

محیط زیست دیرینه و رخساره‌های پالینولوژیکی سازند سنگانه در برش چینه‌شناسی امیرآباد (خراسان رضوی)

محسن علامه

دانشیار، گروه زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

*پست الکترونیک: allameh0277@mshdiau.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۸/۶/۲۰

تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۲۴

چکیده

سازند سنگانه یکی از سازندهای حوضه رسوبی کپه‌داغ به سن کرتاسه پیشین است که محیط زیست دیرینه و رخساره‌های پالینولوژیکی آن در برش امیرآباد مورد مطالعه قرار گرفته است. سنگ شناسی عمده سازند سنگانه در این برش شامل شیل‌های خاکستری تیره است که در بعضی از افق‌ها، حاوی کنکرسیون، مخروط در مخروط و فسیل‌های آمونیت می‌باشد و ۵۳۰ متر ضخامت دارد. مرز زیرین آن با سازند سرچشمه توسط یک لایه سنگ آهک فسیل‌دار مشخص می‌شود و مرز بالایی آن با سازند آیتامیر با گذر تدریجی است. برای مطالعه رخساره پالینولوژیکی و محیط دیرینه سازند سنگانه تعداد ۵۰ نمونه با فواصل معین برداشت شد و پس از آماده سازی نمونه‌ها بر اساس میزان خرده‌های آلی در اسلایدهای پالینولوژیکی، سه رخساره پالینولوژیکی مختلف شناسایی گردید. با توجه به بررسی گروه‌های اصلی پالینولوژیکی و نتایج مطالعات آماری می‌توان چنین استنباط کرد که محیط رسوبی سازند سنگانه در زمان رسوب گذاری محیطی کم اکسیژن تا فاقد اکسیژن بوده است. همچنین با توجه به داینوسیسست‌های شاخص، محیط رسوبی دریای حاشیه‌ای، تا دریای باز کم ژرفا برای سازند سنگانه در زمان رسوب گذاری پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پالینومرف؛ رخساره پالینولوژیکی؛ محیط دیرینه، کپه‌داغ؛ سازند سنگانه؛ امیرآباد.

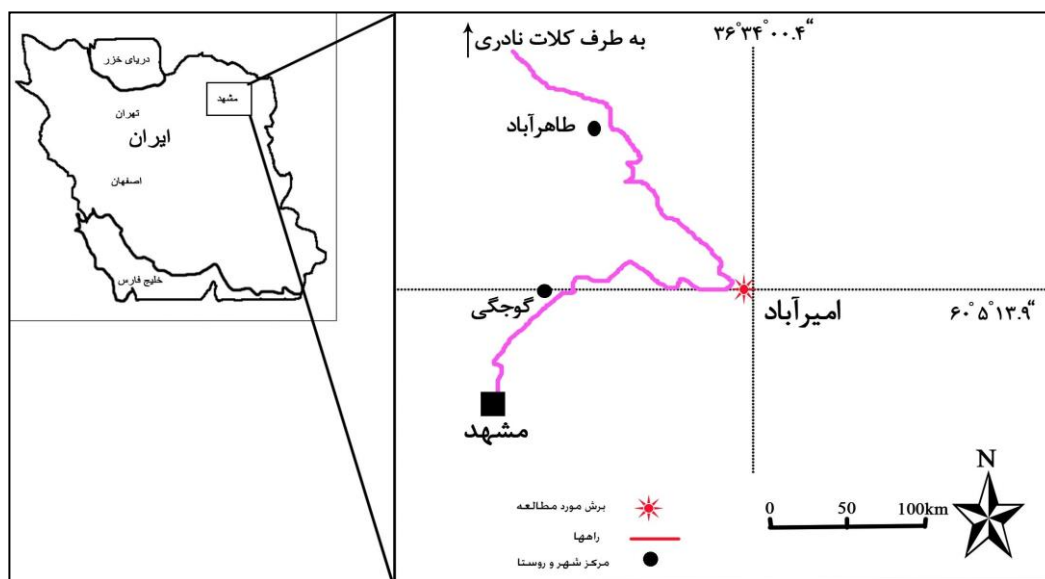
مقدمه

گروه‌های فسیلی موجود در سازند سنگانه در برش امیرآباد، پالینومرف‌ها هستند که به صورت فراوان در این سازند گسترده شده‌اند. لذا این سازند بر مبنای میکروفسیل‌های یاد شده توسط افراد مختلف و در نقاط مختلف حوضه کپه‌داغ مطالعه شده است (برای مثال: کشمیری و همکاران، ۱۳۹۳؛ شکری و همکاران، ۱۳۹۴؛ کاظمی و قاسمی‌نژاد، ۱۳۹۴). تنوع سیست داینوفلاژله‌ها نسبت به سایر گروه‌های پالینومرفی باعث تمرکز بیشتر بر این گروه فسیلی در مطالعه حاضر شده است.

پهنه ساختاری - رسوبی رسوبی کپه‌داغ در شمال خاوری ایران واقع شده است و بخشی از جنوب ترکمنستان و شمال باختر افغانستان را نیز دربرمی‌گیرد. وسعت بخش ایرانی کپه‌داغ تقریباً ۵۵۰۰۰ کیلومتر مربع است و حدود ۳/۳ درصد مساحت ایران را شامل می‌شود. این منطقه را بیشتر رسوبات دوران‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک می‌پوشانند که سترای مجموع آن‌ها در برخی نواحی به بیش از ۸۰۰۰ متر می‌رسد (افشارحرب ۱۳۷۳). سازند سنگانه یکی از واحدهای سنگی کرتاسه زیرین حوضه کپه‌داغ است. یکی از مهمترین

سازند سنگانه شامل شیل‌های خاکستری تیره حاوی کنکرسینون و فسیل‌های آمونیت و بین لایه‌های نازک سیلت‌سنگی با ساخت مخروط در مخروط است. این سازند در پایین توسط یک لایه سنگ آهک فسیل‌دار به ضخامت ۰/۵ متر از سازند سرچشمه جدا می‌گردد و مرز بالایی آن با ساند سنگانه به صورت یک گذر تدریجی است.

موقعیت جغرافیایی و چینه‌شناسی برش مورد مطالعه
سازند سنگانه در برش امیرآباد در مسیر جاده مشهد به کلات نادری در شمال باختر روستای امیرآباد با مختصات $36^{\circ} 34'$ عرض شمالی و $5^{\circ} 5'$ طول خاوری و ارتفاع ۸۵۲ متر از سطح دریا قرار گرفته است (شکل ۱). ضخامت این سازند در برش مورد مطالعه به ۵۳۰ متر می‌رسد. سنگ‌شناسی غالب



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به سازند سنگانه در برش چینه‌شناسی امیرآباد

روش مطالعه

تعداد ۵۰ نمونه با فواصل معین از ژرفای ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری لایه‌ها برداشت شد. برای تهیه اسلایدهای پالینولوژیکی از روش Traverse (1998) استفاده شده است. در حدود ۴۰ گرم از هر نمونه به دقت خرد و شسته شدند و سپس به جهت از بین بردن بخش کربناته آن، به مدت ۲۴ ساعت در اسید کلریدریک ۲۰٪ قرار داده شدند. پس از خنثی‌سازی، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در اسید فلوریدریک ۴۰٪ قرار گرفتند تا ذرات سیلیسی آن‌ها از بین روند. پس از خنثی‌سازی اسید توسط آب مقطر، نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه با اسید هیدروکلریدریک ۲۰٪ جوشانده شدند تا ژل سیلیکوفلوراید^۱ آن از بین برود و سپس آنها را از الک نایلونی ۲۰ میکرون عبور داده و نمونه‌ها با استفاده از محلول

کلرید روی ($ZnCl_2$) با وزن مخصوص ۱/۹ تا ۲ سانتی‌فیوژ شده و پالینومرف‌ها از عناصر سنگین و سایر مواد جدا شدند. اسلایدهای تهیه شده توسط میکروسکپ نوری Nikon با بزرگ‌نمایی ۱۰ تا ۱۰۰ بررسی و عکس‌برداری شدند. طبقه‌بندی و شناسایی گونه‌های داینوفلاژله بر اساس کتب و مقالات Fensome & Williams (2004)، Fensome *et al.* (2008)، Slimani *et al.* (2008, 2010, 2011) و علامه (۱۳۹۵) انجام گرفت.

