

سنگ‌چینه‌نگاری و زیست‌چینه‌نگاری سازند چلکن بر اساس نانوپلانکتون‌های آهکی در دشت گرگان (حوضه خزر جنوبی)

محمود شرفی^۱، نسیم موسوی^۲، مه‌رمان مرادپور^۳، بیژن بیرانوند^۴، ابراهیم عبدالهی^۵ و حسین مهاجر سلطانی^۶

^۱ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران

^۲ دکترا، گروه زمین‌شناسی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

^۳ دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

^۴ استادیار، گروه زمین‌شناسی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

^۵ دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۶ کارشناسی ارشد، شرکت نفت خزر، تهران، ایران

چکیده

بر اساس مطالعات سنگ‌شناسی، سازند چلکن در ناحیه دشت گرگان در برش مورد مطالعه به دو واحد ماسه‌سنگ پایین و مادستون بالایی تقسیم شده است. مطالعات سنگ‌نگاری بیان‌گر ترکیب لیت‌آرنایت (کالک‌آرنایت) و ساب‌لیت‌آرنایت با بلوغ بافتی و ترکیبی پایین برای ماسه‌سنگ‌ها است. نهشته‌های کنگلومرا نیز در این سازند در برش مورد مطالعه از نوع ارتوکنگلومرای پلی‌میکتیت و متشکل از خرده‌های متنوع کربنات و چرت تعیین شده است. وجود تخلخل قابل توجه به فرم‌های حفره‌ای، کانالی و شکستگی در نهشته‌های ماسه‌سنگ و کنگلومرا و حتی گل‌سنگ استعداد بالای این رسوبات را به عنوان سنگ مخزن نشان داده و ضرورت انجام مطالعات اکتشافی در بخش ایرانی خزر جنوبی را مطرح می‌نماید. بر اساس جوان‌ترین نانوفسیل‌های یافت شده در سازند چلکن، سن نسبی این سازند در ناحیه مورد مطالعه انتهای میوسن تا پلیوسن میانی (؟) تعیین شده است. گسترش نانوفسیل‌های آهکی نشان‌دهنده وجود ارتباط بین حوضه خزر جنوبی با دریای سیاه و حوضه مدیترانه در انتهای میوسن - ابتدای پلیوسن و ابتدای پلیستوسن و عدم ارتباط در بخش عمده دوره پلیوسن است که برای اولین بار در این مطالعه مطرح می‌شود.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:

سازند چلکن

حوضه خزر جنوبی

مخزن

تخلخل

نانوپلانکتون‌های آهکی

۱- پیش‌نوشتار

با ادامه همگرایی صفحات آفریقا و اوراسیا حوضه خزر از دریای سیاه جدا شده و یک حوضه محصور در شمال ایران ایجاد می‌شود (Vincent et al., 2010). به طور کلی ارتباط حوضه خزر جنوبی و حوضه پاراتیس 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 منشأ هیدروکربن در حوضه شده است (Popov et al., 2004). یکی از این توالی‌ها که تحت عنوان رخساره‌های میکوپ (maykopian facies) نامیده می‌شود، عمدتاً متشکل از رسوبات رسی و حاوی مقادیر فراوان مواد آلی و پیریت است که به عنوان سنگ منشأ هیدروکربن در حوضه خزر جنوبی شناخته شده است (Popov et al., 2004). علاوه بر وجود رسوبات سنگ منشأ هیدروکربن در حوضه خزر جنوبی، وجود مقادیر قابل توجهی نفت و گاز در لایه‌های ماسه‌سنگی سازند

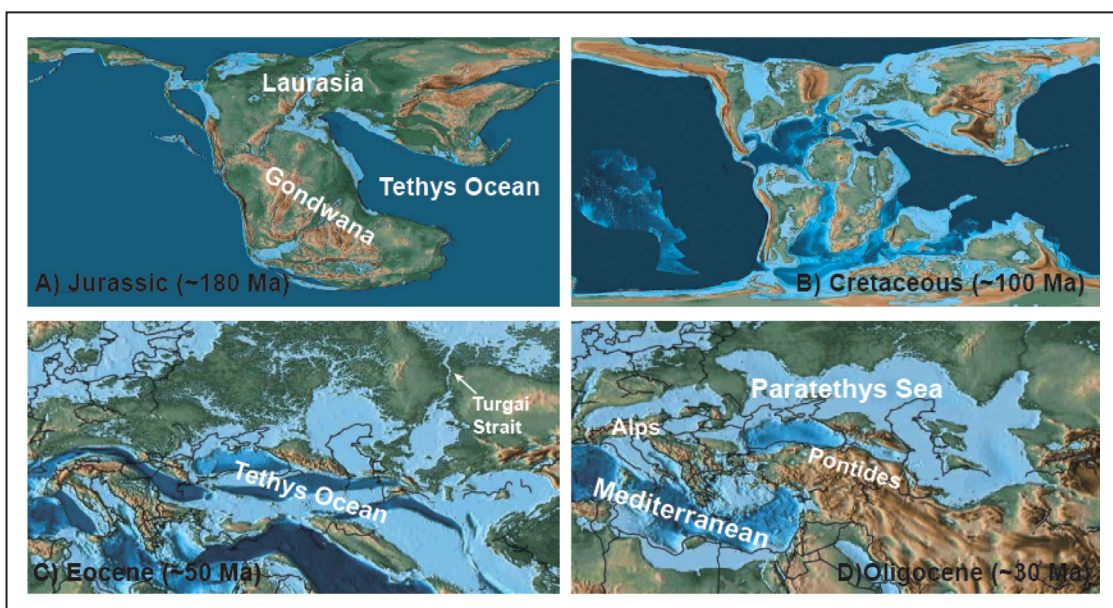
دریای خزر به عنوان بزرگترین دریاچه جهان با وسعت تقریبی ۳۷۵۰۰۰ کیلومتر مربع واقع در مرکز اوراسیا و در شمال ایران یکی از قدیمی‌ترین ایالت‌های هیدروکربنی در جهان است، به طوری که استخراج نفت و گاز از این حوضه به مدت بیش از ۱۵۰ سال در آذربایجان ادامه دارد (Abrams and Narimanov, 1997). در ایران نیز مطالعات زمین‌شناسی به صورت پراکنده و بسیار محدود از جنبه‌های ریزدیرینه‌شناسی، چینه‌نگاری و ارزیابی پتانسیل هیدروکربن در حوضه خزر جنوبی صورت پذیرفته است که از آن جمله می‌توان به یوسفی (۱۳۹۴) اشاره نمود. تا زمان اوسن حوضه خزر بخشی از اقیانوس نئوتیس بوده که بین صفحات آسیا-اروپا، هند و آفریقا-عربی قرار داشته است. حرکات زمین‌ساختی در زمان اوسن-الگوسن موجب جدایش بخش‌هایی از اقیانوس نئوتیس و ایجاد حوضه پاراتیس می‌گردد، به طوری که حوضه خزر و دریای سیاه در بخش خاوری این حوضه قرار داشته است (Krijgsman et al., 2010). در زمان میوسن بالایی و

(Krijgsman et al., 2010). 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 بالا آمدگی سریع رشته کوه های قفقاز بزرگ شکل گرفته است (شکل ۱) (Allen et al., 2003; Agard et al., 2011). این حوضه به صورت‌های مختلف از حوضه دریایی محدود تا لب‌شور و منطبق با افزایش یا کاهش ارتباط با آب‌های آزاد، وجود داشته است (Brunet et al., 2003; Popov et al., 2006; Ballato et al., 2011). حداکثر نرخ فرونشینی در حوضه خزر جنوبی در زمان پلیوسن اتفاق می‌افتد به طوری که بیش از ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر رسوب در این بازه زمانی در این حوضه ته‌نشین شده است (Brunet et al., 2003). عقیده بر این است که با ادامه همگرایی بین صفحات و منطبق با بالا آمدن ارتفاعات کپه داغ در خاور و البرز، تالش، قفقاز در جنوب و جنوب غرب، 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) (Popov et al., 2004, 2006; Rezaeian et al., 2012; Abdullayev and Leroy, 2016) چنین به نظر می‌رسد که رسوبگذاری در این حوضه رسوبی از زمان کالوین (ژوراسیک میانی) آغاز شده باشد. در این ارتباط، ستبرای رسوبات به سن مزوزویک در حوضه خزر جنوبی کمتر از ۵ کیلومتر و ستبرای رسوبات مربوط به زمان الیگوسن و جوان‌تر حدود ۱۵ کیلومتر است (Brunet et al., 2003; Vincent et al., 2005; Abdullayev et al., 2015). سازند چلکن از نظر سنگ‌شناسی به دو بخش زیرین و بالایی قابل تقسیم است که در بخش زیرین از تناوب گل‌سنگ، ماسه‌سنگ و کنگلومرا و در بخش بالایی از مادستون، سیلتستون و ماسه‌سنگ تشکیل شده است. این سازند معادل بخشی از رسوبات سری قهوه‌ای (Brown Bed Series) است که در برخی مناطق در بخش زیرین دارای لایه‌های آهک آرزلی است. محدوده در برگیرنده برش زیر سطحی مورد مطالعه (۵۱° ۵۳' - ۵۶° ۰۴' خاوری و ۲۴° ۳۶' - ۳۶° ۰۵' شمالی)، در دشت گرگان و در بین دریای خزر در غرب، دامنه شمالی البرز در جنوب و جنوب خاوری و کمربند چین‌خورده کپه‌داغ در سمت خاور و حوضه ترکمنستان در شمال واقع شده است (شکل ۲). مرز زیرین و بالایی سازند چلکن به ترتیب با نهشته‌های معادل سازند زیوه (الیگوسن - میوسن زیرین) و آچاگیل (پلیوسن بالایی) با وجود لایه‌های کنگلومرای مشخص می‌شود که نشان‌دهنده وجود ناپیوستگی فرسایشی در بالا و پایین این سازند است.

