

بررسی شرایط محیط و خصوصیات ژئوشیمیایی سازند کژدمی

در میدان نفتی سروش بر اساس شواهد پالینولوژیکی و پیرولیز راک-اول

زینب رضایی، دانشجوی دکتری چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران*

ابراهیم قاسمی‌نژاد، استاد دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه تهران

الهام حاجی‌کاظمی، دکتری رسوب‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی، شرکت نفت فلات قاره ایران

سید جمال شیخ‌ذکریایی، استادیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

در طی این مطالعه سعی شده است با بررسی شواهد فسیلی، رخساره‌های پالینولوژیکی و پیرولیز راک-اول تغییرات شرایط محیطی و خصوصیات ژئوشیمیایی سازند کژدمی در میدان نفتی سروش تعیین گردد. برای این منظور ۱۲۴ نمونه مربوط به ۱۴۷ متر مغزه برای مطالعات پالینولوژی و پالینوفاسیس آماده‌سازی و مطالعه گردید. براین اساس چهار رخساره پالینولوژیکی (پالینوفاسیس‌های I, II, VI, IX) که شاخص محیط‌های نزدیک به ساحل هستند، تفکیک گردید. اغلب جنس و گونه‌های شناسایی شده دارای بازه زمانی طولانی هستند، با توجه به مطالعات صورت گرفته در سایر نقاط جهان و تطابق آنها با اطلاعات به دست آمده از نمونه‌های بررسی شده در این مطالعه و ثبت میکروفسیل‌های شاخص، سن سازند کژدمی در چاه SR-X آلبین در نظر گرفته شده است. همچنین با تعیین فاکتورهای مختلف فسیل‌شناسی از قبیل نسبت‌های عناصر اصلی مواد آلی و پالینوفاسیس مربوط به هر نمونه و با تلفیق داده‌های به دست آمده، پنج سکانس رسوبی درجه سوم با مرزهای سکانشی نوع دوم تعیین گردید. علاوه براین نتایج حاصل از مطالعات پیرولیز راک-اول نشان داد که این سازند در میدان نفتی سروش از نظر پتانسیل تولید مناسب است و قادر به تولید هیدروکربن با کیفیت تجاری است. کروژن سازند کژدمی در میدان مذکور عمدتاً نوع III که توانایی تولید گاز را دارد. توزیع اطلاعات بر روی نمودارهای مربوطه محدودهای متغیر را برای سازند کژدمی مشخص می‌کند که نشان از پستی و پستی در طی انباشت این سازند است که حاکی از تغییر شرایط محیطی و شرایط نسبتاً اکسیدان در زمان نهشته شدن این سازند است. این نتایج به وسیله نمودار TOC در برابر S_2 (به منظور تعیین نوع کروژن) که نشان‌دهنده ترکیب مواد آلی با منشأ دریایی-خشکی (کروژن II/III) است، تأیید می‌شود که نتایج به دست آمده از مطالعات پالینولوژیکی نمونه‌ها را تأیید می‌نماید.

کلید واژه‌ها: پالینوفاسیس، شواهد پالینولوژیکی، سازند کژدمی، پیرولیز راک-اول

مقدمه

پارامترهای فسیل‌شناسی و سنگ‌شناسی متفاوتی برای تعیین تغییرات سطح نسبی آب دریا و محیط رسوبی به کار گرفته می‌شوند. یکی از جدیدترین روش‌ها استفاده از عناصر پالینولوژیکی از جمله پارامترهای درجه تخریب زیستی خورده‌های پالینومورف، اندازه جورشدگی و گردشدگی فیتوکلاست‌های هم‌بعد (Gorin and Steffen 1990)، مقدار نسبی فیتوکلاست‌ها، مقدار خورده‌های تازه و شفاف در بین فیتوکلاست‌ها (نسبت فیتوکلاست‌های اپیک و نیمه اپیک به روشن)، نسبت پالینومورف‌های دریایی به خشکی، نسبت مورفوتایپ‌ها (proximate, cavate, Proximochorate) (chorate/ (Ghasemi-Nejad et al. 1999) است که در این مطالعه مد نظر قرار گرفته است. در این مطالعه استفاده از پارامترهای پالینولوژیکی و آنالیزهای ژئوشیمیایی راک-اول به منظور ارزیابی پتانسیل هیدروکربورزایی، شرایط محیط رسوبی و چگونگی انطباق نوع هیدروکربور احتمالی نیز مورد توجه قرار گرفته است.

زمین‌شناسی منطقه

کردی (۱۳۸۰) با استفاده از روش‌های پتروفیزیکی، مطالعات زمین‌شناسی زیرزمینی، تفسیر و تطابق بین نمودارهای چاه‌پیمایی، ترسیم نقشه‌های مختلف زیرزمینی، تهیه برش‌های چینه‌ای زیرزمینی در جهات مختلف، مطالعات پتروگرافی و تعیین کانی‌های رسی مشخص می‌کند که زبانه‌های ماسه‌ای سازند کژدمی در یک دلتای تحت نفوذ رودخانه تشکیل شده و جهت جریان‌های قدیمه و حمل و نقل مواد از سمت عربستان بوده است حوضه قدیمه در برگیرنده تمام زاگرس، خلیج فارس، عراق، کویت، عمان، بحرین و قسمت اعظم حجاز بوده است. مرکز عمیق آن در لرستان و مشرق عراق قرار داشته و به سمت جنوب غرب حجاز کم عمق

می‌شده است. این حوضه بخشی از حوضه رسوبی نئوتتیس پدید آمده در زمان پرمین پسین و به صورت یک رمپ بوده است در اثر فرسایش سپر عربستان، رسوبات تخریبی به صورت زبانه‌های دلتایی وارد حوضه شده‌اند که بخش‌های ماسه‌سنگی سازند کژدمی ادامه همان زبانه‌ها هستند و به صورت بین انگشتی به رسوبات شیلی و آهکی تبدیل می‌شوند.

آب و هوای صفحه عربی در زمان انباش سازند کژدمی در موقعیت استوایی با آب و هوای گرم بوده است (Al farez et al. 1998b) حاشیه غیرفعال تتیس جدید به طور گسترده‌ای در شمال، شمال شرق و جنوب هنوز وجود داشته و به علت بازشدگی جنوب اطلس، در جنوب غرب بالآمدگی هیتزلند اتفاق افتاده که موجب هجوم تخریبی‌ها و تشکیل سیستم دلتایی کژدمی (معادل بورگان) شده است (Al farez et al. 1998b) در نواحی جنوبی صفحه عربی رسوبات تراز بالای سکانس آلبین بیشتر از تخریبی‌های پیشرونده تشکیل شده است. در نواحی آهک‌های دیر سطح بیشترین پیشروی در بین رخساره‌های شیلی حاوی تخریبی سازند کژدمی به عنوان مارکر معرفی می‌شود. این سکانس در محیط پلاژیک و همی پلاژیک نهشته شده است. تغییرات جانبی کژدمی زیاد است. گاهی با سازند گرو جانشین می‌شود گاه آهکی شده و یا به صورت زبانه در داخل سازند داریان است و گاهی نیز با سازندهای بورگان و نهر عمر از کویت و جنوب عراق تداخل زبانه‌ای دارد (مطیعی ۱۳۸۲).

تاریخچه و موقعیت میدان سروش

میدان نفتی سروش، در سال ۱۹۶۲ میلادی کشف شد. مساحت تقریبی این میدان حدود ۲۶۰ کیلومتر مربع است و در فاصله ۸۳ کیلومتری جنوب غربی جزیره خارک قرار دارد. نفت تولیدی از میدان سروش از نوع نفت شیرین و سنگین با

روش های تحقیق

آماده سازی پالینولوژیکی

به منظور تهیه اسلایدهای پالینولوژیکی تعداد ۱۲۴ نمونه از مغزه برای مطالعات پالینولوژی و پالینوفاسیس به روش (Traverse 2007) آماده سازی و مطالعه گردید. روش کار بدین صورت است که پس از شستشو و خرد کردن نمونه ها برای از بین بردن ترکیبات کربناته به مدت ۲۴ ساعت در HCl ۳۰٪ و جهت حذف ترکیبات سیلیکاته به مدت ۲۴ ساعت در HF ۳۳٪ قرار داده شدند. برای جلوگیری از تشکیل ژل سیلیکاته نمونه ها به مدت ۲۰ دقیقه با HCl ۱۰٪ جوشانده شدند. برای جدا کردن پالینومورف ها از کانی های سنگین و سایر مواد زائد (براساس وزن مخصوص آنها) از محلول کلرور روی استفاده شد. پس از عبور نمونه ها از الک ۲۰ میکرون، از مواد باقی مانده بر روی الک ها اسلایدهای پالینولوژیکی تهیه گردید. به منظور مطالعه آماری عناصر موجود در اسلایدهای پالینولوژیکی تعداد ۳۰۰ ذره برای هر نمونه شمارش گردید در نمونه هایی که از نظر محتوای ارگانیکی فقیر بودند چندین اسلاید شمارش شد تا تعداد ذرات به ۳۰۰ ذره برسد و جدول و نمودارهای مربوطه ترسیم گردید.

