

ثبت شرایط آب‌وهوایی بارمین بر اساس تجمع نانوفسیل‌های آهکی در سازند گرو، برش قلعه‌دره

مریم افتخاری^۱، اعظم ماهانی‌پور^{۲*} و محمد داستان‌پور^۳

^۱ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

^۲ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

^۳ استاد، موسسه آموزش عالی کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۲۹

چکیده

در مطالعه حاضر رسوبات بارمین در سازند گرو در یال جنوب باختری تاقدیس کبیرکوه (برش قلعه‌دره) از نقطه نظر نانوفسیل‌های آهکی مورد بررسی قرار گرفت. در رسوبات تحت بررسی ۳ حادته نانوفسیلی شاخص ثبت شد و بر اساس آنها زیست‌زون NC5 و قسمت‌های ابتدایی زیست‌زون NC6 و زیرزون‌های NC5c، NC5d، NC5e از زوناسیون Roth (1978) و زیست‌زون‌های CC5، CC6 و CC7 از زوناسیون سیسینگ (Sissingh 1977) تشخیص داده شد. در محدوده تحت بررسی جنس و گونه‌های شاخص آب گرم از قبیل *Cyclagelosphaera margerelii*، *Diazomatolithus lehmanni*، *Lithraphidites carniolensis*، *Micrantholithus* spp.، *Nannoconus* spp.، *Rhagodiscus* spp. و *Watznaueria* spp. به موازات جنس و گونه‌های شاخص آب سرد از قبیل *Helenea chiaastia*، *Biscutum constans* و *Zeugrhabdotus embergeri* حضور دارند. درصد فراوانی گونه‌های آب گرم بیش از گونه‌های آب سرد است و روند معکوس در فراوانی آنها دیده می‌شود. بر اساس فراوانی جنس و گونه‌های شاخص آب گرم و سرد، ۳ فاز گرم‌شدگی و ۲ فاز سردشدگی در محدوده مورد مطالعه قابل ثبت است که شامل حادته گرم‌شدگی قسمت‌های ابتدایی بارمین پیشین، سردشدگی بارمین پیشین، گرم‌شدگی بارمین میانی، سردشدگی بارمین پسین و گرم‌شدگی مرز بارمین-آپتین است. لازم به ذکر است که این مطالب با داده‌های ثبت شده از سایر نقاط دنیا در حوضه‌های تیس (از جمله ایتالیا) و بورآل (از جمله شمال باختر آلمان و شمال خاوری انگلستان) همخوانی دارد.

کلیدواژه‌ها: بارمین، بیوستراتیگرافی، پالئواکولوژی، سازند گرو، نانوفسیل‌های آهکی.

* نویسنده مسئول: اعظم ماهانی‌پور

E-mail: a_mahanipour@uk.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

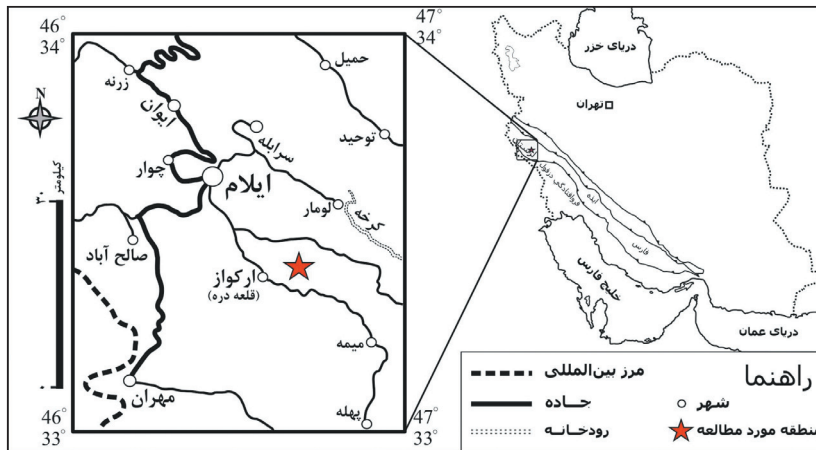
ترکیب تجمعات نانوفسیلی به عوامل متعددی بستگی دارد و با تغییرات ایجاد شده در هر یک از فاکتورهای مؤثر، فراوانی و تنوع نانوفسیل‌های آهکی تغییر می‌کند. نانوفسیل‌های آهکی نه تنها به ساختار حرارتی اقیانوس‌ها و دی‌اکسیدکربن (CO₂) اتمسفر وابسته‌اند، بلکه نسبت به فاکتورهای اکولوژیکی مثل نور، میزان مواد غذایی، درجه حرارت و سایر عوامل زیست‌محیطی مانند شوری حساس هستند (Erba, 2004; Mutterlose et al., 2005). ترکیب تجمع نانوفسیل‌های آهکی به عرض جغرافیایی، جریان‌های اقیانوسی و توده‌های آب نیز بستگی دارد (Winter et al., 1994). همچنین انحلال و دیاژنز نیز بر حفظ‌شدگی نانوفسیل‌ها و تجمع آنها تأثیرگذار است (Herrle et al., 2003) که بایستی در مطالعات مربوط به این گروه فسیلی مد نظر باشد. با اشراف به این موضوع که نوسانات آب‌وهوایی و تغییر در فاکتورهای پالئواکولوژیکی باعث ایجاد نوسانات و تغییراتی در مجموعه نانوفسیل‌های آهکی می‌شود، بررسی تجمعات نانوفسیلی و آنالیزهای کمی این مجموعه فسیلی، کمک شایانی به بازسازی شرایط محیطی دیرینه (پالئواکولوژی) و تغییرات آب‌وهوایی می‌کند. اگر چه دوره کرتاسه به عنوان یک دوره با شرایط آب‌وهوایی نسبتاً گرم در نظر گرفته شده (Frakes, 1979)، اما شواهدی از شرایط آب‌وهوایی سرد به صورت دوره‌ای نیز ثبت شده است. این شواهد بر اساس مطالعه ایزوتوپ اکسیژن در بلمنیت‌ها (McArthur et al., 2007)، تغییر در تجمع نانوفسیل‌های آهکی (Mutterlose et al., 2009) و ثبت رسوبات یخچالی (Kemper, 1987) است. در بازه زمانی بارمین نیز یک سری نوسانات آب‌وهوایی (Pucéat et al., 2003; McArthur et al., 2004; Mutterlose et al., 2009; Malkoc and Mutterlose, 2010; Mutterlose and Bottini, 2013) ثبت شده است. هدف پژوهش حاضر، بررسی رسوبات به سن بارمین در سازند گرو (برش قلعه‌دره) از نقطه نظر نانوفسیل‌های آهکی است تا بتوان بر اساس تجمع نانوفسیل‌های آهکی موجود، تغییرات آب‌وهوایی را در این بازه زمانی بازسازی کرد.

۲- موقعیت زمین‌شناسی منطقه

برش قلعه‌دره که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته، در ۱۰ کیلومتری شمال خاوری روستای قلعه‌دره (ارکواز) و ۴۵ کیلومتری جنوب خاوری مرکز استان ایلام واقع شده است. در این منطقه، سازند گرو رخنمون خوبی را در دسترس پژوهشگران در زون لرستان قرار داده (شکل ۱) که با استفاده از جاده ایلام-دره شهر یا جاده ایلام-میمه می‌توان به برش مذکور دست یافت. مرز زیرین سازند گرو در برش مورد مطالعه مشخص نیست. اما در چاه شماره ۱ کبیرکوه، این مرز با سازند گوتینا (به سن ژوراسیک بالایی) گزارش شده است. همچنین مرز بالایی سازند گرو در این ناحیه با ناهمسازی فرسایشی (Disconformity) به سنگ آهک‌های سازند سروک (به سن آلبین-تورونین) می‌رسد (مطیعی، ۱۳۸۲). در این برش سازند گرو از مارن خاکستری تا سبز، سنگ آهک مارنی، شیل مارنی، شیل سیاه و سنگ آهک تشکیل شده است.

۳- روش مطالعه

در مطالعه حاضر جهت مطالعه بیوستراتیگرافی و پالئواکولوژی نانوفسیل‌های آهکی، ۵۰ نمونه از رسوبات سازند گرو با فاصله تقریبی یک تا دو متر مورد بررسی قرار گرفت. جهت شناسایی نانوفسیل‌های آهکی از توصیفات (Perch-Nielsen 1985) و Bown (1998) استفاده شده است. ابزار مطالعه نانوفسیل‌های آهکی در این پژوهش، میکروسکوپ نوری الیمپوس (Olympus BH2) با بزرگنمایی ۱۰۰۰× است. جهت بررسی بیوستراتیگرافی نانوفسیل‌های آهکی اسلایدها به روش اسمیراسلاید (Perch-Nielsen, 1985) آماده‌سازی شد و از دو الگوی زیست‌چینه‌نگاری (Roth 1978) و Sissingh (1977) استفاده شد. جهت انجام مطالعه پالئواکولوژی نانوفسیل‌های آهکی، نمونه‌ها به روش ثقیلی (Thibault and Gardin 2006) آماده‌سازی و مطالعه شدند. در اسلایدهای آماده‌سازی شده حداقل ۳۰۰ جنس و گونه شمارش و سپس با استفاده از نرم‌افزارهای آماری از جمله spss میزان درصد فراوانی جنس و گونه‌های نانوفسیلی، فراوانی مطلق، تنوع گونه‌ای و شاخص شتون محاسبه شد.



شکل ۱- موقعیت برش قلعه‌دره در زون زاگرس و راه‌های دسترسی به آن.

۴- بحث

۴-۱. زیست‌چینه‌نگاری

نوسانات تنوع گونه‌ای، شاخص شنون و یکنواختی گونه‌ها می‌تواند منعکس کننده تغییرات در میزان حفظ‌شدگی نمونه‌ها باشند (Aguado et al., 2014c). هر چه میزان نوسانات در این پارامترهای آنالیزهای کمی بیشتر باشد، می‌توان نتیجه گرفت حفظ‌شدگی نمونه‌ها بیشتر دستخوش تغییر شده است (Aguado et al., 2014a). محدوده تحت بررسی از سازند گرو، پارامترهای اشاره شده نوسانات متعددی دارند؛ اما در مجموع، حفظ‌شدگی قابل قبول نمونه‌های مورد مطالعه را تأیید می‌کنند (شکل ۲). در محدوده مورد مطالعه، فراوانی مطلق (با متوسط فراوانی ۱۱۶۳)، بین ۹۹ تا ۳۳۷۰ و تنوع گونه‌ای (با متوسط فراوانی ۲۹/۵)، بین ۲۳ تا ۳۹ نوسان دارد. همان‌طور که در شکل ۲ قابل مشاهده است، میزان فراوانی مطلق به سمت بارمین پسین و مرز بارمین-آپتین روند کاهشی دارد که به دلیل حفظ‌شدگی ضعیف نمونه‌ها در این محدوده است.

