

سنگ‌شناسی و زیست‌چینه‌نگاری سازندهای آقچاگیل و آپشرون بر اساس نانوپلانکتون‌های آهکی در دشت گرگان: کاربرد در بازسازی جغرافیای دیرینه حوضه خزر جنوبی

محمود شرفی^{۱*}، نسیم موسوی^۲، مهران مرادپور^۳، بیژن بیرانوند^۴، نارام بایت‌گل^۵، و حسین مهاجرسلطانی^۶

۱- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

۲- دکترا زمین‌شناسی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران

۳ و ۴- استادیار گروه زمین‌شناسی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران

۵- استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان

۶- کارشناس ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، شرکت نفت خزر، تهران

نویسنده مسئول: sharafi2262@gmail.com

دریافت: ۹۹/۱۱/۱۶ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۱

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

سازندهای کربناته و سیلیسی-آواری آقچاگیل و آپشرون در یک برش زیرسطحی در ناحیه دشت گرگان مورد مطالعه قرار گرفته است. سازند آقچاگیل در این ناحیه متشکل از واحدهای ماسه سنگ زیرین و کربناته بالایی است. پتروفاسیس ماسه‌سنگ شامل لیت‌آرنایت، ساب‌لیت‌آرنایت و لیت‌آرنایت فلدسپات‌دار است. رخساره‌های دانه‌پشتیان در این سازند غالب بوده و به ویژه رسوبات کربناته دارای مقادیر قابل توجه تخلخل به فرم‌های قالبی، حفره‌ای و فنسترال بوده که بیانگر تفاوت آشکار رسوبات این سازند در ایران با کشورهای همجوار از جمله آذربایجان و ترکمنستان است. این ویژگی‌ها، رسوبات سازند آقچاگیل را به عنوان توالی مستعد مخزن مطرح می‌نماید و ضرورت انجام مطالعات جامع زمین‌شناسی و اکتشافی در این ناحیه را تأکید می‌کند. نهشته‌های سازند آپشرون شامل واحد ماسه‌سنگ زیرین و مادستون بالایی و متشکل از ماسه‌سنگ لیت‌آرنایت و ساب‌لیت‌آرنایت، سنگ‌آهک الییدار با پوکلاستیک و مادستون / رس‌سنگ خاکستری تا قهوه‌ای رنگ است. بر اساس جوان‌ترین نانوفسیل‌های یافت شده در سازندهای آقچاگیل و آپشرون، سن نسبی این سازندها به ترتیب پلیوسن بالایی- پلیستوسن پایینی و پلیستوسن میانی تعیین شده است. الگوی گسترش نانوفسیل‌های آهکی نشان‌دهنده وجود ارتباط بین حوضه خزر جنوبی با دریای سیاه و حوضه مدیترانه در پلیستوسن پایینی و میانی و عدم ارتباط در انتهای پلیوسن- ابتدای پلیستوسن است که برای اولین بار در این مطالعه مطرح می‌شود.

واژگان کلیدی: آقچاگیل، آپشرون، دشت گرگان، نانوفسیل

پیشگفتار

سنگ منشا و سنگ مخزن در این حوضه شده است. در دوره‌هایی که ارتباط حوضه خزر به دلیل سقوط سطح آب، با دریاهای آزاد محدود می‌شده است، کاهش گردش آب و ایجاد چینه‌بندی در ستون آب منجر به ایجاد شرایط احیایی و ته‌نشینی رسوبات غنی از مواد آلی شده است (پوپوف و همکاران، ۲۰۰۴؛ عبدلایف، ۲۰۱۰؛ عبدلایف و لئوری، ۲۰۱۶). از جمله سازندهایی که در حوضه خزر به عنوان سنگ‌منشا هیدروکربن مطرح است توالی متشکل از رسوبات رسی و حاوی مقادیر فراوان مواد آلی و پیریت است که تحت عنوان رخساره‌های میکوپ^۱ شناخته می‌شود

حوضه خزر با وسعت تقریبی ۳۷۵۰۰۰ کیلومتر مربع و به عنوان بزرگ‌ترین دریاچه جهان واقع در مرکز اوراسیا یکی از حوضه‌های مهم اکتشاف هیدروکربن در جهان و خاورمیانه است. اکتشاف و استخراج نفت از این حوضه از قرن گذشته در کشور آذربایجان شروع شده است و تاکنون نیز ادامه دارد (آبرامز و نریمانوف، ۱۹۹۷). تاریخچه خاص پیدایش و تکامل حوضه خزر که با فازهای متعدد و متناوب محصور شدن و ارتباط با آب‌های آزاد همراه بوده است، منجر به ته‌نشینی رسوبات و توالی‌های خاص با ویژگی‌های

¹ Maykopian facies

توسعه مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی در اختیار زمین‌شناسان و شرکت‌های نفتی قرار خواهد داد.

موقعیت زمین‌شناسی و جغرافیایی

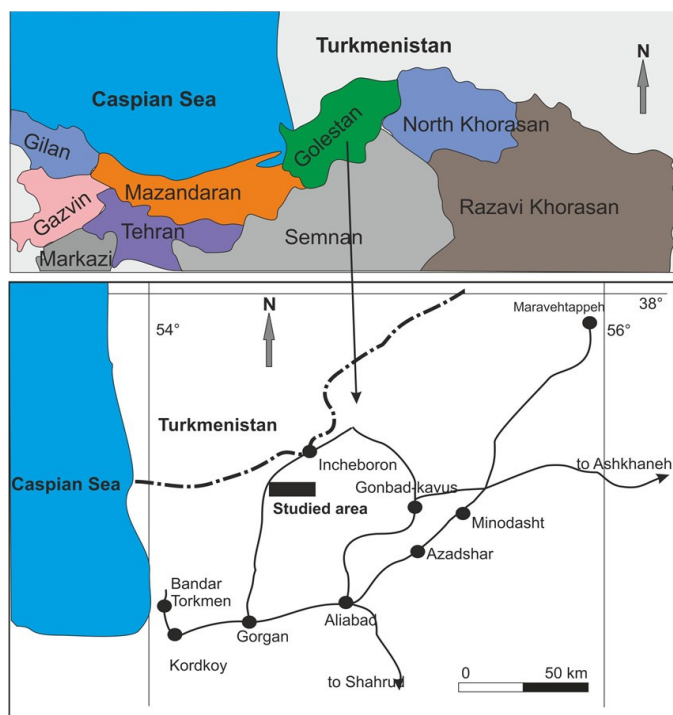
تا زمان ائوسن بجای دریای سیاه، خزر و آرال فعلی، اقیانوس وسیعی به نام تتیس وجود داشته است که در اثر همگرایی و برخورد صفحات آفریقا-عربی و اوراسیا در زمان ائوسن-الیگوسن بسته شده است (برونت و همکاران، ۲۰۰۳). بعد از بسته شدن حوضه تتیس، حوضه پاراتتیس به عنوان باقی‌مانده این حوضه در مرکز اوراسیا شکل گرفته است که حوضه خزر جنوبی و دریای سیاه در بخش‌خاوری آن توسعه داشته است. به طور کلی ارتباط حوضه خزر جنوبی و حوضه پاراتتیس با دریاهای آزاد از زمان پیدایش این حوضه‌ها به صورت متناوب بوده و دوره‌هایی که این ارتباط قطع و یا محدود شده است، ایجاد چینه‌بندی در ستون آب و گردش آب اندک موجب ایجاد شرایط احیایی و ته‌نشینی رسوبات حاوی مواد آلی فراوان و تشکیل سنگ منشا هیدروکربن در حوضه شده است. حوضه‌های مدیرانه و پاراتتیس در زمان بحران شوری مسینین (MSC) و به دنبال سقوط شدید سطح آب دریا در پاراتتیس به میزان ۵۰-۱۰ متر از یکدیگر جدا می‌گردند (پوپوف و همکاران، ۲۰۰۶؛ کریژمان و همکاران، ۲۰۱۰؛ بالاتو و همکاران، ۲۰۱۱؛ عبدلایف و همکاران، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵). ناحیه خزر جنوبی که به عنوان بخش باقی‌مانده حوضه پشت قوسی اقیانوس نئوتتیس و بخشی از پاراتتیس خاوری در نظر گرفته می‌شود، در زمان الیگوسن و میوسن پایینی در اثر این وقایع برخوردی و با بالآمدگی سریع رشته کوه‌های قفقاز بزرگ شکل گرفته است (شکل ۱) (آلن و همکاران، ۲۰۰۳؛ آگارد و همکاران، ۲۰۱۱). این حوضه به صورت‌های مختلف از حوضه دریایی محدود تا لب‌شور و منطبق با افزایش یا کاهش ارتباط با آب‌های آزاد، وجود داشته است (برونت و همکاران، ۲۰۰۳؛ پوپوف و همکاران، ۲۰۰۶؛ بالاتو و همکاران، ۲۰۱۱). حداکثر نرخ فرونشینی در حوضه خزر جنوبی در زمان پلیوسن اتفاق می‌افتد بطوریکه بیش از ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر رسوب در این بازه زمانی در این حوضه ته‌نشین شده است (وینسنت و همکاران، ۲۰۰۵؛ پوپوف و همکاران، ۲۰۰۶؛ عبدلایف و همکاران، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵؛ عبدلایف و لثوری، ۲۰۱۶). عقیده بر این است که با ادامه همگرایی بین صفحات و منطبق با بالا آمدن

(پوپوف و همکاران، ۲۰۰۴). علاوه بر وجود رسوبات سنگ‌منشا هیدروکربن در حوضه خزر جنوبی، وجود مقادیر قابل توجهی نفت و گاز در سازندهای مخزنی سیلیسی-آواری چلکن (میوسن-پلیوسن) و کربناته-سیلیسی-آواری آپشرون (پلئستوسن) نیز به اثبات رسیده است. از اینرو در کشورهای همجوار از جمله آذربایجان و ترکمنستان مطالعات بسیار گسترده بر روی ویژگی‌های سنگ‌شناسی، ویژگی‌های مخزنی، دیرینه‌شناسی و محیط رسوبی این توالی‌ها صورت گرفته است (برای مثال هیندز و همکاران، ۲۰۰۴؛ وینسنت و همکاران، ۲۰۱۰؛ عبدلایف، ۲۰۱۰؛ عبدلایف و لثوری، ۲۰۱۶). علیرغم اهمیت بسیار زیاد این حوضه و وجود توالی‌های سنگ‌منشا و سنگ مخزن متعدد اثبات شده در این حوضه به ویژه در کشورهای همجوار از جمله آذربایجان، ترکمنستان و روسیه که برای چند دهه است که به استخراج منابع ارزشمند آن می‌پردازند اما در ایران حتی مطالعات اولیه زمین‌شناسی نیز در این حوضه به صورت پراکنده وجود دارد که از آن جمله می‌توان به به ارنی و یاسینی (ارنی و یاسینی، ۱۹۶۵) و یوسفی (۱۳۹۳) اشاره نمود.

