

کاربرد انعکاس گراپتولیت و کیتینوزوا در تعیین پختگی سازند های پالئوزوئیک زیرین ناحیه بندرعباس

مریم میرشاهانی

پژوهشگاه صنعت نفت، پردیس بالادستی، پژوهشکده علوم زمین، گروه پژوهش زمین شیمی

احمد خواجهزاده

پژوهشگاه صنعت نفت، پردیس بالادستی، پژوهشکده علوم زمین، گروه پژوهش زمین شیمی

بهزاد خانی

پژوهشگاه صنعت نفت، پردیس بالادستی، پژوهشکده علوم زمین، گروه پژوهش زمین شیمی

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۳۰

Mirshahanim@ripi.ir

چکیده

تعیین بلوغ حرارتی سنگ‌های منشا از اساسی‌ترین بخش‌های ارزیابی سیستم‌های هیدروکربنی می‌باشد. به دلیل فقدان ویتربیت، انعکاس قطعات جانوری معتبرترین روش ارزیابی بلوغ لایه‌های پالئوزوئیک زیرین می‌باشد. سازندهای سیاهو و سرچاهان با خصوصیات زمین‌شیمیایی مناسب می‌توانند به عنوان سنگ منشا احتمالی در ناحیه خلیج فارس محسوب شوند. در این مطالعه جهت تعیین پختگی مواد آلی، از انعکاس قطعات جانوری استفاده گردید که سازند سیاهو در برش فراقون با $Ro\%$ بالاتر از ۱/۲ در گاززایی و سازند سرچاهان در برش‌های فراقون و کهگم با $Ro\%$ برابر ۱ تا ۱/۲ در اواخر نفت زایی و ابتدای گاززایی قرار می‌گیرند. همچنین مقایسه انعکاس گراپتولیت با انعکاس کیتینوزوا نشان دهنده مطابق بودن میزان انعکاس در این دو گروه قطعات جانوری می‌باشند. میزان میانگین ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۴۵ نشان دهنده روند یکسان تغییرات بلوغ در قطعات گراپتولیتی و کیتینوزواها است. همچنین انطباق انعکاس قطعات شبه ویتربیتی با گراپتولیت‌ها حاکی از منشا یکسان آن‌ها می‌باشد.

کلمات کلیدی: پالئوزوئیک زیرین، انعکاس قطعات جانوری، سیاهو، سرچاهان، انطباق انعکاس

مقدمه

و به مرحله تولید اقتصادی رسیده‌اند تمرکز بیشتری در لایه‌های غنی از مواد آلی کامبرین و سیلورین دارند (Jarvie, 2012; Pool et al., 2012). شیل‌های سیاه در حوضه‌های رسوبی مختلف دنیا، به دلیل منشا مهم منابع هیدروکربنی دارای اهمیت اقتصادی فراوانی هستند (Wignall, 1994). اکثر سنگ منشاها شناخته شده موزوئیک و تشریری شیل‌های سیاه می‌باشند (Hallam, 1981) و تاکنون مطالعات زمین‌شیمیایی گسترده‌ای جهت شناخت خصوصیات سنگ منشایی و بلوغ حرارتی مواد آلی این رسوبات انجام گرفته است (Brooks and Fleet, 1995; Huc, 2006; Littke, 1986; (دبستانی و همکاران، ۱۳۹۴)، (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲) در مقابل مطالعات زمین شیمیایی محدود یبروری رسوبات شیلی با سن پالئوزوئیک زیرین انجام گرفته است. (Houseknecht et al., 1992; Cole, 1994; Wang and Philp, 1997; Xiao et al., 2000; Luning et al., 2000) براساس نتایج مطالعات میکروسکوپی نوری عبوری، شاخص رنگی انواع قطعات جانوری (TAI - Gutjahr, 1966; Staplin, 1982; (AA1 - Legall et al., 1981; CA1 - Epstein et al., 1977; به عنوان جایگزینی برای روش‌های تعیین بلوغ حرارتی با استفاده از انعکاس ماسرال ویتربیت در نظر گرفته شده است. به دلیل این که میزان شاخص رنگی بدست آمده تحت تاثیر ضخامت قطعات پالینومورفی و همچنین روش‌های تهیه مقاطع مورد مطالعه است (Murchinson et al., 1985)، بر اساس نتایج این روش‌ها میزان بلوغ

یکی از اساسی‌ترین مراحل در مطالعات سیستم‌های نفتی، تعیین مرحله بلوغ یا پختگی سنگ منشا می‌باشد. بلوغ حرارتی تغییرات پیوسته زمین شیمیایی مواد آلی در طی مراحل دیاژنز، کاتاژنز و متاژنز می‌باشد. بطور کلی یک سنگ منشا بر مبنای میزان حرارت متحمل شده در اعماق زمین، بتدریج به تکامل حرارتی رسیده و در مراحل مختلف، درجات مختلفی از بلوغ را نشان می‌دهد. میزان انعکاس ویتربیت در ۴ دهه گذشته به عنوان نشانگر بلوغ حرارتی رسوبات دارای مواد آلی استفاده شده است (Taylor et al., 1998). نبود ماسرال‌های ویتربیتی در رسوبات قبل از دونین همراه با کمیاب بودن این ماسرال در رسوبات عمیق دریایی از مهمترین محدودیت‌های استفاده از داده‌های انعکاس ماسرال‌های ویتربیتی در ارزیابی بلوغ لایه‌های رسوبی می‌باشد (Bertrand and Heroux, 1987). در نبود قطعات ویتربیتی در رسوبات پالئوزوئیک زیرین، اندازه‌گیری انعکاس بر روی قطعات جانوری (گراپتولیت، کیتینوزواها و اسکولودنت‌ها) و سایر قطعات آلی (بیتومن و قطعات شبه ویتربیت) انجام می‌گردد (Suarez-Ruiz et al., 2012). در بین قطعات جانوری انعکاس گراپتولیت‌ها به دلیل فراوانی این قطعات به صورت گسترده‌تری در ارزیابی بلوغ حرارتی لایه‌های رسوبی استفاده می‌شود (Goodarzi and Norford, 1989). اهمیت تعیین بلوغ حرارتی لایه‌های پالئوزوئیک با افزایش فعالیت‌های اکتشافی در زمینه شیل‌های گازی افزایش یافته است. بدین معنی که منابع هیدروکربنی نامتعارفی که تاکنون شناخته شده‌اند

4500 P LED با عدسی‌های بزرگ نمای ۵۰ در پژوهشگاه صنعت نفت انجام گرفت. اندازه‌گیری انعکاس، کالیبراسیون و سایر مراحل آنالیزی مطالعات پتروگرافی آلی در قطعات جانوری مشابه با مطالعات استاندارد ماسرال ویتربینیت است.