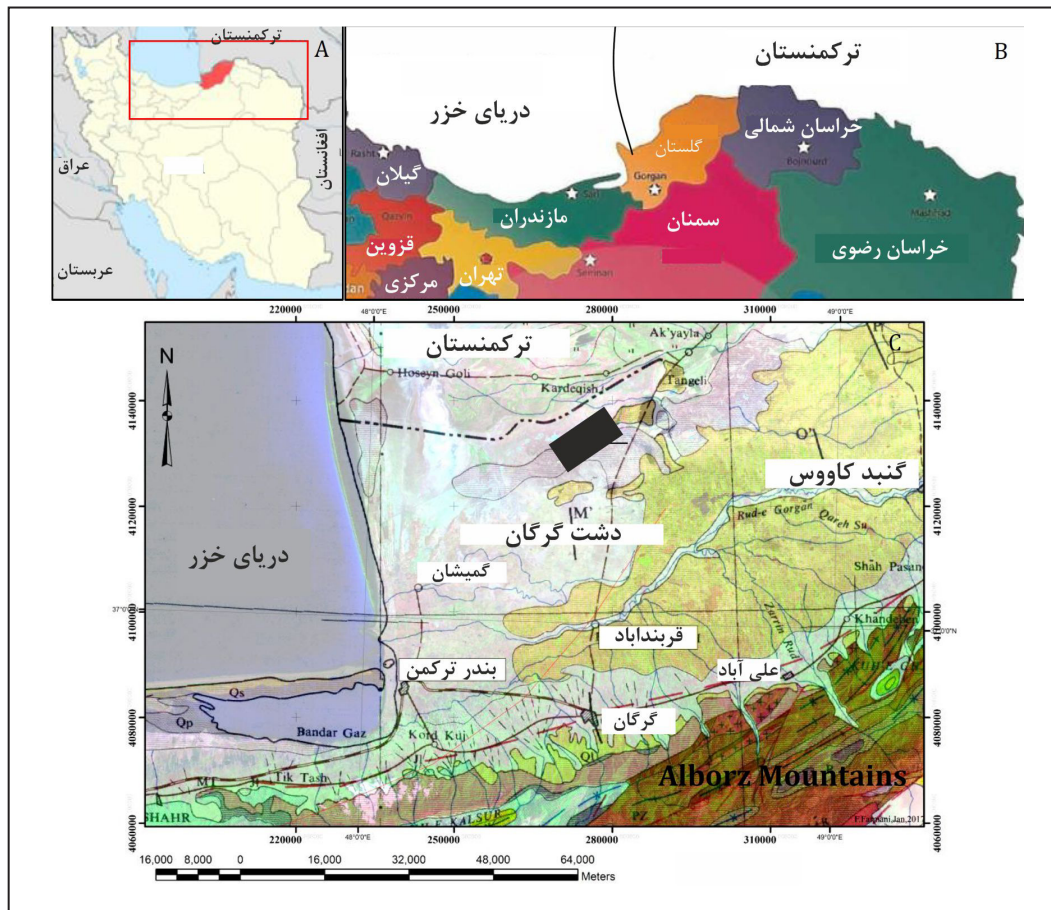
چلکن (معادل سری‌های تولیدی یا productive series) به سن میوسن - پلیوسن سبب شده تا این سازند از نظر اقتصادی حائز اهمیت ویژه بوده، به طوری که در کشورهای آذربایجان و ترکمنستان مطالعات متعددی بر روی ویژگی‌های سنگ‌شناسی و محیط رسوبی این توالی صورت گرفته است (برای مثال Hinds et al., 2004; Vincent et al., 2010; Abdullayev et al., 2010; Abdullayev and Leroy, 2016). در ایران اما مطالعات صورت گرفته بر روی رسوبات حوضه خزر جنوبی بسیار محدود و قدیمی بوده و علیرغم اهمیت بالای این حوضه داده‌های کافی در مورد این رسوبات و به ویژه رسوبات سازند چلکن وجود ندارد. از دلایل مطالعات اندک بر روی رسوبات حوضه خزر جنوبی در ایران می‌توان به وجود پوشش گیاهی در بخش‌های حاشیه خزر و اولویت نداشتن مطالعات اکتشافی در این ناحیه نسبت به حوضه‌های شناخته شده تر مانند حوضه زاگرس اشاره کرد. شناسایی و ارزیابی این رسوبات به ویژه از نظر رسوب‌شناسی و ریزدیرینه‌شناسی با توجه به سنگ مخزن بودن این رسوبات و به جهت انطباق سازند چلکن با توالی‌های معادل در کشورهای همجوار از جمله آذربایجان و ترکمنستان از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. به دلیل رخنمون‌های کم و دسترسی محدود به خرده‌های حفاری در چاه‌های حفر شده، تاکنون مطالعات محدودی بر روی ویژگی‌های رسوبی و دیرینه‌شناسی سازند چلکن انجام شده است. همچنین با توجه به ماهیت آواری این نهشته‌ها امکان تعیین سن نسبی دقیق، به‌ویژه با روزن‌داران پلانکتون و استراکود، بسیار مشکل و در عمل نشدنی است. بنابراین در این مطالعه تلاش شده است تا با بهره‌گیری از نانوپلانکتون‌های آهکی، سن نسبی سازند چلکن در یکی از چاه‌های حفاری شده در دشت گرگان، واقع در حوضه خزر جنوبی، تعیین شود.

۲- موقعیت زمین‌شناسی و جغرافیایی

همگرایی و برخورد صفحات عربی و اوراسیا در ائوسن بالایی منجر به بسته شدن تدریجی حوضه اقیانوسی نئوتتیس شده است (Brunet et al., 2003). باقیمانده‌های این حوضه شامل حوضه‌های پاراتتیس و مدیترانه به طور متناوب با یکدیگر و آب‌های آزاد ارتباط داشته و بدین ترتیب رسوبات متفاوت و متنوعی در زمان‌های ایزوله شدن و ارتباط آزاد با اقیانوس‌ها، در این حوضه‌ها برجای گذاشته شده است. حوضه‌های مدیترانه و پاراتتیس در زمان بحران شوری مسینین (MSC) و به دنبال سقوط سطح آب دریا در پاراتتیس به میزان ۵۰-۱۰۰ متر از یکدیگر جدا می‌گردند



شکل ۱- نقشه جغرافیای دیرینه حوضه تتیس در بازه زمانی ژوراسیک 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).



شکل ۲- A و B) تقسیم‌بندی کلی بخش شمال و شمال خاور ایران که دربرگیرنده ناحیه دشت گرگان است؛ C) محدوده و موقعیت جغرافیایی برش زیرسطحی مورد مطالعه در ناحیه دشت گرگان (مستطیل تیره).

۳- روش مطالعه

مطالعه رسوب‌شناسی سازند چلکن بر روی خرده‌های حفاری و با استفاده از شستشوی نمونه‌ها بر روی یک سری ۶ عددی الک و با روش مطالعه سنگ‌شناسی استاندارد صورت گرفته است. از توالی مغزه‌گیری شده این نهشته‌ها نیز پس از توصیف ماکروسکوپی، مقطع نازک تهیه شد و از نظر سنگ‌شناسی مورد ارزیابی قرار گرفته است. تعداد ۶۷ مقطع نازک و ۱۱۵ نمونه خرده حفاری جهت ارزیابی ویژگی‌های سنگ‌شناسی سازند چلکن در ناحیه مورد مطالعه، بررسی شده است. ماسه‌سنگ‌ها بر اساس طبقه‌بندی فولک (Folk, 1980) نامگذاری شده‌اند. تخمین میزان اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات (به عنوان مثال برای تعیین پتروفاسیس ماسه‌سنگ‌ها) با استفاده از جدول‌های مقایسه‌ای موجود صورت گرفته است (Terry and Chilingar, 1955). تعداد ۲۰ نمونه جهت شناسایی ریزتخلخل‌ها در نمونه‌های مادستون و ماسه سنگ و مواد آلی در رسوبات دانه ریز (مادستون) توسط میکروسکوپ الکترونی نوع Vega-Tescan در مؤسسه رازی تهران مورد تصویربرداری و آنالیز SEM-EDX قرار گرفته است. نمونه‌ها برای مطالعات بیوستراتیگرافی نانوفسیل‌های آهکی، به روش اسمیر (Smear Slide technique) (Young, 1998; Bown, 1998, 2016) آماده‌سازی شده و اسلایدها با میکروسکوپ نوری Nikon LV100 Pol و بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر در آزمایشگاه چینه‌شناسی پژوهشگاه صنعت نفت مورد مطالعه قرار گرفت. حفظ‌شدگی نانوفسیل‌ها در این سازند ضعیف تا خیلی ضعیف (poor to very poor) بوده است. نانوفسیل‌های آهکی از نظر فراوانی به سه رده کمیاب (۱ گونه در بیشتر از ۵۰ میدان دید)، اندک (۱ گونه در ۲ تا ۵۰ میدان دید) و معمول (۱ تا ۱۰ گونه در هر میدان دید)، تقسیم می‌شوند. به دلیل تعداد بالای گونه‌های حمل شده

نابرجا و به منظور مشاهده گونه‌های ظریف برجا، هر اسلاید حداقل به مدت ۳۰ دقیقه مطالعه گردید. در نمونه‌های آواری تعداد بالای نمونه‌های نانوفسیلی (با توجه به احتمال بالای وجود نمونه‌های حمل شده) در نمونه، لزوماً سن لایه را مشخص نمی‌کند. نمونه‌های فسیلی حمل شده همچنین مانعی برای مشاهده نمونه‌های برجا است که ظریف و شکننده هستند. در این حالت می‌بایست هر اسلاید حداقل به مدت نیم ساعت در زیر میکروسکوپ مطالعه شود تا حد امکان نمونه‌های ظریف که جدیدتر و نشان‌دهنده سن واقعی لایه رسوبی هستند و در سنگ‌های آواری معمولاً با فراوانی بسیار پایین دیده می‌شوند، شناسایی شوند. برای مطالعات تاکسونومی، بر اساس الگوهای ارائه شده توسط مارتینی (Martini, 1971)، پرک- نیلسن (Perch-Nielsen, 1985) و باون (Bown, 1998) عمل شده است.