از دلایل مطالعات اندک بر روی رسوبات حوضه خزر جنوبی در ایران می‌توان به وجود پوشش گیاهی وسیع در بخش‌های حاشیه خزر و همچنین اولویت دادن مطالعات اکتشافی به حوضه زاگرس به دلیل رخنمونی مناسب‌تر توالی‌ها و شناخته شده‌تر بودن این زون نسبت به حوضه خزر جنوبی اشاره نمود. شناسایی و ارزیابی رسوبات حوضه خزر جنوبی به ویژه از نظر رسوب‌شناسی و ریزدیرینه‌شناسی با توجه به دلایل ذکر شده جهت ارزیابی شرایط زمین‌شناسی و توسعه توالی‌ها در بخش ایرانی این حوضه و انطباق آن با توالی‌های معادل در کشورهای همجوار از جمله آذربایجان و ترکمنستان از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. از اینرو در این مطالعه برای اولین بار به ارزیابی خصوصیات سنگ‌شناسی توالی‌های آچاگیل و آپشرون و تعیین سن نسبی این سازندها بر مبنای نانوپلاتکتون‌های آهکی در ناحیه دشت گرگان پرداخته شده است. اطلاعات و نتایج بدست آمده در این تحقیق از جمله ویژگی‌های مخزنی (تخلخل) رسوبات سازند آچاگیل و تعیین دوره‌هایی که منطبق با ایزوله شدن شدید حوضه خزر (احتمالاً منطبق با ته‌نشینی رسوبات غنی از مواد آلی) بوده است، داده‌های ارزشمندی برای

سازندهای آقچاگیل و آپشرون در کشورهای همجوار عمدتاً از نوع مارن/ شیل با میان لایه‌های نازک سنگ‌آهک است (عبدلایف و همکاران، ۲۰۱۵) اما در ایران رسوبات این دو سازند تغییرات مهمی را نشان می‌دهند که اهمیت مطالعه سنگ‌شناسی این توالی‌ها را دوچندان می‌کند که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. برش مورد مطالعه در دشت گرگان در عرض‌های جغرافیایی $51^{\circ} 53' - 56^{\circ} 04'$ خاوری و $36^{\circ} 05' - 34^{\circ} 24'$ شمالی البرز در جنوب و جنوب‌خاوری و کمر بند چین‌خورده کپه‌داغ در سمت خاوری و حوضه ترکمنستان در شمال واقع شده است (شکل ۲). ضخامت سازندهای آقچاگیل و آپشرون در ناحیه مورد مطالعه به ترتیب ۷۳ و ۴۸۸ متر است.

ارتفاعات کپه‌داغ در خاور و البرز، تالش، قفقاز در جنوب و جنوب باختر، حوضه خزر جنوبی در زمان میوسن بالایی و در زمان تهنشینی سری‌های تولیدی از بخش میانی خزر و از اقیانوس‌های آزاد جدا می‌گردد (شکل ۱) (پوپوف و همکاران، ۲۰۰۴، ۲۰۰۶؛ رضاییان و همکاران، ۲۰۱۱؛ عبدلایف و لثوری، ۲۰۱۶). در حدود سه میلیون سال قبل همزمان با پیشروی دریا و ایجاد ارتباط حوضه خزر با آب‌های آزاد رسوبات کربناته به نام سازند آقچاگیل تهنشین می‌شوند (گرین و همکاران، ۲۰۰۹؛ گوژیک و همکاران، ۲۰۱۵؛ عبدلایف و همکاران، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵) و بعد از آن مجدداً با پسروی آب دریا و همزمان با فاز آخرین فاز فشردگی عربی^۲ و از زمان تهنشینی سازند آپشرون دریای خزر به شکل کنونی ایجاد می‌شود (پوپوف و همکاران، ۲۰۰۴، ۲۰۰۶؛ هادسون و همکاران، ۲۰۰۸). رسوبات



شکل ۱. محدوده و موقعیت جغرافیایی برش زیر سطحی مورد مطالعه در ناحیه دشت گرگان

روش مطالعه

مطالعه رسوب‌شناسی سازندهای آقچاگیل و آپشرون بر روی خرده‌های حفاری^۱ و با استفاده از شستشوی نمونه‌ها بر روی یک سری ۶ عددی الک و با روش مطالعه پتروگرافی استاندارد صورت گرفته است. تعداد ۲۰ برش‌نازک و ۶۵ نمونه خرده‌حفاری جهت ارزیابی خصوصیات سنگ‌شناسی

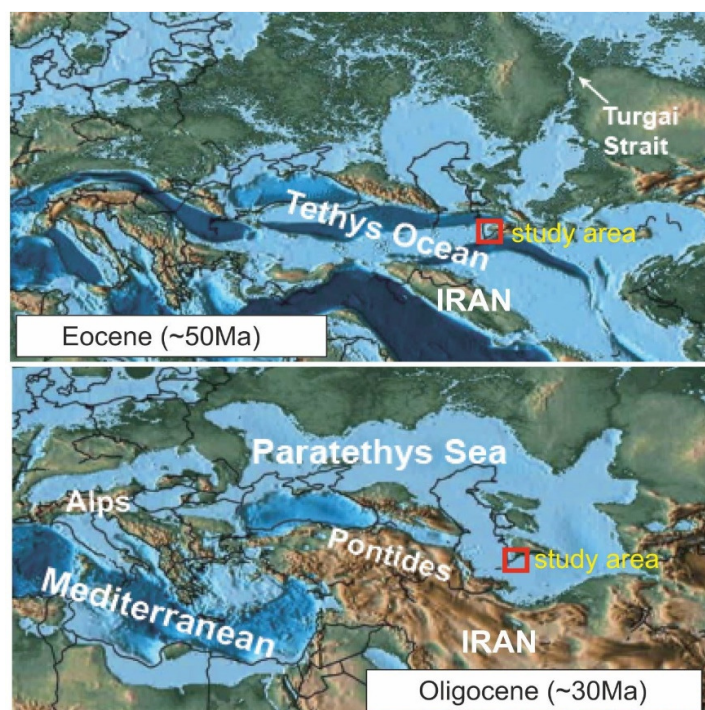
از جمله دانه‌بندی، بافت، ترکیب و اجزای تشکیل‌دهنده و میزان تخلخل نسبی سازندهای آقچاگیل و آپشرون در ناحیه مورد مطالعه، بررسی شده است. تخمین میزان اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات (به عنوان مثال برای تعیین پتروفاسیس ماسه‌سنگ‌ها) و درصد تخلخل با استفاده از جدول‌های مقایسه‌ای موجود صورت گرفته است (تری و

¹ cutting

² Late Arabian compression

باعث انحلال و یا رشد ثانویه کلسیت در نانوفسیل‌های آهکی می‌شود و تشخیص آن‌ها را با مشکل مواجه می‌کند. با توجه به ظرافت نانوفسیل‌ها، توجه به این نکته در مطالعات از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مطالعه لیتولوژی کنگلومرا، سنگ‌آهک و ماسه‌سنگ، فراوانی نانوفسیل‌ها را تحت تاثیر قرار داده است، از اینرو تنها نمونه‌های مارن/شیل، رس‌سنگ و سنگ‌آهک جهت مطالعه نانوفسیل‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس روث (۱۹۸۳)، میزان حفظ‌شدگی نانوفسیل‌ها در سازند آقچاگیل متوسط و در سازند آپشرون ضعیف است.

چیلینگار، (۱۹۵۵). ماسه‌سنگ‌ها بر اساس طبقه‌بندی فولک (۱۹۸۰) نام‌گذاری شده‌اند. نمونه‌ها برای مطالعات بیوستراتیگرافی نانوفسیل‌های آهکی، به روش اسمیر^۲ (باون، ۱۹۹۸؛ یانگ، ۱۹۹۸) آماده‌سازی شده و اسلایدها با میکروسکپ نوری Nikon LV100 Pol و بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر در آزمایشگاه چینه‌شناسی پژوهشگاه صنعت نفت مورد مطالعه قرار گرفت. فراوانی و اجتماع نانوفسیل‌های آهکی ممکن است تحت تاثیر لیتولوژی، انحلال و دیاژنز قرار گیرد و سبب کاهش گونه‌های ظریف و افزایش انواع مقاوم در برابر انحلال شود. همچنین دیاژنز



شکل ۲. نقشه جغرافیای دیرینه حوضه تتیس در بازه زمانی ائوسن تا الیگوسن و تاریخچه تشکیل حوضه‌های پاراتتیس و خزر جنوبی در بخش خاوری آن و حوضه مدیترانه به عنوان باقی‌مانده‌های حوضه تتیس (اقتباس از Scotese, 2016).

مانعی برای مشاهده نمونه‌های برجا که ظریف و شکننده هستند، می‌باشند. در این حالت می‌بایست هر اسلاید با دقت بالایی مطالعه شود تا حتی‌المقدور نمونه‌های ظریف که جدیدتر و نشان‌دهنده سن واقعی لایه رسوبی هستند و در سنگ‌های آواری معمولاً با فراوانی بسیار پایین دیده می‌شوند، شناسایی شوند. مطالعات تاکسونومی نانوفسیل‌ها، بر اساس شیوه‌های ارایه شده توسط مارتینی (۱۹۷۱)، پرک-نیلسن (۱۹۸۵) و باون (۱۹۹۸) صورت گرفته است.

