

سنگ چینه نگاری، ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی سازند قم در برش کانسار سلسنتین مادآباد، جنوب زنجان

مهسا نوری^۱، افشین زهدی^{۲*}، حسین کوهستانی^۲، قاسم نباتیان^۲، میرعلی اصغر مختاری^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

*پست الکترونیک: afshin.zohdi@znu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۲۹

تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۱۹

چکیده

نهشته‌های سازند قم در محدوده کانسار سلسنتین مادآباد (جنوب زنجان) با ۱۹۰ متر ضخامت از نظر سنگ‌شناسی عمدتاً شامل سنگ آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه و توده‌ای به همراه سنگ آهک مارنی می‌باشد. در این منطقه، سازند قم به طور هم‌شیب بر روی رسوبات تخریبی متعلق به سازند قرمز زیرین قرار گرفته و به طور هم‌شیب توسط سازند قرمز بالایی پوشیده می‌شود. اجزای اصلی تشکیل دهنده سازند قم شامل روزن‌داران کف‌زی با دیواره هیالین و روشن، قطعات مرجان، جلبک قرمز و به میزان کم‌تر، روزن‌داران پلانکتون می‌باشد. نتایج بررسی‌های صحرایی و مطالعات میکروسکوپی به شناسایی پنج ریزرخساره در واحدهای سنگ آهکی سازند قم در منطقه مادآباد منجر گردید. تجزیه و تحلیل ریزرخساره‌ها و حضور فراوان روزن‌داران کف‌زی با دیواره هیالین و نبود ریزرخساره متعلق به لاگون‌های محصور، بیانگر این است که سازند قم در برش مادآباد عمدتاً در محیط دریای باز رسوب‌گذاری کرده است. پراکندگی روزن‌داران و دیگر اجزای اسکلتی و همچنین تغییرات عمودی ریزرخساره‌ها نشان می‌دهد که مدل رخساره‌ای سازند قم در برش موردنظر متعلق به بخش‌های انتهایی شلف داخلی تا شلف میانی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: چینه‌شناسی؛ ریزرخساره؛ محیط رسوبی؛ سازند قم؛ مادآباد؛ زنجان.

مقدمه

زمین‌شناسی انجام شده است. همچنین با کشف ذخایر قابل ملاحظه هیدروکربوری در سازند قم، علاقه به مطالعه دیرینه‌شناسی، چینه‌شناسی و تکتونیک این سازند فسیلی بیشتر شد (Schuster & Wielandt, 1999; Reuter *et al.*, 2009; Amirshahkarami & Karavan, 2015). میادین نفت (تاق‌دیس البرز) و گاز (تاق‌دیس سراج) حوضه قم سبب شده که این سازند به عنوان تنها مخزن هیدروکربنی موجود در حوضه رسوبی ایران مرکزی در نظر گرفته شود. علاوه بر این، سازند قم میزبان مناسبی برای برخی از

سازند قم معرف آخرین پیش‌روی دریا در ایران مرکزی بوده و به طور کلی مجموعه‌ای از رخساره‌های آواری، تبخیری و آهکی - مارنی را در بر می‌گیرد که از دیرباز مورد توجه زمین‌شناسان ایرانی و خارجی بوده و مطالعات متعددی (Bozorgnia, 1966; Okhravi & Amini, 1998; Reuter *et al.*, 1999; Schuster & Wielandt, 2009; Mohammadi *et al.*, 2012; Seddighi *et al.*, 2013; Daneshian & Mohammadi *et al.*, 2015; Ramezani Dana, 2018) بر روی آن از جنبه‌های مختلف

اهمیت زیادی برخوردار است. به همین دلیل، یک برش چینه شناسی مناسب از این سازند در محدوده کانسار سلسنتین مادآباد در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری جنوب زنجان و ۲۲ کیلومتری باختر قیدار با موقعیت جغرافیایی $48^{\circ} 29' 15''$ طول شرقی و $36^{\circ} 7' 32''$ عرض شمالی، انتخاب و مورد مطالعه دقیق چینه شناسی و رسوب شناسی قرار گرفت. لازم به ذکر است با توجه به هدف اصلی این پژوهش که آنالیز ریزرخساره‌ها، شرایط حاکم بر رسوب گذاری آن‌ها و ارائه مدل رسوبی سازند قم در برش منطقه مادآباد می‌باشد، لذا به مطالعات دقیق زیست‌چینه‌نگاری پرداخته نشده و تنها با توجه به مطالعات فسیل شناسی پیشین سن سازند قم در منطقه مورد مطالعه مشخص شده است.

روش مطالعه

پس از مطالعات صحرایی و با استفاده از نقشه‌های زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سلطانی - خدابنده (علوی نائینی، ۱۳۷۲) و حلب (شهیدی و بهار فیروزی، ۱۳۸۰)، یک برش چینه شناسی مناسب از نهشته‌های میوسن پیشین سازند قم در محدوده کانسار مادآباد به ضخامت ۱۹۰ متر انتخاب گردید. طی مطالعات صحرایی و نمونه برداری؛ ضخامت، رنگ، سنگ شناسی، مرز بین لایه‌ها و اندازه ذرات آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته و تعداد ۷۳ نمونه از کربنات‌های سازند قم برداشت شد. ویژگی‌های فسیل شناسی، سنگ شناسی و ریزرخساره‌های نمونه‌ها، پس از رنگ آمیزی توسط محلول آلزارین قرمز (Dickson, 1966) در مقاطع نازک میکروسکپی مورد مطالعه قرار گرفت. نام گذاری سنگ‌های کربناته بر اساس تقسیم بندی‌هایی نظیر Dunham (1962) و Embry & Kloven (1971) بوده است. در تفسیر ریزرخساره‌ها و تعیین محیط رسوبی نیز از روش Flugel (2010) استفاده گردید. همچنین تعیین درصد تخلخل ریزرخساره‌ها با استفاده از

کانه‌زایی‌های فلزی در ایران به شمار می‌آید (نوری و همکاران، ۱۳۹۵). منطقه مورد مطالعه سازند قم در خاور شوراب واقع در ۲۰ کیلومتری جنوب خاوری قم در ۶ واحد سنگ چینه نگاری معرفی شده است (Furrer & Soder, 1955). این ۶ واحد شامل عضو a دربرگیرنده سنگ آهک قاعده‌ای، عضو b حاوی مارن‌های ماسه‌ای، عضو c تناوب مارن و سنگ آهک، عضو d تبخیری‌ها، عضو e مارن‌های سبز و عضو f سنگ آهک‌های رسی می‌باشد. به باور Bozorgnia (1966) علاوه بر عضوهای فوق، در ناحیه کاشان می‌توان عضو قدیمی‌تری را به سازند قم اضافه کرد که او عضو بی‌نام را پیشنهاد کرده است. وی همچنین دو سیکل رسوبی را با یک پیش‌روی از سمت جنوب مشخص کرده است. با توجه به مطالعات زیست‌چینه نگاری صورت گرفته بر روی کربنات‌های سازند قم، رسوب گذاری این سازند در الیگوسن آغاز و تا میوسن پیشین تداوم داشته است (Daneshian & Ramezani, 2007). لازم به توضیح است که در مطالعات جامعی که توسط Mohammadi et al. (2013) بر روی بیش از ۱۰۰ برش چینه شناسی (که تا آن زمان توسط محققان قبلی مورد مطالعه قرار گرفته بود) از سازند قم در سرتاسر گستره جغرافیایی این سازند انجام شد، مشخص گردید که در عرض‌های جغرافیایی بالاتر از ۳۵ درجه شمالی (بالاتر از شهر ساوه) رسوب گذاری سازند قم از زمان میوسن پیشین آغاز شده است. همچنین با توجه به مطالعات پیشین و بر اساس جامعه فسیلی، سن سازند قم در منطقه مادآباد در استان زنجان، میوسن پیشین مشخص شده است (پورمحمدی، ۱۳۹۲؛ عالی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵؛ عالی‌پور، ۱۳۹۶) که احتمالاً با بایوزون شماره ۲ و ۳ (Adams & Burgeois, 1967) قابل مقایسه است. از این رو، پی بردن به شرایط رسوبی این سازند به دلیل داشتن خصوصیات مخزنی مناسب و میزبانی نهشته‌های معدنی از

رنگ خاکستری تا خاکستری متمایل به کرم با ضخامت ۳۰ متر می‌باشد و حاوی قطعات فراوان مرجان است.

واحد ۳) شامل سنگ آهک ضخیم لایه به رنگ خاکستری با میان لایه‌هایی از سنگ آهک مارنی فرسایش یافته به ضخامت ۳۰ متر است. این واحد حاوی خرده‌های فسیلی نظیر جلبک قرمز می‌باشد.

واحد ۴) این واحد از سنگ آهک مارنی نازک لایه خاکستری رنگ به ضخامت ۲/۵ متر تشکیل شده است و فاقد فسیل می‌باشد.

واحد ۵) این واحد شامل سنگ آهک‌های ضخیم لایه خاکستری رنگ با میان لایه‌هایی از سنگ آهک مارنی فرسایش یافته به ضخامت ۳۰ متر است که خرده‌های فسیلی نظیر خارپوستان در آن یافت می‌شود.

واحد ۶) این واحد در برگیرنده سنگ آهک مارنی نازک لایه خاکستری رنگ به ضخامت ۲/۵ متر است و فاقد فسیل قابل تشخیص در صحرا می‌باشد.

