۰-۱۰۰۰ درصد نمونه‌های پاره‌سازندهای حوض‌شلیخ، حوض‌خان و ۹۵ درصد نمونه‌های پاره‌سازندهای گلکن و بیدستان) ته‌نشین شده‌اند. ۵ درصد نمونه‌های پاره سازند گلکن بیدستان نیز در شرایط آب‌های بستر کم اکسیژن‌تر و با ورود مواد آلی قاره‌ای کم‌تر نسبت به بقیه نمونه‌های مطالعه شده هستند (شکل‌های ۱۳ و ۱۴).

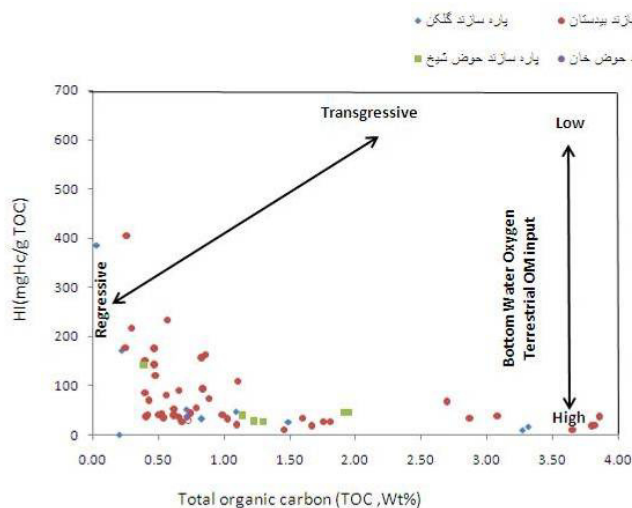
وجود کروژن‌های نوع II و نوع مخلوط II/III در کم‌تر از ۱۰ درصد نمونه‌های پاره‌سازندهای گلکن و بیدستان موید همین مطلب می‌باشد (شکل‌های ۸ و ۹). نمونه‌های سازند نایبند بیشتر در شرایط پسروده نهشته شده‌اند (شکل‌های ۱۳ و ۱۴). به طوری که بیش‌تر حجم مواد آلی از مناطق خشکی (قاره‌ای) وارد حوضه شده‌اند. وجود



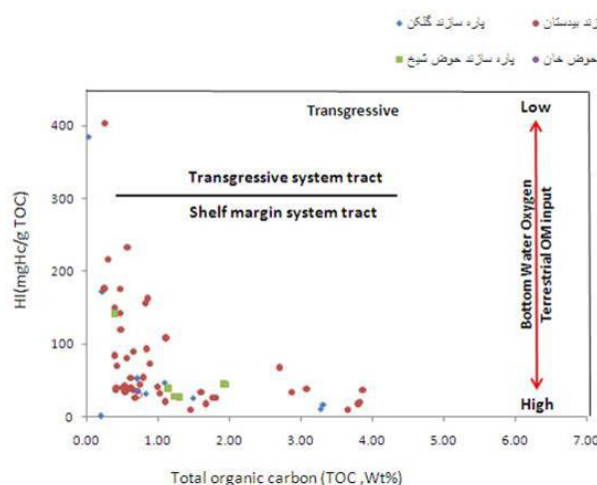
شکل ۱۱. نمودار HI/OI شیل‌های تیره سازند نایبند [۲۸]، نمونه‌های بررسی شده بیشتر در رخساره آلی D (سرشار از اینرتینایت و شدیداً اکسیدان) و به مقدار کم‌تر در رخساره‌های آلی CD (مواد آلی جایجا شده و خشکی‌زی) و C (مواد آلی خشکی‌زی) قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۲. نمودار HI/TOC شیل‌های تیره سازند نایبند [۲۸]. نمونه‌های بررسی شده بیشتر در رخساره CD (مواد آلی جابجا شده و خشکی‌زی در شرایط اکسیدان) و به مقدار کم‌تر در رخساره‌های C (مواد آلی خشکی‌زی در شرایط اکسیدان) و BC (مواد آلی مخلوط دریایی و خشکی‌زی در شرایط فقیر از اکسیژن) قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۳. نمودار HI/TOC شیل‌های تیره سازند نایبند [۱۶]. نمونه‌های بررسی شده بیشتر در محدوده آب‌های بستر اکسیژن‌دار، ورود بالای مواد آلی قاره‌ای (خشکی‌زی) و شرایط پسرونده ته‌نشین شده‌اند.



شکل ۱۴. نمودار HI/TOC شیل‌های تیره سازند نایبند [۳۱]. نمونه‌های بررسی شده بیشتر در محدوده آب‌های بستر اکسیژن‌دار، ورود بالای مواد آلی قاره‌ای (خشکی‌زی) و شرایط پسرونده ته‌نشین شده‌اند.