نانوفسیل‌های آهکی از نظر فراوانی به سه رده کمیاب (۱) گونه در بیشتر از ۵۰ میدان دید) و اندک (۱) گونه در ۲ تا ۵۰ میدان دید) تقسیم می‌شوند. به دلیل تعداد بالای گونه‌های حمل شده نابرجا و به منظور مشاهده گونه‌های ظریف برجا (باون، ۲۰۱۶)، هر اسلاید به دقت مورد مطالعه قرار گرفته است. در نمونه‌های آواری تعداد بالای نمونه‌های نانو فسیلی (با توجه به احتمال بالای وجود نمونه‌های حمل شده) در نمونه، لزوماً سن لایه را مشخص نمی‌کند (برای مثال باون، ۲۰۱۶). نمونه‌های فسیلی حمل شده همچنین

² Smear Slide technique

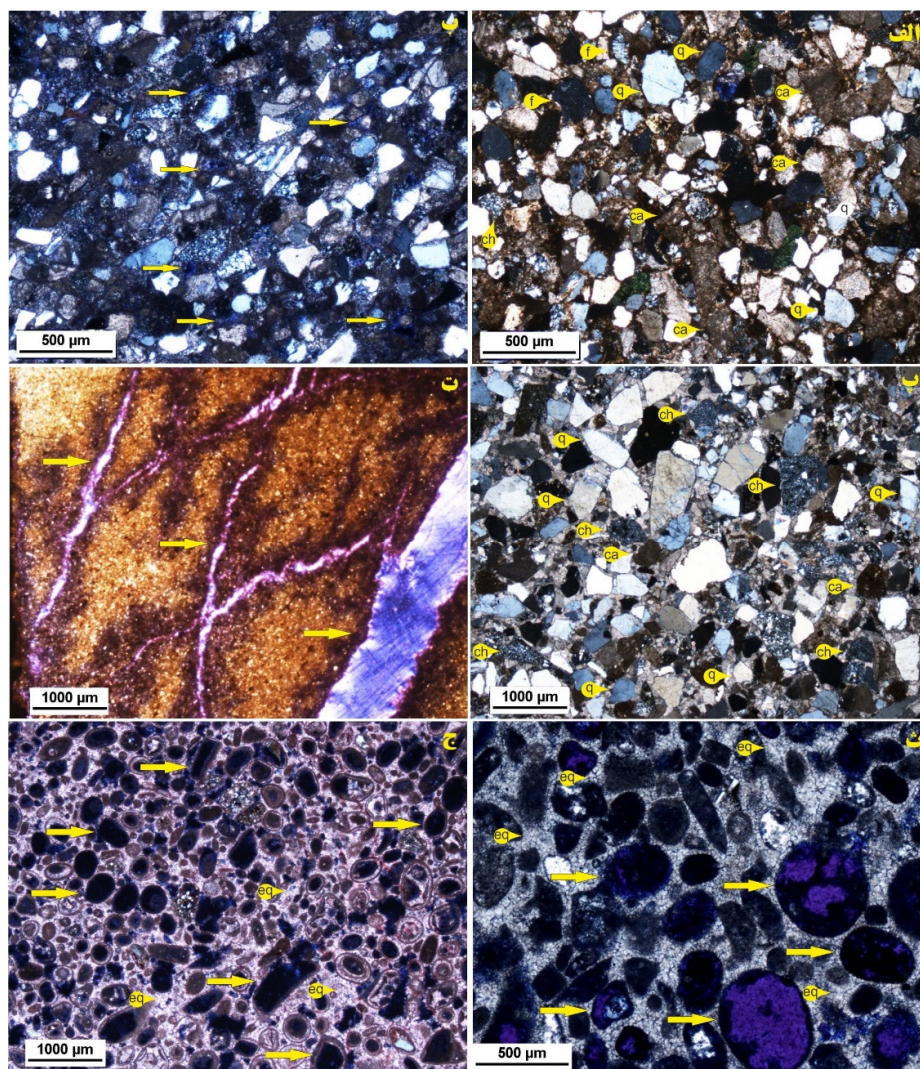
نتایج و بحث

سنگ‌شناسی

سازند آقچاگیل در برش زیرسطحی مورد مطالعه با ضخامت ۷۳ متر در بالای سازند چلکن و در زیر سازند آپشرون قرار می‌گیرد (شکل ۳). مرز زیرین سازند آقچاگیل با سازند چلکن با ظهور یک رخساره کنگلومرایی که نشان‌دهنده ناپیوستگی فرسایشی است مشخص می‌شود و مرز بالایی آن با سازند آپشرون با یک افق آهکی متراکم و سفید مشخص می‌شود (شکل ۳). سازند آقچاگیل در ناحیه مورد مطالعه به طور کلی متشکل از سنگ‌آهک، ماسه‌سنگ و میان لایه‌های مادستون قهوه‌ای - خاکستری است. این سازند در برش مورد مطالعه به دو واحد ماسه‌سنگ زیرین به ضخامت ۵۵ متر و سنگ‌آهک بالایی به ضخامت ۱۸ متر تقسیم می‌شود. این سازند با یک کنگلومرای خاکستری تا خاکستری روشن و ماسه‌سنگ چرتی خاکستری تا سبز شروع می‌شود که در ادامه توسط مادستون/رس سنگ سبز زیتونی تا قهوه‌ای و ماسه‌سنگ دانه‌ریز سفید تا خاکستری روشن متشکل از دانه‌های فلدسپار، کوارتز تک‌بلورین، میکا، خرده‌های مادستون و دوکفه‌ای جانشین می‌شود. جورشدگی ماسه‌سنگ‌ها متوسط تا ضعیف و دانه‌ها از نیمه‌زاویه‌دار تا گرد شده در تغییر است. پتروفالسیس ماسه‌سنگ‌ها شامل لیت‌آرنایت تا ساب‌لیت‌آرنایت و لیت‌آرنایت فلدسپات‌دار است (شکل ۴ الف-پ). میان لایه‌های پراکنده از رسوبات تبخیری در این بخش وجود دارد. واحد کربناته بالایی متشکل از سنگ‌آهک بایوکلاستیک و اییدی (ماسه‌ای) با میان لایه‌های مارن خاکستری فسیل‌دار ماسه‌ای (شامل دوکفه‌ای، گاستروپود و استراکود) است (شکل‌های ۴ ث و ج و ۵). مطالعات پتروگرافی نشان‌دهنده وجود مقادیر قابل توجه تخلخل (تا ۵۵ درصد) به ویژه در رسوبات کربناته و به میزان کمتر در رسوبات مادستون به فرم‌های حفره‌ای، قالبی، فنسترال و شکستگی است (شکل‌های ۴ و ۵). ویژگی‌های سنگ‌شناسی ذکر شده در سازند آقچاگیل در ناحیه دشت گرگان که نشان‌دهنده فراوانی رخساره‌های دانه‌پشتیبان (آواری و کربناته) و توسعه قابل توجه تخلخل در این سازند است، تفاوت آشکار ویژگی‌های سنگ‌شناسی و رسوب‌شناسی این سازند در بخش ایرانی حوضه خزر با معادل‌های آن در نواحی آذربایجان و ترکمنستان را مشخص می‌کند. بطوریکه سازند آقچاگیل در نواحی ذکر

شده عمدتاً متشکل از شیل و مارن است (عبدلایف و همکاران، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵). چنین ویژگی‌هایی این سازند را به عنوان یک توالی مستعد سنگ مخزن مطرح می‌نماید و از اینرو ضرورت انجام مطالعات ناحیه‌ای زمین‌شناسی و اکتشافی بر روی این توالی را نشان می‌دهد.

سازند آپشرون در ناحیه مورد مطالعه با ضخامت ۴۸۸ متر بر روی سازند آقچاگیل قرار گرفته و توسط رسوبات سازند باکو پوشیده می‌شود (شکل ۳). مرز بالایی سازند آپشرون با سازند باکو با ظهور یک افق ماسه‌سنگ اییدی مشخص می‌شود. سازند آپشرون در ناحیه مورد مطالعه غالباً شامل مادستون/مارن یا رس سنگ با میان لایه‌های ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک است. این سازند نیز به دو واحد ماسه‌سنگ زیرین به ضخامت ۱۴۵ متر و مادستون بالایی به ضخامت ۳۴۳ متر تقسیم می‌شود (شکل ۳). این سازند در ناحیه مورد مطالعه با ماسه‌سنگ خاکستری تا قهوه‌ای متشکل از دانه‌های چرت و خرده‌های پراکنده استراکود شروع می‌شود و با تناوب ماسه‌سنگ دانه‌ریز تا متوسط خاکستری روشن و مادستون/رس سنگ سبز زیتونی - ارغوانی و میان لایه‌های سنگ‌آهک سفید تا خاکستری ادامه می‌یابد (تا حدود ۷۰ متری از ابتدای سازند). در ادامه، توالی شامل تناوب میکروکنگلومرا، ماسه‌سنگ دانه متوسط تا درشت خاکستری و مادستون/رس سنگ خاکستری با میان لایه‌های پراکنده از سنگ‌آهک نازک لایه است (حدود ۷۰ تا ۱۵۰ متر) (شکل ۳). پتروفالسیس ماسه‌سنگ‌ها در این بخش از نوع لیت‌آرنایت تا لیت‌آرنایت فلسپات‌دار و متشکل از خرده‌های کربناته، چرت، فلدسپات، کوارتز تک‌بلورین تا چندبلورین، پیریت، خرده‌های دوکفه‌ای، ایید و استراکود است. دانه‌های آواری دارای جورشدگی متوسط و از نیمه گرد شده تا زاویه‌دار در تغییر هستند. رسوبات کنگلومرایی از نوع پاراکنگلومرای پلی‌میکتیت متشکل از خرده‌های کربناته و چرت و به میزان کمتر خرده‌های ماسه‌سنگ و مادستون است. در بخش میانی سازند آپشرون در ناحیه مورد مطالعه رسوبات مادستون ارغوانی تا سبز زیتونی با میان لایه‌های ماسه‌سنگ دانه‌ریز، سنگ‌آهک بایوکلاستیک و اییدی و رسوبات تبخیری نازک لایه وجود دارد. در بخش بالایی سازند نیز رسوبات دانه‌ریز مادستون یا مارن غالب هستند اگر چه بر میزان میان لایه‌های ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک افزوده شده و یک لایه نازک پیت نیز در این بخش شناسایی شده است (شکل ۳).



