پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی
سال سی و یکم، شماره پیاپی۵۹، شماره دوم، تابستان ۱۳۹٤
تاریخ وصول: ۱۳۹۳/۹/۲۷   تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۳/۹
صص ٦۷-۸۲

مطالعه رخساره‌های پالینولوژیکی و آنالیزهای ژئوشیمیایی به منظور بررسی پتانسیل هیدروکربورزایی سازند آبدراز- کپه داغ، شمال شرق ایران

فرشید یوسفی‌مقدم، *کارشناس ارشد، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه دامغان* *

سید محمود حسینی‌نژاد، *استادیار، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه دامغان*

محسن علامه، *استادیار، گروه زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران*

چکیده

سازند آبدراز یکی از واحدهای سنگ چینه‌ای کرتاسه بالایی به سن تورونین میانی- سانتونین در حوضه‌رسوبی کپه داغ، واقع در شمال شرقی ایران است. لیتولوژی عمده آن در برش سنگانه شامل مارن، سنگ آهک مارنی، و مارن‌های آهکی خاکستری تا متمایل به سبز روشن همراه با سه افق سنگ آهک گل سفیدی است که از شاخص‌های این سازند به‌شمار می‌رود. ضخامت این سازند در برش نامبرده ۵۳۰ متر اندازه‌گیری شده است که ٤۱ نمونه به صورت سیستماتیک از آن برداشت شده است. به منظور تعیین پتانسیل هیدروکربورزایی، که برای نخستین بار بر روی سازند آبدراز صورت می‌گیرد، برش نامبرده مورد مطالعه پالینولوژیکی و ژئوشیمیایی قرار گرفت. مطالعات حاصل از ۷۸ اسلاید پالینولوژیکی به شناسایی سه پالینوفاسیس بر اساس نمودار مثلثی تایسون منجر گردید. پالینوفاسیس نوع II که حاوی ۹۰-٦۰ ٪ فیتوکلاست قهوه‌ای رنگ و تیره است و حاوی کروژن نوع III است و محیط حاشیه ساحل با شرایط اکسیدن را نشان می‌دهد. پالینوفاسیس نوع IV تایسون که فراوانی فیتوکلاست‌ها در آن کاهش می‌یابد و مواد آلی بی‌شکل فراوانی برابر با ۳۰-۲۰ ٪ دارند و حاوی کروژن نوع III است. پالینوفاسیس نوع V تایسون که حاوی مقادیر بالای پالینومورف‌های دریایی و مقادیر بسیار کم فیتوکلاست‌ها است. این پالینوفاسیس بازگوکننده شرایط دور از ساحل است. کروژن موجود در این مقاطع از نوع II و III است. به منظور مطالعات ژئوشیمیایی و مقایسه آنها با نتایج حاصل از مطالعات پالینولوژیکی تعداد ۷ نمونه مورد آنالیز راک- اول قرار گرفتند. توزیع داده‌ها بر روی نموار ون- کرولن نشان می‌دهد که کروژن غالب از نوع III است (در نمونه‌های مربوط به پالینوفاسیس نوع V تایسون کروژن نوع II نیز حضور اندکی دارد). نوع هیدروکربور تخمینی گاز بوده، اما از نظر توان تولید بسیار ضعیف است. تمامی نمونه‌ها به جز نمونه شماره ۳۱ و ۳۹ به مرحله کاتاژنز رسیده‌اند (Tmax بالاتر از ٤۳۵ درجه سانتی‌گراد) که در نتیجه بالغ هستند.

کلید واژه‌ها: رخساره‌های پالینولوژیکی، پتانسیل هیدروکربورزایی، پیرولیز راک اول، سازند آبدراز، کپه داغ.

* نویسنده مسؤول: ۰۹۳۹۵۱۸۱۰۱٦
Email: farshid.yousefimoghadam@gmail.com

مقدمه

حوضه‌رسوبی کپه داغ در شمال شرق ایران غالباً از سنگ‌های دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک تشکیل شده است. سازند آبدراز در برش غربی روستای سنگانه یکی از واحدهای سنگ چینه‌ای کرتاسه بالایی است که به طور معمول از شیل‌های آهکی، مارن به همراه واحدهای آهکی گل سفیدی تشکیل شده است. در این مطالعه با استفاده از تفسیر رخساره‌های پالینولوژیکی و مقایسه آن با آنالیزهای ژئوشیمیایی (پیرولیز راک- اول)، شرایط محیط، توان هیدروکربورزایی و نوع هیدروکربور احتمالی برای نخستین بار در این سازند مورد بررسی قرار گرفته است. شناسایی و تفکیک پالینوفاسیس‌ها نه تنها در تعیین محیط رسوبی نقش مهمی را ایفا می‌کند بلکه برای بررسی و ارزیابی پتانسیل هیدروکربورزایی نیز مفید است (Tyson 1993; Batten 1996).

مطالعات قبلی

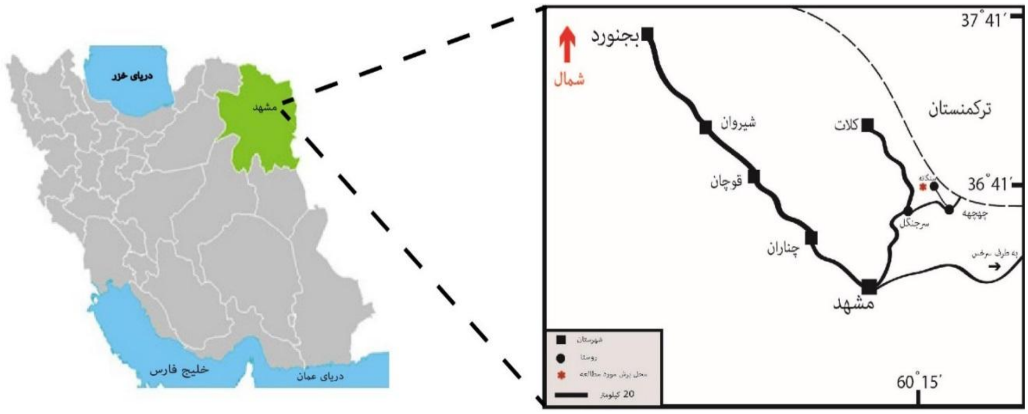
برخی از مطالعات انجام گرفته بر روی سازند آبدراز که برمبنای روزن بران و پالینومورف‌ها و...، صورت گرفته است و غالباً به منظور تعیین سن و تفسیر محیط بوده است، به شرح زیر است:

هادوی و صنعتی (۱۳۷۷) بر اساس مطالعه نانوپلانکتون‌های آهکی در برش الگو، با توجه به گونه‌های شاخص و تجمعات فسیلی سن این سازند را کنیاسین پسین- مرز سانتونین پسین/ کامپانین پیشین تشخیص داده‌اند. فروغی و همکاران (۱۳۸۳)، بر مبنای روزنبران پلانکتون سن این سازند را تورونین میانی تا کامپانین تشخیص داده‌اند. علامه و مرادیان (۱۳۸۸) با مطالعه داینوفلاژله‌های سازند آبدراز در برش حمام قلعه و تفسیر رخساره‌های پالینولوژیکی سن آن را تورونین انتهایی تا سانتونین میانی و محیط آن را دریایی کم عمق تا باز با انرژی متغیر تفسیر کرده‌اند. رستمی و اردستانی (۱۳۸۹)، به منظور تفسیر شرایط اکولوژیکی، این سازند را در برش الگو بر اساس فرامینیفرها مورد بررسی قرار داده‌اند که نشان‌دهنده شرایط پر اکسیژن در قسمت‌های ابتدایی و شرایط کم اکسیژن در قسمت‌های انتهایی سازند است. اردستانی و همکاران (۱۳۸۹)، بر اساس مطالعه روزنبران پلانکتونیک در مقطع تیپ، سن سازند آبدراز را تورونین میانی- سانتونین پسین تا اوایل کامپانین معرفی کرده‌اند و عدم حضور برخی از جنس‌های شاخص در سنومانین پسین- تورونین پیشین را به عملکرد فاز کوهزایی ساب هرسی نین نسبت داده‌اند. داریوش‌نیا و همکاران (۱۳۹۰) بر اساس مطالعه استراکودها در برش پادها به منظور تفسیر محیط؛ محیط آن را یک دریای کم عمق تا دریایی باز معرفی کرده‌اند.

