

ثبت رخداد غیرهوازی اقیانوسی ابتدای آپتین بر اساس نانوفسیل‌های آهکی در سازند گرو (تاق‌دیس کبیرکوه)، غرب ایران

اعظم ماهانی‌پور^۱، مریم افتخاری^۲ و سهیلا سهیلی^۲

دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
 کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۸

چکیده

به منظور بررسی رخداد غیرهوازی اقیانوسی ابتدای آپتین، نانوفسیل‌های آهکی در رسوبات بارمین پسین-آپتین پیشین سازند گرو واقع در یال جنوب غربی تاق‌دیس کبیرکوه در برش قلعه دره از نقطه نظر پالئوکولوژی مورد مطالعه و بررسی دقیق قرار گرفت. بررسی نانوفسیل‌های آهکی در این برش منجر به تشخیص ۹۰ گونه متعلق به ۴۳ جنس از ۱۵ خانواده شد که از جمله جنس و گونه‌های شاخص می‌توان به اولین حضور گونه‌های *Hayesites irregularis* و *Eprolithus floralis* اشاره کرد. بر این اساس محدوده تحت بررسی شامل قسمت‌های انتهایی زیست‌زون CC6/NC5 تا قسمت‌های ابتدایی زیست‌زون CC7/NC7A است. اولین حضور گونه *H. irregularis* شاخص مرز بارمین-آپتین و تفکیک‌کننده زیست‌زون‌های CC6/NC5E از CC7/NC6 است. بررسی آماری تجمع نانوفسیل‌های آهکی محدوده مورد مطالعه بیانگر ثبت افت نانو کونیدی (Nannoconid decline) در مرز بارمین-آپتین و آپتین پیشین و بحران نانو کونیدی (Nannoconid crisis) در زون CC7a/NC6B می‌باشد. بحران نانو کونیدی یکی از شاخص‌های اصلی رخداد غیرهوازی اقیانوسی ابتدای آپتین است که از نقاط مختلف دنیا از جمله غرب تیس، حوضه دریای شمال و اقیانوس‌های اطلس و آرام در بازه زمانی آپتین پیشین وزون NC6 از زیست‌زون‌های نانوفسیلی گزارش شده و در این مطالعه در رسوبات آپتین پیشین سازند گرو ثبت شده است.

کلیدواژه‌ها: ایران، سازند گرو، حوضه زاگرس، رخداد غیرهوازی اقیانوسی ابتدای آپتین، نانوفسیل‌های آهکی.

E-mail: a_mahanipour@uk.ac.ir

*نویسنده مسئول: اعظم ماهانی‌پور

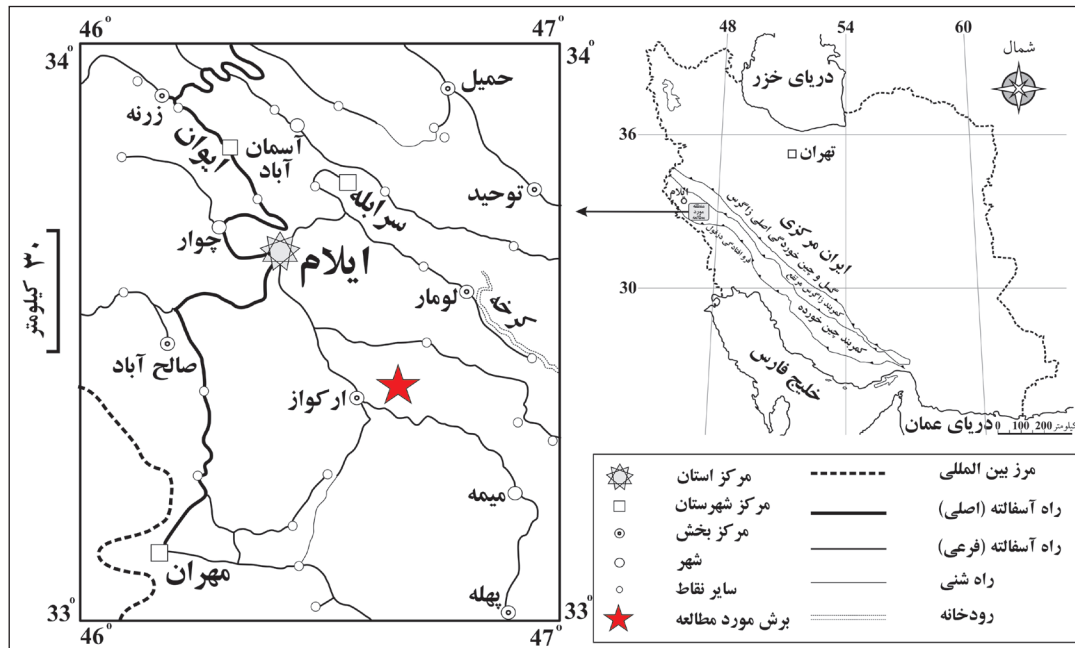
۱- پیش‌نوشتار

آب و هوا و حیات در کرتاسه تحتانی تحت تأثیر جدایش «پانگه‌آ» افزایش نرخ تولید پوسته اقیانوسی و فعالیت‌های آتشفشانی بوده (Föllmi, 2012) که افزایش دی‌اکسید کربن جوی در نتیجه فعالیت‌های آتشفشانی، شرایط گرم گلخانه‌ای را در کرتاسه به وجود آورده است (Huber et al., 1995; Wilson et al., 2002). افزایش نرخ تولید پوسته اقیانوسی و فعالیت‌های ولکانیکی باعث افزایش فشار گاز دی‌اکسید کربن اتمسفر، افزایش درجه حرارت و بالا رفتن نسبی سطح آب دریا شده است (Erba, 1994; Leckie et al., 2002; Erba and Tremolada, 2004; Tejada et al., 2009). لازم به ذکر است که شرایط گلخانه‌ای کرتاسه بین دو حالت خشک (یا نرمال) و حالت مرطوب در نوسان بوده که در رسوبات حوضه تیس نیز به ثبت رسیده است. تحت شرایط مرطوب و گلخانه‌ای، شرایط کم‌هوازی و بی‌هوازی در آب‌های عمیق اقیانوس‌ها توسعه یافته که سبب ته‌نشست شیل‌های سیاه ابتدای آپتین در حوضه تیس شده است (Föllmi, 2012). ته‌نشست شیل‌های سیاه غنی از مواد آلی در مقیاس جهانی ثبت شده و تحت عنوان رخداد‌های غیرهوازی اقیانوسی (Oceanic Anoxic Events= OAEs) از آنها یاد شده است. یکی از رخداد‌های غیرهوازی اقیانوسی ثبت شده در مقیاس جهانی، رخداد غیرهوازی اقیانوسی ابتدای آپتین (Oceanic Anoxic Event 1a= OAE 1a) بوده که همراه با تغییرات اساسی در چرخه کربن جهانی، تغییرات آب و هوایی، محیطی و اقیانوسی همراه بوده است (Schlanger and Jenkyns, 1967; Jenkyns, 2010; Föllmi, 2012). تغییرات مذکور باعث تغییر در مجموعه موجودات جانوری و گیاهی اقیانوس‌ها شده است که از آن جمله می‌توان به کاهش تنوع در فرامینیفرهای پلاتکتون و رادیولرها، طول‌شدگی حجرات بعضی از فرامینیفرها و ناپدید شدن موقت نانو کونیدها اشاره کرد (Premoli Silva et al., 1999; Herrle and Mutterlose, 2003). رخداد غیرهوازی اقیانوسی ابتدای آپتین (OAE 1a) از قسمت‌های مختلف دنیا در غرب و شرق حوضه تیس، حوضه بورال و اقیانوس‌های آرام و اطلس گزارش شده است (Coccioni et al., 1987; Bralower et al., 1994; Dumitrescu and Brassell, 2006; Mutterlose and Bottini, 2013).