مطالعات مختلف از مقادیر انعکاس متفاوت (تصادفی، حداکثر و حداقل) استفاده می‌کنند. به دلیل آنیزوتروپی بالای قطعات گراپتولیتی، در میزان انعکاس‌های بالاتر از ۱ درصد از انعکاس حداقلی استفاده می‌شود. در این مطالعه به دلیل اندازه‌گیری انعکاس به حالت تصادفی در نمونه‌های سنگ‌های منشا، انعکاس قطعات جانوری به صورت تصادفی انجام پذیرفت. اندازه‌گیری انعکاس در این مطالعه در هر نمونه بر روی ۳ گروه قطعات جانوری گراپتولیتی، کیتینوزواها و اجزایی که فاقد منشا جانوری قابل تشخیص می‌باشند (شبه ویتربینیت) انجام گرفت. شایان ذکر است که میزان انعکاس هر کدام از قطعات در نمونه‌های مختلف به صورت مجزا ثبت گردید.

انعکاس قطعات جانوری (Zooclast Reflectance)

گراپتولیت‌ها

گراپتولیت اصطلاحی برای اعضای گروه گراپتولیتینا، موجودات پلانکتونیک مهره‌دار دریایی، است که در رسوبات دریایی پالئوزوئیک پیشین یافت می‌شوند (شکل ۲) (Goodarzi and Norford, 1985).

اجزای اسکلتی گراپتولیت‌ها داری میزان انعکاس مشابه با انعکاس ماسرال‌هایی ویتربینیتی می‌باشند اما در مقابل شکل ساختار این دو از هم کاملاً متفاوت است. ریز ساختارهایی شامل بافت کورتیکال، کانال و دیواره‌های پریدرم در نور انعکاسی مشاهده می‌شود. قطعات گراپتولیتی نشان‌دهنده خصوصیات آنیزوتروپی، هستند. سطح این قطعات در زیر میکروسکوپ به صورت زاویه‌دار و یا گرد شده دیده می‌شود. میزان انعکاس قطعات گرد شده نسبت به قطعات زاویه دار بیشتر می‌باشد. همچنین قطعات زاویه‌دار اکثراً در ماتریکس‌های آرزبلی و نوع گرد شده در ماتریکس‌های کربناته حضور دارند. قطعات گرد شده گراپتولیتی دارای ساختارهای پیچیده‌ای در زیر نور انعکاسی می‌باشند. براساس مطالعات زمین‌شیمیایی ساختار گراپتولیت‌ها دارای مقادیر بالاتری ترکیبات آروماتیکی می‌باشند.

این خصوصیت گراپتولیت‌ها باعث می‌شود در طی بلوغ سرعت افزایش بیشتری در انعکاس نسبت به ویتربینیت (شکل ۳ و ۴) داشته باشند. قطعات گراپتولیتی در نمونه‌های سازندهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد (Goodarzi et al., 1992).

کیتینوزوا

کیتینوزواها دیواره سلولی میکروفسیل‌های منقرض شده محیط ته نشست دریایی هستند که در رسوبات دوره‌های زمین‌شناسی اردوئین پیشین تا اواخر دونین (فامنین) وجود داشته‌اند. ساختار سه بعدی فلاکس و یا بطری شکل این موجودات از مواد آلی کیتین مانند تشکیل شده است که ترکیب شیمیایی آن به طور کامل شناخته نشده است. این قطعات در اندازه‌های ۵۰ تا ۲۵۰ میکرون به صورت انفرادی مشاهده می‌شوند. در مقادیر پایین بلوغ حرارتی کیتینوزواها به رنگ نارنجی مایل به قهوه‌ای مشاهده می‌شوند. رنگ این قطعات با افزایش بلوغ تا محدوده‌های پختگی متوسط به رنگ کدر تبدیل می‌شود.

حرارتی را فقط به صورت نیمه کمی تعیین می‌شود. در مقابل مطالعات قطعات فسیلی دریایی مانند کیتینوزواها، گراپتولیت‌ها و اسکلودنت‌ها تحت نور انعکاسی، نشان دهنده خصوصیات نوری مشابه این قطعات با ماسرال ویتربینیت، اینترتینیت و پیروبیومین می‌باشد (Aplern, 1980). بنابراین دارای کاربرد دقیق‌تری در تعیین میزان بلوغ حرارتی لایه‌های رسوبی دریایی و ماقبل دونین هستند.

تاکنون مطالعات پتروگرافی آلی گسترده‌ای بر روی قطعات جانوری جهت تعیین بلوغ حرارتی در حوضه‌های رسوبی دنیا انجام گرفته است. از این بین می‌توان به تعیین و تفکیک زیر رخساره‌های دگرگونی در حوضه آلپاین براساس میزان انعکاس بدست آمده از قطعات گراپتولیتی (Malinconico 1992, 1993)، ارزیابی بلوغ حرارتی براساس انعکاس قطعات گراپتولیتی و تطابق آن با میزان تبلور ایلیت در حوضه کارنیک اتریش (Rantitsch, 1995)، ارزیابی توان هیدروکربن زایی شیل‌های سیلورین حوضه باراندین (جمهوری چک) و بررسی تاثیر حضور لایه آذرین نفوذی بر روی میزان انعکاس گراپتولیت‌ها و کیتینوزواها (Suchy et al., 2002)، ارزیابی بلوغ حرارتی سنگ منشاهای سیلورین زیرین در حوضه توروس ترکیه براساس داده‌های انعکاس اسکلودنت‌ها و گراپتولیت‌ها (Varol et al., 2006) اشاره نمود.

مهمترین مرحله در مطالعه بلوغ حرارتی با استفاده از قطعات جانوری، تعیین معادل‌های انعکاس ویتربینیت محدوده‌های تعیین شده می‌باشد که از این طریق بتوان قرارگیری مواد آلی در پنجره‌های نفت زایی و گاززایی را تعیین نمود (Petersen et al., 2013). در مطالعه حاضر میزان انعکاس قطعات جانوری شامل گراپتولیت، شبه ویتربینیت‌ها و کیتینوزواها در نمونه‌های سطحی از سازند های سیاهو و سرچاهان در برش‌های سطحی کهگمگ و فراقون ناحیه بندرعباس مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

اهداف این مطالعه شامل تعیین بلوغ حرارتی رسوبات پالئوزوئیک زیرین براساس میزان انعکاس قطعات جانوری، تعیین میزان انعکاس هم ارز ویتربینیت در نمونه‌های مورد مطالعه و همچنین شناسایی منشا قطعات شبه ویتربینیتی می‌باشد. شایان ذکر است که این مطالعه جز اولین مطالعات انجام گرفته از این نوع در ارزیابی بلوغ حرارتی لایه‌های رسوبی پالئوزوئیک در ایران می‌باشد.