پیرولیز

روش پیرولیز حرارت دادن ماده آلی در غیاب اکسیژن برای تولید و آزاد شدن هیدروکربن از مواد آلی و تعیین پتانسیل هیدروکربن زایی باقی مانده مواد آلی موجود در سنگ است که در آزمایشگاه در درجه حرارت بالا و مدت زمان کوتاه انجام می شود. دستگاه پیرولیز راک اول (Rock-Eval pyrolysis) امروزه به طور گسترده در اکتشاف نفت مورد استفاده قرار می گیرد و برای اولین بار توسط انستیتو نفت فرانسه (IER) معرفی گردید (Espitalie et al. 1984). در این روش، کوره به مدت ۳ دقیقه در دمای ۳۰۰ درجه سانتی گراد ثابت نگه داشته

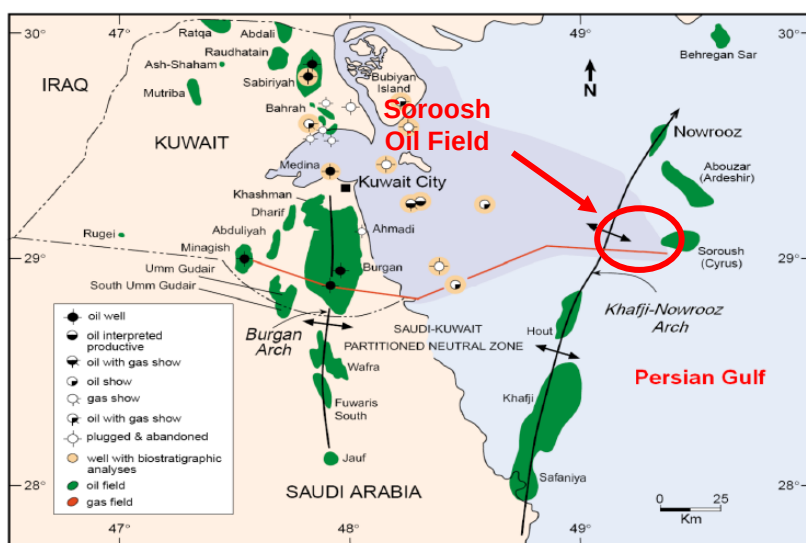
درجه ۲۲-۲۰ ADI است. از نظر موقعیت جغرافیایی، سازند کژدمی در یکی از میادین نفتی دریایی خلیج فارس و در محدوده عرض های ۲۰ تا ۳۰ درجه شمالی و طول های ۴۹ تا ۵۰ درجه مطالعه شده است (شکل ۱). به دلیل محرمانه بودن اطلاعات توسط شرکت نفت فلات قاره، ارائه نام چاه و موقعیت دقیق آن مقدور نیست. شکل میدان به صورت بیضوی و تقریباً دارای امتداد شمال غرب - جنوب شرق است (Internal Report of Iranian Offshore Oil Company 2012).

سازند کژدمی

سازند کژدمی در میدان نفتی سروش، یک سازند ماسه سنگی شیلی است که در سامانه دلتایی بر جای گذاشته شده که به سه زون مخزنی A، B، C تقسیم شده است (گزارشات تکمیلی چاه های میدان مورد مطالعه، شرکت ملی نفت ایران ۱۳۸۲). سازند کژدمی در چاه مذکور (SR-X)، با ۱۴۷ متر ضخامت (ضخامت کژدمی A، ۵۹،۵ متر و ضخامت کژدمی B، ۸۷،۵ متر) و لیتولوژی ماسه سنگ (ماسه) با میان لایه هایی از شیل های دریایی سیاه و سیلتستون با مرز ناپیوسته روی سازند داریان (شعبی) قرار می گیرد و توسط سازند سروک (مدود) به طور تدریجی پوشیده می شود (Motiei 1993; Alshahrhan and Narin 1997). لیتولوژی سازند کژدمی عمدتاً از ماسه سنگ یا ماسه (کوارتزآرنایت) تشکیل شده است. ماسه سنگ های کوارتزی دارای جورشدگی خوب، متخلخل با بین لایه های سیلتستون و شیل های سیاه رنگ است. ساخت های رسوبی لامیناسیون موازی و مورب در این رخساره ها متداول است. تناوب ماسه ها و شیل ها چرخه هایی از ماسه و شیل های دریایی را نشان می دهد. شیل های دریایی به طور جانبی گسترش زیادی دارند و نشان دهنده تغییرات زیاد سطح آب دریا هستند.

توسط آشکارگر شعله یونی تحت عنوان پیک S_2 اندازه‌گیری می‌شوند. پیرولیز راک اول اطلاعات مفیدی را در مورد نوع ماده آلی، پتانسیل باقیمانده نمونه، کل کربن آلی (TOC) و تحول حرارتی ماده آلی می‌دهد. نمونه مورد مطالعه می‌تواند به صورت خرده حفاری (Cutting)، مغزه (Core) و یا نمونه‌های سطحی باشد.

می‌شود و هیدروکربن‌های آزاد، بخار شده و با عنوان پیک S_1 اندازه‌گیری و توسط آشکارگر شعله یونی (FID) آشکار می‌شوند. سپس دما با نسبت ۲۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه افزایش پیدا کرده و از ۳۰۰ به ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. این مرحله سبب خروج هیدروکربن‌های خیلی سنگین ($>C_{40}$) و کراکینگ مواد آلی غیرقابل استخراج می‌گردد. هیدروکربن‌های آزاد شده در این مرحله از افزایش حرارت،



شکل ۱- موقعیت میدان نفتی سروش در خلیج فارس

sp., *Ephedripites* *sp.*, *Gleichenioidites senonicus*, *Retitricolpites* *sp.*, *Tricolpites* *sp.*

گونه *Florentinia berran* در رسوبات شمال غرب

صحرای افریقا توسط EI Beidly and Geol, (1994); EI

Beidly (1995) و El Beidly (1993) مورد مطالعه قرار گرفته

و شاخص Albian در نظر گرفته شده است. همچنین سن این

گونه در حوضه اتوای استرالیا آلبین تعیین شده است (Below

1982). گونه‌های *Oligosphaeridium* *sp.*, *Subtilisphaera*

senegalensis در نهشته‌های غرب مصر، توسط Omran et al

(1990); Schrak and Ibrahim 1995; EI Beidly and AI

Hitmi (1994) و Ibrahim et al. (2002) مورد مطالعه قرار

گرفته و شاخص Albian در نظر گرفته شده است. گونه

Coronifera oconica در رسوبات ایالات متحده و لیبی به

پالینواستراتیگرافی

با مطالعه اسلایدهای پالینولوژی تهیه شده از سازند کژدمی در میدان نفتی سروش (شمال غرب خلیج فارس) چاه SR-X در کل تعداد ۴۱ گونه متعلق به ۷۸ جنس اسپور و پولن و تعداد ۲۸ گونه متعلق به ۵۱ جنس داینوفلاژله، شناسایی گردید که نشان‌دهنده تنوع این سازند از پالینومرف‌ها است. فرم‌های شاخص پالینومرف‌های دریایی و خشکی در Plate 1 نشان داده شده است، بیشترین تنوع و فراوانی پالینومرف‌ها مربوط به بخش‌های ابتدایی و انتهایی سازند است.

فرم‌های شاخص پالینومرف‌ها عبارتند از:

Coronifera oconica, *Florentinia berran*, *Gardodinium trabeculosum*, *Oligosphaeridium* *sp.*, *Subtilisphaera senegalensis* *Araucariacites australis*, *Cicatricosisporites*

مجموعه پالینومرف‌های گزارش شده نهشته‌های کرتاسه زیرین (آلبین) شمال شرق اقیانوس اطلس، دریای سیاه، غرب آفریقا، شمال غرب صحرای آفریقا و شمال امریکاست Kotova (Walid et al. 2013) اغلب جنس و گونه‌های شناسایی شده دارای بازه زمانی طولانی هستند، با توجه به مطالعات صورت گرفته در سایر نقاط جهان و تطابق آنها با اطلاعات به دست آمده از نمونه‌های بررسی شده در این مطالعه و ثبت میکروفسیل‌های شاخص، سن سازند کژدمی در چاه SR-X آلبین در نظر گرفته شده است.

