

چینه نگاری سکانسی و بررسی تغییرات نسبی سطح آب در سازند آبدراز با استفاده از شاخصه‌های پالینولوژیکی (برش روستای سنگانه)

فرشید یوسفی مقدم^۱، محسن علامه^۲، سید محمود حسینی نژاد^{۳*}

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد چینه شناسی و فسیل شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

۲- استادیار گروه زمین شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

۳- استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

*پست الکترونیک: hoseininezhad@du.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۳/۷/۱۸

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۲۱

چکیده

سازند آبدراز یکی از واحدهای سنگ چینه‌ای کرتاسه بالایی حوضه رسوبی کپه داغ در شمال شرقی ایران به شمار می‌رود. بر اساس مطالعات پالینواستراتیگرافی صورت گرفته با استفاده از داینوفلاژله‌ها، سن سازند آبدراز در برش غرب روستای سنگانه تورونین تا سانتونین تعیین شده است. هدف این پژوهش، تفکیک واحدهای سکانسی و تعیین نوسانات نسبی سطح آب با استفاده از شاخصه‌های پالینولوژیکی است که برای نخستین بار بر روی سازند آبدراز صورت می‌گیرد. پس از مطالعه ۴۱ نمونه برداشت شده از این سازند، با استفاده از عوامل پالینولوژیکی سه رخساره مختلف شناسایی شد که شامل سه محیط II: Marginal dysoxic- anoxic basin، IV: Shelf to basin transition و V: Mud-dominated oxic shelf می‌باشند. به منظور تفکیک واحدهای سکانسی بر اساس تغییرات سه گروه عمده از مواد آلی (فیتو کلاستها، پالینومورفهای دریایی و مواد آلی بی‌شکل) و تلفیق این داده‌ها با پالینوفاسیسه‌های شناسایی شده، سه سکانس رسوبی رده سه با چهار مرز سکانسی (سه مرز از نوع دوم و یک مرز از نوع اول) شناسایی و تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: چینه نگاری سکانسی؛ نوسانات سطح آب؛ شاخصه‌های پالینولوژیکی؛ سازند آبدراز.

مقدمه

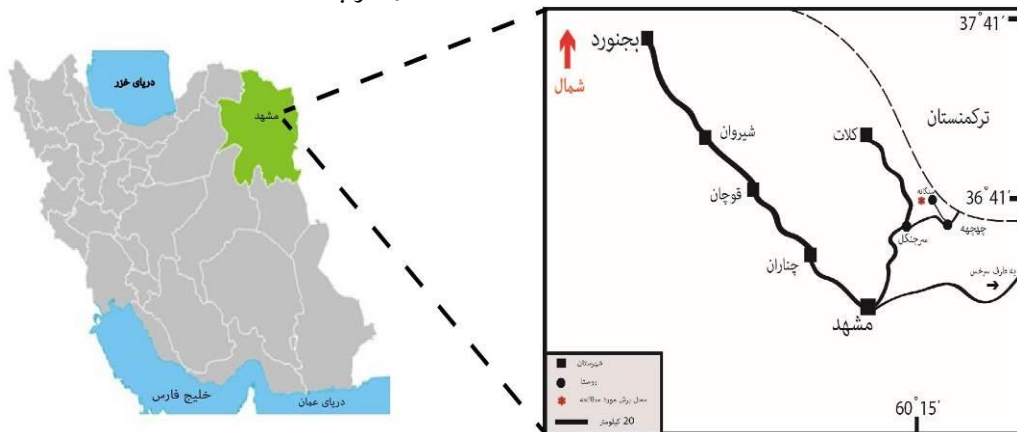
مورفوتاپهای کوریت/پروکسیمیت، کاویت، پروکسیمو کوریت (Ghasemi Nejad *et al.*, 1999)، نسبت پالینومورفهای دریایی به خشکی، تنوع گونه‌ای سیستمهای داینوفلاژله‌ها، مقدار نسبی فیتو کلاستها، میزان تغییرات خرده‌های مواد آلی قاره‌ای به دریایی و همچنین نسبت داینوسیستهای نریتیک خارجی به نریتیک داخلی (Gorin & Steffen, 1990)، به بررسی و تفکیک

در تعیین واحدهای سکانسی و تغییرات و نوسانات سطح آب از عوامل سنگ شناسی و فسیل شناسی متفاوتی استفاده می‌شود. پالینوفاسیس نیز به عنوان روشی به نسبت جدید، برای تفکیک و شناسایی واحدهای سکانسی استفاده می‌شود (Wood & Gorin, 1998). در مطالعه حاضر بر روی سازند آبدراز، با استفاده از شاخصه‌های پالینولوژیکی مانند نسبت

واحدهای سکانسی پرداخته شده است.

موقعیت جغرافیایی

حوضه رسوبی کپه داغ در شمال شرق ایران غالباً از سنگهای رسوبی دوران مزوزویک و سنوزویک تشکیل شده است. این حوضه در موقعیت جغرافیای $35^{\circ} 30'$ تا $38^{\circ} 15'$ عرض شمالی و 54° تا $61^{\circ} 13'$ طول شرقی واقع شده است. برش غرب روستای سنگانه واقع در شرق حوضه، در مسیر جاده مشهد به کلات و در فاصله ۶ کیلومتری از پاسگاه مرزبانی روستای سنگانه واقع شده است که مختصات جغرافیایی $60^{\circ} 15' 50''$ طول شرقی و $36^{\circ} 41' 15''$ عرض دارد (شکل ۱). برش الگوی این سازند در ۷۵ کیلومتری گردنه مزدوران به ضخامت ۱۸۰ متر از واحدهای مارنی و شیل با میان لایه‌های گل سفیدی تشکیل شده است (افشار حرب، ۱۳۷۳).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به سازند آبدران، برش غرب روستای سنگانه

مطالعات پیشین بر روی سازند آبدراز

مطالعات بسیاری بر روی سازند آبدراز جهت تعیین سن و تفسیر محیط بر مبنای روزن‌داران و پالینومورفها صورت گرفته است. مطالعات انجام شده توسط وحیدی‌نیا و همکاران (۱۳۸۱)، فروغی و همکاران (۱۳۸۳)، علامه و مرادیان (۱۳۸۸)، اردستانی و همکاران (۱۳۸۹) و داریوش‌نیا و همکاران (۱۳۹۰) بر روی این سازند در مجموع سن تورونین تا ساتونین و محیط دریای باز از نریتیک داخلی تا نریتیک خارجی را برای این سازند پیشنهاد می‌نمایند.

روش مطالعه

بر اساس مطالعات Pittet & Gorin (1977) که بر روی توزیع مواد آلی در نهشته‌های آکسفوردین رشته کوه‌های ژورای سوئیس انجام شده است، تنوع داینوسیستها در دسته رخساره‌های تراز بالا (EHST)^۱ افزایش و در دسته رخساره‌های تراز پایین (LHST)^۲ کاهش می‌یابد. همچنین افزایش تعداد مطلق سیستمهای داینوفلاژله‌ها و تنوع

توصیف سنگ چینه‌ای برش سنگانه

برش مورد مطالعه با ضخامت ۵۳۰ متر با ناپیوستگی هم‌شیب بر روی سازند ماسه سنگی آیتامیر قرار دارد و حد بالایی آن با شیل‌های سازند آب تلخ به صورت پیوسته و هم‌شیب است (شکل ۲ الف - ب). واحدهای سنگی تشکیل دهنده این سازند در این برش شامل شیل‌های آبی تا خاکستری و خاکستری تیره، شیل‌های سبز زیتونی، مارن‌های خاکستری با میان لایه‌های آهکی و همچنین سه واحد سنگ آهک گل سفیدی است (شکل ۲).