پالینولوژی

در بررسی اسلایدهای پالینولوژیکی تهیه شده از سازند سنگانه در برش مورد مطالعه، مهمترین داینوفلاژله‌های شناسایی شده به شرح زیر می‌باشند (شکل ۲):

Achomosphaera neptuni, *Astrocysta* sp.,
Batiacasphaera sp., *Cerbia tabulate*,

1- Silicofluorides

پالینوفاسیس می‌توان به تعیین جایگاه رسوب‌گذاری، شناسایی روند پیش‌روی‌ها و پس‌روی‌های خط ساحلی، تفکیک محیط رسوبی، شرایط اکسیداسیون و احیا، تعیین تولید مواد دیرینه و پایداری ستون آب اشاره کرد (Tyson, 1993). مفهوم رخساره پالینولوژیکی به صورت موفقیت‌آمیزی در مطالعات رسوبات و سنگ‌های رسوبی با سن‌های مختلف به کار برده شده است (Batten 1996؛ Tyson 1995).

مشاهده و تفسیر دقیق اسلایدهای پالینولوژیکی کمک شایانی به شناخت محیط رسوبی دیرینه و شناسایی انواع رخساره‌های پالینولوژیکی می‌نماید. مهمترین عناصر موجود در اسلایدهای پالینولوژیکی، قطعات پالینولوژیکی^۲ نامیده می‌شوند که به دو دسته برج‌آ^۳ شامل داینوسیست‌ها، آکریتارک‌ها، پوسته کیتینی روزن‌داران، مواد آلی بی‌شکل با منشأ جلبک و باکتری و نابرج‌آ^۴ شامل انواع پالینوماسرال‌ها (پالینوماسرال نوع ۱ یا مواد آلی نارنجی - قهوه‌ای تیره، دارای ساختمان یا بدون ساختمان، پالینوماسرال نوع ۲ یا مواد آلی به شکل نامنظم و قهوه‌ای - نارنجی، پالینوماسرال نوع ۳ یا مواد آلی کم‌رنگ و نسبتاً نازک و نامنظم و عموماً با ساختمان اولیه، پالینوماسرال نوع ۴ یا قطعات سیاه یا نسبتاً سیاه هم‌بعد و تیغه‌ای که نوع تیغه‌ای آن خاصیت شناوری بسیار زیادی داشته و مسافت زیادی را طی می‌کند)، پولن و اسپورها تقسیم می‌شوند (Fisher, 1980؛ Van der Zwan, 1990؛ Whitaker, 1984). تمام مواد موجود در اسلایدهای پالینولوژیکی که برای تعیین رخساره پالینولوژیکی و تفسیر محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند را می‌توان در سه گروه، مواد آلی بی‌شکل (AOM)، پالینومرف‌های دریایی (MP) و فیتو کلاست‌ها (Phy) یا پالینوماسرال‌ها (PM) جای داد.

Cleistosphaeridium sp., *Coronifera oceanica*, *Cribroperidinium orthoceras*, *Cribroperidinium* sp., *Cymosphaeridium* sp., *Diconodinium* sp., *Endoscrinium campanula*, *Eucladinium* sp., *Fromea amphora*, *Gardodinium trabeculosum*, *Hystichosphaeridium* sp., *Kiokansium polypes*, *Odontochitina operculata*, *Odontochitina* sp., *Oligosphaeridium albertense*, *Oligosphaeridium* cf. *fenestratum*, *Oligosphaeridium complex*, *Oligosphaeridium pulcherrimum*, *Oligosphaeridium* sp., *Pseudoceratium polymorphum*, *Pseudoceratium retusum*, *Spiniferites ramosus*, *Spiniferites* sp.

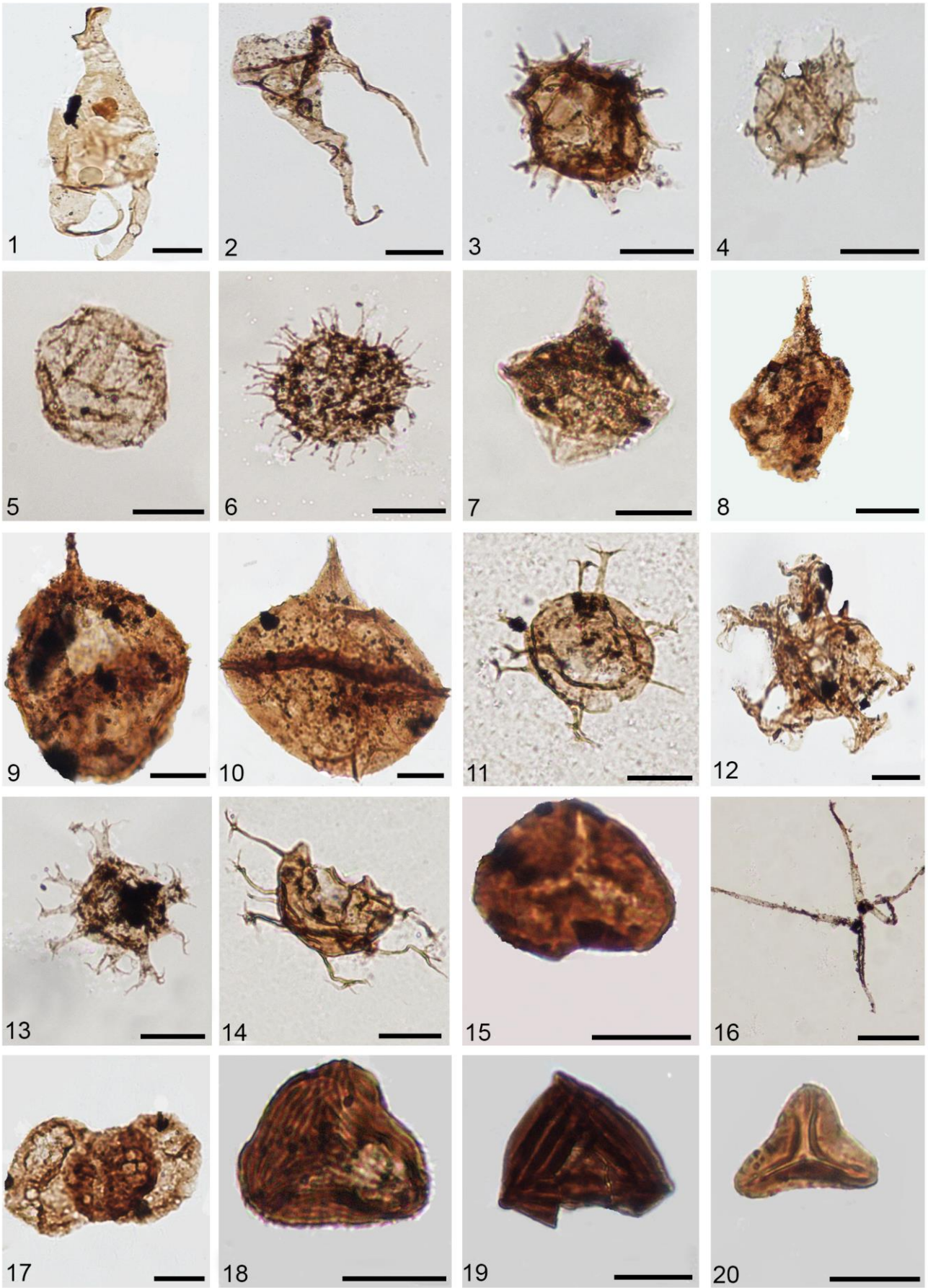
از دیگر پالینومرف‌های موجود در نمونه‌ها، می‌توان به بدنه و اسپور قارچ‌ها، پوسته کیتینی روزن‌داران، آکریتارک و اسپور و پولن‌ها اشاره نمود. مهمترین جنس و گونه‌های شناسایی شده، از اسپور و پولن گیاهان در این پژوهش شامل *Cicatricosisporites sinuosus*, *Appendicisporites* sp., *Concavissimisporites*, *Cicatricosisporites* sp., *Dictyophyllidites mortonii punctatus*, *Impardecispora Duplexisporites generalis* و *Retitriteles* sp., *apiverrucata* هستند (شکل ۲).