بحث

بسیاری از محققان معتقدند که فراوانی ذرات متعلق به محیط خشکی (فیتوکلاست) در طول رسوب‌گذاری نهشته‌های LST افزایش می‌یابد (Moshkoviz and Habib 1993; Steffen and Gorin 1993; Emery and Myers 1996; Pross et al. 2006). پایین‌ترین بخش نهشته‌های LST، بیشترین فراوانی فیتوکلاست‌ها وجود دارد (Tyson 1993). به دلیل ورود رسوبات از محیط خشکی، فراوانی نسبی پالینومورف‌های دریایی مخصوصاً داینوسیست‌ها در نهشته‌های LST کاهش می‌یابد (Carvalho et al. 2006). همچنین نسبت مورفوتایپ‌های (chorate/proximate, cavate, Proximochorate) کاهش می‌یابد (Ghasemi-Nejad et al. 1999). دسته رخساره یا سیستم تراکت تراز پایین (LST systems tract) معمولاً با فاسیس‌های پروکسیمال (محیط‌های نزدیک به ساحل) همراه است. در زمان سیستم تراکت (دسته رخساره) پیشرونده (Transgressive system tract)، بالا آمدن سریع سطح آب دریا صورت می‌گیرد که به وسیله کاهش رو به بالای میزان فیتوکلاست‌ها تعیین می‌شود (Batten 1996; Rull 2000; Obob and Jaramillo 2003). همچنین تنوع گونه‌ای و فراوانی داینوفلاژله‌ها افزایش می‌یابد (Stover 1996; Sharland et al.

ثبت رسیده و شاخص آلبین آغازی است (Williams 1998). گونه *Gardodinium trabeculosum* در رسوبات جنوب شرق فرانسه توسط Van Erve et al. (1980) مورد مطالعه قرار گرفته و شاخص آلبین آغازین در نظر گرفته شده است، همچنین Stover et al. (1996) سن این جنس را آلبین بالایی تعیین کرده است. لازم به ذکر است این جنس تاکنون در رسوبات جوانتر از آلبین گزارش نشده است (Davey and Vardier 1973).

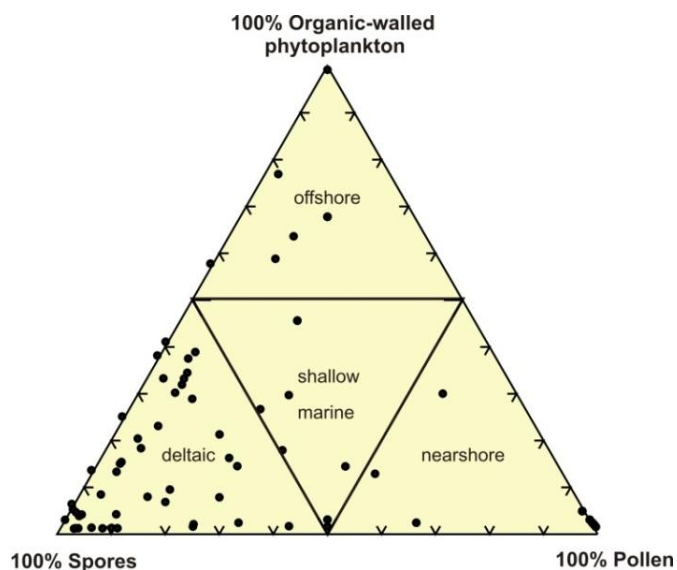
جنس *Araucariacites australis* در رسوبات شمال غرب صحرای آفریقا توسط Bassiouni et al. (1992) و El Shamma et al. (1997) مورد مطالعه قرار گرفته و سن آن، Middle Albian تعیین شده است. جنس *Cicatricosisporites* در رسوبات کشور سنگال توسط Jardine and Magloire (1965) مورد مطالعه قرار گرفته است و سن آن، آلبین آغازین تعیین شده است. گونه *Gleicheniidites senonicus* در رسوبات ساحل Ivory سنگال توسط Jardine and Magloire (1965) مورد مطالعه قرار گرفته و سن آن، آلبین - سنومانین در نظر گرفته شده است. گونه‌های *Ephedripites sp.* و *Retitricolpites sp.* در نهشته‌های برزیل ثبت شده و سن آن، آلبین است (Herngreen 1973). علاوه بر این جنس *Retitricolpites* در رسوبات آلبین آغازین تا میانی سراسر دنیا مشاهده شده است و بیشترین تنوع و فراوانی آن در نهشته‌های غرب آفریقا و جنوب امریکاست (Jardine and Magloire 1965; Herngreen 1973). اولین بار در غرب آفریقا و برزیل به سن آلبین - سنومانین مشاهده شده است (Jardine and Magloire 1965; Herngreen 1973). همچنین این جنس در رسوبات شمال آمریکا و استرالیا به سن آلبین آغازین - میانی ثبت شده است. بنابراین بیشتر فرم‌های اشاره شده دارای سن آلبین هستند.

با توجه به بررسی‌های انجام شده، مجموعه پالینومورف‌های سازند کژدمی در میدان سروش شبیه به

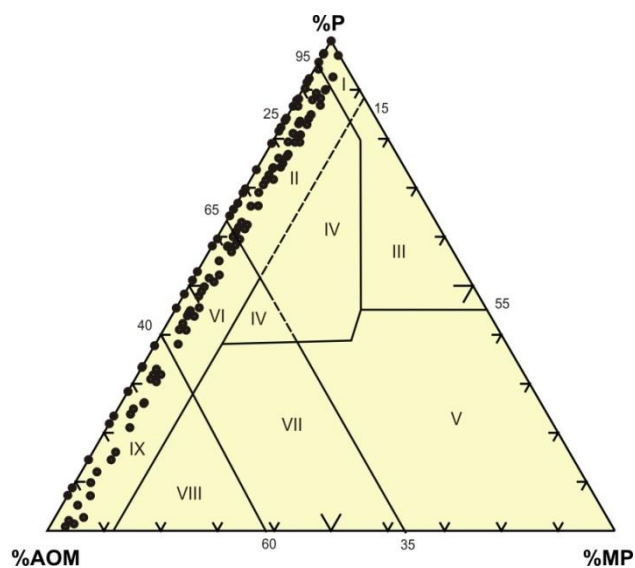
آلی موجود در اسلایدهای پالینولوژیکی شامل پالینومورف‌های دریایی (Marine Palynomorph-MP)، مواد ارگانیکی بی‌شکل (Amorphous Organic Matter-AOM) و فیتوکلاست‌ها (Phtoclasts-P) هستند. به طور کلی با توجه به درصد سه گروه مواد آلی و نسبت بین آنها، با ترسیم داده‌های حاصل بر روی دیاگرام مثلثی (Tyson 1993)، چهار رخساره پالینولوژیکی (پالینوفاسیس‌های I, II, VI, IX) که شاخص محیط‌های از Proximal shelf تا distal basin هستند، تفکیک گردید (شکل ۲ و ۴). منشأ مواد ارگانیکی بی‌شکل تیره می‌تواند هم از اجزای دریایی و هم از اجزای خشکی باشد (Bombardier and Gorin 2000). با توجه به فراوانی فیتوکلاست‌های تیره و وجود اسپور و مقادیر کم پالینومورف‌های دریایی مواد ارگانیکی بی‌شکل از منشأ خشکی در نظر گرفته شده و محیط نزدیک به منشأ پیشنهاد می‌گردد. توزیع اطلاعات بر روی دیاگرام اسپور، پولن و فیتوپلانکتون نیز نتیجه مشابهی نشان می‌دهد، وجود فیتوکلاست‌های تیره اکثراً هم بعد محیط دلتایی نیمه اکسیژن‌دار با انرژی متوسط تا زیاد همراه با جریان‌های حمل‌کننده ماسرال‌ها را نشان می‌دهد (شکل ۳ و ۵). سپس ضمام فسیلی آنها برای تشخیص و تفکیک سکانس‌ها استفاده گردیده است. بر پایه مطالعات آزمایشگاهی و توجه به پارامترهای مذکور در شناسایی سطوح اصلی سکانسی، پنج سکانس رسوبی درجه سوم (با توجه به طول دوره انباشت) با مرزهای سکانسی نوع دوم در سازند کژدمی (میدان نفتی سروش) شناسایی گردید (شکل ۵).