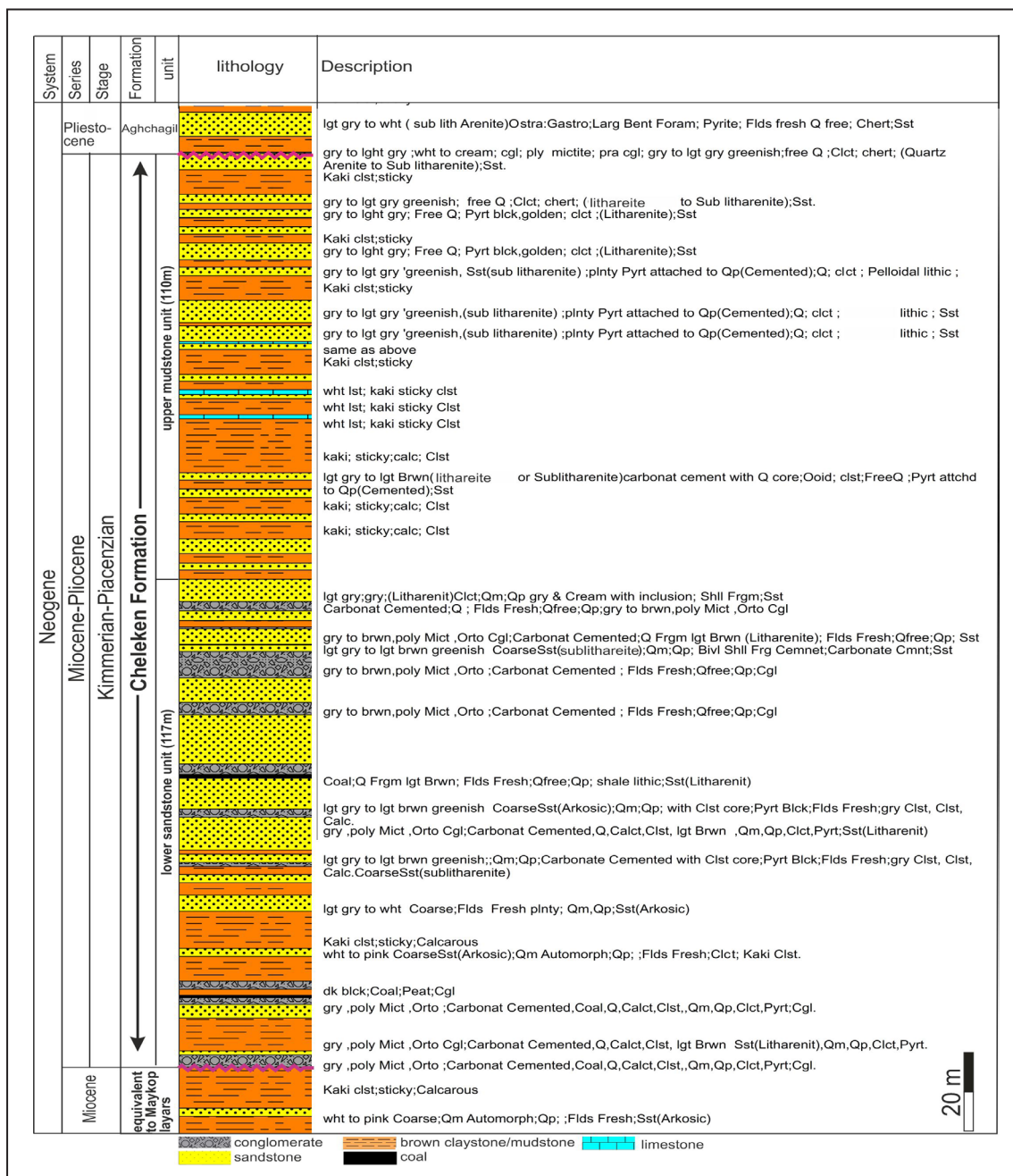
۴- نتایج و بحث

۴-۱. سنگ‌شناسی

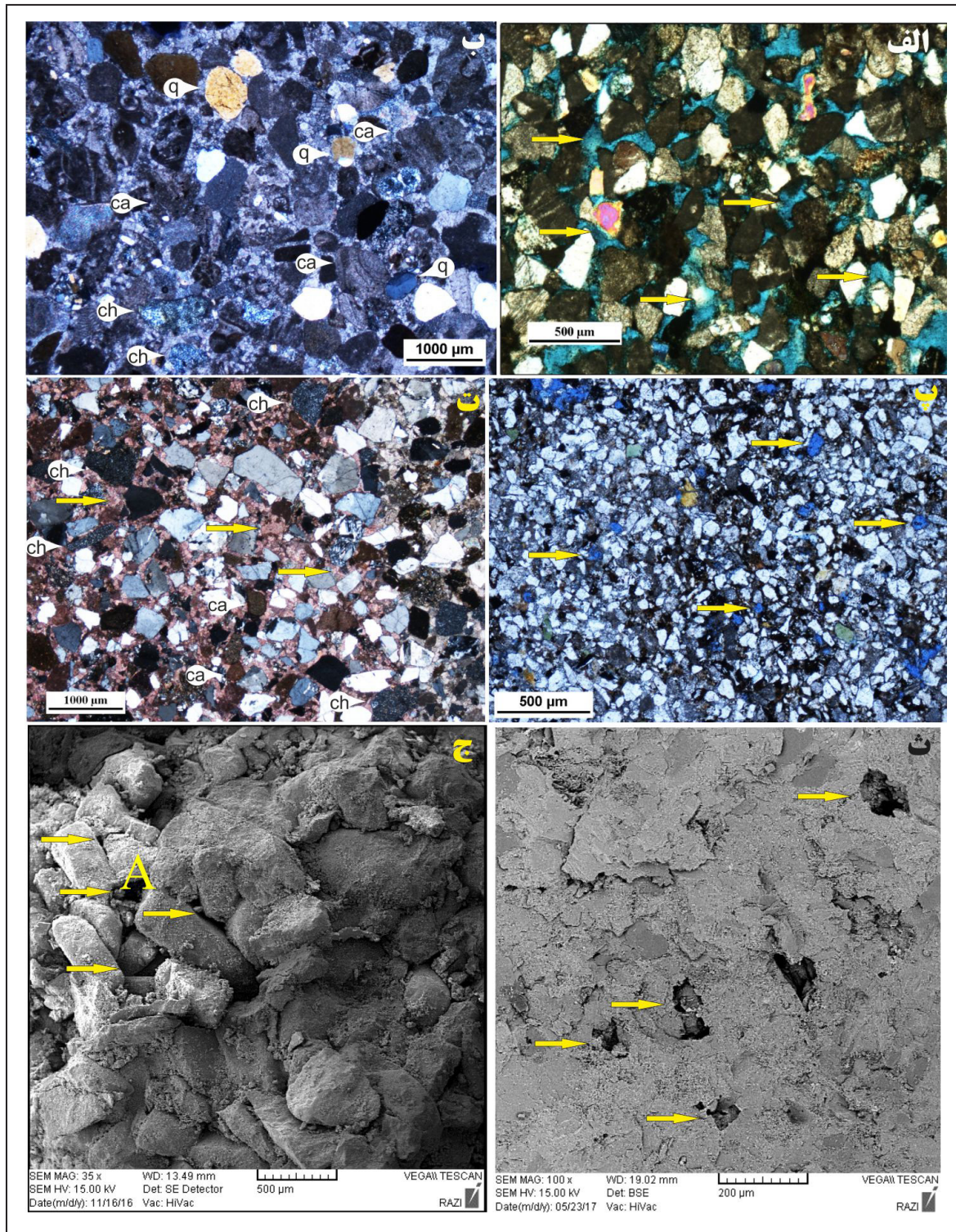
سازند چلکن با ستبرای ۲۲۷ متر در برش مورد مطالعه به دو واحد ماسه‌سنگی زیرین به ضخامت ۱۱۷ متر و مادستون بالایی به ستبرای ۱۱۰ متر تقسیم می‌شود (شکل ۳). واحد ماسه‌سنگی زیرین با سه متر کنگلومرای خاکستری و ماسه‌سنگ چرتی دانه ریز تا متوسط خاکستری روشن شروع شده و با تناوب ماسه‌سنگ و کنگلومرا و میان‌لایه‌های مارن و رس‌سنگ ادامه می‌یابد. به صورت پراکنده میان‌لایه‌های نازک ذغال در این واحد مشاهده شده است. واحد مادستون بالایی به ترتیب از پایین به بالا شامل مارن و رس سنگ ستر با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ،

تغییر می‌کنند. ماسه‌سنگ‌ها به طور کلی از نظر بلوغ بافتی، نیمه‌رسیده تا نابالغ (sub- to im-mature) و بلوغ ترکیبی پایین دارند (شکل ۴- الف، ت). رسوبات دانه درشت کنگلومرا از نوع ارتوکنگلومرای پلی‌میکتیت متشکل از خرده‌های کربناته با ترکیب مختلف، چرت، ماسه‌سنگ و گاه خرده‌های آتشفشانی است (شکل ۵- ب و پ). ترکیب زمینه کنگلومراها از ماسه‌سنگ دانه ریز تا خیلی درشت عمدتاً متشکل از خرده‌های کربناته و چرت و با فراوانی پایین کوارتزهای تک بلورین و چند بلورین، گل‌سنگ و پیریت به همراه سیمان کلسیتی است. در رسوبات کنگلومرا و ماسه‌سنگ عمدتاً مقادیر بالای تخلخل به فرم‌های بین‌دانه‌ای، حفره‌ای، کانالی، شکستگی و در موارد اندک قالبی مشاهده می‌شود (شکل‌های ۴- الف، پ، ث، ج و ۵- الف، پ). رسوبات مادستون نیز دارای مقادیر اندک تخلخل عمدتاً به صورت شکستگی و قالبی و ریزتخلخل مرتبط با کانی‌های رسی هستند (شکل ۶- ب).