بررسی محیط رسوبی دیرینه

به منظور مطالعه محیط رسوبی دیرینه سازند سنگانه در برش امیرآباد رخساره‌های پالینولوژیکی این سازند مورد مطالعه قرار گرفته‌اند که در ادامه به شرح آن پرداخته می‌شود:

رخساره پالینولوژیکی

رخساره پالینولوژیکی به مجموعه رسوبات حاوی اجتماع مشخص از ماده آلی پالینولوژیکی گفته می‌شود که منعکس‌کننده یک مجموعه خاص از شرایط محیطی است. تغییر در ساختار و ترکیب رخساره پالینولوژیکی کمک مؤثری در تفسیر محیط دیرینه دارد. از مهمترین کاربردهای



← شکل ۲: تصاویر منتخبی از پالینومرفهای شناسایی شده در این پژوهش

1- *Odontochitina operculata*, 2- *Odontochitina* sp., 3-4- *Spiniferites ramosus*, 5- *Batiacasphaera* sp., 6- *Cleistosphaeridium* sp., 7- *Endoscrinium campanula*, 8- *Diconodinium* sp., 9- *Cribroperdinium orthoceras*, 10- *Cribroperdinium* sp., 11- *Oligosphaeridium* sp., 12- *Oligosphaeridium albertense*, 13- *Oligosphaeridium asterigerum*, 14- *Cymososphaeridium* sp., 15- Trilete spore, 16- Fungal body, 17- Bisaccate pollen, 18- *Cicatricosisporites sinuosus*, 19- *Cicatricosisporites* sp., 20- *Dictyophyllidites mortonii* (scale bar 20µm).

این رخساره پالینولوژیکی در نمودار سه‌گانه Tyson (1993) منطبق بر رخساره پالینولوژیکی نوع I^۵ است که نشان‌دهنده محیط رسوب‌گذاری نزدیک به ساحل می‌باشد و در نمونه‌های ۱۳ و ۳۹ دیده می‌شود.

رخساره پالینولوژیکی II

این رخساره پالینولوژیکی با درصد بسیار بالای پالینوماسرال (۶۰-۸۰ درصد) و درصد ناچیزی پالینومرف دریایی (۱-۱۰ درصد) و AOM حدود (۱۰-۲۰ درصد) مشخص می‌شود که ممکن است گاهی اوقات سیاه‌رنگ دیده شوند. پالینوماسرال‌های ۱، ۲، ۴ و پالینومرف‌ها بسیار کم هستند. این رخساره پالینولوژیکی در نمودار سه‌گانه Tyson (1993) منطبق بر رخساره پالینولوژیکی نوع II^۶ است که نشان‌دهنده محیط رسوب‌گذاری احیایی تا نیمه‌احیایی در حاشیه حوضه می‌باشد. فروانی AOM یک مشخصه برای شرایط راکد کف حوضه رسوبی است و نشان‌دهنده شرایط نیمه‌هوازی است (Van der Zwan, 1990). این رخساره پالینولوژیکی در نمونه‌های ۱ تا ۱۲، ۱۴ تا ۲۵، ۲۷ تا ۳۴، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۴۰ تا ۴۴، ۴۸ و ۴۹ دیده می‌شود.

رخساره پالینولوژیکی VI

این رخساره پالینولوژیکی با درصد زیاد پالینوماسرال (۵۲-۴۰ درصد)، مقدار ناچیزی پالینومرف دریایی (۷-۲ درصد) و AOM نسبتاً زیاد (۴۲ درصد) مشخص می‌شود. افزایش در اندازه خرده‌های پالینولوژیکی در این رخساره پالینولوژیکی، کاهش در نسبت پالینوماسرال‌های تیغه‌ای شکل نوع چهارم و

AOM: مواد آلی بی‌شکل را شامل شده که به دو صورت تیره و شفاف دیده می‌شود. این مواد هر چند ساختار مشخصی ندارند، ولی در تفاسیر دیرینه بوم‌شناختی و تعیین نوع کروژن به عنوان مهمترین عناصر شناخته می‌شوند. مقدار AOM مستقیماً وابسته به تغییرات سطح آب دریاست.

پالینومرف‌های دریایی (MP): شامل داینوفلاژله‌ها، آکریتارک‌ها، آستر داخلی پوسته روزن‌داران و ... می‌شوند. فراوانی تنوع و شکل این اجزای آلی نشان‌دهنده شرایط دیرینه بوم‌شناختی و محیطی است.

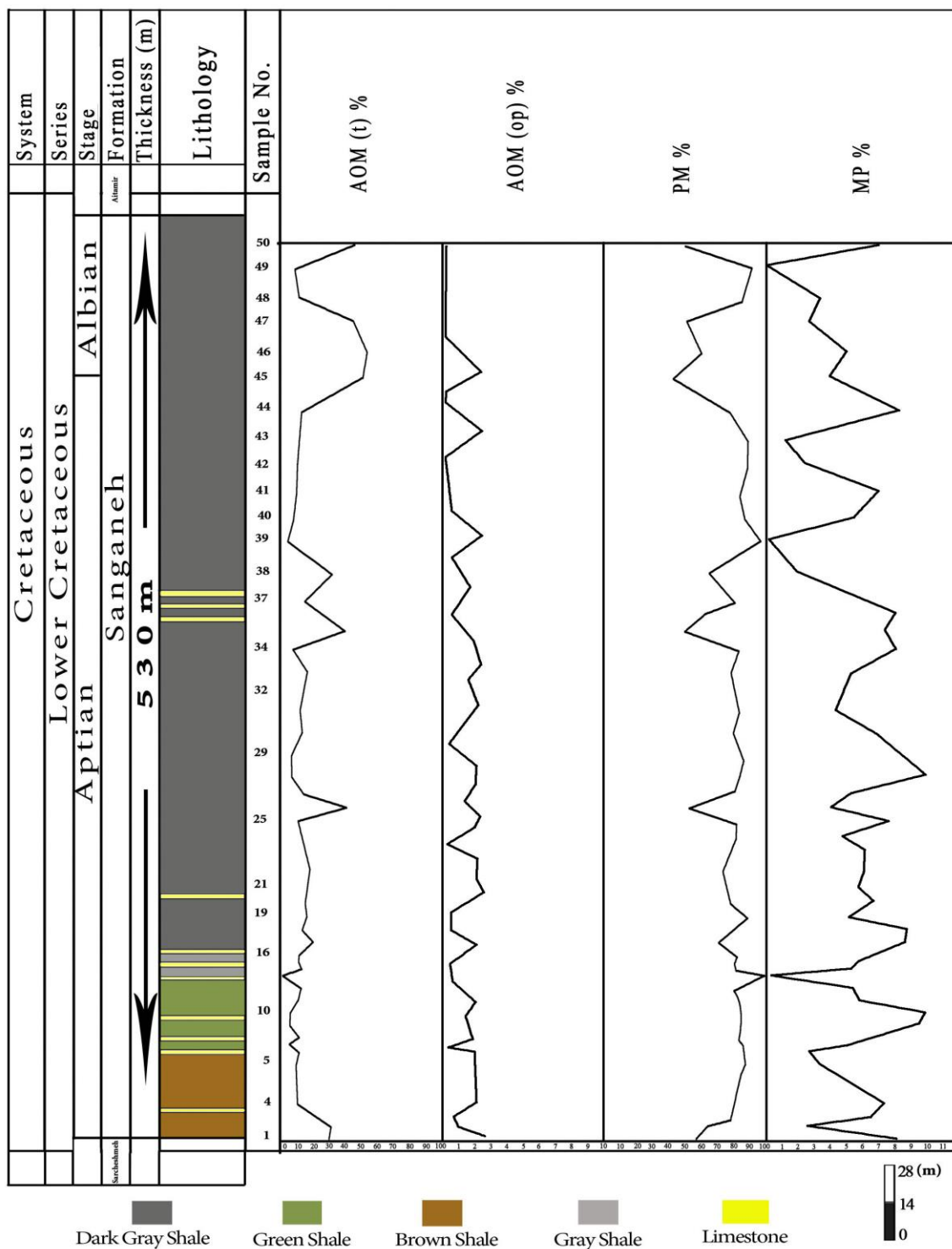
فیتوکلاست‌ها (Phy): شامل تمامی ذراتی است که از محیط خشکی وارد حوضه می‌شوند. این گروه خرده‌های برگ، ریشه، کوتیکول و ... را دربرمی‌گیرند.