1- Transgressive & Early Highstand System Tract (EHST)
2- Regressive & Late Highstand System Tract (LHST)



→ شکل ۲: الف) ماسه سنگهای گلوکونیته سازند آیتامیر (دید به سوی جنوب)؛ ب) نمای کلی از مرز پیوسته سازند آبدراز با سازند آب تلخ (دید به سوی شمال)؛ ج) واحدهای شیلی با میان لایه‌های آهکی؛ د) نمای کلی از واحدهای انتهایی سازند آبدراز به همراه واحد سنگ آهک گل سفیدی در بالاترین قسمت آن (دید به سوی شمال شرق)؛ ل) لایه شیلی تیره رنگ در ضخامت ۸۰ متری (تفکیک شده در سکناس اول)؛ و) میان لایه‌های سنگ آهکی در ضخامت ۱۰۵ متری برش مورد مطالعه (تفکیک شده در سکناس اول)؛ ن) لایه سنگ آهکی گل سفیدی دوم در ضخامت ۲۴۵ متری حاوی فسیلهای دوکفه‌ای اینوسرامید؛ ی) لایه شیلی تیره رنگ دوم در ضخامت ۳۲۵ متری (تفکیک شده در سکناس رسوبی سوم)

عوامل پالینولوژیکی مؤثر در تعیین واحدهای سکناسی
در بازسازی و تفسیر واحدهای سکناسی با استفاده از رخساره‌های پالینولوژیکی، سه گروه عمده از عناصر پالینولوژیکی موجود در اسلایدها مورد استفاده قرار می‌گیرند که شامل فراوانی پالینومورفهای دریایی (MP)، مواد آلی بی‌شکل (AOM) و فیتو کلاستها (Ph) هستند (Tyson, 1993).

الف) درصد فراوانی و تنوع پالینومورفهای دریایی (MP)^۳
شناخت و تعیین درصد پالینومورفهای دریایی، به طور خاص داینوفلاژله‌ها در تعیین واحدهای سکناسی و همچنین تعیین محیط دیرینه نقش مهمی دارند. افزایش فرمهای کوریت به مجموع فرمهای پروکسیمیت، پروکسیمو کوریت و کوریت نشان دهنده افزایش نسبی عمق آب (شرایط پیش‌رونده) است. همچنین سیستمهای کوریت شاخص محیطهای آرام و کم انرژی و فرمهای کوریت و پروکسیمیت شاخص شرایط پرانرژی و محیطهای دریایی کم عمق هستند (Ghasemi-Nejad et al., 1999).

ب) درصد فراوانی فیتو کلاستها (Ph)^۴
به طور کلی فیتو کلاستها از نظر رنگ به دو دسته فیتو کلاستهای سیاه و قهوه‌ای رنگ تقسیم می‌شوند که فراوانی زیاد این ذرات در رسوبات نشان دهنده شرایط پس‌رونده در سکناسهای رسوبی و مؤید سطح پایین آب به طور نسبی است؛ اگرچه فراوانی بالای فیتو کلاستهای

گونه‌ای آنها در نسبت فرمهای (کوریت/پروکسیمیت، پروکسیمو کوریت، کاویت) که به اختصار به صورت (C/PPC) بیان می‌شود، نشانگر یک صعود نسبی در تراز سطح آب دریا است که در تفکیک واحدهای سکناسی بسیار ارزشمند است (Ghasemi Nejad et al., 1999). بدین منظور برای بررسی تغییرات نسبی سطح آب و تفکیک واحدهای سکناسی سازند آبدراز در برش مورد مطالعه، از این روش استفاده شده است.

پس از برداشت سیتما تیک ۴۱ نمونه نرم، نمونه‌های شیلی در آزمایشگاه پالینولوژی به روش استاندارد Traverse (2007)، آماده شدند. آماده سازی در این روش به این صورت است که پس از شست‌وشو و خرد کردن نمونه‌ها، ابتدا برای از بین بردن ترکیبات کربناته، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در HCL ۱۰٪ و سپس برای حذف ترکیبات سیلیکاتی به مدت ۲۴ ساعت در HF ۳۰٪ قرار می‌گیرند. همچنین جهت از بین بردن ژل سیلیکاتی که در مرحله دوم تشکیل می‌شود نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در HCL ۱۰٪ گرم جوشانده می‌شوند. پس از خنثی سازی نمونه‌ها، برای جدا کردن پالینومورفها از کانیهای سنگین و سایر مواد بر اساس وزن مخصوص آنها از محلول ZnCl₂ با چگالی ۱/۹ استفاده می‌شود. در پایان نمونه‌ها از الک ۲۰ میکرون عبور داده و از مواد باقی مانده بر روی الک اسلاید پالینولوژیکی تهیه می‌شود. به منظور مطالعه آماری عناصر موجود، تعداد ۴۰۰ ذره در هر اسلاید شمارش شد و نمودارهای مربوطه رسم گردید (جدول ۱ و شکل ۴). در پلیت ۱، تصاویری از داینوفلاژله‌ها آمده است.

3- Marine Palynomorph (MP)

4- Phytoclasts (Ph)