شاخص شنون یا ضریب همگونی، رابطه بین فراوانی هر گونه و تنوع را بیان می‌کند. مقادیر بالای شاخص شنون نشان دهنده تنوع بالای گونه‌ها در تجمعات نانوفسیلی به دلیل بهتر بودن شرایط محیطی و مقادیر کم این ضریب دلیلی بر پایین بودن تنوع در مجموعه نانوفسیلی است (Pauly et al., 2013). در واقع با تغییرات ایجاد شده در شرایط محیطی، مشارکت تاکسون‌ها در مجموعه‌های نانوفسیلی دستخوش تغییر می‌شود. مقادیر میانگین بالاتر از ۱ برای شاخص شنون نشان‌دهنده تنوع متوسط و بیشتر برای مجموعه نانوفسیلی است (Pauly et al., 2013); متوسط شاخص شنون در محدوده مورد مطالعه ۱/۷ است که مجموعه نانوفسیلی نسبتاً متنوعی را نشان می‌دهد.

همچنین نوسانات شاخص شنون می‌تواند تغییرات محیطی مثل دما و میزان مواد غذایی را منعکس کند؛ به این شکل که تجمعات نانوفسیلی مربوط به آب‌های سطحی سرد شاخص شنون کمتری را نسبت به تجمعات نانوفسیلی در ارتباط با آب‌های سطحی گرم‌تر نشان می‌دهند (Pauly et al., 2012). چنانچه مشاهده می‌شود (شکل ۲)، در اواخر زیرزون NC5d تا انتهای محدوده مورد بررسی، شاخص شنون روند کاهشی دارد که می‌تواند به دلیل سردشدگی شرایط آب‌وهوایی باشد.

یکنواختی (Evenness) نشان دهنده ارتباط بین فراوانی هر تاکسون منحصربفرد با فراوانی گونه‌های فراوان و رایج است (Street and Bown, 2000). متوسط یکنواختی گونه‌های ثبت شده، عدد ۰/۵ را نشان می‌دهد.

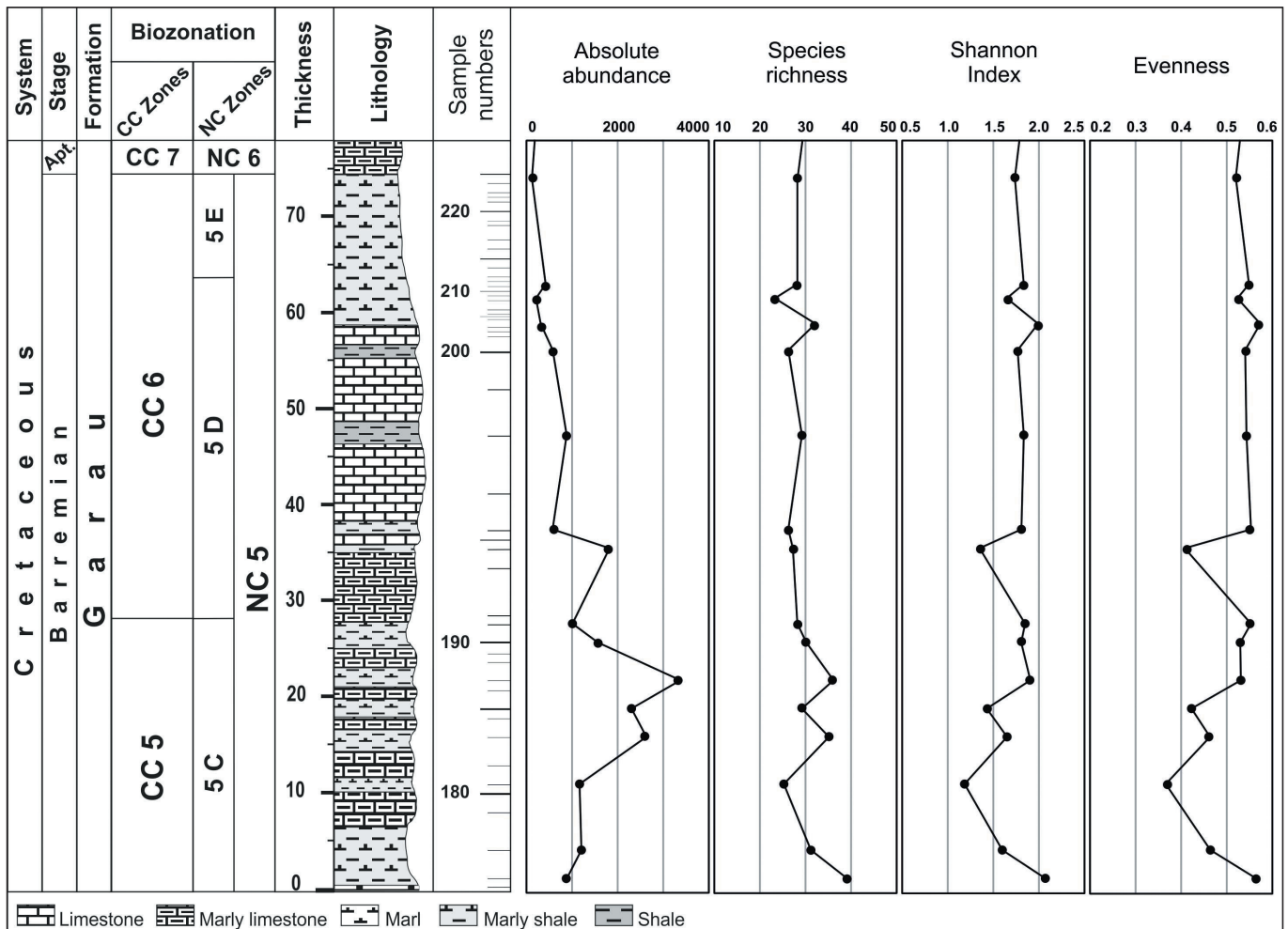
۴-۳. پالئوکولوژی

از آنجا که نانوفسیل‌های آهکی نسبت به عوامل محیطی مثل نور، مواد غذایی، درجه حرارت و شوری حساس هستند (Erba, 2004; Mutterlose et al., 2005)، ابزار مناسبی برای تحلیل‌های پالئوکولوژیکی و بازسازی شرایط آب‌وهوایی دیرینه

جهت بررسی بیوستراتیگرافی نانوفسیل‌های آهکی در محدوده تحت بررسی از الگوی زیست‌چینه‌نگاری Roth (1978) تصحیح شده توسط Bralower et al. (1993; 1995) و الگوی زیست‌چینه‌نگاری Sissingh (1977) تصحیح شده توسط Perch-Nielsen (1985) و Applegate and Bergen (1988) استفاده شد. بررسی زیست‌چینه‌نگاری نانوفسیل‌های آهکی در محدوده مورد مطالعه، منجر به تشخیص ۷۷ گونه از ۳۷ جنس متعلق به ۱۷ خانواده شد. از این بین، سه گونه شاخص زیست‌چینه‌نگاری ثبت شدند که به ترتیب از قاعده به سمت رأس محدوده تحت بررسی عبارتند از: آخرین حضور گونه *Calicalathina oblongata* (نمونه ۱۹۱، متر ۲۸)، اولین حضور گونه *Flabellites oblongus* (نمونه ۲۱۱، متر ۶۴) و اولین حضور گونه *Hayesites irregularis* (نمونه ۲۲۴، متر ۷۵). بر اساس جنس و گونه‌های شاخص موجود، زیست‌زون‌های NC5e، NC5d، NC5c و NC6 از زوناسیون Roth (1978) و زیست‌زون‌های CC5، CC6 و CC7 از زوناسیون Sissingh (1977) تشخیص و سن محدوده مورد مطالعه، بارمین در نظر گرفته شد. بر اساس الگوی زیست‌چینه‌نگاری Roth (1978) تصحیح شده توسط Bralower et al. (1993 and 1995)، از ابتدای برش تا آخرین حضور گونه *C. oblongata* به عنوان زیرزون NC5c با ضخامت ۲۸ متر، از آخرین حضور گونه *C. oblongata* تا اولین حضور گونه *F. oblongus* به عنوان زیرزون NC5d با ضخامت ۳۶ متر و از اولین حضور گونه *F. oblongus* تا اولین حضور گونه *H. irregularis* نیز به عنوان زیرزون NC5e با ضخامت ۱۱ متر در نظر گرفته شد. از اولین حضور گونه *H. irregularis* زیست‌زون NC6 آغاز می‌شود. گفتنی است که بر اساس الگوی زیست‌چینه‌نگاری Sissingh (1977) تصحیح شده توسط Perch-Nielsen (1985) و Applegate and Bergen (1988)، قسمت‌های انتهایی زیست‌زون CC5، کل زیست‌زون CC6 و قسمت‌های ابتدایی زیست‌زون CC7 در محدوده مورد مطالعه قابل تشخیص است. آخرین حضور گونه *C. oblongata* به عنوان شاخص جهت تفکیک CC5 و CC6 و اولین حضور گونه *H. irregularis* جهت تفکیک CC6 و CC7 استفاده شد. در این محدوده زیست‌زون CC5، ۲۸ متر و زیست‌زون CC6، ۴۷ متر ضخامت دارد.

۴-۲. فراوانی مطلق، تنوع، شاخص شنون و یکنواختی

برای تجزیه و تحلیل کمی ترکیب تجمع نانوفسیل‌های آهکی در مطالعه حاضر، از پارامترهای فراوانی مطلق، تنوع گونه‌ای (برحسب تعداد گونه‌ها در mm^2)، شاخص شنون (Shannon diversity) یا ضریب همگونی (Heterogeneity Index) و همچنین یکنواختی (Evenness) (Shannon and Weaver, 1949) استفاده شد که در شکل ۲ نمایش داده شده‌اند.



شکل ۲- نمایش فراوانی مطلق، تنوع گونه‌ای، شاخص شتون و یکنواختی در محدوده مورد مطالعه.