پس از تهیه ۱۰۰ اسلاید پالینولوژیکی و مطالعه آنها برای تشخیص رخساره پالینولوژیکی، عناصر پالینولوژیکی شمارش، درصدگیری و تقسیم‌بندی شدند (شکل ۳) و بر مبنای جانمایی آن‌ها نمودار سه‌گانه Tyson (1993) سه رخساره پالینولوژیکی به شرح زیر شناسایی شد (شکل ۴):

رخساره پالینولوژیکی I

این رخساره پالینولوژیکی با درصد بسیار بالای پالینوماسرال (۸۰-۹۰ درصد) و مقدار ناچیزی پالینومرف دریایی (۱-۵ درصد) و AOM مشخص می‌شود که ممکن است گاهی اوقات سیاه‌رنگ دیده شود. در این رخساره پالینولوژیکی، پالینوماسرال‌های ۱، ۲، ۴ و پالینومرف‌ها نادر هستند؛ اگرچه پالینوماسرال‌های تیغه‌ای گاهی اوقات فراوانی بالایی دارند. آستر داخلی پوسته روزن‌داران نیز حضور دارند که نشان‌دهنده وجود اکسیژن در محیط زیست قدیمه است.

5- Highly proximal shelf or basin
6- Marginal dysoxic - anoxic basin



شکل ۲: نمایش درصد مواد آلی بی شکل روشن (AOM_(t))، مواد آلی بی شکل تیره (AOM_(op))، پالینوماسرال (PM)، پالینومرف‌های دریایی (MP)

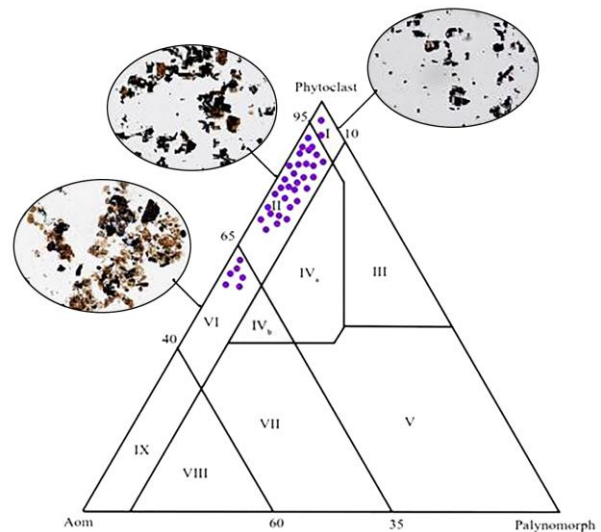
پالینولوژیکی در نمودار سه گانه Tyson (1993) منطبق بر رخساره پالینولوژیکی نوع VI^v است که نشان دهنده محیط

گردشگی خرده‌های پالینولوژیکی دیده می‌شود. وفور AOM و همچنین حضور پالینوماسرال‌های نوع ۴ همراه با تنوع نسبی سیستم‌های داینوفلاژله‌ها، شرایط دریای باز را نشان می‌دهد (Van der Zwan, 1990). این رخساره

نسبت AOM شفاف (AOM₀) به AOM تیره (AOM_{OP})
 اکسیژن به عنوان یکی از عوامل مهم در دیرینه بوم شناسی و به ویژه بازسازی محیط زندگی دریایی مطرح است زیرا میزان اکسیژن در تشکیل هیدروکربورها اهمیت به‌سزایی دارد. با وجود اکسیژن، باکتری‌های هوازی با استفاده از اکسیژن محلول در آب قادر به تجزیه مواد آلی خواهند بود و در صورت بالا بودن تجزیه مواد آلی تمام اکسیژن و هیدروژن خود را از دست داده و فقط مقدار کمی کربن باقی می‌ماند و AOM رنگ تیره پیدا می‌کند. باکتری‌های بی‌هوازی در محیطی فاقد اکسیژن، کمی پایین‌تر از سطح رسوب، AOM شفاف را ایجاد می‌کنند. در اغلب شرایط احیایی باکتری‌های بی‌هوازی مواد آلی را به نیترات و سولفات تجزیه می‌کنند و در اثر این فرآیند نیتروژن، دی‌اکسید کربن، آب و متان تولید می‌کنند (Tyson, 1989; Bombardiere & Gorin, 1994; Waveren & Visscher, 1994).
 (2000).

حفظ شدگی پالینومرف‌های دریایی وابستگی شدیدی به میزان اکسیژن و سرعت رسوب‌گذاری دارد. بهترین درجه حفظ شدگی پالینومرف‌های دریایی به ویژه داینوفلاژله‌ها در شرایط نبود اکسیژن و سرعت رسوب‌گذاری بالاست زیرا نرخ بالای رسوب‌گذاری میزان نفوذ اکسیژن در رسوبات و تجزیه و فاسد شدن داینوفلاژله‌های با دیواره آلی را کاهش می‌دهد. اگر میزان اکسیژن و سرعت رسوب‌گذاری پایین باشد، باعث عدم حفاظت پالینومرف‌ها و تبدیل آنها به AOM شفاف می‌شود و اگر میزان اکسیژن بالا و سرعت رسوب‌گذاری پایین باشد، پالینومرف‌های دریایی تغییر شکل داده و به AOM تیره رنگ تبدیل می‌شوند (Tyson, 1993; Bombardier & Gorin, 1994; Waveren & Visscher, 1994).
 (2000).

چنانچه نسبت AOM شفاف به AOM تیره بیش از یک باشد نشان از شرایط نبود اکسیژن و اگر این نسبت کمتر از یک



شکل ۳: پالینوفاسیس و محیط رسوبی سازند سنگانه در برش امیرآباد بر مبنای تمودار سه‌گانه (1993) Tyson