(Patruno et al., 2015; Mahanipour et al., 2011; Chen et al., 2017). با وجود گزارشات متعدد این رخداد در قسمت‌های مختلف حوضه تیس، تاکنون رخداد مذکور از حوضه رسوبی زاگرس (سازند گرو) بر اساس نانوفسیل‌های آهکی گزارش نشده است. تاکنون کارهای تحقیقاتی متعددی در زمینه‌های مختلف رسوب‌شناسی، فسیل‌شناسی و ژئوشیمیایی (James and Wynd, 1965; Bordenave and Burwood, 1990) کنی و حکمتی‌نیا، ۱۳۸۳؛ اختری و قوبدل سیوکی، ۱۳۸۵؛ جمالیان و همکاران، ۱۳۹۰؛ عظام پناه و همکاران، ۱۳۹۱) بر روی سازند گرو صورت گرفته است، اما مطالعه‌ای وجود ندارد که این سازند را از نقطه نظر رخداد غیرهوازی اقیانوسی ابتدای آپتین بر اساس نانوفسیل‌های آهکی بررسی کرده باشد. در مطالعه حاضر هدف بررسی رخداد غیرهوازی اقیانوسی ابتدای آپتین (OAE 1a) در سازند گرو واقع در تاق‌دیس کبیرکوه بر پایه نانوفسیل‌های آهکی است.

۲- موقعیت جغرافیایی برش مورد مطالعه

برش مورد مطالعه (قلعه دره) در یال جنوب غربی تاق‌دیس کبیرکوه با موقعیت جغرافیایی طول ۴۶ درجه، ۴۱ دقیقه و ۵۵ ثانیه شرقی و عرض ۳۳ درجه، ۲۲ دقیقه و ۴۲ ثانیه شمالی، در زاگرس چین‌خورده قرار گرفته است. با توجه به تقسیم‌بندی زاگرس بر اساس تغییرات جانبی رخساره‌ها که منجر به تفکیک زون‌های فارس (زاگرس شرقی)، ایذه، فروافتادگی دزفول (زاگرس مرکزی) و لرستان (زاگرس غربی) شده (Motiei, 1994, 1995; Talbot and Alavi, 1996)، برش مورد مطالعه در زون لرستان واقع است. این منطقه در بازه آپتین در حاشیه جنوبی راه آبی گرو قرار داشته که به اقیانوس نتوتیس متصل می‌شده است (Vincent et al., 2010). برای رسیدن به برش قلعه‌دره در ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی ایلام و ۱۰ کیلومتری شمال شرقی روستای ارکواز (قلعه‌دره)، می‌توان از جاده ایلام-دره شهر یا ایلام-میمه استفاده کرد (شکل ۱). در منطقه مورد مطالعه، سازند گرو با ناپیوستگی بر روی رسوبات تبخیری سازند گوتنبا (به سن ژوراسیک بالایی) قرار گرفته و با سنگ آهک‌های سازند سروک (به سن آلین - توروین) به صورت ناپیوسته پوشیده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در زاگرس اقتباس (Heydari (2008) با تغییرات و نمایش راه‌های دسترسی به برش چینه‌شناسی مورد مطالعه اقتباس از بختیاری (۱۳۸۴) با تغییرات.

۳- روش مطالعه

را مشخص می‌کند. اولین حضور گونه *E. floralis* نیز در ضخامت ۳۴۲ متری ثبت شده و شاخص مرز زیست‌زون‌های CC7A/CC7B و NC6B/NC7A است. همچنین اولین حضور گونه *Flabellites oblongus* که شاخص مرز زیر زون‌های NC5E و NC5D بوده در ضخامت ۲۷۶ متری ثبت شده است. آخرین حضور گونه *Conusphaera rothii* نیز در ضخامت ۳۰۳ متری ثبت شده و شاخص مرز زیر زون‌های NC6B و NC6A است (افتخاری و همکاران، ۱۳۹۵؛ Mahanipour et al., 2018). موقعیت جنس و گونه‌های شاخص و زیست‌زون‌های ثبت شده بر اساس آنها در شکل ۲ نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که حفظ‌شدگی نانوفسیل‌های آهکی محدوده مورد مطالعه بر اساس تعاریف Roth (1978) از ضعیف تا خوب متغیر بوده و در ارتباط با لیتولوژی است، به طوری که حفظ‌شدگی ضعیف در واحدهای سنگ آهک و سنگ آهک مارنی و حفظ‌شدگی خوب در مارن و شیل مارنی دیده می‌شود.

۵- بررسی تجمع نانوفسیل‌های آهکی

تجمع نانوفسیل‌های آهکی در محدوده مورد مطالعه شامل جنس و گونه‌های جهانی به همراه نمونه‌های مختص حوضه تپیس است. در محدوده مورد مطالعه جنس و گونه‌های غالب عبارتند از: *Watznauerai barnesiae* (متوسط فراوانی ۱۹/۳٪)، حداکثر فراوانی، ۳۳/۴٪)، *Rhagodiscus asper* (متوسط فراوانی ۹/۹٪)، حداکثر فراوانی ۱۷/۳٪)، *small Zeughrabdodus spp.* (متوسط فراوانی ۹/۸٪)، حداکثر فراوانی ۲۲/۲٪)، *Lithraphidites carniolensis* (متوسط فراوانی ۷/۵٪)، حداکثر فراوانی ۱۶/۳٪)، *Nannoconus spp.* (متوسط فراوانی ۵/۵٪)، حداکثر فراوانی ۳۳/۶٪)، *Discorhabdus ignotus* (متوسط فراوانی ۵/۲٪)، حداکثر فراوانی ۱۵/۱٪) و *Micrantholithus spp.* (متوسط فراوانی ۴/۲٪)، حداکثر فراوانی ۱۳/۸٪) و *Diazomatolithus lehmanii* (متوسط فراوانی ۴/۱٪)، حداکثر فراوانی ۱۰/۵٪). سایر جنس و گونه‌ها که با فراوانی کمتر ثبت شده‌اند شامل *Helenea chlastia* (متوسط فراوانی ۱/۹٪)، حداکثر فراوانی ۵/۹٪)، *Hayesites irregularis* (متوسط فراوانی

جهت مطالعه نانوفسیل‌های آهکی در برش مورد مطالعه، ۸۰ نمونه از ضخامت معادل ۱۵۵ متر از قسمت‌های فوقانی سازند گرو مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه‌های موجود به روش ثقیلی (Thibault and Gardin, 2006) آماده‌سازی و با استفاده از میکروسکوپ نوری المپوس مدل BH2 با بزرگنمایی ۱۰۰۰× مطالعه شد. در پژوهش حاضر برای شناسایی نانوفسیل‌های آهکی از توصیفات (Perch-Nielsen (1985)، (Bown, 1998) و سایت Nannotax website استفاده شده است.