واحد ۷) این واحد از سنگ آهک‌های ضخیم لایه تا توده‌ای خاکستری رنگ با میان لایه‌هایی از سنگ آهک مارنی فرسایش یافته به ضخامت ۷۰ متر است که خرده‌های فسیلی نظیر روزن‌داران کفزی با دیواره هیالین و روشن در آن یافت می‌شود.

این توالی سنگی توسط نهشته‌های ماسه سنگی سازند قرمز بالایی پوشیده شده است. توالی چینه شناسی سازند قم در برش کانسار مادآباد در شکل ۳ نشان داده شده است.

ریزرخساره‌های سازند قم در منطقه مادآباد

بر اساس مشاهدات صحرائی و بررسی مقاطع میکروسکوپی، پنج ریزرخساره برای نهشته‌های سنگ آهکی سازند قم در منطقه مادآباد قابل شناسایی است (جدول ۱).

نمودارهای مقایسه چشمی^۱ انجام شد (Baccelle & Bosellini, 1965).

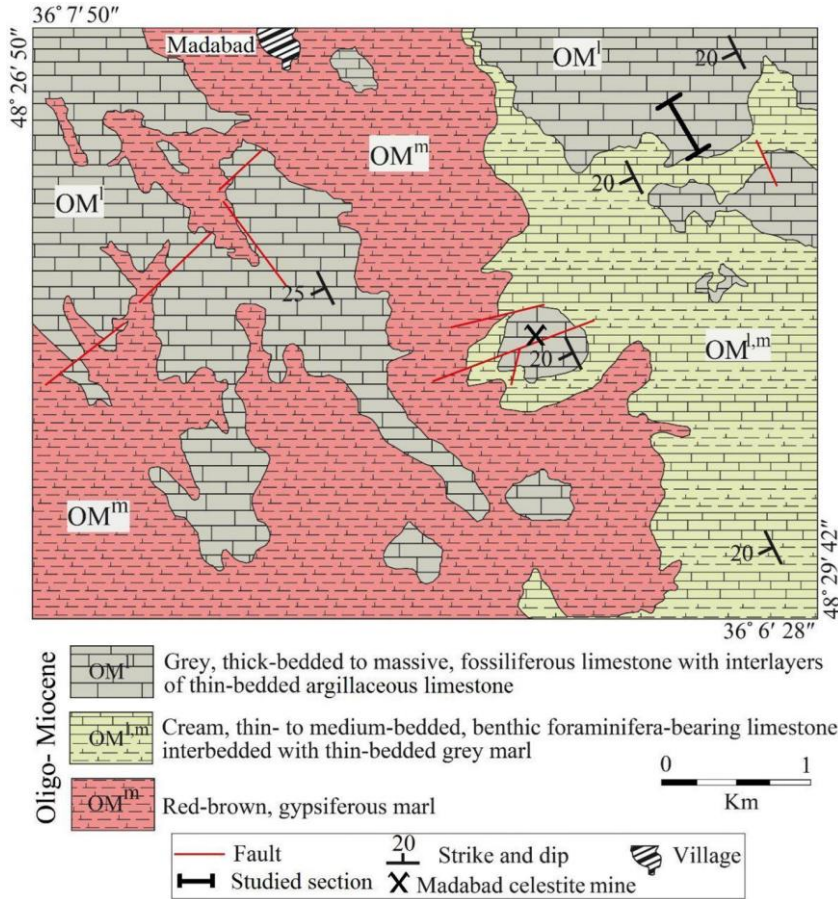
زمین شناسی و چینه شناسی برش مورد مطالعه

در تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری ایران (آقنابتی، ۱۳۸۳) منطقه مادآباد در پهنه ایران مرکزی واقع شده و بخشی از ورقه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سلطانیه - خدابنده (علوی نائینی، ۱۳۷۲) و حلب (شهیدی و بهار فیروزی، ۱۳۸۰) می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی، واحدهای سنگی موجود در این منطقه شامل واحدهای شیلی و سنگ آهک‌های کرتاسه، واحدهای توفی و گدازه‌های اتوسن (معدل سازند کرج)، واحدهای آواری سازند قرمز زیرین، واحدهای سنگ آهک مارنی و سنگ آهک‌های فسیل‌دار سازند قم و واحدهای ماسه سنگی و مارنی سازند قرمز بالایی است.

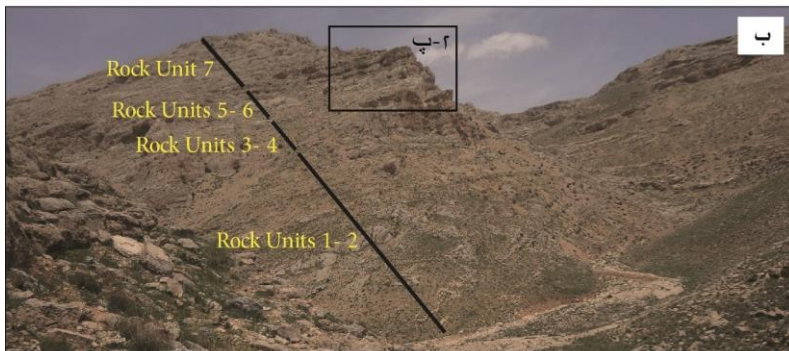
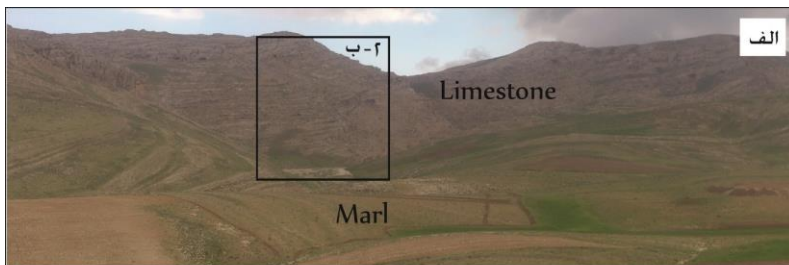
بر اساس برداشت‌های صحرائی انجام شده در قالب تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ (شکل ۱)، سازند قم در برش کانسار مادآباد عمدتاً از سنگ‌های آهکی متوسط تا ضخیم لایه و توده‌ای با میان لایه‌های سنگ آهک مارنی و نهایتاً مارن تشکیل شده است (شکل ۲ و ۳). در این پژوهش، حدود ۱۹۰ متر از این سازند اندازه‌گیری و برداشت گردید که تغییرات سنگ شناسی آن از قاعده به بالا به صورت زیر می‌باشد:

واحد ۱) بر روی نهشته‌های کنگلومرای قرمز سازند قرمز زیرین قرار گرفته و عمدتاً شامل تناوبی از سنگ آهک‌های نازک تا متوسط لایه کرم رنگ و سنگ آهک رسی نازک لایه خاکستری رنگ است. این واحد در مجموع ۲۵ متر ضخامت داشته و عمدتاً حاوی روزن‌داران کفزی با دیواره هیالین و روشن نظیر *Eulepidina* می‌باشد. واحد ۲) این واحد شامل سنگ آهک ضخیم لایه به