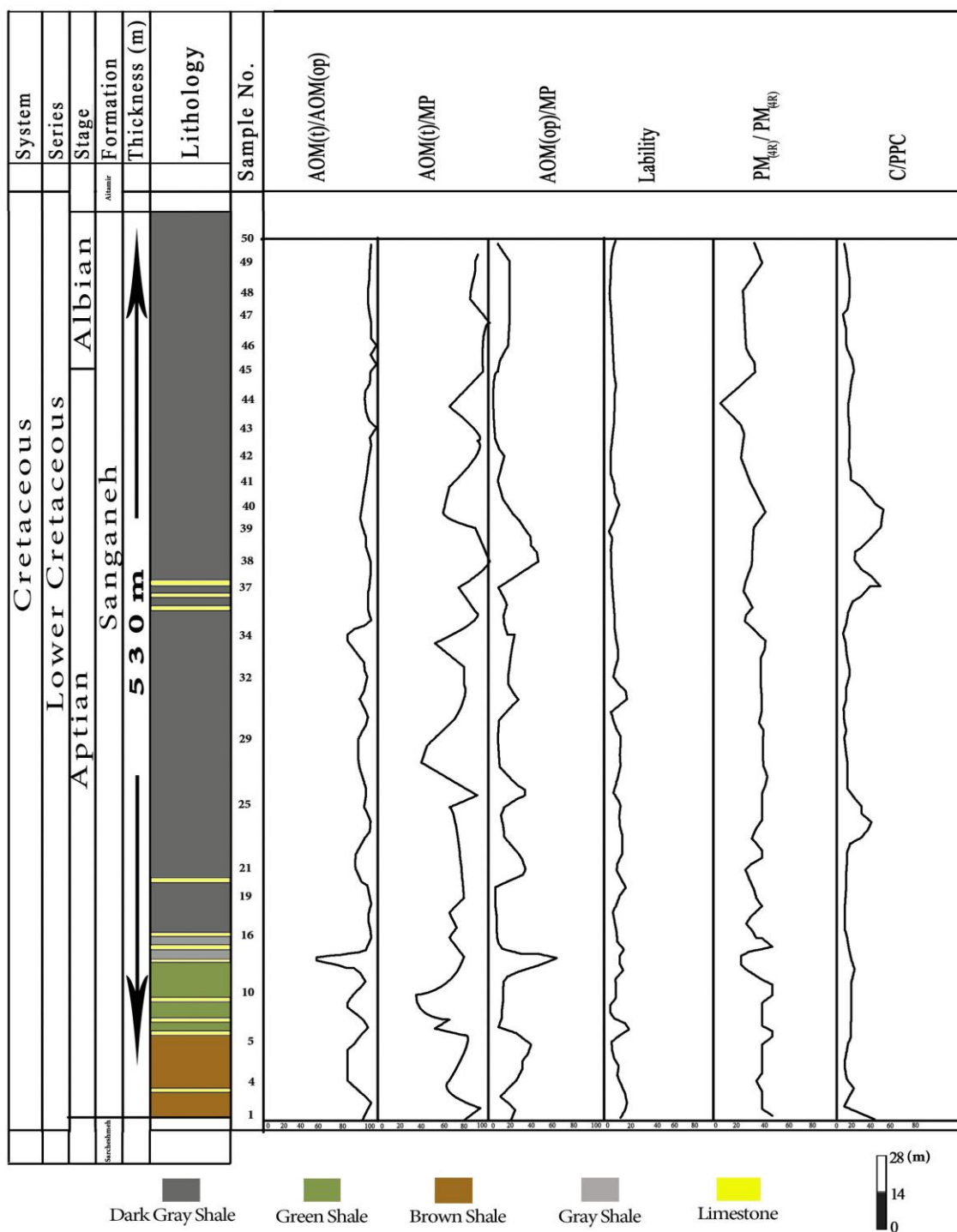
I: highly proximal shelf or basin II: marginal dysoxic-anoxic basin III: heterolithic oxic shelf (proximal shelf) IV: shelf to basin transition V: mud-dominated oxic shelf VI: proximal suboxic-anoxic shelf VII: distal dysoxic-anoxic shelf VIII: distal anoxic shelf IX: distal suboxic-anoxic basin.

آرام‌تر و نسبتاً ژرف‌تر به هنگام رسوب‌گذاری سازند سنگانه می‌باشد و در نمونه‌های ۲۶، ۳۵، ۴۵، ۴۶، ۴۷ و ۵۰ دیده می‌شود.

میزان اکسیژن محیط رسوبی دیرینه

عوامل حفاظت مواد آلی بر اساس چگونگی نسبت درصد فراوانی سه گروه اصلی عناصر پالینومرفی (پالینوماسرال‌ها، پالینومرف‌های دریایی و AOM) سنجیده می‌شود که سهم زیادی در تفاسیر دیرینه بوم شناختی دارند. برای تخمین میزان اکسیژن در زمان انباشت یک رسوب باید عوامل حفاظت از مواد آلی مورد ارزیابی قرار گیرند.

در این پژوهش سعی شده است با استفاده از اطلاعات رخساره پالینولوژیکی و مطالعه تعدادی از عوامل حفظ‌شدگی مواد آلی تفسیر بهتری از محیط رسوبی دیرینه ارائه شود. این نتایج از ترکیب معیارهای کیفی و کمی به دست آمده است (شکل ۵). مهمترین عوامل مورد نظر به شرح زیر می‌باشند:



شکل: نمایش تغییرات نسبت AOM روشن به تیره، AOM روشن به پالینومرف‌های دریایی، AOM تیره به پالینومرف‌های دریایی، پالینوماسرال‌های قهوه ای به تیره (لابیلیتی) و پالینوماسرال‌های تیره هم‌بعد به تیغه‌ای، سیستم‌های کوریت به پروکسیمیت، پروکسیموکوریت، کوریت.

سازند عموماً یکسان است و همواره از یک بزرگتر می‌باشد که بیانگر شرایط نبود اکسیژن یا میزان بسیار کم آن (در تعداد کمی از اسلایدها) در زمان رسوب‌گذاری سازند است (شکل ۵).

باشد نشان‌دهنده شرایط اکسیژن‌دار است (Bombardier & Gorin, 2000). بررسی و محاسبه این عامل در سازند سنگانه در برش چینه‌شناسی مورد مطالعه نشان می‌دهد که این نسبت در طول

عامل لابیلتی^۸

این عامل برای پی بردن به درجه حفظ شدگی مواد آلی و میزان تغییرات سطح آب دریا می‌باشد و منطبق بر نسبت پالینوماسرال‌های قهوه‌ای به پالینوماسرال‌های تیره (BP/OP) است (Bombardier & Gorin, 2000). پالینوماسرال قهوه‌ای وابسته به گیاهان خشکی است و نشان‌دهنده محیط نزدیک به ساحل می‌باشد (Waveren & Visscher, 1994؛ Schioler, 2002). پالینوماسرال تیره نشان‌دهنده محیط نیمه اکسیژن‌دار، نیمه آرام و دور از ساحل است و معمولاً در محیط دور از ساحل زیاد می‌شود. برای افزایش اطمینان و دقت، عامل لابیلتی باید در کنار دیگر عوامل مورد بررسی قرار گیرد. افزایش لابیلتی به همراه افزایش میزان فراوانی و تنوع پالینومرف‌های دریایی و کاهش AOM نشان‌دهنده حفظ شدگی بالای مواد آلی می‌باشد. به خاطر نبود یا حضور بسیار اندک پالینوماسرال قهوه‌ای در نمونه‌های مورد مطالعه از سازند سنگانه، عامل لابیلتی بسیار پایین است که بیانگر شرایط دور از ساحل، دور از منشأ و بسیار کم‌اکسیژن است (شکل ۵).

نسبت شفاف AOM_(t) به پالینومرف دریایی (MP) و AOM تیره AOM_(op) به پالینومرف دریایی (MP)

این عامل به عنوان عامل تکمیل‌کننده برای سنجش میزان اکسیژن و شرایط رسوب‌گذاری بررسی می‌شود. بنابراین افزایش AOM شفاف به پالینومرف دریایی مبین شرایط کم اکسیژن تا فاقد اکسیژن و سرعت رسوب‌گذاری پایین است و افزایش نسبت AOM تیره به پالینومرف دریایی نشان‌دهنده شرایط فاقد اکسیژن و نرخ رسوب‌گذاری بالاست. در نتیجه با توجه به اطلاعات به دست آمده از سازند سنگانه، افزایش AOM شفاف به پالینومرف دریایی مبین شرایط کم‌اکسیژن تا فاقد اکسیژن و سرعت رسوب‌گذاری پایین می‌باشد و

کاهش نسبت AOM تیره به پالینومرف دریایی نشان‌دهنده شرایط کم اکسیژن در طول رسوب‌گذاری سازند سنگانه در برش مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۵).

تغییرات ژرفای حوضه رسوبی دیرینه

در کنار عامل لابیلتی و نسبت $AOM_{(t)} / AOM_{(op)}$ از نسبت جورشدگی و گردشگی ماسرال‌های تیره نیز استفاده شد.

پالینوماسرال‌های تیره هم‌بعد PM_(4R) به پالینوماسرال‌های تیغه‌ای شکل PM_(4B)

این عامل در کنار لابیلتی می‌تواند نشان‌دهنده انرژی محیط باشد. پالینوماسرال‌های تیره تیغه‌ای شکل به دلیل شناوری بسیار بالا می‌توانند مسافت زیادی را طی نمایند و اساساً در محیط‌های دور از ساحل فراوان‌تر می‌باشند (Boulter & Riddick, 1986). با این وجود، باید همیشه این نکته را در نظر داشت که آشفستگی زیستی ممکن است نقش مهمی در شکستن قطعات پالینوماسرال نوع ۴ داشته باشد (Hart, 1986). با توجه به اطلاعات به دست آمده از سازند سنگانه و در بررسی نمودار پالینوماسرال‌های تیره هم‌بعد به پالینوماسرال‌های تیغه‌ای شکل، به طور کلی نسبت بالای پالینوماسرال‌های تیره تیغه‌ای نشانه دیگری از ژرفای زیاد حوضه رسوب‌گذاری می‌باشد (شکل ۵).