بحث و روش تحقیق

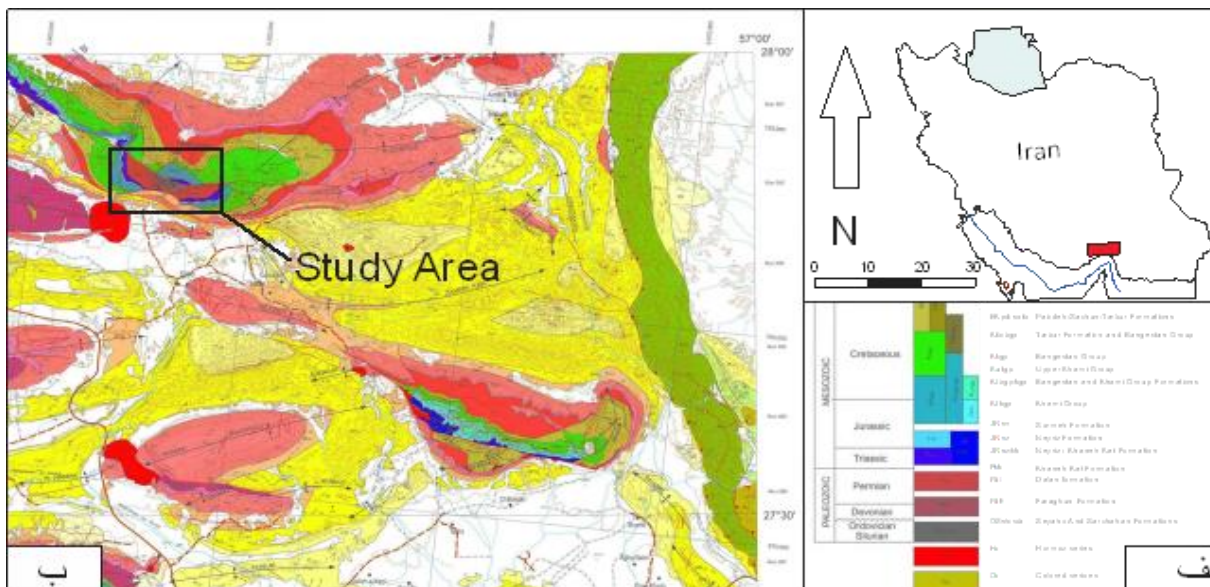
نمونه‌های مورد مطالعه شامل ۱۶ نمونه شیلی برداشت شده از سازند سیاهو در برش فراقون و ۲۶ نمونه از سازند سرچاهان در برش‌های فراقون و کهگمگ در ناحیه بندرعباس می‌باشد. موقعیت جغرافیایی برش‌های سطحی مورد مطالعه بر روی نقشه زمین‌شناسی در (شکل ۱) نشان داده شده است.

بر پایه مطالعات چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی انجام شده این سازندها دارای قطعات جانوری از جمله کیتینوزوا و گراپتولیت‌ها می‌باشند. جدا سازی و تهیه مقاطع صیقلی از قطعات جانوری توسط روش‌ها و استانداردهای مختلفی انجام می‌شود. در این بین متداول‌ترین روش، استاندارد نیگوگا می‌باشد که شامل مراحل خردکردن ۴۰ تا ۵۰ گرم نمونه تا قطر ۲ میلی‌متر، حذف کربنات‌ها، کوارتز و سیلیکات‌ها با استفاده از اسیدهای HCL و HF و در نهایت جداسازی قطعات جانوری از بخش معدنی سنگ با استفاده از مایع چگال (برومید روی) است. اندازه‌گیری انعکاس قطعات جانوری توسط میکروسکوپ انعکاسی مدل Leica DM

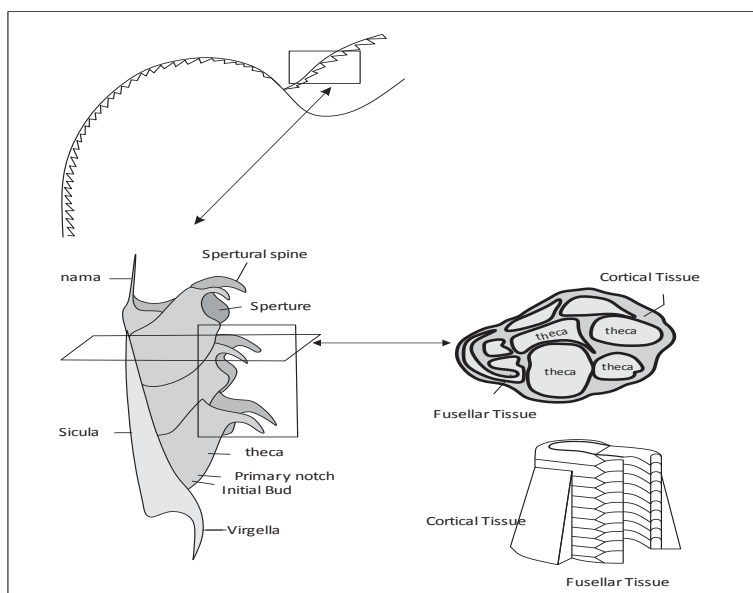
ساحلی تا دریایی عمیق حضور دارند. شکل خاص کیتینوزواها از مهمترین مزیت‌های این قطعات به شمار می‌آید. به گونه ای که به دلیل شکل خاصی که دارند مشکلات مربوط به شناسایی قطعات مورد نظر در این گروه وجود ندارد و به راحتی از سایر قطعات آلی مانند گراپتولیت‌ها و اسکولودونت‌ها تفکیک می‌شوند (Goodarzi, 1985).

بنابراین مقیاس رنگی کیتینوزواها همانند اسپور ها در مواردی می‌توانند به عنوان شاخص بلوغ حرارتی مورد استفاده قرار گیرد. (شکل ۵ و ۶) قطعات کیتینوزوا در نمونه‌های سازندهای سیاهو و سرچاهان را نشان می‌دهند.

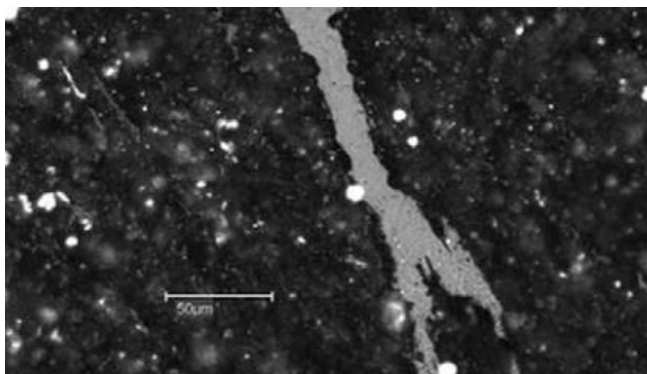
کیتینوزواها نسبت به سایر مواد آلی مشخص کننده بلوغ حرارتی رسوبات قدیمی‌تر از پالئوژئیک پیشین دارای چندین مزیت می‌باشند. این قطعات در اکثر رخساره‌های رسوبی، به جز بایوهرم‌های کربناته، از رسوبات



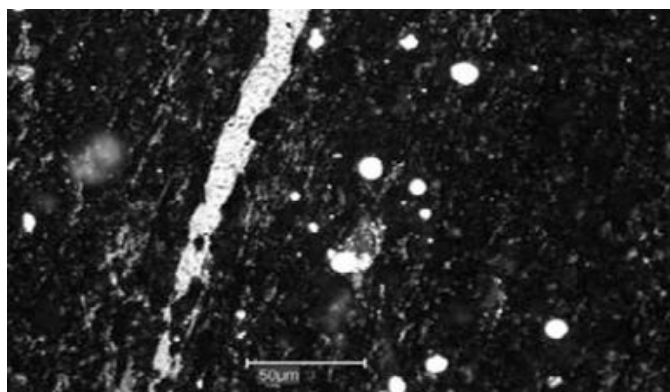
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (الف: موقعیت منطقه بر روی نقشه ایران، ب: موقعیت منطقه بر روی نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ بندر عباس) (فخاری و همکاران، ۱۳۷۴).