(2001; Proos and Schmiedl 2002; Dybkjaer 2004) میزان داینوفلاژله‌ها فراوانی متوسطی را از خود نشان می‌دهد و میزان مواد ارگانیکی بی‌شکل (AOM) افزوده شده و میزان فیتوکلاست‌ها رو به کاهش می‌روند (Carvalho et al. 2006). ضمناً نسبت مورفوتایپ‌های (Proximochorate, cavate/proximate) افزایش می‌یابد. در زمان سیستم تراکت (دسته رخساره) تراز بالا Highstand system (tract) ابتدا تنوع و فراوانی پالینومورف‌های دریایی مقادیر بالایی دارند سپس روند کاهشی را طی می‌کنند (Ghasemi-Nejad 2001). در واقع فراوانی پالینومورف‌های دریایی در HST در حد متوسط بوده، فراوانی فیتوکلاست‌ها افزایش یافته به گونه‌ای که در پایین‌ترین سطح آن کمترین میزان فیتوکلاست ثبت می‌شود (Brett 1995) و کاهش در میزان مواد ارگانیکی بی‌شکل (AOM) دیده می‌شود. در سطح حداکثر غرقابی (Maximum flooding surface) میزان سیستم داینوفلاژله‌ها، مواد ارگانیکی بی‌شکل و مجموع مواد ارگانیکی (Total Organic Carbon) به حداکثر خود رسیده و میزان فیتوکلاست‌ها به حداقل کاهش می‌یابند و عمیق‌ترین رخساره آبی درون سکانس محسوب می‌شود (Carvalho et al. 2006). مرز سکانسی (Sequence Boundary) با توجه به شواهد لیتولوژیکی قابل تفکیک بوده و با توجه به فراوانی فیتوکلاست‌ها (Helenes and Somoza 1999)، کاهش ناگهانی در فراوانی و تنوع پالینومورف‌های دریایی مخصوصاً داینوسیست‌ها (Mancini et al. 1996; Olson and Thompson 2005) و همچنین کاهش نسبت مورفوتایپ‌های (chorate/proximate, cavate, Proximochorate) مشخص می‌شود.

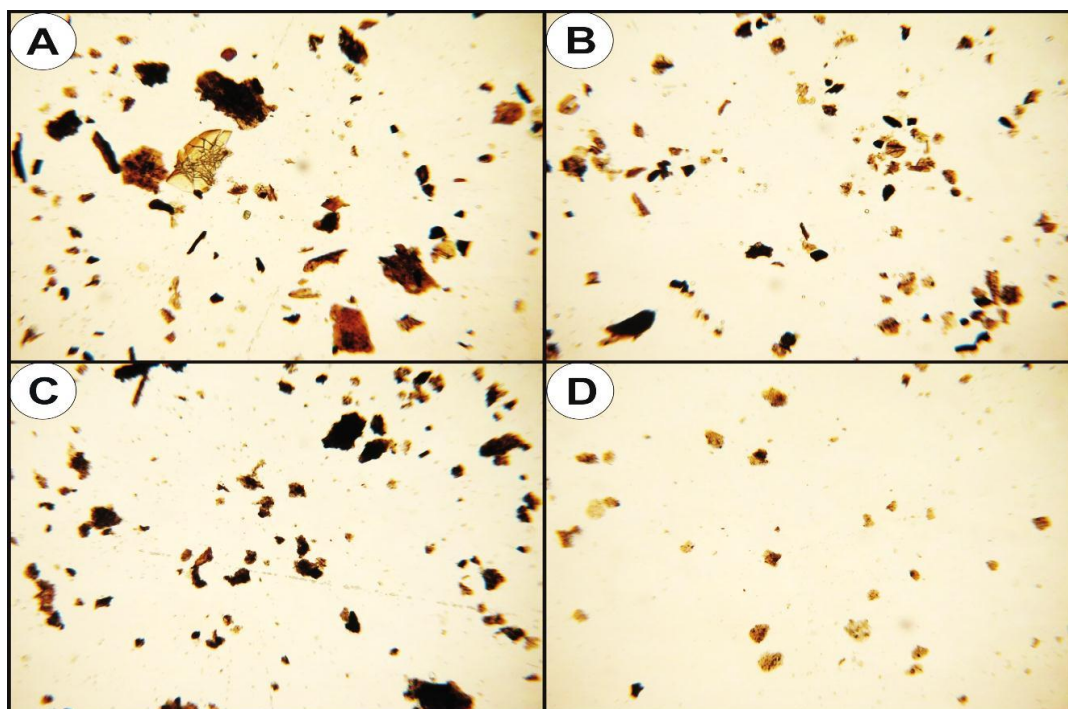
الگوی پراکندگی پالینومورف‌ها و دیگر خرده‌های ارگانیکی، در تعیین رخساره و بازسازی سکانس‌های رسوبی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Tyson 1993). سه گروه عمده مواد



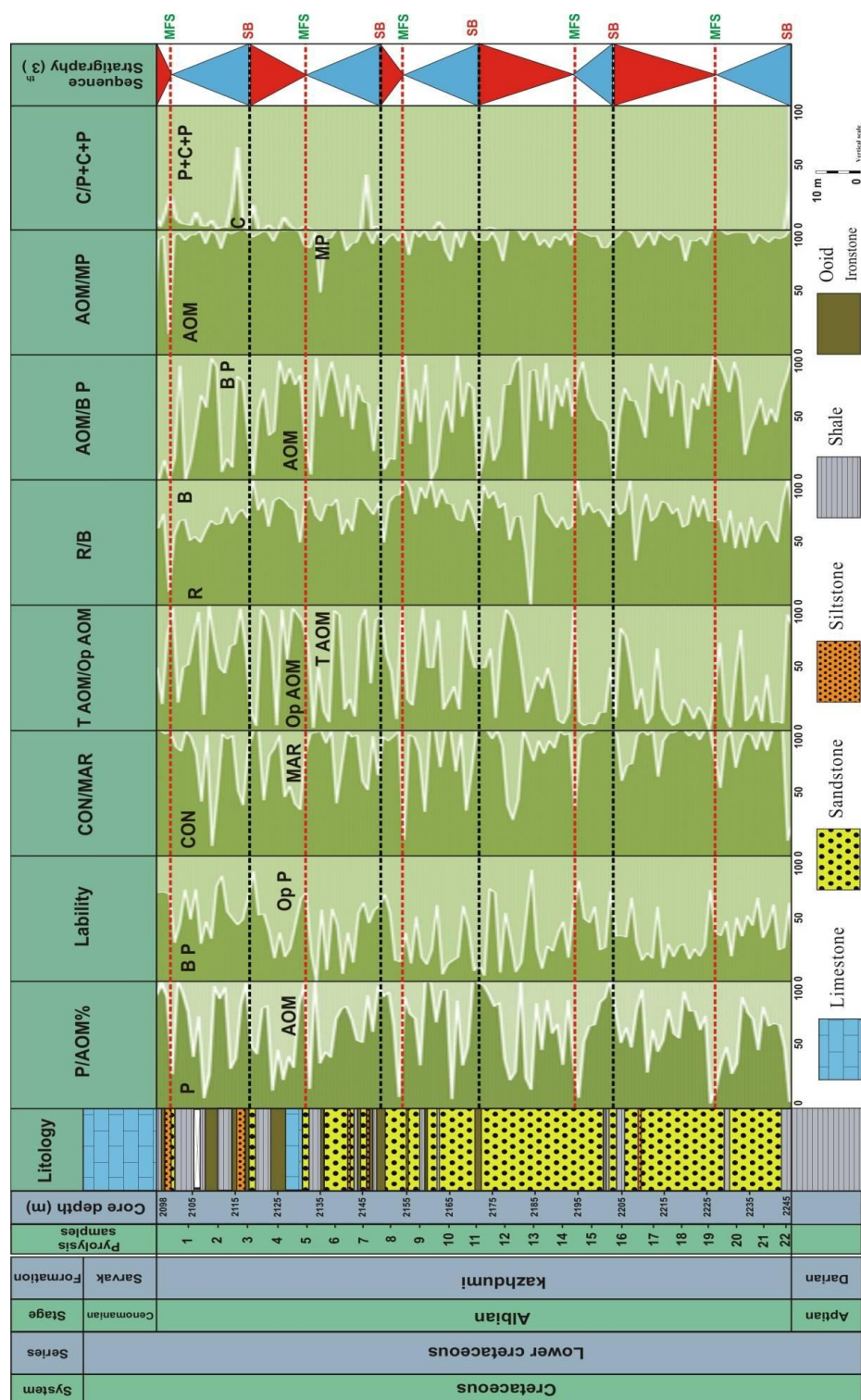
شکل ۳- دیاگرام مثلثی اسپور، پلن و فیتوپلانکتون‌ها در سازند کژدمی، چاه SR-X (میدان سروش) که نشان‌دهنده انواع پالینوفاسیس‌ها و محیط رسوبی احتمالی آنها است



شکل ۲- نمایش نمونه‌های مورد مطالعه بر روی دیاگرام مثلثی تاپسون (Tyson 1993)



شکل ۴- نمایش انواع پالینوفاسیس‌های موجود در سازند کژدمی چاه SR-31: (A) پالینوفاسیس نوع I، اسلاید 2146.50 E؛ (B) پالینوفاسیس نوع II، اسلاید 2134 B؛ (C) پالینوفاسیس نوع VI، اسلاید 2160 D؛ (D) پالینوفاسیس نوع IX، اسلاید 2110 B



