

چینه‌نگاری سکانسی سازند قم در منطقه نطنز - قم

ابراهیم محمدی

استادیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان

نویسنده مسئول: emohammadi02@gmail.com

دریافت: ۹۹/۱۱/۱۶ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۲۰

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

چینه‌نگاری سکانسی نهشته‌های الیگو-میوسن سازند قم (در دو برش چینه‌شناختی) در منطقه نطنز- قم مورد مطالعه قرار گرفته است. سازند قم در برش نطنز (با سن روپلین؟-شاتین-اکیتانین و ۳۳۰ متر ضخامت)، عمدتاً شامل سنگ‌آهک‌های متوسط، ضخیم لایه و توده‌ای، سنگ‌آهک‌های ریفی، شیل و مارن می‌باشد که روی ولکانیک‌های ائوسن قرار گرفته و در انتها توسط آپرفت پوشیده شده‌اند. برونزدهای این سازند در ناحیه‌ی قم (برش خورآباد؛ با سن روپلین- بوردیگالین و ۲۶۰ متر ضخامت)، عمدتاً شامل سنگ‌آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه و توده‌ای، سنگ‌آهک‌های مارنی، مارن، نهشته‌های تخییری و نهشته‌های آواری می‌باشد که با بر روی سنگ‌های ولکانیکی ائوسن قرار گرفته و با ناپیوستگی هم‌شیب توسط سازند قرمز بالایی پوشیده شده است. ۱۴ رخساره مختلف، مربوط به محیط‌های دریای باز (رمپ میانی)، لاگون (رمپ داخلی) و پری‌تایدال شناسایی شده است. بر اساس مشاهدات صحرایی، الگوهای عمیق و کم‌عمق‌شدگی رخساره‌ها، الگوهای انباشتگی و پراکندگی فرامینیفرها، سه سکانس درجه سوم در برش نطنز و پنج سکانس رسوبی درجه سوم در برش خورآباد شناسایی گردید. که توسط مرزهای سکانسی نوع ۱ و ۲ محصور شده‌اند. مرزهای سکانسی عمدتاً توسط تغییر ناگهانی لیتولوژی و تشکیل‌دهندگان زیستی مشخص می‌گردند. در برش نطنز فقط دسته رخساره‌های پیشرونده (TST) و ترازبالا (HST) شناسایی شده‌اند ولی در برش خورآباد دسته رخساره ترازپایین سطح آب (LST) نیز (در ۲ سکانس) شناسایی شده است. دسته رخساره‌های پیشرونده (TST) سکانس‌ها روند رخساره‌ای عمیق شونده به سمت بالا را از خود نشان می‌دهند؛ درحالی‌که دسته رخساره‌های ترازبالا (HST) یک روند کم‌عمق شونده به سمت بالا را از خود نشان می‌دهند.

واژگان کلیدی: سازند قم، الیگو- میوسن، چینه‌نگاری سکانسی، مرزهای سکانسی

۱- پیشگفتار

سازند قم به نهشته‌هایی دریایی الیگو-میوسن ایران میانی (ایران مرکزی، ارومیه-دختر، سنندج سیرجان) اطلاق می‌گردد. برونزدهای این سازند در طول سه حوضه رسوبی- ساختاری ایران مرکزی، ارومیه- دختر و سنندج-سیرجان از گسترش قابل توجهی برخوردار بوده (محمدی و همکاران، ۲۰۱۳، ۲۰۱۵، ۲۰۱۹؛ محمدی، ۲۰۲۰b) و از خوی و ماکو در شمال‌باختری ایران، تا شمال دریاچه جازموریان در جنوب‌خاوری ایران گسترش دارند (رحیم‌زاده، ۱۳۷۳؛ آقائاتی، ۱۳۸۳؛ محمدی و همکاران، ۲۰۱۳). سازند قم در نتیجه آخرین پیشروی دریا بر روی بخش میانی ایران نهشته شده است (محمدی و همکاران، ۲۰۱۱؛ حسینی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۵) و مهم‌ترین سنگ مخزن و سنگ‌منشأ هیدروکربور در ایران مرکزی است

(ابایه و همکاران، ۱۹۶۴؛ مورلی و همکاران، ۲۰۰۹؛ محمدی و همکاران، ۲۰۱۹). این سازند از نظر زمانی (و تا حد زیادی نیز از نظر لیتولوژی و فسیل‌های موجود) معادل سازند آسماری، که ۱۲٪ نفت جهان را در خود جای داده است، می‌باشد (ژو و همکاران، ۲۰۰۷). سنگ‌آهک‌های سازند قم در ایران مرکزی مخزن میدان‌های نفتی/گازی البرز، سراج، آران (ژو و همکاران، ۲۰۰۷) و فخره (جلالی و همکاران، ۱۳۹۶) است (محمدی و رحمانی، ۱۳۹۷). چینه‌نگاری سکانسی به مطالعه بخشی از رسوبات یک حوضه که از لحاظ ژنتیکی باهم مرتبط بوده و به‌وسیله ناپیوستگی و یا پیوستگی هم‌ارز از هم جدا می‌شود، می‌پردازد. این علم نهشته‌های یک حوضه رسوبی را به سکانس‌های رسوبی که بین ناپیوستگی‌ها یا پیوستگی‌های هم‌ارز آن قرار دارند تقسیم می‌کند (امری و مایرز، ۱۹۹۶).

سكانسی سازند قم به حدوداً ۱۵ سال پیش برمی‌گردد. در ادامه لیست مهم‌ترین مطالعات مرتبط با موضوع این مقاله به همراه مهم‌ترین نتایج آن‌ها خلاصه می‌گردد. همچنین برای دسترسی به لیست کامل از مطالعات انجام‌شده بر روی سازند قم به محمدی و همکاران (۲۰۱۳، ۲۰۱۵، ۲۰۱۹) رجوع شود.

نهشته‌های سازند قم در ناحیه اردستان (به سن الیگوسن) توسط وزیرمقدم و ترابی (۲۰۰۴) از نظر چینه‌نگاری سکانسی مورد مطالعه قرار گرفته و ۳ سکانس درجه سوم شناسایی شده است. سکانس‌های مذکور فقط دارای بسته‌های رسوبی پیشرونده و تراز بالا بوده‌اند. مطالعه نهشته‌های الیگوسن پسین-میوسن پیشین سازند قم در شمال ناپین توسط صیرفیان و ترابی (۲۰۰۵) منجر به شناسایی ۳ سکانس رسوبی متشکل از بسته‌های رسوبی تراز پایین، پیشرونده و تراز بالا شناسایی گردید. ژو و همکاران (۲۰۰۷) نهشته‌های سازند قم (الیگوسن-میوسن پیشین) در بلوک کاشان (ایران مرکزی) را از نظر چینه‌نگاری سکانسی مورد مطالعه قرار داده‌اند و ۲ سکانس درجه ۲ و ۵ سکانس درجه ۳ تشخیص داده‌اند. آن‌ها ۵ سیستم تراکت (بسته رسوبی) مجزا شامل پیشرونده، ترازبالا، پسرونده اجباری، حاشیه اسلپ و ترازپایین شناسایی نموده‌اند. آن‌ها معتقدند که تطابق تغییرات نسبی سطح دریا بین نهشته‌های مورد مطالعه و دنیا بیانگر این است که سیکل‌های رسوبی سازند قم عمدتاً توسط سیکل‌های یوستاتیک کنترل شده‌اند. رویتر و همکاران (۲۰۰۹) با مطالعه نهشته‌های سازند قم در برش‌های زفره و آباد (در حوضه پیش‌کمان) و برش‌های چاله‌قره و قم (در حوضه پس‌کمان)، ۸ سکانس رسوبی شناسایی نموده‌اند. به‌طور دقیق‌تر آن‌ها در برش آباد (روپلین-شاتین) ۳ سکانس، در برش‌های زفره (اکیتانین-بوردیگالین) و چاله‌قره (شاتین-بوردیگالین) ۴ سکانس و در برش قم (شاتین-بوردیگالین) ۷ سکانس رسوبی شناسایی نموده‌اند. دانشیان و همکاران (۱۳۸۷) چینه‌نگاری سکانسی نهشته‌های سازند قم در ناحیه الگو (برش کوه بیچاره) در جنوب خاور قم (به سن اکتیانین-بوردیگالین) را مورد مطالعه قرار داده و ۶ سکانس و ۷ مرز سکانسی تعیین نموده‌اند. کاروان و همکاران (۱۳۹۳) ۸

با مطالعه چینه‌شناسی سکانسی واحدهای رسوبی می‌توان به بررسی روابط واحدهای رسوبی با یکدیگر، گسترش آن‌ها در مکان و زمان و پیش‌بینی و شناسایی واحدها مستعد مخزن و یا منشأ پرداخت (ایمن‌دوست و امینی، ۱۳۸۴). بررسی یک حوضه رسوبی با سکانس‌های واقع در آن، به شناخت هرچه بیشتر حوضه کمک شایانی می‌کند (مغفوری‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به اهمیت رو به افزایش چینه‌نگاری سکانسی در تحلیل دینامیکی حوضه‌های رسوبی و کاهش ریسک و هزینه، در فعالیت‌های اکتشافی صنایع نفت و گاز، از این علم با تعبیری چون دومین انقلاب در علوم زمین پس از نظریه زمین‌ساخت و یا انقلابی در زمین‌شناسی رسوبی یاد می‌شود (دانشیان و همکاران، ۱۳۹۷). چینه‌نگاری سکانسی در اواخر قرن بیستم از چینه‌نگاری لرزه‌ای تکامل پیدا کرد (هندفورد و همکاران، ۱۹۹۳؛ مهیاد و همکاران، ۱۳۹۷) و تعاریف اجزا و مدل‌های مفهومی چینه‌نگاری سکانسی نیز در طی این سال‌ها توسط پژوهشگران ارایه شد (امری و ماپرز، ۱۹۹۶). پژوهشگران مختلف، بسته به معیارهای مورد استفاده، سیستم تراکت‌های مختلفی بر اساس مفهوم چینه‌نگاری سکانسی تعریف کردند که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: LST (بسته رسوبی تراز پایین^۱)، TST (بسته رسوبی پیشرونده^۲)، HST (بسته رسوبی تراز بالا^۳)؛ FRST (بسته رسوبی پسرونده اجباری^۴)، FSST (بسته رسوبی مرحله افت^۵) و SMST (بسته رسوبی حاشیه اسلپ^۶). تقسیم‌بندی‌هایی که سه مورد اول (HST، TST، LST) را مورد استفاده قرار داده‌اند کاربرد بیشتری در مطالعات داشته و در این مطالعه نیز از آن رویکرد تبعیت شده است. مطالعات نسبتاً اندکی بر روی چینه‌نگاری سکانسی سازند قم انجام شده است. به‌علاوه، اغلب مطالعات قبلی، بر روی تنها یک برش انجام شده‌اند. لذا، هدف این مقاله، پر کردن بخشی از این خلأ اطلاعاتی، با مطالعه دو برش چینه‌شناختی از سازند قم در منطقه نطنز-قم می‌باشد.

۲- مطالعات پیشین

با وجود اینکه مطالعات بر روی سازند قم از حدود ۱۶۰ سال پیش (لوفتوس، ۱۸۵۵) آغاز شده است، ولی قدیمی‌ترین مطالعات معتبر انجام شده بر روی چینه‌نگاری

4. Forced regressive systems tract

5. Falling-stage systems tract

6. slope margin systems tract

1. lowstand systems tract

2. transgressive systems tract

3. highstand systems tract

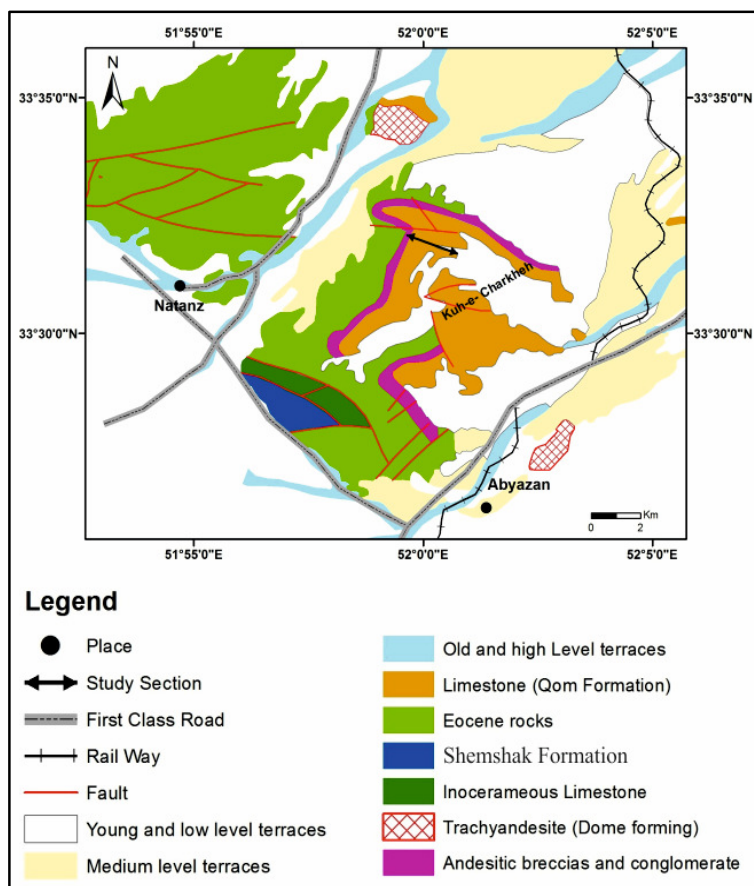
برش ده نمک (شمال خاور گرمسار؛ اکتیانین-بوردیگالین) موفق به تشخیص ۴ سکناس رسوبی رده سوم، سه مرز سکناسی از نوع اول و دو مرز سکناسی از نوع دوم شدند. مهیاد و همکاران (۱۳۹۷) نیز سکناس‌های رسوبی سازند قم را در جنوب‌خاوری کهک (جنوب‌باختری قم؛ شاتین-اکتیانین) را بررسی نموده و ۲ سکناس رسوبی شناسایی نموده‌اند. به مطالعات فوق می‌توان تعدادی پایان‌نامه منتشر نشده و مقاله همایشی اضافه نمود.