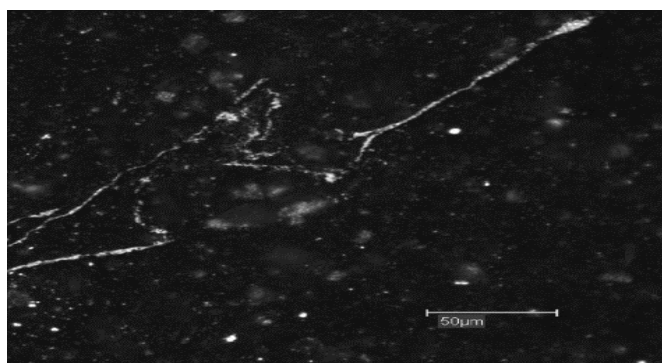
شکل ۲. شماتیک بخش‌های مختلف اجزای گراپتولیتی (Goodarzi and Norford., 1989)



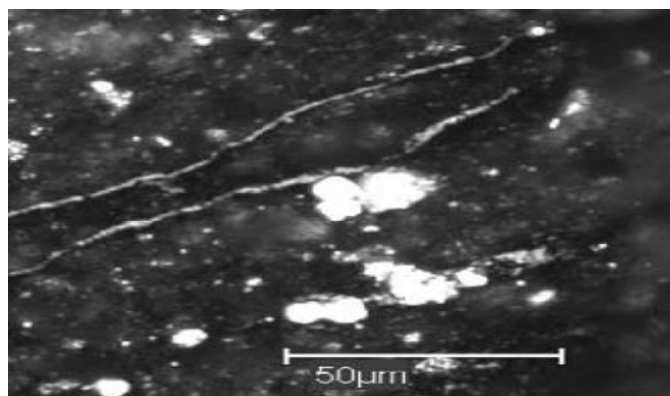
شکل ۳. تصویر قطعات گراپتولیتی نمونه سازند سرچاهان در نور انعکاسی (میزان انعکاس ۱/۱) (%).



شکل ۴. تصویر قطعات گراپتولیتی نمونه سازند سیاهو در نور انعکاسی (میزان انعکاس ۱/۶) (%).



شکل ۵. قطعات کیتینوزوا نمونه سازند سرچاهان (میزان انعکاس ۰/۹۴) (%).



شکل ۶. قطعات کیتینوزوا نمونه سازند سیاهو (میزان انعکاس ۱/۲۳) (%).

$$R_{\text{grap(high)}} = 0.89R_{\text{vitr(high)}} + 0.11$$

میزان ضریب همبستگی (R^2) در نمونه‌های مورد مطالعه $R^2=0.93$ (high) و $R^2=0.96$ (low) نشان‌دهنده تکامل حرارتی یکسان در قطعات شبه ویترنیتی و گراپتولیت‌ها در نمونه‌های این دو سازند می‌باشد. همچنین به دلیل میزان انعکاس یکسان قطعات شبه ویترنیتی با اجزای گراپتولیتی می‌توان بیان داشت که این اجزا منشا قطعات شبه ویترنیتی در نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشند. همچنین در تمامی مقاطع صیقلی، همراه با سایر قطعات، میزان انعکاس قطعات کیتینوزواها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. به منظور بررسی ارتباط میزان انعکاس قطعات کیتینوزواها با گراپتولیت‌ها، نمودار میزان انعکاس این دو در مقابل هم ترسیم گردید.

میزان میانگین ضریب هم بستگی برابر با 0.945 در نمونه‌های مورد مطالعه نشان دهنده مقادیر هم ارز این دو در مقادیر یکسان بلوغ حرارتی می‌باشد (شکل ۹).

بلوغ حرارتی سازند های سیاهو و سرچاهان

در ابتدا به منظور ارزیابی بلوغ حرارتی سازندهای سیاهو و سرچاهان در برش‌های سطحی فراقون و کهگم از نتایج مقادیر انعکاس بر روی گراپتولیت‌ها، کیتینوزواها و قطعات شبه ویترنیتی استفاده شده است. اولین مرحله در ارزیابی بلوغ حرارتی لایه‌های فاقد ویترنیت، تعیین میزان انعکاس ویترنیت معادل با میزان انعکاس قطعات جانوری می‌باشد. بدین منظور براساس مطالعات تطابقی انجام شده در حوضه‌های رسوبی مختلف دنیا معادلات تبدیلی استاندارد معرفی شده است. در این مطالعه از معادله استاندارد (Bertrand, 1990) استفاده شده است.

$$R_{o-evi}=0.8873 * R_{o-chitinozoan}+0.012$$

$$R_{o-evi}=0.9376 * R_{o-graptolite}+0.0278$$

مقادیر هم ارز انعکاس ویترنیت در نمونه‌های مورد مطالعه براساس معادلات اشاره شده در (جدول ۳ و ۴) آورده شده است. سازند سیاهو در برش فراقون با مقادیر $Ro\%$ بالاتر از $1/2$ در محدوده پنجره گاززایی و میزان بلوغ برابر با محدوده گاز تر را نشان می‌دهند. از طرفی نتایج میزان انعکاس قطعات جانوری همراه با مقادیر هم‌ارز انعکاس ویترنیت در نمونه‌های سازند سرچاهان در برش‌های فراقون و کهگم نشان دهنده بلوغ این سازند در محدوده Ro برابر 1 تا $1/2$ درصد می‌باشد. بنابراین این سازند در برش‌های اشاره شده در محدوده بلوغ کمتر و اواخر پنجره نفت زایی و ابتدای پنجره گاززایی قرار می‌گیرند.

مهمترین مشکل در استفاده از کیتینوزواها به عنوان شاخص بلوغ حرارتی، فراوانی بسیار کم این قطعات در نمونه‌های سنگ‌های رسوبی می‌باشد. بنابراین احتمال بسیار کمی وجود دارد که در نمونه‌های مقاطع صیقلی تهیه شده از کل سنگ تعداد کافی کیتینوزوا حضور داشته باشد. برای برطرف کردن این مشکل جهت مطالعات کیتینوزواها از مقاطع صیقلی نازک تهیه شده از کروژن‌های استخراج شده استفاده می‌شود. مراحل اندازه‌گیری میزان انعکاس کیتینوزواها همانند مراحل استاندارد استفاده شده در سایر قطعات جانوری و ماسرال ویترنیتی می‌باشد (Grah and noivak, 2007).

بحث و بررسی

تطابق انعکاس کیتینوزواها و گراپتولیت ها با ماسرال ویترنیت

چنانچه قبلا ذکر گردید انعکاس ویترنیت متداول‌ترین شاخص تعیین پختگی مواد آلی در مطالعات و اکتشافات نفت و گاز می‌باشد ولی با توجه به محدودیت‌های این متد از جمله نبود گیاهان عالی در پالئوزوئیک زیرین، در بعضی موارد انعکاس قطعات جانوری به عنوان شاخص پختگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در چنین مواردی معمولا از معادلات تبدیل استفاده شده و انعکاس ماسرال ویترنیت بازسازی می‌گردد.