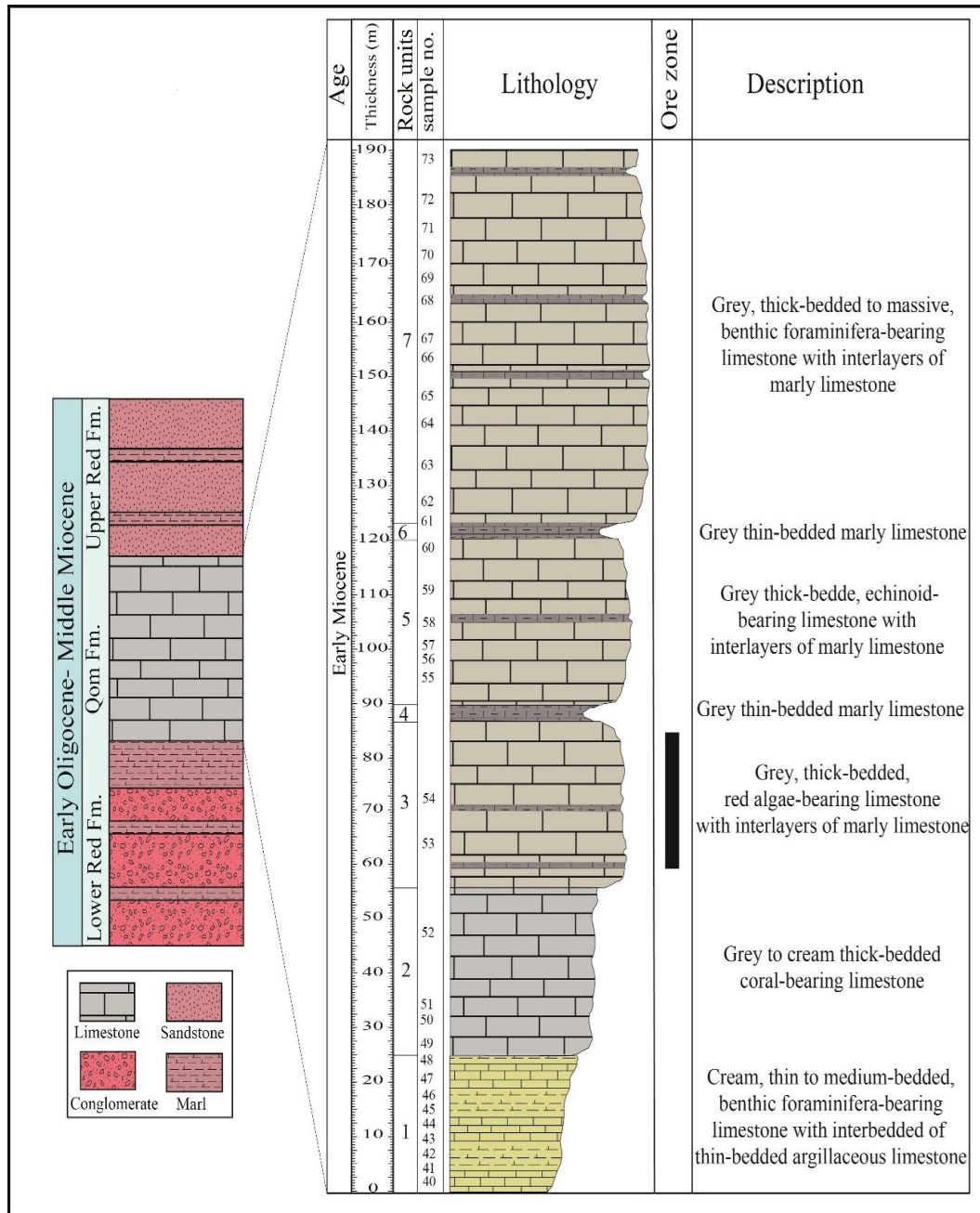
1- Methods of frequency analysis



شکل ۱: نقشه زمین شناسی مقیاس ۱:۵۰۰۰ منطقه مادآباد



شکل ۲: الف) نمایی از تناوب لایه‌های سنگ آهکی و مارنی سازند قم در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت شمال-باختر)، ب) نمایی از واحدهای سنگی سازند قم در برش کانسار مادآباد (دید به سمت شمال باختر)، پ) نمایی نزدیکتر از واحدهای ۵ و ۶ سازند قم در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳: ستون چینه شناسی سازند قم در بُرش کانسار مادآباد

مطالعه است. در برخی از بخش های این ریزرخساره، فسیل مرجان با چشم غیرمسلح قابل رؤیت است (شکل ۴ الف). چارچوب اسکلتی اصلی این ریزرخساره را خرده های درشت مرجان و جلبک قرمز با فراوانی (به ترتیب) ۱۸٪ و ۱۲٪ تشکیل می دهند. روزن داران کفزی با دیواره هیالین، قطعات نرم تنان، خرده های خارپوستان و دوکفه ای نیز در مجموع با فراوانی ۱۶٪ حضور دارند. تخلخل در این

این ریزرخساره ها از بخش های کم عمق تر حوضه رسوبی سازند قم به سمت بخش های عمیق تر آن بدین شرح می باشند:

A) پکستون حاوی مرجان و جلبک قرمز

توصیف: این ریزرخساره در صحرا به صورت سنگ آهک های ضخیم لایه و خاکستری رنگ دیده می شود و متعلق به بخش های قاعده ای توالی سازند قم در منطقه مورد

روزن‌داران مهم موجود در این ریزرخساره می‌توان به حضور روزن‌داران کف‌زی بزرگ با دیواره هیالین نظیر *Eulepidina* و *Miogypsina* اشاره کرد.

ریزرخساره حدود ۱٪ است. این دانه‌ها در زمینه‌ای میکرایتی با ذرات کوچک‌تر از ۲۰ میکرون به صورت به هم چسبیده (پکستون) قرار گرفته‌اند (شکل ۵ الف). از

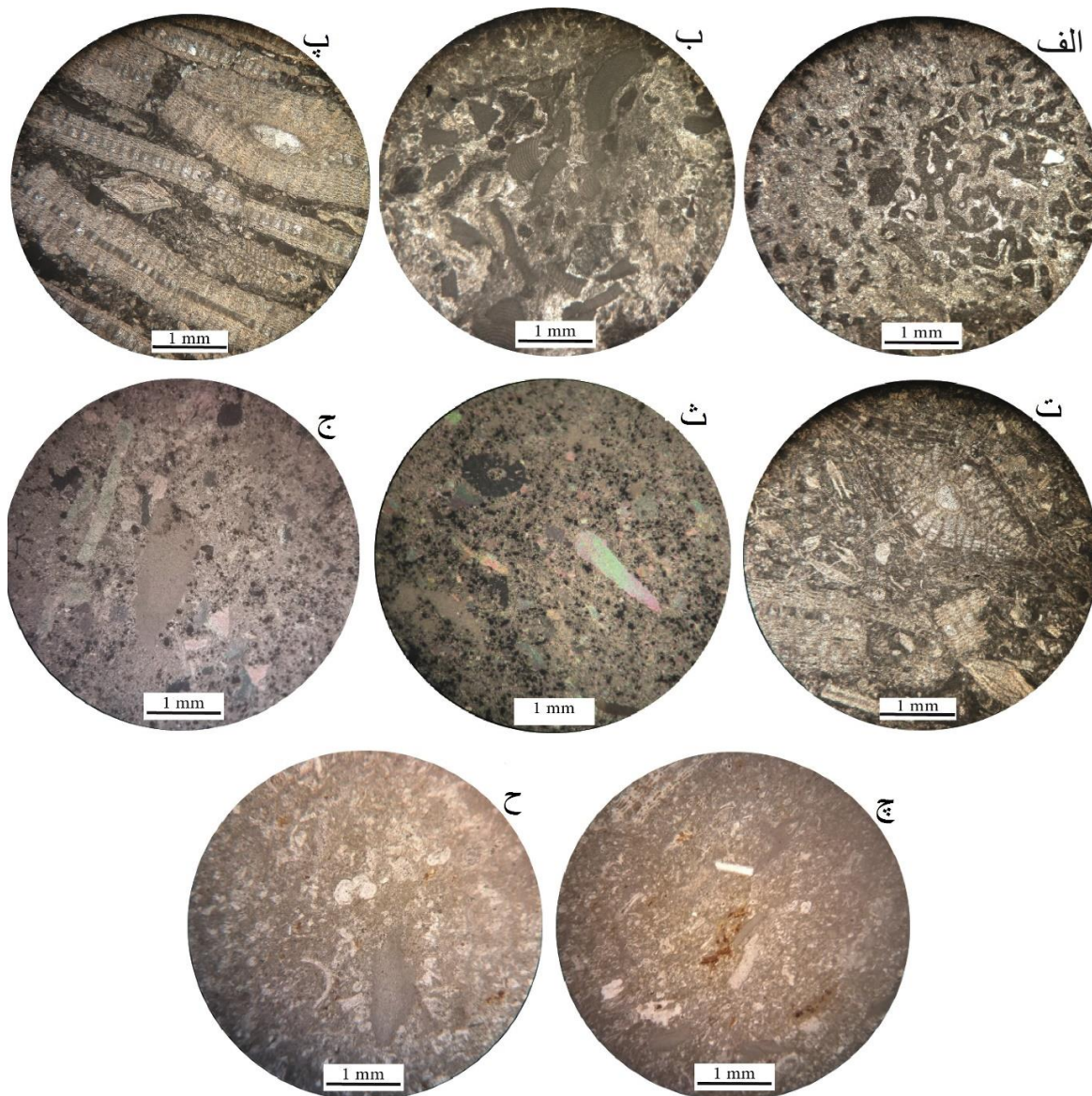
جدول ۱: ریزرخساره‌های شناسایی شده در واحد f سازند قم در برش کانسار مادآباد، جنوب زنجان

Microfacies	Faceis	Main Lithology	Main Allochems	Minor Allochems	Sedimentary Environment
A	Red algae coral packstone	Limestone	Coral (%18), red algae (%12)	Benthic foraminifera (%7), echinoderms (%3), bivalves (%6)	Distal inner shelf
B	Red algae bioclast packstone to wackestone	Limestone and argillaceous limestone	Red algae (%20)	Benthic foraminifera (%8) corals (%5), bivalves (%4), echinoderms (%4), bryozoans (%2), ostracods (%2)	Proximal middle shelf
C	Perforate Benthic foraminifera packstone to wackestone	Limestone	Benthic foraminifera (%26)	Red algae (%9) echinoderms (%6), ostracods (%3)	Proximal middle shelf
D	Red algae echinoderm wackestone	Limestone	Echinoderms (%18), red algae (%14)	Benthic foraminifera (%3), bivalves (%3), ostracods (%1)	Proximal middle shelf
E	Planktonic foraminifera red algae bioclast wackestone	Limestone	Red algae (%10), planktonic foraminifera (%7)	Benthic foraminifera (%7), bivalves (%10), echinoderms (%6), bryozoans (%3), ostracods (%2)	Distal middle shelf



شکل ۴: الف) مرجان‌های مربوط به ریف کومه‌ای در منطقه مورد مطالعه که با چشم غیرمسلح قابل رؤیت می‌باشد (نمونه ۵۶ متعلق به متر ۹۸ متری از قاعده سازند)؛ ب) محل برداشت نمونه ۴۲ از سنگ آهک‌های ضخیم‌لایه مربوط به ریزرخساره C (پکستون - وکستون حاوی روزن‌داران کف‌زی منفذدار) و پ) بُرش عرضی از نمونه ۴۲ مربوط به ریزرخساره C (پکستون - وکستون حاوی روزن‌داران کف‌زی منفذدار) که فراوانی لپیدوسیکلینده‌های کشیده (*Eulepidina*) در آن به وضوح قابل مشاهده است.