مشخصات زمین‌شناسی

مشخصات جغرافیایی

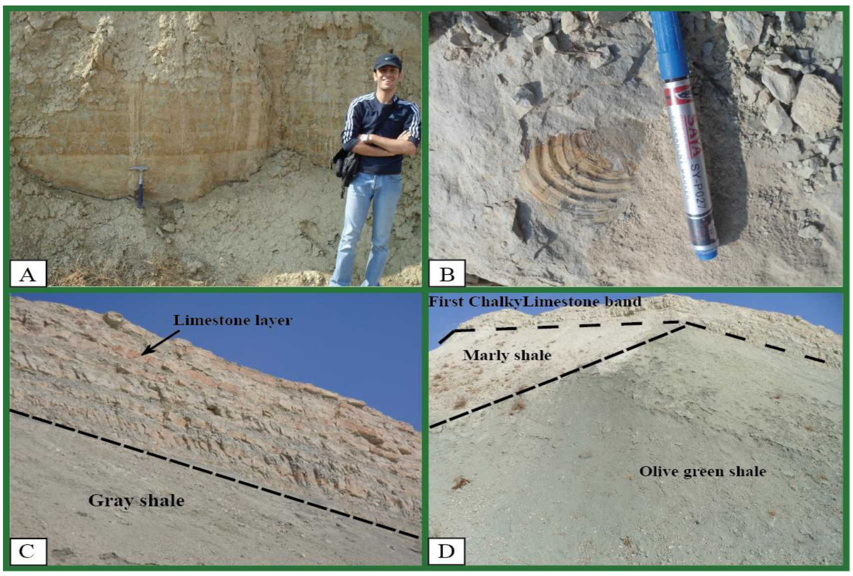
نام این سازند از روستای آبدراز واقع در ۷۵ کیلومتری شرق شهرستان مشهد گرفته شده است اما برش الگوی آن در گردنه مزدوران اندازه‌گیری شده است. واحدهای تشکیل‌دهنده آن شامل شیل خاکستری تا سبز روشن و مارن‌های کرم تا سفید رنگ با میان لایه‌هایی از آهک گل سفیدی است که ۱۸۰ متر ضخامت دارد. این ضخامت از شرق به سمت غرب حوضه کپه داغ افزایش می‌یابد که نشان از شرایط متفاوت رسوب‌گذاری در این پهنه است (افشار حرب ۱۳۷۳). برش مورد مطالعه واقع در غرب روستای سنگانه که در مسیر مشهد به کلات و در فاصله ٦ کیلومتری از پاسگاه مرزبانی روستای سنگانه واقع شده است، دارای مختصات قاعده″۵۰ ´۱۵ °٦۰ طول شرقی و″ ۱۵´٤۱ °۳٦ عرض است (شکل ۱).



شکل ١- راه دسترسی به سازند آبدراز واقع در برش غربی روستای سنگانه

توصیف چینه‌شناسی برش سنگانه

برش اندازه‌گیری شده از سازند آبدراز واقع در غرب روستای سنگانه با ضخامت ٥٣٠ متر بـا ناپیوسـتگی هـم شـیب بـروی سازند ماسه سنگی آیتامیر که از ماسه سنگ‌های گلوکونیتی بـه رنگ سبز تشکیل شده قرار دارد و حد بالای آن با سـازند آب تلخ که از شیل‌های سبز زیتونی رنگ تشـکیل شـده اسـت بـه صـورت پیوسـته و هـم شـیب اسـت. واحـدهای سـنگی تشـکیل‌دهنـده ایـن سـازند در ایـن بـرش شـامل شـیل‌هـای خاکستری تیره و روشن، شیل‌هـای سـبز زیتـونی، مـارن‌هـای خاکستری با میان لایه‌های آهکی و هچنین باندهای آهکی گل سفیدی است (شکل ٢). ستبرای هر کدام از ایـن واحـدها بـه تفکیک عبارت است از : ١- سنگ آهک گل سـفیدی، حـاوی ماکروفسیل‌های اینوسراموس به ضخامت٤٠ متر؛ ٢- شیل‌های خاکستری تیره به ضخامت ٢٥ متر؛ ٣- شیل‌های سـبز زیتـونی رنگ به ضخامت ١٣٢ متر؛ ٤- شیل آهکی و شـیل مـارنی بـه رنگ خاکستری روشن دارای ضـخامت ١٨٥ متـر و ٥- شـیل خاکستری رنگ به ضخامت ١٤٨ متر



شکل ٢- A : ماسه سنگ‌های گلوکونیتی سبز رنگ سازند آیتامیر، B : ماکروفسیل‌های اینوسراموس موجود در لایه‌های آهکیC :واحدهای آهکی به همراه میان لایه‌های شیل خاکستری رنگ، D : شیل‌های سبز زیتونی، شیل و مارن کرم رنگ به همراه واحد آهکی گل سفیدی در قسمت بالایی آن

روش مطالعه

روش آماده‌سازی پالینولوژیکی

پس از برداشت ۳۹ نمونه شیلی و مارنی و ۱۰ نمونه از آهک‌های گل سفیدی به صورت سیتماتیک، نمونه‌های شیلی در آزمایشگاه پالینولوژی به روش استاندارد Traverse (2008)، آماده شدند. آماده‌سازی در این روش به این صورت است که پس از شستشوی و خرد کردن نمونه‌ها، ابتدا برای از بین بردن ترکیبات کربناته، نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در HCL ۱۰٪ و سپس برای حذف ترکیبات سیلیکاتی به مدت ۲۴ ساعت در HF ۳۰٪ قرار می‌دهیم؛ همچنین برای از بین بردن ژل سیلیکاتی که در مرحله دوم تشکیل می‌شود نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در HCL ۱۰٪ گرم جوشانده می‌شوند. پس از خنثی‌سازی نمونه‌ها برای جداکردن پالینومورف‌ها از کانی‌های سنگین و سایر مواد بر اساس وزن مخصوص آنها از محلول $Zncl_2$ با چگالی ۱/۹ استفاده می‌شود. در پایان نمونه‌ها را از الک ۲۰ میکرون عبور داده و مواد باقی‌مانده بر روی الک را بر روی اسلایدها قرار می‌دهیم. به منظور مطالعه آماری عناصر موجود، تعداد ٤۰۰ ذره در هر اسلاید شمارش شد و نمودارهای مربوطه رسم گردید.

روش آنالیز ژئوشیمی

پس از شناسایی پالینوفاسیس‌های موجود در این برش از سازند آبدراز، تعداد ۷ نمونه شیلی و مارنی انتخاب و توسط دستگاه راک- اول ۲، واقع در پژوهشکده صنعت نفت مورد آنالیز ژئوشیمیایی قرار گرفتند. این روش که یک روش حرارتی است، برای تولید و آزاد شدن هیدروکربن از مواد آلی و در نهایت تعیین پتانسیل هیدروکربون باقی‌مانده در مواد آلی موجود در سنگ است (Behar et al. 2001). روش کار در این دستگاه به این صورت است که پس از شستشو و رفع آلودگی در نمونه‌های مورد نظر، ۱۰۰ گرم از آن را کاملاً پودر کرده و در بسته‌های مخصوص قرار داده و در حرارت بالا مورد پیرولیز قرار می‌دهند.

پالینولوژی

پس از آماده‌سازی تعداد ۳۹ نمونه شیلی و مارنی برداشت شده به صورت سیستماتیک، از آنها اسلایدهای پالینولوژیکی تهیه گردید. به منظور عکس‌برداری و شناسایی این رخساره‌های پالینولوژیکی از دوربین Nikon -۱۰ با لنزهای ۲۵-٤۰-٦۰ استفاده گردید. برخی از داینوفلاژله‌های شناسایی شده در برش غربی روستای سنگانه به شرح زیر می‌باشند:

Plate 1

Achomosphaera ramulifera, A. regiensis, Apteodinium deflandrei, Baticosphaera macrogramulata, Cannosphaeropsis utinensis, Chatangiella porosa, C. pakhamii, Circulodinium distinctum, Cleistosphaeridium clavulum, C. solidum, Coronifera oceanica, Cribroperidinium orthoceras, Dinogyminium acuminatum, D. cretaceum, Endoscrinium campanula, Florentinia daenei, F. mantellii, Froma fragilis, Glaphyrocysta sp., Gonyaulacysta orthoceras, Glaphyrocysta retiintexta, Hystrichodinium pulchrum, Hystrichosphaeridium bowerbankii, Isabelidinium cretaceum, I. glabrum, Kleithriasphaeridium secatum, K. tubulosum, ,Odontochitina coastata, O. operculata, O. porifera, Oligosphaeridium albertence, O. complex, Pervosphaeridium pseudhystrichodinium, pterodinium cingulatum, Spiniferites velatus, S. ramsus, Xenascus ceratioides, Xenascus spinatus

با توجه به مجموعه فسیلی شناسایی شده از داینوفلاژله‌ها سن تورونین تا سانتونین میانی برای این سازند در برش نامبرده تعیین شد.