براساس نتایج مطالعات مختلف انجام گرفته در حوضه‌های رسوبی مختلف دنیا، استانداردهایی جهت تطابق انعکاس قطعات جانوری با انعکاس ویترنیت معرفی شده است. شایان ذکر است که در اکثر موارد ماسرال تلینیت از گروه ماسرالی ویترنیت جهت تطابق استفاده می‌شود. براساس نتایج مطالعات تطابقی انجام گرفته بین انعکاس قطعات جانوری با ماسرال تلینیت مشخص شده است که کیتینوزواها و گراپتولیت‌ها دارای میزان انعکاس تقریبا مشابه و یا در بعضی موارد پایین‌تر از تلینیت می‌باشند. در مقابل در اکثر موارد اسکولودنت‌ها میزان انعکاس پایین‌تری از تلینیت نشان می‌دهند. به بیان دیگر میزان انعکاس اسکولودنت‌ها در محدوده نزدیک به انعکاس گروه ماسرالی لیپتینیت‌ها قرار دارند تا ویترنیت‌ها. میزان انعکاس قطعات جانوری با افزایش بلوغ حرارتی افزایش می‌یابد. اما سرعت این فرایند وابسته به نوع قطعه جانوری و ترکیب شیمیایی آن‌ها می‌باشد. تبدیل میزان انعکاس بدست آمده از قطعات جانوری به انعکاس ویترنیت توسط فرمول‌های استاندارد زیر انجام می‌شود (Bertrand, 1990):

$$Ro-evi=0.8873 Ro-chitinozoan+0.012$$

$$R0-evi=0.9376Ro-graptolite+0.0278$$

در این مطالعه اکثر ثبت‌های انعکاسی بر روی قطعات گراپتولیتی و شبه ویترنیتی انجام گردید. (جدول ۱ و ۲) مقادیر اندازه‌گیری شده انعکاس گراپتولیت‌ها، کیتینوزواها و اجزای شبه ویترنیت در سازندهای سیاهو و سرچاهان در برش‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

به منظور ارزیابی ارتباط انعکاس قطعات شبه ویترنیتی و گراپتولیتی در نمونه‌های مورد مطالعه نمودارهای مقادیر حداکثری و حداقلی میزان انعکاس قطعات شبه ویترنیتی در مقابل گراپتولیت‌ها ترسیم گردید. براساس خط رگرسیون حاصل از این نمودارها ارتباط بین میزان انعکاس گراپتولیت و قطعات شبه ویترنیتی در دو حالت حداکثری و حداقلی به صورت دو معادله زیر بیان گردید (شکل ۷ و ۸)

$$R_{\text{grap(min)}} = 0.95R_{\text{vitr(min)}} + 0.05$$

جدول ۱. نتایج اندازه گیری انعکاس بر روی گراپتولیت در سازند سیاهو و سرچاهان در برش های سطحی

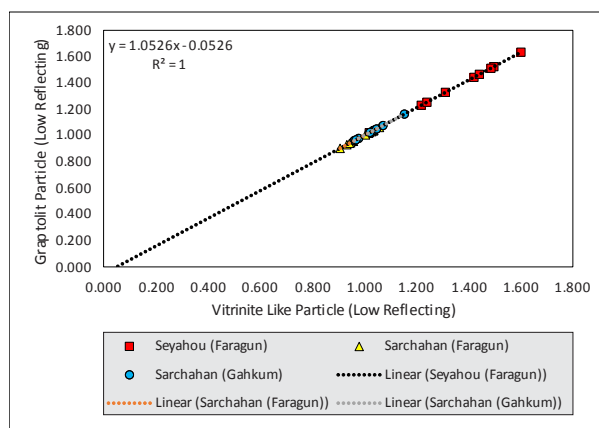
گراپتولیت			سازند	نمونه	برش
میانگین	حداکثر	حداقل			
۱/۳۶۳	۱/۴۱۵	۱/۲۳	سیاهو	۱SE.FA.	فراقون
۱/۴۰۰	۱/۹۸۵	۱/۰۲۰		۳SE.FA.	
۱/۶۵۲	۱/۷۶۲	۱/۵۲۴		۵SE.FA.	
۱/۵۲۵	۱/۵۳۸	۱/۵۱۲		۶SE.FA.	
۱/۳۰۴	۱/۳۴۱	۱/۲۵۳		۹SE.FA.	
۱/۵۱۱	۱/۶۵۹	۱/۴۴۳		۱۰SE.FA.	
۱/۴۰۰	۱/۴۷۱	۱/۳۲۸		۱۲SE.FA.	
۱/۷۰۰	۱/۹۲۸	۱/۶۳۳		۱۴SE.FA.	
۱/۷۳۰	۱/۸۸۷	۱/۴۶۵		۱۵SE.FA.	
۱/۰۵۹	۱/۲۰۴	۰/۹۳۰		۱۷SA.FA.	
۱/۱۱۵	۱/۱۶۱	۱/۰۶۱	۱۸SA.FA.		
۱/۱۵۷	۱/۳۱۱	۱/۰۳۶	۱۹SA.FA.		
۱/۲۰۱	۱/۳۵۰	۱/۰۱۷	۲۱SA.FA.		
۱/۱۱۸	۱/۳۳۲	۱/۰۳۰	۲۲SA.FA.		
۱/۱۶۸	۱/۳۳۹	۱/۰۳۹	۲۳SA.FA.		
۱/۰۲۲	۱/۰۳۹	۱/۰۰۵	۲۵SA.FA.		
۱/۱۵۴	۱/۳۱۹	۰/۹۵۶	۲۷SA.FA.		
۱/۱۵۳	۱/۵۰۷	۰/۹۰۲	۲۸SA.FA.		
۱/۱۶۰	۱/۳۸۹	۰/۹۴۵	۲۹SA.FA.		
۱/۰۰۴	۱/۰۶۷	۰/۹۴۰	۳۰SA.FA.	کهگم	
۱/۱۶۷	۱/۳۸۷	۱/۰۳۷	۳۱SA.GA.		
۱/۳۱۲	۱/۴۰۳	۱/۱۶۲	۳۲SA.GA.		
۱/۱۵۷	۱/۳۱۱	۱/۰۳۶	۳۳SA.GA.		
۱/۲۰۰	۱/۳۷۰	۱/۰۴۰	۳۵SA.GA.		
۱/۰۱۴	۱/۰۵۶	۰/۹۶۰	۳۶SA.GA.		
۱/۱۳۱	۱/۳۳۰	۰/۹۷۷	۳۷SA.GA.		
۱/۰۷۴	۱/۲۴۷	۰/۹۶۷	۳۸SA.GA.		
۱/۳۰۹	۱/۴۹۹	۱/۰۵۰	۴۰SA.GA.		
۱/۲۵۶	۱/۵۴۹	۱/۰۷۶	۴۱SA.GA.		
۱/۰۵۳	۱/۰۸۰	۱/۰۲۳	۴۲SA.GA.		