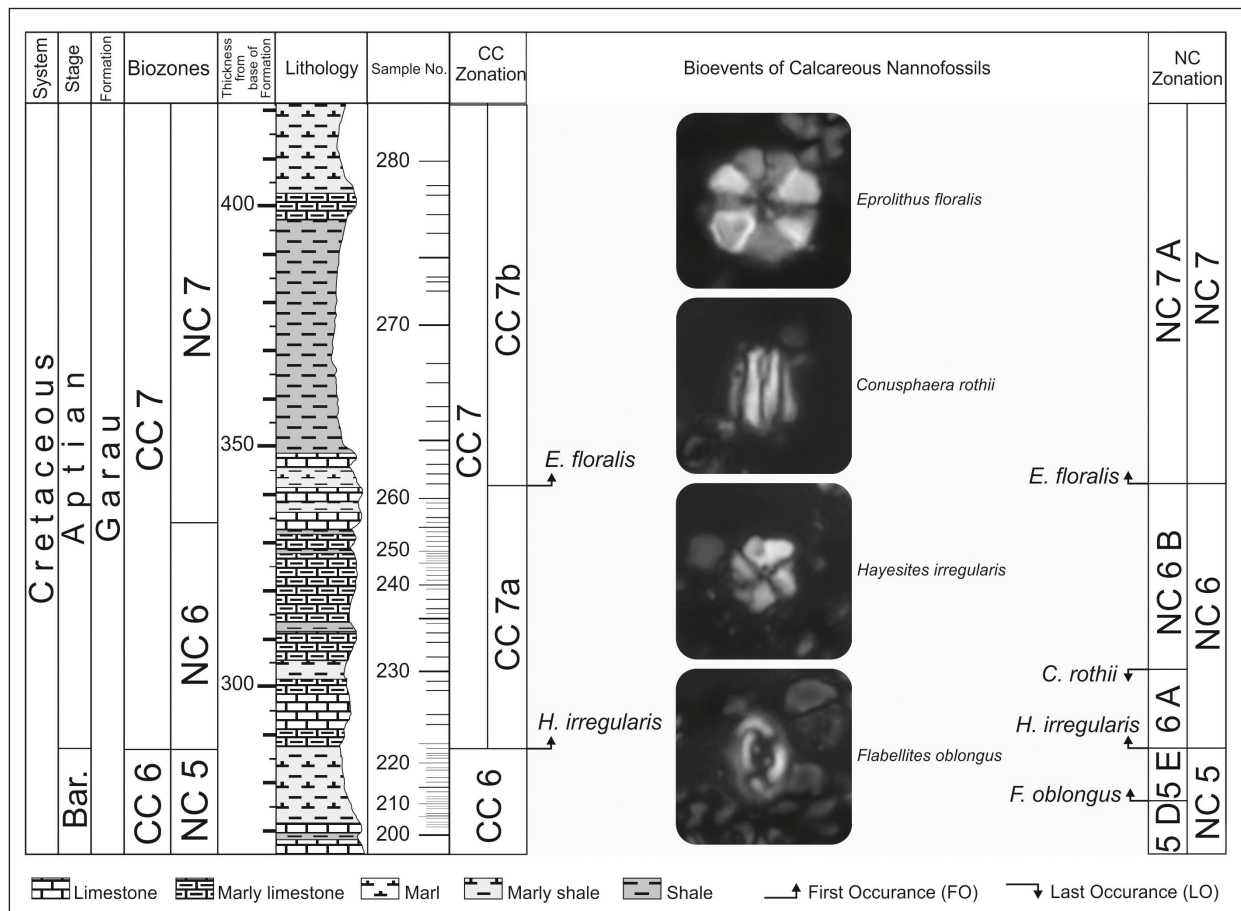
جهت بررسی پالئواکولوژی نانوفسیل‌های آهکی حدود ۳۰۰ جنس و گونه در هر اسلاید شمارش و سپس محاسبات آماری در نرم‌افزارهای اکسل و spss انجام شد. بر این اساس فراوانی نسبی (relative abundance)، فراوانی مطلق (absolute abundance) و تنوع (Diversity) جنس و گونه‌های نانوفسیلی موجود محاسبه شده است. جهت اندازه‌گیری میزان درصد کربنات کلسیم نمونه‌ها از دستگاه مولر بمب استفاده شد. در این روش حدود یک گرم از نمونه به صورت کامل پودر و با اسید کلریدریک ۱۵ درصد در دستگاه کلسی متر واکنش داده شده است. بر اساس میزان گاز دی‌اکسید کربن آزاد شده داخل بطری، محتوای کربنات کلسیم محاسبه گردید. لازم به ذکر است که بایستی دستگاه با کربنات کلسیم خالص در ابتدا کالیبره شود.

۴- زیست‌چینه‌نگاری نانوفسیل‌های آهکی

جهت تحلیل زیست‌چینه‌نگاری نانوفسیل‌های آهکی در محدوده مورد مطالعه از زیست‌زون‌بندی استاندارد (Sissingh (1977) تصحیح شده توسط Applegate and Bergen (1988) با علامت اختصاری CC و زیست‌زون‌بندی (Roth (1978) تصحیح شده توسط Bralower et al. (1995) با علامت اختصاری NC استفاده شده است. در محدوده مورد مطالعه جنس و گونه‌های شاخص ثبت شده شامل اولین حضور گونه *Hayesites irregularis* و اولین حضور گونه *Eprolithus floralis* می‌باشد. اولین حضور گونه *H. irregularis* که در ضخامت ۲۸۷ متری ثبت شده شاخص مرز بارمین - آپتین است و مرز زیست‌زون‌ها CC6/CC7A و NC5/NC6

کانال متوسط و نانو کونیده‌های با کانال باریک هستند. نانو کونیده‌های کانال باریک شامل *Nannoconus steinmannii*, *Nannoconus steinmannii minor*, *Nannoconus ligius* و *Nannoconus sp.* با کانال متوسط گونه‌های *Nannoconus kamptneri*, *Nannoconus quadricanalis* و *Nannoconus bucheri* و در گروه نانو کونیده‌های با کانال عریض گونه‌های *Nannoconus truitti* و *Nannoconus circularis* و *Nannoconus sp.* با کانال عریض در نظر گرفته شده‌اند.

۱٪، حداکثر فراوانی ۹/۲٪، *Braarudosphaera* spp. (متوسط فراوانی ۰/۹٪، حداکثر فراوانی ۴٪)، *Biscutum constans* (متوسط فراوانی ۰/۴٪، حداکثر فراوانی ۳/۲٪) و *Eprolithus floralis* (متوسط فراوانی ۰/۱٪، حداکثر فراوانی ۰/۷٪). لازم به ذکر است که در این مطالعه نانو کونیده‌ها مشابه با کار (Erba, 1994), Barbarin et al. (2012) و Duchamp-Alphonse et al. (2014) به سه گروه بر اساس اندازه کانال تقسیم شده‌اند که شامل نانو کونیده‌های با کانال عریض، نانو کونیده‌های با



شکل ۲- نمایش حوادث نانوفسیلی شاخص و زیست‌زون‌های تشخیص داده شده در محدوده مورد مطالعه. زیست‌زون‌های CC منطبق بر Sissingh (1977) و زیست‌زون‌های NC منطبق بر زیست‌زون بندی Roth (1978) تصحیح شده توسط Bralower et al. (1995) است.