بررسی فاکتورهای پالینولوژیکی

سه گروه اصلی از عناصر پالینولوژیکی که در تفسیر محیط‌های رسوبی مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل مواد آلی بی‌شکل (AOM)، فیتوکلاست‌ها (Phytoclast) و پالینومورف‌های دریایی (Marin palynomorph) هستند.

مواد آلی بی‌شکل: ذرات بی‌شکلی هستند که به طور کلی به دو دسته روشن و تیره تقسیم می‌شوند (Waveren and visscher 1994). این مواد هر چند ساختار مشخصی ندارند ولی در تفاسیر اکولوژیکی، تعیین سطح آب (پسروی‌ها و پیشروی‌ها) و خصوصاً تعیین نوع کروژن به عنوان مهم‌ترین عناصر شناخته می‌شوند. از آنجایی که مقدار AOM وابسته به تغییرات سطح آب دریاست، رسوب‌گذاری مناسب همراه با میزان اکسیژن پایین در شرایط احیایی تا نیمه احیایی باعث

حفاظت بهتر این مواد ارگانیکی می‌شود (قاسمی‌نژاد و میزالو ۱۳۸۷).

فیتوکلاست‌ها: شامل ذراتی هستند که از محیط خشکی به یک حوضه‌رسوبی وارد می‌شوند و شامل ریشه گیاهان، قطعات چوب، کوتیکول ها، اسپورها و پولن‌ها هستند. از آنجایی که بخش اعظم فیتوکلاست‌ها را گیاهان خشکی تشکیل می‌دهند، بالا بودن این فاکتور نشان‌دهنده شرایطی مانند بالا بودن میزان ورود مواد رسوبی به حوضه و یا کم عمق بودن و پایین آمدن سطح آب در یک منطقه است (Tyson 1984).

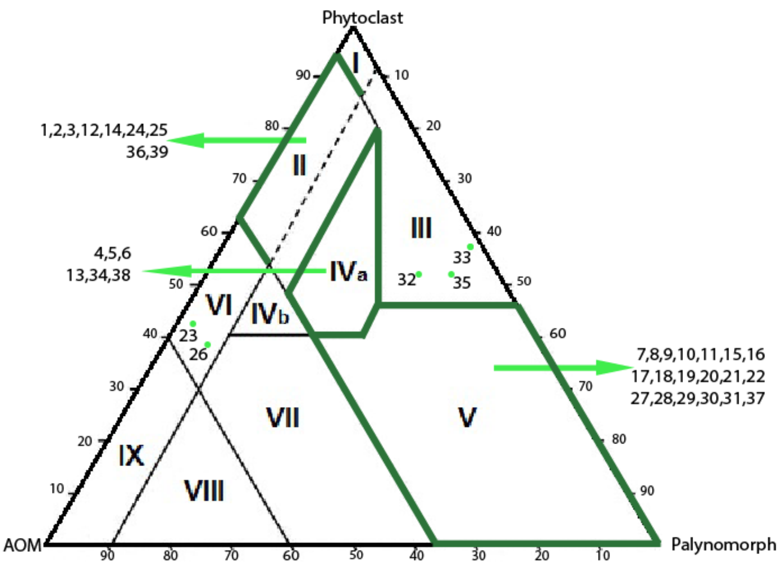
پالینومورف‌های دریایی: شامل داینوفلاژله‌ها، آکریتارک‌ها، آستر داخلی پوسته فرامینیفرها هستند. داینوفلاژله‌ها دارای محدوده وسیعی از نظر گسترش هستند و می‌توانند از یک محیط حاشیه‌ای تا یک محیط عمیق گسترش یابند.

پالینوفاسیس

برای شناسایی پالینوفاسیس‌ها، پس از شمارش ۴۰۰ ذره در هر اسلاید پالینولوژیکی، اجزای شمارش شده مطابق جدول ۱ درصدگیری و تقسیم‌بندی شدند و بر مبنای انطباق آنها با دیاگرام (Tayson 1993) سه پالینوفاسیس شناسایی شد (شکل ۳).

جدول ۱- اطلاعات مربوط به تقسیم‌بندی محیط‌های نمودار تایسون و تغییرات کروژن‌های موجود در این محیط‌ها (Tyson 1993)

Palynofacies feilds	Environment	Kerogen type
I	Highly proximal shelf or basin	III(gas prone)
II	Marginal dysoxic- oxic basin	III(gas prone)
III	Heterolithic oxic shelf (Proximal shelf)	III or IV(gas prone)
IV	Shelf to basin transition	III or II(mainly gas prone)
V	Mud- dominated oxic shelf	III >IV(gas prone)
VI	Proximal suboxic- anoxic shelf	II(Oil prone)
VII	Distal dysoxic- anoxic	II(Oil prone)
VIII	Distal dysoxic- anoxic shelf	II >>I(Oil prone)
IX	Distal suboxix- anoxic basin	II >I(Oil prone)



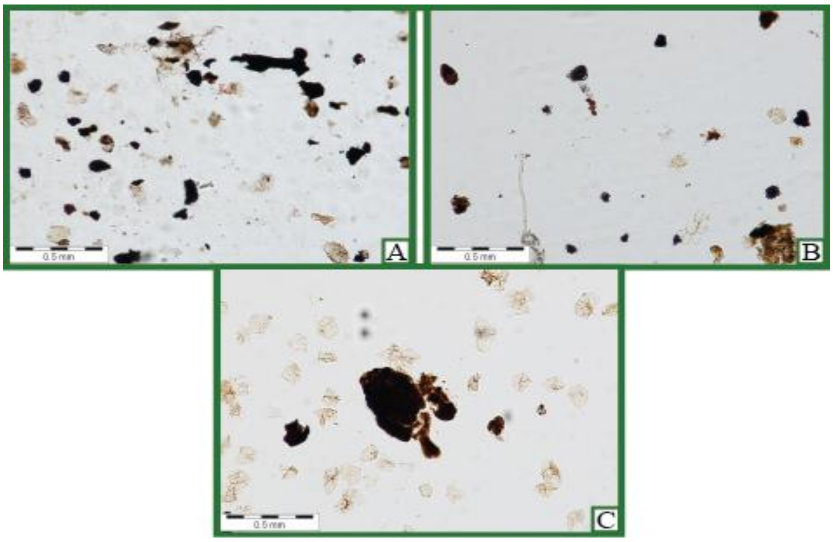
شکل ۳- نمایش نمونه‌های مورد مطالعه بر روی دیاگرام تایسون (Tyson 1993) به منظور شناسایی انواع پالینوفاسیس‌ها

پالینوفاسیس نـوع II : ذرات غالـب در ایـن پالینوفاسـیس فیتوکلاسـت‌هـا هسـتند کـه ۹۰-۶۰٪ کـل ذرات را شـامل می‌شوند. مقدار پالینومورف‌های دریایی ۱۰-۰٪ و مقدار مـواد آلـی بـی‌شـکل در حـدود ۲۰-۱۰٪ درصـد مـی‌باشـد. ایـن پالینوفاسیس منطبق بر پالینوفاسـیس نـوع II دیـاگرام تایسـون است و معرف محیط حاشیه حوضه بـا اکسـیژن کـم تـا فاقـد اکسیژن (Marginal dysoxic – anoxic basin) می‌باشد (شکل ٤).

پالینوفاسیس نوع IV : در این پالینوفاسیس ماسـرال‌هـا در حدود ۵۰-۲۰٪ وجود دارنـد و مقـدار AOM در حـدود۳۰-۲۰٪ بـوده و فراوانـی پـالینومورف‌هـا در حـدود ۳۵-۲۰٪ می‌باشـد. ایـن پالینوفاسـیس منطبـق بـر پالینوفاسـیس نـوعIV تایسون بوده کـه معـرف محـیط (Shelf to basin transition) می‌باشد (شکل ٤).

پالینوفاسیس نـوعV: آنچـه در ایـن پالینوفاسـیس اهمیـت دارد، درصد نسبتاً بالای پالینومورف‌هـای دریـایی نسـبت بـه دیگر واحدها می‌باشد که ٦٠-٣٠٪ ذرات را تشکیل مـی‌دهـد. مقدار فیتوکلاست‌ها در حدود ۳۵-۲۵٪ می‌باشد. مقدار AOM در این پالینوفاسیس ۱۰-۵٪ می‌باشد. این پالینوفاسیس منطبـق بر نوعV تایسون بوده کـه بازگوکننـده شـرایط دور از سـاحل (distal shelf) می‌باشد (شکل ٤).