شکل ۵: تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL) از ریزرخساره‌های شناسایی شده در سازند قم در بُرش کانسار مادآباد (الف) پکستون حاوی مرجان و جلبک قرمز (نمونه ۵۶)؛ ب) پکستون - وکستون حاوی بایوکلست جلبک قرمز (نمونه ۵۴)؛ پ - ت) پکستون - وکستون حاوی روزن‌داران کفزی منفردار (نمونه‌های ۴۳ و ۴۴)؛ ث - ج) وکستون حاوی خارپوست و جلبک قرمز (نمونه‌های ۴۹ و ۵۰)؛ چ - ح) وکستون حاوی بایوکلست جلبک قرمز و روزن‌داران پلانکتون (نمونه‌های ۶۷ و ۶۹)

اجزای اسکلتی نظیر جلبک قرمز بیانگر محیطی با نور کافی و انرژی نسبتاً زیاد است (Wilson, 1975). همچنین این تجمع و همراهی نشان از یک محیط دریای باز تحت شوری نرمال دریایی با چرخش آزاد آب و انرژی متوسط محیط رسوب گذاری دارد (Amirshahkarami, 2008). با توجه به گردشگی محدود دانه‌ها (Vaziri Moghaddam

تفسیر: مرجان‌ها در آب‌های روشن و گرم رشد می‌کنند، با این وجود در بخش‌های دیگر پهنه نوری نیز قادر به زندگی بوده، اما توانایی تشکیل ریف‌های سدی و پیوسته را ندارند. فراوانی جلبک قرمز، موقعیت جلوی ریف، شلف‌ها و پشته‌های نواحی گرمسیری را نشان می‌دهد (Okhravi & Amini, 1998؛ Pomar, 2001) حضور مرجان در کنار

رسوب گذاری نهشته‌های کربناته نظیر سنگ آهک‌های منطقه مادآباد می‌باشند، حائز اهمیت هستند. روزن‌داران با دیواره هیالین از قبیل *Eulepidina* و *Miogypsina*، بیانگر آب‌های دریایی با شوری نرمال می‌باشند (Geel, 2000). همچنین، حضور این روزن‌داران کفزی گویای محیط دریایی کم عمق (عمق کم‌تر از ۵۰ متر)، گرم، دارای نور مناسب، شرایط آرام رسوبی و شوری نرمال دریایی است (Geel, 2000). حضور روزن‌داران هیالین بزرگ، پهن و کشیده به همراه جلبک قرمز در این ریزرخساره بیانگر شرایط دریایی باز (Brandano et al., 2017؛ Habibi & Ruban, 2017) و نشانگر تشکیل آن‌ها در شرایط شلف میانی است (Vennin et al., 2003). خردشدگی دانه‌ها، تأثیر شرایط موقت نسبتاً پرانرژی را برای این ریزرخساره نشان می‌دهد که احتمالاً در بالای خط اثر امواج تشکیل شده‌اند (Flugel, 2010). بنابراین، با توجه به حضور روزن‌داران کفزی بزرگ و همراهی آن‌ها با جلبک‌های قرمز *Corallinacea* و همچنین نبود ریف‌های مرجانی پیوسته، این رخساره را می‌توان به بخش‌های کم عمق دریای باز و زیرمحیط شلف میانی پلاتفرم کربناته سازند قم در زمان میوسن پیشین در منطقه مادآباد نسبت داد. نظیر چنین رخساره‌ای توسط حسینی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵) برای نهشته کربناته سازند قم در زمان میوسن واقع در جنوب باختر سمنان معرفی و شناسایی شده است.

C) پکستون - وکستون حاوی روزن‌داران کفزی منفردار
توصیف این ریزرخساره در صحرا بیشتر به صورت سنگ آهک‌های نازک تا متوسط لایه کرم رنگ و سنگ آهک رسی نازک لایه خاکستری رنگ مشاهده می‌شود. ریزرخساره وکستون - پکستون مربوط به بخش‌های قاعده‌ای توالی سازند قم در منطقه مادآباد است که حاوی قطعات فسیلی درشت نظیر روزن‌داران کفزی با دیواره

(et al., 2010) که بیانگر جابه‌جایی آن‌ها به سمت دریای باز است و همچنین وجود قطعات جلبک قرمز و مرجان مشتق شده از ریف کومه‌ای، این ریزرخساره را می‌توان به بخش کم عمق دریای باز در بالای خط اثر امواج نسبت داد.

B) پکستون - وکستون حاوی بایوکلیست و جلبک قرمز
توصیف: این ریزرخساره که در کل توالی سازند قم در منطقه مورد مطالعه قابل شناسایی می‌باشد، در مشاهدات صحرایی عمدتاً در داخل سنگ آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه با میان لایه‌هایی از سنگ آهک مارنی تشکیل شده است. ذرات اصلی تشکیل دهنده این ریزرخساره شامل جلبک قرمز *Corallinacea* با فراوانی حدود ۲۰٪ می‌باشد که در زمینه‌ای از گل کربناته و به صورت بافت گل پشٹیبان (وکستون) تا دانه پشٹیبان (پکستون) قرار گرفته‌اند (شکل ۵ ب). بافت وکستون در برخی نمونه‌ها غالب است. روزن‌داران کفزی سالم و خردشده (عمدتاً از خانواده *Lepidocyclinid* و *Myogypsinid* با فراوانی ۸٪)، خرده‌های مرجان، قطعات نرم‌تان و بریوزوآ نیز در مجموع با فراوانی حدود ۱۷٪ و به صورت پراکنده در زمینه سنگ وجود دارند. در برخی از نمونه‌ها، فضای بین دانه‌های اصلی توسط خرده‌های دوکفه‌ای پر شده است. تخلخل در این ریزرخساره ناچیز و در حدود ۱٪ است.

ذرات تخریبی نظیر کوارتز در اندازه سیلت و در حدود ۱٪ - ۲٪ درصد در برخی نمونه‌های مربوط به این ریزرخساره قابل شناسایی است. انحلال، نئومورفیسم و تشکیل استیلولیت از مهم‌ترین پدیده‌های دیاژنتیکی در این ریزرخساره هستند. همچنین برخی از دانه‌ها، آهن دار شده و اکسید آهن بر روی آن‌ها مشاهده می‌شود.

تفسیر: ریزرخساره شناسایی شده در برش مورد مطالعه به دلیل حضور قابل توجه جلبک قرمز و روزن‌داران کفزی بزرگ که هر دو از عوامل اصلی در تفسیر و ارائه الگو

هیالین (از جمله *Eulepidina*) می‌باشد. اندازه این فسیل‌ها گاه تا حدود ۷ سانتی‌متر نیز می‌رسد و در مشاهدات صحرائی با چشم غیر مسلح قابل رؤیت هستند (شکل ۴ ب - پ و شکل ۵ پ - ت). ریزرخساره مذکور عمدتاً از روزن‌داران کفزی منفذدار با فراوانی ۲۶٪ تشکیل شده است. روزن‌داران کفزی با دیواره هیالین و روشن در این ریزرخساره عمدتاً از لپیدوسیکیلینده‌ها (*Eulepidina Nephrolepidina* و *elephantina dilatata*) و *Amphistegina tournoueri* می‌باشند. از دیگر آلوکم‌های این ریزرخساره می‌توان به جلبک قرمز، مرجان، قطعات نرم‌تنان، خارپوستان، بریوزوآ و استراکد با فراوانی ۱۸٪ اشاره کرد. این خرده‌های فسیلی در زمینه‌ای میکرایتی متشکل از ذرات کوچک‌تر از ۲۰ میکرون به صورت شناور (بافت و کستون) و یا متصل به هم (بافت پکستون) قرار گرفته‌اند و تخلخل آن در حدود ۶٪ است. همچنین بافت این ریزرخساره بر اساس تقسیم‌بندی Embry & Kloven (1971)، به صورت رودستون - فلوستون می‌باشد. در برخی از نمونه‌ها، خردشدگی در جلبک قرمز و روزن‌داران مشاهده می‌شود.

(D) وکستون حاوی خارپوستان و جلبک قرمز
توصیف: این ریزرخساره در صحرا عمدتاً در داخل سنگ آهک‌های ضخیم لایه به رنگ خاکستری تا خاکستری متمایل به کرم واقع در بخش‌های زیرین توالی مورد مطالعه از سازند قم قرار گرفته است. ذرات اسکلتی اصلی این ریزرخساره خارپوستان و جلبک قرمز با فراوانی (به ترتیب) ۱۸٪ و ۱۴٪ می‌باشند. سایر اجزای زیستی شامل جلبک قرمز، روزن‌داران کفزی با دیواره هیالین و روشن، قطعات نرم‌تنان، استراکد و خرده‌های دوکفه‌ای با فراوانی ۷٪ هستند که در زمینه‌ای از ذرات کوچک‌تر از ۲۰ میکرون به صورت شناور و بافت و کستون قرار گرفته‌اند (شکل ۵ ث - ج). تخلخل در این ریزرخساره حدود ۵٪ و از نوع قالبی است. از مشخصات بارز این ریزرخساره حضور دانه‌های زیستی از جمله خارپوستان با پوشش میکرایتی است.