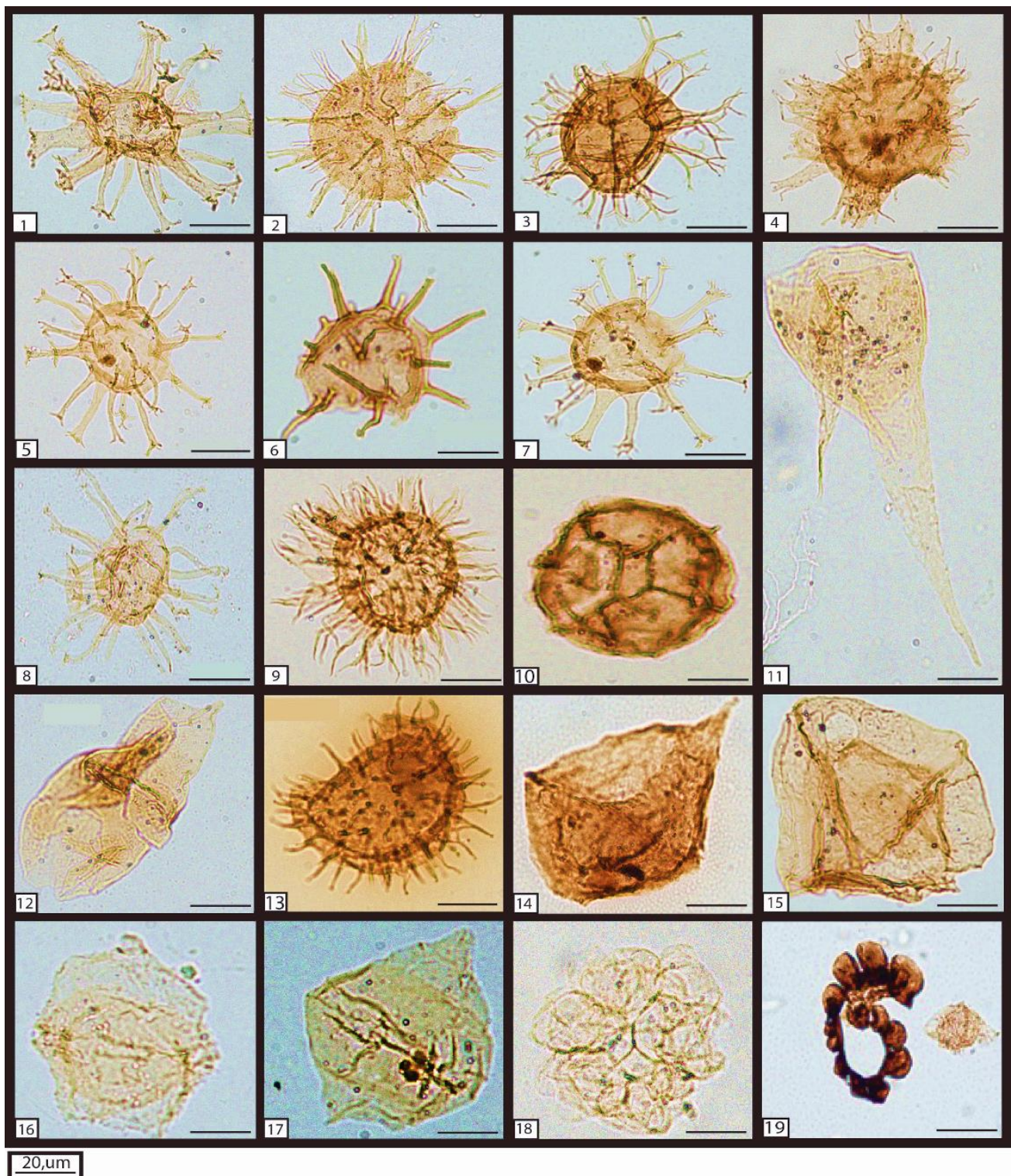
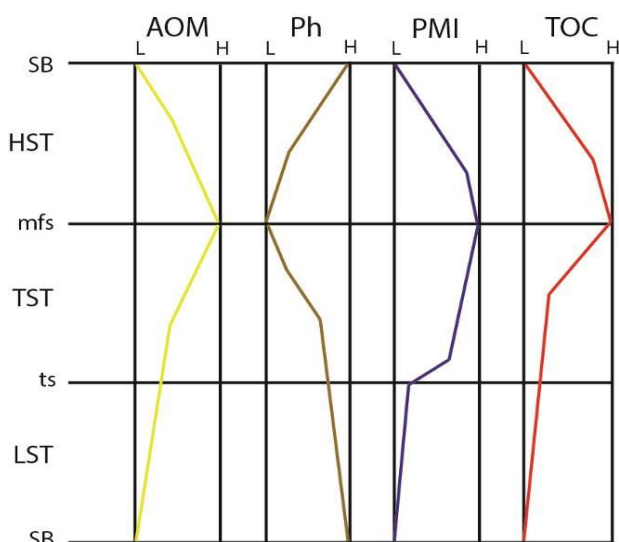


Plate 1

1- *Florentinia mantellii* (Verdier, 1973); 2- *Pervosphaeridium pseudhystrichodinium* (Yun Hyesu, 1981); 3- *Spiniferites ramosus* (Mantell, 1854); 4- *Coronifera oceanica* Cookson & Eisenack, 1958; 5- *Hystrichosphaeridium recurvatum* (Carpentier, 1940); 6- *Coronifera* sp.; 7- *Oligosphaeridium* sp.; 8- *Hystrichosphaeridium bowerbankii* Davey & Williams, 1966; 9- *Cleistosphaeridium clavulum* (Below, 1982); 10- *Microdinium reteinvolutum* (Lentin & Williams, 1989); 11- *Odontochitina operculata* (Deflandre & Cookson, 1955); 12- *Chatangiella tripartita* (Lentin, 1976); 13- *Heterosphaeridium spinaconjunctum* Yun Hye-su, 1981; 14- *Cribroperidinium orthoceras* (Sarjeant, 1986); 15- *Endoscrinium campanula* (Vozzhennikova, 1965); 16- *Chatangiella ditissima* (Lentin & Williams, 1976); 17- *Chatangiella porosa* Marshall, 1988; 18- *Palambages morulosa* (Emend Gocht & Williams, 1972); 19- Foraminifera test lining.

افزایش می‌یابند (Tyson, Steffen & Gorin, 1993). به طوری که در پایین ترین بخش نهشته‌های تراز پایین (LST)، بیشترین فراوانی در مقدار فیتو کلاستها وجود دارد (Tyson, 1995). دسته رخساره‌های تراز پایین معمولاً با رخساره‌های نزدیک به منشأ همراهند که به دلیل ورود رسوبات از خشکی، فراوانی پالینومورفهای دریایی خصوصاً داینوفلاژله‌ها در این نهشته‌ها کاهش می‌یابد (Carvalho *et al.*, 2006). همچنین نسبت مورفوتایپهای C/PPC در این رخساره‌ها کاهش می‌یابد (Ghasemi-Nejad *et al.*, 1999) (شکل ۳).



شکل ۳ نمایش تغییرات عناصر پالینولوژیکی در سیستم تراکتهای سکانسی (برگرفته از Hart *et al.*, 1994): مواد آلی بی شکل، (PH) فیتو کلاست؛ (PMI) پالینومورفهای دریایی؛ (TOC) مواد آلی، (SB) مرز سکانسی، (LST) سیستم تراکت تراز پایین، (Ts) سطح پیشروی، (TST) سیستم تراکت پیش‌رونده، (mfs) سطح بیشینه غرقابی، (HST) سیستم تراکت تراز بالا

ب) رخساره‌های پالینولوژیکی در نهشته‌های پیش‌رونده (TST)^{۱۰}

نهشته‌های پیش‌رونده (TST) با پاراسکانسهای عمیق شونده به طرف بالا مشخص می‌شوند (Van wagoner *et al.*, 1988). در زمان پیش‌روی رخساره‌ها و بالا آمدن سریع

قهوه‌ای رنگ حاکی از شرایط پس‌رونده در سکانسهای رسوبی است و در محیط‌های نزدیک به ساحل افزایش می‌یابند (Van der zawn, 1990)، اما فیتو کلاستهای تیره رنگ در رخساره‌های عمیق^۵ فراوانی از خود نشان می‌دهند که نشان از شرایط پیش‌رونده در سیستمهای سکانسی است (Tyson, 1995؛ Gorin & Steffen, 1990).

ج) درصد فراوانی مواد آلی بی شکل (AOM)^۶

مواد آلی به دو صورت تیره و شفاف دیده می‌شوند. این مواد آمورف هر چند ساختار مشخصی ندارند، ولی در تفسیرهای بوم‌شناسی و همچنین تعیین پسروری‌ها و پیش‌رویهای سطح آب جهت تفکیک واحدهای سکانسی به عنوان مهمترین عناصر شناخته می‌شوند. مطالعات نشان می‌دهد معمولاً در مناطقی که میزان ماسرالهای اپک و میزان پالینومورفهای دریایی بالاست، مقدار AOM شفاف پایین است (Waveren & Visscher, 1994). درصد فراوانی مواد آلی بی شکل از محیطهای ساحلی^۷ به سمت محیطهای دریایی و عمیق^۸ افزایش می‌یابد که این افزایش و فراوانی مواد آلی بی شکل نشان از پیش‌روی و بالا آمدن سطح آب دریا به طور نسبی است (Tyson, 1995).