جدول ۲. نتایج اندازه گیری انعکاس بر روی قطعات شبه ویترنیت و کیتینوزوا در سازند سیاهو و سرچاهان در برش های سطحی

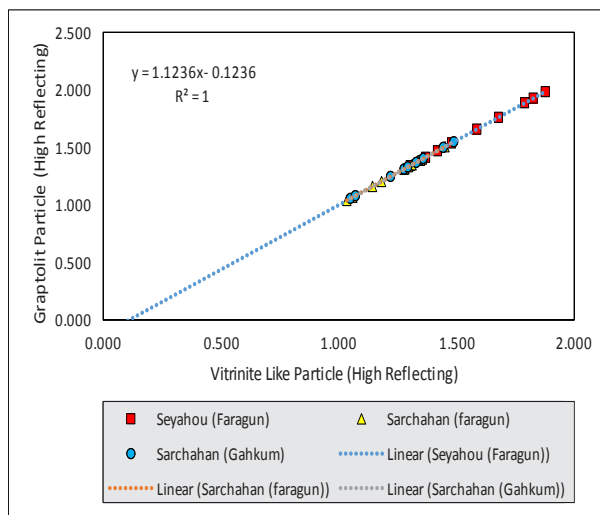
کیتینوزوا	قطعات شبه ویترنیت		سازند	نمونه	برش
	حداکثر	حداقل			
۱/۳۰۲	۱/۳۶۹	۱/۲۱۹	سیاهو	۱SE.FA.	فراقون
۱/۰۸۱	۱/۸۷۷	۱/۰۱۹		۳SE.FA.	
۱/۶۱۰	۱/۶۷۸	۱/۴۹۸		۵SE.FA.	
۱/۵۹۸	۱/۴۷۹	۱/۴۸۶		۶SE.FA.	
۱/۳۲۶	۱/۳۰۳	۱/۲۴۰		۹SE.FA.	
۱/۵۲۵	۱/۵۸۷	۱/۴۲۱		۱۰SE.FA.	
۱/۴۰۴	۱/۴۱۹	۱/۳۱۲		۱۲SE.FA.	
۱/۷۲۵	۱/۸۲۶	۱/۶۰۱		۱۴SE.FA.	
۱/۵۴۸	۱/۷۸۹	۱/۴۴۲		۱۵SE.FA.	

ادامه جدول ۲. نتایج اندازه گیری انعکاس بر روی قطعات شبه ویترینیت و کیتینوزوا در سازند سیاهو و سرچاهان در برش های سطحی

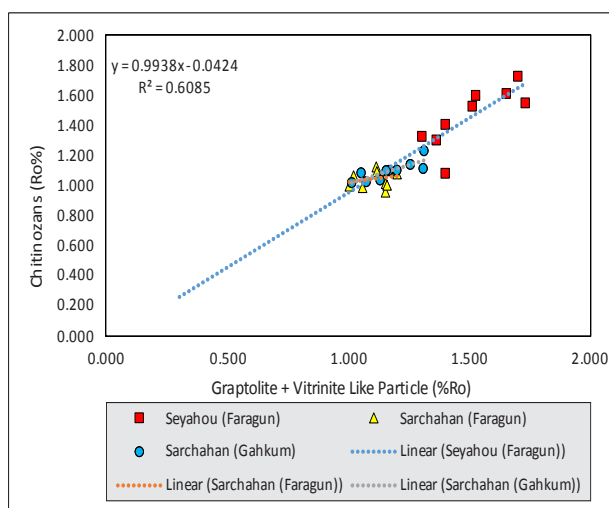
۰/۹۸۷	۱/۱۸۲	۰/۹۳۴	سرچاهان	۱۷SA.FA.	فراقون	
۱/۱۲۴	۱/۱۴۳	۱/۰۵۸		۱۸SA.FA.		
۱/۰۹۸	۱/۲۷۷	۱/۰۳۴		۱۹SA.FA.		
۱/۰۷۸	۱/۳۱۲	۱/۰۱۶		۲۱SA.FA.		
۱/۰۹۲	۱/۲۹۵	۱/۰۲۹		۲۲SA.FA.		
۱/۱۰۱	۱/۳۵۵	۱/۰۳۷		۲۳SA.FA.		
۱/۰۶۵	۱/۰۳۵	۱/۰۰۵		۲۵SA.FA.		
۱/۰۱۴	۱/۲۸۰	۰/۹۵۸		۲۷SA.FA.		
۰/۹۵۷	۱/۴۵۱	۰/۹۰۷		۲۸SA.FA.		
۱/۰۰۲	۱/۳۴۶	۰/۹۴۸		۲۹SA.FA.		
۰/۹۹۷	۱/۰۶۰	۰/۹۴۳		۳۰SA.FA.		
۱/۰۹۹	۱/۳۴۴	۱/۰۳۵		۳۱SA.GA.		کهگم
۱/۲۳۰	۱/۳۵۹	۱/۱۵۴		۳۲SA.GA.		
۱/۰۹۸	۱/۲۷۷	۱/۰۳۴		۳۳SA.GA.		
۱/۱۰۲	۱/۳۲۹	۱/۰۳۸		۳۵SA.GA.		
۱/۰۱۸	۱/۰۵۰	۰/۹۶۲		۳۶SA.GA.		
۱/۰۳۶	۱/۲۹۴	۰/۹۷۸		۳۷SA.GA.		
۱/۰۲۵	۱/۲۲۰	۰/۹۶۹		۳۸SA.GA.		
۱/۱۱۳	۱/۴۴۴	۱/۰۴۸		۴۰SA.GA.		
۱/۱۴۰	۱/۴۸۹	۱/۰۷۲	۴۱SA.GA.			
۱/۰۸۴	۱/۰۷۱	۱/۰۲۲	۴۲SA.GA.			



شکل ۷. نمودار تغییرات انعکاس حداقل گراپتولیت در مقابل انعکاس حداقل قطعات شبه ویترینیتی در سازند های سیاهو و سرچاهان.



شکل ۸. نمودار تغییرات انعکاس حداکثر گراپتولیت در مقابل انعکاس حداکثر قطعات شبه ویترینیتی در سازند های سیاھو و سرچاھان.



شکل ۹. نمودار تغییرات انعکاس کیتینوزوا در مقابل انعکاس گراپتولیت و قطعات شبه ویترینیتی در سازند های سیاھو و سرچاھان.