تفسیر: حضور روزن‌داران بزرگ با پوسته هیالین نظیر لپیدوسیکیلینده‌های کشیده و دارای هم‌زیست جلبکی بیانگر محیط با شوری نرمال اقیانوسی و نهشته شدن در قسمت‌های پایینی پهنه نوری می‌باشد (Hottinger, 1983; Romero et al., 2002; Pomar, 2001; Leuttenger, 1984; Adams & Bourgeois, 1966; Bozorgnia, 2002). حضور *Eulepidina* بدون *Nummulites* را از رسوبات میوسن پیشین بخش‌های مختلف ایران مرکزی گزارش کرده‌اند. لپیدوسیکیلینده‌های بزرگ و پهن بر روی بسترهای نرم و سخت دریا در شوری نرمال اقیانوسی زندگی می‌کنند (Geel, 2000). حضور جلبک قرمز همراه روزن‌داران منفذدار بزرگ و دارای هم‌زیست (مانند

تفسیر: فراوانی خارپوستان در این ریزرخساره دلالت بر شوری نرمال آب دریا (Geel, 2000) و مؤید بخش کم عمق شلف میانی و یا بخش جلوی شلف داخلی است (Pedly, 1998; Flugel, 2010). پوشش میکرایتی اطراف

Miogypsina و *Eulepidina*, *Amphistegina* تشکیل شده‌اند.

تفسیر: روزن‌داران پلانکتون شاخص آب‌های دریای باز هستند (Geel, 2000؛ Sadeghi *et al.*, 2009) و فراوانی آن‌ها به سمت حوضه افزایش می‌یابد (Geel, 2000). فراوانی جلبک قرمز و روزن‌داران کفزی بزرگ مؤید شرایط الیگوفوتیک و شلف میانی می‌باشد (Brandano & Corda, 2002). حضور فراوان و هم‌زمان روزن‌داران کفزی بزرگ و پلانکتون نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در بخش‌های عمیق‌تر (Hottinger 1983, 1997؛ Romero *et al.*, 2002؛ Vaziri؛ Barattolo *et al.*, 2007؛ Moghaddam *et al.*, 2010) و فراوانی خانواده میوژپسینیده مربوط به بخش‌های کم‌عمق‌تر شلف میانی است (Geel, 2000). بر این اساس، محیط رسوبی مربوط به این ریزرخساره حد واسط بین محیط تشکیل دو نوع از روزن‌داران کفزی و پلانکتون بوده و می‌توان آن را به شرایط متوسط تا کم انرژی دریای باز نسبت داد. در نتیجه با توجه به فراوانی و تجمع انواع دانه‌های اسکلتی شناسایی شده در این ریزرخساره که شامل روزن‌داران پلانکتون و روزن‌داران کفزی درشت از نوع *Amphistegina* و *Miogypsina* می‌باشد، محیط رسوبی آن را می‌توان نواحی عمیق‌تر تا کم‌عمق‌تر شلف میانی در نظر گرفت.

محیط رسوبی

اجتماع زیستی، میزان انباشتگی و پراکندگی ریزرخساره‌ها در تعیین نوع پلاتفرم‌های کربناته مؤثر هستند (Brandano *et al.*, 2009). اجتماع دانه‌های کربناته سازند قم در برش کانسار مادآباد عمدتاً از روزن‌داران کفزی بزرگ با دیواره هیالین و روشن تشکیل شده و همراهی آن‌ها با جلبک‌های قرمز *Corallinacea* نیز به فراوانی در داخل ریزرخساره‌ها مشاهده می‌گردد (شکل ۶). در این برش،

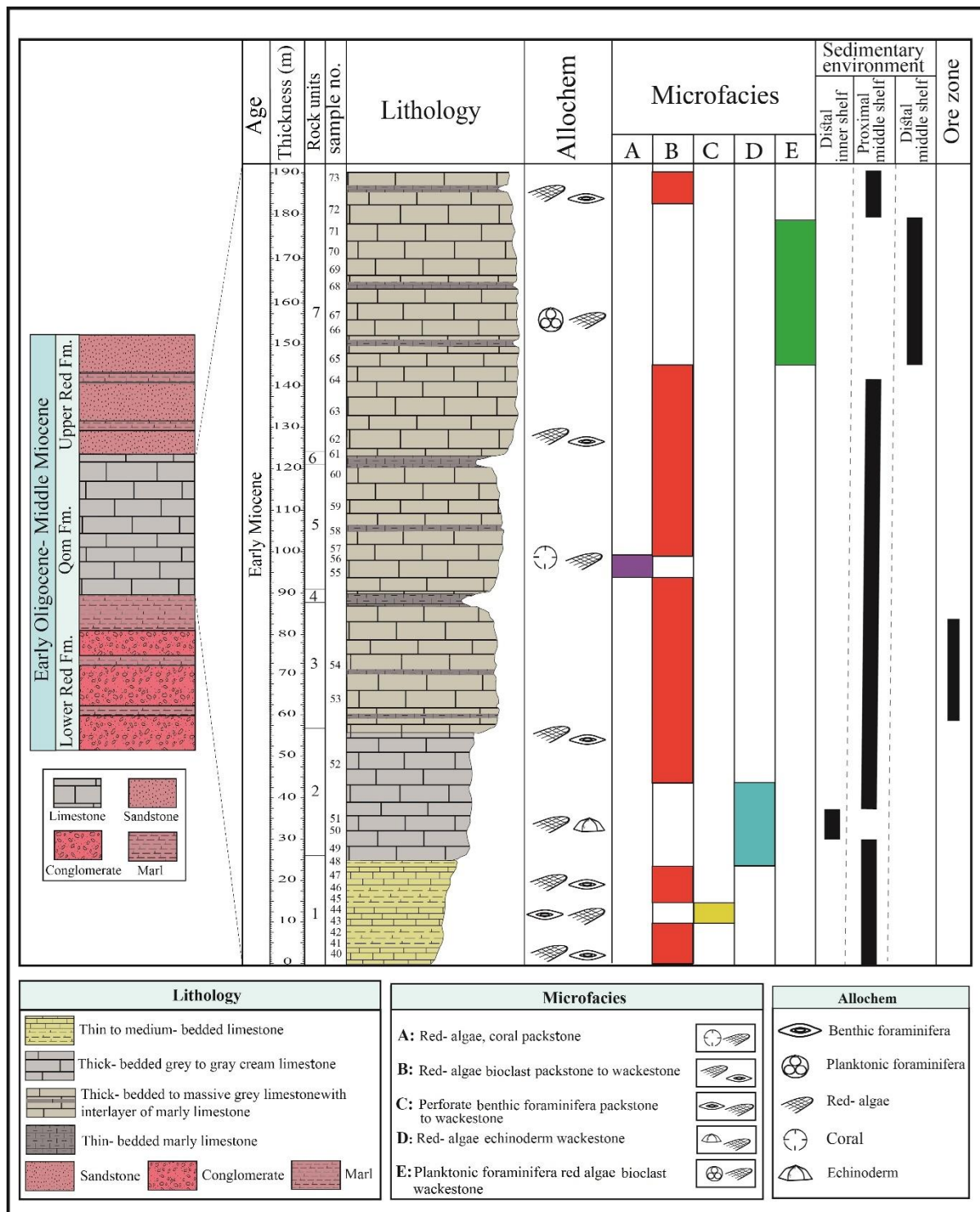
دانه‌ها بیانگر تشکیل این ریزرخساره در منطقه وابسته به نور (پهنه فوتیک) است. بنابراین، نوع آلوکم‌های غالب و بافت شناسایی شده در این ریزرخساره حاکی از رسوب‌گذاری آن در محیط‌های دریایی کم‌عمق‌تر دریای باز با شوری نرمال است. حضور جلبک قرمز به میزان قابل ملاحظه و با فراوانی در حدود ۱۴٪ در این ریزرخساره همراه با قطعات خارپوستان می‌تواند بیانگر ته‌نشست این ریزرخساره در بخش دریای باز (شلف میانی) و در بخش‌های جلوی رخشاره‌های سدی باشد. همچنین، حضور روزن‌داران کفزی به همراه خرده‌های دوکفه‌ای و خارپوست، بیانگر رسوب‌گذاری ریزرخساره موردنظر در مجاورت رخشاره پکستون - وکستون حاوی جلبک قرمز در زیرمحیط متعلق به شلف میانی در زمان میوسن پیشین می‌باشد (Flugel, 2010).

(E) وکستون حاوی بایوکست جلبک قرمز و روزن‌داران پلانکتون

توصیف: سنگ آهک در برگیرنده این ریزرخساره، ضخیم تا توده‌ای به‌رنگ خاکستری بوده و در بخش‌های فوقانی توالی سازند قم در منطقه مورد مطالعه قرار دارد. دانه‌های اصلی تشکیل‌دهنده این ریزرخساره را جلبک قرمز با فراوانی ۱۰٪ و روزن‌داران پلانکتون با فراوانی ۷٪ تشکیل می‌دهند. روزن‌داران کفزی با دیواره هیالین و روشن، قطعات نرم‌تان، خارپوستان، بریوزوآ و استراکد از دیگر دانه‌های این ریزرخساره به‌شمار می‌آیند که در مجموع ۲۸٪ از آن را تشکیل می‌دهند. همه این اجزا در زمینه‌ای از گل کربناته قرار گرفته‌اند، به طوری که بافت سنگ وکستون و تخلخل آن حدود ۵٪ است (شکل ۵ چ - ح). از ویژگی‌های بارز این ریزرخساره حضور هم‌زمان روزن‌داران کفزی بزرگ و روزن‌داران پلانکتون می‌باشد. روزن‌داران کفزی این ریزرخساره عمدتاً از

ریزرخساره‌های معرفی شده یک ابزار با ارزش برای تعیین نوع زیرمحیط رسوبی و ارائه مدل رسوبی برای نهشته‌های کربناته سازند قم در جنوب زنجان می‌باشد.