۳- موقعیت زمین‌شناسی و جغرافیایی منطقه مورد

مطالعه

برش نطنز در شمال‌خاوری نطنز واقع شده و دارای مختصات جغرافیایی $33^{\circ}30'00''N$ تا $33^{\circ}35'00''N$ عرض شمالی و $51^{\circ}59'16''E$ تا $52^{\circ}00'00''E$ طول خاوری می‌باشد. این برش از طریق آزاد راه اصفهان-کاشان (و پس از طی ۳ کیلومتر مسیر پیاده) قابل دسترسی می‌باشد (شکل ۱).

سکناس رسوبی رده سوم را در نهشته‌های سازند قم در شمال خاوری دلیجان (با سن روپلین-شاتین) شناسایی نموده‌اند که توسط مرزهای سکناسی نوع ۱ و ۲ محصور شده‌اند. اخیراً امیرشاه‌کرمی و کاروان (۲۰۱۵) چینهننگاری سکناسی سازند قم در برش شمال‌خاوری کهک (جنوب قم؛ روپلین-بوردیگالین) را مورد مطالعه قرار داده و ۴ سکناس رسوبی متشکل از بسته‌های رسوبی LST، TST و HST شناسایی نمودند. جلالی و همکاران (۱۳۹۵) چینهننگاری سکناسی سازند قم در برش سطحی خاور سیاه‌کوه (با سن شاتین-بوردیگالین) واقع در جنوب گرمسار را مورد مطالعه قرار دادند، آن‌ها ۴ سکناس درجه سوم شناسایی نمودند. جلالی و همکاران (۱۳۹۶) ضمن بررسی چینهننگاری سکناسی سازند قم (با سن اکتیانین-بوردیگالین) در جنوب تهران ۳ سکناس درجه سوم در برش زیرسطحی چاه یورته‌شاه-۱ و ۱ سکناس رسوبی درجه سوم در برش سطحی موره کوه شناسایی نمودند. دانشیان و همکاران (۱۳۹۶) ضمن بررسی چینهننگاری سکناسی سازند قم در



شکل ۱. بخشی از نقشه زمین‌شناسی کاشان که در آن موقعیت برش نطنز نشان داده شده است (زاهدی و عمیدی، ۱۹۹۱).

گل‌شویی قرار گرفته و استراکودها و فرامینیفرهایی آن جدا و شناسایی گردید. از نمونه‌های سخت برش‌های نازک تهیه گردید. برش‌های نازک تهیه شده از این نمونه‌ها مورد بررسی دقیق سنگ‌شناسی قرار گرفته و اجزای آن شناسایی و مطالعه گردید. سن برش‌های مورد مطالعه بر پایه مطالعات قبلی همین نویسنده (محمدی و همکاران، ۲۰۱۵؛ محمدی ۲۰۲۰a) ارایه شده است. رخساره‌های برش‌های مورد مطالعه نیز در مطالعات قبلی همین نویسنده (محمدی، ۲۰۲۰a) ارایه شده‌اند و در اینجا فقط به صورت خلاصه ارایه خواهند شد (جدول ۱، شکل ۳).

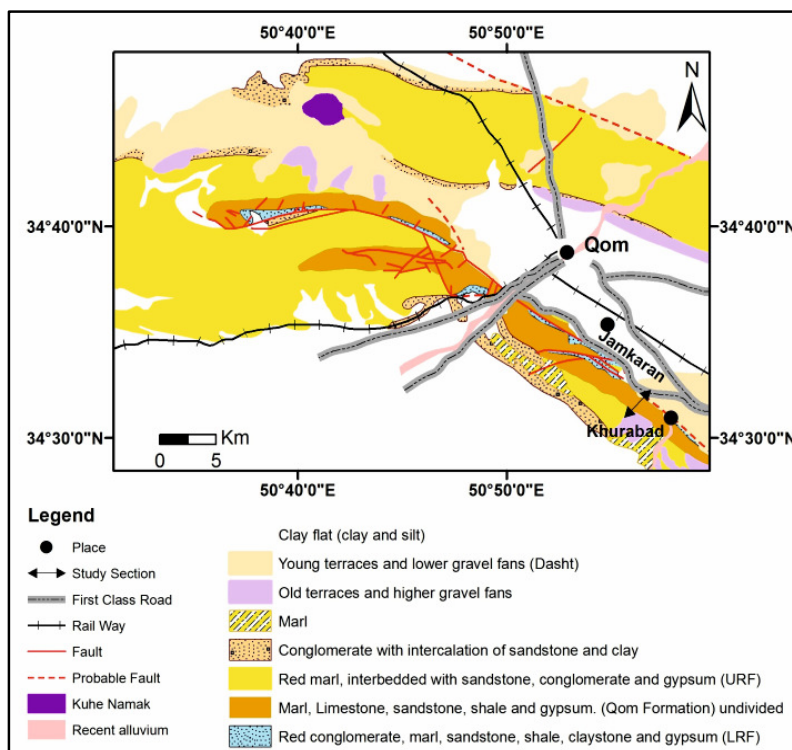
از داده‌های به دست آمده برای شناخت رخساره‌ها و تعیین سطوح سکansı با تأکید بر شواهد فسیل‌شناسی، به خصوص فرامینیفرها استفاده شد. جهت شناسایی سکانس‌ها از منابع مهمی چون هانت و تاگر (۱۹۹۲)، امری و مایرز (۱۹۹۶)، هاندربول و همکاران (۱۹۹۸)، کاتونانیو (۲۰۰۰، ۲۰۰۶)، سیمونز و همکاران (۲۰۰۷)، کاتونانیو و همکاران (۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱) استفاده شد. سیستم تراکت‌های LST (بسته رسوبی ترازپایین)، TST (بسته رسوبی پیشرونده) و HST (بسته رسوبی ترازبالا) در تقسیم‌بندی سکانس‌ها بکار گرفته شد.

برش خورآباد در ۲۰ کیلومتری جنوب‌خاوری قم و ۱۳ کیلومتری جنوب‌خاوری مسجد جمکران و شمال‌باختری روستای خورآباد واقع شده است. این برش دارای مختصات جغرافیایی $34^{\circ}30'53''$ عرض شمالی و $50^{\circ}56'58''$ طول خاوری می‌باشد. برش خورآباد از طریق آزادراه قم-کاشان و جاده قم-کهنک قابل دسترسی می‌باشد (شکل ۲).

برش‌های مورد مطالعه بر اساس مطالعات رویتر و همکاران (۲۰۰۹) و محمدی و همکاران (۲۰۱۳) در حوضه پس کمان ایران مرکزی واقع شده‌اند.

۴- روش مطالعه

به منظور بررسی چینه‌نگاری سکansı نهشته‌های الیگو-میوسن سازند قم در منطقه نطنز-قم، یک مقطع چینه‌شناسی در ناحیه نطنز (به ضخامت ۳۳۰ متر) و یک مقطع چینه‌شناسی در جنوب خاوری قم (برش خورآباد، به ضخامت ۲۶۰ متر) انتخاب گردید (شکل‌های ۱ و ۲) و از آن‌ها به ترتیب ۱۶۶ و ۱۰۱ نمونه به‌طور سیستماتیک و بر اساس تغییرات رخساره‌ای و بافتی برداشت گردید (شکل‌های ۳، ۴، ۵، ۶، ۷). هم نمونه‌های سخت و هم نمونه‌های نرم از این برش برداشت شد. نمونه‌های نرم مورد



شکل ۲. بخشی از نقشه زمین‌شناسی قم که در آن موقعیت برش خورآباد نشان داده شده است (امامی، ۱۹۹۱).

۵- چینهننگاری سنگی

تنوع نسبتاً شدید لیتولوژیکی در بخش‌های مختلف سازند قم و برش‌های مختلف این سازند، مشخص‌کننده تغییرات شدید در محیط رسوب‌گذاری می‌باشد که این تغییرات خود معلول تغییر در میزان فضای در دسترس برای رسوب‌گذاری است (ایمن‌دوست و امینی، ۱۳۸۴). چینهننگاری سنگی برش‌های مورد مطالعه در ادامه ارایه خواهد شد.

برش نطنز

سازند قم در برش ناحیه‌ی نطنز ۳۳۰ متر ضخامت داشته و از نظر سنگ‌شناسی عمدتاً شامل سنگ‌آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه و توده‌ای، سنگ‌آهک‌های مارنی، شیل و مارن بوده که بر روی سنگ‌های ولکانیکی ائوسن قرار می‌گیرد. برش مورد مطالعه در انتها توسط آبرفت پوشیده می‌شود (شکل ۵). بر اساس مشاهدات صحرایی، ویژگی‌های سنگ‌شناسی و خصوصیات ماکروسکوپی از قبیل رنگ و تغییر ضخامت این سازند در ناحیه مورد مطالعه از پایین به سمت بالا به ترتیب شامل حدوداً ۲۵ متر شیل همراه با میان لایه‌های سنگ‌آهکی و سنگ‌آهک‌های مارنی، ۱۹۷ متر سنگ‌آهک‌های نازک، متوسط، ضخیم لایه و توده‌ای همراه با سنگ‌آهک‌های مارنی و چند میان لایه شیلی و مارنی، ۷۳ متر اساساً شامل مارن‌های سبز تا سبز تیره همراه با میان لایه‌هایی از سنگ‌آهک‌های نازک و متوسط لایه، و ۳۵ متر شامل سنگ‌آهک‌های اساساً متوسط و ضخیم لایه همراه با چند لایه مارنی در بخش میانی می‌باشد.

برش خورآباد

سازند قم در ناحیه‌ی خورآباد ۲۶۰ متر ضخامت داشته و از نظر سنگ‌شناسی عمدتاً شامل سنگ‌آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه و توده‌ای، سنگ‌آهک‌های مارنی، سنگ‌آهک‌های نودولار، شیل و مارن می‌باشد. همچنین نهشته‌های تبخیری، کنگلومرا و ماسه‌سنگ تا سیلتستون به نسبت کمتری در این برش وجود دارد. این برش بر روی سنگ‌های ولکانیکی ائوسن قرار گرفته و در انتها توسط سازند قرمز بالایی پوشیده شده است (شکل ۷). بر اساس مشاهدات صحرایی، ویژگی‌های سنگ‌شناسی و خصوصیات ماکروسکوپی از قبیل رنگ و تغییر ضخامت، این سازند در ناحیه مورد مطالعه از پایین به سمت بالا به ترتیب شامل

۹۳ متر تناوب سنگ‌آهک‌های متوسط و ضخیم لایه و توده‌ای، ۱۰ متر نهشته تبخیری، حدوداً ۳۵ متر تناوب سنگ‌آهک‌های مارنی و مارن سنگ‌آهکی همراه با نهشته‌های تخریبی شامل کنگلومرا و ماسه‌سنگ تا سیلتستون، ۷۰ متر سنگ‌آهک‌های عمدتاً ضخیم لایه، ۱۸ متر مارن ژپیس دار، مارن و سنگ‌آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه، و ۳۲ متر سنگ‌آهک‌های متوسط و ضخیم لایه می‌باشد.

۶- چینهننگاری زیستی

برش‌های نطنز و خورآباد در مطالعات قبلی همین نویسنده (محمدی و همکاران، ۲۰۱۵؛ محمدی ۲۰۲۰a) ارایه شده است و در ادامه به صورت خلاصه ارایه می‌گردد.

هیچ بیوزناسیون رسمی برای سازند قم پیشنهاد نشده است و تعیین سن سازند قم عمدتاً بر مبنای زون‌های زیستی ارایه شده برای سازند آسماری (وایند، ۱۹۶۵ و خصوصاً آدامز و بورژوا، ۱۹۶۷) که توسط لارسن و همکاران (۲۰۰۹) و وان‌بوخم و همکاران (۲۰۱۰) و نیکفرد و همکاران (۲۰۲۰) بازبینی شده‌اند، انجام می‌شد. ولی اخیراً محمدی و همکاران (۲۰۱۵) چهارچوبی برای تعیین سن نهشته‌های سازند قم، ارایه نموده‌اند. آن‌ها حضور *Nummulites* برجا را به‌عنوان شاخص رولپین، اولین حضور *Miogyopsis* را به‌عنوان شاخص قاعده اکیتانین، و اولین حضور *Borelis melo curdica* را به‌عنوان شاخص مرز زیرین بوردیگالین پیشنهاد نموده‌اند.