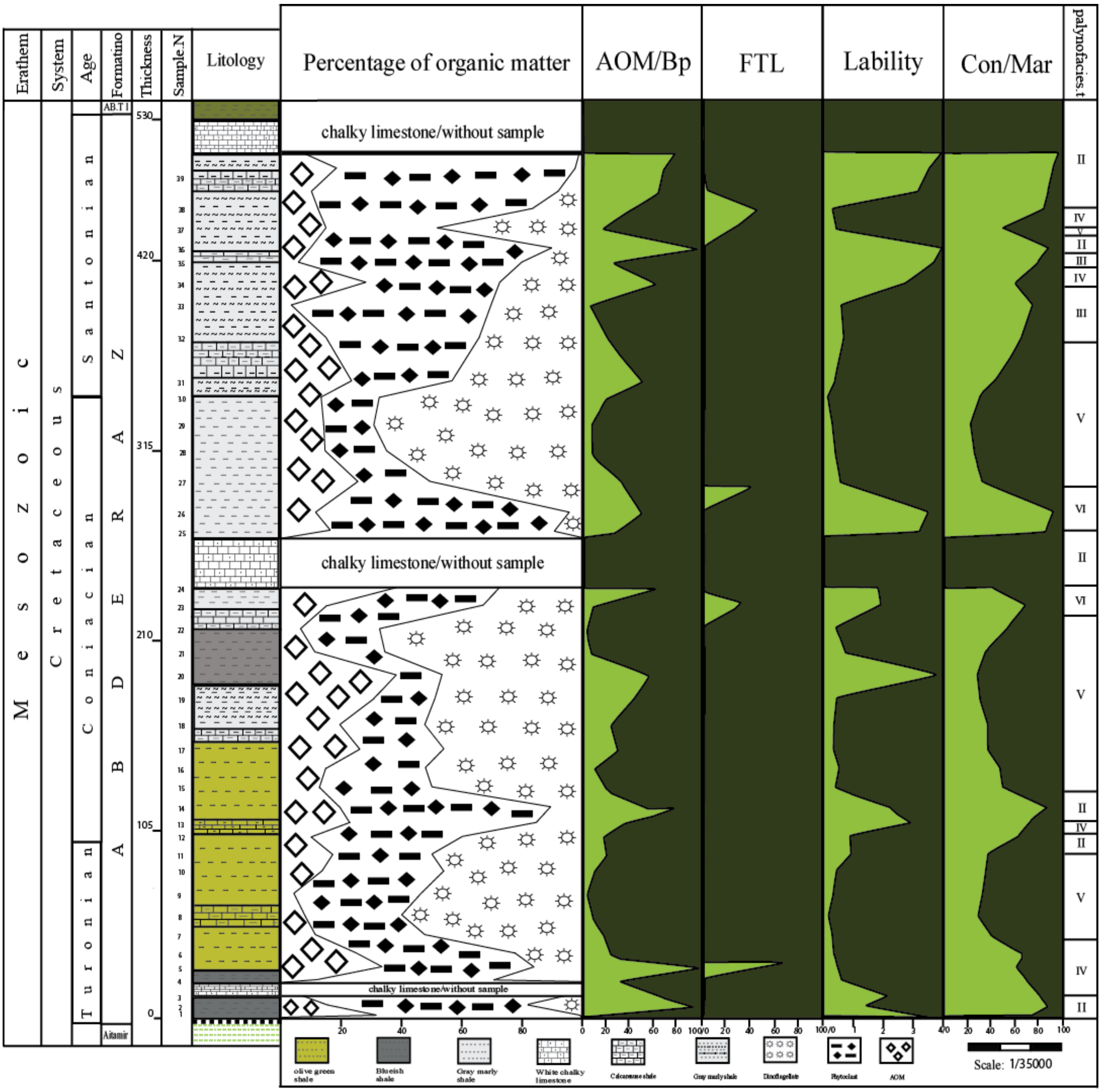
پس از تعیین پالینوفاسیس‌های مذکور بـه منظـور تفسـیر محیط رسوبی و مقایسه آن بـا داده‌هـای حاصـل از آنالیزهـای ژئوشیمیایی از چند پارامتر استفاده شد (جدول۲).



شکل ٤- انواع پالینوفاسیس‌های شناسایی شده در سازند آبدراز A: پالینوفاسیس نوعII، B : پالینوفاسیس نوعV، C : پالینوفاسیس نوع VI

بررسی فاکتورهای نامبرده شده در شکل ۵ و جدول ۲ در سازند آبدراز نشان می‌دهد که نمونه‌های مورد مطالعه در برش غرب سنگانه دارای تنوع نسبتاً بالایی از داینوفلاژله‌هاست کـه این تنوع از ابتدا به سمت انتهای سـازند کـاهش مـی‌یابـد. بـا بررسی این تغییرات مشاهده می‌شـود کـه نمونـه‌هـای شـیلی دارای بیشترین فراوانی و تنوع و لایه‌هایی کـه لیتولـوژی آنهـا شامل مارن و شیل‌هـای آهکـی اسـت دارای تنـوع و فراوانـی کمتری هستند؛ این تغییرات تأثیر لیتولوژی را که خـود تـابعی از تغییر شرایط در محیط است نشان می‌دهـد (علامـه و مرادیـان ۱۳۸۸). در نمونه‌هایی که در پالینوفاسیس نوع V وVI تایسـون قرار دارند (شکل۳) به طور کلـی داینوفلاژلـه‌هـا تنـوع بسـیار بالایی دارند. همچنین بررسی نسبت AOM روشن بـه AOM تیره در مقاطع بالاتر است (بیشتر از یک) که نشـان از شـرایط کم اکسیژن در زمان رسوب‌گذاری بـوده اسـت درجـه بـالای

حفظ شدگی داینوفلاژله‌ها در اکثر مقاطع این موضوع را تأیید می‌کند؛ همچنین حضور بالای ماسرال‌های اپک با کناره‌های گرد شده به همراه حضور آستر داخلی فرامینیفرها نشان از شرایط آشفته در محیط بوده است. نمونه‌هایی که در پالینوفسیس نوع II تایسون قرار دارند، دارای تنوع و فراوانی کمی از داینوفلاژله‌ها هستند، حفظ شدگی پالینومورف‌ها پایین است. همچنین درصد فراوانی AOM روشن به AOM تیره کمتر از یک است که شرایط نزدیک به ساحل را نشان می‌دهد (Tyson 1993; Waveren & visscher 1994; Bombardier & Gorin 2000).



شکل ۵ - ستون چینه‌شناسی، نسبت تغییرات سه گروه اصلی از عناصر پالینولوژیکی و برخی از فاکتورهای مورد بررسی به منظور تفسیر محیط در سازند آبدراز، برش غربی سنگانه

جدول ۲- نمایش تغییرات فراوانی در سه گروه اصلی از عناصر پالینولوژیکی به همراه تغییرات فراوانی در برخی از فاکتورهای مورد استفاده قرار گرفته به منظور تفسیر محیط سازند آبدراز AOM: مواد آلی بی‌شکل، PH: فیتوکلاست، MP: پالینومورف‌های دریایی، AOM/MP:تغییرات نسبت مواد آلی بی‌شکل به پالینومورف‌های دریایی، FTL: تغییرات فراوانی در تعداد آستر داخلی پوسته فرامینیفرها، Lability: نسبت پالینوماسرال‌های اپک به قهوه‌ای، Con/Mar: نسبت تغییرات خرده‌های قاره‌ای به دریایی