نسبت داینوفلاژله‌های کوریت به پروکسیمیت، پروکسیمو کوریت و کوییت (C/PPC)

برای تعیین ژرفا با استفاده از داینوفلاژله‌ها می‌توان از یک عامل به نام "نسبت سیستم‌های کوریت/پروکسیمیت، پروکسیمو کوریت، کوییت" که به اختصار C/PPC بیان می‌شود، استفاده کرد. بدین ترتیب، افزایش فرم‌های کوریت به مجموع فرم‌های پروکسیمیت و کوییت نشان‌دهنده افزایش ژرفا (شرایط پیش‌رونده) است و بالعکس. همچنین

2000). وجود جنس‌هایی از گروه *Spiniferites* و دریایی باز هستند و در بعضی از مقالات شاخص محیط نریتیک خارجی معرفی شده‌اند (Heimhofer et al., 2005). داینوفلاژله‌های راسته گونیالو کوئید برای تعیین شرایط نریتیک داخلی و خارجی کاربرد دارند زیرا مقاومت بیشتری در برابر شرایط اکسیژن‌دار دارند (Sluijs et al., 2005). به همین دلیل از آنها می‌توان برای تعیین محیط نریتیک داخلی و خارجی استفاده کرد. به عنوان مثال *Cyclonephelium* از سیستم‌های گونیالو کوئید و نشان‌دهنده محیط رسوبی دریای باز (نریتیک) می‌باشد. حضور گونه *Oligosphaeridium complex* شرایط نریتیک دور از ساحل را نشان می‌دهد (Quattrocchio et al., 2006). همچنین گروه *Oligosphaeridium* با تزیینات طویل را شاخص محیط دریای باز و نریتیک خارجی می‌دانند. جنس *Odontochitina* نشانگر محیط نریتیک داخلی است. داینوسیست‌های *Circulodinium distinctum*، *Coronifera oenica*، *Cribrerodinium orthoceras*، *Oligosphaeridium sp.*، *Cymosphaeridium*، *Spiniferites ramosus* و *complex* معرف آب‌های گرم می‌باشند (Leereveld, 1995؛ Svobodova et al., 2011). وجود گونه *Cleistosphaeridium sp.* مشخصه دریای باز اما کم ژرفا می‌باشد (Jaramillo et al. 2006). در اسلایدهای شماره ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۰ و ۴۱ تا ۵۰ که تعداد داینوفلاژله‌ها نسبت به نمونه‌های دیگر بیشتر است، حضور جنس‌های *Coronifera*، *Batiacasphaera*، *Cribrerodinium* و *Spiniferites* معرف محیط نریتیک داخلی می‌باشد. افزایش فرم‌های کوئید نسبت به سایر فرم‌ها در این نمونه‌ها می‌تواند نشانه پس‌روی و کاهش ژرفای حوضه رسوبی باشد.

سیست‌های کوریت با زواید طویل نشان‌دهنده محیط آرام و کم‌انرژی و سیست‌های کوئید و پروکسیمیت با صفحه‌بندی ستر و بدون زواید طویل نشان‌دهنده شرایط پرانرژی و محیط‌های دریایی کم ژرفا هستند (Ghasemi-Nejad et al., 1999). حضور نسبتاً فراوان داینوفلاژله‌های پروکسیمیت، کوئید و پروکسیمو کوریت مؤید ژرفای کم حوضه رسوب گذاری در این برش چینه‌شناسی می‌باشد (Vajda 2003; Ghasemi-Nejad et al., 1999) (شکل ۵).

داینوفلاژله‌های شاخص محیط

داینوفلاژله‌ها برای تعیین نوع محیط رسوب گذاری به کار می‌روند. بر اساس شکل، داینوسیست‌هایی که دارای تزیینات کوتاه یا فاقد تزیینات می‌باشند به وفور در محیط ساحلی و نزدیک به ساحل یافت می‌شوند، اما انواع با تزیینات طویل مؤید محیط دور از ساحل هستند. حضور جنس‌هایی از داینوفلاژله‌ها با تزیینات طویل و یا جنس‌هایی از گروه *Spiniferites* شاخص محیط نریتیک خارجی^۹ می‌باشند، در حالی که حضور جنس‌هایی از گروه *Circulodinium-Cribrerodinium* مشخصه شرایط نریتیک داخلی است. فراوانی *Cribrerodinium* در بازه‌های کمبود شدید اکسیژن در برش سنگانه حاکی از محیط‌های کم ژرفا تر است. *Cribrerodinium* شاخص محیط نریتیک داخلی است (Peyrot et al., Wilpshaar & Leereveld, 1994). جنس *Spiniferites* معمولاً شاخص شرایط پس‌رونده است، اما در بعضی مقالات نشان‌دهنده شرایط محیط دریایی باز نیز شناخته شده است. بر این اساس با کمک عوامل دیگری از جمله پالینوماسرال‌ها و مواد بی‌شکل می‌توان گفت اگر میزان *Spiniferites* با تنوع و فراوانی داینوفلاژله‌ها همراه باشد، بیشتر نشان‌دهنده شرایط محیطی دریای باز است (Mahmoud & Moawad, 2012؛ Guler et al., 2013).

سنگانه در برش روستای امیرآباد و مطالعه بر روی رخساره‌های پالینولوژیکی آن با استفاده از سه گروه اصلی عناصر پالینولوژیکی (پالینو ماسرال‌ها، پالینومرف‌ها و AOM) و انطباق آنها بر نمودار سه گانه Tyson (1993)، سه پالینوفاسیس برای سازند سنگانه تفکیک و شرایط محیطی غالب بر سازند نیمه‌هوایی و کم انرژی تعیین گردید. در بررسی داینوفلاژله‌های شاخص محیطی، محیط رسوب‌گذاری سازند سنگانه از نریتیک داخلی تا نریتیک خارجی متغیر بوده است. مطالعات آماری انجام شده بر روی برخی از عوامل محیطی، شرایط کم اکسیژن تا فاقد اکسیژن با تغییرات جزئی در طول نهشت سازند سنگانه را تأیید می‌نماید. حضور فراوان داینوسیست‌هایی از قبیل *Cribroperidinium* مؤید محیط کم ژرفا در زمان رسوب‌گذاری سازند می‌باشد. ضمناً حضور اسپور و پولن‌ها در برخی نمونه‌ها تأییدی بر این موضوع است.

حضور جنس‌هایی از داینوفلاژله‌ها از گروه *Oligosphaeridium* با تریانات طویل در اسلایدهای ۱ و ۶، معرف محیط نریتیک خارجی می‌باشند. به دلیل وفور *Cribroperidinium* در انتهای سازند سنگانه می‌توان به محیط نریتیک داخلی اشاره داشت. در سایر نمونه‌ها تنوع داینوفلاژله‌ها خیلی کم است و افزایش شدید ماسرال‌ها به همراه حضور جنس *Spiniferites* و حضور تعدادی اسپور و پولن معرف محیط نریتیک خارجی به سمت ساحل می‌باشد. حضور جنس‌هایی از اسپورهای *Cicatricosisporites*، *Triplanosporites* و *Deltoidospora* نشانگر آب و هوای مرطوب و شرایط محیط گرمسیری است (Kedves, 1986; Mahmoud et al., 2007).