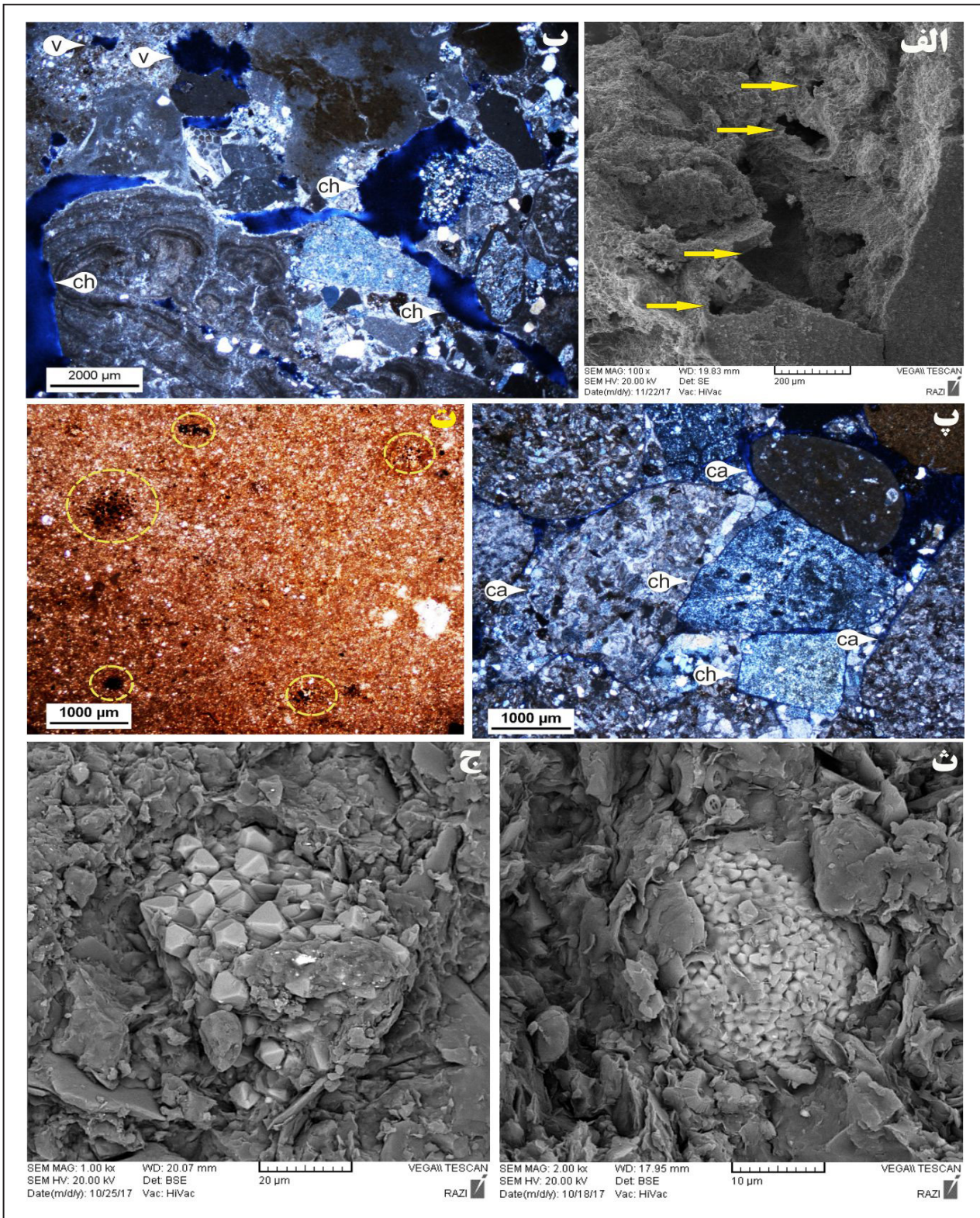
تناوب ماسه‌سنگ و مارن و در انتها مادستون ستر با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ دانه‌ریز است. میان‌لایه‌های پراکنده از سنگ‌آهک نازک لایه در بخش پایین این واحد وجود دارد. در این برش الگوی مشخص در اندازه دانه از پایین به بالا مشاهده می‌شود، به طوری که در بخش پایین، سازند چلکن عمدتاً متشکل از ماسه‌سنگ‌های دانه ریز تا متوسط و کنگلومرا با میان‌لایه‌های مارن و مادستون است و در بخش بالایی به طور مشخص از میزان ماسه‌سنگ و کنگلومرا کاسته شده و رسوبات عمدتاً از نوع مارن و مادستون با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ دانه‌ریز تا متوسط است. مرز بالایی سازند چلکن در این برش با یک لایه نازک کنگلومرای خاکستری و سپس ماسه‌سنگ چرتی خاکستری تا سبز روشن متعلق به سازند آقیچاگیل مشخص می‌شود. ماسه‌سنگ‌ها در توالی مطالعه شده دانه ریز تا متوسط بوده و در دو گروه لیت‌آرنایت (کالک‌آرنایت) و ساب‌لیت‌آرنایت قرار می‌گیرند (شکل‌های ۴ و ۵). جورشدگی ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً پایین و اجزای تشکیل‌دهنده از زاویه‌دار تا گرد شده



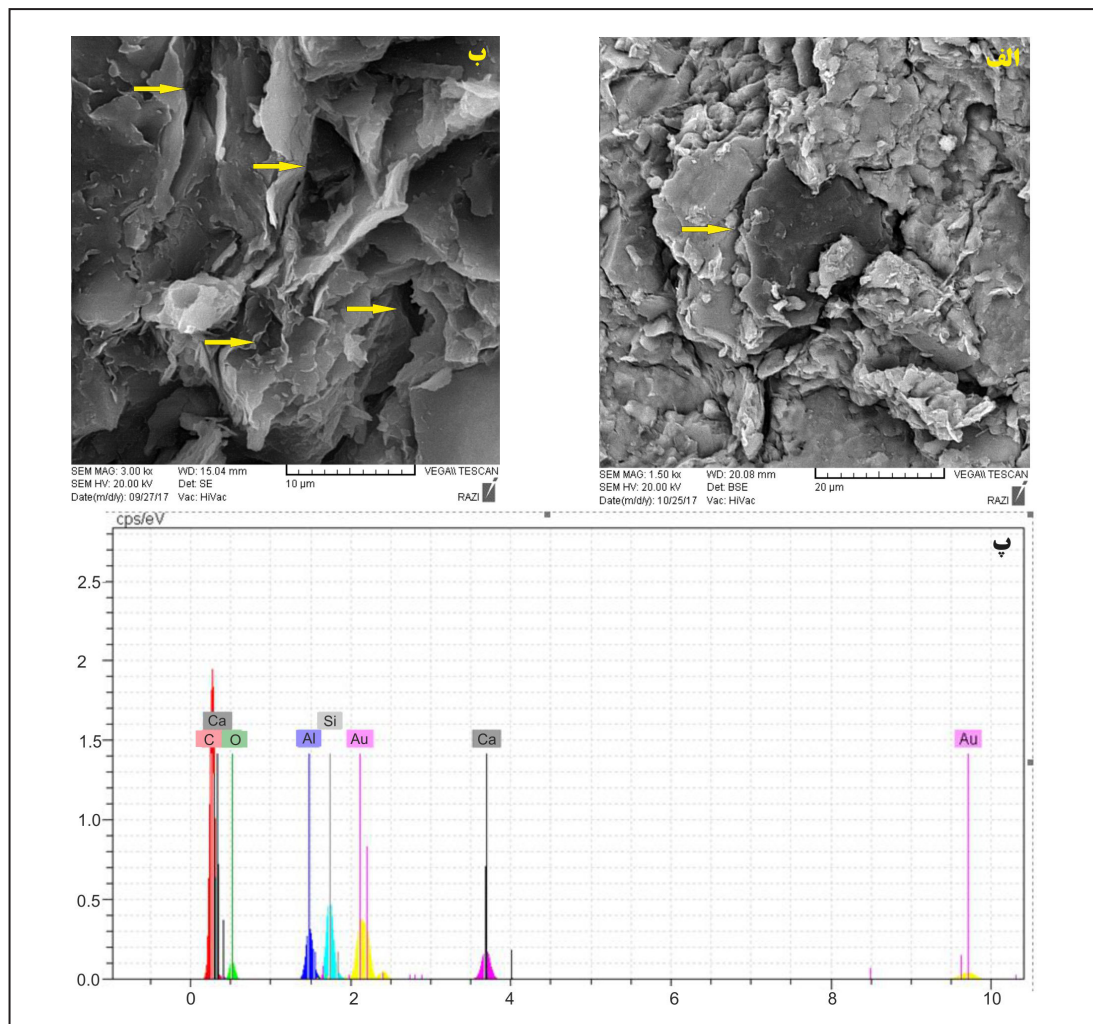
شکل ۳- ستون چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی سازند چلکن در برش زیرسطحی در ناحیه دشت گرگان.



شکل ۴- پتروفاسیس‌های ماسه‌سنگی سازند چلکن در برش مورد مطالعه. الف) پتروفاسیس‌لیت آرنایت (کالک آرنایت) با جورشدگی پایین و تخلخل بین‌دانه‌ای اولیه فراوان مرتبط با یکدیگر (فلش‌ها) که نشان‌دهنده کیفیت مخزنی بالای آن است؛ ب) پتروفاسیس‌لیت آرنایت با جورشدگی پایین که عمدتاً از دانه‌های کربناته (ca) و مقادیر کمتر چرت (ch) و کوارتزهای تک بلورین کاملاً گردشده (q) تشکیل شده است؛ پ) پتروفاسیس‌لیت آرنایت با جورشدگی متوسط و تخلخل پراکنده حفره‌ای (فلش) ناشی از انحلال؛ ت) پتروفاسیس‌لیت آرنایت با جورشدگی پایین که عمدتاً "مشکل" از چرت (ch) و درصد پایین‌تر دانه‌های کربناته (ca) در یک زمینه سیمان کلسیتی (فلش) تشکیل شده است؛ ث) تصویر SEM از نمونه ماسه‌سنگی که در آن تخلخل حفره‌ای ثانویه ناشی از انحلال مشخص شده است (فلش)؛ ج) تصویر SEM از نمونه ماسه‌سنگی با تخلخل بین‌دانه‌ای اولیه (فلش).