جدول ۲. نتایج حاصل از پارامترهای پیرولیز راک-اوال سازند نایبند در منطقه پروده

Rock Unit	Sample NO.	Distance from the base (m)	Weight (mg)	TOC (wt%)	TIC (wt%)	TC (wt%)	Rock-Eval pyrolysis			HI	OI	PI $\frac{S_1}{S_2+S_3}$	VRr (%)
							S ₁ (mg HC/g Rock)	S ₂ (mg HC/g Rock)	S ₃ (mg CO ₂ /g Rock)				
Gelkan Member	12-MY-02	3	99.5	8.14	0.91	9.05	0.07	0.68	2.74	8	34	0.10	1.02
	12-MY-03	6.5	99.9	0.20	5.40	5.60	0.03	0.14	0.90	71	448	0.15	
	12-MY-05	23	100.1	4.32	0.09	4.41	0.03	0.32	2.41	7	56	0.09	1.02
	12-MY-06	24	100.2	10.63	1.45	12.08	0.06	0.45	3.63	4	34	0.11	1.03
	12-MY-12	55	99.6	6.35	0.07	6.41	0.04	0.37	2.45	6	39	0.09	
	12-MY-18	80	99.8	3.27	1.37	6.64	0.04	0.34	1.47	10	45	0.10	
	12-MY-48	465	100.2	3.31	1.40	4.70	0.03	0.55	1.22	17	37	0.06	
	12-MY-50	466	100.0	1.09	0.02	1.11	0.03	0.51	1.03	47	94	0.05	
	12-MY-51	467	100.2	1.50	0.03	1.52	0.04	0.38	0.95	26	64	0.09	
	12-MY-52	468	100.0	0.22	0.02	0.24	0.03	0.38	0.76	172	345	0.06	
	12-MY-54	469.5	100.1	0.12	0.01	0.13	0.02	0.66	0.72	552	599	0.03	
	12-MY-56	470	100.1	0.04	0.01	0.05	0.03	0.32	0.92	884	2499	0.08	
	12-MY-68	501	99.9	40.26	1.56	41.82	0.12	1.23	8.57	3	21	0.09	1.07
	12-MY-73	502	100.4	0.84	0.02	0.86	0.02	0.27	0.73	32	88	0.08	
	12-MY-74	502.5	100.9	0.04	0.06	0.09	0.02	0.13	0.71	385	1978	0.13	
	12-MY-79	507	100.0	0.71	0.03	0.74	0.02	0.37	1.05	52	148	0.06	
	Bidestan Member	12-MY-83	512	100.0	1.00	0.02	1.02	0.03	0.46	0.94	46	94	0.06
12-MY-84		513	100.4	0.40	0.02	0.42	0.03	0.34	0.76	84	187	0.07	
12-MY-87		517	100.3	1.81	0.02	1.83	0.07	0.47	1.08	26	60	0.13	
12-MY-90		521	99.7	1.03	0.02	1.05	0.02	0.33	0.84	32	82	0.07	
12-MY-93		522	100.3	0.53	0.01	0.55	0.02	0.23	0.80	43	150	0.08	
12-MY-95		523	100.2	0.73	0.02	0.750	0.03	0.22	1.15	30	158	0.14	
12-MY-98		525	100.2	0.42	0.25	0.66	0.05	0.15	0.77	36	184	0.25	
12-MY-101		527	99.9	0.62	0.02	0.64	0.03	0.33	0.82	52	131	0.07	
12-MY-106		530	100.5	4.08	0.03	4.12	0.04	0.61	2.67	15	65	0.06	
12-MY-107		531	100.2	2.70	0.03	2.73	0.22	1.82	1.18	67	44	0.11	
12-MY-109		535	100.0	4.12	0.05	4.17	0.19	1.53	1.65	37	40	0.11	1.13
12-MY-112		539	100.3	3.80	0.06	3.87	0.09	0.67	1.74	18	46	0.11	
12-MY-114		541.5	100.3	1.76	0.04	1.80	0.03	0.46	1.42	26	80	0.07	
12-MY-130		548	100.8	0.67	0.04	0.71	0.03	0.24	0.94	36	141	0.10	
12-MY-138		552	100.3	7.71	0.02	7.74	0.18	1.53	3.53	20	46	0.11	0.96
12-MY-145	556	99.7	0.80	0.02	0.82	0.03	0.43	1.14	54	144	0.07		
12-MY-147	557	100.2	0.69	0.70	1.38	0.02	0.14	1.58	21	229	0.15		
12-MY-152	559.5	100.2	1.68	0.05	1.73	0.03	0.29	0.84	18	50	0.09		