S.No	AOM%	Ph %	MP%	AOM/MP	FTL	Lability	Con/Mar
1	31.25	68.75	0	-	0	3.6	78.25
2	18.5	72.25	8.75	1.44	0	1.72	88.23
3	8.75	72	19.25	1.05	0	2.3	81.87
4	14	57.5	28.5	0.5	0	0.70	70
5	33.75	49.25	16.75	1.60	55	0.62	61.24
6	25.25	51.75	23	0.32	68	0.51	63.18
7	11	37.25	52.5	0.21	0	0.40	40.29
8	8.5	31.5	60	0.16	0	0.23	32.49
9	5.75	37.5	56.75	0.05	0	0.31	35.51
10	13.75	38.75	47.5	0.19	0	0.42	36.12
11	16	34	50	0.28	0	0.95	38
12	9.75	50.25	40	0.22	0	0.90	62.76
13	23.5	60.25	16.25	0.56	0	2.80	71.23
14	19	71.25	10.25	1.22	0	2.07	89.11
15	13.25	36.75	50	0.29	0	0.40	47.16
16	15.25	31.25	53	0.14	0	0.5	45.56
17	24.25	28.75	47	0.43	0	0.36	39.65
18	19.5	28.75	52.25	0.32	0	0.38	39.32
19	30.5	20.25	49.25	0.67	0	0.41	31.33
20	37	16	47	0.78	10	3.85	28
21	10.5	24.5	65	0.14	0	0.78	37.92
22	6	26.25	67.75	0.06	24	0.47	36.36
23	13.25	51.5	35.25	0.19	32	1.98	68.75
24	38.5	34.5	27	0.92	47	1.84	40.14
25	16.5	74	9.5	0.41	0	3.14	87.34
26	11.25	84.5	4.25	0.71	0	3.51	91.24
27	25	24.5	50.5	0.51	25	0.59	36.66
28	14.5	21.5	65	0.18	20	0.41	24
29	14.25	16.75	69	0.18	0	0.32	23.43
30	13	19.75	67.25	0.26	0	0.18	29.45
31	23.5	31.5	44	0.73	0	0.41	43.76
32	15.25	50.25	34.5	0.35	0	0.64	65.21
33	3.5	66.25	30.25	0.10	0	0.59	76.52
34	27.5	47.5	27	0.94	0	2.68	60.33
35	6.5	73.5	20	0.45	0	3.71	80.05
36	8.75	81.75	10	1.47	0	4	88.32
37	13.75	38.75	47.5	0.37	45	0.47	46.96
38	11.75	71.5	16.75	0.64	42	0.32	85
39	9.75	81.75	8.5	0.99	37	3.12	89.76

ژئوشیمی

پس از شناسایی پالینوفاسیس‌های موجود در برش نامبرده، تعداد ۷ نمونه شیلی به صورت انتخابی مورد پیرولیز راک- اول قرار گرفتند و آنالیزهای ژئوشیمیایی بر روی آنها قرار گرفت. این نمونه‌ها شامل نمونه ۲و۳۹ از پالینوفاسیس نوعII، نمونه‌های ٤و۳۸ از پالینوفاسیس نوعIV و نمونه‌های ۱۵و۲۱ و ۳۱ از پالینوفاسیس نوعV انتخاب شدند. پارامترهایی که در این آنالیز توسط دستگاه راک- اول مورد محاسبه قرار می‌گیرند شامل موارد زیر است که نتایج آن در جدول ۳ و ٤ آمده است:

S_1: عبارت است از مقدار هیدروکربن آزاد در هر نمونه که واحد آن mg HC/g Rock است و در حرارت کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد خارج می‌گردد.

S_2: ظرفیت باقیمانده و یا مقدار هیدروکربن تولید شده از شکست حرارتی کروژن که واحد آن mg HC/g Rock می‌باشد.

S_3: مقدار دی اکسید کربن تولید شده در حین انجام پیرولیز در محدوده ۳۰۰ الی ۳۹۰ درجه سانتی‌گراد که مربوط به مواد آلی موجود در نمونه است و بر حسب mg co_2/g Rock نمایش داده می‌شود.

T_{max}: دمایی است که در آن حداکثر خروج هیدروکربن از کروژن وجود دارد و شاخصی عالی از میزان بلوغ حرارتی نمونه سنگ منشأ می‌باشد.

TOC: میزان کل کربن آلی (کربن باقی‌مانده/ کربن پیرولیز شده).

اندیس هیدروژن (HI): مشخص کننده پتانسیل نفتی نمونه سنگ مادر است و عبارت است از نسبت S_2/TOC.

اندیس اکسیژن (OI): تعیین کننده مقدار اکسیژن موجود در نمونه است و می‌توان درجه اکسید شدن مواد آلی موجود در سنگ منشأ را ارزیابی کرد که عبارت است از نسبت S_3/TOC.

جدول ۳- داده‌های به دست آمده از آنالیز پیرولیز راک-اول

Sample	S_1	S_2	S_3	Tmax	HI	OI(co_2)	TPI	TOC
2	0.14	0.11	0.68	458	201	340	0.28	0.05
4	0.06	0.14	0.17	480	280	340	0.3	0.05
15	0.16	0.11	0.92	462	183	***	0.59	0.06
21	0.09	0.45	0.51	492	300	340	0.17	0.15
31	0.06	0.04	0.16	391	80	320	0.6	0.05
38	0.09	0.48	0.50	485	292	340	0.15	0.15
39	0.06	0.09	0.21	379	180	420	0.4	0.05

جدول ٤- میانگین داده‌های حاصل از پیرولیز ۷ نمونه راک-اول

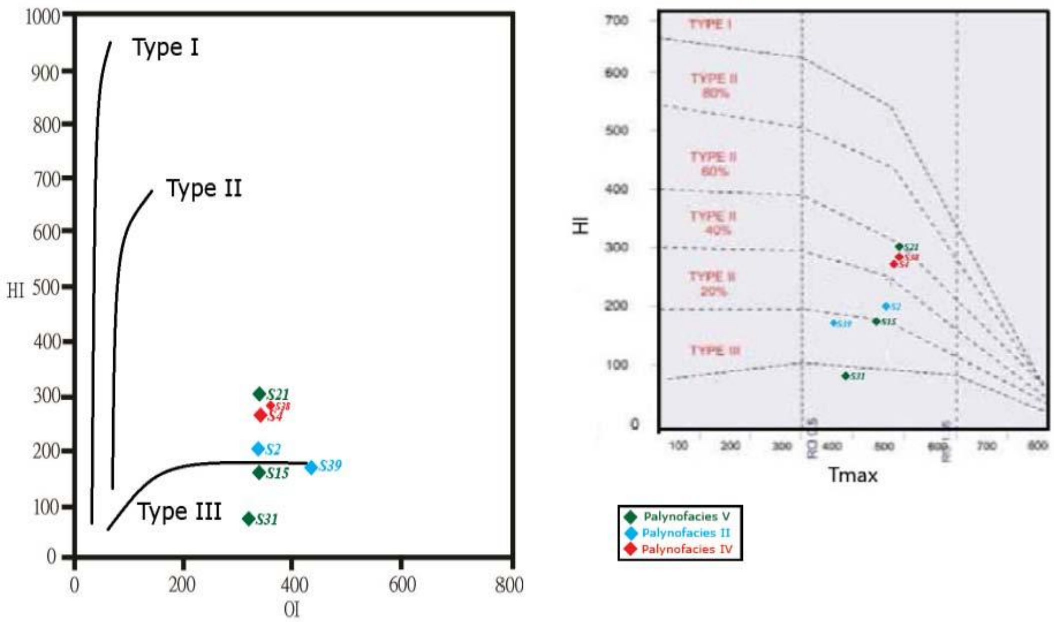
Parameter	S_1	S_2	Tmax	TOC
Range	0.06 - 0.16	0.04 – 0.48	379 – 492	0.05 – 0.15
Average	0.09	0.20	449	0.05

نوع کروژن

انواع کروژن که یکی از مهم‌ترین فاکتورها در تعیین ماهیت هیدروکربور تولیدی است را می‌توان از روش‌های میکروسکوپی و یا با استفاده از پارامترهای حجمی به دست آورد (Burker 1974; Hunt 1996). به طور کلی ٤ نوع کروژن وجود دارد: ۱- کروژن نوع I یا کروژن جلبکی: غنی از اجزای جلبکی اگزینایتی است که در دریاچه‌ها و محیط‌های دریایی وجود دارد. اندیس هیدروژن در این کروژن (HI)، در نمونه‌های نابالغ مقداری برابر با ٦۰۰ دارد که با افزایش درجه پختگی این اندیس کاهش می‌یابد. ۲- کروژن نوعII : ذرات تشکیل‌دهنده آن غالباً مواد آمورف هستند و از تجزیه فیتوپلانکتون‌ها، زئوپلانکتون و بعضی جانوران عالی‌تر حاصل می‌شوند. HI این کروژن برای رسوبات نابالغ بین ۳۰۰-٦۰۰ است و مواد تشکیل‌دهنده آن غالباً مخلوطی از گیاهان دریایی و خشکی است که در محیط‌های احیایی ته‌نشین می‌شوند. ۳- کروژن نوع III : این نوع کروژن از ماسرال ویترینایت غنی است و ظرفیت تولید نفت کمی دارد و گاز خشک تولید می‌کند. اندیس هیدروژن آن در رسوبات نابالغ از ۲۰۰-۵۰۰ متغیر است و غالباً از گیاهان خشکی تشکیل شده‌اند. ٤- کروژن نوع IV : غنی از اینرتینایت است که به شدت کمیاب و خنثی است و توانایی تولید نفت یا گاز را ندارد (رضایی ۱۳۸۰). به منظور تعیین نوع کروژن در نمونه‌های انتخابی با استفاده از نسبت تغییرات شاخص هیدروژن (HI) به شاخص اکسیژن (OI) و پلات کردن آنها بر روی یک نمودار، نشان

داده شد که عمده کروژن موجود در نمونه‌ها از نوع III و در برخی از نوع II می‌باشد (Hunt 1996; Tissot and Welte 1984; Espitalie et al. 1977) (شکل ٦، سمت چپ).