شکل ۵- الف) تصویر SEM از تخلخل حفره‌ای ثانویه بزرگ مقیاس در نمونه ماسه‌سنگ؛ ب) پتروفاسیس کنگلومرا پلی‌میکتیت که عمدتاً متشکل از خرده‌های کربناته با ترکیب مختلف و مقادیر کمتر چرت است، در این پتروفاسیس تخلخل کانالی (ch) و حفره‌ای (v) ثانویه ناشی از انحلال توسعه خوبی دارد؛ پ) پتروفاسیس کنگلومرای پلی‌میکتیت متشکل از خرده‌های کربناته با ترکیب مختلف (ca) و چرت (ch) است. گردشگی بالای خرده‌های کربناته به دلیل پایداری فیزیکی اندک آنها در مقابل فرسایش است؛ ت و ث) تصاویر میکروسکوپی و BSE از پیریت‌های خوشه‌ای در رسوبات مارنی؛ ج) تصویر BSE از پیریت‌های کوبیک درشت‌بلور در رسوبات مارنی.



شکل ۶- الف و ب) تصویر BSE و آنالیز EDX از ماده آلی (فلش) در رسوبات مارنی؛ ب) تصویر SEM از ریزتخلخل‌ها در رسوبات مارنی (فلش).

تفسیر با توجه به نزدیک بودن ناحیه منشأ رسوبات به محیط رسوبی سازند چلکن تأیید می‌شود. اگرچه، فرایند رسیدگی مواد آلی موجود در رسوبات دانه‌ریز بعد از تدفین که می‌تواند باعث تولید اسیدهای کربوکسیلیک و CO_2 شود، نیز می‌تواند منجر به انحلال خرده‌های ناپایدار (مانند خرده‌های کربناته و فلدسپار) و ایجاد تخلخل ثانویه شود (Chi et al., 2003; Reed et al., 2005). بررسی سنگ‌نگاری و SEM-EDX در نمونه‌های مادستون سازند چلکن وجود مواد آلی و پیریت‌های خوشه‌ای و مکعبی درشت بلور در این رسوبات را تأیید کرده است (شکل‌های ۵-ت، ج و ۶-الف، پ). وجود پیریت‌های خوشه‌ای و مکعبی درشت بلور در این رسوبات که نشان‌دهنده وجود شرایط احیایی در بستر رسوبی است (شرفی و همکاران، ۱۳۹۸)، شرایط را برای حفظ مواد آلی و توسعه فرآیند رسیدگی تدفینی آنها فراهم آورده است. وجود تخلخل قابل توجه (تا ۳۵ درصد) در نمونه‌های ماسه‌سنگی و کنگلومرای سازند چلکن در برش مورد مطالعه نشان‌دهنده پتانسیل بالای این سازند برای معرفی به عنوان سنگ مخزن در بخش ایرانی حوضه خزر جنوبی است و از این رو ضرورت انجام مطالعات اکتشافی بر روی این سازند به ویژه در بخش‌های جنوبی‌تر و نزدیک به منشأ این حوضه را مطرح می‌نماید.

۴-۲. ریزدیرینه‌شناسی

نانوفسیل‌های آهکی، یکی از قدرتمندترین ابزار بیوستراتیگرافی و تعیین سن لایه‌های رسوبی کربناته دریایی به‌ویژه در اقیانوس‌های باز (open ocean setting)

پتروفاسیس‌های مختلف شناسایی شده در ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراهای سازند چلکن در ناحیه مورد مطالعه از جمله لیت‌آرنایت، آرکوز و ساب‌لیت‌آرنایت متشکل از چرت، خرده‌های کربناته و فلدسپار پلاژیوکلاز نشان‌دهنده وجود سنگ مادرهای (parent rock) متنوع رسوبی و آتشفشانی در ناحیه منشأ در قسمت جنوبی حوضه خزر است. واحدهای آتشفشانی ائوسن (مانند سازند کرج) و بازالت‌های پشاسر که حاوی مقادیر بالای فلدسپارهای پلاژیوکلاز است و به عنوان مهمترین منبع این ذرات در نظر گرفته می‌شود به خوبی در ارتفاعات جنوبی حوضه خزر توسعه دارند، از این رو می‌تواند منشأ این ذرات در نهشته‌های مورد مطالعه باشد. فرسایش بالاآمدگی‌های ایجاد شده در اثر وقایع برخوردی ائوسن- الیگوسن که شامل ارتفاعات کپه‌داغ در خاور و البرز، تالش و قفقاز در جنوب و جنوب باختر است (Popov et al., 2004, 2006; Rezaeian et al., 2012; Abdullayev and Leroy, 2016) منشأ اصلی رسوبات در این حوضه را تشکیل می‌دهند. بلوغ بافتی و ترکیبی پایین این رسوبات نیز نشان‌دهنده فاصله حمل و نقل اندک این رسوبات از منشأ تا محل ته‌نشست نهایی در حوضه خزر جنوبی است. فرسایش پیوسته ارتفاعات و نرخ رسوب‌گذاری بالا و دفن سریع این رسوبات موجب حفظ‌شدگی خرده‌های ناپایدار در این رسوبات شده است به طوری که فرآیندهای رسوبی در محیط ته‌نشینی رسوبات فرصت کافی برای از بین بردن خرده‌های ناپایدار و افزایش بلوغ بافتی و ترکیبی این رسوبات نداشته‌اند. تخلخل بین‌دانه‌ای قابل توجه در این رسوبات نیز احتمالاً به دلیل نفوذ پیوسته آب‌های شیرین اسیدی به درون رسوبات ایجاد شده است که این

بازه نانوفسیلی NN10-NN15 قرار دارد و مرز بالایی آن منطبق با آخرین حضور جنس *Discoaster* است، معادل زون‌های نانوفسیلی NN15-18 و مربوط به پلیوسن (یا بخشی از آن) دانست.

۴-۳. جغرافیای دیرینه

با تصور عدم جوابدهی استفاده از نانوفسیل‌های آهکی نئوژن در تعیین سن لایه‌ها، مطالعات پراکنده‌ای بر روی این گروه فسیلی در حوضه‌های خزر، دریای سیاه و مدیترانه صورت گرفته است (Krijgsman et al., 2020). مطالعه توزیع نانوفسیل‌های آهکی در سازند چلکن در ناحیه دشت گرگان نشان می‌دهد که حوضه رسوبی خزر جنوبی در برهه‌هایی از زمان کاملاً بسته نبوده و با دریاهای باز از جمله دریای سیاه و مدیترانه در ارتباط بوده است. در همین ارتباط، وجود نانوفسیل‌های آهکی در بخش ابتدایی سازند چلکن (حدود ۷۵ متر ابتدای سازند) نشان می‌دهد که در انتهای میوسن-ابتدای پلیوسن، دریای سیاه و خزر با یکدیگر متصل بوده و حوضه پاراتیس را تشکیل می‌داده‌اند (شکل ۱۰) (برای مثال Bown, 1998; Popov et al., 2006; van Baak et al., 2017). وجود این ارتباط در بازه زمانی انتهای میوسن-ابتدای پلیوسن با شناسایی جنس و گونه‌های نانوفسیلی از جمله *Sphenolithus* spp. *Discoaster cf. berlandi*، *Discoaster varriabilis* و *Discoaster brouweri* که در بخش پایین سازند چلکن در برش مورد مطالعه توسعه دارند، برای اولین بار در این پژوهش مورد تأیید قرار می‌گیرد (شکل ۱۰-الف). در دوره پلیوسن حوضه خزر به طور کامل بسته شده و هیچگونه ارتباطی با دریاهای آزاد نداشته است (شکل ۱۰-ب). این عدم ارتباط با دریاهای آزاد در سازند چلکن در برش مطالعه شده با عدم مشاهده گونه‌های نانوفسیلی برج‌معلق به دوره پلیوسن و سایر فسیل‌های دریایی، همراه است (شکل ۱۰-ب). در دوره پلیوسن با بالا آمدن سطح آب دریاها حوضه خزر بار دیگر با دریای سیاه و مدیترانه مرتبط می‌شود (شکل ۱۰) (Popov et al., 2006, 2010) و شواهد آن با حضور گونه‌های نانوفسیلی از جمله *Reticulofenestra* spp. *Discoaster brouweri*، *Pontosphaera discopora*، *pseudoumbilicus* و *Discoaster varriabilis* در سازند آقچاگیل برای اولین بار در این مطالعه مورد تأیید قرار می‌گیرد (شکل ۱۰-پ).

۵- نتیجه‌گیری

مطالعات رسوب‌شناسی و فسیل‌شناسی بر اساس نانوفسیل‌های آهکی در یک برش تحت‌الارضی در دشت گرگان واقع در حوضه خزر جنوبی صورت گرفته است. مطالعات سنگ‌شناسی منجر به شناسایی دو پتروفاسیس ماسه‌سنگی شامل لیت‌آرنایت (کالک‌آرنایت) و ساب‌لیت‌آرنایت، رخساره ارتوکنگومرای پلی‌میکتیت و رسوبات دانه‌ریز مادستون شده است. مطالعات سنگ‌نگاری و SEM-EDX نشان‌دهنده وجود تخلخل قابل توجه عمدتاً به فرم‌های حفره‌ای، کانالی و شکستگی در نمونه‌های ماسه‌سنگی و کنگلومرای و حتی گل‌سنگی سازند چلکن در برش مورد مطالعه است که بیانگر پتانسیل بالای این سازند برای معرفی به عنوان سنگ مخزن در بخش ایرانی حوضه خزر جنوبی می‌باشد و از این رو ضرورت انجام مطالعات اکتشافی بر روی این سازند به ویژه در بخش‌های جنوبی‌تر و نزدیک به منشأ این حوضه را مطرح می‌نماید.