آرامش‌پسند می‌دانند (Mutterlose et al., 2005). همچنین این گونه شاخص آب گرم شناخته شده است (Pospichal, 1996)، به شکلی که فراوانی در عرض‌های جغرافیایی بالاتر را نشانه گرم‌شدگی می‌دانند (Watkins et al., 1996). گونه‌های *Watznaueria* spp. در برابر انحلال مقاوم هستند (Erba et al., 1992)، لذا فراوانی بالای ۴۰ درصد در آنها به عنوان شاخصی برای تأثیر دیاژنز در نظر گرفته شده است (Roth and Krumbach, 1986; Erba et al., 1992; Williams and Bralower, 1995). اگر چه گونه‌های *Watznaueria* spp. در تمامی رسوبات مورد مطالعه در برش قلعه‌دره معمول هستند، اما وجود گونه‌های حساس به انحلال مثل *Zeugrhabdotus erectus* و *Discorhabdus ignotus* (Pauly et al., 2013) و *Biscutum constans* نشان‌دهنده در امان ماندن مجموعه‌های نانوفسیلی بازه بارمین برش قلعه‌دره از انحلال شدید و دیاژنز است. فراوانی گونه *W. barnesiae* از قاعده ضخامت مورد مطالعه در سازند گرو به تدریج و به میزان کم رو به کاهش می‌گذارد، اما همچنان فراوان‌ترین گونه در مجموعه نانوفسیلی باقی می‌ماند.

از دیگر گروه‌های غالب در مجموعه نانوفسیلی محدوده مورد مطالعه از برش قلعه‌دره، گونه‌های *Nannoconus* spp. حداکثر فراوانی این گونه‌ها در بارمین میانی و پسین و از متر ۲۶ تا ۱۹۰ (نمونه ۱۹۰) تا ۶۲/۵ متری (نمونه ۲۰۸) ثبت شده است که بین ۲۷/۵ تا ۳۳/۵ درصد نوسان دارد. گونه‌های نانوکونوس در این برش شامل، *Nannoconus bucheri*، *Nannoconus circularis*، *Nannoconus kamptneri*، *Nannoconus ligius*، *Nannoconus steinmannii*، *Nannoconus quadricanalis* و *Nannoconus truitti* است. در این گروه رایج‌ترین گونه‌ها شامل *N. circularis* و *N. ligius*، *N. steinmannii* هستند.

محسوب می‌شوند (Mutterlose et al., 2005). در این مطالعه نیز جهت بررسی تغییرات آب‌وهوایی بازه بارمین، از نانوفسیل‌های آهکی استفاده شد.

جهت بررسی پالئوآکولوژی نانوفسیل‌های آهکی ۵۰ نمونه شمارش شد. از بین جنس و گونه‌های شمارش شده (۷۷ گونه)، ۹ مورد بیشترین نقش را در تغییرات فراوانی مطلق دارند. این تاکسون‌های رایج در مجموعه نانوفسیلی برش مذکور عبارتند از: *Watznaueria* spp. (با متوسط فراوانی ۳۶ درصد)، *Nannoconus* spp. (با متوسط فراوانی ۱۴ درصد)، *Lithraphidites carniolensis* (با متوسط فراوانی ۱۱ درصد)، *Rhagodiscus* spp. (با متوسط فراوانی ۹ درصد)، *Micrantholithus* spp. (با متوسط فراوانی ۷ درصد)، *Diazomatolithus lehmanii* (با متوسط فراوانی ۵ درصد). سایر جنس و گونه‌ها با فراوانی کمتر از ۵ درصد عبارتند از *Zeugrhabdotus* spp. (با متوسط فراوانی ۲ درصد)، *Discorhabdus ignotus* (با متوسط فراوانی ۲ درصد) و *Helenea chastia* (با متوسط فراوانی ۲ درصد).

گروه *Watznaueria* spp. بیشترین فراوانی را در مجموعه نانوفسیلی محدوده مورد مطالعه از سازند گرو دارد. گونه‌های *Watznaueria* spp. در محدوده مورد مطالعه شامل *Watznaueria barnesiae*، *Watznaueria biporta*، *Watznaueria britannica*، *Watznaueria ovata* و *Watznaueria fossacincta* هستند. از بین گونه‌های این گروه، گونه *Watznaueria barnesiae* با متوسط فراوانی ۱۷ درصد رایج‌ترین گونه در نمونه‌های مورد بررسی است. اگر چه برخی معتقدند *W. barnesiae* یک گونه فرصت‌طلب بوده است (Mutterlose, 1996; Street and Bown, 2000)، اما برخی دیگر آن را گونه‌ای

Thierstein, 1976; Herrle, 2003;) و چینه‌بندی شده (Mutterlose et al., 2005) که گونه‌های شاخص تیبس (Mutterlose, 1989, 1992; Street and Bown, 2000) و آب گرم محسوب می‌شوند (Thierstein, 1976; Roth and Krumbach, 1986;) Mutterlose, 1989, 1991 and 1992; Scarparo Cunha and Koutsoukos, 1998; Mutterlose, 1989, 1991 and 1992; Street and Bown, 2000; Herrle, 2003; Bown, 2005; Lees et al., 2005) زیستی گونه‌های نانوکونید، زون نورانی تحتانی است و بنابراین نوسانات عمق نوتریکلاین (Erba, 1994; Herrle, 2003; Bornemann et al., 2005) و حاصل‌خیزی آب‌های سطحی (Mutterlose et al., 2005) فراوانی آنها را کنترل می‌کند. همان‌طور که در برخی مطالعات دیگر ثبت شده (Tremolada et al., 2006)، در برش مورد مطالعه نیز اجتماع نانوکونیدها در بارمین با نانوکونیدهای کانال باریک (و اساساً *N. steinmannii*) (با متوسط فراوانی ۱۲ درصد) غالب است. فراوانی نانوکونیدهای کانال عریض (با متوسط فراوانی ۱ درصد) در اجتماع نانوکونیدهای بارمین، کمتر است.

در محدوده تحت بررسی جنس *Diazomatolithus* با گونه *Diazomatolithus lehmannii* ثبت شده که جز جنس‌های رایج بوده و شاخص آب‌های گرم است (Aguado et al., 2014a). در این گونه در قسمت ابتدایی برش یک روند افزایشی تا قبل از مرز NC5d و NC5c دیده می‌شود. سپس این روند افزایشی تا انتهای برش به صورت یک روند کاهشی قابل مشاهده است.

فراوان‌ترین گونه‌های *Zeugrhabdotus* spp. در مجموعه نانوفسیلی مورد مطالعه، گونه‌های *Zeugrhabdotus embergeri* و *Zeugrhabdotus noeliae* هستند. گونه *Z. embergeri* به عنوان یک گونه شاخص آب‌های سرد سطحی معرفی شده (Tiraboschi et al., 2009) و در لایه‌های بارمین برش قلعه‌دره، با متوسط فراوانی ۲ درصد مشاهده می‌شود. در منحنی فراوانی گونه *Z. embergeri* ابتدا یک روند کاهشی تا قبل از مرز NC5d و NC5c، سپس یک روند افزایشی تا اوایل زون NC5d و مجدداً یک روند کاهشی تا انتهای محدوده مورد مطالعه قابل مشاهده است.

از دیگر گونه‌های شاخص پالئوآکولوژی و غالب در نمونه‌های مطالعه شده از سازند گرو، گونه *Helenea chiasia* است. این گونه که شاخص آب‌های سطحی سرد معرفی شده (Aguado et al., 2014a)، کمترین فراوانی را در خلال زیرزون NC5d به نمایش می‌گذارد و از میانه این زیرزون تا انتهای محدوده تحت بررسی، روندی رو به افزایش نشان می‌دهد. این گونه در زون NC5c فراوانی بیشتری نسبت به بقیه برش دارد.

اگر چه گونه *Cyclagelosphaera margerelii* در طول ستون چینه‌شناسی برش مورد مطالعه فراوانی چندانی ندارد و فراوانی‌اش حداکثر به ۲/۵ درصد می‌رسد، اما یکی از گونه‌های مهم در مباحث پالئوآکولوژی است. این گونه فرصت‌طلب (Lees et al., 2006)، تاکسون شاخص آب گرم معرفی شده است (Aguado et al., 2014a) و در محدوده مورد بررسی متوسط فراوانی ۱ درصدی را نشان می‌دهد. بیشترین فراوانی این گونه در محدوده مورد مطالعه در مرز NC5c و NC5d و قبل از مرز NC5e مشاهده شده و در سایر قسمت‌های برش فراوانی این گونه همراه با نوساناتی است.

گونه *Biscutum constans* نیز از تاکسون‌های شاخص و مهم در مباحث پالئوآکولوژی است. این گونه جهانی (Herrle et al., 2003) شاخص حواشی قاره‌ای است که در جریان‌ات فراکشندی سرد و غنی از مواد غذایی حضور دارد (Roth and Bowdler, 1981). در واقع، گونه *B. constans* را به عنوان یکی از گونه‌های شاخص آب‌های سرد و غنی از مواد غذایی در نظر می‌گیرند (Melinte and Mutterlose, 2001; Herrle et al., 2003). مطالعه حداکثر فراوانی ۰/۳۲ درصد را نشان می‌دهد و تنها در دو نمونه مشاهده شده است. در مطالعه حاضر جنس و گونه‌های *Z. embergeri* و *B. constans*، *H. chiasia*، *C. margerelii*، *D. lehmannii*، *L. carnioleensis*، *Micrantholithus* spp.، *Nannoconus* spp.، *R. asper* و *Watznaueria* spp. شاخص آب گرم هستند (شکل ۴ و جدول ۱). مجموع فراوانی گونه‌های آب گرم (شکل ۵) در محدوده مورد بررسی بین ۷۱ تا

نانوکونیدها در عرض‌های جغرافیایی پایین معمول هستند (Mutterlose et al., 2005) که گونه‌های شاخص تیبس (Mutterlose, 1989, 1992; Street and Bown, 2000) و آب گرم محسوب می‌شوند (Thierstein, 1976; Roth and Krumbach, 1986;) Mutterlose, 1989, 1991 and 1992; Scarparo Cunha and Koutsoukos, 1998; Mutterlose, 1989, 1991 and 1992; Street and Bown, 2000; Herrle, 2003; Bown, 2005; Lees et al., 2005) حاصل‌خیزی آب‌های سطحی (Mutterlose et al., 2005) فراوانی آنها را کنترل می‌کند.