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی از رخساره‌های سازند آقچاگیل در ناحیه مورد مطالعه. الف) پتروفاسیس لیت آرنایت که غالباً از دانه‌های کربناته (ca) و به میزان کمتر کوارتزهای تک‌بلورین (q)، چرت (ch) و فلسپات (f) تشکیل شده است (عمق ۱۴۳۰ متر)، ب) تخلخل حفره‌ای (فلش) در پتروفاسیس لیت آرنایت، با توجه به شکل‌پذیری دانه‌های کربناته در فرایند فشردگی تخلخل اولیه حفظ نشده است (عمق ۱۴۳۳ متر)، پ) پتروفاسیس ساب‌لیت آرنایت یا جورشدگی ضعیف و دانه‌های عمدتاً نیمه‌گرد شده تا زاویه‌دار متشکل از کوارتز تک بلورین (q)، چرت (ch)، دانه‌های کربناته (ca) در یک زمینه سیمان کلسیتی (عمق ۱۴۴۰ متر)، ت) رخساره مادستون با تخلخل فراوان حاصل از شکستگی (عمق ۱۴۲۵ متر)، ث و ج) رخساره گرینستون آبیید و پلوییددار با مقادیر قابل‌ملاحظه تخلخل قالبی (فلش) و زمینه سیمان کلسیتی هم‌بعد (eq=equant) (عمق ۱۴۱۸ متر).

ریزدیرینه‌شناسی

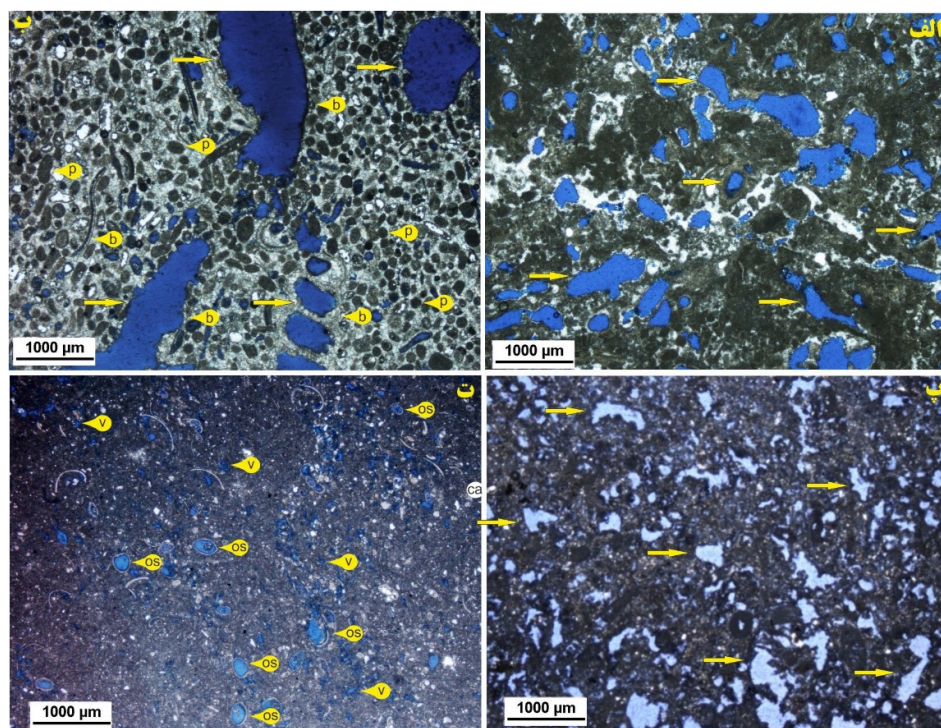
نانوفسیل‌های آهکی، یکی از قدرتمندترین ابزار بیوستراتیگرافی و تعیین سن لایه‌های رسوبی کربناته دریایی به خصوص در اقیانوس‌های باز^۱ به حساب می‌آیند (آگینی و همکاران، ۲۰۱۷). در محیط‌های آواری و سیستم‌های رسوبی نیمه‌باز معمولاً از گروه‌های فسیلی دیگر مانند روزن‌داران پلانکتون، پالینومورف و استراکود

استفاده می‌شود (پرینیان و همکاران، ۱۴۰۰). در مورد حوضه خزر استفاده از استراکود متداول‌تر بوده است (برای مثال یاسینی، ۱۹۸۶؛ بومر و همکاران، ۱۹۹۶، ۲۰۰۵). از آنجایی که گونه‌های مختلف استراکود در محیط‌های مختلف دریایی با شوری آب متفاوت، آب‌های لب‌شور و دریاچه‌ای یافت می‌شوند و با توجه به تاریخچه نیمه دریایی-دریاچه‌ای حوضه خزر، استفاده از

¹ open ocean setting

همچنین می‌تواند به برقراری شرایط نیمه‌دریایی، ارتباط نسبی با آب‌های آزاد و ایجاد شرایط اکولوژیکی مناسب‌تر (مانند گردش آب) برای توسعه و گسترش این مجموعه فسیلی مرتبط باشد. مطالعات نانوفسیل‌های آهکی در رسوبات آواری سنوزوییک در برخی نقاط دنیا برای تعیین سن مفید بوده است (برای مثال مایک و همکاران، ۲۰۰۸) و در مطالعه حاضر برای اولین بار در حوضه خزر جنوبی انجام شده است. بر خلاف رسوبات کربناته دریا‌های باز، در این رسوبات تعیین سن براساس بازه سنی هر یک از گونه‌های نانوفسیلی به تنهایی صورت می‌گیرد. تعیین سن نسبی سازند آق‌چاگیل و قسمت زیرین سازند آپشرون که عمدتاً متشکل از رسوبات آواری هستند، بر اساس بازه سنی جوان‌ترین گونه‌های نانوفسیلی صورت می‌گیرد و زون‌های نانوفسیلی نیز بر همین اساس و نه بر پایه بیوزون‌های استاندارد، تعیین می‌شود (برای مثال مایک و همکاران، ۲۰۰۸).

استراکودها بهترین گزینه است. اگر چه مطالعه گروه فسیلی استراکود نیز در این حوضه با مشکلاتی همراه است (شورینکو، ۲۰۱۱). از جمله این مشکلات می‌توان به منشا متفاوت گونه‌های استراکود، پلی‌مورف‌های متعدد یا درجات مختلف از رشد یک گونه، اشاره کرد که ابهاماتی در شناسایی دقیق استراکود را به همراه دارد. رسوبات مطالعه شده به ویژه در سازند آپشرون به دلیل میزان بالای رسوبات تخریبی و عدم حفظ‌شدگی گونه‌های برج، دارای فسیل‌های بازنهشته شده کرتاسه با فراوانی بالا است، بطوریکه در برخی گروه‌های فسیلی مانند روزن‌داران پلانکتون و استراکود، فقط اجزای فسیلی بازنهشته شده یافت می‌شوند. اما در سازند آق‌چاگیل میزان نمونه‌های برج بالاتر بوده و درجه حفظ‌شدگی نانوفسیل‌ها نیز به مراتب بهتر است. نانوفسیل‌ها بهترین حفظ‌شدگی را به ترتیب در مارن‌ها، مارن‌های آهکی، شیل‌ها و نمونه‌های سیلتی دارند و بعد از آن سنگ‌های کربناته و در آخر ماسه‌سنگ‌ها قرار می‌گیرند. این موضوع

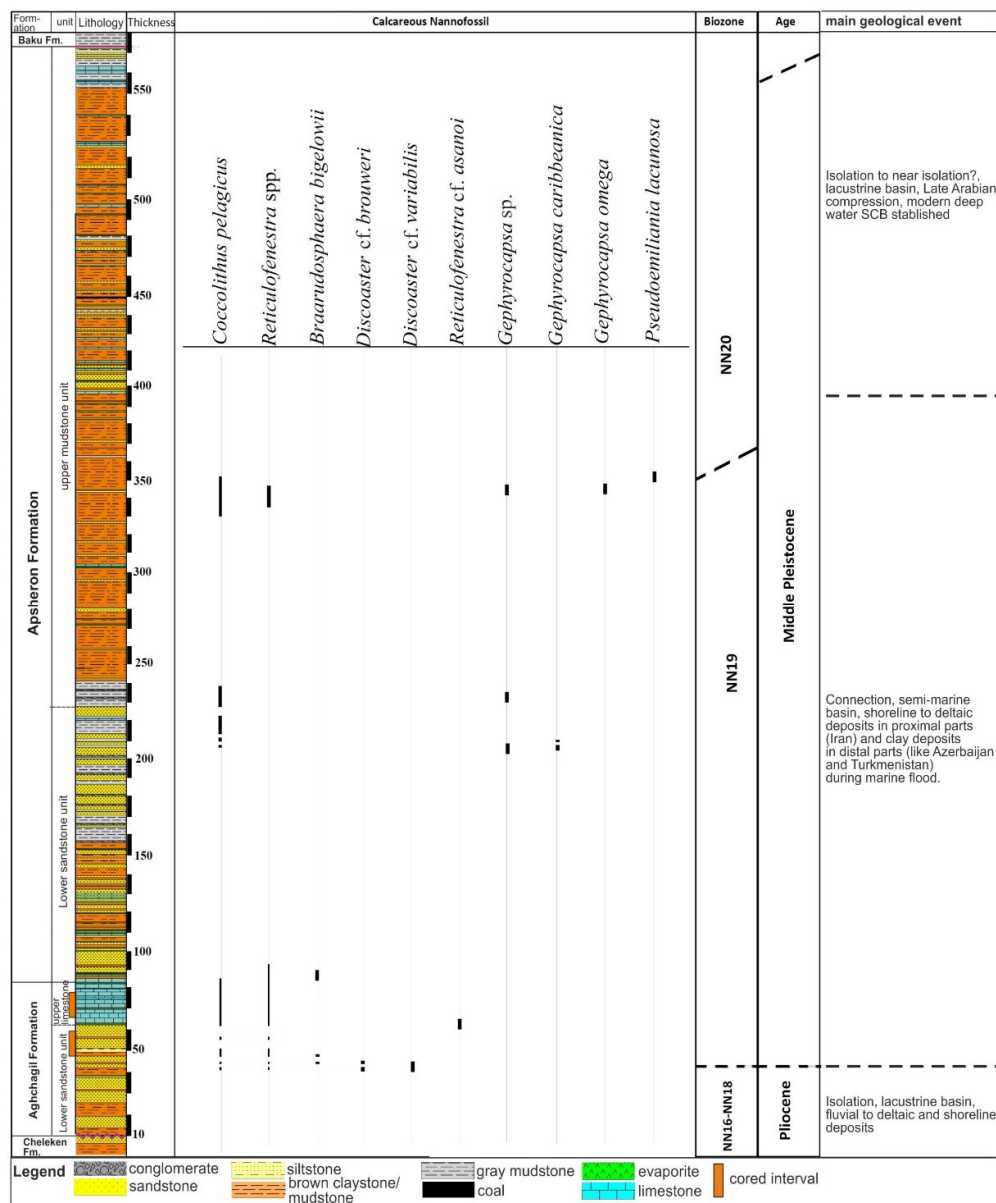


شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی از رخساره‌های سازند آق‌چاگیل در ناحیه مورد مطالعه. الف) رخساره مادستون حاوی تخلخل فنسترال (فلش) (عمق ۱۴۲۴ متر)، ب) رخساره گرینستون بایوکلاست پلوییددار با تخلخل‌های عمدتاً قالبی (فلش) ناشی از انحلال خرده‌های بایوکلاست (b) و پلویید (p) (عمق ۱۴۱۹ متر)، پ) تخلخل فراوان به فرم حفره‌ای (فلش) در رخساره مادستون - وکستون پلوییددار (عمق ۱۴۲۴/۵ متر)، ت) رخساره مادستون - وکستون استراکوددار با مقادیر قابل توجه تخلخل قالبی در درون استراکودها (os) و به میزان کمتر تخلخل حفره‌ای (v) (عمق ۱۴۲۲ متر).