حضور مرجان، قطعات خارپوستان و روزن‌داران پلانکتون همراه با دیگر آلوکم‌های اسکلتی نیز قابل توجه است. اجتماع و پراکندگی این مجموعه غنی فسیلی در



شکل ۶: نمودار پراکندگی عمودی ریزرخساره‌های سازند قم در منطقه مادآباد (جنوب زنجان)

بر اساس توزیع روزن‌داران کف‌زی و دیگر آلوکم‌های اسکلتی شناسایی شده، دو زیرمحیط رسوبی برای سازند قم در منطقه مادآباد (جنوب زنجان) تشخیص داده شد (شکل ۷). این زیرمحیط‌های رسوبی از بخش کم‌عمق‌تر به سمت مناطق عمیق‌تر شامل بخش‌های انتهایی شلف داخلی^۳ و شلف میانی^۴ می‌باشند. در نمونه‌های مطالعه شده، رخساره‌های مربوط به نواحی شلف خارجی^۵ که مشخصه آن‌ها حضور قابل ملاحظه روزن‌داران پلانکتون می‌باشد، مشاهده و شناسایی نشده است. لازم به توضیح است که نظیر چنین پلاتفرم کربناته‌ای در زمان میوسن توسط محققین مختلف در دیگر قسمت‌های شمالی و جنوبی اقیانوس تیس (Pomar & Ward, 1999؛ Mohammadi et al., 2011؛ Salocchi et al., 2017) به طوری که در همین ارتباط، محمدی و همکاران (۱۳۹۳) بر اساس شواهد صحرایی (نظیر تنوع و فراوانی مرجان‌ها و همچنین پیوسته بودن مرجان‌ها در مسافت‌های طولانی) و نوع ریزرخساره‌های شناسایی شده، سازند قم در منطقه سیرجان را به یک پلاتفرم کربناته از نوع شلف لبه‌دار نسبت داده‌اند.

در ناحیه مورد مطالعه با توجه به نوع بافت رسوبی و آلوکم‌های اسکلتی غالب، ریزرخساره پکستون حاوی مرجان و جلبک قرمز (ریزرخساره A)، احتمالاً در بخش‌های انتهایی شلف داخلی، ریزرخساره‌های دربرگیرنده جلبک قرمز، روزن‌داران کف‌زی با دیواره هیالین و قطعات خارپوستان (ریزرخساره‌های B تا D) در بخش‌های ابتدایی شلف میانی و ریزرخساره وکستون حاوی بایوکست روزن‌داران جلبک قرمز و پلانکتون در بخش انتهایی شلف میانی برجای گذاشته شده‌اند. به طور کلی می‌توان بیان کرد که تنوع بالای آلوکم‌های اسکلتی در ریزرخساره‌های

حضور قابل ملاحظه روزن‌داران کف‌زی با دیواره هیالین و روشن همراه با روزن‌داران پلانکتون در ریزرخساره‌های شناسایی شده و نبود ریزرخساره‌های متعلق به محیط‌های ساحلی و لاگون‌های محصور، بیانگر محیط رسوبی دریای باز با شوری نرمال دریایی در حین رسوب‌گذاری نهشته‌های کربناته سازند قم در بخش‌های جنوب زنجان می‌باشد. در این برش، فابریک فنسترال، استروماتولیت، پیزوئید و ذرات آواری کوارتز که بیانگر محیط‌های جزر و مدی هستند، شناسایی و معرفی نشدند که خود گواهی بر یک محیط دریایی باز در حین رسوب‌گذاری سازند قم می‌باشد. لازم به توضیح است که ریزرخساره‌های سازند قم در بخش‌های غربی‌تر محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، واقع در بخش‌های جنوب غرب زنجان (روستاهای قمچقای و دهشیر)، حاکی از ریفی بودن سازند کربناته قم می‌باشند. در این مناطق که در فاصله حدود ۳۰ کیلومتری منطقه مورد مطالعه در این تحقیق قرار دارد، حضور ریف‌های پیوسته و واقعی قابل تعقیب در صحرا با ضخامت زیاد و همچنین تغییرات سریع ریزرخساره‌ها و سنگ‌شناسی، دلیل محکمی بر وجود ریف‌های پیوسته (سدهای ریفی) برای کربنات‌های سازند قم می‌باشد (پورمحمدی، ۱۳۹۲؛ عالی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵؛ عالی‌پور، ۱۳۹۶؛ ربانی و زهدی، ۱۳۹۶). بنابراین، حوضه رسوبی سازند قم در منطقه مورد مطالعه در این تحقیق را با توجه به نوع ریزرخساره‌های شناسایی شده می‌توان ادامه بخش‌های عمیق‌تر دریا (عمدتاً بخش‌های شلف میانی) و مربوط به بخش‌های جلوی ریف و به سمت دریای باز در نظر گرفت. حضور غالب میکرایت و مقادیر کم سیمان در اکثر ریزرخساره‌ها نیز بیانگر یک محیط رسوبی کم انرژی و در زیر خط اثر امواج دریا در حالت طوفانی در زمان رسوب‌گذاری کربنات‌های سازند قم در منطقه مادآباد می‌باشد.

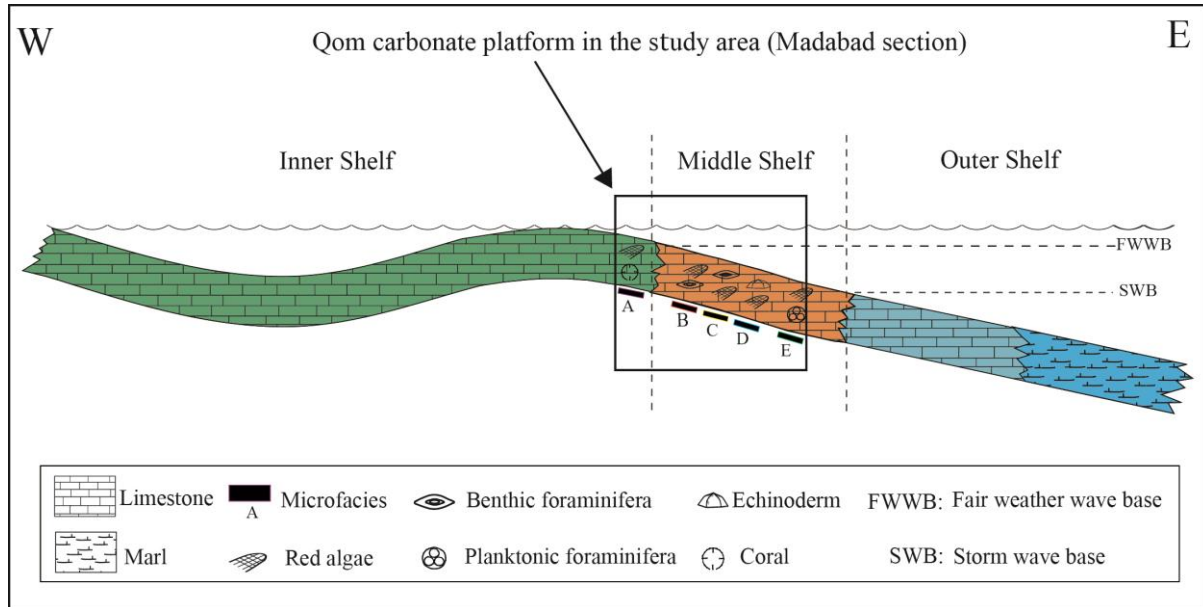
3-Distal inner shelf

4-Middle shelf

5-Outer shelf

توجه به مواردی که بیان گردید، احتمالاً ریزرخساره‌های سازند قم در برش مورد مطالعه، در بخش‌های انتهایی شلف داخلی تا شلف میانی رسوب گذاری کرده‌اند.

شناسایی شده، بیانگر افزایش عمق آب و همچنین چرخش مناسب آب در محیط رسوب گذاری این ریزرخساره می- باشد (محمدیان اصفهانی و همکاران، ۱۳۹۲). بنابراین با



شکل ۷: پلاتفرم کربناته سازند قم در زمان میوسن پیشین که موقعیت ریزرخساره‌های شناسایی شده در منطقه مادآباد را نمایش می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود ریزرخساره‌های سازند قم در منطقه مادآباد در بخش‌های جلویی ریف‌های سدی بزرگ تشکیل شده‌اند.