۶- بحث

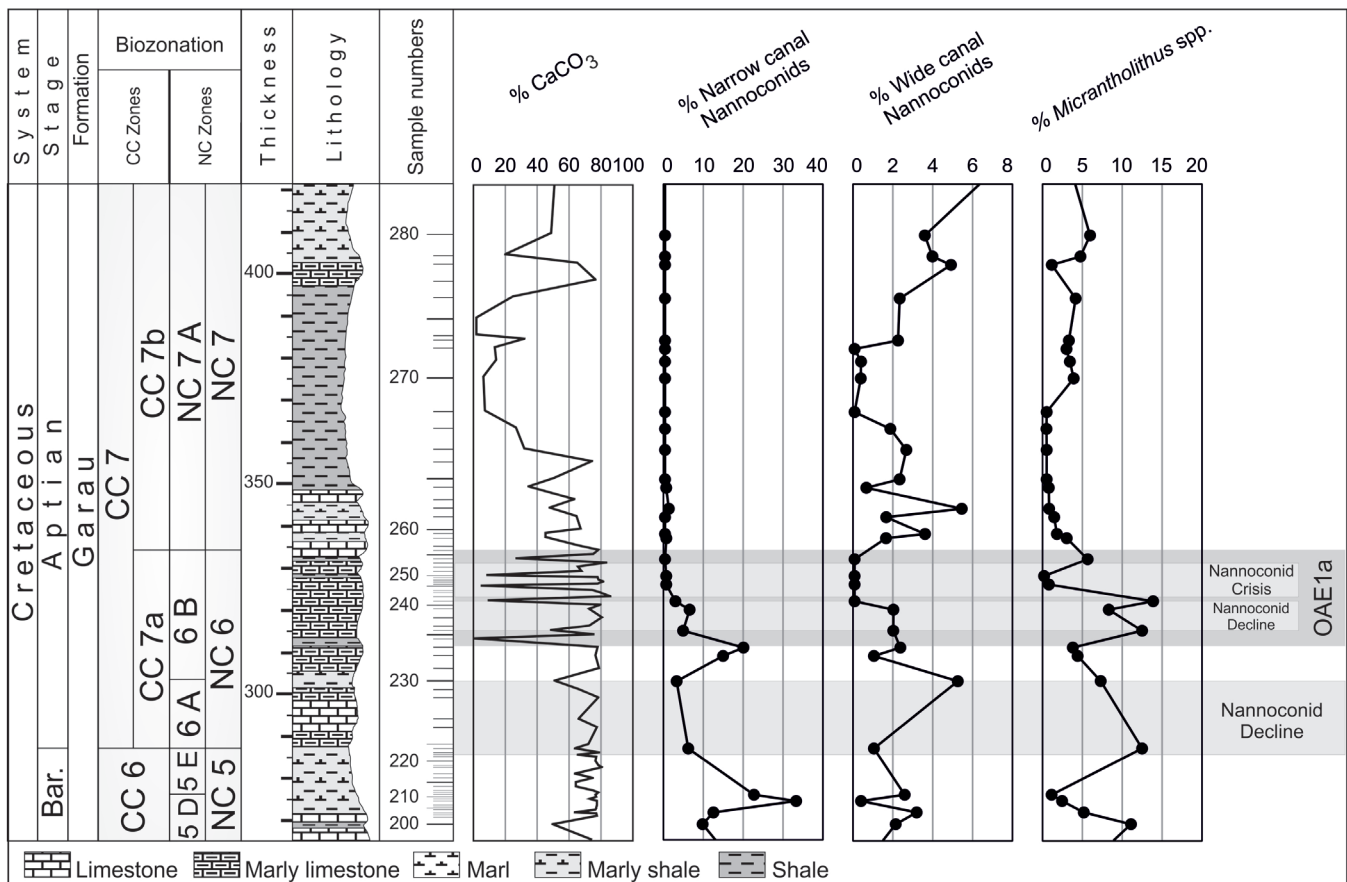
تغییرات شدید آب و هوایی رخ داده که همراه با نوسانات متعدد در سیستم اقیانوسی جوی و چرخه کربن در سطح جهانی بوده است (Schlanger and Jenkyns, 1976; Leckie et al., 2002; Jenkyns, 2010). یکی از رخدادهای غیرهوازی اقیانوسی که به صورت جهانی در کرتاسه میانی ثبت شده، رخداد غیرهوازی اقیانوسی ابتدای آپتین (OAE 1a) است (Jenkyns, 2010). در بسیاری از نقاط، این رخداد با ته‌نشست رسوبات دریایی غنی از کربن آلی همراه بوده که تحت عنوان شیل‌های سیاه (black shales) شناخته می‌شوند (Schlanger and Jenkyns, 1976; Weissert and Erba, 2004). حدود یک میلیون سال طول کشیده است (Li et al., 2008). از جمله شواهد ثبت شده در محدوده رخداد غیرهوازی اقیانوسی می‌توان به شواهد زیستی (نانوفسیل‌ها، آمونیت‌ها، فرامینیفرها)، تغییرات رخساره‌ای (لایه‌های غنی از کربن آلی TOC) و آنومالی در منحنی ایزوتوپ کربن ۱۳

نانوفسیل‌های آهکی مزوزوئیک مهم‌ترین تولیدکنندگان اولیه حوضه‌های دریایی محسوب می‌شوند (Mutterlose et al., 2005) که شدیداً به ساختار حرارتی اقیانوس‌ها، میزان مواد غذایی آب‌های سطحی (شرایط الیگو-، مزو- و یوتروفیک) و همچنین دی‌اکسید کربن اتمسفر وابسته و همچنین نسبت به فاکتورهای اکولوژیکی مثل نور، مواد غذایی، درجه حرارت و سایر عوامل زیست‌محیطی مانند شوری حساس هستند (Erba, 2004; Mutterlose et al., 2005). نانوفسیل‌های آهکی اطلاعات مهمی در مورد اقیانوس‌های مزوزوئیک، توده‌های آب، سیستم جریان‌ها و الگوهای رسوب‌گذاری تأمین می‌کنند. بنابراین مجموعه نانوفسیل‌های آهکی مزوزوئیک به طور گسترده‌ای برای بازسازی شرایط آب و هوایی و محیطی دیرینه استفاده می‌شوند (Mutterlose et al., 2005). در کرتاسه میانی (Ma85-125) یک سری وقایع غیرهوازی اقیانوسی (OAEs) و

در ادامه (Pentlith Peak) (Patruno et al., 2015)، (۳) بحران نانوکونیدی (Nannoconid Crisis) و کاهش کلسیتی شدن زیستی (biocalcification crisis) (Erba, 2004; Erba et al., 2010; Mutterlose and Bottini, 2013) که در زمان رخداد غیرهوازی اقیانوسی آپتین پیشین ثبت شده و (۴) بازگشت مجدد نانوکونیدها (به خصوص نانوکونیدهای کانال عریض = Wide canal Nannoconids) بعد از OAE 1a (Patruno et al., 2015).

بررسی آماری تجمع نانوفسیل‌های آهکی برش مورد مطالعه در محدوده زمانی آپتین منجر به ثبت افت نانوکونیدها از محدوده مرز بارمین-آپتین تا اوایل آپتین پیشین شده که با یک افزایش جزئی در نانوکونیدها همراه بوده است (شکل ۳).

(ناهنجاری منفی و به دنبال آن ناهنجاری مثبت خیلی بزرگ) اشاره کرد. با افزایش فعالیت‌های آتشفشانی و حاصلخیز شدن اقیانوس‌ها در نزدیکی OAE 1a، مجموعه موجودات پلانکتون و بنتیک بیشترین میزان تغییرات را در هنگام وقوع این رخداد غیرهوازی اقیانوسی نشان می‌دهند (Patruno et al., 2015). از جمله این تغییرات کاهش ۹۰ درصدی فراوانی نانوفسیل‌های آهکی در زمان وقوع رخداد غیرهوازی اقیانوسی ابتدای آپتین و بازیابی آنها بعد از OAE 1a تا میزان ۶۰ درصد است (Erba, 2004). سایر شواهد نانوفسیلی که در زمان رخداد غیرهوازی اقیانوسی ثبت شده شامل موارد زیر است: (۱) افت نانوکونیدی (Nannoconid decline) در بارمین پسین-آپتین پیشین (Mutterlose and Bottini, 2013)، (۲) پیک پنتالیت‌ها



شکل ۳- نمایش فراوانی نسبی نانوکونیدها کانال باریک و عریض به موازات جنس *Micrantholithus* از پنتالیت‌ها در محدوده مورد مطالعه. افت نانوکونیدی، بحران نانوکونیدی و رخداد غیرهوازی اقیانوسی آپتین پیشین (OAE 1a) در محدوده مورد مطالعه نمایش داده شده است.

بالای مواد غذایی حاصل می‌شود (Bersezio et al., 2002; Bown, 2005). بنابراین حداکثر فراوانی *Micrantholithus* همزمان با افت نانوکونیدی آپتین پیشین متأثر از افزایش میزان بارندگی‌ها و ورود رودخانه‌ها تحت شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب بوده که منجر به افزایش میزان مواد غذایی و کاهش شوری آب دریا شده است. بعد از افت نانوکونیدها، بحران نانوکونیدها ثبت شد که شاخص OAE 1a است و فراوانی نانوکونیدها به صفر می‌رسد. بحران نانوکونیدی در زیست‌زون نانوفسیلی NC6B (شکل ۳) مشابه با سایر نقاط دنیا ثبت شده است (Erba, 2004; Erba and Tremolada, 2004; Erba et al., 2010 and 2015).