ادامه جدول ۲

Rock Unit	Sample NO.	Distance from the base (m)	Weight (mg)	TOC (wt%)	TIC (wt%)	TC (wt%)	Rock-Eval pyrolysis			HI mg HC/g TOC	OI mg CO ₂ /g TOC	PI $\frac{S_3}{S_2+S_3}$	VRr (%)
							S1 (mg HC/g Rock)	S2 (mg HC/g Rock)	S3 (mg CO ₂ /g Rock)				
Bidestan Member	12-MY-154	560.5	99.7	1.60	0.02	1.63	0.05	0.54	1.26	33	79	0.09	
	12-MY-156	562.3	100.6	1.46	0.02	1.48	0.04	0.13	3.29	9	224	0.22	
	12-MY-158	565.8	100.3	2.88	0.10	2.97	0.09	0.96	3.01	33	105	0.08	
	12-MY-165	572	100.3	0.47	0.02	0.50	0.04	0.67	1.04	142	219	0.05	
	12-MY-172	578	100.1	1.00	0.02	0.92	0.13	0.65	0.91	72	102	0.17	
	12-MY-180	582	100.3	1.11	0.04	1.15	0.04	0.22	1.03	20	93	0.14	
	12-MY-182	583	100.3	0.62	0.03	0.60	0.02	0.23	0.89	40	156	0.07	
	12-MY-184	584	100.2	4.08	0.02	0.57	0.03	0.49	2.08	88	376	0.06	
	12-MY-186	585	99.9	0.43	0.04	0.47	0.02	0.17	0.87	40	204	0.13	
	12-MY-189	596	100.6	0.41	0.02	0.43	0.03	0.61	1.02	150	250	0.05	
	12-MY-198	605	99.8	0.75	0.02	0.77	0.02	0.33	1.15	44	153	0.05	
	12-MY-200	607.2	99.8	0.50	0.04	0.54	0.02	0.20	1.02	39	204	0.08	
	12-MY-202	608.5	100.4	0.43	0.02	0.45	0.02	0.30	1.17	69	271	0.06	
	12-MY-208	611	100.0	0.66	0.01	0.67	0.04	0.59	1.16	89	175	0.07	
	12-MY-209	615	99.5	0.62	0.02	0.64	0.02	0.24	1.10	38	177	0.08	
	12-MY-237	729	100.6	0.54	0.03	0.57	0.02	0.19	1.04	34	190	0.09	
	12-MY-275	781.5	100.2	0.57	0.02	0.60	0.17	1.33	1.26	233	221	0.11	
	12-MY-277	782.2	100.0	0.48	0.02	0.50	0.17	0.57	1.25	120	260	0.23	
	12-MY-279	783.5	100.5	0.30	0.01	0.31	0.09	0.65	1.29	216	430	0.13	
	12-MY-286	785	99.8	3.08	0.21	3.30	0.16	1.18	1.76	38	57	0.12	
	12-MY-287	786	100.2	1.11	0.06	1.17	0.40	1.20	1.09	108	98	0.25	
	12-MY-296	789.1	100.4	6.20	0.04	6.24	0.05	0.63	2.52	10	41	0.07	1.10
	12-MY-298	791.5	99.9	0.56	0.02	0.58	0.03	0.45	1.59	80	283	0.06	
	12-MY-307	796.7	100.7	0.86	0.05	0.91	0.31	1.40	1.07	162	124	0.18	
	12-MY-309	802.5	100.4	0.84	0.05	0.89	0.34	1.31	0.98	156	116	0.20	
	12-MY-328	825	100.2	0.85	0.02	0.87	0.06	0.79	1.61	93	189	0.08	
	12-MY-336	841	100.2	3.65	2.45	6.10	0.06	0.33	2.14	9	59	0.14	
	12-MY-352	870	100.2	0.26	0.02	0.28	0.03	0.46	0.95	176	366	0.05	
	12-MY-355	880.5	100.4	3.83	0.17	4.00	0.06	0.75	2.59	20	68	0.08	
	12-MY-358	885	100.0	0.48	0.02	0.50	0.08	0.84	2.03	175	423	0.09	
	12-MY-361	887.4	100.7	0.26	0.02	0.29	0.26	1.07	1.62	403	609	0.20	
	12-MY-363	916.2	99.7	8.90	0.20	9.11	0.17	1.53	4.92	17	55	0.10	0.90
12-MY-365	917.5	100.2	16.08	0.13	16.21	0.21	2.04	7.58	13	47	0.09		
12-MY-368	918.6	99.8	7.24	0.07	7.31	0.19	0.84	2.75	12	38	0.18	0.91	