بر اساس پراکندگی فرامینیفرها و با توجه به معیارهای ارایه شده توسط محمدی و همکاران (۲۰۱۵)، در برش نطنز ۲ تجمع زیستی و در برش خورآباد ۴ تجمع زیستی تشخیص داده شد که به شرح زیر می‌باشند:

تجمع ۱ برش نطنز: این تجمع از پایین شروع و تا ضخامت ۲۹۵ متری برش گسترش دارد. مجموعه فونی زیر در این بازه شناسایی شده است:

Eulepidina sp., *Lepidocyclina* sp., *Nephrolepidina* sp., *Nephrolepidina tournoueri*, *Operculina* sp., *Heterostegina* sp., *Amphistegina* sp., *Neorotalia viennoti*, *Neorotalia* sp., *Borelis pygmaea*, *Borelis hauri*, *Borelis* sp., *Archaias* sp., *Peneroplis* sp., *Dendritina* sp., *Austrotrillina howchini*, *Austrotrillina* sp., *Haplophragmium* sp., *Elphidium* sp., *Ditrupa* sp., *Quinqueloculina* sp., *Triloculina trigonula*, *Triloculina tricarinata*, *Pyrgo* sp., *miliolids*, *textularids*, *corallinacean* (*Lithotaminium*, *Lithophyllum*), bryozoa, echinoid.

نبود حضور *Nummulites* (شاخص روپلین)، *Borelis melo curdica* (شاخص مرز زیرین بوردیگالین) و *Miogypsina* (شاخص اکتیانین)، و همچنین موقعیت آن در بالای تجمع ۱ (با سن روپلین) و زیر اولین توالی تبخیری (نهشته‌های تبخیری سازند قم تماماً در میوسن پیشین نهشته شده‌اند) و حضور لپیدوسیکلینیدا بدون نومولیتس سبب شد تا سن شاتین برای این تجمع در نظر گرفته شود.

تجمع ۳ برش خورآباد: این تجمع از متر ۹۳/۵ تا ۲۰۹/۵ متری وجود دارد. فسیل‌های شناسایی شده در این مجموعه به شرح زیر است:

Operculina complanata, *Eulepidina dilatata*, *Nephrolepidina tournoueri*, *Miogypsina* sp., *Amphistegina* sp., *Elphidium* sp., *Pyrgo* sp., *Quinqueloculina* sp., *Triloculina trigonula*, *Textularia* sp., *Ditrupe* sp.

حضور *Miogypsina* (شاخص اکتیانین) و توالی تبخیری (نهشته‌های تبخیری سازند قم تماماً در میوسن پیشین نهشته شده‌اند)، موقعیت آن بین تجمع ۲ (با سن شاتین) و تجمع ۴ (با سن بوردیگالین) سبب شد تا سن اکتیانین برای این بخش از برش در نظر گرفته شود.

تجمع ۴ برش خورآباد: این تجمع از متر ۲۰۹/۵ متری تا رأس برش را در برمی‌گیرد. فسیل‌های شناسایی شده در این مجموعه به شرح زیر است:

Borelis melo curdica, *Peneroplis thomasi*, *Dendritina rangi*, *Elphidium* sp., *Pyrgo* sp., *Quinqueloculina* sp., *Triloculina trigonula*, *Textularia* sp., *Miogypsina* sp., *Miogypsinoides* sp.

این تجمع بر اساس حضور *Borelis melo curdica* به سن بوردیگالین نسبت داده شده است.

بنابراین، با توجه به پراکندگی عمودی فرامینیفرها و بر اساس معیارهای تعیین سن، رسوب‌گذاری برش نطنز به روپلین؟-شاتین و اکتیانین و رسوب‌گذاری برش خورآباد به سن روپلین-بوردیگالین نسبت داده می‌شود (محمدی و همکاران، ۲۰۱۵؛ محمدی، ۲۰۲۰a).

۷- رخصاره‌ها

رخصاره‌های برش‌های نطنز و خورآباد در محمدی (۲۰۲۰a) ارایه شده‌اند. در ادامه فقط مهم‌ترین مشخصات آن‌ها به صورت خلاصه در جدول ۱ و شکل ۳ ارایه خواهد شد.

این تجمع بدون فرامینیفیر شاخص می‌باشد و می‌توان آن را با توجه به نبود *Nummulites* spp. (شاخص روپلین)، *Borelis melo curdica* (شاخص مرز زیرین بوردیگالین) و *Miogypsina* (شاخص اکتیانین و شاتین انتهایی) به شاتین نسبت داد. ولی با توجه به اینکه ۲۰۰ متر پایینی این برش، غال با در زیر محیط لاگونی نهشته شده است و بدون هرگونه فرامینیفیر شاخص سنی و فرامینیفیر هیالین است، شاید نبود نومولیتس در این تجمع، مرتبط با شرایط بوم‌شناختی دیرینه بوده باشد. بنابراین با توجه به گزارش حضور نهشته‌های روپلین در منطقه نطنز (سجادی هزاره، ۱۳۶۹؛ صیرفیان و همکاران، ۱۳۸۵)، نقشه پراکندگی نهشته‌های روپلین سازند قم (محمدی و همکاران، ۲۰۱۳) و موقعیت چینه‌شناختی لایه‌های دربرگیرنده‌ی این تجمع (در زیر توالی‌های اکتیانین)، می‌توان سن روپلین؟-شاتین را برای تجمع شماره ۱ در نظر گرفت.

تجمع ۲ برش نطنز: این تجمع به ضخامت ۳۵ متر، متر ۲۹۵ تا ۳۳۰ متری برش مورد مطالعه را در برمی‌گیرد. مجموعه فونی، تا حد زیادی به لحاظ تنوع، مشابه با تجمع ۱ می‌باشد (ولی فراوانی جنس‌گونه‌ها متفاوت است) با این تفاوت که فسیل شاخص و کلیدی *Miogypsina* به این مجموعه اضافه می‌گردد. با توجه به حضور *Miogypsina* (شاخص اکتیانین)، نبود *Nummulites* spp. (شاخص روپلین) و *Borelis melo curdica* (شاخص مرز زیرین بوردیگالین) و موقعیت چینه‌شناسی موجود، این بخش از برش دارای سن اکتیانین می‌باشد.

تجمع ۱ برش خورآباد: این تجمع از پایین تا متر ۶۰/۵ متری گسترش دارد. فسیل‌های شناسایی شده در این مجموعه به شرح زیر است:

Nummulites vascus, *Eulepidina dilatata*, *Nephrolepidina tournoueri*, *Rotalia viennoti*, *Operculina complanata*, *Amphistegina* sp., *Textularia* sp., *Ditrupe* sp.

این تجمع بر اساس حضور *Nummulites vascus* به روپلین نسبت داده شده است.

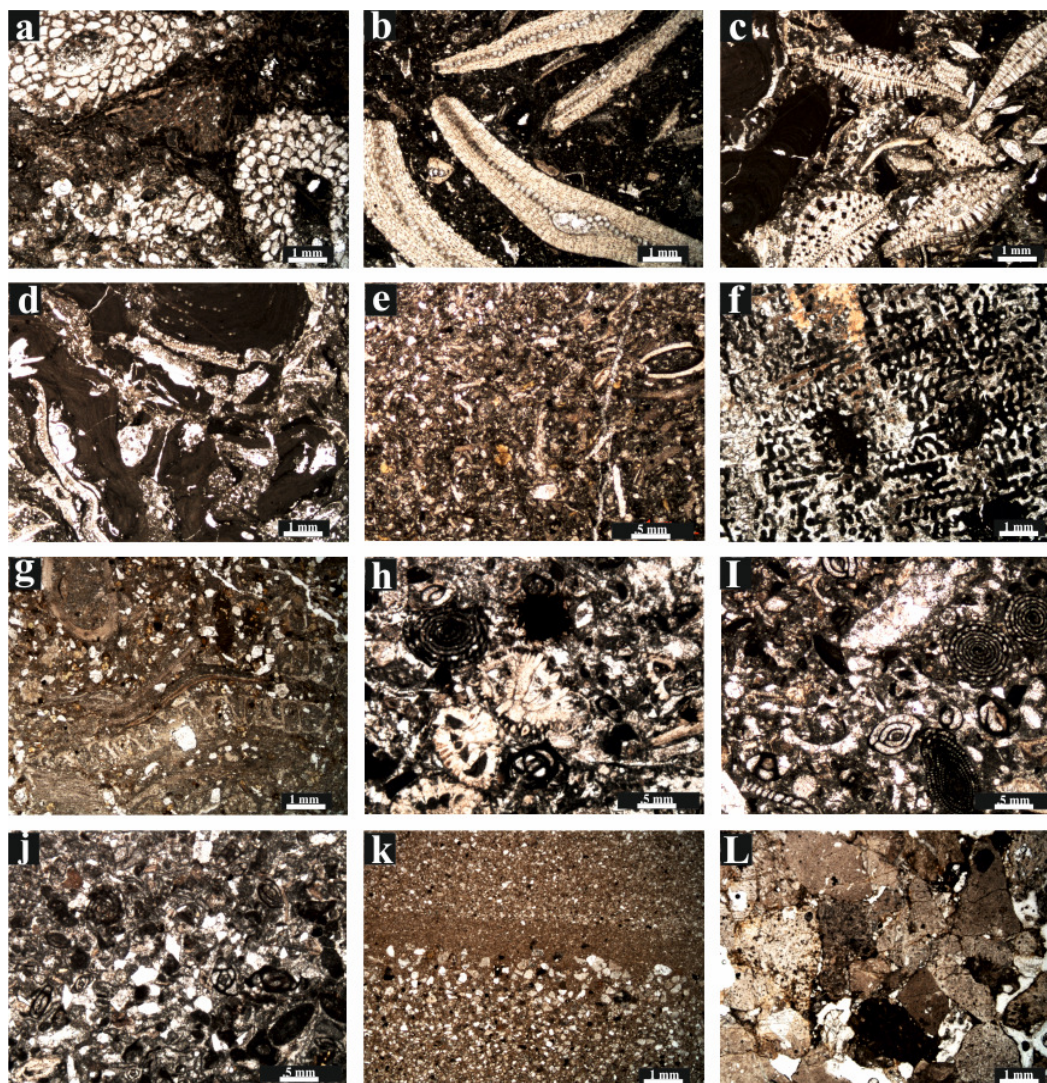
تجمع ۲ برش خورآباد: این تجمع از متر ۶۰/۵ تا ۹۳/۵ متری برش را در برمی‌گیرد. فسیل‌های شناسایی شده در این مجموعه به شرح زیر است:

Eulepidina dilatata, *Nephrolepidina tournoueri*, *Rotalia viennoti*, *Operculina complanata*, *Elphidium* sp., *Quinqueloculina* sp., *Pyrgo* sp., *Textularia* sp.

جدول ۱. رخساره‌های شناسایی شده در برش‌های نطنز و خورآباد و مهم‌ترین مشخصات آن‌ها

شماره و نام رخساره	اجزاء اصلی	اجزاء فرعی	موقعیت/برش	تفسیر	محیط دیرینه
۱- مارن فسیل‌دار	فرامینیفرهای بنتیک منفذدار: <i>Amphistegina</i> , <i>Neorotalia</i> , <i>Elphidium</i> ; فرامینیفرهای پلانکتون: گلوبیژرینیداها و گلوبوروتالیداها؛ استراکودهای فراوان: <i>Paracypris</i> , <i>Bairdia</i> , and <i>Cytherella</i>	-	۱۱۰ متر بالایی برش نطنز	بخش‌های نسبتاً عمیق زون نوری	رمپ میانی دور
۲- بایوکلاست بریوزوا پکستون	بریوزواهای سالم و برج	<i>Operculina</i> , <i>Neorotalia</i> , <i>Lepidocyclina</i> , <i>Heterostegina</i> , <i>Elphidium</i> and <i>Textularia</i>	برش‌های نطنز و خورآباد	بخش‌های نسبتاً عمیق و آرام زون نوری	رمپ میانی دور
۳- بایوکلاست پرفریت فرامینیفر رودستون	<i>Operculina</i> , <i>Eulepidina</i> , <i>Nephrolepidina</i> , <i>Heterostegina</i> , <i>Lepidocyclina</i> , <i>Amphistegina</i> , <i>Miogypsina</i> ; <i>Neorotalia</i>	خرده‌های جلبک قرمز، بریوزوا، اکتینوئید و نرم‌تنان	برش نطنز	بخش‌های نسبتاً عمیق و آرام زون نوری	رمپ میانی دور
۴- بریوزوا/ کورالیناسه‌آ پرفریت فرامینیفر پکستون	فرامینیفرهای منفذدار: <i>Nummulites</i> , <i>Eulepidina</i> , <i>Nephrolepidina</i> , <i>Lepidocyclina</i> , <i>Operculina</i> , <i>Heterostegina</i> , <i>Amphistegina</i> , <i>Neorotalia</i> and جلبک‌های قرمز و ایا بریوزوا	قطعات اکتینوئید و نرم‌تنان	برش خورآباد	بخش‌های نسبتاً عمیق زون نوری (الیگوفوتیک تا مزوفوتیک)	رمپ میانی نزدیک
۵- کورالیناسه‌آ باندستون	جلبک‌های قرمز: <i>Lithothamnion</i> , and <i>Lithoporella</i>	فرامینیفرهای منفذدار، بریوزوا و قطعات اکتینوئید	برش خورآباد	رمپ‌ها و شلف‌های گرمسیری	رمپ میانی نزدیک
۶- بایوکلاست وکستون	خرده‌های فراوان کوچک تا متوسط جلبک قرمز، بریوزوا، اکتینوئید، فرامینیفرهای منفذدار	<i>Ditrupe</i>	برش نطنز	زون مزوفوتیک و انرژی متوسط	رمپ میانی نزدیک
۷- کورال باندستون	مرجان: <i>Favites</i> , <i>Porites</i> , <i>Astrocoenia</i> , <i>Cyphastrea</i> , <i>Leptoria</i> , and <i>Favia</i>		برش‌های نطنز و خورآباد	ریف‌های تکه‌ای لاگونی	رمپ داخلی دور
۸- سندی بایوکلاست وکستون	خرده‌های فراوان کوچک تا متوسط جلبک قرمز، بریوزوا، اکتینوئید، فرامینیفرهای منفذدار و بدون منفذ: <i>Amphistegina</i> , <i>Textularia</i> , <i>Operculina</i> , <i>Neorotalia</i> , <i>Lepidocyclina</i>	<i>Ophiomorpha</i>	برش خورآباد	بخش‌های نسبتاً کم عمق زون نوری	رمپ داخلی دور
۹- بایوکلاست پرفریت و ایمپرفریت فرامینیفر پکستون	فرامینیفرهای منفذدار و بدون منفذ: <i>Pyrgo</i> , <i>Triloculina</i> , <i>Quinqueloculina</i> , <i>Borelis</i> , <i>Austrotrillina</i> , <i>Dendritina</i> , <i>Peneroplis</i> , and <i>Archaias</i> , <i>Amphistegina</i> , <i>Neorotalia</i> , <i>Operculina</i> , <i>Heterostegina</i> , <i>Elphidium</i> , and <i>Lepidocyclina</i>	جلبک قرمز، بریوزوا، نرم‌تنان	برش‌های نطنز و خورآباد	آب‌های اکسیژن‌دار لاگون نیمه محصور	رمپ داخلی دور
۱۰- بایوکلاست ایمپرفریت فرامینیفر پکستون اوکستون	فرامینیفرهای بدون منفذ: <i>Triloculina trigonula</i> , <i>T. tricarinata</i> , <i>Quinqueloculina</i> sp., <i>Pyrgo</i> sp.), <i>Borelis</i> , <i>Dendritina</i> , <i>Peneroplis</i> , <i>Archaias</i> , and <i>Austrotrillina</i>	<i>Textularia</i> , <i>Haplophragmium</i> , <i>Elphidium</i> ,	برش‌های نطنز و خورآباد	آب‌های کم عمق زون یوفوتیک	رمپ داخلی نزدیک