بر اساس جوان‌ترین گونه‌های نانوفسیلی شناسایی شده شامل *Discoaster cf. bergeni*، *Sphenolithus* spp. و *Discoaster brouweri*، سن انتهای میوسن (؟) تا پلیوسن برای رسوبات سازند چلکن در ناحیه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. بررسی توزیع و گسترش جنس و گونه‌های نانوفسیلی در توالی مطالعه شده تأییدکننده وجود ارتباط حوضه خزر جنوبی با حوضه دریای سیاه و مدیترانه در زمان‌های انتهای میوسن-ابتدای پلیوسن (با توجه به وجود *Sphenolithus* spp.

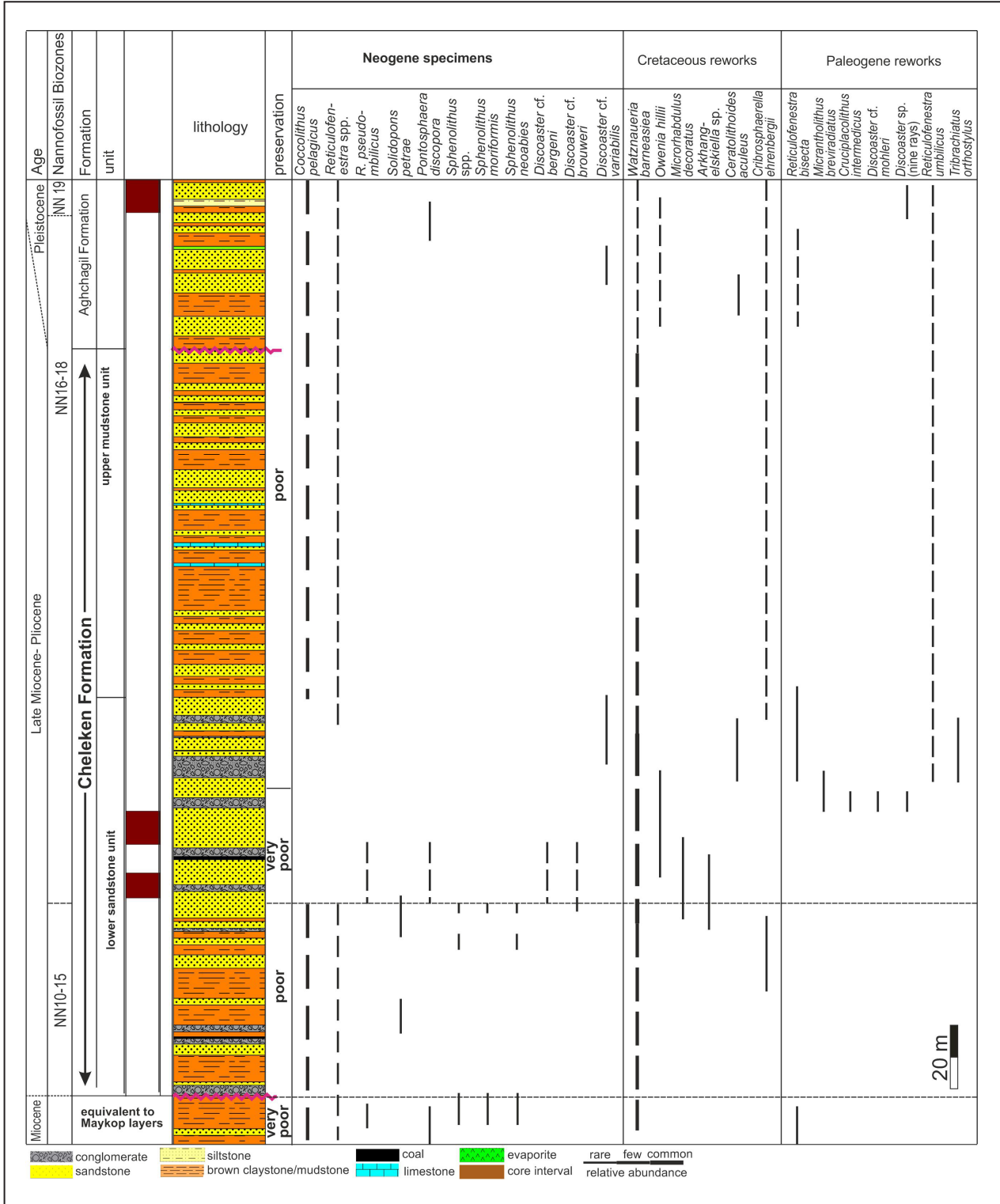
به حساب می‌آیند (Agnini et al., 2017). بیوزوناسیون استاندارد در رسوبات کربناته سنوزویک بر اساس زون محدوده تاکسون (Taxon Range Zone)، زون محدوده تلاقی (Concurrent Range Zone)، زون زیرین (Base Zone)، زون بالایی (Top Zone) و زون محدوده ناتمام (Partial Range Zone) تعریف شده است (Raffi et al., 2016). در محیط‌های آواری و سیستم‌های رسوبی نیمه‌باز معمولاً از گروه‌های فسیلی دیگر مانند روزن‌داران پلانکتون، پالینومورف و استراکود استفاده می‌شود. در مورد حوضه خزر استفاده از استراکود متداول‌تر بوده است (برای مثال Mikes et al., 1996, 2005; Yasini, 1986). مطالعه گروه فسیلی استراکود نیز در این حوضه با مشکلاتی همراه است (Schorniko, 2011). در نهشته‌های سازند چلکن دارای فسیل‌های بازنهشته شده کرتاسه با فراوانی بالا است، به طوری که در برخی گروه‌های فسیلی مانند روزن‌داران پلانکتون و استراکود، فقط اجزای فسیلی بازنهشته شده یافت می‌شوند. مطالعات نانوفسیل‌های آهکی در رسوبات آواری سنوزویک در برخی نقاط دنیا برای تعیین سن کارگشا بوده است (برای مثال Mikes et al., 2008) و در مطالعه حاضر نیز 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. نانوفسیل‌های آهکی کرتاسه با فراوانی معمول (Common) شامل گونه‌های بلند بازه (long range) مانند *Watznaueria barnesiae* و گونه‌های مشخص‌کننده بازه زمانی کوتاه‌مدت مانند، *Owenia hillii* (آلبین پسین)، *Microrhabdulud securatus* (سنومانین-ماستریشین) و *Ceratolithoides aculeus* (کامپانین-ماستریشین) هستند. افزون بر این، گونه‌های (12-rays) *Discoaster* sp. *Reticulofenestra bisecta* و *Reticulofenestra intermedium* و *umbilicus* (ثیپرزین)، مؤید حضور بازنهشته‌های پالئوژن است. تصویر تعدادی از گونه‌های بازنهشته شده در شکل ۸ آمده است. تعیین سن نسبی سازند چلکن به عنوان یک سازند آواری، 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 Mikes et al., 2008).

زون نانوفسیلی NN10-15: جوان‌ترین گونه‌های نانوفسیلی در بخش پایینی سازند چلکن، *Sphenolithus* spp. است که از حضور معمول (common) در انتهای رسوبات معادل مایکوپ تا حدود ۶۰ متری ابتدای سازند چلکن به تدریج از فراوانی آن کاسته می‌شود. از این جنس، گونه *Sphenolithus neoabies* که بیشترین فراوانی خود را در زون‌های نانوفسیلی NN10-15 نشان می‌دهد (Bergin et al., 2017) به همراه گونه *Sphenolithus moriformis* که تا زون NN15 ثبت شده است، در رسوبات مورد مطالعه دیده شده‌اند که احتمالاً نشان‌دهنده زمان میوسن پسین-پلیوسن پیشین (؟) برای این بخش از سازند چلکن در برش مورد مطالعه هستند (Bergin et al., 2017; Yong et al., 2017). گونه‌های همراه در این زون شامل *Reticulofenestra pelagicus*، *Reticulofenestra pseudoumbilicus* و *Pontosphaera discopora* spp. (شکل‌های ۷ و ۹).