همزمان با کاهش در نانوکونیدها، افزایش در میزان فراوانی پنتالیت‌ها (به خصوص *Micrantholithus*) ثبت شده به طوری که حداکثر فراوانی *Micrantholithus* همزمان با افت نانوکونیدی آپتین پیشین و قبل از بحران نانوکونیدی ثبت شده است. نانوکونیدها شاخص آب‌های گرم و الیگوتروف هستند (Erba, 1994; Herrle, 2003; Barbarin et al., 2012; Mutterlose and Bottini, 2013; Duchamp-Alphonse et al., 2014) و در آب‌های چینه‌بندی شده با نوتریکالین عمیق و در زمان نرخ کم ورود رودخانه‌ها به حداکثر شکوفایی می‌رسند (Bown, 2005; Pauly et al., 2012). همچنین فراوانی پنتالیت‌ها به خصوص *Micrantholithus* در محیط‌های کم عمق و گرم با شوری کم و میزان

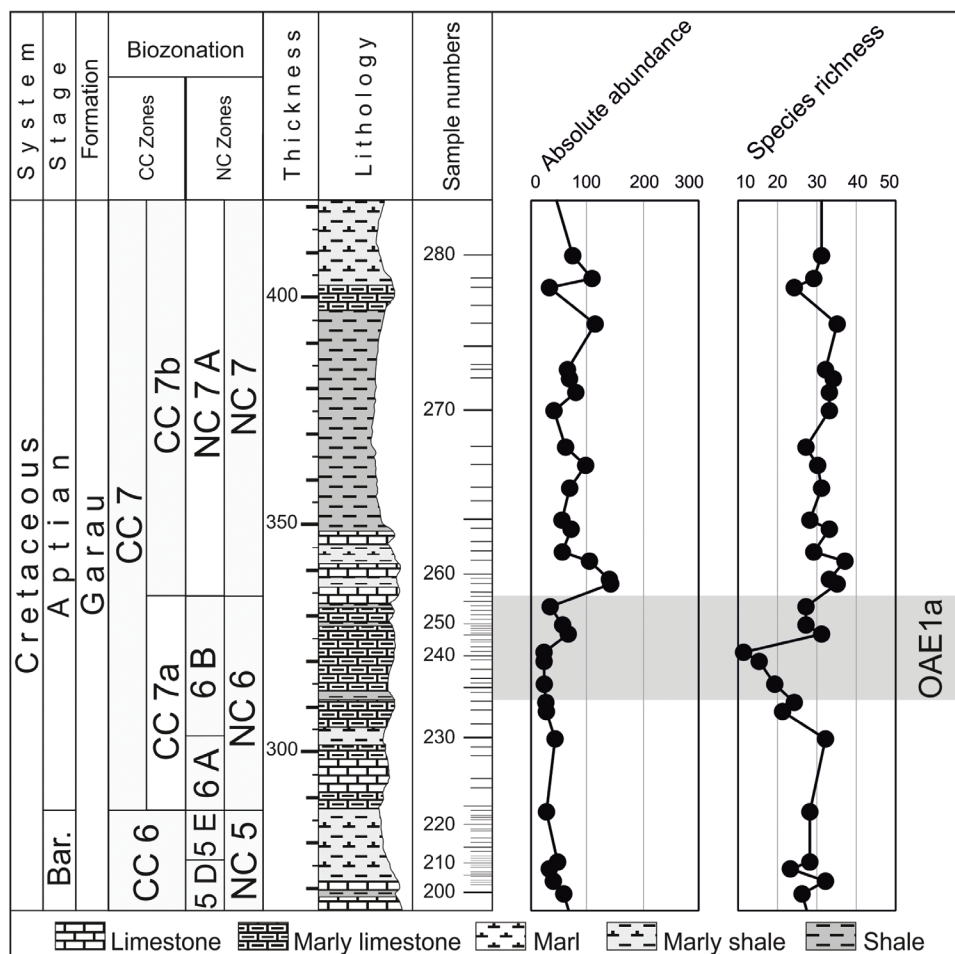
نانوکونیدی، فراوانی *Micrantholithus* نیز به صفر رسید که می‌تواند به دلیل افزایش عمق آب و ایجاد شرایط اقیانوسی تحت شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب با افزایش مواد غذایی است. افت نانوکونیدها و بحران نانوکونیدی ثبت شده در تجمع نانوفسیل‌های آهکی حوادث جهانی هستند که از بسیاری از نقاط دنیا گزارش شده‌اند (Erba, 1994; Herrle and Mutterlose, 2003; Erba et al., 2010; Mahanipour et al., 2011; Bottini et al., 2015; Patruno et al., 2015).

با توجه به اینکه نانوکونیدها جز تولیدکنندگان اصلی و مهم در اقیانوس‌های ژوراسیک و کرتاسه محسوب می‌شوند، لذا به عنوان موجودات تولیدکننده کربنات مهم در نظر گرفته شده‌اند که کاهش فراوانی آنها می‌تواند منجر به کاهش کلسیتی شدن زیستی شود. دقیقاً بحران نانوکونیدی آپتین پیشین در زمان OAE 1a منطبق بر بحران کلسیتی شدن زیستی (biocalcification crisis) (Weissert and Erba, 2004; Erba et al., 2015) است، به طوری که همزمان میزان کربنات کلسیم رسوبات به میزان قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند. لازم به ذکر است که بحران کلسیتی شدن مذکور منطبق بر غرق‌شدگی پلاتفرم‌ها به ذکر است که بحران کلسیتی شدن مذکور منطبق بر غرق‌شدگی پلاتفرم‌ها

به عقیده Erba et al. (2010) اسیدی شدن آب اقیانوس‌ها در محدوده رخداد غیرهوازی اقیانوسی ابتدای آپتین OAE1a بر اثر افزایش میزان دی‌اکسیدکربن (CO_2) حاصل از فوران‌های گسترده آتشفشانی باعث از بین رفتن نانوکونیدها و سایر جنس و گونه‌ها شده است. ایشان عقیده دارند که بعد از ۱۶۰۰۰۰ سال شرایط غیرهوازی و اسیدی، شرایط به حالت عادی برگشته و تولید کربنات مجدداً آغاز شده است. در برش مورد مطالعه، بعد از بحران نانوکونیدی مذکور مجدداً نانوکونیدها در نمونه‌ها ظاهر شده که اکثراً شامل گونه‌های نانوکونیدی کانال عریض هستند. گونه‌های نانوکونیدی کانال باریک هرگز با فراوانی قبل از بحران در نمونه‌ها ظاهر نشده‌اند (شکل ۳). لازم به ذکر است که فراوانی مطلق نانوفسیل‌های آهکی و تنوع گونه‌های نانوفسیلی در محدوده بحران نانوکونیدی کاهش یافته است (شکل ۴).

جدول ۱- لیست نانوکونیدهای موجود بر اساس اندازه کانال.

انواع جنس و گونه‌های نانوکونیدی بر اساس اندازه کانال	انواع نانوکونیدها
<i>Nannoconus steinmannii</i> , <i>Nannoconus steinmannii minor</i> , <i>Nannoconus ligius</i> , <i>Nannoconus sp.</i> (narrow canal forms)	نانوکونیدهای کانال باریک
<i>Nannoconus kamptneri</i> , <i>Nannoconus quadricanalis</i> , <i>Nannoconus truitti</i> , <i>Nannoconus bucheri</i> , <i>Nannoconus circularis</i> , <i>Nannoconus sp.</i> (wide canal forms)	نانوکونیدهای کانال متوسط و عریض



شکل ۴- نمایش فراوانی مطلق و تنوع نانوفسیل‌های آهکی در محدوده مورد مطالعه. رخداد غیرهوازی اقیانوسی ابتدای آپتین (OAE 1a) با کادر خاکستری مشخص شده است.

همچنین منحنی کلسی‌متری، کاهش دیگری در اواسط بیوزون CC7b/NC7 نشان می‌دهد.

با توجه به شواهد مذکور (افت نانوکونیدی و بحران نانوکونیدی) رخداد غیرهوازی اقیانوسی ابتدای آپتین (OAE 1a) بر اساس تجمع نانوفسیل‌های آهکی موجود در رسوبات آپتین سازند گرو با ضخامت ۲۳ متر (از نمونه ۲۳۳ تا ۲۵۶) ثبت شده است. این رخداد بر اساس تجمع نانوفسیل‌های آهکی برای اولین بار از سازند گرو در تاقدیس کبیرکوه گزارش می‌شود.