نتیجه‌گیری

با توجه به اسلایدهای پالینولوژیکی تهیه شده از سازند

منابع

- افشارحرب، ع.، ۱۳۷۳. زمین‌شناسی ایران: زمین‌شناسی کپه‌داغ. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۷۵ ص.
- شکری، ن.، قاسمی‌نژاد، ا.، عاشوری، ع.ر.، ۱۳۹۴. پالینواستراتیگرافی سازند سنگانه در شرق و مرکز حوضه رسوبی کپه‌داغ بر مبنای سیست داینوفلاژله‌ها. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ۳۱ (۱): ۱-۱۲.
- علامه، م.، ۱۳۹۵. اطلس جامع داینوفلاژله‌های دوره کرتاسه حوضه رسوبی کپه‌داغ. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد و انتشارات نگاران سبز، ۱۵۲ ص.
- کاظمی، ح.، قاسمی‌نژاد، ا.، ۱۳۹۴. مطالعه محیط دیرینه و چینه‌نگاری سکانشی سازند سنگانه در برش قلعه جوق (شمال بجنورد) بر اساس محتوای مواد ارگانیکی واحد سنگی. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، دانشگاه اصفهان، ص ۶۹-۸۲.
- کشمیری، م.، قاسمی‌نژاد، ا.، عاشوری، ع.ر.، یزدی مقدم، م.، جمالی، ا.م.، ۱۳۹۳. پالینولوژی و پالئواکولوژی سازندهای سرچشمه و سنگانه در برش چینه‌شناسی باغک در شرق کپه‌داغ. پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، ۳۰ (۳): ۱۷-۳۳.
- Batten, D.J., 1996. Palynofacies and palaeoenvironmental interpretation. In: Jansonius, J., & McGregor, D.C., (eds.), Palynology: Principles and Applications. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas, 3: 1011-1064.
- Bombardiere, L., & Gorin, G.E., 2000. Stratigraphical and lateral distribution of sedimentary organic matter in Upper Jurassic carbonates of SE France. *Sedimentary Geology*, 132: 177-203.
- Boulter, M.C., & Riddick, A., 1986. Classification and analysis of palynodebris from the Palaeocene sediments of the Forties Field. *Sedimentology*, 33: 871-886.

- Fensome, R.A., & Williams, G.L., 2004. The Lentin and Williams Index of Fossil Dinoflagellates. *American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation*, Contributions Series 42: 1-1097.
- Fensome, R.A., MacRae, R.A., & Williams, G.L., 2008. DINOFLAJ2, Version 1. *American Association of Stratigraphic Palynologists*, Data Series no. 1.
- Fisher, M.J., 1980. Kerogen distribution and depositional environments in the Middle Jurassic of Yorkshire UK. *Proceedings of the 4th International Palynological Conference* (Lucknow) 2: 574-580.
- Ghasemi-Nejad, E., Sarjeant, W.A.S., & Gygi, R., 1999. Palynology and paleoenvironment of the uppermost Bathonian and Oxfordian (Jurassic) of The Northern Switzerland Sedimentary Basin. *Kommission der Schweizerischen Palaontologischen Abhandlungen*, Basel, 119: 69 p.
- Guler, M.V., Lazo, D.G., Pazos, P.J., Borel, C.M., Ottone, E.G., Tyson, R.V., Cessaretti, N., & Aguirre-Urreta, M.B., 2013. Palynofacies analysis and palynology of the Agua de la Mula Member (Agrio Formation) in a sequence stratigraphy framework, Lower Cretaceous, Neuquen Basin, Argentina. *Cretaceous Research*, 41: 65-81.
- Hart, G.F., 1986. Origin and classification of organic matter in clastic systems. *Palynology*, 10 (1): 1-23.
- Heimhofer, U., Hochuli, P.A., Herrle, J.O., & Weissert, H., 2005. Contrasting origins of Early Cretaceous black shales in the Vocontian basin: Evidence from palynological and calcareous nannofossil records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 235 (1): 93-109.
- Jaramillo, C., Rueda, M.J., & Mora, G., 2006. Cenozoic plant diversity in the Neotropics. *Science*, 311 (5769): 1893-1896.
- Kedves, M., 1986. Etudes palynologiques sur les sediments préquaternaires de L`Egypt Eocene. *Revista Española de Micropaleontología*, 18: 5-26.
- Leereveld, H., 1995. Dinoflagellate cysts from the Lower Cretaceous Rio Argos succession (SE Spain). *LPP Foundation*, 175 p.
- Mahmoud, M.S., Soliman, H.A., & Deaf, A.S., 2007. Early Cretaceous (Aptian-Albian) palynology of the Kabrit-1 borehole, onshore Northern Gulf of Suez. *Egypt Revista Española de Micropaleontología*, 39 (3): 169-187.
- Mahmoud, M.S., & Moawad, A.R.M., 2000. Jurassic-Cretaceous (Bathonian to Cenomanian) Palynology and stratigraphy of the west Tiba- 1 borehole, Northern western desert Egypt. *Journal of Africa Earth Science*, 30 (2): 401-416.
- Peyrot D., Barroso-barcenilla, F., & Feist-Burkhardt, S., 2012. Paleoenvironmental controls on late Cenomanian- early Turonian dinoflagellate cyst assemblages from Condemios (Central Spain). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 180: 25-40.
- Quattrocchio, M.E., Martinez, M.A., Carpinelli, P.A., & Volkheimer, W., 2006. Early Cretaceous palynostratigraphy, palynofacies and palaeoenvironments of well sections in northeastern Tierra del Fuego, Argentina. *Cretaceous Research*, 27: 584-602.
- Schioler, P., 2002. Palynofacies and sea level changes in the middle Coniacian-Late Campanian (Late Cretaceous) of the East Coast Basin, New Zealand. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 188: 101-125.
- Slimani, H., Louwye, S., Dusar, M., & Lagrou, D., 2011. Connecting the Chalk Group of the Campinen Basin to the dinoflagellate cyst biostratigraphy of the Campanian to Danian in the bore hole Meer (northern Belgium). *Nether lands Journal of Geosciences*, 90: 129-164.
- Slimani, H., Louwye, S., & Toufiq, A., 2010. Dinoflagellate cysts from the Cretaceous-Palaeogene boundary at Ouled Haddou, southeastern Rif, Morocco: biostratigraphy, paleoenvironments and paleobiogeography. *Palynology*, 34 (1): 90-124.
- Slimani, H., Louwye, S., Toufiq, A., Verniers, J., & De Conink, J., 2008. New dinoflagellate cyst species from Cretaceous/Palaeogene boundary deposits at Ouled Haddou, south-eastern Rif, Morocco. *Cretaceous Research*, 29: 329-344.
- Sluijs, A., Pross, J., & Brinkhuis, H., 2005. From greenhouse to icehouse; organic-walled dinoflagellate cysts as paleoenvironmental indicators in the Paleogene. *Earth-Science Reviews*, 68: 281-315.
- Svobodová, M., Švábenická, L., Skupien, P., & Hradecká, L., 2011. Biostratigraphy and paleoecology of the Lower Cretaceous sediments in the Outer Western Carpathians (Silesian Unit, Czech Republic), *Geologica Carpathica*, 62 (4): 309-332.
- Traverse, A., 1998- Palaeopalynology, 1st edition. *London, Unwin Hyman, Boston*, 600 p.