مطالعات سنگ چینه نگاری نهشته‌های سازند قم در برش کانسار مادآباد در جنوب زنجان، شامل مجموعه‌ای از سنگ آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه و توده‌ای، سنگ آهک مارنی و مارن با ضخامت حدود ۱۹۰ متر می‌باشد. پنج ریزرخساره در بخش‌های سنگ آهکی سازند قم در این منطقه قابل شناسایی است که بر اساس تجزیه و تحلیل ریزرخساره‌ها و مطالعات صحرائی احتمالاً در یک پلاتفرم کربناته از نوع شلف رسوب کرده‌اند. با توجه به حضور گسترده روزن‌داران کفزی بزرگ با دیواره هیالین و روشن، جلبک قرمز *Corallinacea* و ریف‌های تکه‌ای و تغییرات رخساره‌های تشکیل دهنده سازند قم در منطقه مورد مطالعه، محیط شلف به دو بخش داخلی و میانی تقسیم می‌شود. ریزرخساره پکستون حاوی مرجان و جلبک قرمز در بخش انتهایی شلف داخلی، ریزرخساره‌های پکستون - وکستون حاوی بایوکلاست و جلبک قرمز، پکستون -

به‌طور کلی، در طول زمان و طی رسوب گذاری سازند قم (میوسن پیشین) در منطقه جنوب زنجان، شرایط محیطی از شلف داخلی تا شلف میانی متغیر است، اما عمدتاً شرایط شلف میانی در رخنمون‌ها حاکم بوده است (شکل ۷). به طوری که در قاعده سازند قم عمدتاً شرایط شلف داخلی حاکم بوده و از طرفی رسوبات این بخش بر روی رسوبات تخریبی قرمز متعلق به سازند قرمز زیرین قرار گرفته است و به سمت بالا و رأس سازند قم شرایط زیر محیط شلف میانی حکم فرما شده است. در انتهای سازند قم با نهشته شدن رسوبات متعلق به سازند قرمز بالایی، شرایط رسوب گذاری با کم عمق تر شدن محیط از سنگ آهک به مارن‌ها و ماسه سنگ‌های قرمز رنگ سازند قرمز بالایی تغییر می‌کند که این وضعیت در اکثر برش‌های منطقه زنجان مشاهده می- شود.

نتیجه گیری

نهشته شده‌اند. بنابراین، رسوبات سازند قم در برش مذکور را می‌توان متعلق به زیرمحیط‌های انتهایی شلف داخلی تا شلف میانی در نظر گرفت که طی زمان میوسن پیشین رسوب گذاری کرده است.

و کستون حاوی روزن‌داران کفزی منفذدار و و کستون حاوی خارپوستان و جلبک قرمز در شلف میانی و ریزرخساره و کستون حاوی بایوکلاست روزن‌داران پلانکتون و جلبک قرمز، در بخش انتهایی شلف میانی

منابع

- آقاباتی، س.ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶-۱.
- پورمحمدی، س.، ۱۳۹۲. سکانس استراتیگرافی و بیوفاسیس سازند قم در برش دهشیر بالا (جنوب غرب زنجان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، ۲۹۱-۱.
- حسینی‌نژاد، س.م.، رامه، ح.، اهری‌پور، ر.، ۱۳۹۵. زیست چینه‌نگاری و محیط رسوبی سازند قم در برش تلن کوه (جنوب باختری سمنان). رسوب‌شناسی کاربردی، ۷: ۱۰۱-۱۱۶.
- ربانی، ج.، زهدی، ا.، ۱۳۹۶. تحلیل شرایط پالئوآکولوژی کلنی‌های مرجانی ریف‌ساز میوسن پیشین در شمال باختر زنجان. چهارمین همایش منطقه‌ای تغییر اقلیم و گرمایش زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، ۵ ص.
- شهیدی، ع.، بهار فیروزی، خ.، ۱۳۸۰. نقشه زمین‌شناسی چهار گوش ۱:۱۰۰۰۰۰ حلب. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- عالی‌پور، ش.، ۱۳۹۶. دیرینه‌شناسی و محیط رسوبی سازند قم در منطقه قمچقay، جنوب غرب زنجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، ۱۰۲-۱.
- عالی‌پور، ش.، میرزایی عطاآبادی، م.، زهدی، ا.، رحمانی، ع.، ۱۳۹۵. چینه‌شناسی و ریزرخساره‌های سازند قم در منطقه قمچقay، جنوب زنجان. یازدهمین همایش انجمن دیرینه‌شناسی ایران، دانشگاه پیام نور طبرس، ص ۱۹۰.
- علوی نائینی، م.، ۱۳۷۲. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خداونده - سلطانیه. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- محمدی، ا.، وزیری، م.، داستانی‌پور، م.، ۱۳۹۳. بررسی ریزرخساره‌ها و بازسازی محیط رسوب گذاری سازند قم در ناحیه سیرجان، جنوب غرب کاشان. پژوهش‌های رسوب‌شناسی و چینه‌نگاری، ۲: ۳۵-۵۴.
- محمدیان اصفهانی، م.، صفری، ا.، وزیری مقدم، ح.، ۱۳۹۲. بررسی ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی سازند قم در ناحیه بیجگان (شمال شرق دلیجان). رخساره‌های رسوبی، ۶: ۶۵-۷۶.
- نوری، م.، کوهستانی، ح.، نباتیان، ق.، مختاری، م.ع.، زهدی، ا.، ۱۳۹۵. ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار سلسنتین مادآباد، جنوب - جنوب باختر زنجان. سی و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷-۱.

- Adams, T., & Bourgeois, F., 1967. Asmari biostratigraphy. *Iranian Oil Operating Companies Geological and Exploration Division*, Unpublished Report 1074, 1-37.
- Amirshahkarami, M., & Karavan, M., 2015. Microfacies models and sequence stratigraphic architecture of the Oligocene-Miocene Qom Formation, south of Qom City, Iran. *Geoscience Frontiers*, 6: 593-604.
- Amirshahkarami, M., 2008. Distribution of Miogypsinoides in the Zagros Basin, in southwest Iran. *Historical Biology*, 20: 175-184.
- Amirshahkarami, M., Vaziri Moghaddam, H., & Taheri, A., 2007. Paleoenvironmental model and sequence stratigraphy of the Asmari Formation in southwest Iran. *Historical Biology*, 19: 173-183.
- Baccelle, L., & Bosellini, A., 1965. Diagrammi per la stima visive della composizione percentuale nell rocce sedimentarite. *Annali della Universitia di Ferrara, Sezione IX. Science Geologiche e Paleontologiche*, 1: 59-62.
- Barattolo, F., Bassi, D., & Romano, R., 2007. Upper Eocene larger foraminiferal-coralline algal facies from the Klokova Mountain (southern continental Greece). *Facies*, 53: 361-375.
- Bassi, D., Hottinger, L., & Nebelsick, J.H., 2007. Larger foraminifera from the upper Oligocene of the Venetian area, northeast Italy. *Paleontology*, 50: 845-868.
- Bozorgnia, F., 1966. Qom Formation stratigraphy of the central basin of Iran and its intercontinental position. *Bulletin of the Iranian Petroleum Institute*, 24: 69-76
- Brandano, M., & Corda, L., 2002. Nutrients, sea level and tectonics: constrains for the facies architecture of a Miocene carbonate ramp in central Italy. *Terra Nova*, 14: 257-262.
- Brandano, M., Cornacchia, I., Raffi, I., & Tomassetti, L., 2017. The Oligocene-Miocene stratigraphic evolution of the Majella carbonate platform (Central Apennines, Italy). *Sedimentary Geology*, 333: 1-14.
- Brandano, M., Frezza, V., Tomassetti, L., & Cuffaro, M., 2009. Heterozoan carbonates in oligotrophic tropical waters: The Attard member of the lower coralline limestone formation (upper Oligocene, Malta). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 274: 54-63.
- Daneshian, J., & Ramezani Dana, L., 2018. Foraminiferal biostratigraphy of the Miocene Qom Formation, northwest of the Qom, Central Iran. *Frontiers of Earth Science*, 12: 237-251.
- Daneshian, J., & Ramezani Dana, L., 2007. Early Miocene benthic foraminifera and biostratigraphy of the Qom Formation, Deh Namak, Central Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29: 844-858.
- Dickson, J.A.D., 1966. Carbonate identification and genesis as revealed by staining. *Journal of Sedimentary Petrology*, 36: 491-505.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W.E., (ed.), *Classification of carbonate rocks. American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 1: 108-121.
- Embry, A.F., & Kloven, J.E., 1971. A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, Northwest Territories. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 19: 730-781.
- Flügel, E., 2010. *Microfacies of carbonate rocks, analysis interpretation and application*. 2nd edition Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1-976.
- Furrer, M.A., & Soder, P.A., 1955. The Oligo-Miocene Formation in the Qom region (Iran). *Processing of 4th World Petroleum Congress*, 6-15 June, Roma, Italy, 267-277.
- Geel, T., 2000. Recognition of stratigraphic sequences in carbonate platform and slope deposits: Empirical models based on microfacies analysis of Paleogene deposits in southeastern Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 155: 211-238.
- Habibi, T., & Ruban, D.A., 2017. The Oligocene carbonate platform of the Zagros Basin, SW Iran: An assessment of highly-complex geological heritage. *Journal of African Earth Sciences*, 129: 675-682.
- Hottinger, L., 1983. Processes determining the distribution of larger foraminifera in space and time. *Utrecht Micropaleont Bulltin*, 30: 239-253.
- Hottinger, L., 1997. Shallow benthic foraminiferal assemblage as signals for depth of their deposition and their limestones. *Society Geology France Bulletin*, 168: 491-505.
- Leuttenger, S., 1984. Symbiosis in benthic foraminifera: specificity and host adaptations. *Journal Foraminifera Research*, 14: 16-35.