رخساره‌های پالینولوژیکی و تفکیک واحدهای سکانسی

الف) رخساره‌های پالینولوژیکی در نهشته‌های تراز پایین (LST)^۹

LST پایین ترین سطح در یک سکانس رسوبی است (Van wagoner *et al.*, 1988). نهشته‌های تراز پایین با پاراسکانسهای کم عمق شونده به طرف بالا مشخص می‌شوند. به طور کلی فیتو کلاستها در نهشته‌های تراز پایین

5- Distal facies
6- Amorphous Organic Matter (AOM)
7- Proximal
8- Distal
9- Lowstand System Tract (LST)

10- Transgressive System Tract (TST)

سکانسهای رسوبی شناسایی شده در برش سنگانه

بر پایه بررسیهای آزمایشگاهی، مطالعات آماری صورت گرفته و درصد فراوانی سه گروه عمده از مواد آلی (AOM, Phytoclast, Marine Palynomorph) در اسلایدهای پالینولوژیکی و نسبت بین آنها، داده‌های حاصل به کمک نمودار مثلثی Tyson (1999) ترسیم شد و سه رخساره پالینولوژیکی شامل II: Marginal dysoxic-anoxic basin, IV: shelf to basin transition, V: Mud-dominated oxic shelf با این اساس و با توجه به شواهد فسیل شناسی، سنگ شناسی و مشاهدات صحرایی، سه سکانس رسوبی رده سه با چهار مرز سکانسی (سه مرز از نوع دوم و یک مرز نوع اول؟) در سازند آبدراز در برش روستای سنگانه شناسایی شد [مرزهای سکانسی نوع دوم که به پیوستگی معادل هم موسوم هستند در انتهای پایین آمدن سطح آب دریا گسترش می‌کنند، اما موقعیت مکانی آنها در قسمت عمیق دریایی است (Hunt & Tucker, 1992)]. سکانسهای شناسایی شده در این برش از سازند آبدراز به شرح زیر قابل بررسی می‌باشند (شکل ۴):

سکانس رسوبی اول

این مرز، به وسیله دو مرز تفکیک می‌شود. مرز زیرین آن با توجه به شواهد صحرایی، سنگ شناسی، پالینولوژیکی و همچنین شواهد فسیلی موجود (نقصان فسیلی) دارای ناپیوستگی هم‌شیب با سازند آیتامیر است (شکل ۲ الف). مرز بالایی که در فاصله ۱۲۰ متری از قاعده برش قرار دارد (از نمونه شماره ۱ تا ۱۴)، با توجه به فراوانی بالای فیتو کلاستها، به ویژه فیتو کلاستهای قهوه‌ای رنگ، کاهش شدید در تنوع و تعداد پالینومورفهای دریایی، خصوصاً داینوسیستها و وجود یک میان لایه آهکی تقریباً نازک لایه بر اساس شواهد صحرایی مشخص می‌شود (شکل ۲ و). سه سیستم تراکت TST, LST و HST در این سکانس

سطح آب، میزان فراوانی فیتو کلاستها کاهش می‌یابد، تنوع و فراوانی سیست داینوفلاژله‌ها افزایش متوسطی از خود نشان می‌دهد و بر میزان مواد آلی بی‌شکل (AOM) افزوده می‌شود (Carvalho *et al.*, 2006) و نسبت مورفوتایپهای C/PPC نیز افزایش می‌یابد. در بخشهای بالایی نهشته‌های رسوبی پیش‌رونده که با بیشترین سطح غرقابی (MFS)^{۱۱} مشخص می‌شوند، میزان فراوانی مواد آلی بی‌شکل (AOM)، سیست داینوفلاژله‌ها و مجموع مواد آلی (TOC) به بیشترین مقدار خود می‌رسند. از طرفی میزان فیتو کلاستها به کمترین مقدار کاهش می‌یابد (Carvalho *et al.*, 2006)؛ هرچند فراوانی فیتو کلاستهای اپک در بالاترین سطح آب (MFS) افزایش می‌یابد و این افزایش تا نهشته‌های (EHST) ادامه می‌یابد. این افزایش نشان دهنده ژرف‌ترین رخساره‌های آبی است (Tyson, 1995) (شکل ۳).

ج) رخساره‌های پالینولوژیکی در نهشته‌های تراز بالا (HST)^{۱۲} نهشته‌های تراز بالا، بالاترین بخش در یک سکانس رسوبی هستند که ابتدا با انباشتگی عمودی رخساره‌ها^{۱۳} مشخص می‌شوند و در ادامه به سمت بالای پاراسکانسها رخساره‌ها به صورت کم عمق شونده هستند^{۱۴} (Van wagoner *et al.*, 1988). در زمان تشکیل دسته رخساره‌های تراز بالا، ابتدا فراوانی و تنوع پالینومورفهای دریایی بالاست (EHST) و سپس روند کاهشی از خود نشان می‌دهند (LHST) به گونه‌ای که در پایین‌ترین بخش نهشته‌های تراز بالا، کمترین میزان فیتو کلاستها ثبت می‌شود و کاهش در میزان مواد آلی بی‌شکل روی می‌دهد (Carvalho *et al.*, 2006) (شکل ۳).

11- Maximum Flooding Surface (MFS)

