

محیط رسوبی، دیاژنز، چینه‌نگاری سکانسی و ژئوشیمی واحد کربناته کرتاسه زیرین (K) کوه خان‌گرمز در تویسرکان (زون سنندج-سیرجان)

فرزانه شریفی طائمه*، محمد حسین آدابی، محسن لیاقت
دانشگاه شهید بهشتی، گروه حوضه‌های رسوبی و نفت

دریافت ۱۳۹۸/۱۲/۲۳ پذیرش ۱۳۹۹/۱۲/۰۵

چکیده

در این پژوهش واحدهای کربناته کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز در غرب تویسرکان (جنوب استان همدان) به ضخامت ۱۱۹ متر از جنبه محیط رسوبی، چینه‌نگاری سکانسی، دیاژنز و ژئوشیمی بررسی می‌شود. این واحدهای کربناته با ناپیوستگی فرسایشی روی واحدهای ژوراسیک قرار گرفته‌اند و در راس به ناپیوستگی فرسایشی نیز منتهی شده‌اند. بررسی‌ها و پژوهش‌های صحرایی و آزمایشگاهی منجر به شناسایی سیزده ریز رخساره متعلق به رمپ درونی، میانی و بیرونی در این رسوبات شد. تغییرات تدریجی ریزرخساره‌ها همراه با نبود ریف‌های سدی بزرگ، پیژوئیدها، دانه‌های آگرگات و نبود رسوبات توربیدیتی وجود پلت فرم کربناته از نوع رمپ را نشان می‌دهند. حضور جلبک‌های خانواده داسی‌کلادسه-آ و ژیمنوکوداسیا (*Permocalculus sp.*) در برش بررسی شده نشان‌دهنده محیط دریایی گرم لب شور و بسیار شور با عمق کم است. بررسی چینه‌نگاری سکانسی منجر به شناسایی سه سکانس رسوبی رده سوم در این رسوبات شد. بر اساس شواهد صحرایی و پتروگرافی فرآیندهای سیمانی شدن، میکریتی شدن، آهن‌دار شدن، انحلال و کارستی شدن و دولومیتی شدن از مهم‌ترین رخدادها دیاژنزی بررسی شده در این رسوبات است. بر اساس پژوهش‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی و فرعی ترکیب کانی-شناسی اولیه رسوبات کرتاسه در کوه خان‌گرمز آراگونیتی بوده است و این رسوبات تحت تاثیر محیط دیاژنزی بسته تا نیمه بسته قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: کوه خان‌گرمز، محیط رسوبی، چینه‌نگاری سکانسی، ژئوشیمی

Depositional Environment, Diagenesis, Sequence Stratigraphy and Geochemistry of Lower Cretaceous Carbonate Unit (K) Kuh-e Khangormaz in Tuyserkan (Sanandaj-Sirjan Zone)

Farzaneh Sharifi taeme*, Mohammad Hossein Adabi, Mohsen Liaghat,
Sedimentology and Lithology, Shahid Beheshti University, Tehran

Abstract

In this research 119 m Kuh-Khangormaz lower Cretaceous carbonate units in the west of Tuyserkan (south of Hamedan province) investigated as depositional model, sequence stratigraphy, diagenesis, and geochemistry. In the studied section, these carbonate unit bounded to Jurassic units at the base and erosional unconformity in the upper contact. Field investigation together with laboratory studies led to the identification of thirteen microfacies belonging to the inner, mid, and outer ramp environment. Some evidence: (i) gradual microfacies variations, (ii) the absence of large barrier reefs, pisoids, and aggregate grains, and (iii) the absence of turbidite deposits indicating ramp-type carbonate platform in this carbonate unit. The presence of dasycladales and gymnocodiaceae (*Permocalculus sp.*) in the studied section indicating warm, saline to the hypersaline shallow marine depositional environment. Sequence stratigraphic studies revealed three 3rd order depositional sequences in this unit. Based on field evidence as well as petrographic studies cementation, micritization, hematization, dissolution and karstification, and dolomitization are the main

diagenetic processes in the studied deposits. Geochemical major and trace elements analysis revealed original aragonite mineralogy in this Cretaceous unit along with close to semi-close diagenetic environment.

Keywords: Kuh-e Khangormaz, depositional environment, sequence stratigraphy, geochemistry