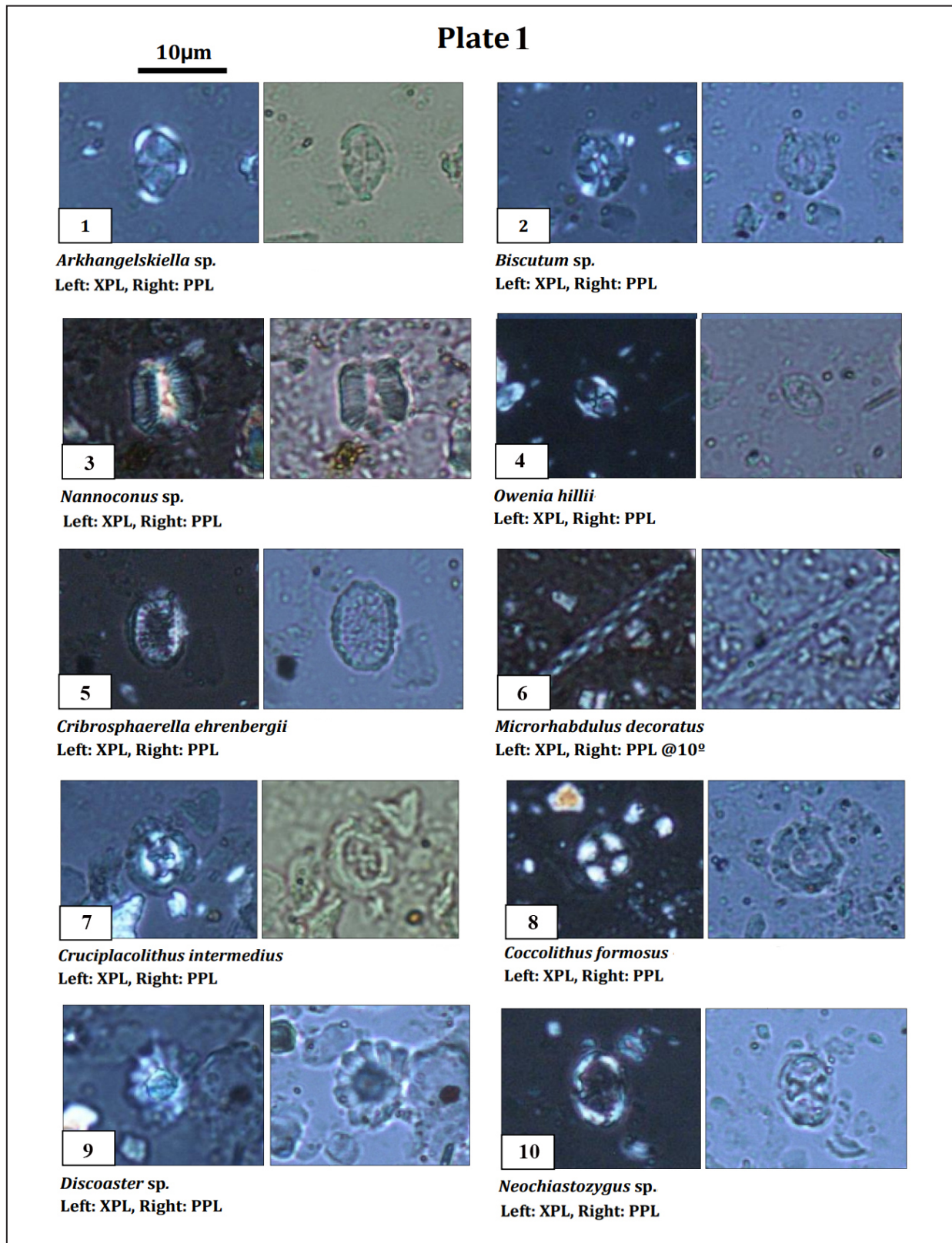
زون نانوفسیلی NN16-18: از ضخامت ۶۵ تا ۹۰ متری سازند چلکن در برش مورد مطالعه حضور گونه‌های *Discoaster cf. bergeni* و *Discoaster brouweri* با فراوانی اندک (rare) به همراه گونه *Discoaster cf. varriabilis* (شکل‌های ۷ و ۹) دیده شده است. این گونه‌ها تا زون نانوفسیلی NN18 حضور دارند (Young, 1998) و آخرین حضور جنس *Discoaster* که مؤید آغاز پلیستوسن است (Young, 1998; Yong et al., 2017)، در این برش در حدود ۳۰ متری ابتدای سازند آقچاگیل مشاهده شده است. این بازه از سازند چلکن (ستبرای ۱۵۰ تا ۱۸۵ متری برش)، فاقد هر نوع فسیل دریایی است و تنها با گونه‌های نانوفسیلی بازنهشته شده مشخص می‌شود. رسوبات این بخش را می‌توان به این دلیل که از نظر چینه‌شناختی بر روی

با توجه به عدم وجود ارتباط در زمان پلیوسن (*Discoaster varriabilis* و *discopora*) و عدم وجود ارتباط در زمان پلیوسن (با توجه به عدم وجود گروه‌های نانوفسیلی و دیگر فسیل‌های دریایی) است که برای اولین بار برای بخش ایرانی خزر جنوبی مطرح می‌گردد.

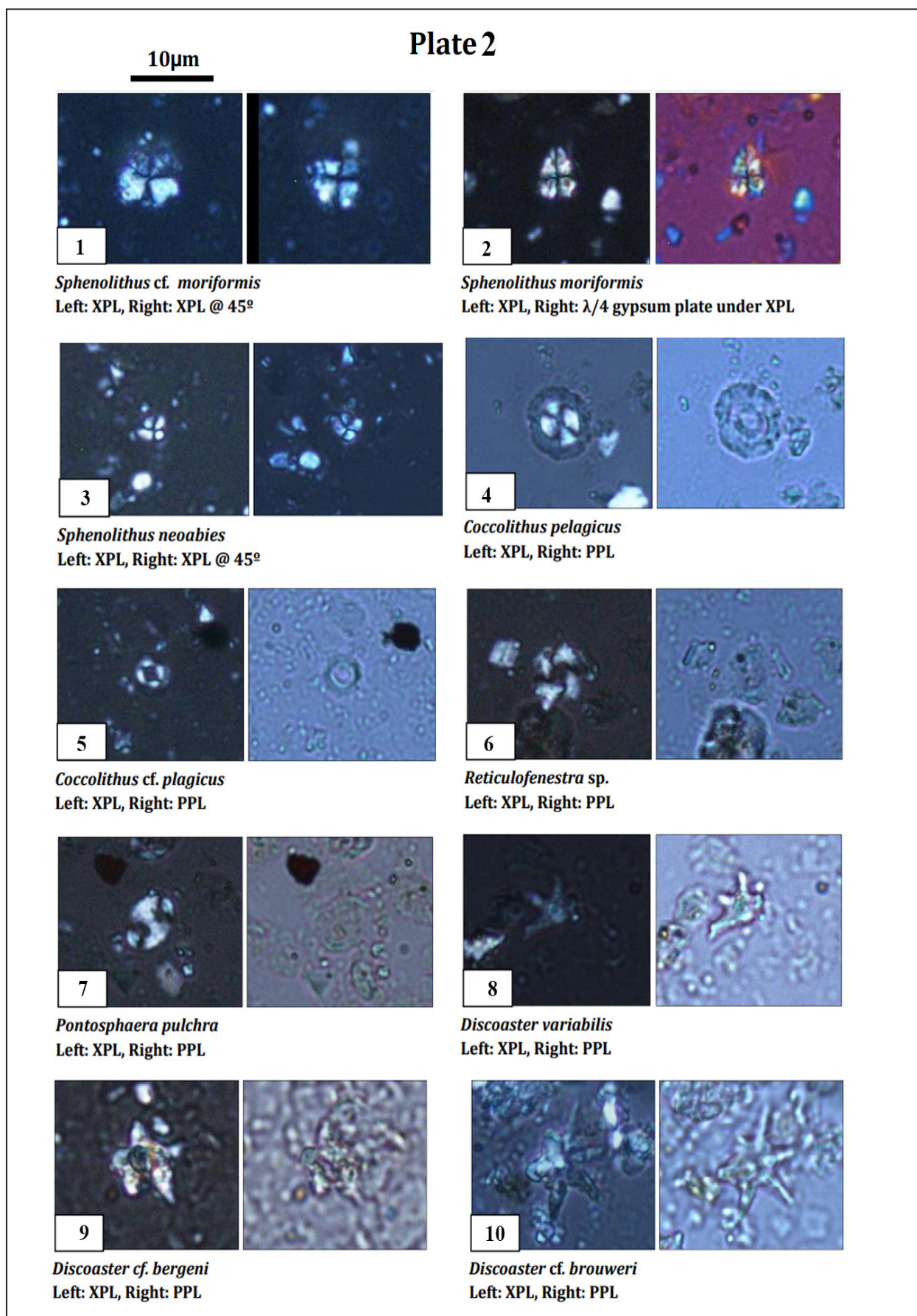
Sphenolithus neoabies، *Sphenolithus moriformis*، *Discoaster cf. bergeni* و ابتدای پلیستوسن (با حضور *Discoaster varriabilis* و *Discoaster brouweri*) گونه‌های نانوفسیلی *Reticulofenestra* spp.، *R. pseudoumbilicus*، *Pontosphaera*



شکل ۷- ستون چینه‌شناسی و فراوانی گونه‌های نانوفسیلی مهم در برش مورد مطالعه واقع در دشت گرگان.

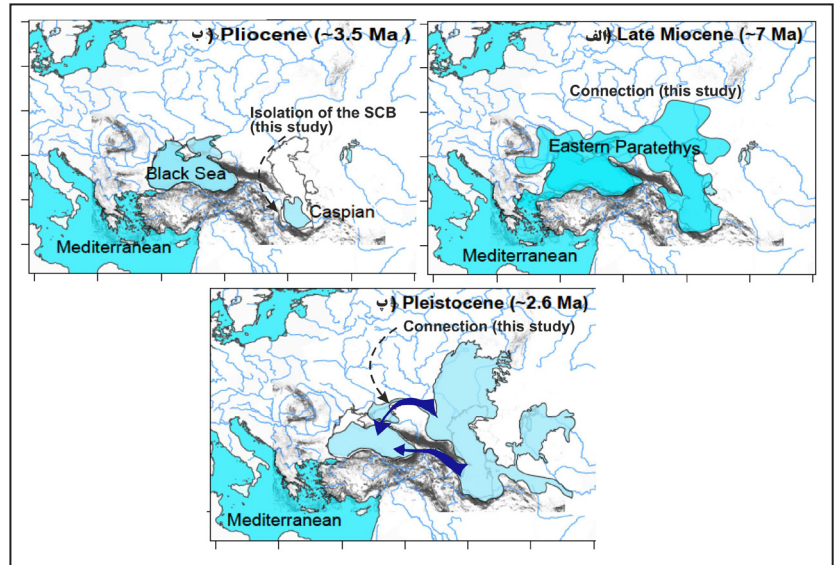


شکل ۸- تصاویر برخی از گونه‌های نانوفسیلی بازنهشته شده از کرتاسه (تصاویر ۱ تا ۶) و پالئوژن (تصاویر ۷ تا ۱۰) در توالی مورد مطالعه در ناحیه دشت گرگان.



شکل ۹- تصاویر نانوفسیل‌های آهکی شناسایی شده در برش مطالعه شده در ناحیه دشت گرگان.