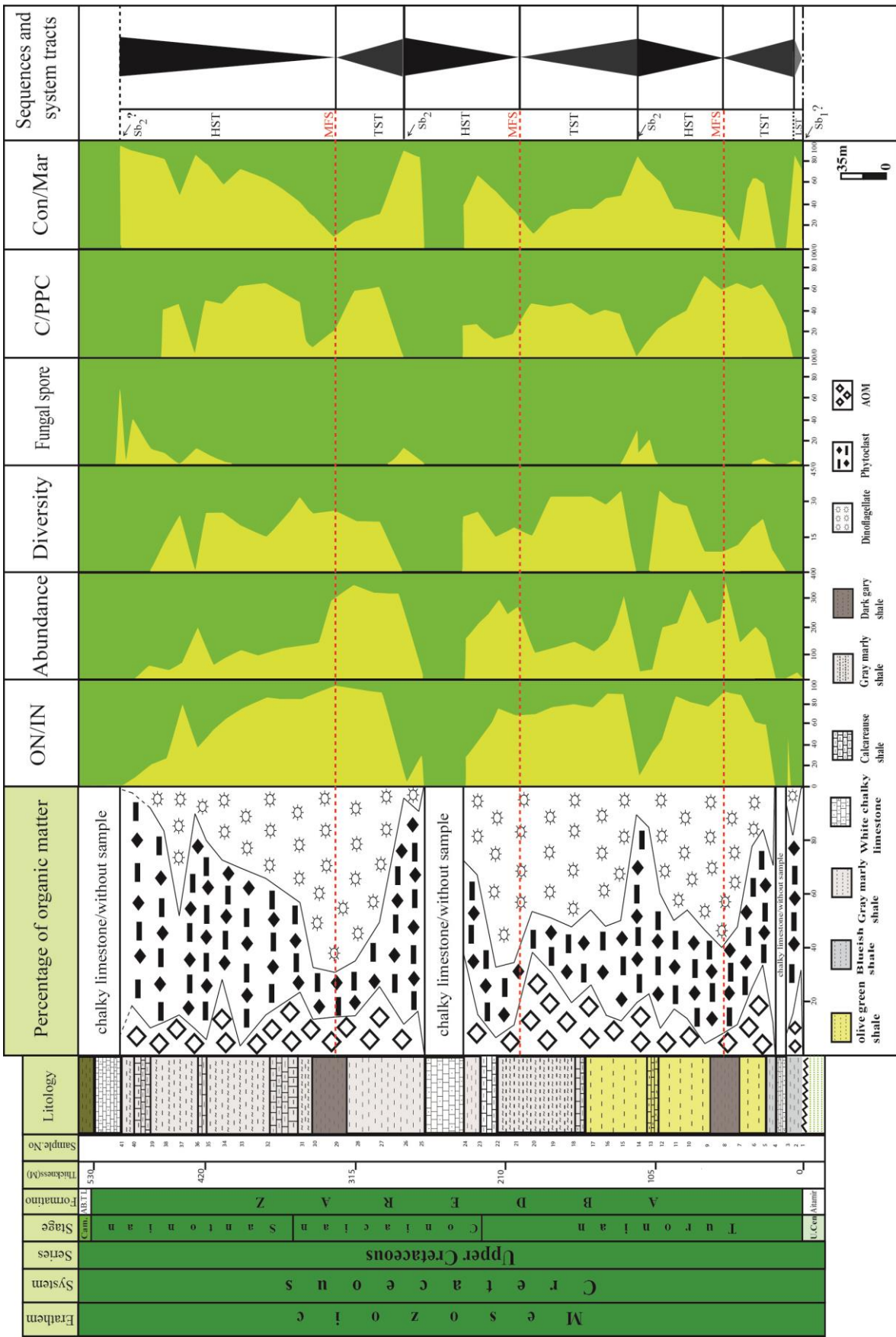
12- Highstand System Tract (HST)

13- Aggradational

14- Progradational

جدول ۱: اطلاعات مربوط به شکل ۴ که به منظور تفکیک واحدهای سکansı با استفاده از شاخصه‌های پالینولوژیکی صورت گرفته است. AOM) مواد آلی بی‌شکل؛ (Ph فیتوکلست؛ MP) پالینومورف دریایی؛ F.spore) اسپوره‌های قارچی؛ C/PPC) نسبت مورفوتایپهای کوریت/پروکسیمیت، پروکسیمو کوریت، کویت؛ Diversity) میزان تنوع داینوفلاژله‌ها؛ Abundance) میزان فراوانی داینوسیستها؛ Con/Mar) نسبت فراوانی خرده‌های قاره‌ای به دریایی؛ ON/IN) نسبت فراوانی داینوسیستهای نریتیک خارجی به داخلی

S. No	AOM%	Ph %	MP%	F.spore	C/PPC	Diversity	ON/IN	Con/Mar	Abundance
1	31.25	68.75	0	0	0	0	0	78.25	0
2	18.5	72.25	8.75	5	0	0	0	88.23	0
3	8.75	72	19.25	15	31.56	0	46.87	81.87	26
4	14	57.5	28.5	2	57.89	9	65.33	70	98
5	33.75	49.25	16.75	5	67.41	21	58.70	61.24	143
6	25.25	51.75	23	3	64.23	18	61.65	63.18	187
7	11	37.25	52.5	0	70	11	85.13	40.29	235
8	8.5	31.5	60	0	63.33	9	91.13	32.49	331
9	5.75	37.5	56.75	0	68.89	9	77.33	35.51	218
10	13.75	38.75	47.5	0	45.54	27	80.33	36.12	327
11	16	34	50	0	39.36	29	86.96	38	211
12	9.75	50.25	40	0	30.74	33	65	62.76	191
13	23.5	60.25	16.25	25	18.23	0	34.48	71.23	39
14	19	71.25	10.25	33	0	0	16.38	89.11	31
15	13.25	36.75	50	1	42	34	86.49	47.16	296
16	15.25	31.25	53	0	44	29	88.53	45.56	149
17	24.25	28.75	47	0	41.29	33	74.45	39.65	104
18	19.5	28.75	52.25	0	56.66	33	76.65	39.32	132
19	30.5	20.25	49.25	0	54.32	33	75.33	31.33	117
20	37	16	47	0	56.03	16	68.78	28	97
21	10.5	24.5	65	0	23.12	19	65	37.92	265
22	6	26.25	67.75	0	19.47	15	71.96	36.36	287
23	13.25	51.5	35.25	0	34.41	26	51	68.75	210
24	38.5	34.5	27	8	34.72	24	26.13	40.14	167
25	16.5	74	9.5	17	0	0	31	87.34	26
26	11.25	84.5	4.25	25	0	0	5.25	91.24	13
27	25	24.5	50.5	0	64.04	21	90.18	36.66	309
28	14.5	21.5	65	0	62.28	21	96.13	24	313
29	14.25	16.75	69	0	26.12	26	97	23.43	336
30	13	19.75	67.25	0	12.87	25	91.13	29.45	287
31	23.5	31.5	44	0	56.16	31	85	43.76	145
32	15.25	50.25	34.5	0	71.12	15	85.33	65.21	119
33	3.5	66.25	30.25	0	69.46	19	76.14	76.52	94
34	27.5	47.5	27	3	52.23	25	66.33	60.33	112
35	6.5	73.5	20	21	54.32	25	54	80.05	81
36	8.75	81.75	10	36	3.45	0	38.96	88.32	63
37	13.75	38.75	47.5	0	46.85	24	68.44	46.96	189
38	11.75	71.5	16.75	21	43	12	26.35	85	69
39	9.75	81.75	8.5	34	0	0	20.13	89.76	36
40	18.5	78.5	3	55	0	0	12.56	93.24	49
41	7	91.75	1.25	68	0	0	0	97.54	10



شکل ۴: ستون چینه شناسی و تفکیک سکاسها در سازند آبدراز واقع در برش روستای سنگانه بر مبنای شواهد پالینولوژیکی. AOM) مواد آلی بی شکل؛ Ph) فیتوکلارست؛ MP) پالینومورف دریایی؛ F.spore) اسپوره‌های قارچی؛ C/PPC) نسبت مورفوتایپهای کوریت/پروکسیموگوریت؛ پروکسیموگوریت، کوریت؛ Diversity) میزان تنوع دایونولازها؛ Abundance) میزان تنوع دایونولازها؛ ON/IN) نسبت فراوانی دایونولازها؛ Con/Mar) نسبت فراوانی خردده‌های قاره‌ای به دریایی؛ AOM/IN) نسبت فراوانی دایونولازهای نریتیک خارجی به نریتیک داخلی

می‌رسد. بر اساس شواهد صحرایی موجود حضور یک لایه شیلی تیره رنگ که نشان دهنده رسوب گذاری در قسمت‌های عمیق و کم انرژی است می‌تواند تأییدی بر این ادعا باشد (شکل ۲ ل). محیط رسوب گذاری این بخش با توجه به شواهد موجود Distal shelf است.