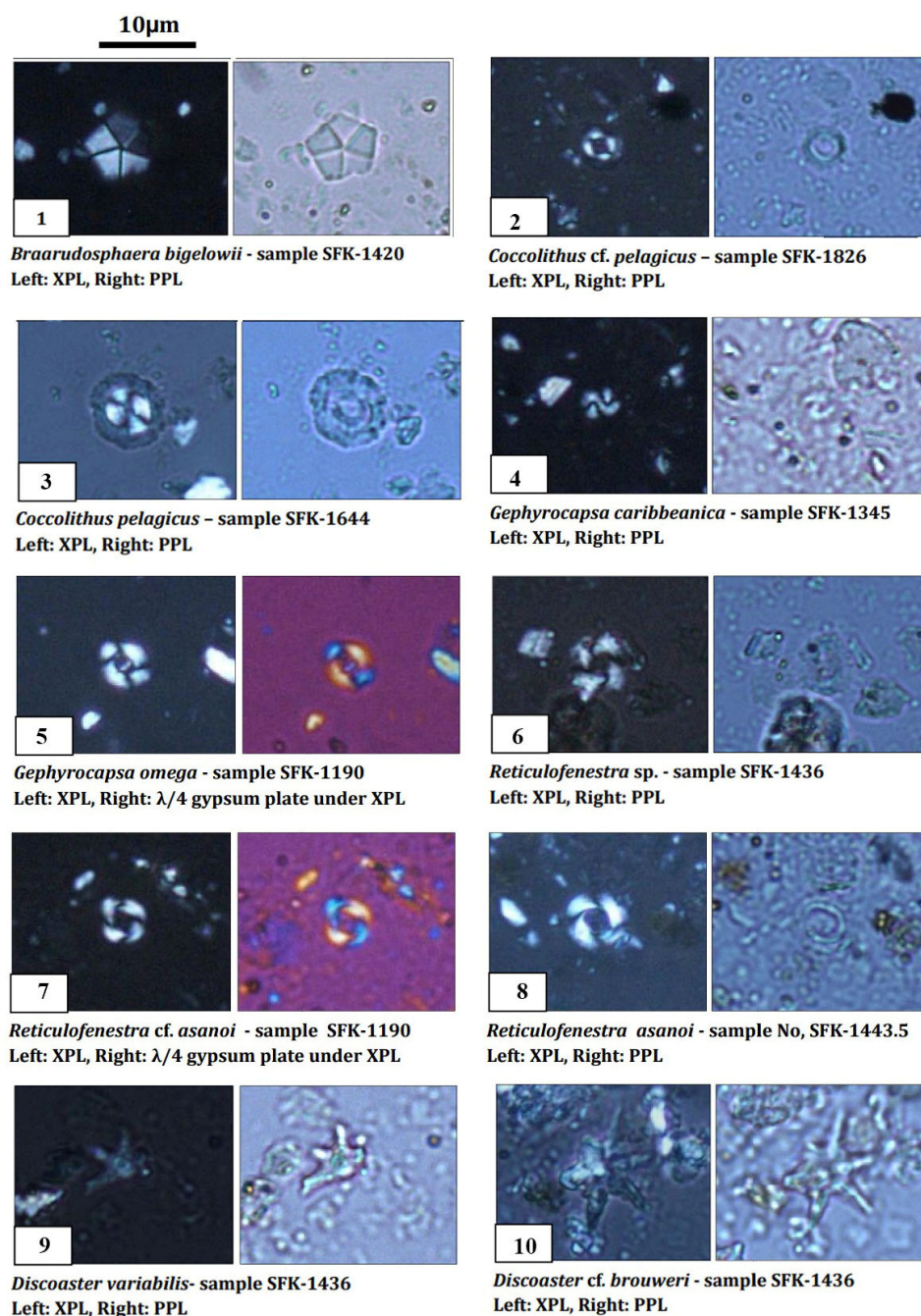
این گونه‌ها برای آخرین بار در این بخش دیده شده و بنابراین مرز بالایی زون NN18 منطبق با آخرین حضور جنس *Discoaster* و پایان پلیوسن (یانگ، ۱۹۹۸؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۷) در این ضخامت قرار داده شده است. از دیگر گونه‌های نانوفسیلی بلند بازه که در این بخش دیده شده‌اند می‌توان به *Reticulofenestra spp.*، *Braarudosphaera* و *Reticulofenestra minuta bigelowii* اشاره کرد (شکل‌های ۶ و ۷).

زون نانوفسیلی NN18 – (?) NN16:

در انتهای سازند چلکن و ابتدای سازند آقچاگیل تنها گونه‌های نانوفسیلی نارجا مشاهده شده است که بیانگر ته‌نشینی رسوبات این بخش در یک سیستم غیردریایی (دریاچه‌ای و دلتایی) است (پوپوف و همکاران، ۲۰۰۴، ۲۰۰۶؛ عبدلایف و همکاران، ۲۰۱۵؛ عبدلایف و لثوری، ۲۰۱۶). در ضخامت ۳۰ متری از سازند آقچاگیل گونه‌های نانوفسیلی *Discoaster* و *Discoaster varriabilis brouweri* مشاهده می‌شود (شکل‌های ۶ و ۷).



شکل ۶. ستون چینه‌شناسی و فراوانی نانوفسیل‌های شناسایی شده در برش مورد مطالعه واقع در دشت گرگان (وقایع تکتونیکی و تفسیر شرایط محیطی / ارتباط بین حوضه‌ها از پوپوف و همکاران، ۲۰۰۶ و این مطالعه).



شکل ۷. تصاویر نانوفسیل‌های آهکی شناسایی شده در توالی مورد مطالعه در ناحیه دشت گرگان

زون نانوفسیلی NN19:

آخرین حضور جنس *Discoaster* در ضخامت ۳۰ متری سازند آقچاگیل، مرز زیرین زون نانوفسیلی NN19 است (شکل ۶). در ضخامت حدود ۵۰ متری از سازند آقچاگیل در برش مورد مطالعه گونه *Reticulofenestra cf. asanoi* مشاهده شده است (شکل‌های ۶ و ۷) که ظهور این گونه در زون NN19 و بازه زمانی پلیستوسن میانی ثبت شده

است (یانگ، ۱۹۹۸). اسفنونلیت‌ها و دیسکواسترها در مرز پلیوسن - پلیستوسن از بین می‌روند (برای مثال پرچ-نلسن، ۱۹۸۵؛ یانگ، ۱۹۹۸) و گروه *Gephyrocapsids* از مهم‌ترین عناصر تشکیل‌دهنده نانوپلانکتون‌های آهکی در طول دوره پلیستوسن در اقیانوس‌های باز و دریاهای نریتیک هستند. این گروه به دلیل فراوانی بالا، گسترش جغرافیایی وسیع و تکامل سریع برای تعیین سن لایه‌های

میکروسکوپ الکترونی صورت می‌گیرد، از اینرو تفکیک دو زون ذکر شده در این مطالعه انجام نشده است. همانگونه که اشاره شد به دلیل منشا عمدتاً آواری رسوبات مطالعه شده در این برش، زون‌های نانوفسیلی مطرح شده در این مطالعه مطابق با تعریف بیوزوناسیون استاندارد برای نانوفسیل‌های آهکی نیست و رسوبات نسبت داده شده به این زون‌ها دربرگیرنده بخشی از آن زون است. این موضوع می‌تواند به دلیل عدم وجود رسوبات دریایی و یا عدم وجود و یا حفظ‌شدگی شواهد نانوفسیلی مناسب، به دلیل شرایط خاص اکولوژی دیرینه رسوبات مورد مطالعه (مانند گردش اندک آب و ارتباط موقتی و دوره‌ای با آب‌های آزاد، نرخ بالای تامین رسوبات آواری، جریان‌های قوی در موقعیت نزدیک به ساحل) باشد. مطالعات گروه‌های فسیلی از جمله نانوفسیل‌های آهکی و تعیین سن نسبی توالی‌های رسوبی آواری بر مبنای آن‌ها به دلیل نبود این گروه فسیلی در رسوبات آواری غیردریایی و یا فراوانی اندک آن‌ها در سیستم‌های دریایی آواری، چندان مرسوم نیست، اما نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که حتی ارتباط دریایی اندک و دوره‌ای با آب‌های آزاد می‌تواند منجر به توسعه و حفظ نانوفسیل‌هایی آهکی در رسوبات آواری نیمه‌دریایی^۱ گردد و از این‌رو در شرایطی که تعیین سن توالی‌های رسوبی بر اساس سایر گروه‌های فسیلی ممکن نیست و یا زون‌بندی یک سن کلی با بازه زمانی طولانی را ارایه می‌دهند، به خوبی می‌توان از نانوفسیل‌ها برای تعیین سن چنین توالی‌های رسوبی استفاده نمود. اگرچه، چنین مطالعاتی به مراتب دشوارتر از مطالعات معمول و روتین بر روی نهشته‌های آهکی تهنشین شده در سیستم‌های دریایی خواهد بود.