ادامه جدول ۲

Rock Unit	Sample NO.	Distance from the base (m)	Weight (mg)	TOC (wt%)	TIC (wt%)	TC (wt%)	Rock-Eval pyrolysis			HI (mg HC/g TOC)	OI (mg CO ₂ /g TOC)	PI (S ₁ :S ₂)	VRr (%)
							S ₁ (mg HC/g Rock)	S ₂ (mg HC/g Rock)	S ₃ (mg CO ₂ /g Rock)				
Bidestan	12-MY-371	920	100.2	3.86	0.11	3.97	0.28	1.42	1.68	37	43	0.17	
	12-MY-374	921	99.8	2.48	0.04	2.52	2.17	40.77	65.24	1643	2629	0.05	
Howz-e-Shaikh Member	12-MY-376	922	99.5	5.76	0.05	5.81	0.19	1.29	2.95	22	51	0.13	0.98
	12-MY-379	925	100.3	48.00	0.68	48.70	0.21	1.03	5.66	2	12	0.17	1.01
	12-MY-381	927	99.6	45.69	0.00	45.70	0.71	4.77	22.69	10	50	0.13	0.99
	12-MY-384	930.5	100.1	1.15	0.05	1.20	0.05	0.44	1.03	39	89	0.10	
	12-MY-389	948	100.1	5.70	0.17	5.88	0.06	1.12	3.29	20	58	0.05	0.94
	12-MY-390	950	99.7	7.27	0.17	7.45	0.07	1.43	3.49	20	48	0.05	1.10
	12-MY-392	955	100.5	28.34	0.26	28.60	0.34	3.22	17.79	11	63	0.10	1.04
	12-MY-403	1015.4	100.1	1.93	0.08	2.01	0.11	0.86	0.95	44	49	0.11	
	12-MY-405	1019	100.3	1.95	0.18	2.13	0.12	0.86	0.95	44	49	0.12	
	12-MY-408	1021	100.3	0.40	0.02	0.42	0.04	0.56	2.05	141	516	0.06	
	12-MY-426	1036	99.6	1.30	0.05	1.35	0.04	0.35	1.26	27	96	0.11	
	12-MY-427	1040	99.8	1.23	0.03	1.26	0.03	0.33	1.12	27	91	0.08	
Howz-e-Khan	12-MY-453	1196.2	100.3	27.89	0.00	27.90	0.20	1.43	21.08	5	76	0.12	0.84
	12-MY-461	1262	99.6	18.50	0.37	18.87	0.07	0.53	7.07	3	38	0.11	0.97
	12-MY-507	1375	99.5	0.72	0.04	0.76	0.03	0.25	0.97	35	135	0.10	
	12-MY-510	1395	100.6	4.72	0.77	5.49	0.06	0.33	2.05	7	43	0.15	0.95

جدول ۳. مقادیر قابل اتکای پارامترهای پیرولیزی و ضریب بازتاب ویتیرینیت در شیل‌های زغالی سازند نایبند در برش پروده

Members	TOC	HI	OI	S ₁	S ₂	S ₃	PI	S ₂ /S ₃	S ₁ +S ₂	VRr
Gelkan	4.31-40.26	3-8	21-56	0.03-0.12	0.32-1.23	2.41-8.57	0.09-0.11	0.12-0.24	0.35-1.34	1.01-1.06
Bidestan	4.08-16.08	10-49	40-65	0.03-0.21	0.49-2.04	1.65-7.58	0.6-0.18	0.25-0.92	0.68-2.25	0.89-1.12
Howz-e-Sh	5.7-48	2-39	12-63	0.06-0.71	1.03-4.77	2.95-22.69	0.05-0.17	0.18-0.43	1.18-5.48	0.94-1.09
Howz-e-K	4.72-27.89	3-7	38-76	0.06-0.2	0.33-1.43	2.05-21.08	0.11-0.15	0.06-0.16	0.39-1.63	0.84-0.96

جدول ۴. رخساره‌های آلی، مواد آلی چیره، موجودات اولیه، انواع هیدروکربن تولیدی و محیط‌های رسوبی [۲۸]

Organic Facies	Dominant Organic Matter	Primary Organisms	Depositional Environments	Primary Products
A	Algal, amorphous	Botyococcus, Tasmanites	Lacustrine, persistent anoxia stratified H ₂ O. Warm humid climate	OIL
AB	Amorphous, highly fluor. Minor terrestrial input	Conspicuous Tasmanites	Persistent anoxia, transgressive, warm-equable climate. Well laminated	OIL
B	Amorphous, common. Terrestrial input	Conspicuous Tasmanites during Cretaceous. Marine/non-marine algae & associated bacteria	Less persistent anoxia marine or lacustrine. Transgressive seas shallow-medium depths. Laminated	OIL
BC	Mixed; some oxidation. Partially oxidized during Cretaceous. Algal	Variable algal input. Diverse	Terrestrial & marine organic matter. Pro-delta muds- outer shelf, upper continental slopes. Rapid deposition in Oxid H ₂ O. Rapid vertical variations	LIQUIDS and GAS
C	Terrestrial; some oxidation	Telinite & Colinite. Low amounts of spores, cuticles & resinite	Oxid H ₂ O-Moderate rapid deposition in anoxic conditions	GAS Prone
CD	Oxidized; reworked organic matter	Varying amounts terrestrial & reworked organic matter Some fine grain amorphous organic matter of unknown origin.	Marine fore-deeps in front of rising mountain ranges	Moderate DRY GAS capacity
D	Highly oxidized	Dominant inertinite. Highly oxidized or re-deposited residual organic matter.	Deep ocean to terrestrial	DRY GAS only at high maturity

جدول ۵. ارتباط بین رخساره‌های آلی با محیط رسوبگذاری [۴۰] شیل‌های زغالی سازند نایبند در رخساره D در محیط به شدت اکسیدان با نرخ رسوبگذاری پایین و دور از خاستگاه نهشته شده‌اند.