Highstand System Tract: در این بخش روندی عکس سیستم تراکت LST رخ می‌دهد، به طوری که فراوانی داینوفلاژله‌ها و مواد آلی بی‌شکل به سمت بالا روندی کاهشی دارد و میزان فیتو کلاستها (به ویژه فیتو کلاستهای قهوه‌ای) افزایش می‌یابد و در مرز سکانسی به بیشترین حد خود می‌رسد (از نمونه شماره ۹ تا نمونه شماره ۱۴ و در ضخامت ۸۵ متری تا ۱۲۰ متری از برش چینه شناسی مورد مطالعه). محیط رسوبی در این بخش نیز یک محیط Distal shelf است که در حد EHST به سمت Marginal basin تغییر می‌کند.

سکانس رسوبی دوم

مرز پایینی این سکانس، منطبق بر مرز بالایی سکانس رسوبی اول و مرز بالایی آن در ضخامت ۲۷۵ متری از برش قرار گرفته است. مرز سکانسی بالایی در این سکانس، نوع دوم همراه با پیوستگی رسوبی است که همانند سکانس رسوبی اول، با بالاترین مقدار فیتو کلاستها و کاهش ناگهانی در تنوع و فراوانی داینوفلاژله‌ها مشخص می‌شود. محیط رسوبی آن Distal shelf است که در بخش EHST به سمت یک محیط با مشخصات Marginal basin تغییر می‌کند و با دو سیستم تراکت LST+TST و HST مشخص می‌شود (شکل ۴).

Transgressive System Tract: این سیستم تراکت از نمونه شماره ۱۵ در متر ۱۲۸ متری شروع و تا نمونه شماره ۲۱ در متر ۲۰۰ متری ادامه دارد. محیط رسوب گذاری این واحد Distal shelf است که با بالا آمدن تدریجی آب،

رسوبی به شرح زیر است و محیط رسوبی آن از Marginal basin به سمت Distal shelf تغییر پیدا می‌کند (شکل ۴):
Lowstand System Tract: از ضخامت ابتدایی تا ۵۰ متری برش مورد مطالعه (از نمونه شماره ۱ تا ۴) به طور کلی میزان فیتو کلاستها بالا و فراوانی نسبی AOM و MP پایین است و یک روند ثابت را نشان می‌دهند. فیتو کلاستها در پایین ترین بخش، بیشترین فراوانی را دارند و به سمت بالا کاهش می‌یابند؛ همچنین پایین بودن نسبت فرمهای C/PPC و کم بودن تنوع داینوسیستها و فراوانی نسبی پالینومورفهای دریایی شرایط LST را منعکس می‌کند. همچنین پایین بودن نسبت داینوسیستهای شاخص نریتیک خارجی به داخلی نشان از پایین بودن نسبی سطح آب دارد. محیط رسوبی در این بخش Marginal basin است که در نمونه‌های شماره ۱ و ۲ مشهود است. همچنین بر اساس شواهد صحرایی، حضور یک لایه سنگ آهک گل سفیدی نیز در این بخش نشان از پایین بودن سطح نسبی آب بوده است.

Transgressive System Tract: با بالا آمدن سطح آب در این بخش، یعنی از نمونه شماره ۵ تا نمونه شماره ۷ (ضخامت ۵۰ تا ۷۰ متری)، تنوع گونه‌ای و فراوانی پالینومورفهای دریایی، خصوصاً داینوفلاژله‌ها و همچنین نسبت فرمهای C/PPC نیز افزایش نشان می‌دهد. در مقابل، فراوانی فیتو کلاستها و خرده‌های خشکی به شدت کاهش می‌یابد (البته در این بخش فراوانی ماسرالهای اپک با گوشه‌های گرد شده که نشانگر شرایط آشفته و دور از ساحل هستند افزایش می‌یابد). محیط رسوب گذاری در این سطح به سمت Distal shelf پیش می‌رود.

Maximum Flooding Surface: در این حد که در ضخامت ۸۰ متری و با نمونه شماره ۸ مشخص می‌شود، بالاترین تنوع و فراوانی داینوفلاژله‌ها ثبت می‌شود و درصد فراوانی فیتو کلاستها و ذرات خشکی به کمترین مقدار خود

مارنی (نمونه‌های شماره ۲۳، ۲۴، ۲۵ و ۲۶) کمترین فراوانی را دارند (شکل ۲ و ۴).

سکانس رسوبی سوم

مرز پایینی این سکانس منطبق بر مرز بالایی سکانس رسوبی دوم و مرز بالایی آن در ضخامت ۵۳۰ متری و منطبق بر واحد سوم سنگ آهک گل سفیدی است (در نمونه شماره ۴۱). این سکانس نیز مانند سکانس رسوبی دوم از دو سیستم تراکت LST+TST و HST تشکیل شده است (لازم به ذکر است که سیستم تراکت LST به تنهایی و با توجه به شواهد پالینولوژیکی قابل تفکیک نیست) که با توجه به شواهد موجود در اسلایدهای پالینولوژیکی قابل شناسایی هستند (شکل ۴).

Transgressive System Tract: در این سطح، محیط رسوب گذاری Distal shelf است، سطح آب بالا آمده و فراوانی داینوفلاژله‌ها به سمت MFS افزایش و فراوانی فیتو کلاستها کاهش شدید نشان می‌دهد. نسبت مورفوتایپهای C/PPC افزایش تدریجی دارد و ماسرالهای اپک که نشان دهنده شرایط دور از ساحل هستند افزایش می‌یابند (یعنی از ضخامت ۲۹۵ تا ۳۲۰ متری و در نمونه‌های شماره ۲۷ و ۲۸).

Maximum Flooding Surface: بالاترین تنوع و فراوانی پالینومورفهای دریایی خصوصاً داینوفلاژله‌ها در این سطح دیده می‌شود و میزان فراوانی مواد آلی بی‌شکل نیز از سیستم تراکت TST به سمت این سطح افزایش داشته و به بیشترین مقدار خود می‌رسد و بیشترین کاهش در فراوانی فیتو کلاستها وجود دارد (نمونه‌های شماره ۲۹ و ۳۰). بیشترین میزان فراوانی داینوفلاژله‌های شاخص نریتیک خارجی نسبت به نریتیک داخلی در مقاطع این ضخامت ثبت شده است (شکل ۴). این بخش بر اساس شواهد صحرایی با یک لایه شیلی تیره رنگ مشخص می‌شود که نشان

فراوانی فیتو کلاستها کاهش و فراوانی و تنوع داینوفلاژله‌ها افزایش می‌یابد. به طور کلی در این سطح ذرات دریایی نسبت به ذرات خشکی به سمت بالا افزایش می‌یابند. همچنین نسبت مورفوتایپهای C/PPC و ماسرالهای تیره با گوشه‌های گرد شده که نشان از شرایط آشفته و دور از ساحل است افزایش می‌یابد. از طرفی با توجه بالا آمدن سطح آب میزان داینوفلاژله‌های شاخص نریتیک خارجی افزایش و سیستمهای شاخص نریتیک داخلی کاهش می‌یابد (شکل ۴).

Maximum Flooding Surface: در این سطح، کمترین میزان فیتو کلاستها و بیشترین فراوانی و تنوع داینوفلاژله‌ها و مواد آلی بی‌شکل ثبت می‌شود (در نمونه شماره ۲۲ در ضخامت ۲۲۰ متری) که نشان دهنده ژرف ترین رخساره‌های آبی درون یک سکانس به شمار می‌روند (Carvalho et al., 2006). همچنین بر اساس شواهد صحرایی موجود، این حد با یک لایه شیل و مارن خاکستری رنگ که نسبت به سایر بخشها تیره‌تر است مشخص می‌شود که می‌تواند نشان دهنده رسوب گذاری در قسمت‌های عمیق دریا و تأییدی بر شواهد پالینولوژیکی موجود باشد.