جغرافیای دیرینه

بررسی تاریخچه تکامل حوضه خزر جنوبی که به عنوان بخش خاوری حوضه پاراتتیس در ائوسن-الیگوسن شکل گرفته است نشان‌دهنده دوره‌های متعدد محصور و ایزوله شدن و تبدیل به یک حوضه دریاچه‌ای و توسعه یک حوضه نیمه‌دریایی در زمان ارتباط نسبی با آب‌های آزاد می‌باشد. ارتباط و یا عدم ارتباط حوضه خزر که تحت تاثیر تغییرات جهانی سطح آب دریا مانند بحران مسینین و بالاآمدگی ارتفاعات محصور کننده آن (مانند البرز و

رسوبی پلئیسوسن استفاده می‌شود (پرچ-نلسن، ۱۹۸۵؛ یلنگ، ۱۹۹۸). اگرچه اولین ظهور جنس *Gephyrocapsa* در برخی از نقاط جهان از پلیوسن میانی نیز گزارش شده است (سامتلین، ۱۹۸۰) اما این گروه با عنوان غیر رسمی *Small Gephyrocapsa* با طول کمتر از ۳ میکرون مشخص شده‌اند که اصولاً با میکروسکپ‌های نوری قابل تشخیص نیستند (یلنگ، ۱۹۹۸). بنابراین مشاهده گونه‌های بزرگتر از جنس *Gephyrocapsa* دلیلی برای عبور از مرز پلیوسن - پلئیسوسن، تلقی می‌گردد (پرچ-نلسن، ۱۹۸۵). اولین گونه از جنس *Gephyrocapsa* که در ضخامت ۱۱۲ متری سازند آپشرون ثبت شده است، گونه *Gephyrocapsa caribbeanica* است که موید توسعه زون NN19 و بازه زمانی پلئیسوسن میانی است (شکل‌های ۶ و ۷) (بومان و فریتگ، ۲۰۰۴). بر این اساس به نظر می‌رسد که شواهد نانوفسیلی مبنی بر وجود پلئیسوسن آغازی در ابتدای سازند آپشرون وجود ندارد. این امر می‌تواند به دلیل عدم وجود رسوبات دریایی در بخش زیرین سازند آپشرون تفسیر گردد. تا ضخامت ۲۶۲ متری از سازند آپشرون گونه‌های متعددی از *Gephyrocapsa* spp. و همچنین *Gephyrocapsa* که موید زون NN19 و بازه زمانی پلئیسوسن میانی است (مایرورانو و مارینو، ۲۰۰۴)، مشاهده شده است. گونه‌های نانوفسیلی بلند بازه همراه در این بخش شامل *Coccolithus pelagicus* و *Reticulofenestra* spp. است (شکل‌های ۶ و ۷).

زون نانوفسیلی NN20:

در ضخامت ۲۶۲ متری سازند آپشرون آخرین گونه نانوفسیلی مشاهده شده در برش مورد مطالعه، گونه *Pseudoemiliania lacunosa* است که یکی از شاخصه‌های زونی است که تا انتهای زون نانوفسیلی NN19 ثبت گردیده است (یلنگ، ۱۹۹۸). بخش باقی‌مانده سازند آپشرون تا شروع سازند باکو در برش مورد مطالعه به عنوان زون NN20 در نظر گرفته شده است (شکل ۷). با توجه به اینکه شناسایی گونه شاخص نانوفسیلی *Emiliana huxleyi* که مبنای تفکیک زون‌های NN20 و NN21 در رسوبات اقیانوس‌های باز یا دریاچه‌ای نریتیک است، با میکروسکپ نوری امکان‌پذیر نبوده و تنها با

¹ semi-marine

قفقاز در جنوب و جنوب‌باختری و کپه داغ در خاور) در اثر حرکت همگرای صفحات آفریقا-عربی و اوراسیا بوده است، منجر به ایجاد شرایط خاص اکولوژیکی و تهنشینی رسوبات ویژه شده است (آلن و همکاران، ۲۰۰۳؛ برون و همکاران، ۲۰۰۳؛ پوپوف و همکاران، ۲۰۰۴؛ عبدلایف، ۲۰۱۰؛ عبدلایف و لثوری، ۲۰۱۶). بطوریکه دوره‌های قطع ارتباط با آب‌های آزاد مانند انتهای میوسن و پلیوسن منجر به کاهش شدید گردش آب در این حوضه و تهنشینی رسوبات غنی از مواد آلی و مستعد سنگ‌منشا شده است (هیندز و همکاران، ۲۰۰۴؛ وینسنت و همکاران، ۲۰۱۰؛ عبدلایف، ۲۰۱۰). در دوره‌های افزایش ارتباط با آب‌های آزاد که منطبق با بالا آمدن جهانی سطح آب دریا بوده است یک حوضه نیمه‌دریایی در این بخش از حوضه پاراتتیس شکل گرفته است (پوپوف و همکاران، ۲۰۰۴؛ عبدلایف، ۲۰۱۰). بازسازی جغرافیای دیرینه در این حوضه نیازمند وجود اطلاعات رسوب‌شناسی و دیرینه‌شناسی دقیق و جامع از بخش‌های مختلف آن است، بطوریکه این اطلاعات جهت مطالعات تاریخیچه رسوبی-تکتونیکی و ارزیابی‌های صنعتی مانند اکتشاف هیدروکربن مورد استفاده قرار میگیرند.

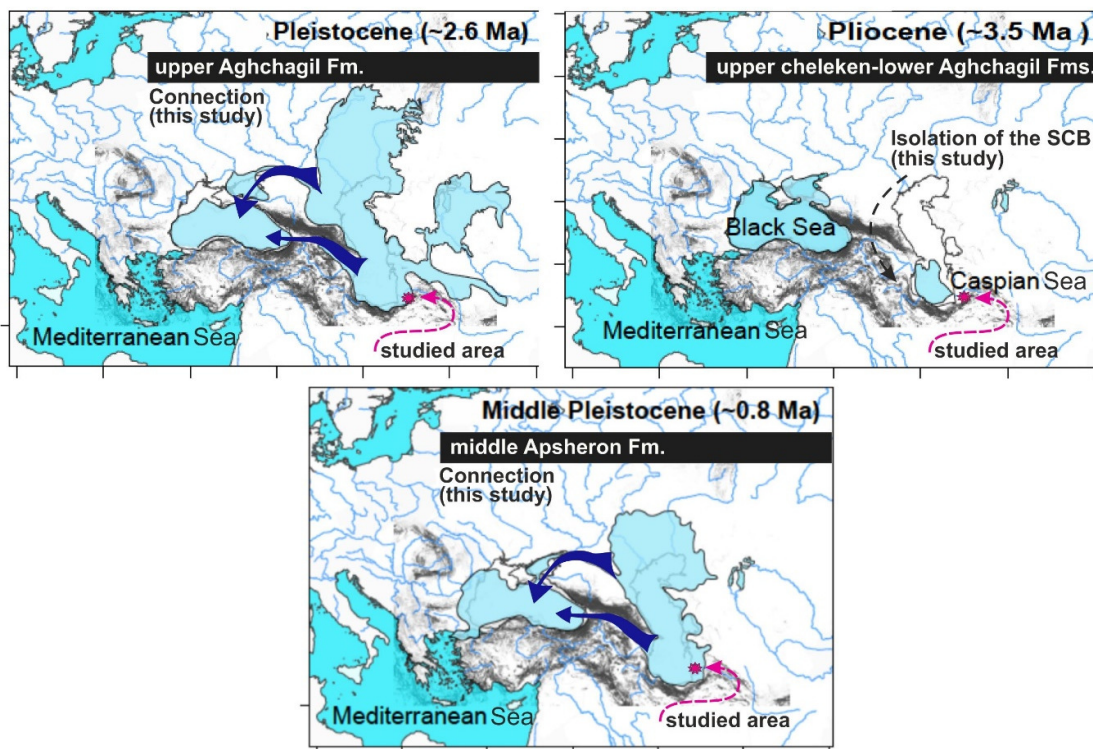
بر اساس یافته‌های نانوفسیلی متعلق به زمان پلیستوسن آغازی در میانه سازند آقچاگیل (ضخامت ۳۰ متری از ابتدای سازند) و زمان پلیستوسن میانی دربرگیرنده بخش میانی سازند آپشرون (ضخامت ۱۱۲ متری) و از آنجایی که محیط زیست نانوپلانکتون‌های آهکی محیط‌های دریایی هستند (باون، ۱۹۹۸)، به نظر می‌رسد حوضه رسوبی خزر جنوبی در این بازه‌های زمانی، کاملاً بسته نبوده و با حوضه‌های رسوبی مجاور و دریاهای باز از جمله دریای سیاه و مدیترانه در ارتباط بوده است. نتایج به دست آمده در این مطالعه منطبق با داده‌های بدست آمده از سایر نقاط حوضه پاراتتیس است که بیانگر ارتباط بین دریای سیاه و خزر در ابتدای پلیستوسن و پلیستوسن میانی است (شکل ۸) (برای مثال پوپوف و همکاران، ۲۰۰۶؛ ون‌باک و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعات بسیار کمی بر روی نانوفسیل‌های آهکی نئوژن در حوضه‌های خزر، دریای سیاه و مدیترانه صورت گرفته است. این امر احتمالاً به این دلیل بوده است که با توجه به ترکیب آواری اکثر نهشته‌ها در این بازه زمانی، تصور بر