میزان درصد کربنات کلسیم در نمونه ۲۳۴ که قاعده رخداد بی‌هوازی اقیانوسی می‌باشد به صفر می‌رسد و سپس در کل محدوده ای که به عنوان رخداد بی‌هوازی اقیانوسی بر اساس نانوفسیل‌های آهکی در نظر گرفته شده است منحنی روندهای کاهشی (حدود ۳ تا ۸ درصد) و افزایشی (حدود ۸۰ درصد) نشان می‌دهد که منعکس‌کننده تغییرات لیتولوژیکی در محدوده مورد مطالعه است. به‌طور کلی با وجود نوسان در منحنی، میزان درصد کربنات کلسیم در محدوده رخداد غیرهوازی اقیانوسی کمتر از قسمت‌های تحتانی و فوقانی رخداد است.

Plate 1

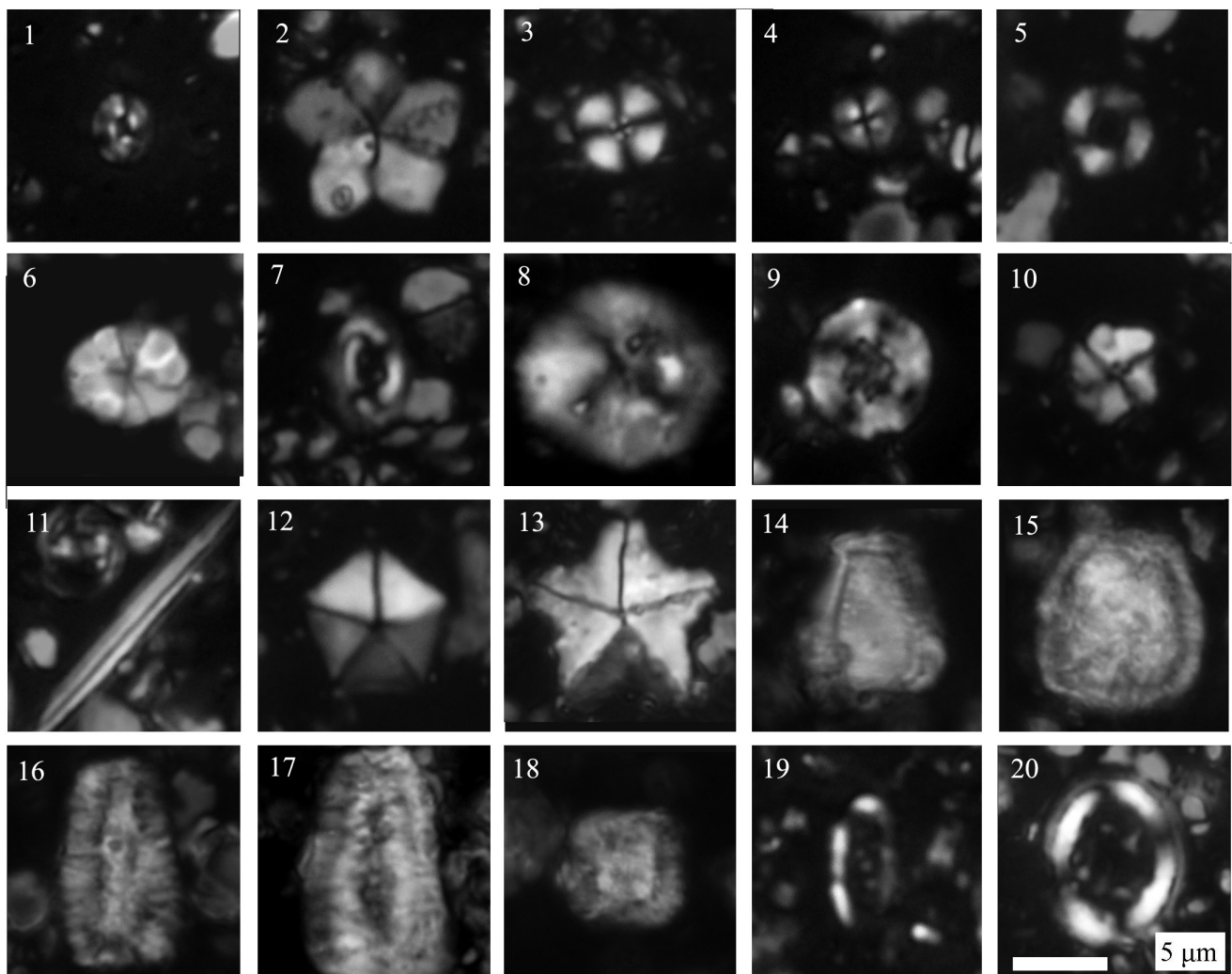


Fig. 1- *Biscutum constans* (Gorka, 1957) Black, 1959, sample 279; **Fig. 2-** *Braarudosphaera africana* Stradner, 1961, sample 277; **Fig. 3-** *Cyclagelosphaera margerelii* Noel, 1965, sample 262; **Fig. 4-** *Discorhabdus ignotus* (Gorka, 1957) Perch-Nielsen, 1968, sample 220; **Fig. 5-** *Diazomatolithus lehmanni* Noel, 1965, sample 203; **Fig. 6-** *Eprolithus floralis* (Stradner, 1962) Stover, 1966, samples 274; **Fig. 7-** *Flabellites oblongus* (Bukry, 1969) Crux in Crux et al., 1982, sample 259; **Fig. 8-** *Haqius circumradiatus* (Stover, 1966) Roth, 1978, sample 258; **Fig. 9-** *Helenea chiesta* Worsley, 1971, samples 261; **Fig. 10-** *Hayesites irregularis* (Thierstein in Roth and Thierstein, 1972) Applegate et al., in Covington and Wise, 1987, sample 254; **Fig. 11-** *Lithraphidites carniolensis* Deflandre, 1963, sample 247; **Fig. 12-** *Micrantholithus hoschulzii* (Reinhardt, 1966) Thierstein, 1971, sample 259; **Fig. 13-** *Micrantholithus obtusus* Stradner, 1963, sample 239; **Fig. 14-** *Nannoconus bucheri* Brönnimann, 1955, sample 263; **Fig. 15-** *Nannoconus circularis* Deres and Acheriteguy, 1980, sample 258; **Fig. 16-** *Nannoconus kamptneri* Brönnimann, 1955, sample 262; **Fig. 17-** *Nannoconus steinmannii* Kamptner, 1931, sample 230; **Fig. 18-** *Nannoconus truitti* Brönnimann, 1955, sample 251; **Fig. 19-** *Rhagodiscus angustus* (Stradner, 1963) Reinhardt, 1971, sample 276; **Fig. 20-** *Tubodiscus burnettiae* Bown in Kennedy et al., 2000, sample 270.

۶- نتیجه گیری

سپس بحران نانوکونیدی که شاخص رخداد غیرهوازی اقیانوسی ابتدای آپتین بوده (OAE 1a) ثبت شده است. همزمان با بحران نانوکونیدها، فراوانی *Micrantholithus* نیز به صفر رسید که شاخص ایجاد محیط اقیانوسی تحت شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب با افزایش مواد غذایی است. بعد از بحران نانوکونیدی، مجدداً فراوانی نانوکونیدهای کانال عریض افزایش پیدا کرده، اما نانوکونیدهای کانال باریک با فراوانی بسیار کمی در رسوبات ثبت شده‌اند.

بررسی تجمع نانوفسیل‌های آهکی سازند گرو، منجر به ثبت افت نانوکونیدها (Nannoconid decline) در رسوبات بارمین پسین-آپتین پیشین، و سپس بحران نانوکونیدها (Nannoconid crisis) در رسوبات آپتین پیشین شد که علایم جهانی ثبت رخداد غیرهوازی اقیانوسی آپتین پیشین OAE 1a هستند. همزمان با افت نانوکونیدها، افزایش فراوانی در *Micrantholithus* ثبت شد که می‌تواند شاخص میزان بالای ورود رودخانه‌ها و افزایش میزان مواد غذایی تحت شرایط گرم و مرطوب است.