Organic facies		A	A B	B	BC	C	CD	D
Environmental factors	Sediment accumulation rate	Low	Varies		High		Mod	Low
	Oxygen regime	Anoxic	Anoxic - dysoxic			Oxic		V. Oxic
	Proximal - Distal trend	Distal			Proximal		Distal	

جدول ۶. مقادیر قابل انکای پارامترهای پیرولیزی در شیل‌های تیره سازند نایبند در برش پروده

Members	TOC	HI	OI	S ₁	S ₂	S ₃	PI	S ₂ /S ₃	S ₁ +S ₂
Gelkan	0.03-3.31	10-400	37-148	0.02-0.04	0.13-0.66	0.73-1.47	0.03-0.1	0.14-0.49	0.15-0.68
Bidestan	0.4-3.86	9-403	43-283	0.02-0.4	0.13-1.82	0.77-3.01	0.05-0.25	0.03-1.54	0.16-2.04
Howz-e-Sh	0.39-1.95	27-147	49-96	0.03-0.12	0.33-0.86	0.95-1.26	0.06-0.12	0.27-0.9	0.39-0.98
Howz-e- Kh	0.72	35	135	0.03	0.25	0.97	0.1	0.25	0.28

مواد اکسید شده، سبب کاهش مقادیر HI، S₁ و S₂ از مقادیر واقعی و تغییر کروژن می‌شود که باید این مورد را نیز در تفسیر نتایج در نظر گرفت.

پیشنهاد

بهتر است در پژوهش‌های تکمیلی برای شناسایی دقیق‌تر نوع کروژن، روش‌های دیگری مانند شناسایی نسبت اتمی H/C و O/C، پتروگرافی آلی و کروماتوگرافی گازی بهره گرفت. در این نوشتار، برای شناسایی درجه رسش ماده آلی شیل‌های تیره از اندیس تولید (PI) استفاده شده است. با توجه به اینکه این اندیس، تا حد بسیاری وابسته به عوامل مختلفی مانند نوع ماده آلی و..... می‌باشد، بنابراین، شناسایی درجه رسش گرمایی کروژن بر پایه این پارامتر باید توسط روش‌های دیگری مانند شناسایی اندیس دگرسانی گرمایی (TAI) و اندازه‌گیری بازتاب و پترینیت تایید گردد. نیاز به یادآوری است که برای بررسی تاثیر محیط رسوبی بر نوع کروژن و میزان حفظ‌شدگی مواد آلی در بخش‌های مختلف سازند نایبند، شناسایی دقیق رخساره‌های سنگی و میکروسکوپی و به دنبال آن محیط رسوبی بخش‌های مختلف سازند نایبند در پژوهش‌های آینده ضروری است.

محدودیت‌ها و ملاحظات

پارامتر اندیس هیدروژن و شاخص تولید به تنهایی شاخص‌های دقیقی برای بررسی پتانسیل تولید هیدروکربن از شیل‌های زغالی نیست [۳۸]. بهتر است برای شناسایی پتانسیل هیدروکربن‌زایی شیل‌های زغالی از مجموع پارامترهای ژئوشیمیایی و پتروگرافی (شناسایی محتوی ماسرالی) استفاده نمود. افزون بر این، برای بررسی‌های دقیق‌تر، واکاوی‌های GC-Mass، NMR، و شناسایی نسبت اتمی H/C و O/C ضرورت دارد. عوامل موثر در پارامترهای به دست آمده از پیرولیز نمونه‌های شیلی تیره مورد بررسی شامل اثر ماتریکس-کانی (دارا بودن اجزای آواری) و اکسید شدگی ماده آلی می‌باشد. اثر ماتریکس-کانی سبب کاهش مقادیر TOC، HI و S₂ از مقادیر واقعی آنان می‌شود [۲۶ و ۳۲]. کانی‌های رسی مهم‌ترین عامل جذب هیدروکربن هستند [۴۱]. همان گونه که به نظر می‌رسد، احتمالاً شیل‌های سازند نایبند دارای مقادیر بسیاری رس هستند و این عامل منجر به جذب میزان بیش‌تری هیدروکربن در زمان پیرولیز می‌گردد. در سنگ‌های با کربن آلی کم‌تر از ۱ درصد وزنی (نسبت کم ماده آلی به معدنی)، اثر ماتریکس-کانی بیش‌تر خواهد بود [۲۶]. همچنین، مواد آلی هنگام ترابری، رسوب‌گذاری، دیاژنز و حتی در مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها در آزمایشگاه اکسید می‌شوند. پیرولیز