شکل ۵- نسبت فیتوکلست‌ها به مواد ارگانیکی آمورف = P/AOM %، تغییرات نسبت فراوانی ماسرال‌های قهوه‌ای به اپک = Labity، نسبت قطعات قاره‌ای به دریایی = CON/MAR، نسبت AOM روشن به تیره = TAOM/OpAOM، نسبت فراوانی ماسرال‌ها بر مبنای نسبت فرم‌های هم‌بعد به فرم‌های تیغه‌ای = R/B، نسبت مواد ارگانیکی فاقد ساختمان به ماسرال‌های قهوه‌ای = AOM/BP، نسبت مواد ارگانیکی بی‌شکل به پالینومورف‌های دریایی = AOM/MP، نسبت مورفوتایپ‌های (C/PPC=(chorate/ proximate,cavate, Proximochorate)

آنالیزهای ژئوشیمیایی: به منظور شناسایی شرایط محیط رسوب‌گذاری و ارزیابی پتانسیل هیدروکربورزایی سازند کژدمی (میدان نفتی سروش) ۲۲ نمونه مغزه جمع‌آوری گردید (شکل ۵) و پس از طی مراحل آماده‌سازی و آزمایشگاهی این نمونه‌ها تحت آنالیز پیرولیز راک-اول قرار گرفتند. نتایج این آنالیز در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین روند تغییرات ژئوشیمیایی طی انباشت سازند مورد نظر در شکل ۶ نشان داده شده است.

جدول ۱- اطلاعات حاصل از پیرولیز راک-اول

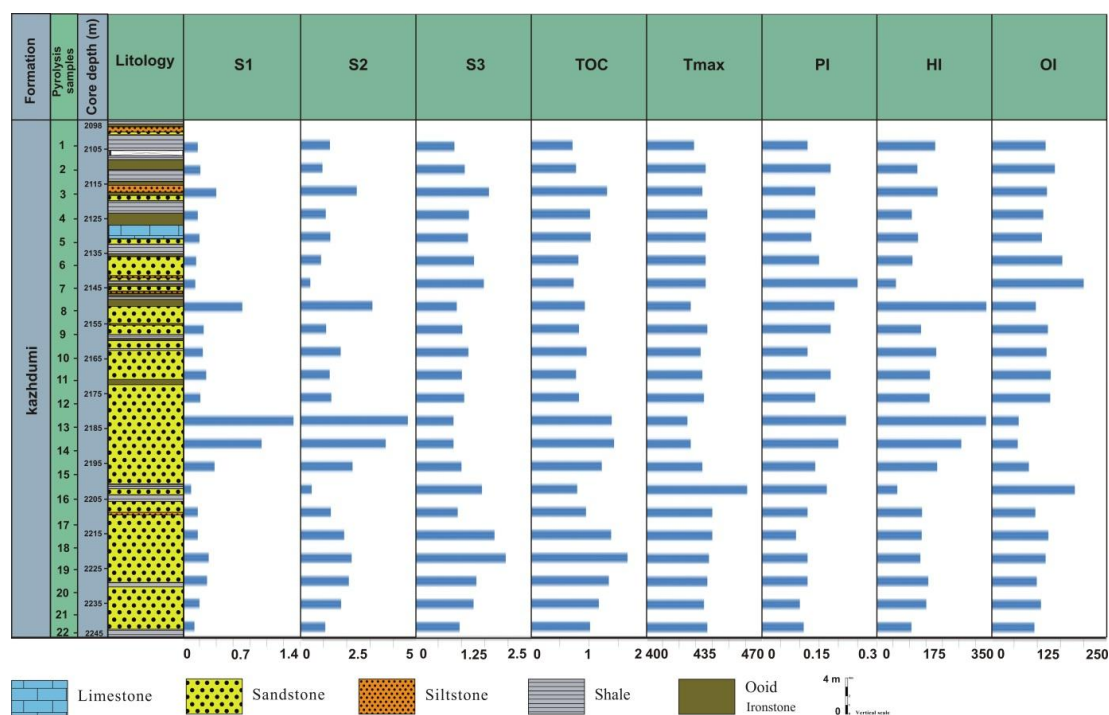
Sample NO	Depth Core (m)	S ₁	S ₂	S ₃	S ₂ /S ₃	TOC	T _{MAX}	PI	HI	OI
1	2104	0.14	1.08	0.96	1.13	1.02	437	0.11	106	94
2	2111	0.2	1.76	1.26	1.40	1.17	435	0.1	151	108
3	2118.5	0.29	2.09	1.32	1.58	1.34	437	0.12	157	99
4	2124.8	0.31	2.21	1.95	1.13	1.66	438	0.12	133	118
5	2131.7	0.18	1.89	1.71	1.11	1.38	440	0.09	137	124
6	2139	0.18	1.32	0.92	1.43	0.95	440	0.12	138	96
7	2145.1	0.1	0.5	1.44	0.35	0.8	461	0.17	63	181
8	2151.1	0.38	2.25	1	2.25	1.22	434	0.14	184	82
9	2157.8	0.94	3.67	0.83	4.42	1.43	427	0.2	257	58
10	2164.8	1.32	4.62	0.83	5.57	1.39	425	0.22	332	60
11	2172	0.21	1.34	1.06	1.26	0.83	435	0.14	161	128
12	2178	0.28	1.27	1.01	1.26	0.78	434	0.18	162	129
13	2184.4	0.24	1.74	1.15	1.51	0.96	433	0.12	181	120
14	2192.2	0.25	1.12	1.02	1.10	0.83	437	0.18	135	123
15	2198	0.71	3.1	0.9	3.44	0.93	427	0.19	333	97
16	2205.5	0.15	0.44	1.48	0.30	0.74	436	0.25	59	200
17	2212	0.16	0.9	1.27	0.71	0.82	436	0.15	109	154
18	2219.1	0.2	1.3	1.14	1.14	1.03	436	0.13	126	110
19	2225	0.18	1.1	1.16	0.95	1.02	437	0.14	107	113
20	2232	0.4	2.43	1.59	1.53	1.31	434	0.14	185	121
21	2238.3	0.21	0.96	1.07	0.90	0.78	436	0.18	124	138
22	2245	0.18	1.28	0.85	1.51	0.72	429	0.12	178	118
Average		0.33	1.74	1.18	1.67	1.05	435.64	0.15	159.91	116.86

تصاویر راهنمای نمونه‌های استاندارد که بیانگر کیفیت و کمیت سنگ منشأ و پارامترهای بلوغ هستند، در جدول ۲ نشان داده شده است. مقایسه مقادیر S₁, S₂, Tmax و TOC بر اساس آنالیزهای راک-اول برای نمونه‌های مورد مطالعه

(جدول ۱) با مقادیر راهنمای نمونه‌های استاندارد (جدول ۲) نشان می‌دهد که سازند کژدمی در میدان نفتی سروش از نظر پتانسیل تولید هیدروکربور مناسب است و بنابراین قادر به تولید هیدروکربن با کیفیت تجاری است.

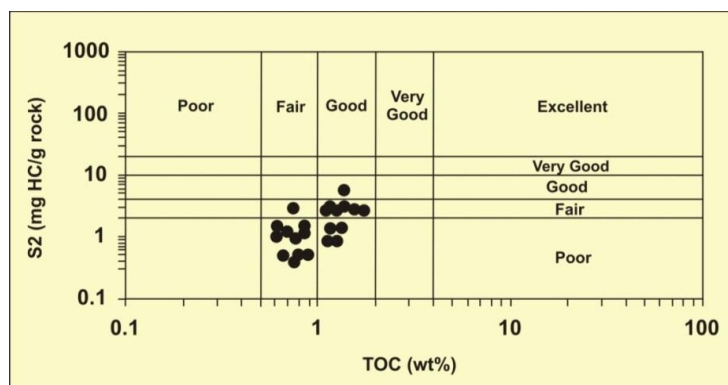
جدول ۲- مقادیر راهنمای پیرولیزی که بیانگر کیفیت و کمیت سنگ منشأ و پارامترهای بلوغ هستند (Peters and Casso 1994)

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		<435	1.5-2.6
Mature	Early	0.6-0.65	435-445
	Peak	0.65-0.9	445-450
	Late	0.9-1.35	450-470
Postmature		>1.35	>470
			>3.3



شکل ۶- روند تغییرات ژئوشیمیایی طی انباشت سازند کژدومی در چاه SR-X

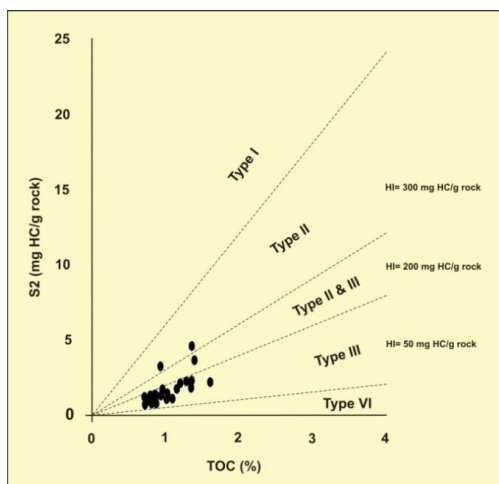
توزیع اطلاعات بر روی نمودار (Peters 1986) نیز نتیجه مشابهی نشان می‌دهد (شکل ۷).