لاگون محصور با شوری نسبتاً بالا	محیط‌های نزدیک ساحل و هایپرسالین	برش‌های نطنز و خورآباد	<i>Borelis, Dendritina, and Peneroplis</i>	فرامینیفرهای بدون منفذ با تنوع و فراوانی کم؛ عمدتاً میلیولیدها	۱۱- سندی بایوکلاست ایمپرفریت فرامینیفرا پکستون/وکستون
رمپ داخلی نزدیک	لاگون با شوری بالا	برش نطنز		استراکود (عمدتاً پلاتی کوپید) و میلیولیدها	۱۲- شیل فسیل‌دار
نزدیک ساحل تا لاجون کم عمق به سمت ساحل		برش خورآباد		دانه‌های تخریبی در اندازه ماسه تا میکروکنگلوмера	۱۳- تخریبی (سیلتسون تا میکروکنگلوмера)
محیط‌های نمکی کم عمق	در زمان قطع ارتباط دریای قم با دریا‌های باز نهشته شده است	برش خورآباد	<i>Cytherella</i> در مارن‌های ژئیس‌دار	نهشته‌های تبخیری	۱۴- تبخیری (ژئیس و مارن ژئیس‌دار)



شکل ۳. تصاویر رخساره‌های شناسایی شده در برش‌های مورد مطالعه. (a) بایوکلاست بریوزوا پکستون، (b) بایوکلاست پرفریت فرامینیفرا رودستون، (c) بریوزوا/ کورالیناسه آ پرفریت فرامینیفرا پکستون، (d) کورالیناسه آ باندستون، (e) بایوکلاست وکستون، (f) کورال باندستون، (g) سندی بایوکلاست وکستون، (h) بایوکلاست پرفریت و ایمپرفریت فرامینیفرا پکستون، (i) بایوکلاست ایمپرفریت فرامینیفرا پکستون/وکستون؛ (j) سندی بایوکلاست ایمپرفریت فرامینیفرا پکستون/وکستون، (k-l) تخریبی (سیلتسون تا میکروکنگلوмера).

۸- چینه‌نگاری سکانشی

با توجه به اطلاعات به دست آمده از مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی و بر طبق الگوهای عمیق و کم عمق شدگی رخساره‌ها سه سکانس درجه سوم در برش نطنز و پنج سکانس رسوبی درجه سوم در برش خورآباد شناسایی گردید. که توسط مرزهای سکانشی نوع ۱ و ۲ محصور شده‌اند.

برش نطنز

در برش نطنز سه سکانس درجه سوم شناسایی گردید در تمامی سکانس‌های رسوبی این برش سیستم تراکت ترازپایین سطح آب (LST) از سیستم تراکت پیشرونده قابل تفکیک نیست. سکانس‌های شناسایی شده به شرح زیر می‌باشند.

سکانس ۱: این سکانس ۹۰ متر ضخامت دارد و سن آن روپلین؟-شاتین است (محمدی، ۲۰۲۰a). مرز زیرین این سکانس با توجه به قرارگیری نهشته‌های سازند قم بر روی سنگ‌های ولکانیک ائوسن از نوع ۱ و مرز فوقانی آن به دلیل نبود شواهد خروج از آب از نوع دوم است. ۲۵ متر پایین این سکانس شامل شیل همراه با میان لایه‌هایی از سنگ‌آهک و سنگ‌آهک‌های مارنی است و ۶۵ متر باقی‌مانده این سکانس متشکل از سنگ‌آهک‌های نازک، متوسط، ضخیم لایه و توده‌ای همراه با سنگ‌آهک‌های مارنی است. بررسی توالی رخساره‌های رسوبی و سطوح چینه‌نگاری به شناسایی دسته رخساره پیشرونده (TST) با ضخامت ۶۰ متر و دسته رخساره ترازبالا (HST) با ضخامت ۳۰ متر منجر شد. گسترش رخساره‌های لاگونی (رمپ داخلی)، ویژگی بارز این سکانس محسوب می‌شود. به‌طور کلی کم‌عمق‌ترین رخساره‌ها در محدوده این سکانس مشاهده می‌شوند. رسوبات پیشرونده این سکانس از رخساره‌های لاگونی تشکیل شده است. دسته رخساره پیشرونده با رخساره شیل لاگونی (رخساره ۱۲) آغاز می‌شود و با افزایش عمق محیط رخساره‌های حاوی فرامینیفرهای بدون منفذ (رخساره‌های ۱۱ و ۱۰) و رخساره دارای حضور هم‌زمان فرامینیفرهای بدون منفذ و منفذدار (رخساره ۹) نهشته شده است. سطح حداکثر پیشروی آب دریا (mfs) دریا (۱۰) و دریا (۷) است که در رمپ داخلی دور (لاگون نیمه‌محصور) نهشته شده است. این سطح رخساره‌های

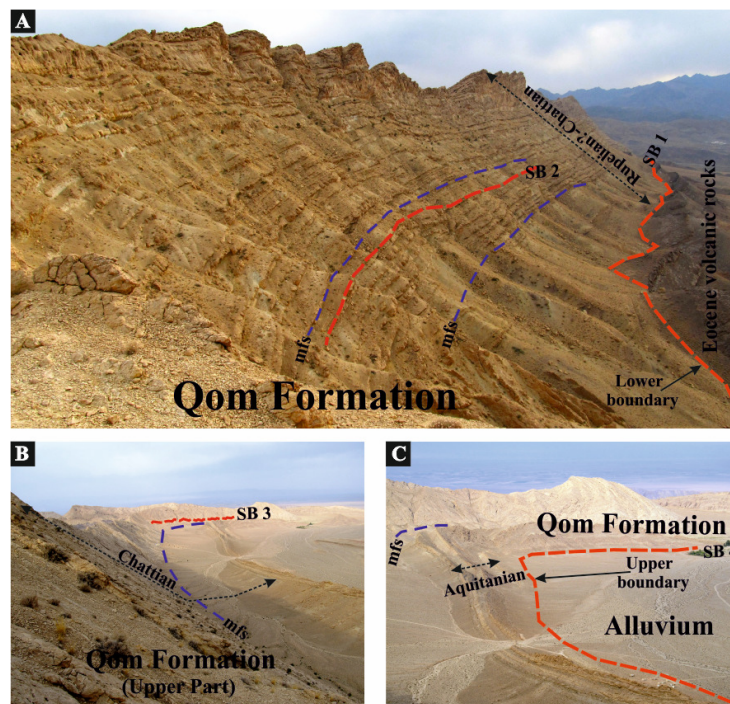
پیشرونده (TST) و ترازبالا (HST) را از هم جدا می‌کند. دسته رخساره ترازبالا، دربردارنده دسته رخساره‌های ستر شونده و کم عمق شونده (به سمت بالا) می‌باشد که در محیط رمپ داخلی تشکیل شده است. دسته رخساره‌های ترازبالا، با گذر تدریجی مجموعه رخساره‌های لاگون نیمه محصور (رخساره‌های ۷ و ۹) به لاگون محصور (رخساره ۱۰) که همراه با افزایش فرامینیفرهای بدون منفذ و ناپدید شدن فرامینفرهای منفذدار است، شناسایی شده است. این مجموعه رخساره با توجه به روند پیش‌نشینی کمربندهای رخساره‌ای به سمت دریا، نمایانگر کاهش نسبی عمق آب دریاست.

سکانس ۲: این سکانس ۱۲۰ متر ضخامت دارد. سن این سکانس نیز روپلین؟-شاتین بوده (محمدی، ۲۰۲۰a) و به لحاظ موقعیت چینه‌شناسی بر روی سکانس رسوبی ۱ قرار گرفته است. مرزهای زیرین و بالایی این سکانس با توجه به نبود شواهد خروج از آب از نوع دوم است. این سکانس عمده‌تاً متشکل از سنگ‌آهک‌های نازک، متوسط، ضخیم لایه و توده‌ای همراه با سنگ‌آهک‌های مارنی و میان لایه‌های مارنی است. سکانس ۲ از دسته رخساره‌های TST با ضخامت ۸ متر و HST با ضخامت ۱۱۲ متر تشکیل شده است. گسترش رخساره‌های لاگونی (رمپ داخلی)، ویژگی بارز این سکانس محسوب می‌شود. دسته رخساره پیشرونده با رخساره ۹ (دارای حضور هم‌زمان فرامینیفرهای بدون منفذ و منفذدار) آغاز می‌شود و با افزایش سریع عمق، مارن‌های دارای حضور هم‌زمان فرامینیفرهای بنتیک منفذدار و فرامینیفرهای پلانکتون (رخساره ۱)، که در رمپ میانی دور نهشته شده‌اند بر روی رخساره ۹ قرار می‌گیرند که نشان‌دهنده سطح حداکثر پیشروی آب دریا (mfs) در این سکانس نیز می‌باشد. سطح بیشینه گسترش آب دریا که جداکننده رسوبات پیشرونده زیرین از رسوبات پسرونده بالایی است با رخساره ۱ شناسایی شده است. بعد از سطح حداکثر پیشروی آب دریا، دسته رخساره‌های ترازبالا که نشان‌دهنده مرحله سکون نسبی آب دریاست نهشته شده است. تغییر رخساره از دریای باز به سمت لاگون محصور تشکیل بسته رسوبی ترازبالا را می‌دهد. دسته رخساره‌ای ترازبالا عمده‌تاً متشکل از تناوبی از رخساره‌های لاگون نیمه محصور و محصور (رخساره‌های ۷، ۹ و ۱۰) است. دولایه متعلق به رخساره ۳ (بایوکلاست پرفریت فرامینیفرها رودستون) نیز در دسته رخساره‌ای ترازبالا مشاهده

و دسته رخساره ترازبالا (HST) با ضخامت ۱۰۰ متر در این سکانس شناسایی شده است. گسترش رخساره‌های دریای باز (رمپ میانی)، ویژگی بارز این سکانس محسوب می‌شود و این سکانس در شرایط محیطی عمیق‌تری نسبت به دیگر سکانس‌ها نهشته شده است. دسته رخساره پیشرونده شامل رخساره ۶ (بایوکلاست و کستون) مربوط به دریای باز و رخساره‌های عمیق‌تر دریای باز (رخساره‌های ۳ و ۲) و در نهایت رخساره ۱ (به‌عنوان عمیق‌ترین رخساره) می‌باشد. سطح حداکثر پیشروی آب دریا (mfs) منطبق بر رخساره مارن فسیل‌دار (رخساره ۱؛ دارای حضور هم‌زمان فرامینفرهای بنتیک منفذدار و فرامینفرهای پلانکتون) است که در بخش پایینی رمپ میانی (رمپ میانی دور) نهشته شده است. سپس دسته رخساره‌ای ترازبالا که نشان‌دهنده مرحله سکون نسبی آب دریاست، نهشته شده است. این دسته رخساره‌ها توسط سطح حداکثر پیشروی آب دریا (mfs) از هم جدا می‌شوند.