Highstand System Tract: محیط رسوبی آن به سمت بالا از Distal shelf به سمت Marginal basin تغییر می‌کند. فراوانی و تنوع پالینومورفها و مواد آلی بی‌شکل روند کاهشی دارد و در مقابل درصد فراوانی فیتو کلاستها افزایش می‌یابد تا حدی که در بالاترین سطح، بیشترین میزان فیتو کلاستها و در پایین ترین حد، کمترین میزان فیتو کلاستها ثبت می‌شود. این تغییرات در میزان فراوانی و تنوع داینوفلاژله‌ها به صورت محسوس با شواهد سنگ شناسی موجود در ستون چینه شناسی منطبق بوده به طوری که در نمونه‌های شیلی (نمونه‌های شماره ۲۰ و ۲۱)، داینوفلاژله‌ها بیشترین فراوانی و در مقابل در نمونه‌های سنگ آهکی و

از رسوب‌گذاری در شرایط احیایی و کم انرژی است (شکل ۲).

Highstand System Tract: محیط رسوبی Distal shelf است و به سمت بالا به یک محیط Marginal Basin تبدیل می‌شود. با توجه به شواهد صحرایی و حضور لایه‌های سنگ آهکی ضخیم لایه در بخش انتهایی سازند آبدراز، مرز سکانسی قابل تفکیک است. در ابتدا فراوانی و تنوع پالینومورفهای دریایی بالاست. فراوانی فیتو کلاستا افزایش یافته به گونه‌ای که در پایین‌ترین بخش نهشته‌های تراز بالا، کمترین میزان فیتو کلاستا ثبت می‌شود و کاهش در میزان مواد آلی بی‌شکل روی می‌دهد (Carvalho et al., 2006) که با سیستم تراکت EHST و از نمونه شماره ۳۱ تا نمونه شماره ۳۵ در ضخامت ۴۱۵ متری مشخص می‌شود. سپس روند کاهشی از خود نشان می‌دهند (LHST) که در نمونه‌های ۳۶ تا ۴۱ کاملاً مشهود و قابل تعقیب است. این مرز، یعنی آخرین مرز شناسایی شده منطبق بر واحد سنگ آهکی گل سفیدی سوم برش مورد مطالعه است که مؤید کم عمق شدن و پایین آمدن نسبی سطح آب در ضخامت ۵۰۰ متری برش مطالعه شده است. ذکر این نکته ضروری است که مرز سازند آبدراز با سازند آب تلخ در این برش

کاملاً پیوسته است و در این پژوهش از مرز زیرین سازند آب تلخ نمونه برداری نشده است. به همین دلیل مرز سکانسی چهارم مطابق با نمونه شماره ۴۱ و در زیر واحد سنگ آهکی گل سفیدی سوم تعیین شده است.

نتیجه‌گیری

مطالعه انجام شده بر روی ۸۲ اسلاید پالینولوژیکی و تعیین نسبت بین سه گروه از مواد آلی موجود در آنها به شناسایی سه دسته رخساره پالینولوژیکی شامل محیط‌های II: Marginal dysoxic-anoxic basin, shelf to basin transition IV: انجامیده است. به منظور جداسازی واحدهای سکانسی و نشان دادن تغییرات نسبی سطح آب دریا در سازند آبدراز واقع در برش روستای سنگانه با استفاده از شاخصه‌های مختلف پالینولوژیکی مانند نسبت مورفوتایپهای کوریت/پروکسیمیت، پروکسیمو کوریت، کوریت، نسبت پالینوماسرالهای قهوه‌ای به پالینوماسرالهای اپک، فراوانی و تنوع پالینومورفهای دریایی (داینوفلاژله‌ها) و نسبت اجزای قاره‌ای به دریایی، سه سکانس رسوبی رده سوم با چهار مرز سکانسی شناسایی شد.

منابع

- افشارحرب، ع.، ۱۳۷۳. زمین شناسی ایران: زمین شناسی کپه داغ. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۷۶ ص.
- داریوش‌نیا، م.، علامه، م.، حسینی نژاد، م.، ۱۳۹۰. پالئوآکولوژی سازند آبدراز در برش پادها بر مبنای استراکودها. پانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- فروغی، ف.، صادقی، ع.، شمیرانی، ا.، وحیدی‌نیا، م.، ۱۳۸۳. بازنگری سازند آبدراز در مقطع تیپ بر مبنای فرامینفرهای پلانکتون. هشتمین همایش انجمن زمین شناسی، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- علامه، م.، مرادیان، ف.، ۱۳۸۸. پالینولوژی و آنالیز محیط دیرینه سازند آبدراز در حوضه رسوبی کپه داغ. مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۵ (۴): ۱-۱۰.

وحیدی‌نیا، م.، یازرلو، م. ع.، آریایی، ع. ا.، ۱۳۸۱. مطالعه اینوسراموسهای سازند آبدراز در مناطق شرق حوضه کپه داغ. ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

- Carvalho, M.A., Mendonca Filho, J.G., & Menezes, T.R., 2006. Palynofacies and sequence stratigraphy of the Aptian – Albian of the Sergipe Basin , Brazil. *Sedimentary Geology*, 192: 57-74.
- Ghasemi-Nejad, E., Sarjeant, W.A.S., & Gygi, R., 1999. Palynology and Paleoenvironments of the uppermost Bathonian and Oxfordian (Jurassic) of the Northern Switzerland sedimentary basin. *Memori Svizzere di Paleontologia*, 119: 69.
- Gorin, G.E., & Steffen, D., 1990. Organic facies as tool for recording eustatic Variation in marine Fine-grained Carbonates, example of berriasian stratotype at Berrias (Ardeche, SE France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 85: 303-320.
- Hunt, D., & Tucker M.E., 1992. stranded parasequence and the forced regressive wedge system tract: Deposition during base level fall. *Sedimentary Geology*, 81: 1-9.
- Pittet, B., & Gorin, E., 1997. Distribution of sedimentary organic matter in a mixed carbonate - siliciclastic platform environment: Oxfordian of the Swiss Jura Basin, Antarctica. *Cretaceous Research*, 18: 109-137.
- 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.
- Steffen, D., & Gorin, G., 1993a. Palynofacies of the upper Tithonian–Berriasian deep-sea carbonates in the Vototian Trough (SE France). *Bulletin Centres Recherches Exploration-Production Elf Aquitaine*, 17: 235–247.
- Travers, A., 2007. Paleopalynology. 2nd edition, *Springer*, 813 p.
- Tyson, R.V., 1993. Palynofacies analysis. *Applied Micropaleontology*, p.153-191.
- Tyson, R.V., 1995. Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies. *Chapman & Hall*, London, 615 pp.
- 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: 157-186.
- Van Wagoner, J.C., Posamentier, H.W., Mitchum, R.M., Vail, P.R., Sarg, J.F., Loutit, T.S., & Hardenbol, J., 1988. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G. St .C., Posamentier, H.W., Ross, C.A., & Van Wagoner, J.C. (eds.), Sea-level Changes, An Integrated Approach. *SEPM Special Publication*, 42: 39-45
- Waveren, I., & Visscher, H., 1994. Analysis of the composition and selective preservation of organic matter in surfical deep-sea sediment from a high Productivity area (Bandasa, Indonesia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 112: 85-111.
- Wood, S.E., & Gorin, G.E., 1998. Sedimentary organic matter in distal clinofolds of Miocene slope sediments: Site 903 of ODP Leg 150, onshore New Jersey (USA). *Journal of Sedimentology Research*, 68: 856–868.