همچنین می‌توان با پلات کردن داده‌ها با توجه به تغییرات T_{max} در برابر شاخص هیدروژن (HI) بر روی یک نمودار نوع کروژن را مشخص نمود (Peters 1986) (شکل ٦، سمت راست).



شکل ٦- بررسی تغییرات HI/OI (سمت چپ) و HI/Tmax (سمت راست) بر روی نمودار ون-کرولن به منظور شناسایی نوع هیدروکربور احتمالی و نوع ماده آلی (Peters 1986).

با رسم نمودارهای مربوطه مشخص می‌شود که نمونه‌های شماره ۳۹، ۳۱، ۱۵ و ۲ دارای کروژن نوع III هستند و نمونه‌های ۳۸، ۲۱، ٤ در مرز و مرحله تبدیل به کروژن نوع II هستند.

نوع هیدروکربن و توان هیدروکربن‌زایی

با استفاده از اطلاعات پایرولیز راک- اول می‌توان توان هیدروکربن‌زایی و نوع هیدروکربن حاصله از سنگ‌های منشأ را مشخص کرد (جدول ۵). با استفاده از نسبت S_2/S_3 و شاخص هیدروژن (HI) نوع هیدروکربور تولیدی نیز به دست می‌آید (جدول ٦). مطابق جدول ۵ اطلاعات حاصل از پیرولیز ۷ نمونه نشان می‌دهد که در تمامی نمونه‌ها مقدار S_2 و S_1 کمتر از ۰/۵ و مجموع آنها کمتر از ۱ می‌باشد که از نظر توان هیدروکربورزایی در محدوده ضعیف قرار دارند . همچنین با توجه به جدول ٦ مقادیر پایین HI و S_2/S_3 نشان می‌دهد که نمونه‌ها تنها مستعد تولید گاز هستند، که این اطلاعات با مطالعات حاصل از پالینوفاسیس‌ها و نوع کروژن موجود در آنها که بیشتر از نوع III بوده مطابقت دارد و آن را تأیید می‌کند. همچنین توان هیدروکربورزایی را می‌توان با استفاده از پارامترهای S_2 و S_1 و S_1+S_2 ومقادیر TOC مشخص نمود (جدول ۷ و شکل ۷). با توجه به این تقسیم‌بندی و داده‌های به دست آمده از آنالیز ۷ نمونه، تمامی نمونه‌ها از نظر توان هیدروکربن‌زایی در محدوده ضعیف قرار دارند، که این اطلاعات نیز داده‌های حاصل از مطالعات پالینولوژیکی را در برش نامبرده از سازند آبدراز تأیید می‌کند.

جدول ۵- ارزیابی توان هیدروکربورزایی با استفاده از S1, S2, S1+S2 (Peters 1986)

توان هیدروکربن‌زایی	S_1	S_2	S_1+S_2
ضعیف	۰-۰/۵	۰-۲/۵	۰-۳
مناسب	۰/۵-۱	۲/۵-۵	۳-۶
خوب	۱-۲	۵-۱۰	۶-۱۲
خیلی خوب	۲<	۱۰<	۱۲<

جدول ٦- تشخیص نوع هیدروکربن با استفاده از شاخص هیدروژن و نسبت S2/S3 (Peters 1986)

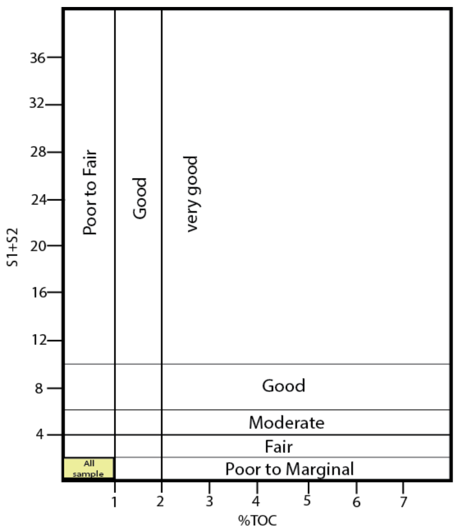
نوع هیدروکربن	HI	S_2/S_3
گاز	۰-۱۵۰	۰-۳
گاز ونفت	۱۵۰-۳۰۰	۳-۵
نفت	۳۰۰<	۵<

جدول ۷- پارامترهای استاندارد ارزیابی پتانسیل هیدروکربورزایی با استفاده از داده‌های پیرولیز راک-اول (Peters & cassa 1994)

Quantity	TOC	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 g	2-4	2-4	10-20
Excellent	>4	>4	>20

Quantity	HI (mg HC/g TOC)	S_2/S_3	koogen 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

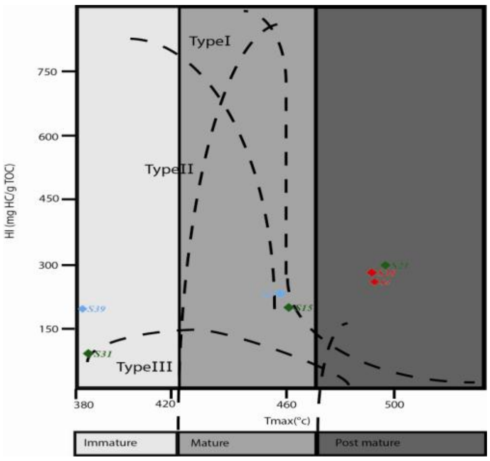
Maturation	Ro(%)	Tmax Mc	TAI
Immature	0.2-0.6	<435	1.5-2.6
			Mature
Early	0.6-0.65	435-445	2.6-2.7
Peak	0.65-0.9	445-450	2.7-2.9
Late	0.9-1.35	450-470	2.9-2.33
Postmature	>1.35	>470	>3.3



شکل ۷ -نمایش تغییرات S_1+S_2 در برابر TOC

بلوغ حرارتی

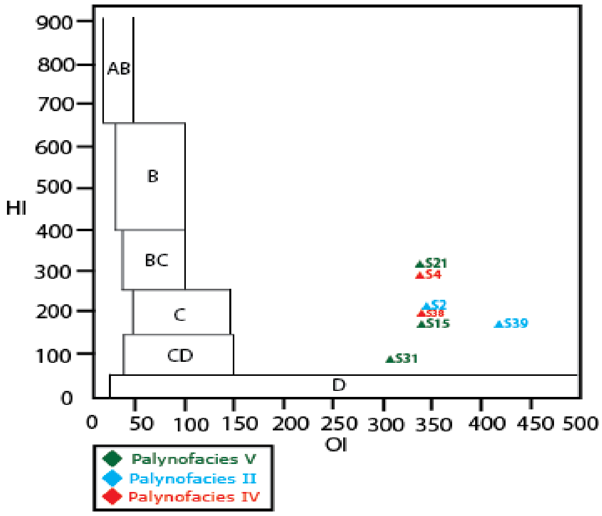
مقدار و نوع هیدروکربون تولید شده بستگی بـه ماهیـت مـواد آلی و کیفیت تأثیر حـرارت بـر آنهـا دارد، بـه عبـارت دیگـر ظرفیت مورد بحث، تابعی از نوع ماده آلـی و درجـه حـرارت موجود در محیط و مدت تأثیر این دما است (قاسمی‌نژاد و میزالـو ۱۳۸۷). درجـه حـداکثر حـرارت (T_{max}) بـا افـزایش بلـوغ در کروژن نیز افزایش مـی‌یابـد بـه گونـه‌ای کـه در طـی پیرولیـز نمونه‌ها محدوده حرارتی برای کروژن نوع II به منظور تولیـد نفت در محدوده حرارتی ٤٦٠-٤٢٠ درجه سانتی‌گراد و بـرای کروژن نوع III بین محدوده حرارتی ٦٠٠-٤٧٠ می‌باشد. ایـن محدوده برای تولید گـاز تـر و نفـت میعـانی بـین ٥٤٠-٤٧٠ درجه سانتی‌گـراد و بـرای گـاز خشـک بیشـتر از ٥٤٠ درجـه سانتی‌گراد است. بررسی نمونـه‌هـای مـورد آنـالیز قرارگرفتـه نشان می‌دهد، که نمونه‌های ۳۱ و ۳۹ نابالغ هستند، نمونه‌هـای ۲ و ۱۵ در مرحله بلـوغ و نمونـه‌هـای ۲۱، ٤ و ۳۸ از مرحلـه بلوغ گذر کـرده‌انـد (شـکل ۸). بـا توجـه بـه تشـخیص نـوع هیدروکربن احتمالی با استفاده از شاخص هیدروژن و نسـبت S_2/S_3 که از نوع گازی می‌توانـد باشـد (جـدول۵)، حضـور و افزایش کروژن نوع III به درجه حرارت بیشـتری بـرای بلـوغ حرارتی سنگ منشأ نیـاز دارد، کـه ایـن رونـد در نمونـه‌هـای ۳۸،۲۱،٤،۲ قابل مشاهده است.