می‌شود. آخرین لایه این دسته رخساره مربوط به رخساره ۱۰ (بایوکلاست ایمپرفریت فرامینفرا پکستون/وکستون) است.

سکانس ۳: این سکانس ۱۲۰ متر ضخامت دارد. سن ۸۵ متر پایینی این سکانس شاتین، و ۳۵ متر بالایی آن اکیتانین است (محمدی، ۲۰۲۰a). مرز زیرین این سکانس همان مرز بالایی سکانس دوم است که به دلیل نبود شواهد خروج از آب از نوع دوم است. این سکانس در زیر آبرفت‌های کواترنری قرار گرفته و بنابراین مرز بالایی آن از نوع ۱ است. این سکانس به لحاظ لیتولوژی از ۳ بخش تشکیل شده است که از پایین بسمت بالا عبارت‌اند از: حدوداً ۱۲ متر سنگ‌آهک ضخیم لایه در پایین؛ ۷۳ متر مارن‌های سبز تا سبز تیره همراه با میان لایه‌هایی از سنگ‌آهک‌های نازک و متوسط لایه؛ و ۳۵ متر سنگ‌آهک‌های متوسط و ضخیم لایه همراه با چند لایه مارنی. دسته رخساره پیشرونده (TST) با ضخامت ۲۰ متر



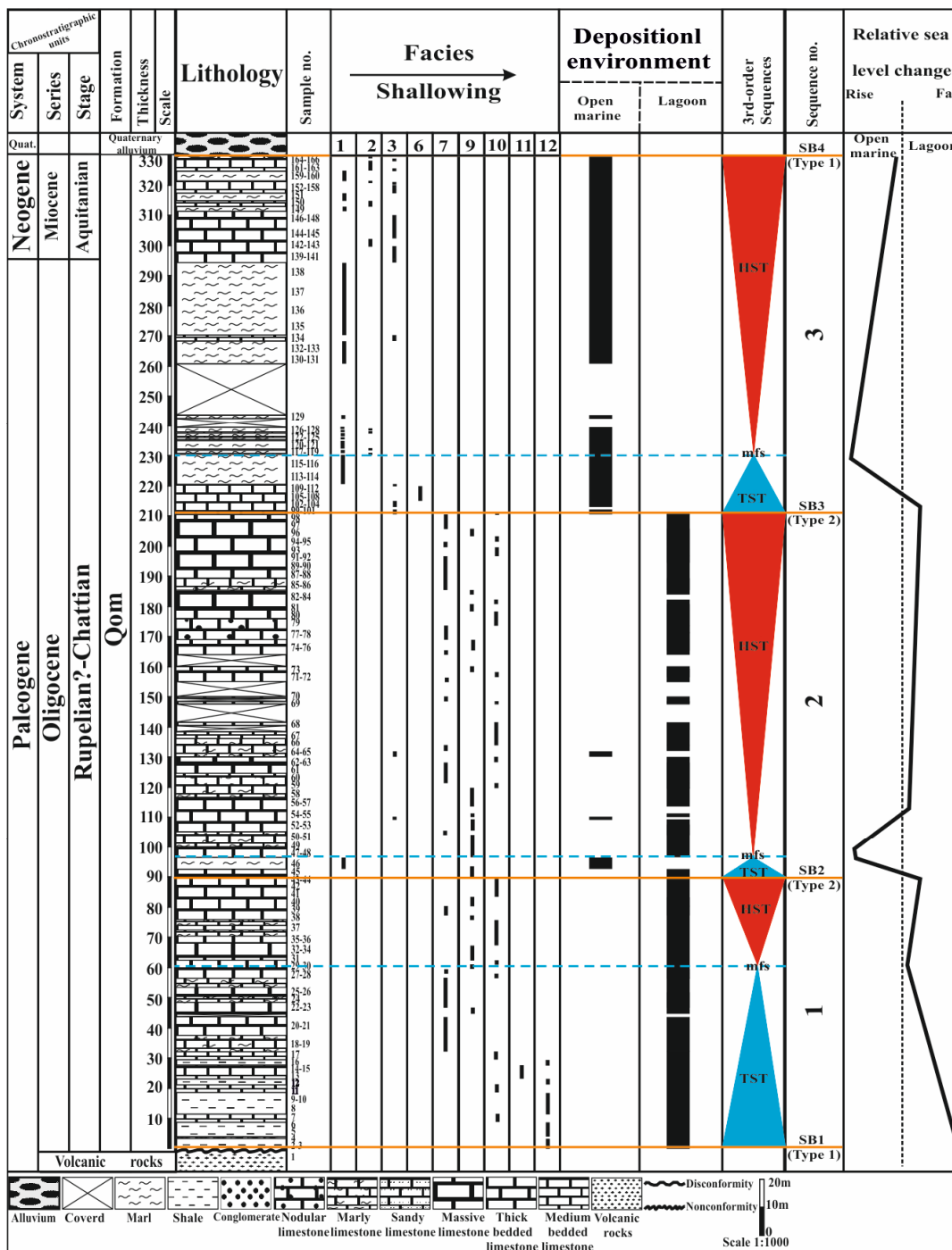
شکل ۴. تصویر صحرایی سکانس‌های شناسایی شده در برش نطنز

غالب بوده و گسترش قابل توجهی دارد به طوری که می‌توان به‌جای سطح حداکثر پیشروی آب دریا (mfs) از زون حداکثر پیشروی آب دریا (mfz) استفاده نمود. به‌عبارت‌دیگر، در بیش‌ترین گسترش شرایط دریایی، به دلیل انباشتگی رخساره ۱ (متعلق به بخش میانی رمپ

دسته رخساره‌ای ترازبالا، ابتدا دارای چیدمان افزایشنده و سپس دربردارنده پاراسکانس‌های کم‌عمق شونده در محیط رمپ میانی است. این دسته رخساره عمدتاً متشکل از تناوبی از رخساره‌های عمیق دریای باز (رخساره‌های ۱، ۲ و ۳) است. رخساره ۱ در ۶۰ متر پایینی این دسته رخساره

می‌شوند. این رخساره‌ها متعلق به رمپ میانی بوده و تکرار این رخساره‌ها روند خاصی را نشان نمی‌دهند. به‌طور کلی کمترین تغییرات رخساره‌ای در محدوده این دسته رخساره دیده می‌شود که حاکی از مرحله سکون نسبی آب دریا است.

دور)، این ضخامت از رسوبات را می‌توان به‌عنوان زون حداکثر غرق‌شدگی (mfz) در نظر گرفت. پس از آن، در ۳۵ متر پایانی دسته رخساره‌ای ترازبالا، رخساره‌های ۲ و ۳ غالب هستند که گویای شرایط پایداری سطح آب دریا می‌باشد. رخساره‌های ۱، ۲ و ۳ به‌طور تقریباً متناوب در بخش بالایی دسته رخساره‌ای ترازبالا در این سکانس تکرار



شکل ۵. توزیع عمودی رخساره‌ها و چینه‌نگاری سکانش سازند قم در برش نطنز

برش خورآباد

در برش خورآباد پنج سکانس درجه سوم شناسایی گردید در این برش علاوه بر دسته رخساره‌های پیشرونده و ترازبالا، سیستم تراکت ترازپایین سطح آب (LST) نیز (در ۲ سکانس) شناسایی شده است. سکانس‌های شناسایی شده به شرح زیر می‌باشند.

سکانس ۱: این سکانس ۹۳ متر ضخامت دارد. سن ۶۰ متر پایینی این سکانس روپلین و ۳۳ متر بالایی آن شاتین است (محمدی و همکاران، ۲۰۱۵؛ محمدی، ۲۰۲۰a). مرز زیرین این سکانس با توجه به قرارگیری نهشته‌های سازند قم بر روی سنگ‌های ولکانیک ائوسن از نوع ۱ و مرز فوقانی آن با توجه به قرار گرفتن در زیر نهشته‌های تبخیری عضو d (از اعضای فرعی ۱۱ گانه سازند قم) از نوع دوم و منطبق بر مرز الیگوسن/میوسن (شاتین/اکیتانین) است. لیتولوژی این سکانس شامل تناوب سنگ‌آهک‌های متوسط و ضخیم لایه و توده‌ای می‌باشد. بررسی توالی رخساره‌های رسوبی و سطوح چینه‌نگاری به شناسایی دسته رخساره پیشرونده (TST) با ضخامت ۴۲ متر و دسته رخساره ترازبالا (HST) با ضخامت ۵۱ متر منجر شد. گسترش رخساره‌های دریای باز (رمپ میانی)، ویژگی بارز این سکانس محسوب می‌شود و این سکانس در شرایط محیطی عمیق تری نسبت به دیگر سکانس‌ها نهشته شده است. دسته رخساره پیشرونده با رخساره کورالیناسه‌آ باندستون (رخساره ۵) مربوط به دریای باز آغاز می‌شود و با افزایش عمق محیط عمدتاً رخساره ۲ (بایوکلاست بریوزوا پکستون) به‌عنوان عمیق‌ترین رخساره و به نسبت کمتری رخساره ۴ (بریوزوا/ کورالیناسه‌آ پرفریت فرامینیفرا پکستون) نهشته شده است. سطح حداکثر پیشروی آب دریا (mfs) منطبق بر رخساره بایوکلاست بریوزوا پکستون است که در رمپ میانی دور نهشته شده است. بر روی این سطح، رخساره‌های ترازبالا (HST) قرار می‌گیرند. تغییر رخساره از دریای باز به سمت لاگون محصور تشکیل بسته رسوبی ترازبالا را می‌دهد. دسته رخساره‌های ترازبالا، از پاراسکانس‌های کم‌عمق شونده تشکیل شده است، روند پیش‌نشینی رخساره‌ها در این دسته رخساره با گذر تدریجی محیط رمپ میانی به رمپ داخلی مشخص می‌شود. دسته رخساره‌های ترازبالا در ابتدا حالت افزاینده را نشان داده و سپس حالت پیش‌نشینی^۱ را نشان می‌دهد. دسته رخساره‌های ترازبالا، با نهشته شدن

رخساره ۴ (بریوزوا/ کورالیناسه‌آ پرفریت فرامینیفرا پکستون) آغاز شده است. در ادامه، با پر شدن تدریجی فضای قابل رسوب‌گذاری^۲، نخست رخساره ۵ (کورالیناسه‌آ باندستون) و در نهایت رخساره ۱۰ (بایوکلاست ایمپرفریت فرامینیفرا پکستون/وکستون) متعلق به لاگون محصور نهشته شده است.

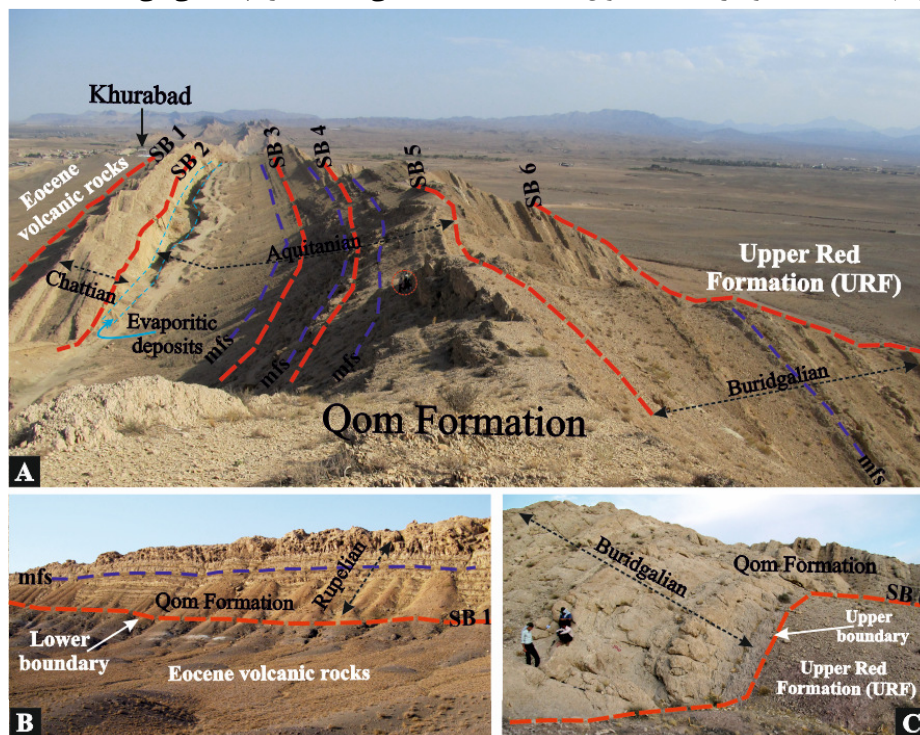
سکانس ۲: این سکانس ۶۲ متر ضخامت دارد و سن آن اکتانین است (محمدی و همکاران، ۲۰۱۵؛ محمدی، ۲۰۲۰a). مرز زیرین این سکانس منطبق بر مرز الیگوسن/میوسن (شاتین/اکیتانین) است و با توجه به حضور نهشته‌های تبخیری عضو d از نوع دوم است. مرز فوقانی آن نیز به دلیل نبود شواهد خروج از آب از نوع دوم است. ۱۰ متر پایینی این سکانس شامل نهشته تبخیری می‌باشد. به سمت بالا، ۳۵ متر تناوب سنگ‌آهک‌های مارنی و مارن سنگ‌آهکی همراه با نهشته‌های تخریبی شامل میکروکنگلومرا و ماسه‌سنگ تا سیلتستون حضور دارد. ۱۷ متر پایانی این سکانس عمدتاً شامل سنگ‌آهک‌های ضخیم لایه است. بررسی توالی رسوبی، بافت رخساره‌های رسوبی، درصد آلومک‌های اسکلتی و غیراسکلتی و سطوح چینه‌نگاری به شناسایی دسته رخساره ترازپایین سطح آب (LST) با ضخامت حدوداً ۴۰ متر، دسته رخساره پیشرونده (TST) با ضخامت ۱۴ متر و دسته رخساره ترازبالا (HST) با ضخامت ۸ متر منجر شد. به‌طور کلی کم‌عمق‌ترین رخساره‌ها در محدوده این سکانس مشاهده می‌شوند. دسته رخساره ترازپایین سطح آب (LST) با رسوب‌گذاری نهشته‌های تبخیری عضو d شروع و با نهشته‌های تخریبی شامل میکروکنگلومرا، ماسه‌سنگ تا سیلتستون دنبال می‌گردد. تغییرات ناگهانی رخساره‌های دریایی به کولابی و یا پهنه‌های کشندی و سبنا نشان‌دهنده محدود شدن حوضه است (آورجانی و همکاران، ۱۳۹۰). جلالی و همکاران (۱۳۹۵، ۱۳۹۶) معتقدند که عضو d سازند قم در ناحیه مرکزی حوضه رسوبی قم تقریباً در اکثر برش‌ها و چاه‌ها در جایگاه چینه‌ای و سنی تقریباً یکسانی وجود دارد و می‌توان از آن به‌عنوان یک شاخص چینه‌شناسی استفاده کرد. پژوهشگران قبلی، دو دیدگاه متفاوت در مورد نهشته‌های تبخیری عضو d سازند قم ارائه نموده‌اند. به‌طوری‌که ژو و همکاران (۲۰۰۷) و رویتر و همکاران (۲۰۰۹) نهشته شدن آن‌ها را به زمان پایین افتادن سطح