شکل ۷- نمودار مقادیر TOC در مقابل S_2 که نشان‌دهنده پتانسیل تولید سنگ‌های منشأ است (Peters 1986)

کند (Teichmüller and Durand 1983; Tissot and Welte 1984; Tyson 1995). این نکته را نیز باید در نظر گرفت که تنها با توجه به نمودار و دیاگرام‌های فوق نمی‌توان در مورد کروژن‌ها اظهار نظر قطعی نمود و بدین منظور انجام مطالعات میکروسکوپی برای تعیین انعکاس ویترونیست و میزان بلوغ آنها، ضروری به نظر می‌رسد.

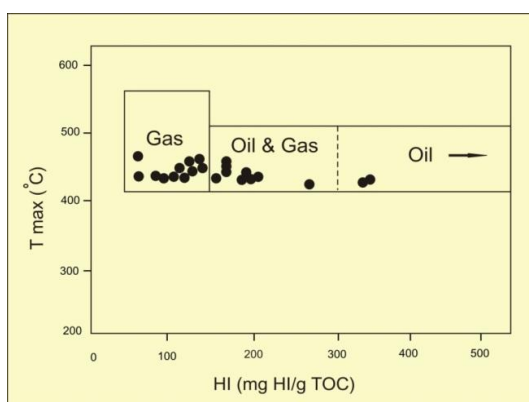
به منظور پی بردن به نوع کروژن و میزان بلوغ آن می‌توان از نمودار TOC در برابر مقادیر S_2 استفاده نمود، (شکل ۸). همان‌گونه که مشاهده می‌گردد کروژن سازند کژدومی در چاه مذکور عمدتاً از نوع III است که توانایی تولید نفت و گاز را دارد. این کروژن لزوماً از مواد خشکی منشأ گرفته و غنی از ماسرال ویترونیست است، توان تولید نفت آن بسیار کم است ولی اگر در شرایط مساعد قرار گیرد می‌تواند گاز زیادی تولید



شکل ۸- نمودار شاخص هیدروژن در برابر شاخص اکسیژن رسم شده نوع کروژن

T_{MAX} نشان می‌دهد که سازند کژدمی در میدان سروش مستعد تولید گاز و نفت- گاز می‌باشد و فقط نمونه‌های ۱۰ و ۱۵ مستعد تولید نفت هستند (شکل ۹).

(Peters 1986) معتقد است سنگ‌های منشأ بالغ مستعد تولید گاز، HI کمتر از ۱۵۰ داشته و شاخص هیدروژن برای مواد آلی مستعد نفت و گاز بین ۱۵۰-۳۰۰ و برای مواد آلی مستعد نفت بیش از ۳۰۰ است. پلات مقادیر HI در مقابل



شکل ۹- نمودار T_{MAX} در برابر شاخص هیدروژن برای تشخیص نوع هیدروکربور تولیدی

مرحله کاتازنز به وقوع می‌پیوندد. در ابتدا نفت و سپس گاز طبیعی از کروژن مشتق می‌شود. نسبت هیدروژن به کربن ماده آلی کاهش یافته ولی در مقدار اکسیژن به کربن تغییر عمده‌ای صورت نمی‌گیرد. در این مرحله مواد آلی تغییرات زیادی پیدا می‌کنند و حین تغییر وضع مداوم مولکولی در کروژن‌ها در ابتدا نفت‌های سنگین، بعداً نفت‌های سبک و در آخر گازهای مرطوب تولید می‌شوند. در آخر مرحله کاتازنز تقریباً تمامی

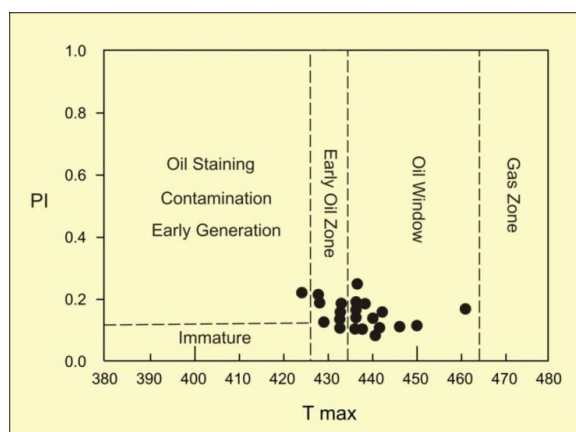
مقدار و نوع هیدروکربور تولید شده بستگی به ماهیت مواد آلی و کیفیت تأثیر حرارت بر آنها دارد. درجه حرارت حداکثر (T_{max}) می‌تواند به عنوان شاخص بلوغ حرارتی ماده آلی مورد استفاده قرار گیرد. این پارامتر همراه با افزایش درجه بلوغ حرارتی کروژن افزایش می‌یابد. تحولات مواد آلی در مرحله کاتازنز ($T_{MAX} > 435^{\circ}\text{C}$) در عمق بیشتر تحت دمای زیادتر صورت می‌گیرد. جدایش مواد نفتی از کروژن در

(Ghorri 2001). با توجه به این نمودار اکثر نمونه‌ها با وجود تفاوت در مقادیر شاخص هیدروژن، غالباً در مرحله بلوغ و ابتدای مرحله بلوغ و زایش هیدروکربور قرار دارند و موارد محدودی در ابتدای پنجره نفتی قرار دارند (شکل ۱۰).

شاخه‌های زنجیری هیدروکربن‌ها از مولکول کروژن جدا شده و مواد آلی باقیمانده در مقایسه با زغال سنگ‌ها از نظر درجه بلوغ، شبیه به آنتراسیت بوده و ضریب انعکاسی بیش از ۲٪ دارند.

برای تعیین ورود به پنجره نفتی و بلوغ ماده آلی از نمودار

شاخص هیدروژن PI در برابر T_{Max} استفاده می‌شود

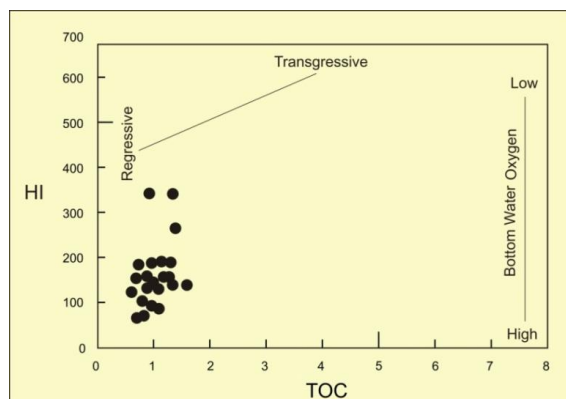


شکل ۱۰- نمودار PI در مقابل T_{MAX}

نهشته شدن این سازند است (شکل ۱۱). این نتایج به وسیله نمودار TOC در برابر S_2 (به منظور تعیین نوع کروژن) که نشان‌دهنده مواد آلی با منشأ دریایی- خشکی (کروژن II/III) است تأیید می‌شود.

توزیع اطلاعات بر روی نمودار (Dean et al. 1986)

محدوده‌ای متغیر را برای سازند کژدمی مشخص می‌کند که نشان از پسروی و پیشروی در طی انباشت این سازند است که حاکی از تغییر شرایط محیطی و شرایط نسبتاً اکسیدان در زمان



شکل ۱۱- نمودار میزان کل کربن آلی (TOC) در برابر شاخص هیدروژن (HI) در نمونه‌های مورد نظر به منظور شناسایی شرایط محیط رسوب‌گذاری آنها (Dean et al. 1986)

نتیجه

بررسی شواهد فسیلی و رخساره‌های پالینولوژیکی موجود در سازند کژدمی (میدان نفتی سروش) منجر به تفکیک چهار رخساره پالینولوژیکی (پالینوفاسیس‌های I, II, VI, IX) که شاخص محیط‌های نزدیک به منشأ هستند، گردید. اغلب جنس و گونه‌های شناسایی شده دارای بازه زمانی طولانی هستند، با توجه به مطالعات صورت گرفته در سایر نقاط جهان و تطابق آنها با اطلاعات به دست آمده از نمونه‌های بررسی شده در این مطالعه و ثبت میکروفسیل‌های شاخص، سن سازند کژدمی در چاه SR-X آلبین در نظر گرفته شده است. همچنین با تعیین فاکتورهای مختلف فسیل‌شناسی از قبیل نسبت‌های عناصر اصلی مواد آلی و پالینوفاسیس مربوط به هر نمونه و با تلفیق داده‌های به دست آمده، پنج سکانس رسوبی درجه سوم با مرزهای سکانشی نوع دوم تعیین گردید. علاوه بر این، نتایج حاصل از مطالعات پیرولیز راک-اول نشان داد که این سازند قادر به تولید اقتصادی هیدروکربن است، کروژن سازند در چاه مذکور عمدتاً از نوع III است که توانایی تولید نفت و گاز را دارد، توزیع اطلاعات بر روی نمودار (Dean et al 1986) محدوده‌ای متغیر را برای سازند کژدمی مشخص می‌کند که نشان از پسروری و پیشروی در طی انباش این سازند است که حاکی از تغییر شرایط محیطی و شرایط نسبتاً اکسیدان در زمان نهشته شدن این سازند است. این نتایج به وسیله نمودار TOC در برابر S_2 (به منظور تعیین نوع کروژن) که نشان دهنده ترکیب مواد آلی با منشأ دریایی-خشکی (کروژن II/III) است، تأیید می‌شود که نتایج به دست آمده از مطالعات پالینولوژیکی نمونه‌ها را تأیید می‌نماید.