همان‌طور که در برخی مطالعات دیگر ثبت شده (Tremolada et al., 2006)، در برش مورد مطالعه نیز اجتماع نانوکونیدها در بارمین با نانوکونیدهای کانال باریک (و اساساً *N. steinmannii*) (با متوسط فراوانی ۱۲ درصد) غالب است. فراوانی نانوکونیدهای کانال عریض (با متوسط فراوانی ۱ درصد) در اجتماع نانوکونیدهای بارمین، کمتر است.

در انتهای بارمین پسین نانوکونیدهای کانال باریک، یک کاهش را تجربه می‌کنند که افت نانوکونیدی (Nannoconid decline) نامیده می‌شود (Channell et al., 2000; Erba, 2004) و دلیل این پدیده را افزایش میزان دی‌اکسید کربن (CO_2) حاصل از فعالیت‌های آتشفشانی در نظر گرفته‌اند (Erba et al., 2010 and 2011). در انتهای زیرزون NC5d فراوانی نانوکونیدهای کانال باریک دچار افت قابل توجهی تا انتهای محدوده تحت بررسی می‌شود که نشان‌دهنده «افت نانوکونیدی» در مجموعه نانوفسیلی این برش است.

یکی دیگر از گروه‌های غالب در محدوده مورد مطالعه جنس *Lithraphidites* بوده که تنها با گونه *Lithraphidites carniolensis* در محدوده مورد مطالعه ثبت شده است. گونه *L. carniolensis* شاخص محیط اقیانوسی (Thierstein, 1976;) Roth and Krumbach, 1986; Herrle et al., 2003; Bown, 2005) و آب گرم است (Erba, 1987; Premoli Silva et al., 1989; Mutterlose, 1991 and 1996;) Erba et al., 1992; Luciani et al., 2001; Herrle et al., 2003) بیشترین میزان فراوانی این گونه (۱۴/۱۱ درصد) در زیرزون NC5d به ثبت رسید.

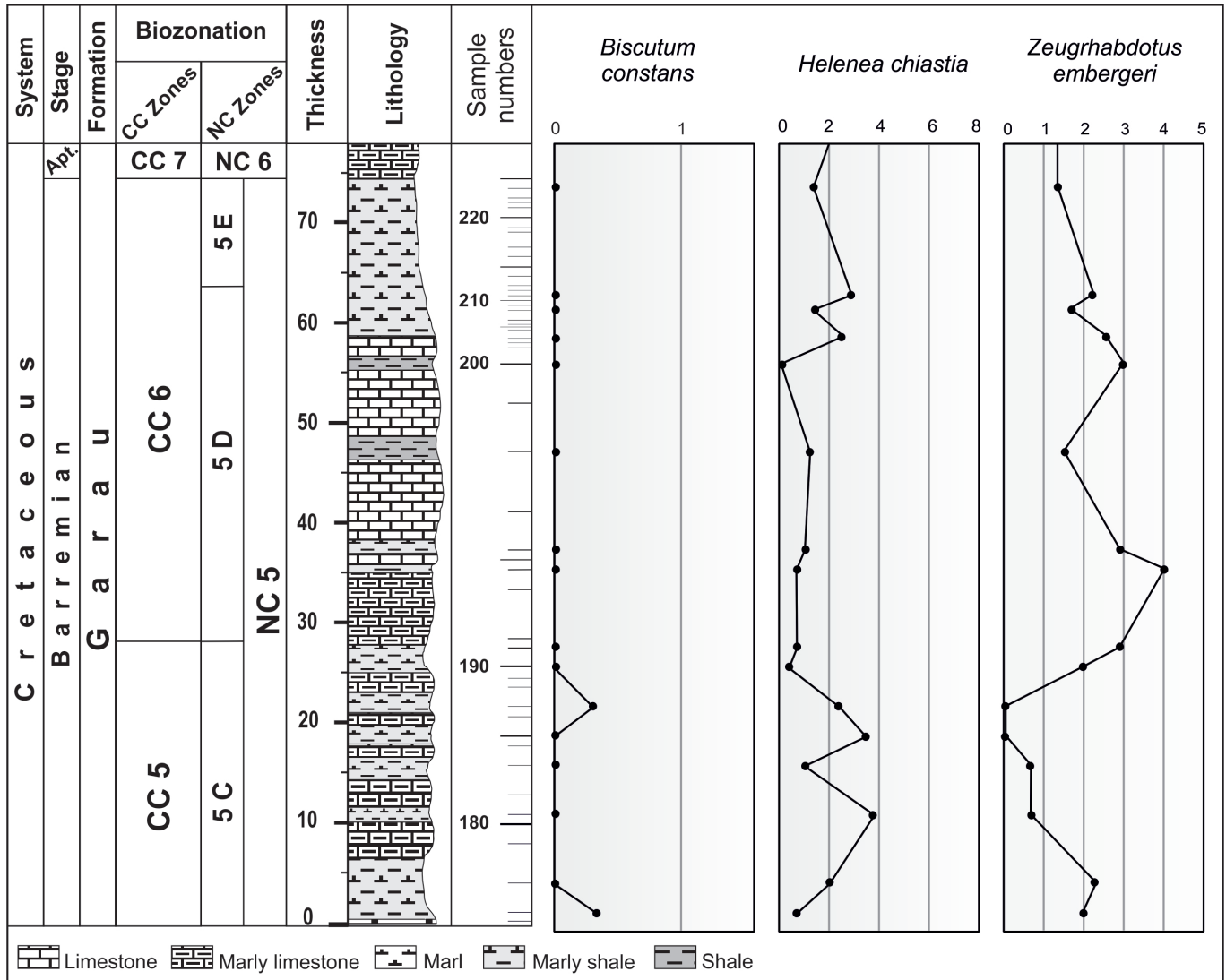
گروه دیگر ثبت شده در این محدوده *Rhagodiscus* spp. است که با جنس‌های *Rhagodiscus achyostaurion*، *Rhagodiscus amplus*، *Rhagodiscus angustus*، *Rhagodiscus asper*، *Rhagodiscus gallagheri*، *Rhagodiscus pseudoangustus*، *Rhagodiscus robustus* و *Rhagodiscus sageri* در محدوده تحت بررسی حضور دارد. از بین گونه‌های موجود گونه *Rhagodiscus asper* بیشترین فراوانی را دارد و جز رایج‌ترین گونه‌ها محسوب می‌شود. گونه *R. asper* شاخص آب گرم (Roth and Krumbach, 1986; Erba, 1987; Mutterlose, 1987, 1989, 1991, 1996;) Erba et al., 1992; Street and Bown, 2000; Luciani et al., 2001; (Herrle et al., 2003; Tremolada et al., 2006; Bottini and Mutterlose, 2012) است. این گونه در قسمت‌های انتهایی NC5c و اواسط NC5d افزایش و در محدوده مرز NC5d-e و NC5c-d کاهش نشان می‌دهد.

یکی دیگر از گروه‌های رایج در برش تحت بررسی گروه پنتالیت‌ها هستند. پنتالیت‌ها گروهی از نانولیت‌ها با شکل پنج گوش هستند. این گروه شامل جنس‌های *Micrantholithus* و *Braarudosphaera* است. فراوانی این گروه در محدوده تحت بررسی در بارمین بین صفر تا ۱۷/۸۹ درصد تغییر می‌کند. در این گروه، گونه‌های *Micrantholithus stellatus* از جنس *Micrantholithus* و گونه‌های *Braarudosphaera hockwoldensis*، *Braarudosphaera regularis*، *Braarudosphaera africana* و *Braarudosphaera discula* از جنس *Braarudosphaera* حضور دارند.

در محدوده تحت بررسی از گروه پنتالیت‌ها گونه‌های *Micrantholithus* spp. رایج و غالب هستند. پنتالیت‌ها (*Micrantholithus* spp.+*Braarudosphaera* spp.) نیز مانند

مجموع فراوانی گونه‌های آب گرم و سرد دیده می‌شود (شکل ۵). در تابلو ۱ تصویر تعدادی از جنس و گونه‌های شاخص زیست‌چینه‌نگاری و پالئوآکولوژی نمایش داده شده است.

۸۹ درصد و فراوانی گونه‌های آب سرد (شکل ۵) نیز از ۲ تا ۸ درصد متغیر است. اگرچه در مجموعه نانوفسیلی بازه بارمین در سازند گرو (برش قلعه‌دره) گونه‌های آب گرم به شکل قابل توجهی غالب هستند، اما روند معکوس بین



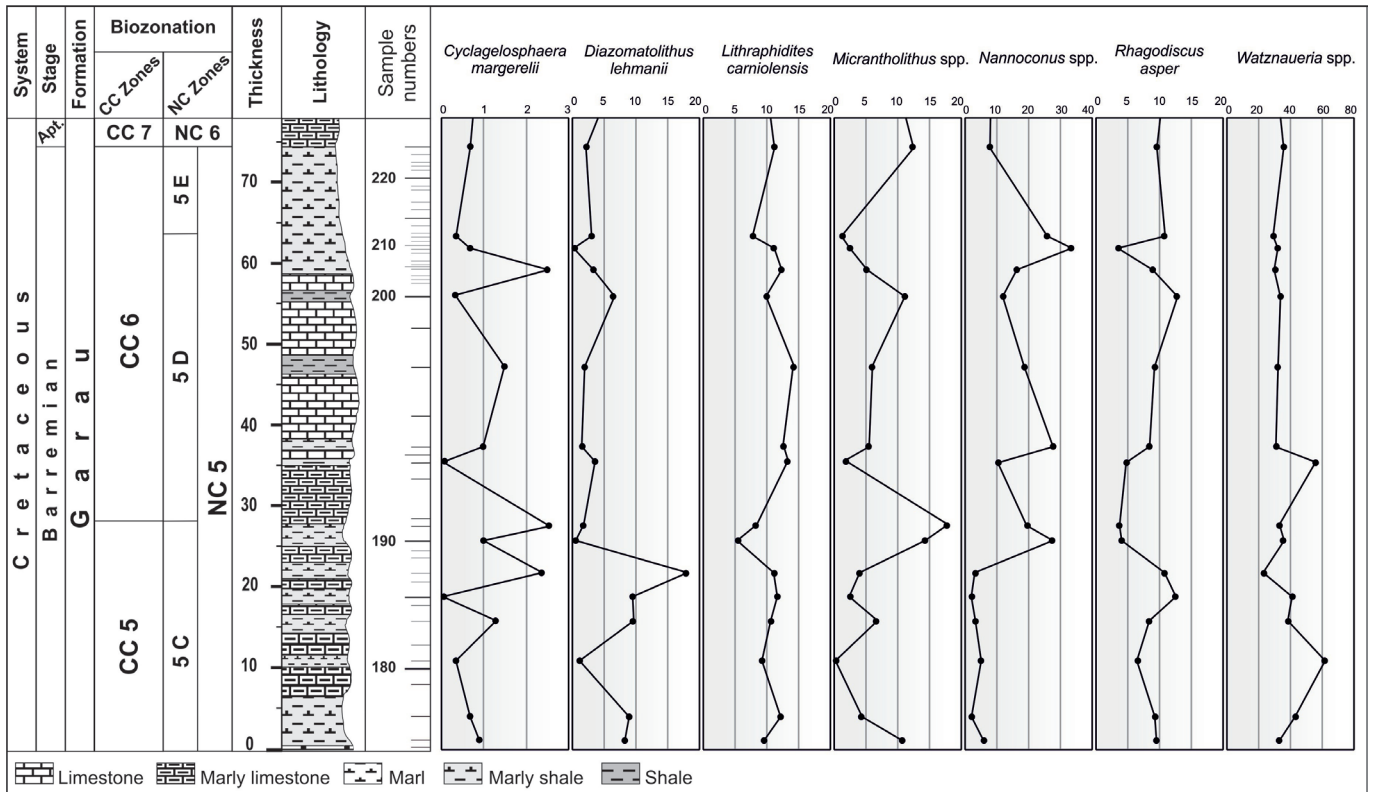
شکل ۳- نمایش درصد فراوانی نسبی جنس و گونه‌های شاخص آب سرد در محدوده مورد مطالعه.