². Accommodation space

¹. Progradation

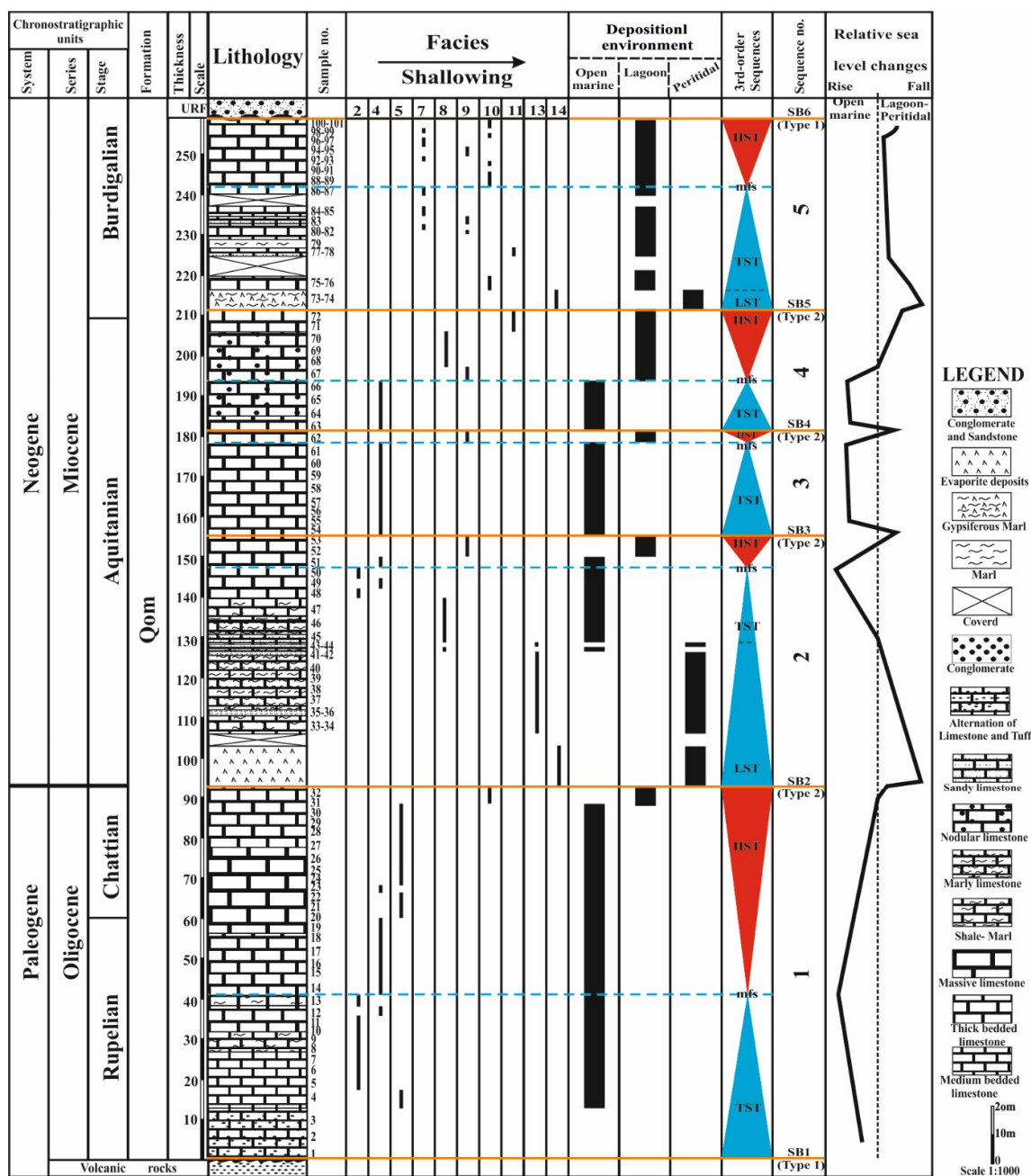
رخساره ترازپایین سطح آب (LST) در نظر گرفته شده‌اند. با بالا آمدن سریع سطح آب دریا، شرایط حاکم بر حوضه قم به شرایط دریایی نرمال تغییر کرد و دسته رخساره‌ای پیشرونده تشکیل شده است. در این دسته رخساره‌ای مقدار فرم‌های با پوسته پورسلانوز به تدریج کاهش یافته و فرم‌های با پوسته هیالین رو به افزایش هستند. دسته رخساره پیشرونده با رخساره سندی بایوکلاست و کستون (رخساره ۸)، متعلق به رمپ داخلی دور، آغاز می‌شود و با افزایش عمق محیط رخساره‌های عمیق‌تر دریای باز (رخساره‌های ۴ و ۲) ظاهر می‌شوند. سطح حداکثر پیشروی آب دریا (mfs) منطبق بر رخساره بایوکلاست بریوزوا پکستون (رخساره ۲) است که در رمپ میانی دور نهشته شده است. دسته رخساره‌ای ترازبالا، که بر روی سطح حداکثر پیشروی آب دریا (mfs) قرار می‌گیرد با رخساره بریوزوا/ کورالیناسه آ پرفریت فرامینیفرا پکستون (رخساره ۴؛ متعلق به رمپ میانی) آغاز شده و با رخساره بایوکلاست پرفریت و ایمپرفریت فرامینیفرا پکستون (رخساره ۹؛ متعلق به لاگون نیمه‌محصور) خاتمه می‌یابد. روند پیش‌نشینی رخساره‌ها در این دسته رخساره از رمپ میانی به سمت رمپ داخلی می‌باشد.

آب دریا (LST) و رسوب‌گذاری در محیط‌های خیلی کم‌عمق (زیرآب) و در زمان بسته شدن مدخل‌های دریای قم نسبت می‌دهند. جلالی و همکاران (۱۳۹۶) نیز در خصوص نهشته‌های سازند قم در برش چاه یورته شاه-۱ معتقدند که دسته رخساره ترازپایین با نهشته‌های تبخیری گچ عضو d (رخساره انیدریت) مشخص می‌شود. آن‌ها محیط تشکیل این نهشته‌های تبخیری را با توجه به وجود رخساره بایوکلاستیک و کستون- پکستون ماسه‌دار در بالای نهشته‌های گچ عضو d (مشابه برش خورآباد) به محیط سبنا نسبت داده‌اند. باین‌حال، جلالی و همکاران (۱۳۹۵) نهشته‌های تبخیری سازند قم در برش خاوری سیاه‌کوه را به دسته رخساره‌های پسروده اجباری (FRST) نسبت داده‌اند و معتقدند که با توجه به اینکه رخساره‌های بلافصل بالا و پایین این نهشته‌های تبخیری در رمپ میانی نهشته شده است، به نظر می‌رسد که محیط رسوب‌گذاری نهشته‌های تبخیری d، مربوط به محیط دریایی بسته باشد و رسوب‌گذاری نهشته‌های تبخیری طبق مکانیسم بارش از آسمان^۳ (وارن، ۲۰۰۶) صورت گرفته است. نهشته‌های تبخیری برش خورآباد در محیط‌های خیلی کم‌عمق لاگون بسمت ساحل نهشته شده‌اند و در اینجا به‌عنوان دسته



شکل ۶. تصویر صحرایی سکانس‌های شناسایی شده در برش خورآباد

³. Rain from heaven



شکل ۷. توزیع عمودی رخساره‌ها و چینه‌نگاری سکانسی سازند قم در برش خورآباد

در این سکانس شناسایی گردید. دسته رخساره پیشرونده فقط رخساره ۴ (بریوزوا/ کورالیناسه‌آ پرفریت فرامینیفرا پکستون) متعلق به دریای باز را شامل می‌گردد که رأس آن به‌عنوان سطح حداکثر پیشروی آب دریا (mfs) در نظر گرفته شده است. دسته رخساره‌ای ترازبالا نیز با کاهش عمق آب و ته‌نشینی رخساره بایوکلاست پرفریت و ایمپرفریت فرامینیفرا پکستون (رخساره ۹؛ متعلق به لاگون نیمه‌محصور) مشخص می‌گردد.

سکانس ۳: این سکانس ۲۷ متر ضخامت دارد و سن آن اکیتانین است (محمدی و همکاران، ۲۰۱۵؛ محمدی، ۲۰۲۰a). مرزهای زیرین و بالایی این سکانس به دلیل نبود شواهد خروج از آب از نوع دوم است. این سکانس شامل سنگ‌آهک‌های عمدتاً ضخیم لایه (و بعضاً نودولار) می‌باشد. دسته رخساره پیشرونده (TST) با ضخامت ۲۳/۵ متر و دسته رخساره ترازبالا (HST) با ضخامت ۳/۵ متر

ضحیم لایه می‌باشد که بخش میانی آن توسط واریزه‌ها پوشیده شده است. بررسی توالی رسوبی، بافت رخساره‌های رسوبی، درصد آلومک‌های اسکلتی و غیراسکلتی و سطوح چینه‌نگاری به شناسایی دسته رخساره‌های ترازپایین سطح آب (LST) با ضخامت ۵ متر، دسته رخساره پیشرونده (TST) با ضخامت ۲۷ متر و دسته رخساره ترازبالا (HST) با ضخامت ۱۸ متر منجر شد. گسترش رخساره‌های لاگونی (رمپ داخلی)، ویژگی بارز این سکانس محسوب می‌شود. رخساره ترازپایین سطح آب (LST) شامل نهشته‌های تبخیری (مارن‌های ژپس‌دار رخساره ۱۴) است. بخش پایینی دسته رخساره پیشرونده شامل رخساره‌های ۱۰ (بایوکلاست ایمپرفریت فرامینیفرا پکستون/وکستون)، ۱۱ (سندی بایوکلاست ایمپرفریت فرامینیفرا پکستون/وکستون) و ۹ (بایوکلاست پرفریت و ایمپرفریت فرامینیفرا پکستون) است و با عمیق‌تر شدن حوضه رخساره ۷ (باندستون مرجانی) به‌عنوان عمیق‌ترین رخساره این سکانس نهشته می‌شود. سطح حداکثر پیشروی آب دریا (mfs) نیز منطبق بر رخساره باندستون مرجانی است که در رمپ داخلی دور (لاگون نیمه‌محصور) نهشته شده است. دسته رخساره‌ای ترازبالا، که بر روی سطح حداکثر پیشروی آب دریا (mfs) قرار می‌گیرد و متشکل از رخساره‌های ریفی و لاگونی است که معرف سکون و آغاز پسروی آب دریاست. این دسته رخساره‌ای شامل تناوبی از رخساره‌های ۷ (باندستون مرجانی)، ۹ (بایوکلاست پرفریت و ایمپرفریت فرامینیفرا پکستون) و ۱۰ (بایوکلاست ایمپرفریت فرامینیفرا پکستون/وکستون) است و با رخساره ۱۰ به‌عنوان کم‌عمق‌ترین رخساره این سکانس خاتمه می‌یابد.