- Mohammadi, E., Hasanzadeh-Dastgerdi, M., Ghaedi, M., Dehghan, R., Safari, A., Vaziri-Moghaddam, H., Baizidi, Ch., 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 Evaporates*, 28: 321-345.
- 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 Evaporates*, 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.
- Okhravi, R., & Amini, A., 1998. An example of mixed carbonate-pyroclastic sedimentation (Miocene, Central Basin, Iran). *Sedimentology*, 118: 37-54.
- Pedley, H.M., 1998. A review of sediment distributions and processes in Oligo-Miocene ramps of southern Italy and Malta (Mediterranean divide). *Geological Society of London Special Publications*, 149: 163-179.
- Pomar, L., & Ward, W.C., 1999. Reservoir-scale heterogeneity in depositional packages and diagenetic patterns on a reef rimmed platform, Upper Miocene, Mallorca, Spain. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*, 83: 1759-1773.
- Pomar, L., 2001. Ecological control of sedimentary accommodation: Evolution from a carbonate ramp to rimmed shelf, Upper Miocene, Balearic Islands. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 175: 249-272.
- 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.
- Romero, J., Caus, E., & Rossel, J., 2002. A model for the Palaeoenvironmental distribution of larger foraminifera based on late to middle Eocene deposits on the margin of the south Pyrenean Basin (SE Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 179: 43-56.
- Sadeghi, R., Vaziri Moghaddam, H., & Taheri, A., 2009. Biostratigraphy and paleoecology of the Oligo-Miocene succession in Fars and Khuzestan areas (Zagros Basin, SW Iran). *An International Journal of Paleobiology*, 21: 17-31.
- Salocchi, A.C., Argentino, C., & Fontana, D., 2017. Evolution of a Miocene carbonate shelf (northern Apennines, Italy) revealed through a quantitative compositional study. *Marine and Petroleum Geology*, 79: 340-350
- Schuster, F., & Wielandt, U., 1999. Oligocene and early Miocene coral faunas from Iran: paleoecology and paleobiogeography. *International Journal of Earth Sciences*, 88: 571-581.
- Seddighi, M., Vaziri-Moghaddam, H., Taheri, A., & Ghabeishavi, A., 2011. Depositional environment and constraining factors on the facies architecture of the Qom Formation, Central Basin, Iran. *Historical Biology*, 24: 91-100.
- Vaziri Moghaddam, H., Seyrafian, A., Taheri, A., & Motiei, H., 2010. Oligocene Miocene ramp system (Asmari Formation) in the NW of the Zagros basin, Iran: Microfacies, paleoenvironment and depositional sequence. *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*, 27: 56-71.
- Vennin, E., Van Buchem, F.S.P., Joseph, p., Gaumet, F., Sonnenfeld, M., Rebelle, M., Fakhfskh-Ben Jemaia, H., & Zijlstra, H., 2003. A 3D outcrop analogue model for Ypresian nummulitic reservoirs: Jebel Qussalat, northern Tunisia. *Petroleum Geoscience*, 9: 145-161.
- Wilson, J.L., 1975. Carbonate facies in geologic history. 1st edition, *Springer-Verlag*, New York, 1-471.

Lithostratigraphy, microfacies and sedimentary environment of the Qom Formation at Madabad celestite deposit, south of Zanjan

Noori, M.¹, Zohdi, A.^{2*}, Kouhestani, H.², Nabatian, Gh.², Mokhtari, M.A.A.²

1-M.Sc. student in Economic Geology, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2-Assistant Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

*E-mail: afshin.zohdi@znu.ac.ir

Introduction

The Qom Formation was deposited at the north-eastern coast of the Tethyan Seaway, in the Oligocene - Miocene, during the final sea transgression, in Central Iran (Reuter *et al.*, 2009). Although the Mohammadi *et al.* (2013) believe that above 35°N (including the study area in this research) deposition of the Qom Formation started during the Miocene. It is essential and important to study different properties of the oil-bearing Qom Formation because of economic importance and communicative role between Eastern Tethys (the proto-Indian Ocean) and the Western Tethys region (the proto-Mediterranean Sea) in the Iranian Plate at the same time (Mohammadi *et al.*, 2013). Furrer & Soder (1955) subdivided the Oligocene-Miocene marine strata of the Qom Formation in the type locality of the formation near the town of Qom, into six members (a-f members: a-member basal limestone, b-member sandy marls, c-member alternating marls and limestones, d-member evaporites, e-member green marls and f-member top limestone). In the Zanjan area, only f-member of the Qom Formation has been deposited (Aghanabati, 2004). In general, the f-member consists of light colored, porous, in part chalky and in part cemented limestone. Although many studies have carried out for nearly four decades on the f-member of the Qom Formation outcrops in Central Iran back-arc basin (which they are listed in Mohammadi *et al.*, 2013), stratigraphical, microfacies analysis and sedimentary environments studies of the f-member of the Qom Formation deposits of the Zanjan area has been the subject of only a few studies. So, here for the first time, we document and discuss the results of detailed fieldwork and microfacies analysis from the early Miocene carbonate platform succession in the south of Zanjan (f-member of the Qom Formation).

Materials and Methods

This study involves one stratigraphic section that was measured bed by bed and investigated sedimentologically.

During the fieldwork study, detailed stratigraphic sections were measured, sampled and described with respect to carbonate facies and biota. The petrographic description is based on approximately 73 thin sections. Thin sections were stained using the method of Dickson (1965) to distinguish ferron and non-ferron calcite from dolomite. The petrographic classification for carbonates is based on Dunham limestone classification (Dunham, 1962). Flügel (2010) facies belts and sedimentary models were also used. The composition of associated fauna (presence of red-algae, coral, benthic foraminifer and echinoderm) and non-skeletal grains (e.g. intraclasts and peloids) was considered. Sedimentologic texture and structure (e.g. crossbedding, dolomitization, presence of silt-size quartz grains, boring and burrowing) have been considered qualitatively.

Discussion

The Qom Formation in the Madabad celestite deposit (south of Zanjan), lithologically composed of 190 m of medium to thick-bedded and massive limestone and marly limestone. In this area, the Qom Formation is conformably overlies the clastic rocks of the Lower Red Formation and is in turn conformably overlain by the Upper Red Formation. In detail, the Qom Formation in the study area consist of 7 lithostratigraphic units as follow from base to top of the formation: 1) thin to medium-bedded limestone with interbedded of thin-bedded argillaceous limestone, 2) thick-bedded coral-bearing limestone, 3) thick-bedded limestone with interlayers of marly limestone, 4) thin-bedded marly limestone, 5) thick-bedded echinoderm-bearing

limestone with interlayers of marly limestone, 6) thin-bedded marly limestone and finally and 7) thick-bedded to massive limestone with interlayers of marly limestone.

The main components of the Qom Formation contain benthic foraminifera with hyaline test, coral, red algae with less frequency of planktonic foraminifera. Due to the abundance of red-algae, larger benthic foraminifera and micrite, the Qom Formation platform facies is referred to as "red algae foraminifera dominated packstone". Field and microscopic studies led to identification of five microfacies in the limestone units of the Qom Formation in the Madabad area. These microfacies, ordered from shallower to deeper environments, include: A) red algae coral packstone, B) red algae bioclast packstone to wackestone, C) perforate benthic foraminifera packstone to wackestone, D) red algae echinoderm wackestone and E) planktonic foraminifera red algae bioclast wackestone.

In general, microanalysis and paleoenvironmental interpretation of the Qom Formation show that this formation was deposited in a variable depositional system. The Qom Formation facies are dividable to four facies as follow: alluvial-deltaic facies carbonate platform-evaporatic facies, slope facies and basin facies (deep sea facies) (Rahimzadeh, 1994). Microfacies analysis including abundant hyaline-test benthic foraminifera as well as the lack of restricted lagoon microfacies show that in the Madabad section, the Qom Formation was deposited in open marine environment. According to recognized microfacies and absences of gravity deposits (turbidites), real and continuous reef, barrier and storm structures, carbonate platform of the Qom Formation developed on an open shelf without effective barriers separating it from the sea. In detail, the distribution of foraminifera and other components, in addition to the vertical microfacies relationships indicate that facies model of the Qom Formation in this section was distal-inner to middle shelf. The distal inner shelf including only the (A) microfacies and the other recognized microfacies (B-E) deposited through the proximal to distal parts of the middle shelf. Proximal middle shelf is characterized by larger benthic foraminifera with hyaline wall in addition to red algae and distal middle shelf is dominated by planktonic foraminifera and red algae.

Conclusion

The Qom Formation in the Madabad celestite deposit (south of Zanjan), lithologically composed of 190 m limestone and marly limestone. Field and microscopic studies led to identification of five microfacies. Distribution of foraminifera and other components, in addition to the vertical microfacies relationships indicate that facies model of the Qom Formation in this section was distal-inner to middle shelf platform.

Keywords: Lithostratigraphy; Microfacies; Sedimentary environment; Qom Formation; Madabad; Zanjan.

Reference

- Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. *Geological Survey of Iran*, 1-622 (in Persian).
- Dickson, J.A.D., 1966. Carbonate identification and genesis as revealed by staining. *Journal of Sedimentary Petrology*, 36: 491-505.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W.E., (ed.), *Classification of carbonate rocks. American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 1: 108-121.
- Flügel, E., 2010. Microfacies of carbonate rocks, analysis interpretation and application. 2nd edition *Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg, 1-976.
- Furrer, M.A., & Soder, P.A., 1955. The Oligo-Miocene Formation in the Qom region (Iran). *Processing of 4th World Petroleum Congress*, 6-15 June, Roma, Italy, 267-277.
- Mohammadi, E., Hasanzadeh-Dastgerdi, M., Ghaedi, M., Dehghan, R., Safari, A., Vaziri-Moghaddam, H., Baizidi, Ch., 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 Evaporates*, 28: 321-345.
- Rahimzadeh, F., 1994. Geology of Iran: Oligocene-Miocene, Pliocene. *Geological Survey of Iran* (in Persian).
- 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.