جدول ۳. مقادیر انعکاس گراپتولیت ها و کیتینوزواها همراه با میزان انعکاس ویترینیت هم ارز در نمونه های سازند سیاھو

برش	نمونه	گراپتولیت	انعکاس ویترینیت معادل	کیتینوزوا	انعکاس ویترینیت معادل
فراقون	۱SE.FA.	۱/۳۶	۱/۲۹	۱/۳۰	۱/۱۷
	۳SE.FA.	۱/۴۰	۱/۳۲	۱/۰۸	۰/۹۷
	۵SE.FA.	۱/۶۰	۱/۵۶	۱/۶۱	۱/۴۴
	۶SE.FA.	۱/۵۳	۱/۴۴	۱/۶۰	۱/۴۳
	۹SE.FA.	۱/۳۰	۱/۲۳	۱/۳۳	۱/۱۹
	۱۰SE.FA.	۱/۵۱	۱/۴۳	۱/۵۳	۱/۳۷
	۱۲SE.FA.	۱/۴۰	۱/۳۲	۱/۴۰	۱/۲۶
	۱۴SE.FA.	۱/۷۰	۱/۶۰	۱/۷۲	۱/۵۴
	۱۵SE.FA.	۱/۷۳	۱/۶۳	۱/۵۵	۱/۳۹

جدول ۴. مقادیر انعکاس گراپتولیت‌ها و کیتینوزواها همراه با میزان انعکاس ویتربینیت هم ارز در نمونه های سازند سرچاهان

برش	نمونه	گراپتولیت	انعکاس ویتربینیت معادل	کیتینوزوا	انعکاس ویتربینیت معادل
فراقون	۱۷SA.FA.	۱/۰۶	۱/۰۰	۰/۹۹	۰/۸۹
	۱۸SA.FA.	۱/۱۲	۱/۰۶	۱/۱۲	۱/۰۱
	۱۹SA.FA.	۱/۱۶	۱/۱۰	۱/۱۰	۰/۹۹
	۲۱SA.FA.	۱/۲۰	۱/۱۴	۱/۰۸	۰/۹۷
	۲۲SA.FA.	۱/۱۲	۱/۰۶	۱/۰۹	۰/۹۸
	۲۳SA.FA.	۱/۱۷	۱/۱۱	۱/۱۰	۰/۹۹
	۲۵SA.FA.	۱/۰۲	۰/۹۷	۱/۰۷	۰/۹۶
	۲۷SA.FA.	۱/۱۵	۱/۰۹	۱/۰۱	۰/۹۱
	۲۸SA.FA.	۱/۱۵	۱/۰۹	۰/۹۶	۰/۸۶
	۲۹SA.FA.	۱/۱۶	۱/۱۰	۱/۰۰	۰/۹۰
	۳۰SA.FA.	۱/۰۰	۰/۹۵	۱/۰۰	۰/۹۰
	۳۱SA.GA.	۱/۱۷	۱/۱۱	۱/۱۰	۰/۹۹
۳۲SA.GA.	۱/۳۱	۱/۲۴	۱/۲۳	۱/۱۰	
۳۳SA.GA.	۱/۱۶	۱/۱۰	۱/۱۰	۰/۹۹	
۳۵SA.GA.	۱/۲۰	۱/۱۴	۱/۱۰	۰/۹۹	
۳۶SA.GA.	۱/۰۱	۰/۹۶	۱/۰۲	۰/۹۲	
۳۷SA.GA.	۱/۱۳	۱/۰۷	۱/۰۴	۰/۹۳	
۳۸SA.GA.	۱/۰۷	۱/۰۲	۱/۰۳	۰/۹۲	
۴۰SA.GA.	۱/۳۱	۱/۲۴	۱/۱۱	۱/۰۰	
۴۱SA.GA.	۱/۲۶	۱/۱۹	۱/۱۴	۱/۰۲	
۴۲SA.GA.	۱/۰۵	۱/۰۰	۱/۰۸	۰/۹۷	

نتیجه گیری

تعیین بلوغ حرارتی سنگ‌های منشا از اساسی ترین بخش‌های مطالعه و ارزیابی سیستم‌های هیدروکربنی در حوضه‌های رسوبی مستعد می باشد. به دلیل فقدان ماسرال‌های گروه ویتربینیتی، تعیین میزان انعکاس قطعات جانوری معتبرترین روش جهت ارزیابی میزان بلوغ حرارتی لایه‌های رسوبی پالئوزوئیک زیرین می باشد. سازندهای سیاهو و سرچاهان با دارا بودن خصوصیات زمین‌شیمیایی مناسب سنگ منشایی می‌توانند به عنوان سنگ منشا احتمالی منابع هیدروکربنی موجود در مخازن هیدروکربنی خلیج فارس در نظر گرفته شوند. بنابراین در این مطالعه به منظور تعیین میزان پختگی مواد آلی در این دو سازند، از انعکاس قطعات جانوری استفاده گردید، که براین اساس، سازند سیاهو در برش فراقون با مقادیر $Ro\%$

بالاتر از ۱/۲ در محدوده پنجره گاززایی و سازند سرچاهان در برش های فراقون و کهگم با میزان $Ro\%$ برابر ۱ تا ۱/۲ در محدوده بلوغ اواخر پنجره نفت زایی و ابتدای پنجره گاززایی قرار می‌گیرند. همچنین مقایسه انعکاس قطعات جانوری گراپتولیت در نمونه‌های سازندهای سیاهو و سرچاهان با انعکاس کیتینوزوا نشان‌دهنده مطابق بودن میزان انعکاس در این دو گروه قطعات جانوری می‌باشند. میزان ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۴۵ نشان‌دهنده روند یکسان تغییرات بلوغ در قطعات گراپتولیتی و کیتینوزواهای نمونه‌های دو سازند مورد مطالعه است. از طرفی نیز انطباق انعکاس قطعات شبه ویتربینیتی با گراپتولیت‌ها حاکی از منشا گرفتن این قطعات از گراپتولیت‌ها و منشا یکسان آن‌ها می‌باشد.

منابع:

- علیزاده. ب.، جنت مکان. ن.، قلاوند. ه.، غیباشوی. ع.، ۱۳۹۲، زمین شیمی و چینه نگاری سکاسی سازند پابده در میدان نفتی منصور، جنوب غرب ایران. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۵، ص ۲۷-۴۰.
- دبستانی. ن.، حسن نژاد. ن.، معماریانی. م.، مصدق. ح.، ۱۳۹۴، مقایسه داده‌های زمین‌شیمیایی آلی سازند مبارک (البرز شرقی) در برش‌های تویه رودبار، لب نثار و میغان. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۷، ص ۳۷-۴۷.
- فخاری، م.، شهریاری، س.، ۱۳۷۴، نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ بندرعباس، سازمان زمین شناسی
- Alpern. B., 1980, Petrographie du Kerogene. In: Kerogene, Insoluble Organic Matter from Sedimentary Rocks. B. Durand (Ed.). Technip Editions, Paris, France, p: 339-384.
- Bertrand. R., 1990, Correlations among the reflectances of vitrinite, Chitinozoans, graptolites and Scolecodonts. *Organic Geochemistry*, Vol: 15, No: 6, p: 565-574.
- Bertrand. R., and Heroux. Y., 1987, Chitinozoan, graptolite, and scolecodont reflectance as an alternative to vitrinite and pyrobitumen reflectance in Ordovician and Silurian strata, Anticosti Island, Quebec, Canada. *American Association of Petroleum Geology Bulletin*, Vol: 71, No: 8, p: 951-957.
- Brooks. J., Fleet. A.J., 1986, Marine petroleum source rocks, Geological Society Special Publication, Blackwell, Oxford, 444 p.
- Cole. G.A., 1994, Graptolite-chitinozoan reflectance and its relationship to other geochemical maturity indicators in the Silurian Qusaiba Shale, Saudi Arabia. *Energy & fuels*, Vol: 8 No: 6, p: 1443-1459.
- Epstein. A.G., Epstein, J.B., Harris. L.D., 1977, Conodont color alteration; an index to organic metamorphism. United State Government Survey Print Offset, No: 995, p:1-27
- Goodarzi, F., Norford, B.S., 1985, Graptolites as indicators of the temperature histories of rocks. *Journal of the Geological Society*, Vol: 142, No: 6, p: 1089-1099.
- Goodarzi. F., 1985, Reflected light microscopy of Chitinozoan fragments. *Marine and petroleum geology*, Vol: 2 No: 1, p: 72-78.
- Goodarzi. F., Fowler. M.G., Bustin. M., McKirdy, D.M., 1992, Thermal maturity of Early Paleozoic sediments as determined by the optical properties of marine-derived organic matter—A Review. In: *Early Organic Evolution* Springer Berlin Heidelberg, p: 279-295.
- Goodarzi. F., Gentzis. T., Harrison. C., Thorsteinsson. R., 1992, the significance of graptolite reflectance in regional thermal maturity studies, Queen Elizabeth Islands, Arctic Canada. *Organic geochemistry*, Vol: 18, No: 3, p: 347-357.
- Goodarzi. F., Norford, B.S., 1989, Variation of graptolite reflectance with depth of burial. *International journal of coal geology*, Vol: 11 No: 2, p: 127-141.
- Grahn, Y., Nolvak, J., 2007, Ordovician Chitinozoa and biostratigraphy from Skåne and Bornholm, southernmost Scandinavia—an overview and update. *Bulletin of Geosciences*, Vol: 82 No: 1, p: 11-26.
- Gutjahr, C.C.M., 1966, Carbonization measurements of pollen-grains and spores and their application. *Leidse Geologische Mededelingen*, Vol: 38, No: 1, p: 1-29.
- Hallam, A., 1981. Facies interpretation and the stratigraphic record, Freeman, Oxford, 367 p.
- Houseknecht, D.W., Hathon, L.A. McGilvery, T.A., 1992, Thermal maturity of Paleozoic strata in the Arkoma Basin. *Source Rocks in the Southern Midcontinent*, Oklahoma Geological Survey, Circular, 93, p: 122-132.
- Huc, A.-Y., 1995, Paleogeography, Paleoclimate, and Source Rocks. *American Association of Petroleum Geologists*, Series no: 40, pp: 347
- Jarvie. D.M., 2012. Shale resource systems for oil and gas: Part 2, Shale-oil resource systems, p: 89-119
- Legall. F.D., Barnes. C.R. Macqueen. R.W., 1981, Thermal maturation, burial history and hotspot development, Paleozoic strata of southern Ontario-Quebec, from Conodont and Acritarch colour alteration studies. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, Vol: 29 No: 4, p: 492-539.
- Littke. R., 2006, Deposition, diagenesis and weathering of organic matter-rich sediments, *Lecture Notes in Earth Sciences*, Vol: 47. Springer-Verlag, Berlin
- Luning. S., Loydell. D.K., Sutcliffe. O., Salem. A.A., Zanella. E., Craig. J. Harper. D.A.T., 2000, Silurian--Lower Devonian Black Shales in Morocco: Which are the Organically Richest Horizons, *Journal of Petroleum Geology*, Vol: 23, No: 3, p: 293-311.
- Malinconico. M.A.L., 1992, Graptolite reflectance in the prehnite-pumpellyite zone of Northern Maine, USA. *Organic geochemistry*, Vol: 18 No: 3, p: 263-271.
- Malinconico. M.A.L., 1993, Reflectance cross-plot analysis of graptolites from the anchi-metamorphic region of northern Maine, USA. *Organic geochemistry*, Vol: 20 No: 2, p: 197-207.
- Murchison. D.G., Cook. A.C., Raymond. A.C., Durand. B., McKenzie. D.P. Sellwood. B., 1985, Optical Properties of Organic Matter in Relation to Thermal Gradients and Structural Deformation, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, p:157-186.

- Petersen, H.I., Schovsbo, N.H., Nielsen. A.T., 2013, Reflectance measurements of zooclasts and solid bitumen in Lower Paleozoic shales, southern Scandinavia: correlation to vitrinite reflectance. *International Journal of Coal Geology*, No: 114, p:1-18.
- Pool. W., Geluk. M., Abels. J., Tiley. G., Idiz. E., Leenaarts. E., 2012, Assessment of an unusual European shale gas play: the Cambro-Ordovician alum shale, southern Sweden. In *SPE/EAGE European Unconventional Resources Conference & Exhibition-From Potential to Production*.
- Rantitsch. G., 1995, Coalification and graphitization of graptolites in the anchizone and lower epizone. *International journal of coal geology*, Vol: 27 No: 1, p: 1-22.
- Staplin. F. L., 1982, Introduction to How to assess maturation and paleotemperatures. In: *How to Assess Maturation and Paleotemperatures Sot. Econ. Paleo. And Miner, Short course 7*, p: 1-6.
- Suárez-Ruiz. I., Flores. D., Mendonça Filho. J.G., Hackley. P.C., 2012, Review and update of the applications of organic petrology: Part 1, geological applications. *International Journal of Coal Geology*, No: 99, p:54-112.
- Suchý. V., Sýkorová. I., Stejskal. M., Šafanda. J., Machovič. V., Novotná. M., 2002, Dispersed organic matter from Silurian shales of the Barrandian Basin, Czech Republic: optical properties, chemical composition and thermal maturity. *International journal of coal geology*, Vol: 53 No: 1, p: 1-25.
- Taylor. G.H., Teichmuller. M., Davis. A., Diessel. C.F.K., Littke. R. Robert. P., 1998, *Organic petrology: A new handbook incorporating some revised parts of Stach's Textbook of Coal Petrology*: Berlin. Germany, Gebruder Borntraeger.
- Varol. Ö.N., Demirel. I.H., Rickards. R.B., Günay. Y., 2006, Source rock characteristics and biostratigraphy of the Lower Silurian (Telychian) organic-rich shales at Akyaka, central Taurus region, Turkey. *Marine and petroleum geology*, Vol: 23, No: 9, p: 901-911.
- Wang. H.D., Philp. R.P., 1997, Geochemical study of potential source rocks and crude oils in the Anadarko Basin, Oklahoma. *American Association of Petroleum Geology Bulletin*, Vol: 81 No: 2, p: 249-275
- Wignall. P.B., 1994, *Black shales*, Vol: 30, p: 144. Oxford: Clarendon Press.
- Xiao. X.M., Wilkins, R.W.T., Dehan, L., Zufa, L. and Jiamu, F., 2000. Investigation of thermal maturity of lower Palaeozoic hydrocarbon source rocks by means of vitrinite-like maceral reflectance—a Tarim Basin case study. *Organic Geochemistry*, Vol: 31, No: 10, p: 1041-1052.