کتابنگاری

- اختری، م. و قویدل سیوکی، م.، ۱۳۸۵- بررسی پتانسیل هیدروکربوری سازند گرو به عنوان سنگ منشأ نفت خام بر اساس ترمال مجروریتی پالینومورف‌ها، دهمین همایش سالانه انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ۴ تا ۶ شهریور، صص. ۱۵۰۱ تا ۱۵۱۱.
- افتخاری، م.، ماهانی پور، ا. و داستان پور، م.، ۱۳۹۵- بررسی زیست‌چینه‌نگاری قسمت‌های بالایی سازند گرو بر اساس نانوفسیل‌های آهکی در یال جنوب غربی تاقدیس کبیر کوه نشریه علمی پژوهشی رخصاره‌های رسوبی ۹ (۲)، صص. ۱۹ تا ۳۴.
- بختیاری، س.، ۱۳۸۴- اتواطلس ایران، موسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی تهران، ۶۴ ص.
- جمالیان، م.، آدابی، م. ح.، موسوی، م. ر. و صادقی، ع.، ۱۳۹۰- ژئوشیمی و پتروگرافی سازند گرو (نئوکومین-آپسین) در برش نمونه (کبیر کوه، استان ایلام)، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال بیست و هفتم، شماره پیاپی ۴۳، شماره ۲، صص. ۱ تا ۲۶.
- عظام‌پناه، ی.، صادقی، ع.، آدابی، م. ح.، جمالی، ا. م.، ۱۳۹۱- بایوستراتیگرافی سازند گرو در برش تحت‌الارضی چاه نفت، جنوب کرمانشاه، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره پیاپی ۴۷، شماره ۲، صص. ۸۲ تا ۶۹.
- کی، ا. و حکمتی نیا، س.، ۱۳۸۳- نانوستراتیگرافی سازند گرو در برش نمونه (کبیر کوه، ایلام)، هشتمین همایش سالانه انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، صص. ۱۴ تا ۱۶.

References

- Aguado, R., De Gea, G. A., Castro, J. M., O'Dogherty, L., Quijano, M. L., Naafs, B. D. A. and Pancost, R. D., 2014- Late Barremian-early Aptian dark facies of the Subbetic (Betic Cordillera, southern Spain): Calcareous nannofossil quantitative analyses, chemostratigraphy and palaeoceanographic reconstructions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 395, pp. 198- 221.
- Applegate, J. and Bergen, J., 1988- Cretaceous calcareous nannofossil biostratigraphy of sediments recovered from the Galicia Margin, ODP Leg 103. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* 103, pp. 293- 348.
- Barbarin, N., Bonin, A., Mattioli, E., Pucéat, E., Cappetta, H., Gréselle, B., Pittet, B., Vennin, E. and Joachimski, M., 2012- Evidence for a complex Valanginian nannoconid decline in the Vocontian basin (South East France). *Marine Micropaleontology* 84-85, pp. 37- 53.
- Bersezio, R., Erba, E., Gorza, M. and Riva, A., 2002- Berriasian-Aptian black shales of the Maiolica formation (Lombardian Basin, Southern Alps, Northern Italy): local to global events. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 180, pp. 253-275.
- Bordenave, M. and Burwood, R., 1990- Source rock distribution and maturation in the Zagros orogenic belt: provenance of the Asmari and Bangestan reservoir oil accumulations. *Organic Geochemistry* 16, pp. 369- 387.
- Bottini, C., Erba, E., Tiraboschi, D., Jenkyns, H., Schouten, S. and Sinninghe Damsté, J., 2015- Climate variability and ocean fertility during the Aptian Stage. *Climate of the Past* 11(3), pp. 383-402.
- Bown, P. R., 2005- Early to mid-Cretaceous calcareous nannoplankton from the northwest Pacific Ocean, Leg 198, Shatsky Rise. *Proceedings of the Ocean Drilling Program: Scientific Results* 198.
- Bown, P., 1998- Calcareous nannofossil biostratigraphy. Chapman and Hall; Kluwer Academic, 314pp.
- Bralower, T. J., Arthur, M. A., Leckie, R. M., Sliter, W. V., Allard, D. and Schlanger, S. O., 1994- Timing and paleoceanography of oceanic dysoxic/anoxic in the late Barremian to early Aptian. *Palaaios* 9, pp. 335-369.
- Bralower, T. J., Leckie, R. M., Sliter, W. V. and Thierstein, H. R., 1995- An integrated Cretaceous microfossil biostratigraphy. *SEPM Special Publications* 54, pp. 65- 79.
- Chen, X., Idakieva, V., Stoykova, K., Liang, H., Yao, H. and Wang, C., 2017- Ammonite biostratigraphy and organic carbon isotope chemostratigraphy of the early Aptian oceanic anoxic event (OAE 1a) in the Tethyan Himalaya of southern Tibet. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 485, pp. 531- 542.
- Coccioni, R., Nesci, O., Tramontana, C. F., Wezel, C. F. and Moretti, E., 1987- Descrizione di un livello guida "Radiolaritico Bituminoso Ittiolitico" alla base delle Marne a Fucoidi nell'Appennino Umbro Marchigiano. *Boll. Soc. Geol. Ital.* 106, pp. 183-192.
- Duchamp-Alphonse, S., Gardin, S. and Bartolini, A., 2014- Calcareous nannofossil response to the Weissert episode (Early Cretaceous): Implications for palaeoecological and palaeoceanographic reconstructions. *Marine Micropaleontology* 113, pp. 65-78.
- Dumitrescu, M. and Brassell, S. C., 2006- Compositional and isotope characteristics of organic matter for the early Aptian oceanic anoxic event at Shatsky Rise, ODP Leg 198. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 235, pp. 168-191.
- Erba, E. and Tremolada, F., 2004- Nannofossil carbonate fluxes during the Early Cretaceous: phytoplankton response to nutrification episodes, atmospheric CO₂, and anoxia. *Paleoceanography* 19, pp. 1- 18.
- Erba, E., 1994- Nannofossils and superplumes: the early Aptian "nannoconid crisis". *Paleoceanography* 9, pp. 483-501.