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های میدانی انجام شده، لایه‌های دارای مواد آلی سازند ناپند در ناحیه پروده به دو دسته شیل‌های زغالی (بیش از ۴ درصد کربن آلی کل) و لایه‌های شیلی تیره رنگ (کم‌تر از ۴ درصد کربن آلی کل) تقسیم شده است. بر پایه یافته‌های برگرفته از واکاوی پیرولیز راک-اوال VI، شیل‌های زغالی سازند ناپند در منطقه مورد بررسی، بیشینه کربن آلی کل ۴۸ درصد وزنی (در پاره‌سازند حوض شیخ)، بیشینه اندیس هیدروژن 49 mgHc/gTOC (در پاره‌سازند بیدستان)، بیشینه اندیس اکسیژن $76 \text{ mgCo}_2/\text{gTOC}$ (در پاره‌سازند حوض خان)، بیشینه مقدار $4/77 \text{ S}_2 \text{ mgHc/gRock}$ (در پاره‌سازند حوض شیخ) و بیشینه انعکاس ویترنیت $1/12$ درصد (در پاره‌سازند بیدستان) می‌باشد. تمام شیل‌های زغالی، دارای کروژن نوع IV (مواد آلی اکسید شده) هستند. مقادیر HI (کم‌تر از 50 mgHc/gTOC)، S_2 (عمدتاً کم‌تر از $2/5 \text{ mgHc/gRock}$) و S_2/S_3 ($0/06$) تا $0/92$)، نشان دهنده آن است که شیل‌های زغالی مورد بررسی از نظر پتانسیل تولید هیدروکربن بیشتر در محدوده ضعیف و بدون کیفیت تولید هستند. با این که رسش گرمایی بالای شیل‌های زغالی (ضریب انعکاس ویترنیت بین $0/84$ تا $1/12$ درصد و جای‌گیری آن‌ها در مرحله بالغ)، به دلیل سرشار بودن از مواد آلی اکسید شده (کروژن نوع IV)، بدون توان تولید هیدروکربن هستند. با توجه به مقادیر اندیس‌های هیدروژن و اکسیژن، محدوده رخساره آلی D (مواد آلی قاره‌ای و رسوب‌گذاری آرام در آب‌های به شدت اکسیژن دار) برای شیل‌های زغالی شناسایی شده است. هم‌چنین با توجه به مطالعات مشابه صورت گرفته بر روی شیل‌های تیره این سازند، بیشینه کربن آلی کل $3/86$ درصد وزنی، بیشینه اندیس هیدروژن 403 mgHc/gTOC ، بیشینه اندیس اکسیژن $283 \text{ mgCo}_2/\text{gTOC}$ ، بیشینه مقدار $1/82 \text{ S}_2 \text{ mgHc/gRock}$ ، بیشینه مقدار $2/04 \text{ S}_1+\text{S}_2$ و بیشینه شاخص تولید $0/25$ همگی در پاره سازند بیدستان می‌باشد. مقادیر به دست آمده از پیرولیز راک-اوال نشان می‌دهد که نمونه‌های شیلی عمده گاززا و دارای کروژن‌های III و IV هستند. بر پایه مقادیر اندیس‌های هیدروژن، اکسیژن و کربن آلی کل، به ترتیب فراوانی محدوده رخساره‌های آلی C، CD، D و BC برای

شیل‌های تیره نشان داده شده است. هم‌چنین بر پایه مقادیر اندیس هیدروژن و کربن آلی کل، این شیل‌ها بیش‌تر در محدوده آب‌های بستر اکسیژن دار، شرایط پسرونده و ورود بالای مواد آلی قاره‌ای (خشکی‌زی) تهنشین شده‌اند.

سیاسگزاری

از مدیر عامل محترم شرکت زغال‌سنگ پروده طبس (آقای مهندس کریتی ثانی) و مسئول سابق اداره آموزش آن شرکت (آقای مهندس جلالی) به دلیل فراهم آوردن شرایط لازم جهت اسکان یک ماهه در محدوده معادن پروده، از آقایان پروفسور راف لیتکه و دکتر دانیل مانهوف (انستیتو زمین‌شناسی و ژئوشیمی نفت و گاز دانشگاه آخن)، برای همکاری و انجام واکاوی‌های مورد نیاز این پژوهش و از داوران و مسئولین محترم دوفصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی به خاطر همکاری صمیمانه و یادآوری نکات سودمند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. مرحوم مهندس حجت مقدم شبیلو، مرخصی دوران خدمت سربازیش را وقف کمک به نگارندگان این مقاله برای انجام بازدیدهای میدانی در پاییز ۱۳۹۲ نمود، روانش شاد و یادش گرمی باد.