این است که این گروه فسیلی کمکی به تعیین سن لایه‌ها در این بازه زمانی نمی‌کرده‌اند (کریژمان و همکاران، ۲۰۲۰). مطالعه حاضر که برای اولین بار در حوضه خزر جنوبی صورت گرفته است، از این جهت اهمیت ویژه‌ای دارد که اصولاً نمونه‌های رسوبات آواری برای مطالعات نانوفسیل‌های آهکی مناسب تلقی نشده و با این پیش فرض، آماده‌سازی و مطالعه نمی‌شود. در این شرایط، در صورت وجود نانوفسیل‌ها در توالی‌های رسوبی آواری که در این مطالعه اهمیت آن‌ها اثبات و مستدل شده است، هیچگاه به نتایج بلقوه استفاده از این گروه فسیلی مثلاً برای بازسازی جغرافیای دیرینه و یا انطباق ناحیه‌ای توالی‌های رسوبی که از مطالعه این گروه فسیلی ممکن است به دست می‌آید، دسترسی حاصل نمی‌شود. در مطالعه انجام شده با ثبت نانوفسیل‌های دریایی مربوط به ابتدای پلیستوسن، اولین حضور گونه *Reticulofenestra asanoi* cf. را پس از آخرین حضور گونه‌های *Discoaster brouweri* و *Discoaster variabilis* نشانه‌ای از ارتباط دریای خزر با دریاهای باز در این برهه از زمان، ارایه می‌نماید. مطالعات صورت گرفته بر مبنای ایزوتوپ استرانسیم در حوضه خزر نشان‌دهنده یک افزایش ناگهانی در مقادیر این ایزوتوپ در حدود ۲/۷ میلیون سال پیش است که این افزایش به تامین اضافی ایزوتوپ رادیوژنیک استرانسیم توسط اقیانوس‌های آزاد و دلیلی بر وجود ارتباط حوضه‌های خزر و دریای سیاه با آب‌های آزاد تفسیر شده است (ون‌باک و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین بررسی میزان ایزوتوپ‌های اکسیژن در حوضه دریای سیاه نشان‌دهنده تغییر قابل توجه در میزان این ایزوتوپ (ثبت مقادیر سبک‌تر) در این بازه زمانی است و این شواهد به عنوان دلیلی برای ارتباط بین حوضه دریای سیاه و مدیترانه و همچنین ورود جریان‌های اضافی از دریای خزر به درون دریای سیاه حداقل در شش بازه زمانی کوتاه مدت در پلیستوسن میانی تفسیر شده است (بدرسچر و همکاران، ۲۰۱۱). بطوریکه کاهش مشهود ایزوتوپ اکسیژن در دریای سیاه در این زمان، موید ورود آب شیرین دریای خزر به داخل دریای سیاه و از طریق باریکه قفقاز میانی و یا تنگه ارس^۲ است (پوپوف و همکاران، ۲۰۰۴؛ عبدلایف، ۲۰۱۰). در این مطالعه ثبت گونه‌های نانوفسیلی *Gephyrocapsa spp.* *Gephyrocapsa*

² Araks strait

آقچاگیل) و پلئیسستوسن آغازی که منطبق با تهنشینی رسوبات واحد ماسه‌سنگ زیرین در ابتدای سازند آپشرون است، احتمالاً می‌تواند نشان‌دهنده قطع ارتباط بین حوضه خزر و دریای سیاه و آب‌های آزاد باشد که برای اولین بار در این مطالعه پیشنهاد می‌شود (شکل ۸).

Gephyrocapsa asanoi و *caribbeanica* برای اولین بار در بخش ایرانی حوضه خزر جنوبی، بر وجود این ارتباط در این بازه زمانی صحنه می‌گذارد. همچنین عدم وجود نانوفسیل‌ها در بازه زمانی انتهای پلیوسن (منطبق با تهنشینی بخش ابتدایی واحد ماسه‌سنگ زیرین سازند



شکل ۸. نقشه جغرافیای دیرینه حوضه‌های پارانتیس و مدیترانه که نشان‌دهنده وجود ارتباط بین خاور پارانتیس (شامل حوضه خزر و دریای سیاه) با حوضه مدیترانه در زمان پلئیسستوسن پایینی و پلئیسستوسن میانی و قطع این ارتباط در زمان پلیوسن است. عدم وجود مجموعه‌های نانوفسیلی و سایر فونای دریایی در بخش انتهایی سازند چلکن و واحد ماسه‌سنگ زیرین سازند آقچاگیل در ناحیه مورد مطالعه موید جدایش و عدم ارتباط بین حوضه‌های خزر و دریای سیاه و آب‌های آزاد در بخش عمده زمان پلیوسن است. مجدداً در زمان پلئیسستوسن از طریق باریکه قفقاز میانی بین قفقاز بزرگ و قفقاز کوچک و شمال قفقاز بزرگ و با تنگه ارس، ارتباط بین حوضه خزر جنوبی و دریای سیاه و حوضه مدیترانه برقرار می‌شود که با وجود مجموعه‌های نانوفسیلی به سن پلئیسستوسن پایینی و میانی به ترتیب در واحد سنگ‌آهک بالایی سازند آقچاگیل و بخش میانی سازند آپشرون تأیید می‌شود (نقشه اولیه اقتباس از پوپوف و همکاران، ۲۰۰۶؛ یانینا، ۲۰۱۲).

تنگه ارس، قفقاز میانی و شمال بلندی‌های قفقاز). بیش‌ترین فراوانی گونه *Gephyrocapsa caribbeanica* در تجمعات فسیلی پلئیسستوسن میانی است (باومن و فریتگ، ۲۰۰۴) و حضور این گونه در بخش میانی سازند آپشرون نشان‌دهنده تأثیر پذیرفتن حوضه خزر جنوبی از روند تغییرات جهانی مرتبط با پلئیسستوسن میانی دارد که در نتیجه برقراری ارتباط با آب‌های آزاد ایجاد شده است. بدیهی است که تکمیل، تأیید و حتی رد این نتایج نیاز به بررسی‌های جامع‌تر توالی‌های رسوبی سازندهای آقچاگیل

یادآور می‌شود که اسلایدهای نانوفسیلی مطالعه شده از نمونه‌های خرده حفاری تهیه شده‌اند و گونه‌های نام برده شده، گونه‌هایی ظریف و کوچک (حدود ۶ میکرون) هستند و در صورتی در زیر میکروسکپ نوری ظاهر می‌شوند که به میزان کافی و با فراوانی بالا در رسوبات موجود باشند. بنابراین به نظر می‌رسد که جریان‌های دریایی در زمان ارتباط حوضه خزر با دریاهای سیاه و مدیترانه چشمگیر بوده و می‌توان بیان داشت که این ارتباط از طریق چند راه ارتباطی ایجاد شده است (مانند

و آپشرون در بخش‌های مختلف حوضه خزر جنوبی به ویژه در بخش‌های مرکزی تر این حوضه دارد چراکه در این بخش‌ها احتمال حفظ‌شدگی نانوفسیل‌ها و سایر گروه‌های فسیلی دریایی به دلیل دور بودن از ناحیه منشا و دانه‌ریزتر بودن رسوبات بیش‌تر است.

نتیجه‌گیری

مطالعات رسوب‌شناسی و فسیل‌شناسی بر اساس نانوفسیل‌های آهکی در یک برش تحت‌الارضی در دشت گرگان واقع در حوضه خزر جنوبی صورت گرفته است. سازند آقچاگیل در ناحیه مورد مطالعه متشکل از واحدهای ماسه‌سنگ پایینی و سنگ‌آهک بالایی است که تفاوت آشکار سنگ‌شناسی این سازند با توالی‌های معادل آن در کشورهای همجوار را آشکار می‌کند. مطالعات سنگ‌شناسی منجر به شناسایی پتروفاسیس ماسه‌سنگی لیت‌آرنایت تا ساب‌لیت‌آرنایت و لیت‌آرنایت فلدسپات‌دار در سازند آقچاگیل و لیت‌آرنایت و لیت‌آرنایت فلدسپات‌دار و رخساره پاراکنگلومرای پلی‌میکتیت در سازند آپشرون همراه با رسوبات دانه‌ریز مادستون و رس‌سنگ گردیده است. رخساره‌های سنگ‌آهک در سازند آقچاگیل در ناحیه مورد مطالعه عمدتاً از نوع سنگ‌آهک فسیل‌دار و ایبیدار و مادستون استراکوددار است که دارای مقادیر قابل توجه تخلخل به فرم‌های قالبی، حفره‌ای و فنسترال است. این ویژگی‌ها بیانگر پتانسیل بالای این سازند برای معرفی به عنوان سنگ مخزن در بخش ایرانی حوضه خزر جنوبی می‌باشد و از این‌رو ضرورت انجام مطالعات اکتشافی بر روی این سازند به ویژه در بخش‌های جنوبی‌تر و نزدیک به منشا این حوضه را مطرح می‌نماید. بر اساس گونه‌های نانوفسیلی شناسایی شده شامل آخرین حضور گونه‌های *Discoaster* و *Discoaster brouweri* و *Reticulofenestra cf. varriabilis* و سپس ثبت گونه *asanoi*، گذر از مرز پلیوسن - پلیستوسن آغازی برای رسوبات سازند آقچاگیل در ناحیه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. همچنین ثبت گونه‌های نانوفسیلی *Gephyrocapsa* spp.، *Gephyrocapsa* در بخش میانی سازند آپشرون، سن پلیستوسن میانی را برای این بخش پیشنهاد می‌کند. الگوی توزیع و گسترش جنس و گونه‌های نانوفسیلی در توالی مطالعه شده سازندهای

آقچاگیل و آپشرون تایید کننده وجود ارتباط حوضه خزر جنوبی با حوضه‌های دریای سیاه و مدیترانه در زمان‌های پلیستوسن پایینی و میانی (با توجه به وجود گونه‌های فسیلی نامبرده شده) و عدم وجود ارتباط در بازه زمانی انتهای پلیوسن - شروع پلیستوسن به دلیل عدم حضور نانوفسیل‌های آهکی در بخش ابتدایی سازند آقچاگیل است، که برای اولین بار در این مطالعه و در بخش ایرانی حوضه خزر جنوبی مطرح می‌گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از داوران محترم نشریه رسوب‌شناسی کاربردی که در جهت ارتقای کیفیت این مقاله، پیشنهادات ارزنده‌ای ارائه نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

- پرنیان، ب.، وحید، ا.، حمزه، س.، محمد، ب. (۱۴۰۰) زیست چینه‌نگاری، رخساره و چینه‌نگاری سکانشی سازند سروک در برش‌های رشتالو و خارتو، فارس نیمه‌ساحلی، زاگرس، ایران. نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۹، جلد ۱۷، ص ۱۴۵-۱۷۱، 10.22084/PSJ.2021.22084.1247.
- یوسفی، ر. (۱۳۹۳) مطالعه مشخصات سنگ‌شناسی و شرایط محیطی سازندهای چلکن، آقچاگیل و آپشرون در میدان نفتی سردار جنگل، خزر جنوبی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. دانشگاه تهران، ۱۲۷ ص.
- Abdullayev, N. A., Kadirov, F., Guliyev, S (2015) Subsidence history and basin-fill evolution in the South Caspian Basin from geophysical mapping, flexural backstripping, forward lithospheric modelling and gravity modelling. In Brunet, M.-F., McCann, T., Sobel, E. R. (eds) Geological Evolution of Central Asian Basins and the Western Tien Shan Range. Geological Society, London, Special Publications, 427. <https://doi.org/10.1144/SP427.5>.
- Abdullayev, E., Leroy, S. A. G (2016) Provenance of clay minerals in the sediments from the Pliocene Productive Series, western South Caspian Basin. Marine and Petroleum Geology, 73: 517-527.
- Abdullayev, Nazim R., Gregory W. Riley, and Andrew P. Bowman (2010) Regional controls on lacustrine sandstone reservoirs: The Pliocene of the South Caspian Basin, in O. W. Baganz, Y. Bartov, K. Bohacs, and D. Nummendal, eds., Lacustrine sandstone reservoirs and hydrocarbon systems. AAPG Memoir, 95: 1-28.
- Abrams, M. A., Narimanov, A. A (1997) Geochemical evaluation of hydrocarbons and their potential sources in the western South