- Tyson, R.V., 1989. Late Jurassic palynofacies trend, piper and kimmerdgian clay Formation, UK onshore and Northern Sea. *In: Batten D.J., & Keen, M.C., (eds.), Northwest European Micropaleontology and Palynology. Ellis Horwood Publishers, Chichester, 135-172.*
- Tyson, R.V., 1993. Palynofacies analysis. *In: Jenkins, D.G. (ed.), Applied Micropaleontology. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 153-191.*
- Tyson, R.V., 1995. Sedimentary Organic Matter: organic facies and palynofacies. *Chapman & Hall, London. 615 p.*
- Vajda, V., 2003. Pollen and spores in marine Cretaceous/Tertiary boundary sediments at mid-Waipara River, North Canterbury. *New Zealand Journal of Geophysics, 46: 255-273.*
- Van Der Zwan C.J., 1990. Palynostratigraphy and palynofacies reconstruction of the Upper Jurassic to Lowermost Cretaceous of the Dra field, offshore Mid Norway. *Review of Palaeobotany and Palynology, 62 (1): 157-186.*
- Waveren, I., & Visscher, H., 1994. Analysis of the composition and selective preservation of organic matter in surficial deep-sea Sediment from a high-productivity area (Bandasa, Indonesia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology & Palaeocology, 112: 85-111.*
- Whitaker, M., 1984. The usage of palynology in definition of Troll Field geology, Reduction of uncertainties in innovative reservoir geomodelling. *In: 6th Offshore Northern Seas Conference and Exhibition Stavanger. Norsk Petroleumforening, 1984: Paper G6.*
- Wilpshaar, M., & H. Leerveld, 1994. Palaeoenvironmental change in the Early Cretaceous Vocontian Basin (SE France) reflected by dinoflagellate cyst. *Review of Palaeobotany and Palynology, 84: 121-128.*

Palaeoecology and Palynofacies of the Sanganeh Formation in Amir Abad Stratigraphic Section (Khorasan-e- Razavi Province)

Allameh, M.*

Associate Professor, Department of Geology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

*Email: allameh0277@mshdiau.ac.ir

Introduction

The Sanganeh Formation is one of Early Cretaceous formations which is deposited in the Kopet-Dagh sedimentary basin. It is investigated from palynofacies and palaeoecological points of view in Amir Abad stratigraphic section. This formation has a thickness of 530 m and is mainly composed of dark grey shales. It contains septarian nodules as well as cone-in-cone structures with ammonite in some horizons. The Sanganeh Formation overlaid the Sarcheshmeh Formation and is distinguished by a limestone rich-in fossil and is gradually underlain by the Aitamir Formation. Sanganeh Formation in the Amirabad section is located at 36°34' northern latitude and 60° 5' eastern longitude 852 meter above sea level, in Amirabad village along Mashhad Kalat road.

Discussion

50 samples were systematically collected from the Sanganeh Formation. Traverse method (Traverse 1998) was used to produce Palynological slides. About 40 grams of each samples were cleaved and washed carefully and kept in 20% concentration HCL for 24 hours and afterward 24 hours in 40% concentration HF. Furthermore, samples were boiled in 20 concentration HCL for 20 minutes and sieved using 20 micron nylon sieve. Moreover, in order to separate palynomorphs from heavier materials, samples were centrifuged with zinc chloride solution between 1.9 to 2 densities. Fensome and Williams (2004), Fensome et al., (2008), Slimani et al. (2008, 2010, 2011), were used for categorizing and identification of dinoflagellates species. The following species are the most important dinoflagellates that were identified from analysis of Palynological slides from Sanganeh Formation:

Achomosphaera neptuni- *Astrocysta* sp.- *Batiacasphaera* sp.- *Cerbia tabulate*- *Cleistosphaeridium* sp.- *Cribrorperidinium* sp.- *Cribrorperidinium orthoceras*- *Cymosphaeridium* sp.- *Coronifera oceanica*- *Diconodinium* sp.- *Endoscrinium campanula*- *Eucladinium* sp.- *Fromea amphora*- *Gardodinium trabeculosum*- *Hystrichosphaeridium* sp.- *Kiokansium polypes*- *Odontochitina* sp.- *Odontochitina operculata*- *Oligosphaeridium albertense*- *Oligosphaeridium* cf. *fenestratum*- *Oligosphaeridium complex*- *Oligosphaeridium pulcherrimum*- *Oligosphaeridium* sp.- *Pseudoceratium polymorphum*- *Pseudoceratium retusum*- *Spiniferites* sp.- *Spiniferites ramosus*.

From the identified fossils and different Palynological elements, three species of palynofacies were identified: 1) Highly proximal shelf or basin, 2) Marginal dysoxic - anoxic basin, 3) Proximal suboxic-anoxic shelf. A good interpretation of the environments can be obtained, using the data from Palynological Facies and study of some conservation factors of organic materials. These results are obtained from the combination of quantitative and qualitative criteria. Most important factor are listed below:

Fraction of transparent AOM to opaque AOM: This factor demonstrates the less oxygen or low oxygen (in very few slides) conditions during sedimentation.

Lability factor: The Lability factor for the Sanganeh Formation samples show low levels of Lability factor, due to lack of existence or low existence of brown palynomacerals trace in these samples. This indicates that deposition has taken place far from shore, far from source and extremely in the low oxygen conditions.

Transparent AOM to fraction of marine palynomorphs fraction and opaque AOM to marine

Palynomorphs fraction: Increases from AOM_t to MPs is indicator of low oxygen or oxygen free conditions and slow sedimentation rate, also decreases from AOM_{op} to MPs is indicator of low oxygen conditions during sedimentation in Sanganeh Formation.

Opaque same dimension Palynomaceral to Spiky Palynomaceral fraction: In general, high fraction of PM_{4R} to PM_{4B} is indicator of sedimentation in deeper parts of the basin.

Corate to proximate Dinoflagellate fraction, proximocorate to cavate (C/PPC): High occurrence of proximate, cavate and proximocorate Dinoflagellate is indicator of shallow sedimentation in this Stratigraphy Section. (Vajda 2003; Ghasemi-Nejad et al., 1999)

Conclusion

From the study of identified Palynological slides from the Sanganeh Formation, Three kind of Palynofacies were recognized and dominant environmental conditions was the quasi airborne and low energy during deposition of this formation. Also it has shown that the basin of Sanganeh Formation was varied from inner Neritic to outer Neritic and shows that low oxygen or oxygen free conditions occurred during sedimentation.

Keywords: Palynomorph; Palynofacies; Kopet Dagh; Sanganeh Formation; Amir Abad.

Reference

- Al-Juboury, A.I., & AL-Hadidy, A.H., 2009, Petrology and depositional evolution of the Paleozoic rocks of Iraq. *Marine and Petroleum Geology*, 26: 208-231.
- Bahrami, A., Boncheva, I., Königshof, P., Yazdi, M., & Ebrahimi Khan-Abadi, A., 2014. Conodonts of the Mississippian/Pennsylvanian boundary interval in Central Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 92: 187-200.
- Bahrami, A., Königshof, P., Boncheva, I., Sadat Tabatabae, M., Yazdi, M., & Safari, Z., 2015. Middle Devonian (Givetian) conodonts from the northern margin of Gondwana (Soh and Natanz regions, North West Isfahan, Central Iran): biostratigraphy and palaeoenvironmental implications. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 95: 554-577.
- Berberian, M., & King, G.C.P., 1981. Toward a palaeogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18: 210-265.
- Dickson, J.A.D., 1965. A modified staining technique for carbonate in thin section. *Nature*, 205: 587.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to their depositional texture, In: Ham W.E., (ed.), Classification of Carbonate Rocks. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 1: 108-121.
- Embry, A.F., & Klovan, J.E., 1971. Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, Northwest territories. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 19: 730-781.
- Flügel, E., 2010. Microfacies of Carbonate Rocks, 2nd edition. *Springer Verlag*, Berlin, 976 p.
- Husseini, M.I., 1991. Tectonic and depositional model of the Arabian and adjoining plates during the Silurian-Devonian. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 75: 108-120.
- Königshof, P., Carmichael, S.K., Waters, J., Jansen, U., Bahrami, A., Boncheva, I., & Yazdi, M., 2016. Palaeoenvironmental study of the Palaeotethys Ocean: The Givetian-Frasnian boundary of a shallow-marine environment using combined facies analysis and geochemistry (Zefreh Section/Central Iran). In: Mottequin, B., Slavik, L., & Königshof, P., (eds.), Climate Change and Biodiversity Patterns in the Mid-Paleozoic. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 97: 517-540.
- Ruban, D.A., Al-Husseini, M., & Iwasaki, Y., 2007. Review of Middle East Paleozoic plate tectonics. *GeoArabia*, 12: 35-56.
- Sharland, P.R., Archer, R., Casey, D.M., Davies, R.B., Hall, S.H., Hevard, A.P., Horbury, A.D., & Simmons, M.D., 2001. Arabian Plate Sequence Stratigraphy. *GeoArabia, Special Publication*, 2: 1-270.
- Wilson, J. L., 1975. Carbonate Facies in Geologic History. *Springer*, New York, 471 p.