شکل ۱۰- نقشه جغرافیای دیرینه حوضه‌های پاراتیس و مدیترانه که نشان‌دهنده وجود ارتباط بین خاور پاراتیس شامل حوضه خزر و دریای سیاه با حوضه مدیترانه در زمان میوسن بالایی و قطع این ارتباط در زمان پلیوسن است. عدم وجود مجموعه‌های نانوفسیلی و دیگر فونای دریایی در بخش میانی توالی مورد مطالعه مؤید جدایش و عدم ارتباط بین حوضه‌های خزر و دریای سیاه در بخش عمده زمان پلیوسن است. مجدداً در زمان پلیستوسن از طریق باریکه بین قفقاز بزرگ و قفقاز کوچک و شمال قفقاز بزرگ، ارتباط بین حوضه خزر جنوبی و دریای سیاه برقرار می‌شود که با وجود مجموعه‌های نانوفسیلی به سن پلیستوسن در بخش بالای توالی مورد مطالعه در ناحیه دشت گرگان تأیید می‌شود (نقشه اولیه اقتباس از Popov et al., 2006; Yanina, 2012).



کتابخانه

شرفی، م.، مرادپور، م.، بیرانوند، ب.، کهنسال، پ.، عبدالهی، ا.، طاعتی، ف. و مهاجر، ح.، ۱۳۹۸- محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی یک سیستم مخروط دریایی عمیق (پالتوسن)، البرز شمالی، دو فصلنامه رسوب‌شناسی کاربردی، ۱۳، ۲۰-۳۴. PSJ.2019.2953/10.22084.

یوسفی، ر.، ۱۳۹۴- مطالعه مشخصات سنگ‌شناسی و شرایط محیطی سازندهای چلکن، آچگیل و آپشرون در میدان نفتی سردار جنگل، خزر جنوبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌های رسوبی، دانشگاه تهران، ۱۲۷ صفحه.

References

- Abdullayev, N. A., Kadirov, F. and 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. and 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2016.03.002>.
- Abdullayev, N., Gregory, R., Riley, W. 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. Nummedal, eds., Lacustrine sandstone reservoirs and hydrocarbon systems. AAPG Memoir 95, 1-28. <https://doi.org/10.1306/13291385M953446>.
- Abrams, M. A. and Narimanov, A. A., 1997- Geochemical evaluation of hydrocarbons and their potential sources in the western South Caspian depression, Azerbaijan Republic. *Marine and Petroleum Geology*, 14, 451-468. [https://doi.org/10.1016/S0264-8172\(97\)00011-1](https://doi.org/10.1016/S0264-8172(97)00011-1).
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monie, P., Meyer, B. and Wortel, R., 2011- Zagros orogeny: a subduction- dominated process. *Geology Magazine*, 148(5-6), 692-725. <https://doi.org/10.1017/S001675681100046X>.
- Agnini, C., Monechi, S. and Raffi, I., 2017- Calcareous nannofossil biostratigraphy: historical background and application in Cenozoic chronostratigraphy. *Lethaia*, 50(3), 447-463. <https://doi.org/10.1111/let.12218>.
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00098-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00098-2).
- Ballato, P., Cifelli, F., Heidarzadeh, Gh. Ghassemi, M. R., Wickert, A. D., Hassanzadeh, J., Dupont-Nivet, G., Ph., Baling, 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. DOI: 10.1111/bre.12180.
- Bergen, J. A., de Kaenel, E., Blair, S. A., Boesiger, T. M. and 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. <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.879389>.
- Bown, P. R., 1998- Calcareous Nannofossil Biostratigraphy. British Micropalaeontological Society Publications Series. Chapman & Hall, London, 315.
- 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. and Aladin, N. V., 1996- Aral Sea Ostracoda as environmental indicators. *Lethaia*, 29 (1), 77-85. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.1996.tb01840.x>.
- Boomer, I., Von Grafenstein, U., Guichard, F. and Bieda, S., 2005- Modern and Holocene sublittoral ostracod assemblages (Crustacea) from the Caspian Sea: a unique brackish, deep-water environment. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 225 (1-4), 173-186. DOI: 10.1016/J.PALAEO.2004.10.023.

- 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. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(02\)00285-3](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(02)00285-3). [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(02\)00285-3](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(02)00285-3).
- Chi, G., Giles, P. S., Williamson, M. A., Lavoie, D. and Bertrand, R. 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. [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(03\)00190-0](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(03)00190-0).
- Folk, R. L., 1980- *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hamphill, Austin, Texas, 182 p.
- Hinds, D. J., Aliyeva, E., Allen, M. B., Davies, C. E., Kroonenberg, S. B., Simmons, M. D. and Vincent, S. J., 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. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2004.01.009>.
- Krijgsman, W., Palcu, D.V., Andreotto, F., Stoica, M. and Mandic, O., 2020- Changing seas in the late Miocene Northern Aegean: A Paratethyan approach to Mediterranean basin evolution. *Earth-Science Reviews*, 210, 103386. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103386>.
- Krijgsman, W., Stoica, M., Vasiliev, I. and Popov, V. V., 2010- Rise and fall of the paratethys sea during the messinian salinity crisis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 290, 183-191. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2009.12.020>.
- Mikes, T., Báldi-Beke, M., Kázmér, M., 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. <https://doi.org/10.1144/SP298.16>.
- 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 stratigraphy: Cambridge (Cambridge Univ. Press)*, 427-554.
- Popov, S. V., Antipov, M. P., Zastrozhnov, A. S., Kurina, E. E. and 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. <https://doi.org/10.1134/S0869593810020073>.
- Popov, S. V., Ilyina, L. B., Paramonova, N. P. and Goncharova, I. A., 2004- Lithologicalpaleogeographic maps of Paratethys. *Cour. Forsch. Inst. Senckenb.*, 250, 1–46.
- Popov, S. V., Shcherba, I. G., Ilyina, L. B., Nevesskaya, L. A., Paramonova, N. P., Khondkarian, S. O. and Magyar, I., 2006- Late Miocene to Pliocene palaeogeography of the Paratethys and its relation to the Mediterranean”. In: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 238, 91–106. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.03.020>.
- Raffi, I., Agnini, C., Backman, J., Catanzariti, R. and Pälike, H., 2016- A Cenozoic calcareous nannofossil biozonation from low and middle latitudes: A synthesis. *Journal of Nannoplankton Research*, 36 (2), 121–13. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812161-0.00008-9>.
- Reed, J. S., Eriksson, K. A. and Kowalewski, M., 2005- Climatic, depositional and burial controls on diagenesis of Appalachian Carboniferous sandstones: qualitative and quantitative methods. *Sedimentary Geology*, 176, 225–246. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2004.11.003>.
- 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. DOI:10.1029/2011TC002974. <http://dx.doi.org/10.1029/2011TC002974>.
- Schorniko, E. I., 2011- Problems of studying Ostracoda of the Caspian basin. *Joansea 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. and 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. <https://doi.org/10.1306/74D70466-2B21-11D7-8648000102C1865D>.
- van Baak, C. G. C., W. Krijgsman, I. Magyar, O. Sztanó, L.A. Golovina, A. Grothe, T. M. Hoyle, O. Mandic, I. S. Patina, Popov, S. V., Radionova, E. P., Stoica, M. and Vasiliev, I., 2017- Paratethys response to the Messinian salinity crisis. In: *Earth-Science Reviews*, 172, 193–223. doi: 10.1016/j.earscirev.2017.07.015.
- Vincent, S., Allen, M., Ismail-Zadeh, A., Flecker, R., Foland, K. and Simmons, M., 2005- Insights from the Talysh of Azerbaijan into the Paleogene Evolution of the South Caspian Region. *Geological Society of America Bulletin*, 117, 11-12, 1513-1533. DOI: 10.1130/B25690.1.
- Vincent, S. J., Davies, C. E., Richards, K. and 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. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.09.007>.
- Yanina, T. A., 2012- Correlation of the Late Pleistocene paleogeographical events of the Caspian Sea and Russian Plain. In: *Quaternary International*, 271, 120–129. doi: 10.1016/j.quaint.2012.06.003. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.06.003>.
- 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. and Lees, J. A., 2017- Nannotax3 website. International Nannoplankton Association. Accessed 21 Apr. 2017. URL: <http://www.mikrotax.org/Nannotax3>.

Original Research Paper

Lithostratigraphy and Biostratigraphy of the Cheleken Formation Based on Calcareous Nannoplankton in Gorgan Plain

Mahmoud Sharafi^{1*}, Nasim Mousavi², Mehran Moradpour³, Bijan Biranvand⁴, Ebrahim Abdollahi⁵ and Hossein Soltani – Mohajer⁶

¹ Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Hormozgan, Hormozgan, Iran

² Ph.D., Department of Geology, RIPI, Tehran, Iran

³ Ph.D. Student, Department of Geology, RIPI, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor, Department of Geology, RIPI, Tehran, Iran

⁵ Ph.D. Student, Department of Geology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

⁶ M. Sc., Khazar Oil Company, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2021 February 03

Accepted: 2021 June 27

Available online: 2021 December 22

Keywords:

Cheleken Formation

South Caspian Basin

reservoir

porosity

calcareous nannoplankton

ABSTRACT

Based on lithostratigraphy analysis, Cheleken Formation in the studied section of the Gorgan plain, subdivided into lower sandstone and upper mudstone/marl units. Based on petrographic analysis, the sandstone sediments include low textural and compositional maturity litharenite and sublitharenite. Conglomerates are polymictite orthoconglomerate with variables carbonate and chert grains. High percentage of the porosity as vuggy, channels and fractures in the sandstone and conglomerates and even mudstone deposits displays high reservoir potential for the studied sediments and hence necessitates the exploration studies in the Iranian part of the SCB. Based on the youngest nannofossil species, a late Miocene to middle Pliocene (?) age is defined for the Cheleken Fm. in the studied area. Nannofossils distribution of the studied succession displays the SCB was connected to the Black Sea and Mediterranean Basin in the late Miocene- early Pliocene and the Pleistocene and was isolated in the main part of the Pliocene.

* Corresponding author: Mahmoud Sharafi; E-mail: sharafi2262@gmail.com

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/GSJ.2021.270862.1882

 dor: 20.1001.1.10237429.1400.31.4.8.7