در این بازه را به تغییر (کاهش) میزان مواد غذایی نسبت داد. افزایش درجه حرارت از قسمت‌های انتهایی هاتریوین تا قسمت‌های ابتدایی بارمین در مجارستان توسط Price et al. (2011) با مطالعه داده‌های ایزوتوپی در پلمنیت‌ها ثبت شده است. این مطلب توسط Mutterlose et al. (2012) نیز با مطالعه رسوبات شمال باختر آلمان و شمال خاور انگلستان در عرض‌های جغرافیایی متوسط گزارش شده است. همزمان در مرز هاتریوین- بارمین غرق‌شدگی پلاتفرم‌های کربناته (Bodin et al., 2006; Föllmi et al., 2006; Voigt et al., 2008; Yilmaz et al., 2012) و پیشروی سطح آب دریا (Gradstein et al., 2004; Ogg et al., 2008) گزارش شده است.

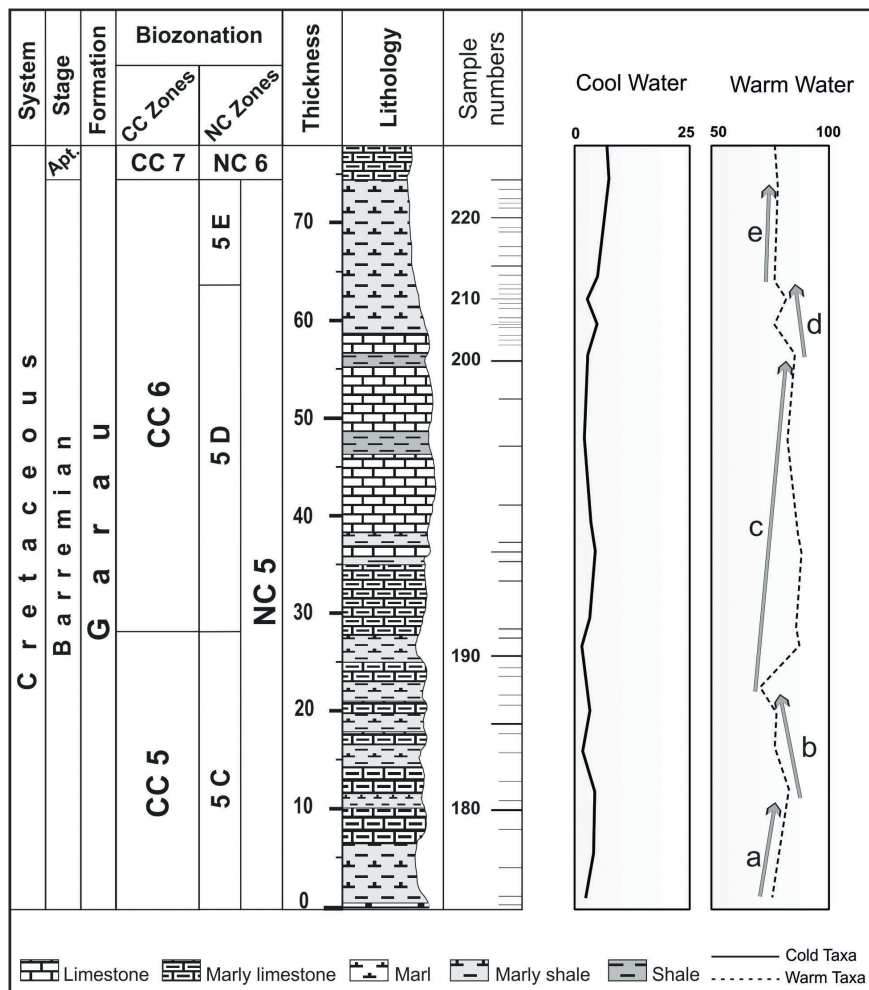
- بخش b (سردشدگی): در ۱۰ متر بعدی، گرایش تغییر کرده و روند سردشدگی قابل مشاهده است. کاهش قابل توجه گونه‌های شاخص آب گرم در این بخش به خوبی دیده می‌شود.

در پژوهش حاضر درصد فراوانی نسبی تاکسون‌های شاخص میزان درجه حرارت تحلیل و سپس شرایط پالئوآکولوژیکی حاکم بر حوضه تحت بررسی در بازه بارمین بررسی شد. بر همین اساس، ۳ روند گرم و ۲ روند سردشدگی تشخیص داده شد (شکل ۵) که به ترتیب عبارتند از:

- بخش a (گرم‌شدگی): افزایش گونه‌های شاخص آب گرم در ۱۰ متر ابتدایی لایه‌های مورد مطالعه (ابتدای زیرزون NC5c)، روند گرم‌شدگی آب‌ها را نشان می‌دهد. اگرچه علیرغم انتظار، افزایش نسبی گونه‌های آب سرد نیز در همین بازه مشاهده می‌شود. در بین گونه‌های شاخص آب سرد در مجموعه نانوفسیلی تحت بررسی، گونه *H. chiesta* که درصد فراوانی بالایی در این بازه دارد، شاخص شرایط الیگوتروف نیز هست. از آنجا که این گونه در بازه منطبق بر روند گرم‌شدگی بخش a، افزایش فراوانی دارد، لذا می‌توان همزمانی افزایش گونه‌های آب گرم و آب سرد



شکل ۴- نمایش درصد فراوانی نسبی جنس و گونه‌های شاخص آب گرم در محدوده مورد مطالعه.



شکل ۵- نمایش مجموع درصد فراوانی نسبی جنس و گونه‌های شاخص آب سرد و گرم در محدوده مورد مطالعه.

جدول ۱- لیست تعدادی از نانوفسیل‌های آهکی شاخص درجه حرارت در کرتاسه

- 1) Thierstein, 1976; 2) Roth and Krumbach, 1986; 3) Mutterlose, 1987; 4) Mutterlose, 1989; 5) Premoli Silva et al., 1989; 6) Mutterlose, 1991; 7) Mutterlose, 1992; 8) Mutterlose, 1996; 9) Pospichal, 1996; 10) Mutterlose and Kessels, 2000; 11) Street and Bown, 2000; 12) Melinte and Mutterlose, 2001; 13) Herrle, 2003; 14) Herrle et al., 2003; 15) Bown, 2005; 16) Lees et al., 2005; 17) Tremolada et al., 2006; 18) Tiraboschi et al., 2009; 19) Bottini and Mutterlose, 2012; 20) Aguado et al., 2014a).

جنس و گونه‌های نانوفسیلی	درجه حرارت
<i>Biscutum</i> spp.	آب سرد (۳)
<i>Biscutum constans</i>	آب سرد (۱۴، ۱۲)
<i>Cyclagelosphaera margerelii</i>	آب گرم (۲۰)
<i>Diazomatolithus lehmanii</i>	آب گرم (۲۰)
<i>Helenea chiasia</i>	آب سرد (۲۰)
<i>Lithraphidites carniolensis</i>	آب گرم (۱۴، ۸، ۶، ۵)
<i>Micrantholithus</i> spp.	آب گرم (۱۶، ۱۵، ۱۳، ۱۱، ۱۰، ۴، ۲)
Nannoconid	آب گرم (۱۶، ۱۵، ۱۱، ۷، ۶، ۴، ۲، ۱)
<i>Rhagodiscus asper</i>	آب گرم (۱۹، ۱۷، ۱۱، ۱۵، ۴، ۳، ۲)
<i>Watznaueria barnesia</i>	آب گرم (۱۹، ۱۸، ۱۷، ۱۳، ۸، ۴)
<i>Zeugrhabdotus embergeri</i>	آب سرد (۱۸)