منابع

کردی، م.، ۱۳۸۰، بررسی ویژگی‌های پتروفیزیکی و لیتوفاسیس زبانه‌های ماسه‌ای (بورگان) سازند کژدمی، در شمال غرب خلیج فارس از دیدگاه تجمع هیدروکربور: پایان نامه کارشناسی ارشد،

دانشگاه آزاد واحد تهران شمال، ۱۳۷ ص.

گزارش تکمیلی چاه‌های میدان سروش، ۱۳۸۲: گزارش داخلی شرکت ملی نفت ایران، ۱۲۵ ص.

مطیعی، ه.، ۱۳۸۲، زمین شناسی ایران، چینه شناسی زاگرس: انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۵۸۳ ص.

Al-Fares, A., M. Bouman, and P. Jeans, 1998, A New Look at the Middle-Lower Cretaceous Stratigraphy, Offshore Kuwait: *GeoArabia*, v. 3, p. 543-560.

Alsharhan, A.S., and A.E.M. Nairn, 1997, *Sedimentary Basins and Petroleum Geology of the Middle East*: Elsevier Science B.V, The Netherlands. 843 p.

Batten, D. J., 1996, Palynofacies and palaeoenvironmental interpretation. *Palynology principles and applications*: American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, v. 3, p.1011-1064.

Bassiouni, M.E.A., A.A. El Shamma, and A.A. Baioumi, 1992, Study of the microfloral characteristics of Aptian-Cenomanian sediment in WD-39-1 well, Western Desert, Egypt: *Bull. Fac. Sci., Alex. Univ.*, v. 32, p. 466-483.

Below, R., 1982, Scolochorate Zysten der Gonyaulacaceae (Dinophyceae) aus dem Unterkreide Marokkos: *Palaeontographica Abteilung*, v. 182 (B), p. 1-51.

Bombardiere, L., and G.E. Gorin, 2000, Stratigraphical and lateral distribution of sedimentary organicmatter in Upper Jurassic carbonates of SE France: *Sedimentary Geology*, v. 132, p.177-203.

Brett, C.E., 1995, Sequence stratigraphy, biostratigraphy, and taphonomy in shallow marine environment: *Palaaios*, v. 10, p.597-616.

Carvalho, M. A., J.G. Mendonca Filho, and T.R. Menezes, 2006, Palynofacies and Sequence Stratigraphy of the Aptian – Albion of the Sergipe Basin, Brazil *Sediment. Geol.*, v. 192, p.57-74.

Davey, R. J. and J.P. Verdier, 1973a, An investigation of microplankton assemblages from latest Albion (Vraconian) sediments: *Revista Española de Micropaleontologia*, v. 5, p. 173-212.

Dean, W.E., M.A. Arthur, and G.E. Claypool, 1986, Depletion of ^{13}C in Cretaceous marine organic matter: Source, diagenetic, or environmental signal: *Mar. Geol.*, v. 70, p.119-157.

Dybkajaer, K., 2004, *Dinocyst stratigraphy and*

- tool for recording eustatic Variation in marine Fine-grained Carbonates, example of berriasian stratotype at Berrias (Ardeche, SE France): *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 85, p. 303-320.
- Helenes, J., and D. Somoza, 1999, Palynology and sequence stratigraphy of the Cretaceous of eastern Venezuela: *Cretaceous Research*, v. 20, p. 447-463.
- Herngreen, G.F.W., 1973, Palynology of Albian – Cenomanian strata of borehole QS-1-MA state of Maranhao: Brazil, *Brazil Pollen Spores*, v. 15, p. 515-555.
- Ibrahim, M.I.A., 2002, Late Albian-Middel Cenomanian Palynofacies and palynostratigraphy, Abu Gharadig-5 well, Western Desert, Egypt: *Cretaceous Research*, v. 23, p. 775-788.
- Ibrahim, M.I.A., E. Schrank, and M.R. Abdel-Kireem, 1995, Cretaceous biostratigraphy and paleogeography of north Egypt and northeast Libya: *Petroleum Research Journal*, v. 7, p. 75-93.
- Ibrahim, M.I.A., N.M. Aboul Ela, and S.E. Kholeif, 2002, Dinoflagellate cyst biostratigraphy of Jurassic-Lower Cretaceous formations of the North Eastern Desert, Egypt: *Und Palao. Abh*, v. 224, p. 255-319.
- Internal Report of Iranian Offshore Oil Company, 2000, p. 25.
- Jardiné, S. and L. Magloire, 1965, Palynologie et stratigraphie du Crétacé des bassins du Senegal et de Cote d'Ivoire: *Mém. Bur. Rech. Géol. Minières*, v. 32, p. 187-245.
- Kotova, Ida Z., 2013, Spores and Pollen from cretaceous deposits of the Eastern North Atlantic Ocean, deep sea drilling project, leg 41, sites 367 and 370: *Egypt Geological Institute of the USSR Academy of Sciences, Moscow, USSR*, p. 841-881.
- Mancini, E.A., T.M. Puckett, and Tew, B.H. 1999, Integrated biostratigraphic and sequence stratigraphic framework for Upper Cretaceous strata of the eastern Gulf Coastal Plain, USA: *Cretaceous Research*, v. 17, p. 645-669.
- Moshkovitz, S., and D. Habib, 1993, Calcareous Nannofossil and Dinoflagellate Stratigraphy of the Cretaceous-Tertiary Boundary, Alabama and Georgia: *Micropaleontology*, v. 39, p. 167-191.
- Motiei, H., 1993, *Geology of Iran: Stratigraphy of Zagros*: Geological Survey of Iran, Tehran.
- Obob, F. and C. Jaramillo, 2003, Palynological patterns in uppermost Eocene to lower Oligocene sedimentary rocks in the U.S Gulf Coast. In: *From Greenhouse to Icehouse: The Marine palynofacies studies used for refining a sequence stratigraphic model-uppermost Oligocene to lower Miocene*, Jylland, Denmark: *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 131, p.201-249.
- El Beialy, S.Y., 1993, Mid-Cretaceous palynomorphs from the Bardawil-1 borehole, North Sinai, Egypt: *Cretaceous Res*, v. 14, p. 49-58.
- El Beialy, S.Y., 1994, Palynostratigraphy and palynofacies analysis of some subsurface Cretaceous formations in the Badr El Dein (Bed 1-1) borehole, north Western Desert, Egypt: *N. Jb. Geol. Palaontol. Abh.und Palao. Abh.* 192, v. 2, p. 133-149.
- El Beialy, S.Y., and H. Al Hitmi, 1994, Micropalaeontology and palynology of the Lower and Middle Cretaceous Thamama and Wasia groups, DK-C well, Dukhan Oil Field, Western Qatar: *Sci. Géol. Bull*, v. 47, p. 67-95.
- El Beialy, S.Y., 1995, Datation and paleoenvironmental interpretation by microplankton and miospore assemblages of the Razzak Oil Field sediments, Western Desert, Egypt: *Geobios*, v. 28, p. 663-673.
- El Shamma, A.A., M.Y. Zein El-Dein, and S.A. Mohammed, 1997, Additional study on microflora characteristics and palynozonation of subsurface Cretaceous rocks in the Western Desert, Egypt: *Bul. Fac. Sci., Assiut Univ*, v. 26, p. 1-28.
- Espitalie, J., F. Marquis and I. Barsony, 1984, Geochemical logging: In Voorhees, K.J. (Ed.) *Analytical pyrolysis: techniques and application*, p. 276-304, London: Butterworths.
- Emery, D., and K.J. Myers, 1996, *Sequence Stratigraphy*. Blackwell, Oxford, UK, 297 p.
- Ghasemi-Nejad, E., W.A.S. Sarjeant, and R. Gygi, 1999, Palynology and palaeoenvironment of uppermost Bathonian and Oxfordian (Jurassic) of the northern Switzerland sedimentary basin: *Kommission der Schweizerischen Paläontologischen Abhandlungen*, v. 119, p. 69-86.
- Ghasemi-Nejad, E., 2001, Dinocyst Morphotype Groups Versus Sequence Stratigraphy of the Upper Jurassic Sediments of the Northern Switzerland Sedimentary Basin: *Iranian International Journal of Science*, v. 2, p.119-128.
- Ghorri, K. A. R., 2001, High-quality oil-prone source rocks within carbonates of the Silurian Dirk Hartog Group, Gascoyne Platform, Western Australia: *Geological survey of Western Australia*, v. 22, p. 34-40.
- Gorin, G.E., and D. Steffen, 1990, Organic Facies as a