منابع

- [۱] آقائباتی، س. ع. (۱۳۸۹) زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ سوم، ۶۰۶ صفحه.
- [۲] بهبهانی، ر خدابخش، س محسنی، ح و آتش‌مرد، ز (۱۳۸۶) بررسی پتانسیل هیدروکربن‌زایی سازند پایده (پالئوژن) (شمال غرب ایلام) بر پایه مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمی آلی. فصلنامه پژوهشی علوم پایه، دانشگاه اصفهان، جلد ۲۷، شماره ۱، صفحات ۱۱-۲۶.
- [۳] شریعت‌نیا، م. ح (۱۳۷۴) ویژگی‌های زمین‌شناسی گستره پروده از حوضه زغالدار طبس-ایران مرکزی، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، سال چهارم، شماره ۱۵ و ۱۶، صفحات ۵۹-۵۰.
- [۴] عباسی، ن قویدل سیوکی، م یوسفی، م و نویدی ایزد، ن (۱۳۹۵) اثر رخساره کروزیانا از نهشته‌های سازند ناپند (تریاس پسین) در برش پروده، جنوب باختری طبس، خاور ایران مرکزی، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، جهاد دانشگاهی شهید بهشتی، سال دهم، شماره ۳۸، صفحات ۱-۱۵.

- [15] Curry, D. J. Isaksen, G. H. and Yeakel, J. D (1998) Controls on the oil and gas potential of humic coals. *Organic Geochemistry*, 29: 23-44.
- [16] Dean, W. E. Arthur, M. A. and Claypool, G. E (1986) Depletion of ^{13}C in Cretaceous marine organic matter: source, diagenetic, or environmental signal. *Marine Geology*, 70: 119-154.
- [17] Durand, B. and Paratte, M (1983) Oil potential of coals, a geochemical approach. *Geological Society Special Publication*, 12: 255-265.
- [18] Ghavidel-Syooki, M. Yousefi, M. Shekarifard. A. and Monhoff, D (2015) Palynostratigraphy, Palaeogeography and Source Rock Evaluation of the Nayband Formation at the Parvadeh area, Central Iran, Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*. 26 (3): 241-263.
- [19] Gluyas, J. Swarbrick, R (2004) *Petroleum Geoscience*, Blackwell Publication, London, 349 p.
- [20] Goddard, D. A. Mancini, E. A. Talukar, S. C. and Horn, M (1997) Bossier-Hanesvill shale, North Louisian salt basin. Louisiana State University, Boton Rouge, Louisiana, center for energy, pdf file, [http:// www. Api. Ning. Com/files](http://www.Api.Ning.Com/files), 46.
- [21] Harris, N. B (2005) The deposition of organic carbon rich sediments: models, mechanisms and consequences- introduction. In: Harris, N. B. (ed.), *The deposition of organic carbon rich sediments: models, mechanisms, and consequences*. Special Publication. 82: Tulsa, 1-5.
- [22] Harris, N. B. Freeman, K. H. Pancost, R. D. Mitchell, G. D. White, T. S. and Bate, R. H (2005) Patterns of organic carbon enrichment in a lacustrine source rock in relation to paleo-lake level, Congo Basin, West Africa. In: Harris, N.B. (ed.), *The deposition of organic carbon rich sediments: models, mechanisms, and consequences*. Special Publication. Tulsa, 82: 103-123.
- [23] Hatcher, P. G. Clifford, D. J (1997) The organic geochemistry of coal: from plant materials to coal. *Organic Geochemistry*, 27: 251-274.
- [24] Huang, B. Xiao, X. Zhang, M (2003) Geochemistry, grouping and origins of crude oils in the western Pearl River Mouth Basin, Offshore South China Sea. *Journal of Organic Geochemistry*, 34: 993-1008.
- [25] Huc, A. Y (1991) Deposition of organic facies, AAPG Studies in Geology, The American Association of Petroleum Geologists, Oklahoma, U.S.A. 30: 231.
- [۵] منانی، م و ارزانی، ن (۱۳۹۲) رخساره‌های رسوبی و اثرات طوفان در سیستم‌های آواری-کربناته تریاس پسین (نورین-رتین) در شمال اصفهان، ایران مرکزی. فصلنامه پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، دانشگاه اصفهان، شماره پیاپی ۵۲، شماره ۳، صفحات ۱-۱۸.
- [۶] ناظمی، م (۱۳۷۷) نوزمین ساخت بلوک طیس، با نگرشی بر زمین‌شناسی ساختمانی ناحیه قوری چای، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۷۰ صفحه.
- [۷] نبوی، م. ح (۱۳۵۶) کمیته ملی چینه‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گاهنامه شماره یک، ۶۳ صفحه.
- [۸] نجفیان، ب (۱۳۹۰) چینه‌شناسی (لیتواستراتیگرافی و بایواستراتیگرافی) بخش بیدستان در مقطع تیپ سازند نایبند (ایران مرکزی)، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، سال ۲۱، شماره ۸۱، صفحات ۱۵۲-۱۴۱.
- [۹] نجفیان، ب و جعفریان، م. ع (۱۳۸۷) تجزیه و تحلیل محیط رسوبی بخش‌های مختلف سازند نایبند در ایران مرکزی. مجله علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، سال ۱۸، شماره ۶۹، صفحات ۷۷-۸۸.
- [۱۰] یوسفی، م (۱۳۹۴) پالئوبوتانی، پالئوپالینولوژی و توان هیدروکربن‌زایی سازند نایبند (تریاس پسین) در محدوده معدن زغالسنگ پروده طیس، ایران مرکزی. رساله دکتری تخصصی زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ۳۵۲ صفحه.
- [۱۱] یوسفی، م. معماری‌زادیان، ز و حسن‌لو، ع (۱۳۹۵) پتانسیل‌یابی آب‌های کارستی بلوک طیس (استان خراسان جنوبی)، گزارش داخلی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۶۹ صفحه.
- [12] Alizadeh, B. Alipour, M. Hosseini, S. H. and Jahangard, A. A (2011) Paleoenvironmental reconstruction using biological markers for the Upper Triassic–Middle Jurassic sedimentary succession in Tabas Basin, central Iran. *Journal of Organic Geochemistry*, 42: 431-437.
- [13] Brönnimann, P. Zaninetti, L. Bozorgnia, F. Dashti, G. R. and Moshtaghian, A (1971) Lithostratigraphy and foraminifera of the Upper Triassic Nayband Formation, Iran. *Review Micropaleontology*, 14: 7–16.
- [14] Cirilli, S. Buratti, N. Senowbari-Daryan, B. and Fursich, F. T (2005) Stratigraphy of the Upper Triassic Nayband Formation of East–Central Iran and paleoclimatological implications. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 111: 259–270.