که این لایه‌ها منطبق با ناهنجاری منفی در منحنی ایزوتوپ کربن ۱۳ هستند. این مطلب احتمالاً به دلیل گرم‌شدگی بوده که با داده‌های ایزوتوپ اکسیژن نیز اثبات شده است (Stein et al., 2011). گرم‌شدگی محدوده مرز بارمین-آپتین با پیشروی سطح آب دریا و غرق‌شدگی پلاتفرم‌های کربناته این بازه زمانی منطبق است (Bover-Arnal et al., 2016). در برش تحت بررسی یک روند افزایشی جزئی در فراوانی گونه‌های آب گرم در قسمت‌های انتهایی بارمین و مرز بارمین-آپتین (انتهای زیست‌زون NC5e) ثبت شده است. اگر چه همزمان در فراوانی گونه‌های آب سرد نیز روند افزایشی دیده می‌شود. بر این اساس گرم‌شدگی محدوده مرز بارمین-آپتین در محدوده مورد مطالعه نیز ثبت شده است. لازم به ذکر است که این فازهای گرم و سردشدگی برای اولین بار از ایران گزارش می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، تجمع نانوفسیل‌های آهکی رسوبات بارمین در سازند گرو واقع در یال جنوب باختری تاق‌دیس کبیر کوه مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس حوادث شاخص نانوفسیلی از قبیل آخرین حضور گونه *Calcicalathina oblongata*، اولین حضور گونه *Flabellites oblongus* و اولین حضور گونه *Hayesites irregular* زیست‌زون نانوفسیلی NC5 و زیرزون‌های NC5d، NC5c و NC5e از زوناسیون Roth (1978) و زیست‌زون‌های CC5 و CC6 از زوناسیون Sissingh (1977) تشخیص داده شد. تجمع نانوفسیل‌های آهکی بیانگر حضور همزمان گونه‌های شاخص آب گرم (*Cyclagelosphaera margerelii*، *Diazomatolithus lehmanii*)، *Lithraphidites carniolensis*، *Micrantholithus* spp.، *Nannoconus* spp.، *Biscutum constans* و *Watznaueria* spp. و سرد (*Zeugrhabdotus embergeri* و *Helenea chiasia*) در برش تحت بررسی است. اگر چه فراوانی گونه‌های آب گرم بیش از گونه‌های آب سرد است. بر اساس روند فراوانی گونه‌های آب گرم و سرد در برش تحت بررسی در ابتدای بارمین گرم‌شدگی و سپس سردشدگی و در بارمین میانی گرم‌شدگی ثبت شد. به سمت قسمت‌های انتهایی برش روند سردشدگی در تجمع نانوفسیل‌های آهکی دیده می‌شود. در محدوده مرز بارمین-آپتین روند کاهش گونه‌های آب گرم به روند افزایشی تبدیل شده که می‌تواند بیانگر گرم‌شدگی مرز بارمین-آپتین باشد. به‌طور کلی، روند گرم و سردشدگی ثبت شده در محدوده مورد مطالعه مشابه با روندهای ثبت شده در حوضه‌های تیس و بورآل است و برای اولین بار از ایران گزارش می‌شود.

روند سردشدگی ابتدای بارمین در مطالعات صورت گرفته بر روی بلمنیت‌ها توسط (Mutterlose et al., 2009)؛ Malkoč and Mutterlose (2010) و (McArthur et al., 2004) نیز مشاهده شده است که با روند ثبت شده در مطالعه حاضر و بر اساس نانوفسیل‌های آهکی همخوانی دارد.

بخش c (گرم‌شدگی): افزایش فراوانی گونه‌های آب گرم در ۳۵ متر بعدی (بخش انتهایی زیرزون NC5c و بخش اعظم زیرزون NC5d) که با کاهش نسبی گونه‌های آب سرد همراه است، افزایش دمای آب را منعکس می‌سازد.

در این بخش، فراوانی گونه‌های آب گرم به بیشترین میزان خود می‌رسد که منطبق بر گرم‌شدگی میانه بارمین است. گرم‌شدگی میانه بارمین (در پی سردشدگی ابتدای بارمین) در مطالعات دیگری نیز ثبت شده است (Bodin et al., 2009; Mutterlose et al., 2009; Malkoč and Mutterlose, 2010). این حادثه گرم‌شدگی بازه زمانی کوتاهی دارد و تقریباً ۵۰۰ هزار سال طول کشیده که با شرایط بی‌هوایی در کف اقیانوس‌ها همراه بوده و بیانگر گرم‌ترین شرایط در زمان والانزین-بارمین در حوضه بورآل بوده است (Mutterlose et al., 2009). همچنین این گرم‌شدگی، می‌تواند توضیح مناسبی برای ته‌نشست شیل‌های سیاه بارمین میانی در حوضه بورآل باشد (Mutterlose et al., 2014). داده‌های ایزوتوپ اکسیژن و استرانسیم از حوضه‌های تیس و بورآل نیز بیانگر فاز گسترده افزایش درجه حرارت، رطوبت و ورود رودخانه‌ها در بارمین میانی است (Mutterlose et al., 2014).

بخش d (سردشدگی): بارمین پسین در حوضه تیس با حفظ‌شدگی ضعیف مواد آلی و دمای پایین‌تر مشخص می‌شود (Ruffel and Batten, 1990). سردشدگی انتهایی بارمین که در بعضی از مطالعات تا ابتدای آپتین نیز گزارش شده، نتیجه فوران آتشفشان اونتانگ-جاوا (Ontong-Java) است (McArthur et al., 2004). این بازه پایدار سردشدگی در مطالعه حاضر با کاهش فراوانی گونه‌های آب گرم و افزایش نسبی گونه‌های آب سرد، در اواسط زون CC6 (معادل اواخر زیرزون NC5d) به خوبی قابل تشخیص و مشاهده است (شکل ۵). (Aguado et al., 2014a). بر اساس افزایش فراوانی نسبی گونه‌های آب سرد نانوفسیلی در زیرزون NC5e، فاز سرد بارمین پسین را مشخص کرده‌اند. در مطالعه Pucéat et al. (2003) نیز بر مبنای میزان اکسیژن ۱۸ در دندان ماهی‌های باختر تیس، سردشدگی پایدار انتهایی بارمین و ابتدای آپتین ثبت شده است.

بخش e (گرم‌شدگی): در محدوده مرز بارمین-آپتین در حوضه Umbria-March در ایتالیا، لایه‌های غنی از مواد آلی (TOC) در محدوده مرز بسیار فراوان شده‌اند

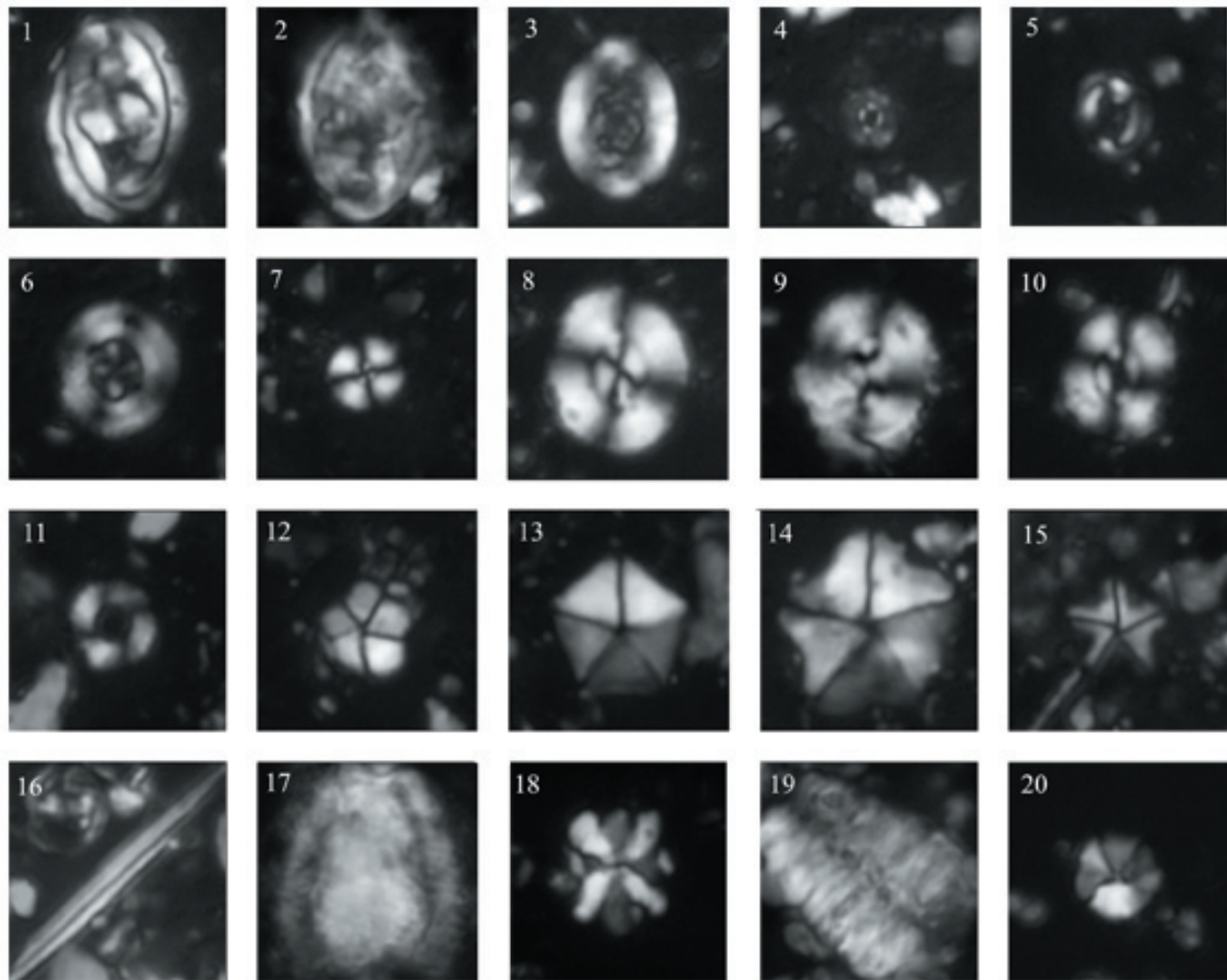
PLATE 1


Fig. 1. *Biscutum constans* (Gorka, 1957) Black, 1959, XPL (Sample: 187); Fig. 2. *Braarudosphaera africana* Stradner, 1961, XPL (Sample: 211); Fig. 3. *Calcicalathina oblongata* (Worsley, 1971) Thierstein, 1971, XPL (Sample: 183); Fig. 4. *Cyclagelosphaera margerelii* Noel, 1965, XPL (Sample: 183); Fig. 5. *Diazomatolithus lehmanii* Noel, 1965, XPL (Sample: 187); Fig. 6. *Flabellites oblongus* (Bukry, 1969) Crux in Crux et al., 1982, XPL (Sample: 211); Fig. 7. *Hayesites irregularis* (Thierstein in Roth and Thierstein, 1972) Applegate et al., in Covington and Wise, 1987, XPL (Sample: 224); Fig. 8. *Helenea chiasitia* Worsley, 1971, XPL (Sample: 183); Fig. 9. *Lithraphidites carniolensis* Deflandre, 1963, XPL (Sample: 187); Fig. 10. *Micrantholithus hoschulzii* (Reinhardt, 1966) Thierstein, 1971, XPL (Sample: 183); Fig. 11. *Micrantholithus obtusus* Stradner, 1963, XPL (Sample: 183); Fig. 12. *Micrantholithus stellatus* Aguado in Aguado et al., 1997, XPL (Sample: 211); Fig. 13. *Nannoconus circularis* Deres and Acheriteguy, 1980, XPL (Sample: 211); Fig. 14. *Nannoconus ligius* Applegate and Bergen, 1988, XPL (Sample: 178); Fig. 15. *Nannoconus steinmannii* Kamptner, 1931, XPL (Sample: 178); Fig. 16. *Rhagodiscus asper* (Stradner, 1966) Reinhardt, 1967, XPL (Sample: 187); Fig. 17. *Watznaueria barnesiae* (Black, 1959) Perch-Nielsen, 1968, XPL (Sample: 185); Fig. 18. *Watznaueria biporta* Bukry, 1969, XPL (Sample: 198); Fig. 19. *Watznaueria fossacincta* (Black, 1971) Bown, 1989, XPL (Sample: 181); Fig. 20. *Zeugrhabdotus embergeri* (Noel, 1958) Perch-Nielsen, 1984, XPL (Sample: 181).