۹- بحث

بررسی مطالعات انجام شده بر روی چینه‌نگاری سکانسی سازند قم (بخش مطالعات پیشین)، بیانگر تفاوت‌های زیادی در تعداد و اجزای (سیستم تراکت‌های) سکانس‌ها می‌باشد. تعداد سکانس‌ها به تغییرات رخساره‌ای ناشی از نوسانات سطح دریا در طول زمان بستگی دارد و تغییر در تعداد آن‌ها در برش‌های مختلف، بیش از دیگر عوامل کنترل‌کننده محلی، به تکتونیک محلی وابسته است. تفاوت در سیستم تراکت‌ها نیز، علاوه بر وابستگی به نوع رسوبات نهشته شده در سکانس‌ها، به معیارهای مورد استفاده توسط پژوهشگران مختلف (جهت تقسیم‌بندی سکانس‌ها)،

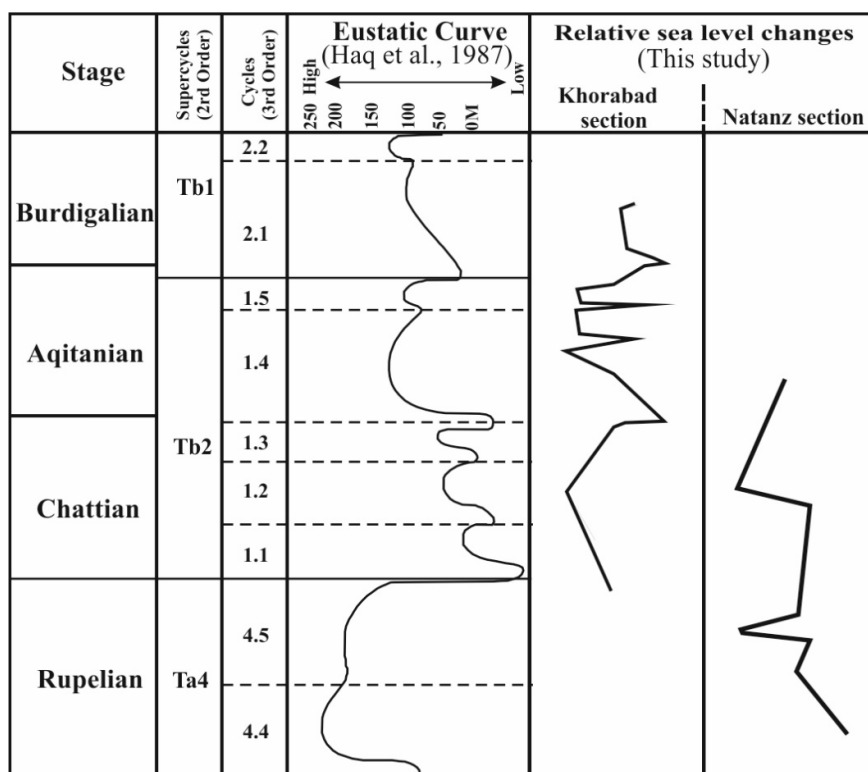
سکانس ۴: این سکانس ۲۸ متر ضخامت دارد و سن آن اکیتانین است (محمدی و همکاران، ۲۰۱۵؛ محمدی، ۲۰۲۰a). مرز زیرین این سکانس به دلیل نبود شواهد خروج از آب از نوع دوم است. مرز بالایی آن نیز با توجه به قرار گرفتن در زیر نهشته‌های تبخیری از نوع دوم و منطبق بر مرز اکیتانین/بوردیگالین است. این سکانس به لحاظ سنگ‌شناسی شامل سنگ‌آهک‌های ضخیم لایه و نودولار می‌باشد. دسته رخساره‌های پیشرونده (TST) با ضخامت ۱۲ متر و دسته رخساره ترازبالا (HST) با ضخامت ۱۶ متر در این سکانس شناسایی شده است ولی دسته رخساره ترازپایین سطح آب (LST) حضور ندارد. مشابه سکانس ۳، دسته رخساره پیشرونده فقط رخساره ۴ (بریوزوا/کورالیناسه‌آ پرفریت فرامینیفرا پکستون) متعلق به دریای باز را شامل می‌گردد. دسته رخساره‌ای ترازبالا، با گذر مجموعه رخساره‌های رمپ میانی به رمپ درونی که همراه با افزایش فرامینیفراهای بدون‌منفذ و مقدار ذرات تخریبی است، شناسایی می‌گردد. این دسته رخساره‌ای، با رخساره‌های لاگون نیمه‌محصور با انباشتگی آغاز شده و با پیش‌نشینی نهشته‌های لاگون محصور پایان می‌پذیرد. دسته رخساره‌ای ترازبالا در بخش پایینی شامل رخساره‌های ۸ (سندی بایوکلاست وکستون) و ۹ (بایوکلاست پرفریت و ایمپرفریت فرامینیفرا پکستون) است و با کاهش فضای قابل رسوب‌گذاری رخساره ۱۱ (سندی بایوکلاست ایمپرفریت فرامینیفرا پکستون/وکستون) به‌عنوان کم‌عمق‌ترین نهشته‌های این دسته رخساره حضور داشته، و پایان‌بخش این سکانس هستند. دسته رخساره‌های HST با رخساره ۸ دارای فرامینیفراهای با دیواره منفذدار و بدون‌منفذ آغاز و با رخساره ماسه‌دار (رخساره ۱۱) به پایان می‌رسد و معرف سکون و آغاز پسروی آب دریاست.

سکانس ۵: این سکانس ۵۰ متر ضخامت دارد و سن آن بوردیگالین است (محمدی و همکاران، ۲۰۱۵؛ محمدی، ۲۰۲۰a). مرز زیرین این سکانس منطبق بر مرز اکیتانین/بوردیگالین است و با توجه به حضور مارن‌های ژپس‌دار از نوع دوم است. مرز بالایی این سکانس منطبق با همبری نهشته‌های تخریبی سازند قرمز بالایی با نهشته‌های کربناته سازند قم بوده و از نوع ۱ در نظر گرفته شده است. ۱۸ متر پایینی این سکانس شامل مارن‌های ژپس‌دار، مارن و سنگ‌آهک‌های متوسط تا

غیر از سکانس ۱ که در محدوده زمانی روپلین و شاتین نهشته شده است، ۴ سکانس بعدی در محدوده زمانی اکیتانین (۳ سکانس کامل) و بوردیگالین (۱ سکانس کامل) نهشته شده‌اند. سکانس‌های برش نطنز همخوانی قابل توجهی با نوسانات جهانی سطح آب دریا ندارند. ولی در برش خورآباد محدوده مرزهای شاتین/اکیتانین و اکیتانین/بوردیگالین همخوانی خوبی با نوسانات جهانی سطح آب دریا وجود دارد، که بیانگر تأثیرپذیری رسوب‌گذاری نهشته‌های محدوده این مرزها از نوسانات جهانی سطح آب دریا است. باین‌حال تعداد بیش‌تر سکانس‌های برش خورآباد در محدوده زمانی اکیتانین (۳ سکانس) نسبت به نمودار جهانی (حق و همکاران، ۱۹۸۷) را می‌توان به عوامل محلی نسبت داد.

بستگی دارد. باین‌حال، سیستم تراکت‌های HST, TST و (به نسبت کمتری) LST در بیش‌تر مطالعات شناسایی شده است.

در شکل ۸ نمودار تغییرات سطح آب دریای الیگوسن در برش‌های مورد مطالعه با نمودار یوستاتیک جهانی در بازه زمانی مشابه (حق و همکاران، ۱۹۸۷) مقایسه شده است. مقایسه سکانس‌های شناسایی شده در برش‌های مورد مطالعه با همدیگر و با نمودار یوستاتیک جهانی بیانگر این است که در برش نطنز ۳ سکانس شناسایی شده است که همه آن‌ها، غیر از ۳۰ متر انتهایی سکانس سوم (بخش انتهایی HST آخرین سکانس) که در اکیتانین نهشته شده است، در محدوده زمانی روپلین؟-شاتین نهشته شده‌اند. ولی در برش خورآباد ۵ سکانس شناسایی شده است که



شکل ۸. مقایسه تغییرات سطح آب دریا در برش‌های نطنز و خورآباد با منحنی تغییرات جهانی سطح آب دریا (حق و همکاران، ۱۹۸۷)

با سن روپلین- بوردیگالین و ۲۶۰ متر ضخامت) منجر به شناسایی ۱۴ رخساره مختلف، مربوط به محیط‌های دریای باز (رمپ میانی)، لاگون (رمپ داخلی) و پری‌تایدال گردید. بر اساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی و بر طبق الگوهای عمیق و کم‌عمق شدگی رخساره‌ها، سه سکانس درجه سوم در برش نطنز و پنج سکانس رسوبی درجه سوم

نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی چینه‌نگاری سکانس‌های نهشته‌های الیگو-میوسن سازند قم در منطقه نطنز- قم (ایران مرکزی) نتایج زیر حاصل شد:

۱- بررسی برونزدهای سازند قم در برش‌های نطنز (با سن روپلین؟-شاتین-اکیتانین و ۳۳۰ متر ضخامت) و خورآباد

بررسی‌های سطح‌الارضی، بیست و چهارمین سمپوزیوم علوم زمین. سازمان زمین‌شناسی کشور، ص ۱۳-۱.

زاهدی، م.، عمیدی، س. م (۱۹۹۱) نقشه زمین‌شناسی کاشان، ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.

سازمان جغرافیایی کشور (۱۳۸۸) نقشه راه‌های ایران، ۱:۲۵۰۰۰۰.

سجادی‌هزاره، ف (۱۳۶۹) مطالعه پترولوژی، فسیل‌شناسی و چینه‌شناسی محدوده بین نطنز و اردستان (ایران مرکزی) پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تهران، ۱۷۸ ص.

جلالی، م.، صادقی، ع.، آدابی، م (۱۳۹۵) ریزرخساره‌ها، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند قم در برش سطحی شرق سیاه‌کوه (جنوب گرمسار). زمین‌شناسی ایران، شماره ۳۹، سال دهم، ص ۸۳-۱۰۲.

جلالی، م.، صادقی، ع.، آدابی، م (۱۳۹۶) ریزرخساره‌ها، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند قم در چاه یورته شاه-۱ و برش سطحی موره کوه (جنوب تهران). فصلنامه پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۶۶، سال سی و سوم، ص ۴۸-۲۵.

حسینی‌نژاد، س. م.، رامه، ح.، اهری‌پور، ر (۱۳۹۵) زیست چینه‌نگاری و محیط رسوبی سازند قم در برش تلن کوه، جنوب باختری سمنان. نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۴، شماره ۷، ص ۱۰۱-۱۱۶.

دانشیان، ج.، اسدی‌مهماندوستی، ا.، رضانی دانا، ل (۱۳۹۶) ریزرخساره، محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی سازند قم در برش دهنک، شمال شرق گرمسار. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، شماره ۴۱، سال یازدهم، ص ۲۳-۴۳.

دانشیان، ج.، مصدق، ح.، خلج، ح.، قاسمی، ع (۱۳۸۷) چینه‌نگاری سکانسی نهشته‌های سازند قم در ناحیه الگو (برش کوه بیچاره) در جنوب شرق قم، شمال ایران مرکزی. مجله پژوهشی علوم پایه دانشگاه اصفهان، شماره ۳۴، سال هفدهم، ص ۱۹-۵۴.

دانشیان، ج.، یعقوبی، م.، طهماسبی سروستانی، ع (۱۳۹۷) چینه‌نگاری سکانسی نهشته‌های الیگو-میوسن در یال جنوبی تاقدیس احمدی (تنگ عبدی)، جنوب شرق شیراز. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، شماره ۴۶، سال دوازدهم، ص ۹۳-۱۲۰.

رحیم‌زاده، ف (۱۳۷۳) زمین‌شناسی ایران، الیگوسن، میوسن، پلیوسن. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ص ۳۱۱.

صیرفیان، ع.، ترابی، ح.، شجاعی، م (۱۳۸۵) میکروفاسیس و محیط رسوبی سازند قم در منطقه نطنز (کوه چرخه)، مجله پژوهشی علوم پایه دانشگاه اصفهان، شماره ۲۳، ص ۱۳۵-۱۴۸.

در برش خورآباد شناسایی گردید. که توسط مرزهای سکانسی نوع ۱ و ۲ محصور شده‌اند.

۲- در برش نطنز فقط دسته رخساره‌های پیشرونده (TST) و ترازبالا (HST) شناسایی شده‌اند.

۳- در برش خورآباد، علاوه بر دسته رخساره‌های پیشرونده (TST) و ترازبالا (HST)، دسته رخساره ترازپایین سطح آب (LST) نیز شناسایی شده است.

۴- افت زیاد سطح نسبی دریا در برش خورآباد، در هنگام نهشته شدن واحدهای تبخیری و همچنین در مرز سازند قم با سازند قرمز بالایی، با افت جهانی سطح نسبی دریاها در مرزهای شاتین - اکتیانین، اکتیانین - بوردیگالین و در مرز بالایی اشکوب بوردیگالین همخوانی دارد.

۵- تغییرات سطح آب دریا در برش خورآباد در محدوده مرزهای شاتین/اکتیانین و اکتیانین/بوردیگالین همخوانی خوبی با نوسانات جهانی سطح آب دریا دارد ولی دیگر سکانس‌های موجود در برش‌ها احتمالاً متأثر از عوامل محلی باشند.

تشکر و قدردانی

از داوران مقاله صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم، نظرات و پیشنهادات سازنده آن‌ها به‌طور چشمگیری سبب ارتقاء سطح کیفی مقاله شده است. از آقایان دکتر مهدی قائدی، دکتر محمد شریفی و مهندس سعید لطیفیان که نویسنده را در مطالعات صحرائی یاری نموده‌اند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

آقاباتی، ع (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ص ۵۸۶.