- [38] Thomas, L (2002) Coal geology. John Wiley and Sons Publication, 384 p.
- [39] Tyson, R. V (1995) Sedimentary Organic Matter. Organic Facies and Palynofacies. Chapman and Hall, London, 615 p.
- [40] Yalcin Erik, N. Ozcelik, O. Altunsoy, M. and Illeez, H (2004) Source rock hydrocarbon potential Middle Triassic-Lower Jurassic Cudi Group units in the eastern part of the SE Turkey. *International Geology Review*, 10: 163-171.
- [26] Hunt, J. M (1996) Petroleum geochemistry and geology. 2nd ed., New York, Freeman, 743 p.
- [27] Jackson, K. S. Hawkins, P. J. and Bennett, A. J. R (1985) Regional facies and geochemical evolution of the Southern Denison Trough, *APEA Journal*, 20: 143-158.
- [28] Jones, R. W (1987) Organic facies. In: Brooks, J., Welte, D., (ed.), *Advances in petroleum geochemistry*. London, Academic Press, 2: 1-90.
- [29] Kotorba, M. J. Wieclaw, D. Kosakowski, P. Zacharski, J. and Kowalski, A (2003) Evaluation of .Source rock and Petroleum potential of middle Jurassic strata in the South-eastern part of Poland: *Prezeglad Geologiczny*, 51: 1031-1040.
- [30] Marquis, F. Lafargue, E. and Espitalie, J (1992) The influence of maceral composition and maturity on the petroleum-generating potential of coals. In: Spencer, A. M., (ed.), *Generation, Accumulation and production of Europe hydrocarbons II*. Special Publication of the European Association of Petroleum Geoscientists 2, Springer-Verlag, Berlin, 239-247.
- [31] Pasley, M. Gregory, W. Hart, G. F (1991) Organic matter variations in transgressive and regressive shales: *Organic Geochemistry*, 17: 483-509.
- [32] Peters, K. E (1986) Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis. *AAPG Bulletin*, 70: 318-329.
- [33] Peters, K. E. and Cassa, M. R (1994) Applied source rock geochemistry. In: Magoon, L. B., Dow W. G. (ed.), *the Petroleum System – From Source to Trap*. American Association of Petroleum Geologists Memoirs 60: 93-120.
- [34] Repin, U (1982) Stratigraphy correlation between the Shemshak Serie and the Nayband Serie and their stratigraphic distribution (unpublished report of NISC, translated into Persian by Mahdian, M. H). 221p.
- [35] Seyed-Emami, K (2003) Triassic in Iran, *Facies*, 48: 91-106.
- [36] Seyed-Emami, K. Fürsich, F. T. and Wilmsen, M (2004) Documentation and significance of tectonic events in the Northern Tabas block (East-Central Iran) during the Middle and Late Jurassic, *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 110 (1): 163-171.
- [37] Snowdon, L. R. and Sykes, R (2002) Guidelines for assessing the petroleum potential of coaly source rock using Rock-Eval pyrolysis. *Organic Geochemistry*, 33: 1441-1455.