کتابخانه زمین

مطبعی، ه. ۱۳۸۲ - زمین‌شناسی ایران (چینه‌شناسی زاگرس)، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ دوم، ۵۸۳ ص.

References

- Aguado, R., Company, M., O'Dogherty, L., Sandoval, J. and Tavera, J. M., 2014a- Late Hauterivian-early Barremian calcareous nannofossil biostratigraphy, palaeoceanography, and stable isotope record in the Subbetic domain (southern Spain), *Cretaceous Research* 49: 105-124.
- Aguado, R., de Gea, G. A. and O'Dogherty, L., 2014b- Integrated biostratigraphy (calcareous nannofossils, planktonic foraminifera, and radiolarians) of an uppermost Barremian-lower Aptian pelagic succession in the Subbetic Basin (southern Spain), *Cretaceous Research* 51: 153-173.
- Aguado, R., de Gea, G. A., Castro, J. M., O'Dogherty, L., Quijano, M. L., Naafs, B. D. A. and Pancost, R. D., 2014c- 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: 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: 293-348.
- Bodin, S., Fiet, N., Godet, A., Matera, V., Westermann, S., Clément, A., Janssen, N. M. M., Stille, P. and Föllmi, K. B., 2009- Early Cretaceous (late Berriasian to early Aptian) palaeoceanographic change along the northwestern Tethyan margin (Vocontian Trough, southeastern France): $\delta^{13}C$, $\delta^{18}O$ and Sr-isotope belemnite and whole-rock records, *Cretaceous Research*, 30: 1247-1262.

- Bodin, S., Godet, A., Föllmi, K. B., Vermeulen, J., Arnaud, H., Strasser, A., Fiet, N. and Adatte, T., 2006- The late Hauterivian Faraoni oceanic anoxic event in the western Tethys: evidence from phosphorus burial rates, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 235: 245-264.
- Bornemann, A., Pross, J., Reichelt, K., Herrle, J. O., Hemleben, C. and Mutterlose, J., 2005- Reconstruction of short-term palaeoceanographic changes during the formation of the Late Albian 'Niveau Breistroffer' black shales (Oceanic Anoxic Event 1d, SE France), *Journal of the Geological Society* 162: 623-639.
- Bottini, C. and Mutterlose, J., 2012- Integrated stratigraphy of Early Aptian black shales in the Boreal Realm: calcareous nannofossil and stable isotope evidence for global and regional processes, *Newsletters on Stratigraphy* 45: 115-137.
- Bover-Arnal, T., Moreno-Bedmar, J. A., Frijia, G., Pascual-Cebrian, E. and Salas, R., 2016- Chronostratigraphy of the Barremian–Early Albian of the Maestrat Basin (E Iberian Peninsula): integrating strontium-isotope stratigraphy and ammonoid biostratigraphy, *Newsletters on Stratigraphy* 49(1): 41-68.
- Bown, P., 1998- *Calcareous nannofossil biostratigraphy*, Chapman and Hall; Kluwer Academic.
- 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.
- Bralower, T. J., Leckie, R. M., Sliter, W. V. and Thierstein, H. R., 1995- An integrated Cretaceous microfossil biostratigraphy, *SEPM Special Publications* 54: 65-79.
- Bralower, T. J., Sliter, W. V., Arthur, M. A., Leckie, R. M., Allard, D. and Schlanger, S. O., 1993- Dysoxic/anoxic episodes in the Aptian-Albian (Early Cretaceous), *The Mesozoic Pacific: geology, tectonics, and volcanism* 77: 5-37.
- Channell, J., Erba, E., Muttoni, G. and Tremolada, F., 2000- Early Cretaceous magnetic stratigraphy in the APTICORE drill core and adjacent outcrop at Cison (Southern Alps, Italy), and correlation to the proposed Barremian-Aptian boundary stratotype, *Geological Society of America Bulletin* 112: 1430-1443.
- Erba, E., 1987- Mid-Cretaceous cyclic pelagic facies from the Umbrian-Marchean Basin: what do calcareous nannofossils suggest, *INA Newsletter* 9: 52-53. Erba, E., 1994- Nannofossils and superplumes: the early Aptian "nannoconid crisis", *Paleoceanography* 9: 483-501.
- Erba, E., 2004- Calcareous nannofossils and Mesozoic oceanic anoxic events, *Marine Micropaleontology* 52: 85-106.
- Erba, E., Bottini, C., Weissert, H. J. and Keller, C. E., 2010- Calcareous nannoplankton response to surface-water acidification around Oceanic Anoxic Event 1a, *Science* 329: 428-432.
- Erba, E., Bottini, C., Weissert, H. J. and Keller, C. E., 2011- Response to Comment on "Calcareous Nannoplankton Response to Surface-Water Acidification Around Oceanic Anoxic Event 1a", *Science* 332: 175-175.
- Erba, E., Castradori, D., Guasti, G. and Ripepe, M., 1992- Calcareous nannofossils and Milankovitch cycles: the example of the Albian Gault Clay Formation (southern England), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 93: 47-69.
- Föllmi, K. B., Godet, A., Bodin, S. and Linder, P., 2006- Interactions between environmental change and shallow water carbonate buildup along the northern Tethyan margin and their impact on the Early Cretaceous carbon isotope record, *Paleoceanography*: 21.
- Frakes, L. A., 1979- *Climates Throughout Geologic Time*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 310 p.
- Gradstein, F. G., Ogg, J. G. and Smith, A. G., 2004- *A Geological Time Scale 2004*, Cambridge University Press, 589 p.
- Herrle, J. O., 2003- Reconstructing nutricline dynamics of mid-Cretaceous oceans: evidence from calcareous nannofossils from the Niveau Paquier black shale (SE France), *Marine Micropaleontology* 47: 307-321.
- Herrle, J. O., Pross, J., Friedrich, O., Köbler, P. and Hemleben, C., 2003- Forcing mechanisms for mid-Cretaceous black shale formation: evidence from the Upper Aptian and Lower Albian of the Vocontian Basin (SE France), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 190: 399-426.
- Kemper, E., 1987- Das Klima der Kreide-Zeit, *Geologisches Jahrbuch* A96: 5-185.
- Kemper, E., 1987- Das der Kreide-Zeit, *Geologisches Jahrbuch*, Reihe A 96: 5-185.
- Lees, J. A., Bown, P. R. and Mattioli, E., 2005- Problems with proxies? Cautionary tales of calcareous nannofossil paleoenvironmental indicators, *Micropaleontology* 51: 333-343.
- Lees, J. A., Bown, P. R. and Young, J. R., 2006- Photic zone palaeoenvironments of the Kimmeridge Clay Formation (Upper Jurassic, UK) suggested by calcareous nannoplankton palaeoecology, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 235: 110-134.
- Lees, J. A., Bown, P. R., Young, J. R. and Riding, J. B., 2004- Evidence for annual records of phytoplankton productivity in the Kimmeridge Clay Formation coccolith stone bands (Upper Jurassic, Dorset, UK), *Marine Micropaleontology* 52: 29-49.
- Luciani, V., Cobianchi, M. and Jenkyns, H. C., 2001- Biotic and geochemical response to anoxic events: the Aptian pelagic succession of the Gargano Promontory (southern Italy), *Geological Magazine* 138: 277-298.
- Malkoč, M. and Mutterlose, J., 2010- The early Barremian warm pulse and the late Barremian cooling: a high-resolution geochemical record of the Boreal Realm, *Palaios* 25: 14-23.
- McArthur, J. M., Janssen, N. M. M., Reboulet, S., Leng, M. J., Thirlwall, M. F. and Van de Schootbrugge, B., 2007- Palaeotemperatures, polar ice-volume and isotope stratigraphy (Mg/Ca, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$, $87\text{Sr}/86\text{Sr}$): The Early Cretaceous (Berriasian, Valanginian, Hauterivian), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 248: 391-430.
- McArthur, J. M., Mutterlose, J., Price, G. D., Rawson, P. F., Russel, A. and Thirlwall, M. F., 2004- Belemnites of Hauterivian and Barremian (early Cretaceous) age: Sr isotope stratigraphy ($87\text{Sr}/86\text{Sr}$) and kinetic control of stable isotopic and trace element composition $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, Na, Sr, Mg, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 202: 253-272.
- Melinte, M. and Mutterlose, J., 2001- A Valanginian (Early Cretaceous) 'boreal nannoplankton excursion' in sections from Romania, *Marine Micropaleontology* 43: 1-25.
- Mutterlose, J. and Bottini, C., 2013- Early Cretaceous chalks from the North Sea giving evidence for global change, *Nature communications* 4: 1686.
- Mutterlose, J. and Kessels, K., 2000- Early Cretaceous calcareous nannofossils from high latitudes: implications for palaeobiogeography and palaeoclimate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 160, 347-372.
- Mutterlose, J., 1987- Calcareous nannofossils and belemnites as warmwater indicators from the NW-German Middle Aptian, *Geologisches Jahrbuch* A 96: 293-313.
- Mutterlose, J., 1989- Temperature-controlled migration of calcareous nannofloras in the north-west European Aptian, *Nannofossils and their applications*, Ellis Horwood, Chichester, UK: 122-142.
- Mutterlose, J., 1991- Das Verteilungs- und Migrationsmuster des kalkigen Nannoplanktons in der Unterkreide (Valangin-Apt) NW-Deutschlands, *Palaeontographica Abteilung B*: 27-152.
- Mutterlose, J., 1992- Biostratigraphy and palaeobiogeography of Early Cretaceous calcareous nannofossils, *Cretaceous Research* 13: 167-189.
- Mutterlose, J., 1996- Calcareous nannofossil palaeoceanography of the Early Cretaceous of NW Europe, *Mitteilungen aus dem Geologischen Staatsinstitut in Hamburg* 77: 291-313.