آورجانی ش.، محبوبی، ا.، موسوی‌حرمی، ر (۱۳۹۰) ریزرخساره، محیط‌های رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی رسوبات الیگو-میوسن (سازند آسماری) در میدان نفتی کویال، فروفادگی دزفول مرکزی. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، شماره ۱۹، سال پنجم، ص ۴۵-۶۰.

امامی، م (۱۹۹۱) نقشه زمین‌شناسی قم، ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.

ایمن‌دوست آ.، امینی، ع (۱۳۸۴) چینه‌شناسی سکانسی سازند قم در مقطع شوراب با نگرشی بر پارامترهای موثر در تشخیص سطوح اصلی سکانسی و سیستم ترک‌ها در

- Catuneanu, O (2006) Principles of Sequence Stratigraphy: New York, Elsevier, 386 p.
- Catuneanu, O., Abreu, V., Bhattacharya, J. P., Blum, M. D., Dalrymple, R. W., Eriksson, P. G., Fielding, C. R., Fisher, W. L., Galloway, W. E., Gibling, M. R., Giles, K. A., Holbrook, J. M., Jordan, R., Kendall, C. G. St. C., Macurda, B., Martinsen, O. J., Miall, A. D., Neal, J. E., Nummedal, D., Pomar, L., Posamentier, H. W., Pratt, B. R., Sarg, J. F., Shanley, K. W., Steel, R. J., Strasser, A., Tucker, M. E., Winker, C (2009) Towards the standardization of sequence stratigraphy. *Earth-Science Reviews*, 92: 1-33.
- Catuneanu, O., Bhattacharya, J. P. Blum, M. D. Dalrymple, R. W. Eriksson, P. G. Fielding, C. R. Fisher, W. L. Galloway, W. E. Gianolla, P. Gibling, M. R. Giles, K. A. Holbrook, J. M. Jordan, R. Kendall, C. G. S. C. Macurda, B. Martinsen, O. J. Miall, A. D. Neal, J. E. Nummedal, D. Pomar, L. Posamentier, H. W. Pratt, B. R. Shanley, K. W. Steel, R. J. Strasser, A. and Tucker, M. E (2010) Sequence stratigraphy: common ground after three decades of development, *Stratigraphy*, 28: 21-33.
- Catuneanu, O., Galloway, W. E., Kendall, C. G. S. C., Miall, A. D., Posamentier, H. W., Strasser, A. and Tucker, M. E. (2011) Sequence Stratigraphy: Methodology and Nomenclature. *News of Stratigraphy*, 44: 173-245.
- Emery, D., and Myers, K. J (1996) Sequence Stratigraphy. Blackwell Science, Oxford. 297 pp.
- Ehrenberg, S. N., Pickard, N. A. H., Laursen, G. V., Monibi, S., Mossadegh, Z. K., Svana, T. A., Aqrawi, A. A. M., McArthur, J. M., Thirlwall, M. F (2007) Strontium Isotope Stratigraphy of the Asmari Formation (Oligocene - Lower Miocene), SW Iran. *Jornal of Petroleum Geology*, 30: 107-128.
- Handford, C. R. and Loucks, R. G (1993) Carbonate depositional sequences and systems tracts-responses of carbonate platforms to relative sea level changes, in Loucks, R.G., and Sarg, J.F. (eds.), Carbonate sequence stratigraphy – Recent developments and applications: AAPG Memoir, 57: 3-41.
- Haq, B. U., Hardenbol, J., Vail, P. R (1987) Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, 235: 1156-1167.
- Haq. B. U., Al-Qahtani, A. M (2005) Phanerozoic cycles of sea-level change on the Arabian Platform, *GeoArabia*, 10: 127-160.
- Hardenbol, J., Thierry, J., Farley, M. B., Jacquin, T., de Graciansky, P. C., Vail, P (1998) Mesozoic and Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European basins, in: Graciansky, P. C., Hardenbol, J., Jacquin, T., Vail, P. (eds) Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy کاروان، م.، محبوبی، ا.، وزیری مقدم، ح.، موسوی حرمی، ر (۱۳۹۳) رخساره‌های رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی نهشته‌های سازند قم در شمال خاوری دلیجان - شمال باختری ایران مرکزی. نشره علوم زمین، شماره ۹۴، سال بیست و چهارم، ص ۲۳۷-۲۴۸.
- محمدی، ا.، رحمانی، ع (۱۳۹۷) مطالعه مروری سیستم نفتی و پتانسیل هیدروکربوری سازند قم (الیگو-میوسن). چهارمین همایش انجمن رسوب‌شناسی ایران، ص ۷-۱.
- محمدی، ا.، عامری، ح (۱۳۹۵) ریزرخساره‌ها و مدل رسوبگذاری سازند قم در ناحیه خورآباد (جنوب شرقی قم). پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۲۸، سال هفتم، ص ۳۷-۵۸.
- محمدی، ا.، عامری، ح.، قائدی، م.، وزیری، م. ر.، داستانبور، م.، صادقی، ر (۱۳۹۴) زیست‌چینه‌نگاری، ریزرخساره‌ها و مدل رسوبگذاری سازند قم در شمال شرق نطنز (جنوب شرقی حوضه پس کمان قم). نشریه دیرینه شناسی، شماره ۶، سال سوم، ص ۲۴-۱.
- محمدی، ا.، وزیری، م. ر.، داستانبور، م (۱۳۹۳) بررسی ریزرخساره ها و بازسازی محیط رسوبگذاری سازند قم در ناحیه سیرجان، جنوب غرب کرمان. مجله پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۵۵، سال سی‌ام، ص ۳۵-۵۴.
- مغفوری مقدم، ا.، نصیری، ی.، فروزنده، س. خ.، صحرايي، م.، روزبیکر، ا (۱۳۹۵) ریزرخساره‌ها، محیط‌رسوبی و چینه‌نگاری سکانسی نهشته‌های میوسن در برش هفت چشمه، شمال خاوری نورآباد، پهنه سندنجد سیرجان. نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۴، شماره ۸، ص ۵۶-۷۳.
- مهیاد م.، صفری، ا.، وزیری مقدم ح.، صیرفیان، ع (۱۳۹۷) بازسازی شرایط محیط‌رسوبی دیرینه و شناسایی سکانس‌های رسوبی موجود در سازند قم بر اساس میکروفاسیس‌ها در ناحیه کهک (جنوب غرب قم). مجله زمین‌شناسی نفت ایران، ۱۵، سال هشتم، ص ۳۲-۴۸.
- Abaie, IL., Ansari, H. J., Badakhshan, A., Jaafari, A (1964) History and development of the Alborz and Sarajeh fields of Central Iran. *Bulletin of Iranian Petroleum Institute*, 15: 561-574.
- Adams, T. D., Bourgeois, F (1967) Asmari biostratigraphy: geological and exploration, IOOC Report, no. 1074 (unpublished).
- Amirshahkarami, M., Karavan, M (2014) Microfacies models and sequence stratigraphic architecture of the Oligocene-Miocene Qom Formation, south of Qom City, Iran. *Geoscience Frontiers*, 6: 593-604.
- Catuneanu, O (2002) Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls. *Journal of African Earth Sciences*, 35: 1-43.

- Formation in Barzok area, SW Kashan, Iran. *Carbonates and Evaporites*, 34: 1293–1306.
- Mohammadi, E., Safari, A., Vaziri-Moghaddam, H., Vaziri, M. R., Ghaedi, M (2011) Microfacies analysis and paleoenvironmental interpretation of the Qom Formation, south of the Kashan, Central Iran. *Carbonates and Evaporites*, 26: 255–271.
- Mohammadi, E., Vaziri, M. R., Dastanpour, M (2015) Biostratigraphy of the Nummulitids and Lepidocyclinids bearing Qom Formation based on Larger Benthic Foraminifera (Sanandaj–Sirjan fore-arc basin and Central Iran back-arc basin, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 8: 403–423.
- Morley, C. K., Kongwung, B., Julapour, A. A., Abdolghafourian, M., Hajian, M., Waples, D., Warren, J., Otterdoom, H., Srisuriyon, K., Kazemi, H (2009) Structural development of a major late Cenozoic basin and transpressional belt in central Iran: the Central Basin in the Qom-Saveh are. *Geosphere*, 4: 325–362.
- Nikfard, M., H., Vaziri-Moghaddam, Seyrafian, A., Behdad, A., Shabafrooz, R (2020) A review of the Oligo–Miocene larger benthic foraminifera in the Zagros basin, Iran; New insights into biozonation and palaeogeographical maps. *Revue de Micropaleontology*,
- Reuter, M., Piller, W. E., Harzhauser, M., Mandic, O., Berning, B., Rogl, F., Kroh, A., Aubry, M. P., Wielandt-Schuster, U., Hamedani, A (2009) The Oligo-/Miocene Qom Formation (Iran): evidence for an early Burdigalian restriction of Tethyan Seaway and closure of its Iranian gateways. *International Journal of Earth Sciences*, 98: 627–650.
- Seyrafian, A., Torabi, H (2005) Petrofacies and sequence stratigraphy of the Qom Formation (Late Oligocene- Early Miocene?), north of Nain, Southern trend of the Central Iranian Basian. *Carbonates and Evaporites*, 20: 82–90.
- Simmons, M. D., Sharland, P. R., Casey, D. M., Davies, R. B., and Sutcliffe, OE (2007) Arabian Plate sequence stratigraphy: Potential implications for global chronostratigraphy. *Geo Arabia*, 12: 101–13.
- Van Buchem, F. S. P., Allan, T. L., Laursen, G. V., Lotfipour, M., Moallemi, A., Monibi, S., Motiei, H., Pickard, N. A. H., Tahmasbi, A. R., Vedrenne, V., Vincent, B (2010) Regional stratigraphic architecture and reservoir types of the Oligo-Miocene deposits in the Dezful Embayment (Asmari and Pabdeh Formations) SW Iran. *Geological Society of London Special Publication*, 329: 219–263.
- Vaziri-Moghaddam, H., Torabi, H (2004) Biofacies and sequence stratigraphy of the Oligocene succession, Central basin, Iran. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie- Abhandlungen*, Stuttgart, 6: 321–344.
- of European Basins: *SEPM, Spec. Publ*, 60: 3–14.
- Heydari, E., Hassanzadeh, J., Wade, W. J., Ghazi, A. M (2003) Permian–Triassic boundary interval in the Abadeh section of Iran with implications for mass extinction. Part 1 sedimentology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193: 405–423.
- Hunt, D., Tucker, M. E (1992) Stranded parasequences and the forced regressive wedge systems tract: deposition during base-level fall. *Sedimentary Geology*, 81: 1–9.
- Hunt, D., Tucker, M. E (1995) Stranded parasequences and the forced regressive wedge systems tract: deposition during base-level fall-reply. *Sedimentary Geology*, 95: 147–160.
- Loftus, W. K (1855) On the geology of portions of the Turko-Persian frontier, and of the districts adjoining. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 11: 247–344.
- Laursen, G. V., Monibi, S., Allan, T. L., Pickard, N. A. H., Hosseiney, A., Vincent, B., Hamon, Y., van Buchem, F. S. P. V., Moallemi, A., Druillion, G (2009) The Asmari Formation revisited: changed stratigraphic allocation and new biozonation. In: Shiraz-first international petroleum conference and exhibition, 4–6.
- Mohammadi, E (2020a) Sedimentary Facies and Depositional Environments of the Oligocene-Early Miocene Marine Qom Formation, Central Iran Back-Arc Basin, Iran (Northeastern Margin of the Tethyan Seaway). *Carbonates and Evaporites* 35. <https://doi.org/10.1007/s13146-020-00553-0>
- Mohammadi, E (2020b) Sedimentary facies and paleoenvironmental interpretation of the Oligocene larger-benthic-foraminifera-dominated Qom Formation in the northeastern margin of the Tethyan Seaway. *Palaeoworld*, 1–37.
- Mohammadi, E., Ameri, H (2015) Biotic components and biostratigraphy of the Qom Formation in northern Abadeh, Sanandaj–Sirjan fore-arc basin, Iran (northeastern margin of the Tethyan Seaway). *Arabian Journal of Geosciences*, 8: 10789–10802.
- Mohammadi, E., Hasanzadeh-Dastgerdi, M., Ghaedi, M., Dehghan, R., Safari, A., Vaziri-Moghaddam, H., Baizidi, C., Vaziri, M. R., Sfidari, E (2013) The Tethyan Seaway Iranian Plate Oligo-Miocene deposits (the Qom Formation): distribution of Rupelian (Early Oligocene) and evaporate deposits as evidences for timing and trending of opening and closure of the Tethyan Seaway. *Carbonates and Evaporites*, 28: 321–345.
- Mohammadi, E., Hasanzadeh-Dastgerdi, Safari, A., Vaziri-Moghaddam, H (2019) Microfacies and depositional environments of the Qom

- Warren, J. K (2006) *Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons*: Berlin, Springer, 1036.
- Xu, G., Zhang, S., Li, Z., Song, L., Liu, H (2007) Carbonate sequence stratigraphy of a back-arc basin: a case study of the Qom formation in the Kashan Area, Central Iran. *Acta Geologica Sinica (English edition)*, 81:488–500.
- Wynd, J (1965) *Biofacies of the Iranian consortium agreement area: Iranian Oil Offshore Company Report 1082* (unpublished).