- p. 235-247.
- Stover, L.E., 1996, Mesozoic, Tertiary Dinoflagellates, Acritarchs and Prasinophytes: American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, v. 2, p. 641-750.
- Rull, V., 2000, Ecostratigraphic study of Paleocene and early Eocene palynological cyclicity in northern South America: *Palaios*, v. 15, p.14-23.
- Teichmuller, M., B. Durand, 1983, Fluorescence in microscopical rank studies on liptinite and vitrinite in peat and coal and comparison with the result of rock-eval pyrolysis: *International Journal of coal Geology*, v. 2, p.197-230.
- Tissot, B.P., and D.H. Welte, 1984, Petroleum formation and occurrence (2nd Ed.). Berlin Springer-Verlag, v. 223, p. 509-523.
- Traverse A., 2007, Paleopalynology, Second Edition, Springer, 816 p.
- Tyson, R.V., 1993, Palynofacies analysis - In: Jenkins D. J. (Ed.) - *Applied Micropalaeontology*: Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 153-191 p.
- Tyson, R.V., 1995, *Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies*: Chapman & Hall, London, 615 p.
- Van Erve, A.W., P.L., De Boer, and A.R., Fortuin, 1980, Paleoclimatological aspects of dinoflagellate assemblages from the Aptian-Albian "Marnes noires" near Vergos, Alpes de Haute Provence, SE France: *Mém. Mus. Nat. histoire Nat. (Paris)*, Sér. B, Botanique, v. 27, p. 291-302.
- Walid, A.M., A.B. Abdel Hakam, and A.S. Rehab, 2013, Palynostratigraphical studies on some subsurface middle Albian-early Cenomanian sediments from NorthWestern Desert, Egypt: *Egyptian Journal of Petroleum*, v. 22, p. 501-515.
- Williams, G.L., J.K. Lentin, and R.A. Fensome, 1998, The Lentin and Williams index of fossil dinoflagellates: *AASP Contr. Ser.*, v. 34, p. 817.
- Eocene-Oligocene Transition, D. R. Prothero, L.C. Ivany, and E.A. Nesbit (Eds.) Columbia University Press, New York, 269-282.
- Omran, A.M., H.A. Soliman, and M.S. Mohamed, 1990, Early Cretaceous palynology of three boreholes from Northern Western Desert (Egypt): *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 66, p. 293-312.
- Olson, H.C., and P.R. Thompson, 2005, Sequence Biostratigraphy with Examples from the Plio-Pleistocene and Quaternary Stratigraphy: Evolution of a Concept; In: Koutsoukos, E.A.M., (Ed.) *Applied Stratigraphy*; Springer, Netherlands. P. 227-247.
- 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 M.R., Cassa, 1994, Applied source rock geochemistry. In: Magoon, L.B., Dow, W.G. (Eds.), *The Petroleum System-From Source to Trap*: American Association of Petroleum Geologist Memoir, v. 60, p. 93-120.
- Proos, J., and G. Schmiedl, 2002, Early Oligocene dinoflagellate cysts from the Upper Rhine Graben (SW Germany); paleoenvironmental and paleoclimatological implications: *Marrine Micropaleontology*, v. 45, p.1-24.
- Proos, J., E. Link, M. Ruf, and T. Aigner, 2006, Delineating sequence stratigraphic patterns in deeper ramp carbonates: Quantitative palynofacies data from the upper Jurassic (Kimmeridgian) of southwest Germany: *Journal of Sedimentary Research*, v. 76, p. 524-538.
- Sharland, P.R., R. Archer, D.M. Casey, R.B. Davies, S.H. Hall, A.P. Heward, A.D. Horbury, and M.D. Simmons, 2001, *Arabian Plate Sequence Stratigraphy*: Geo Arabia, Special Publication 2, Bahrain, 371 p.
- Steffen, D., and G.E. Gorin, 1993, Palynofacies of the Upper Tithonian-Berriasian deep-sea carbonates in the Vocontian Trough (SE France), *Bulletin des Centres Recherches et Exploration-Production Elf Aquitaine*, v. 17,

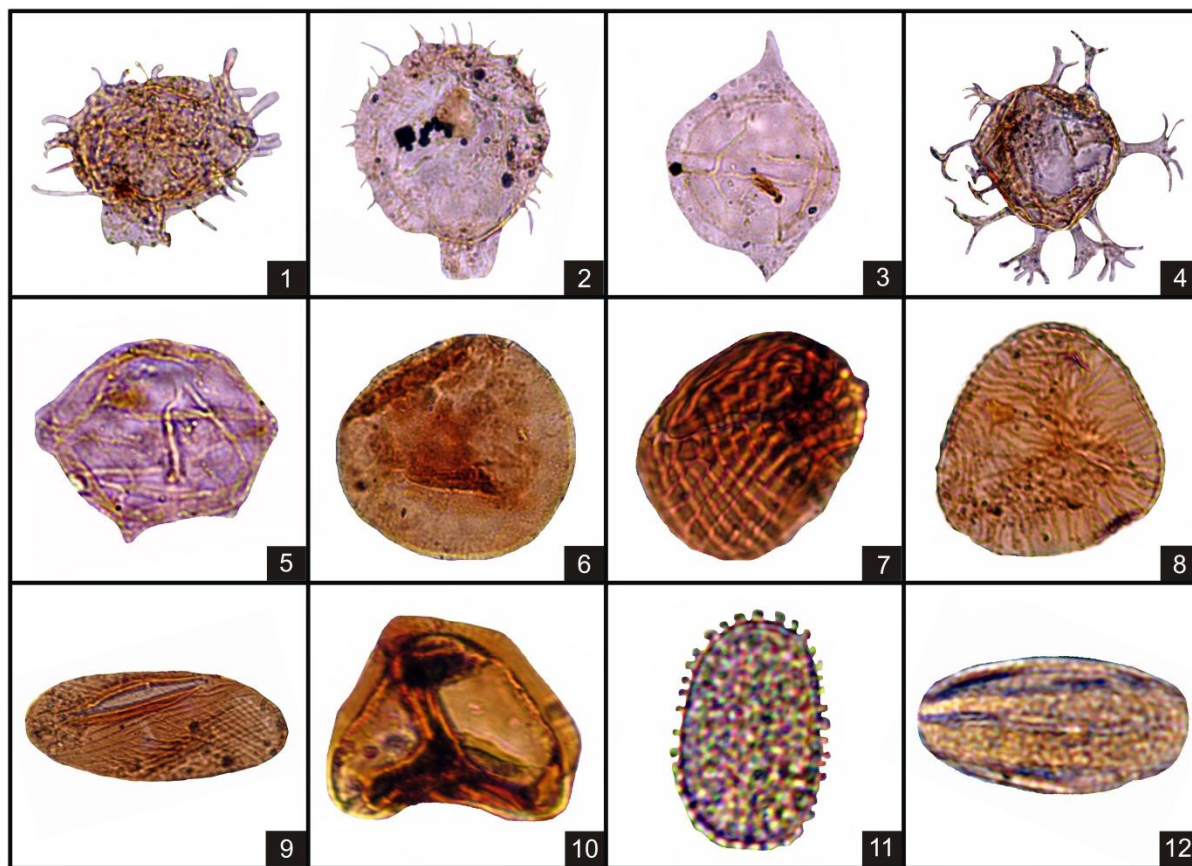


Plate 1: 1- *Coronifera oconica* Cookson & Eisenack, 1958; 2- *Florentinia berran* Below, 1982; 3- *Gardodinium trabeculosum* (Gocht 1959) Alberti, 1961; 4- *Oligosphaeridium* sp; 5- *Subtilisphaera senegalensis* Jain & Millepied, 1973; 6- *Araucariacites australis* Cookson, 1947; 7 & 8- *Cicatricosisporites* sp; 9- *Ephedripites* sp; 10- *Gleicheniidites senonicus* Ross emend. Skarby, 1964; 11- *Retitricolpites* sp; 12- *Tricolpites* sp.