- from the Caspian Sea: a unique brackish, deep-water environment. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 225 (1-4): 173-186.
- Brunet, M.-F., Korotaev, M. V., Ershov, A. V., and Nikishin, A. M (2003) The South Caspian Basin: A review of its evolution from subsidence modelling: *Sedimentary Geology*, 156: 119-148.
- Chi, G., P. S. Giles, M. A. Williamson, D. Lavoie, R. Bertrand (2003) Diagenetic history and porosity evolution of Upper Carboniferous sandstones from the Spring Valley #1 well, Maritimes Basin, Canada-implications for reservoir development. *Journal of Geochemical Exploration*, 80: 171-191.
- Folk, R. L (1980) *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hamphill, Austin, Texas, 182 p.
- Hearty, P. J., Kindler, P., Cheng, H., Edwards, R. L (1999) A+20m middle Pleistocene sea highstand (Bermuda and the Bahamas) due 375-378.
- Hinds, D. J. E. Aliyeva, M. B. Allen, C. E. Davies, S. B. Kroonenberg, M. D. Simmons, and S. J. Vincent (2004) Sedimentation in a discharge dominated fluvial-lacustrine system: The Neogene Productive Series of the South Caspian Basin, Azerbaijan: *Marine and Petroleum Geology*, 21: 613-638.
- Krijgsman, W., Palcu, D.V., Andreetto, F., Stoica, M., Mandic, O (2020) Changing seas in the late Miocene Northern Aegean: A Paratethyan approach to Mediterranean basin evolution. *Earth-Science Reviews*, 210: 103386.
- Krijgsman, W., Stoica, M., Vasiliev, I., Popov, V.V (2010) Rise and fall of the paratethys sea during the messinian salinity crisis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 290: 183-191.
- Maiorano, P. & Marino, M (2004) Calcareous nannofossil bioevents and environmental control on temporal and spatial patterns at the early-middle Pleistocene. *Marine Micropaleontology*, 53: 405-422.
- Mikes, T. and Báldi-Beke, M. and Kázmér, M. and Dunkl, I. and Eynatten, H. von (2008) Calcareous nannofossil age constraints on Miocene flysch sedimentation in the Outer Dinarides (Slovenia, Croatia, Bosnia-Herzegovina and Montenegro). *Geological Society, London, Special Publications*, 298 (1): 335-363.
- Martini, E (1971) Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation, in *Proceedings of the Second Planktonic Conference Roma 1970*, (ed. A. Farinacci), Edizioni Tecnoscienza, Rome, 2: 739-785.
- Perch-Nielsen, K (1985) Cenozoic calcareous nannofossils. In Bolli, H. M., Saunders, J.B., and Perch-Nielsen, K. (Eds.), *Plankton Caspian depression, Azerbaijan Republic. Marine and Petroleum Geology*, 14: 451-468.
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monie', P., Meyer, B., Wortel, R (2011) Zagros orogeny: a subduction- dominated process. *Geology Magazine*, 148(5-6): 692-725.
- Agnini, C., Monechi, S., Raffi, I (2017) Calcareous nannofossil biostratigraphy: historical background and application in Cenozoic chronostratigraphy. *Lethaia*, 50(3): 447-463.
- Allen, M. B., Vincent, S. J., Alsop, G. I., Ismail-Zadeh, A., and Flecker, R (2003) Late Cenozoic deformation in the South Caspian region: Effects of a rigid basement block within a collision zone. *Tectonophysics*, 366: 223-239.
- Badertscher, S., Fleitmann, D., Cheng, H.; Edwards, R.L., Göktürk, O.M., Zumbühl, A., Leuenberger, M., Tüysüz, O (2011) Pleistocene water intrusions from the mediterranean and caspian seas into the black sea. *Nature Geoscience* 4: 236-239.
- Ballato, P., Cifelli, F., Heidarzadeh, Gh., Ghassemi, M. R., Wickert, A. D., Hassanzadeh, J., Dupont-Nivet, G., Ph., Balling, Sudo, M., Zeilinger, G., Schmitt, A.k., Mattei, m., and Strecker, m.r (2011) Tectono-sedimentary evolution of the northern Iranian Plateau: insights from middle-late Miocene foreland-basin deposits. *Basin Research*, 29(4): 1-30.
- Baumann, K. -H. & Freitag, T (2004) Pleistocene fluctuations in the northern Benguela Current system as revealed by coccolith assemblages. In, Villa, G., Lees, J. A. & Bown, P. R. (eds) *Calcareous Nannofossil Palaeoecology and Palaeoenographic Reconstructions*, *Proceedings of the INA9 conference, Parma 2002. Marine Micropaleontology*. 52(1-4): 195-215.
- Bergen, J. A., de Kaenel, E., Blair, S. A., Boesiger, T. M. & Browning, E (2017) Oligocene-Pliocene taxonomy and stratigraphy of the genus *Sphenolithus* in the circum North Atlantic Basin: Gulf of Mexico and ODP Leg 154. *Journal of Nannoplankton Research*, 37(2-3): 77-112.
- Bown, P. R (1998) *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. British Micropalaeontological Society Publications Series. Chapman & Hall, London, 315p.
- Bown, P. R (2016) Palaeocene calcareous nannofossils from Tanzania (TDP sites 19, 27 and 38). *Journal of Nannoplankton Research*, 36 (1): 1-32.
- Boomer, I., Whatley, R., Aladin, N. V (1996) Aral Sea Ostracoda as environmental indicators. *Lethaia*, 29 (1): 77-85.
- Boomer, I., von Grafenstein, U., Guichard, F., Bieda, S (2005) Modern and Holocene sublittoral ostracod assemblages (Crustacea)

- crisis". In: *Earth-Science Reviews*, 172: 193–223.
- Vincent, S., Allen, M., Ismail-Zadeh, A., Flecker, R., Foland, K., Simmons, M (2005) Insights from the Talysh of Azerbaijan into the Paleogene Evolution of the South Caspian Region. *Geological Society of America Bulletin*, 117: 1513-1533.
- Vincent, S. J., Davies, C.E., Richards, K., Aliyeva, E (2010) Contrasting pliocene fluvial depositional systems within the rapidly subsiding south caspian basin; a case study of the Palaeo-Volga and palaeo-kura river systems in the Surakhany suite, upper productive series, onshore Azerbaijan. *Mar. Pet. Geol.*, 27: 2079-2106.
- Yanina, T. A (2012) "Correlation of the Late Pleistocene paleogeographical events of the Caspian Sea and Russian Plain". In: *Quaternary International*, 271: 120–129.
- Yasini, I (1986) Ecology, Paleocology, and stratigraphy of ostracodes from Late Pliocene and Quaternary deposits of the South Caspian Sea region in northern Iran. *International Symposium on Shallow Tethys 2*, Wagga, 475–497.
- Young, J. R (1998) Neogene. In Bown, P. R. (Ed.), *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. British Micropalaeontological Society Publications Series. Chapman & Hall, London, 225-265.
- Young, J. R., Bown P. R., Lees, J. A (2017) Nannotax3 website. International Nannoplankton Association. Accessed 21 Apr. 2017. URL.
- stratigraphy: Cambridge (Camdridge Univ. Press), 427-554.
- Popov, S. V., Antipov, M. P., Zastrozhnov, A. S., Kurina, E. E., Pinchuk. T. N (2010) Sea level Fluctuations on the Northern Shelf of the Eastern Paratethys in the Oligocene–Neogene. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 18: 200–224.
- Popov, S. V., Ilyina, L.B., Paramonova, N. P., Goncharova, I. A (2004) Lithologicalpaleogeographic maps of Paratethys. *Cour. Forsch.Inst. Senckenb.*, 250: 1–46.
- Popov, S. V., I. G. Shcherba, L. B. Ilyina, L. A. Nevesskaya, N. P. Paramonova, S. O. Khondkarian, and I. Magyar (2006) "Late Miocene to Pliocene palaeogeography of the Paratethys and itsrelation to the Mediterranean". In: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 238: 91–106.
- Raffi, I., Agnini, C., Backman, J., Catanzariti, R., Pälke, H (2016) A Cenozoic calcareous nannofossil biozonation from low and middle latitudes: A synthesis. *Journal of Nannoplankton Research*, 36 (2): 121–13.
- Reed, J. S., Eriksson, K. A., Kowalewski, M (2005) Climatic, depositional and burial controls on diagenesis of Appalachian Carboniferous sandstones: qualitative and quantitative methods. *Sedimentary Geology*, 176: 225–246.
- Rezaeian, M., Carter, A., Hovius, N., and Allen, M.B (2012) Cenozoic exhumation history of the Alborz Mountains, Iran: New constraints from low-temperature chronometry. *Tectonics*, 31: TC2004.
- Roth, P. H (1983) Jurassic and Lower Cretaceous Calcareous Nannofossils in the Western North Atlantic (Site 534): Biostratigraphy, Preservation, and Some Observations on Biogeography and Paleoceanography. In: Sheridan, R.E., Gradstein, F.M., et al. (Eds.), *Initial Reports of the deep sea Drilling Project*. 76: 587-621.
- Schornikov, E. I (2011) Problems of studying Ostracoda of the Caspian basin. *Joannea Geol. Paläont.*, 11: 177-179
- Scotese, C. R (2016) "PALEOMAP PaleoAtlas for GPlates and the PaleoData Plotter Program, PALEOMAP Project". In: See <http://www.earthbyte.org/paleomap-paleoatlas-for-gplates>. 10.13140/RG.2.2.34367.00166.
- Terry, R. D., Chilingar, G. V (1955) Summary of "Concerning some additional aids in studying sedimentary formations," by M. S. Shvetsov: *Journal of Sedimentary Research*, 25: 229-234.
- van Baak, C. G. C., W. Krijgsman, I. Magyar, O. Sztanó, L. A. Golovina, A. Grothe, T. M. Hoyle, O. Mandic, I. S. Patina, S. V. Popov, E. P. Radionova, M. Stoica, and I. Vasiliev (2017) "Paratethysresponse to the Messinian salinity