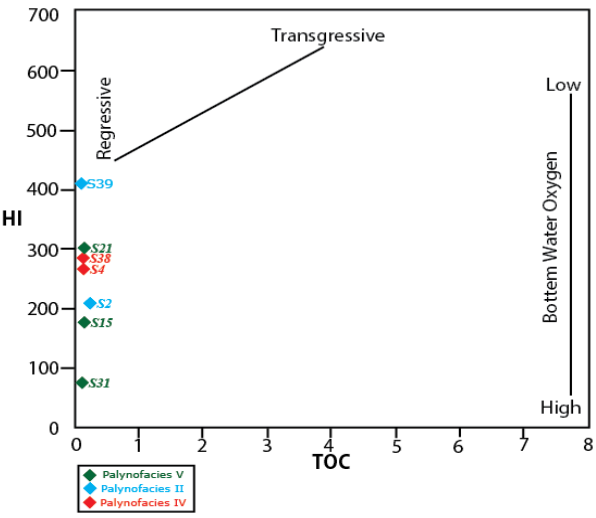
شکل ۸- نمایش بلوغ حرارتی نمونه‌های مورد مطالعه

محیط رسوب‌گذاری و مواد آلی

با استفاده از دو شاخص هیدروژن و اکسیژن و پـلات کـردن آنها بر روی یک نمـودار مـی‌تـوان محـیط رسـوب‌گـذاری را مشخص نمود (Jones 1987). با توجه به این نمودار (شـکل۹) محیط‌های رسوب‌گذاری مواد آلی از محیط‌هایی کاملاً احیایی تا کاملاً اکسیدان طبقه‌بندی می‌شوند. از آنجـایی کـه شـاخص هیدروژن در اکثر نمونه‌هـا بـه جـز نمونـه شـماره ۳۱ تقریبـاً بالاست (بیش از ۱۵۰)، یک محیط نیمه احیا تا نیمـه اکسـیدان عمیق تا نیمه عمیق برای سازند آبدراز در برش غربی روستای سنگانه پیشنهاد می‌شود، اما ذکـر ایـن نکتـه ضـروری اسـت؛ همانطور که گفته شد نمونه‌هایی مورد آنالیز قرار گرفته در این برش، که به صورت سطح الارضی برداشت شده‌انـد، انـدیس هیدروژن بالایی دارند که می‌تواند دلیلی بر کروژن‌های خـوب و نفت‌زا باشند، ولی با توجه به اندیس بالای اکسـیژن در آنهـا (جدول ۲) می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که این نمونـه‌هـا بـه دلیلی (تحت فعالیت تکتونیکی قرار گرفتن حوضـه رسـوبی و خروج یکباره از آب و یا برداشت‌های سطح‌الارضی)، به مرور زمان اکسید شده‌اند و یا تحت شرایط اکسیدان قرار گرفتـه‌انـد و این شاخص در آنها بالا رفته است و درصد خلوص کروژن و ماده آلی در آنها به شدت کاهش یافته است. توزیع نمونه‌هـا بـر روی نمـودار (Dean et al. 1986) نتیجـه نسـبتاً مشـابهی را نشان می‌دهد (شکل ۱۰). بر مبنای این نمودار سـازند آبـدراز به طور کلی از ابتدا به سمت انتها یک سری پسـرونده بـوده و یکی از عوامل اصلی پایین بودن TOC شرایط نسـبتاً اکسـیدان حاکم در زمان رسوب‌گذاری، خصوصاً در قسمت‌های ابتدایی و انتهایی آن است که این نیـز تأییـد کننـده نتـایج حاصـل از مطالعات پالینولوژیکی است.



شکل ۹- نمودار تغییرات HI/OI (شاخص هیدروژن در برابر اکسیژن) به منظور تعیین نوع محیط رسوب‌گذاری مواد آلی (Jones 1987). D: محیط‌های قاره‌ای شدیداً اکسیدان، CD: محیط‌های عمیق در مجاورت نقاط کوهزایی، C: محیط‌های با سرعت متوسط رسوب‌گذاری و احیایی، BC: محیط‌های دارای مواد آلی دریایی و قاره‌ای و رسوب‌گذاری سریع در شرایط نسبتاً اکسیدان، B: محیط‌های دریایی و دریاچه‌ای نسبتاً احیایی، AB: محیط‌های دریایی احیایی پیشرونده



شکل ۱۰- نمودار تغییرات TOC (میزان کل کربن آلی) در مقابل HI (شاخص هیدروژن)، در نمونه‌های مورد آنالیز قرار گرفته، به منظور شناسایی محیط و شرایط رسوب‌گذاری آنها (Dean et al. 1986).

نتیجه

در این مطالعه با بررسی اسلایدهای پالینولوژیکی، سه پالینوفاسیس در برش چینه‌شناسی غربی روستای سنگانه از سازند آبدراز شناسایی و تعیین گردید. تفسیر پالینوفاسیس‌های شناسایی شده بر اساس دیاگرام تایسون و همچنین بررسی فاکتورهای محیطی مانند نسبت تغییرات خرده‌های قاره‌ای به دریایی، فاکتور لابیلیتی، نسبت تغییرات مواد آلی بی‌شکل به پالینومورف‌های دریایی نشان می‌دهد که محیط رسوبی سازند آبدراز در زمان انباش رسوبات دریایی کم عمق تا دریایی باز با انرژی متغیر بوده است. بالا بودن نسبت AOM شفاف به پالینومورف‌های دریایی در برخی از اسلایدها (مانند نمونه‌های ٤-٥-١٩-٣٨) نشان از شرایط نیمه احیایی تا نیمه اکسیژن در زمان رسوب‌گذاری است که این اطلاعات، آنالیزهای به دست آمده از پیرولیز راک-اول را تأیید می‌کند. نتایج به دست آمده حاصل از آنالیز ژئوشیمیایی ۷ نمونه توسط پیرولیز راک- اول نشان می‌دهد که برخی از نمونه‌ها دارای مواد آلی با منشأ خشکی و برخی دیگر با منشأ دریایی هستند. توزیع این نمونه‌ها بر روی نمودار ون- کرولن نشان می‌دهد کروژن غالب از نوع III است. هیدروکربور تولیدی از نوع گاز است اما از نظر پتانسیل هیدروکربورزایی ضعیف است. قرارگیری نمونه‌ها بر روی نمودار نسبت شاخص هیدروژن در مقابل کل کربن آلی (با توجه به شاخص پایین هیدروژن و کل کربن آلی در تمامی نمونه‌ها) به طور کلی نشان‌دهنده یک سری پسرونده به سمت انتهای سازند آبدراز است. همچنین از نظر بلوغ حرارتی، نمونه‌های ۳۱ و ۳۹ نابالغ، نمونه‌های ۲و ۱۵ در مرحله بلوغ هستند و نمونه‌های ۲۱، ٤ و۳۸ از مرحله بلوغ گذر کرده‌اند.

منابع

افشار حرب، ع.، ۱۳۷۳، زمین‌شناسی کپه داغ: انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ش ۱۱، ۲۷٦ ص.

علامه، م.، و ف.مرادیان، ۱۳۸۸، پالینولوژی و آنالیز محیط دیرینه سازند آبدراز در حوضه رسوبی کپه داغ: مجله علوم دانشگاه تهران، ش ٤، ۱–۱۰.

داریوش‌نیا، م.، م. علامه و م. حسینی‌نژاد، ۱۳۹۰، پالئواکولوژی سازند آبدراز در برش پادها بر مبنای استراکودها: پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.

رستمی، م.، و م. شفیعی اردستانی، ۱۳۸۹، پالئواکولوژی سازند آبدراز در برش الگو بر اساس فرامینیفرها: یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، ج ۷، ص٤٦–۵۸.

رضایی، م ر. ۱۳۸۰، زمین‌شناسی نفت: دانشگاه تهران، انتشارات علوی، ص۹۰–۱۰۰.

شفیعی اردستانی، م.، ا. قاسمی‌نژاد، و ح. وزیری مقدم، ۱۳۸۹، زیست چینه‌نگاری سازند آبدراز در برش الگو با استفاده از روزنبران پلانکتونیک: مجله علوم زمین، ش ۷۵، ص۲۵–۳٤.