- Mutterlose, J., Bodin, S. and Fähnrich, L., 2014- Strontium-isotope stratigraphy of the Early Cretaceous (Valanginian–Barremian): implications for Boreal–Tethys correlation and paleoclimate, *Cretaceous Research* 50: 252-263.
- Mutterlose, J., Bornemann, A. and Herrle, J. O., 2005- Mesozoic calcareous nannofossils—state of the art, *Paläontologische Zeitschrift* 79: 113-133.
- Mutterlose, J., Malkoc, M., Schouten, S. and Sinninghe Damsté, J. S., 2012- Reconstruction of vertical temperature gradients in past oceans Proxy data from the Hauterivian □ early Barremian (Early Cretaceous) of the Boreal Realm, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 363-364: 135-143.
- Mutterlose, J., Pauly, S. and Steuber, T., 2009- Temperature controlled deposition of early Cretaceous (Barremian–early Aptian) black shales in an epicontinental sea, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 273: 330-345.
- Ogg, J. G., Ogg, G. and Gradstein, F. M., 2008- The concise geologic time scale, Cambridge University Press, Cambridge.
- Parker, M., Clark, M. and Wise, S., 1985- Calcareous nannofossils of Deep Sea Drilling Project Sites 558 and 563, north Atlantic ocean: biostratigraphy and the distribution of Oligocene Braarudosphaerids, *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project* 82: 559-589.
- Pauly, S., Mutterlose, J. and Alsen, P., 2012- Early Cretaceous palaeoceanography of the Greenland–Norwegian Seaway evidenced by calcareous nannofossils, *Marine Micropaleontology* 90: 72-85.
- Pauly, S., Mutterlose, J. and Wray, D. S., 2013- Palaeoceanography of Lower Cretaceous (Barremian–Lower Aptian) black shales from northwest Germany evidenced by calcareous nannofossils and geochemistry, *Cretaceous Research* 42: 28-43.
- Perch-Nielsen, K., 1985- Mesozoic calcareous nannofossils, In *Plankton stratigraphy*, Cambridge University Press: 329-426.
- Pianka, E. R., 1970- On r-and K-selection, *American naturalist*: 592-597.
- Pospichal, J. J., 1996- Calcareous nannoplankton mass extinction at the Cretaceous/Tertiary boundary: an update, *The Cretaceous-Tertiary event and other catastrophes in Earth history: Geological Society of America Special Paper* 307: 335-360.
- Premoli Silvá, I., Erba, E. and Tornaghi, M. E., 1989- Paleoenvironmental signals and changes in surface fertility in Mid Cretaceous Corg-Rich pelagic facies of the Fucoid Marls (Central Italy), *Geobios* 22: 225-236.
- Price, G. D., Fözy, I., Janssen, N. M. M. and Pálffy, J., 2011- Late Valanginian-Barremian (Early Cretaceous) palaeotemperatures inferred from belemnite stable isotope and Mg/Ca ratios from Bersek Quarry (Gerecse Mountains, Transdanubian Range, Hungary), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 305: 1-9.
- Pucéat, E., Lécuyer, C., Sheppard, S. M., Dromart, G., Reboulet, S. and Grandjean, P., 2003- Thermal evolution of Cretaceous Tethyan marine waters inferred from oxygen isotope composition of fish tooth enamels, *Paleoceanography* 18 (2).
- Quijano, M. L., Castro, J. M., Pancost, R. D., de Gea, G. A., Najarro, M., Aguado, R., Rosales, I. and Martín-Chivelet, J., 2012- Organic geochemistry, stable isotopes, and facies analysis of the Early Aptian OAE—New records from Spain (Western Tethys), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 365: 276-293.
- Roth, P. H. and Bowdler, J. L., 1981- Middle Cretaceous calcareous nannoplankton biogeography of the Atlantic Ocean, *SEPM Special Publications* 32: 517-546.
- Roth, P. H. and Krumbach, K. R., 1986- Middle Cretaceous calcareous nannofossil biogeography and preservation in the Atlantic and Indian Oceans: implications for paleoceanography, *Marine Micropaleontology* 10: 235-266.
- Roth, P. H., 1978- Cretaceous nannoplankton biostratigraphy and oceanography of the northwestern Atlantic ocean, *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project* 44: 731-759.
- Roth, P. H., 1994- Distribution of coccoliths in oceanic sediments, in: Winter, A., Siesser, W.G. (Eds.), *Coccolithophores*. Cambridge University Press, Cambridge: 199-218.
- Ruffell, A. H. and Batten, D. J., 1990- The Barremian-Aptian arid phase in western Europe, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 80: 197-212.
- Scarpato Cunha, A. A. and Koutsoukos, E. A., 1998- Calcareous nannofossils and planktic foraminifers in the upper Aptian of the Sergipe Basin, northeastern Brazil: palaeoecological inferences, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 142: 175-184.
- Shannon, C. E. and Weaver, W., 1949- *The mathematical theory of communication*, Urbana: University of Illinois Press, Illinois.
- Siesser, W., Bralower, T. and De Carlo, E., 1992- Mid-Tertiary Braarudosphaera-rich sediments on the Exmouth plateau, *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* 122: 653-663.
- Sissingh, W., 1977- Biostratigraphy of calcareous Nannoplankton, *Geologie en Mijnbouw* 56: 37-65.
- Stein, M., Föllmi, K. B., Westermann, S., Godet, A., Adatte, T., Matera, V., Fleitmann, D. and Berner, Z., 2011- Progressive palaeoenvironmental change during the Late Barremian–Early Aptian as prelude to Oceanic Anoxic Event 1a: Evidence from the Gorgo a Cerbara section (Umbria-Marche basin, central Italy), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 302: 396-406.
- Street, C. and Bown, P., 2000- Palaeobiogeography of early Cretaceous (Berriasian–Barremian) calcareous nannoplankton, *Marine Micropaleontology* 39: 265-291.
- Thibault, N. and Gardin, S., 2006- Maastrichtian calcareous nannofossil biostratigraphy and paleoecology in the Equatorial Atlantic (Demerara Rise, ODP Leg 207 Hole 1258A), *Revue de Micropaléontologie* 49: 199-214.
- Thierstein, H. R., 1976- Mesozoic calcareous nannoplankton biostratigraphy of marine sediments, *Marine Micropaleontology* 1: 325-362.
- Tiraboschi, D., Erba, E. and Jenkyns, H. C., 2009- Origin of rhythmic Albian black shales (Piobbico core, central Italy): Calcareous nannofossil quantitative and statistical analyses and paleoceanographic reconstructions, *Paleoceanography* 24.
- Tremolada, F., Erba, E. and Bralower, T. J., 2006- Late Barremian to early Aptian calcareous nannofossil paleoceanography and paleoecology from the Ocean Drilling Program Hole 641C (Galicia Margin), *Cretaceous Research* 27: 887-897.
- Voigt, S., Erbacher, J., Mutterlose, J., Weiss, W., Westerhold, T., Wiese, F. and Wonik, T., 2008- The Cenomanian – Turonian of the Wunstorf section – (North Germany): global stratigraphic reference section and new orbital time scale for Oceanic Anoxic Event 2, *Newsletters on Stratigraphy* 43 (1): 65-89.
- Watkins, D. K., Wise, Jr. S. W., Pospichal, J. J. and Crux, J., 1996- Upper Cretaceous calcareous nannofossil biostratigraphy and paleoceanography of the Southern Ocean, in Mougilevsky, A., Whatley, R. (Eds.), *Microfossils and ocean environments*. Aberystwyth Press, University of Wales: 355-381.
- Williams, J. R. and Bralower, T. J., 1995- Nannofossil assemblages, fine fraction stable isotopes, and the paleoceanography of the Valanginian-Barremian (Early Cretaceous) North Sea Basin, *Paleoceanography* 10: 815-839.
- Winter, A., Jordan, R. W. and Roth, P. H., 1994- Biogeography of living coccolithophores, in ocean waters, in: Winter, A., Siesser, W.G. (Eds.), *Coccolithophores*. Cambridge University Press, Cambridge: 161-177.
- Yilmaz, I. O., Altiner, D., Tekin, U. K. and Ocakoglu, F., 2012- The first record of the “Mid-Barremian” Oceanic Anoxic Event and the Late Hauterivian platform drowning of the Bilecik platform, Sakarya Zone, western Turkey, *Cretaceous Research* 38: 16-39.

Evidence of Barremian climate condition based on calcareous nannofossils at Garau Formation, Qaleh-Darreh section

M. Eftekhari¹, A. Mahanipour² and M. Dastanpour³

¹M.Sc., Department of Geology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

²Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

³Professor, Kerman Institute of Higher Education, Kerman, Iran

Received: 2017 February 08

Accepted: 2017 August 20

Abstract

Barremian sediments of the Garau Formation have been investigated at the southwest of the Kabir-kuh anticline (Qaleh-Darreh section) with regard to calcareous nannofossils. According to the presence of index calcareous nannofossils, NC5 biozone and NC5c, NC5d and NC5e subzones of Roth (1978) and CC5-CC7 biozones of Sissingh (1977) have been identified. At the studied interval, warm water taxa like *Cyclagelosphaera margerelii*, *Diazomatolithus lehmanii*, *Lithraphidites carniolensis*, *Micrantholithus* spp., *Nannoconus* spp., *Rhagodiscus asper* and *Watznaueria* spp. have been recorded along with cool water taxa such as *Biscutum constans*, *Helenea chiastia* and *Zeugrhabdotus embergeri*. The abundance of warm water taxa is higher than cool water taxa and a reverse trend can be observed. Regarding cool and warm water taxa three warming phases and two cooling phases are identified which includes the warming event of early Early Barremian, cooling event of Early Barremian, warming event of Mid-Barremian, cooling event of late Barremian and warming event of Barremian-Aptian boundary. It must be mentioned that these data are in accord with those reported from other parts of the world in the tethyan (e.g., Italy) and the boreal realms (e.g., NW Germany and NE England).

Keywords: Barremian, Biostratigraphy, Paleoecology, Garau Formation, Calcareous nannofossils

For Persian Version see pages 27 to 36

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