Sequence stratigraphy and relative sea level changes of the Ab-Deraz Formation, based on palynological evidences (Sanganeh section)

Yousefi Moghadam, F.^{1*}, Allameh, M.², Hosseininezhad, M.³

1- M.Sc. Student Paleontology & Stratigraphy, School of Geology Sciences, Damghan University, Damghan, Iran

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

3- Assistant Professor, School of Geology Sciences, Damghan University, Damghan, Iran

*E.mail: Farshid.yousefimgohadam@gmail.com

Introduction

The Kopeh-Dagh sedimentary basin formed after the middle Triassic orogeny in northeastern Iran. There is no evidence of major tectonic activity in this region; all formations are conformable, except for a few disconformities within the Cretaceous succession (Afshar-Harb, 1994). The lower contact of the Ab-Deraz Formation in Sanganeh section with the Aitamir Formation is paraconform, and the upper contact with the Ab-Talkh Formation is conform. This section of the Ab-Deraz Formation is about 300 meter thick. In this section, lithology is composed of light gray shale, olive green shale and three chalky limestone bands. Sequence stratigraphy can be used to interpret the sea level fluctuations during deposition of any stratigraphic succession. The new method of palynological factors, such as biological degradation of palynological particles, roundness and homogeneity of equidimensional phytoclasts, the relative abundance of opaque phytoclasts to transparent phytoclasts, the relative marine palynomorph to terrestrial particles ratio, relative abundance and diversity of dinoflagellate cysts and relative chorate to proximate, proximochorate and cavate (C/PPC) morphotype ratio can be use for interpretation of stratigraphic sequences (Schioler, 2002). In this study, these factors were used for differentiation of sequences.

Discussion

Palynological factors can be use for determination of sequence units. Usually for the sequence stratigraphic analysis of the palynological facies, three major groups of elements including frequency of palynomorphs (MP), amorphous organic matter (AOM) and the phytoclast (Ph) can be used (Carvalho *et al.*, 2006). Amorphous organic matter also use to determine the ecological interpretation and study of sea level changes and the receding sequence units as the most important elements. The relative abundance of AOM increases in a proximal to distal, and AOM is the dominant kerogen constituent in distal dyoxic to anoxic shelf environments. The abundance of AOM increases during transgression and early highstand. High percentage of phytoclast is mostly related to proximal depositional condition (Van Der Zwan, 1990). Generally, large amount of phytoclast particles are deposited by rivers in estuaries and delta, both close to shorelines. However, redepositional also occurs in deep waters by turbidity currents. Phytoclast are generally divided into two categories: black and brown. The relative abundance of black phytoclast increased in distal facies; however the relative abundance of brown phytoclast decreases in offshore environments. Increases the ratio of chorate to proximate, cavate and proximocavate form is show that the rise of water see level (Progressive conditions), and the increases the cavate form is show the fall of see level (regressive conditions). Palynological factors such as the terrestrial to marine particles ratio, the chorate/proximate, proximochorate, cavate cyst ratio (C/PPC), differences in dinoflagellate assemblages and rarity and abundance of dinoflagellate cyst groups were used for sequence stratigraphic analysis (Gorin & Steffen, 1990; Steffen & Gorin, 1993; Pittet & Gorin, 1993). Based on this study, three depositional sequences were identified and will be summarized below:

First Sequence: The lower boundary of this sequence is marked by a sharp change in lithology from sandstone to shale and chalky limestone. Based on field and palynological evidence, its lower boundary is disconform with Aitamir Formation. The upper boundary is picked at about 120 meters above the section and is marked by a sharp increase in phytoclasts, especially the brown phytoclasts, and a sharp decrease in abundance and diversity in the marine palynomorph, a sharp decline in C/PPC and a sharp decline in ratio of ON/IN cyst. Three system tracts including LST, TST, and HST were identified within this sequence that has been deposited in marginal basin toward distal shelf.

Second Sequence: The lower boundary of this sequence is conforming to the upper boundary of the lower sequence. The upper boundary of this sequence is placed at some 275 meter above the base of the section. This boundary is identified by high abundance of phytoclasts and sudden decrease in diversity and abundance of Dinoflagellates and sudden decrease in the C/PPC ratio. Depositional environment changes from distal shelf to proximal shelf (Marginal basin) within the sequence. This sequence contains two system tracts including TST and HST.

Third Sequence: The lower boundary of this sequence is conform to the upper boundary of the second sequence and the upper boundary is picked at 530m above the base of section at the top of the third layers of chalky limestone. Similar to the second sequence, this one is made up of two system tracts: TST and HST. It is worth mentioning that, based on the depth of the desired facies composition (LST can't be identified based on palynological evidence and thus, two system tracts, namely, LST and TST, are taken into consideration altogether). They are identifiable by the existent evidence in palynological slides.

Result

The Ab-Deraz Formation in the studied section was analyzed for sea level fluctuations and sequence stratigraphy using palynological factors. To test accuracy of this method, we used palynology and palynofacies process and change in organic matter contents and correlation using parameters, such as the terrestrial/marine particle ratios, the C/PPC ratio, diversity and abundances in dinoflagellate cysts, changes in organic materials (Phytoclasts, palynomorphs and amorphous organic materials) and integration of these data with identified palynofacies. Based on this study, three sequences with four sequence boundaries (3 boundaries of type II and one boundary of the type I) were identified.

Keywords: Sequence stratigraphy; Relative sea level changes; Palynological factors; Ab-Deraz Formation.

References

- Afshar-Harb, A., 1994. Geology of Kopet-Dagh. Geological Survey of Iran 275 p. [in Persian].
- Gorin, G.E., & Steffen, D., 1990. Organic facies as tool for recording eustatic Variation in marine Fine-grained Carbonates, example of berriasian stratotype at Berrias (Ardeche, SE France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 85: 303-320.
- Carvalho, M.A., Mendonca Filho, J.G., & Menezes, T.R., 2006. Palynofacies and sequence stratigraphy of the Aptian – Albian of the Sergipe Basin, Brazil. *Sedimentary Geology*, 192: 57-74.
- Pittet, B., & Gorin, E., 1997. Distribution of sedimentary organic matter in a mixed carbonate - siliciclastic platform environment: Oxfordian of the Swiss Jura Basin, Antarctica. *Cretaceous Research*, 18: 109-137.
- 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.
- Steffen, D., & Gorin, G., 1993a. Palynofacies of the upper Tithonian–Berriasian deep-sea carbonates in the Vocotian Trough (SE France). *Bulletin Centres Recherches Exploration-Production Elf Aquitaine*, 17: 235-247.
- Tyson, R.V., 1993. Palynofacies analysis. *Applied Micropaleontology*, p.153-191.
- Tyson, R.V., 1995. Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies. *Chapman & Hall*, 615 p.
- 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: 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, Palaeoecology*, 112: 85-111.