فروغی، ف.، ع. صادقی، ا. شمیرانی و م. وحیدی‌نیا، ۱۳۸۳، بازنگری سازند آبدراز در مقطع تیپ بر مبنای فرام‌های پلانکتون: هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی.

قاسمی‌نژاد، ا.، و م. میرزالو، ۱۳۸۷، تطابق رخساره‌های پالینولوژیکی و پتانسیل هیدروکربورزایی سازند کژدمی در برش تنگ ماغر : مجله علوم دانشگاه تهران، ش ۲، ص ۱۵۵–۱٦٤.

وحیدی‌نیا، م.، یازرلو، م.ع. و ع. الف. آریایی.، ۱۳۸۱، مطالعه اینوسراموس‌های سازند آبدراز در مناطق شرق کپه داغ: ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

هادوی، ف.، و الف. صنعتی، ۱۳۷۷، مطالعه نانوپلانکتون‌های آهکی سازند آبدراز در برش الگو: دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

Barker, C., 1974, Pyrolysis techniques for source-rock evaluation: The AAPG Bulletin, **v.** 58, p. 2349-2361.

Batten, D.J., 1996, Palynofacies and petroleum potential Palynology, principle and application: AASP foundation, **v**. 3, p. 1065-1084.

Behar, F., V. Beaumont, and B. Pentea do, 2001, Rock-Eval 6 Technology, performances and development: Oil & Gas Sci. Tech-Rew, **v**. 56, p. 111-134.

Bombardier, L., and G. E. Gorin, 2000, Stratigraphical and lateral distribution of sedimentary organic matter in Upper Jurrasic carbonate of SE France: Sedimentary Geology, **v**. 132, p. 177-203.

Dean, W.E., M.A. Arthur, and G.E. Claypool, 1986, Depletion of 13 C in Cretaceous marin organic matter, Source, diagenetic, or environmental signal: Marine Geology, **v**. 70, p. 119-157.

Espitalie, J., M. Madec, B. Tissot, J.J. Menning, and P. Leplate, 1977, Source rock characterization on method for petroleum exploration: Proceeding of the 9th annual offshore technology conference, Houston, p. 439-444.

Hunt, J.M., 1996, Petroleum geochemistry and geology (2nd Ed), p. 291, 370, 380-388.

Jones, R.W., 1987, Organic Facies, in Brook J. Welte D. (Eds). Advances in petroleum geochemistry: Academic Press, New York, p. 1- 90.

Peters, K.E., 1986, Guidelines for evaluatin petroleum source rock using programmed pyrolysis: AAPG 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: AAPG Memoir, **v**. 60, p. 93-120.

Tissot, B.P., and D.H. Welte, 1984, petroleum formation and accurrence (2nd ed): Berlin Springer-Verlag, **v.** 223, p. 509-523.

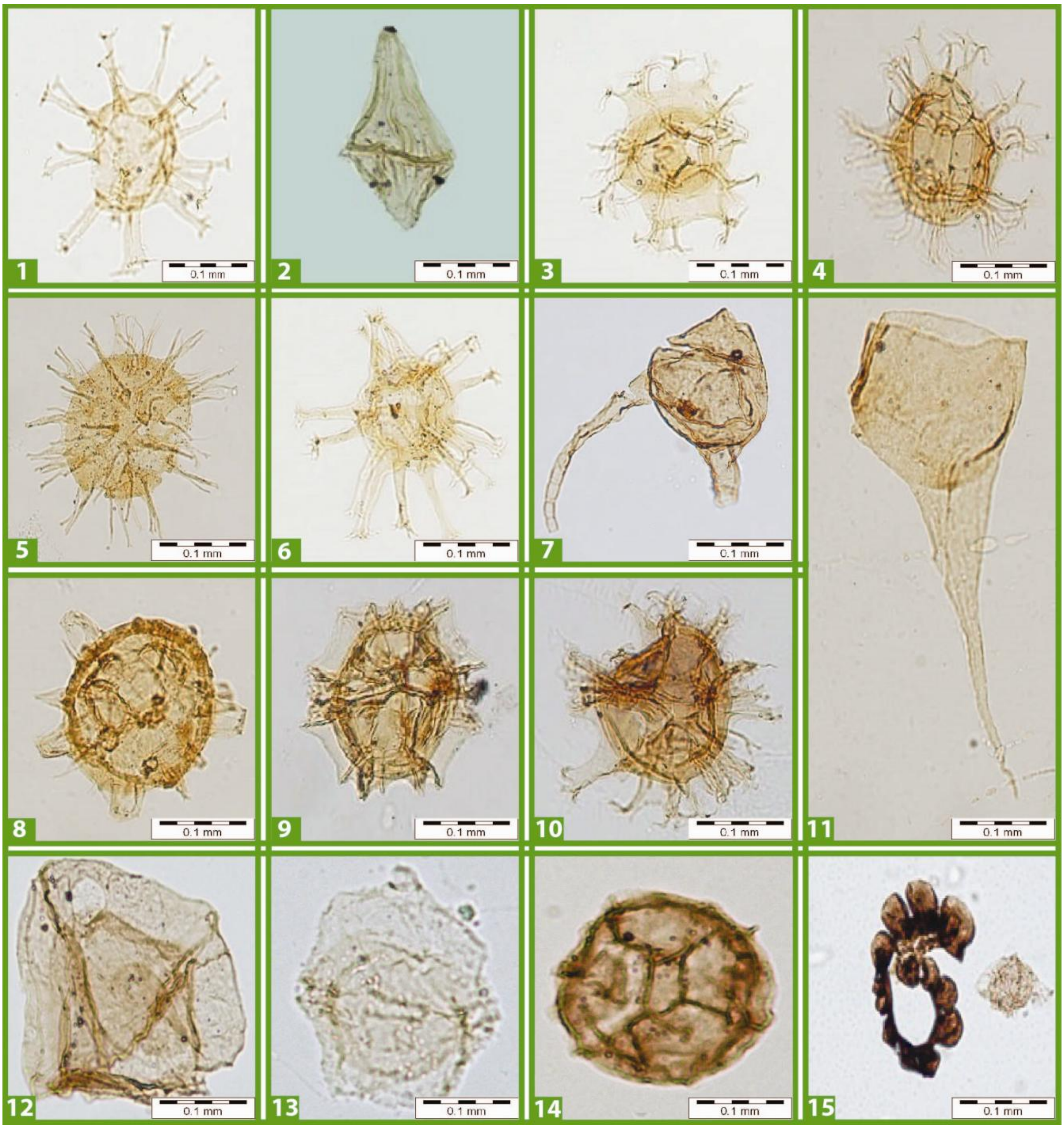
Traverse, A., 2008. Palaeopalynology, second edition: Springer, London, 814 pp.

Tyson, R.V., 1989, Late Jurassic palynofacies trend, Piper and kimmerdg clay Formation, UK onshore and Northern Sea: In Batten, D. J & Keen, M. C (Eds). Northwest European Micropaleontolog and Palynology, p. 135-172.

Tyson, R.V., 1993, Palynofacies analysis, In: Jenkins, D.J. (Ed.): Applied Micropalaeontology, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 269 pp.

Waveren, I., and H, Visscher., 1994. Analysis of the composition and selective preservation organic matter in surfical deep-sea sediment from a high Productivity area (Bandasa Indonesia): Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecplogy, **v.** 112, p. 85-111.

Plate1



•1.*Hystrichosphaeridium recurvatum* (White 1842) Carpentier, 1940. •2- *Dinogymnium acuminatum;* W.R.Evite(Clark and J.-P.Verdier) •3-*Spiniferites ramosus* (Ehrenberg 1838) .•4-*Spiniferites perforatus* (Deflandre 1973b) Reid, 1974. •5- *Pervosphaeridium pseudhystrichodinium*; Deflandre, 1937. (Yun Hyesu 1981). •6- *Hystrichosphaeridium bowerbanki*; Davey and Williams, 1966. •7- *Odontochitina costata*; Alberti, 1961. •8- *Pervosphaeridium truncigerum;* Deflandre, 1973. •9- *Pterodinium premnon*; Duxbury, 1980. •10- *Hysrrichosphaerina* SP. •11- *Odontochitina operculata*; Wetzel, 1933. (Deflandre and Cookson 1955). •12- *Endoscrinium campanula*; Klement, 1960 (Vozzhennikova 1965). •13- *Chatangiella ditissima*; Mclntyre, 1975. (Lentin and Williams 1976). •14- *Microdinium reteinvolvatum*; (below 1987b) Lentin and Williams, 1989. •15- Foraminiferal test lining.