- Erba, E., 2004- Calcareous nanofossils and Mesozoic oceanic anoxic events. *Marine Micropaleontology* 52, pp. 85-106.
- Erba, E., Bottini, C., Weissert, H. J. and Keller, C. E., 2010- Calcareous nanoplankton response to surface-water acidification around Oceanic Anoxic Event 1a. *Science* 329(5990), pp. 428- 432.
- Erba, E., Duncan, R. A., Bottini, C., Tiraboschi, D., Weissert, H., Jenkyns, H. C. and Malinverno, A., 2015- Environmental consequences of Ontong Java Plateau and Kerguelen Plateau volcanism. *The Geological Society of America Special Paper* 511, pp. 271- 303.
- Föllmi, K., 2012- Early Cretaceous life, climate and anoxia. *Cretaceous Research* 35, pp. 230- 257.
- Hay, W. W., 2008- Evolving ideas about the Cretaceous climate and ocean circulation. *Cretaceous Research* 29, pp. 725- 753.
- Heimhofer, U., Hochuli, P. A., Herrle, J. O., Andersen, N. and Weissert, H., 2004- Absence of major vegetation and palaeoatmospheric pCO₂ changes associated with oceanic anoxic event 1a (Early Aptian, SE France). *Earth Planetary Science Letters* 223, pp. 303- 318.
- Herrle, J. O. and Mutterlose, J., 2003- Calcareous nanofossils from the Aptian–Lower Albian of southeast France: palaeoecological and biostratigraphic implications. *Cretaceous Research* 24, pp. 1- 22.
- Herrle, J. O., 2003- Reconstructing nutricline dynamics of mid-Cretaceous oceans: evidence from calcareous nanofossils from the Niveau Paquier black shale (SE France). *Marine Micropaleontology* 47, pp. 307- 321.
- Heydari, E., 2008- Tectonics versus eustatic control on supersequences of the Zagros Mountains of Iran. *Tectonophysics* 451, 56-70.
- Huber, B. T., Hodell, D. A. and Hamilton, C. P., 1995- Middle–Late Cretaceous climate of the southern high latitudes: stable isotopic evidence for minimal equator-to-pole thermal gradients. *Geological Society of America Bulletin* 107, pp. 1164-1191.
- James, G. and Wynd, J., 1965- Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area. *AAPG bulletin* 49, 2182-2245 pp.
- Jenkyns, H. C., 2010- Geochemistry of oceanic anoxic events. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 11(3), pp. 1-30.
- Leckie, R. M., Bralower, T. J. and Cashman, R., 2002- Oceanic anoxic events and plankton evolution: Biotic response to tectonic forcing during the mid-Cretaceous. *Paleoceanography* 17 (3), pp. 1-13.
- Li, Y. X., Bralower, T. J., Montañez, I. P., Osleger, D. A., Arthur, M. A., Bice, D. M., Herbert, T. D., Erba, E. and Premoli Silva, I., 2008- Towards an orbital chronology for the early Aptian Oceanic Anoxic Event (OAE 1a, ~120 Ma). *Earth and Planetary Science Letters* 271, pp. 88-100.
- Mahanipour, A., Eftekhari, M. and Dastanpour, M., 2018- Barremian-Aptian calcareous nanofossil biostratigraphy in Zagros Basin (West Iran), Tethyan Realm. *Stratigraphy and Geological correlation* (In press).
- Mahanipour, A., Mutterlose, J., Kani, A. L. and Adabi, M. H., 2011- Palaeoecology and biostratigraphy of early Cretaceous (Aptian) calcareous nanofossils and the $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ isotope record from NE Iran. *Cretaceous Research* 32, pp. 331-356.
- Millán, M., Weissert, H., Fernández-Mendiola, P. and García-Mondéjar, J., 2009- Impact of Early Aptian carbon cycle perturbations on evolution of a marine shelf system in the Basque-Cantabrian Basin (Aralar, N Spain). *Earth and Planetary Science Letters* 287, pp. 392-401.
- Motiei, H., 1994- Stratigraphy of Zagros. *Geological Survey of Iran*, pp. 345-346.
- Motiei, H., 1995- *Iran Petroleum Geology - Geology of the Zagros 1*. Publications GSI, Iran, 1009 p.
- Mutterlose, J. and Bottini, C., 2013- Early Cretaceous chalks from the North Sea giving evidence for global change. *Nature communications* 4(1686), pp. 1-6.
- Mutterlose, J., Bornemann, A. and Herrle, J. O., 2005- Mesozoic calcareous nanofossils - state of the art. *Paläontologische Zeitschrift* 79, pp. 113-133.
- Patrino, S., Triantaphyllou, M. V., Erba, E., Dimiza, M. D., Bottini, C. and Kaminski, M. A., 2015- The Barremian and Aptian stepwise development of the 'Oceanic Anoxic Event 1a'(OAE 1a) crisis: Integrated benthic and planktic high-resolution palaeoecology along the Gorgo a Cerbara stratotype section (Umbria–Marche Basin, Italy). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 424, pp. 147-182.
- Pauly, S., Mutterlose, J. and Alsen, P., 2012- Early Cretaceous palaeoceanography of the Greenland–Norwegian Seaway evidenced by calcareous nanofossils. *Marine Micropaleontology* 90, pp. 72-85.
- Perch-Nielsen, K., 1985- Mesozoic calcareous nanofossils, In *Plankton stratigraphy*. Cambridge University Press, pp. 329-426.
- Premoli Silva, I., Erba, E., Salvini, G., Locatelli, C. and Verga, D., 1999- Biotic changes in Cretaceous oceanic anoxic events of the Tethys. *The Journal of Foraminiferal Research* 29, pp. 352-370.
- Roth, P. H., 1978- Cretaceous nanoplankton biostratigraphy and oceanography of the northwestern Atlantic ocean. *Initial report of Deep Sea Drilling Project* 44, pp. 731-759.
- Schlager, 1981- The paradox of drowned reefs and carbonate platforms. *Geological Society of America, Bulletin* 92, pp. 197-211.
- Schlanger, S. and Jenkyns, H., 1976- Cretaceous oceanic anoxic events: causes and consequences. *Geologie en Mijnbouw* 55, pp. 179-184.
- Sissingh, W., 1977- Biostratigraphy of calcareous Nannoplankton. *Geologie en Mijnbouw* 56 (1), pp. 37-65.
- Talbot, C. J. and Alavi, M., 1996- The Past of a Future Syntaxis across the Zagros. In: Alsop, G.I., Blundell, D.J. and Davison, I., Ed., *Salt Tectonics*, Vol. 100, Geological Society, London, pp. 89-109.
- Tejada, M. L. G., Suzuki, K., Kuroda, J., Coccioni, R., Mahoney, J. J., Ohkouchi, N., Sakamoto, T. and Tatsumi, Y., 2009- Ontong Java Plateau eruption as a trigger for the early Aptian oceanic anoxic event. *Geology* 37, pp. 855-858.
- Thibault, N. and Gardin, S., 2006- Maastrichtian calcareous nanofossil biostratigraphy and paleoecology in the Equatorial Atlantic (Demerara Rise, ODP Leg 207 Hole 1258A). *Revue de Micropaléontologie* 49, pp. 199-214.
- Vincent, B., van Buchem, F. S., Bulot, L. G., Immenhauser, A., Caron, M., Baghbani, D. and Huc, A. Y., 2010- Carbon-isotope stratigraphy, biostratigraphy and organic matter distribution in the Aptian–Lower Albian successions of southwest Iran (Dariyan and Kazhdumi formations). *GeoArabia Special Publication* 4, pp. 139-197.
- Weissert, H. and Erba, E., 2004- Volcanism, CO₂ and palaeoclimate: a Late Jurassic–Early Cretaceous carbon and oxygen isotope record. *Journal of the Geological Society* 161, pp. 695-702.
- Wilson, P. A., Norris, R. D. and Cooper, M. J., 2002- Testing the Cretaceous greenhouse hypothesis using glassy foraminiferal calcite from the core of the Turonian tropics on Demerara Rise. *Geology* 30, pp. 607-610.

The early Aptian oceanic anoxic event 1a (OAE 1a) based on calcareous nannofossils at Garau Formation (Kabir-Kuh anticline), West of Iran

A. Mahanipour^{1*}, M. Eftekhari² and S. Soheili²

¹Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

²M.Sc., Department of Geology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: 2018 August 20

Accepted: 2018 December 19

Abstract

In order to study the early Aptian Oceanic Anoxic Event 1a (OAE 1a), calcareous nannofossils are investigated at the late Barremian -early Aptian sediments of the Garau Formation at south west of the Kabir-Kuh anticline, Qaleh-Darreh section. Ninety species of calcareous nannofossils from 43 genus and 15 families are identified along with marker species like *Hayesites irregularis* and *Eprolithus floralis*. Based on index calcareous nannofossil taxa, the studied interval is located between the uppermost part of the CC6/NC5 and the early part of CC7/NC7A. The first occurrence of *H. irregularis*, the marker of the Barremian - Aptian boundary, used as an index species between CC6/NC5E and CC7/NC6. Statistical analysis of the calcareous nannofossil assemblages at the studied interval indicate the presence of nannoconid decline at the Barremian - Aptian boundary and early Aptian and nannoconid crisis at CC7a/NC6B biozone. Nannoconid crisis is one of the main markers of the early Aptian OAE 1a that is recorded from different parts of the world at the Tethys and Boreal realms, Atlantic and Pacific oceans at the early Aptian (NC6 biozone). At the current study the early Aptian OAE 1a is recorded from the Garau Formation based on calcareous nannofossil assemblages.

Keywords: Iran, Garau Formation, Zagros Basin, early Aptian OAE 1a, Calcareous nannofossils..

For Persian Version see pages 53 to 60

*Corresponding author: A. Mahanipour; E-mail: a_mahanipour@uk.ac.ir