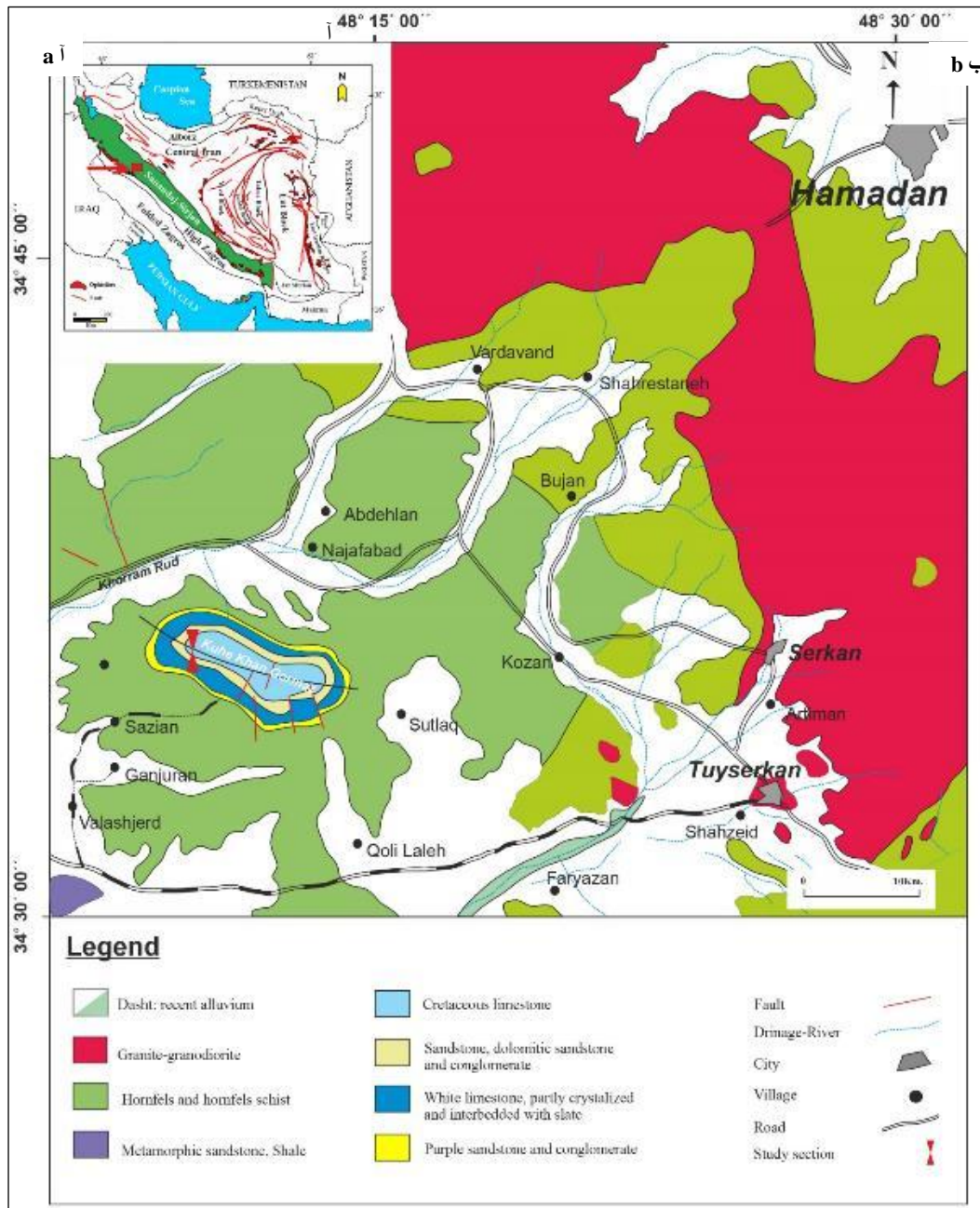
مقدمه

یکی از ویژگی‌های بارز سنگ‌های رسوبی کربناته استفاده از آنها در بازسازی محیط رسوبی دیرینه است (James & Jones., 2016). در یک محیط رسوبی دیرینه که متشکل از زیر محیط‌های مختلفی است، حوادث و رخداد‌های صورت گرفته در طول زمان هم‌چون تغییرات شرایط رسوبی، تغییرات سطح آب دریا، فرآیندهای دیاژنزی درون واحدهای رسوبی ثبت می‌شود (Zarza & Tanner., 2010) که با مطالعه و بررسی این رسوبات در پیمایش‌های صحرائی و یا بررسی‌های زیرسطحی می‌توان به آنها دست یافت (Miall., 2016). زون سنندج-سیرجان که در شمال شرق راندگی اصلی زاگرس قرار گرفته از لحاظ رژیم رسوب‌گذاری و ساختاری مشابه ایران مرکزی است. در نواحی مختلف این زون، واحد چینه‌ای عمدتاً آذرین و دگرگونی بوده است که تنها برخی از نواحی آن متشکل از واحدهای رسوبی است و رسوبات موجود در این زون با توجه به پراکندگی و یا در برخی موارد به دلیل صعب‌العبور بودن ناشناخته‌اند (آقائباتی، ۱۳۹۷). از این رو، به‌منظور درک بهتر رسوبات این زون در این پژوهش یک برش چینه‌شناسی از سنگ‌آهک‌های سفید، کرم تا خاکستری رنگ اربیتولین‌دار کرتاسه زیرین که در بردارنده تنها واحدهای آهکی کرتاسه زیرین در کل زون همدان است بررسی شد. این منطقه از نظر ویژگی‌های سنگی و زیستی با کربنات‌های اربیتولین‌دار زاگرس (سازند فهلیان و داریان)، البرز (تیزکوه)، کپه داغ (سازند تیرگان) و ایران مرکزی (سازند تفت و شاه کوه) شرایط رسوبی مشابه کرتاسه پیشین را در ایران نشان می‌دهد. این منطقه تنها در سال ۱۹۷۷ به‌وسیله سازمان زمین‌شناسی کشور برای تهیه نقشه زمین‌شناسی و نیز به‌وسیله قبادی و همکاران (قبادی و بابازاده، ۱۳۹۳) در سال ۱۳۹۳ از جنبه پدیده‌های کارستی بررسی شد. با توجه به واحدهای رسوبی در منطقه محافظت شده خان گرمز و نبود پژوهش‌های رسوب‌شناسی واحدهای موجود این پژوهش برای اولین بار از جنبه محیط رسوبی، چینه‌نگاری سکانشی، ژئوشیمی و دیاژنز بررسی شدند.

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

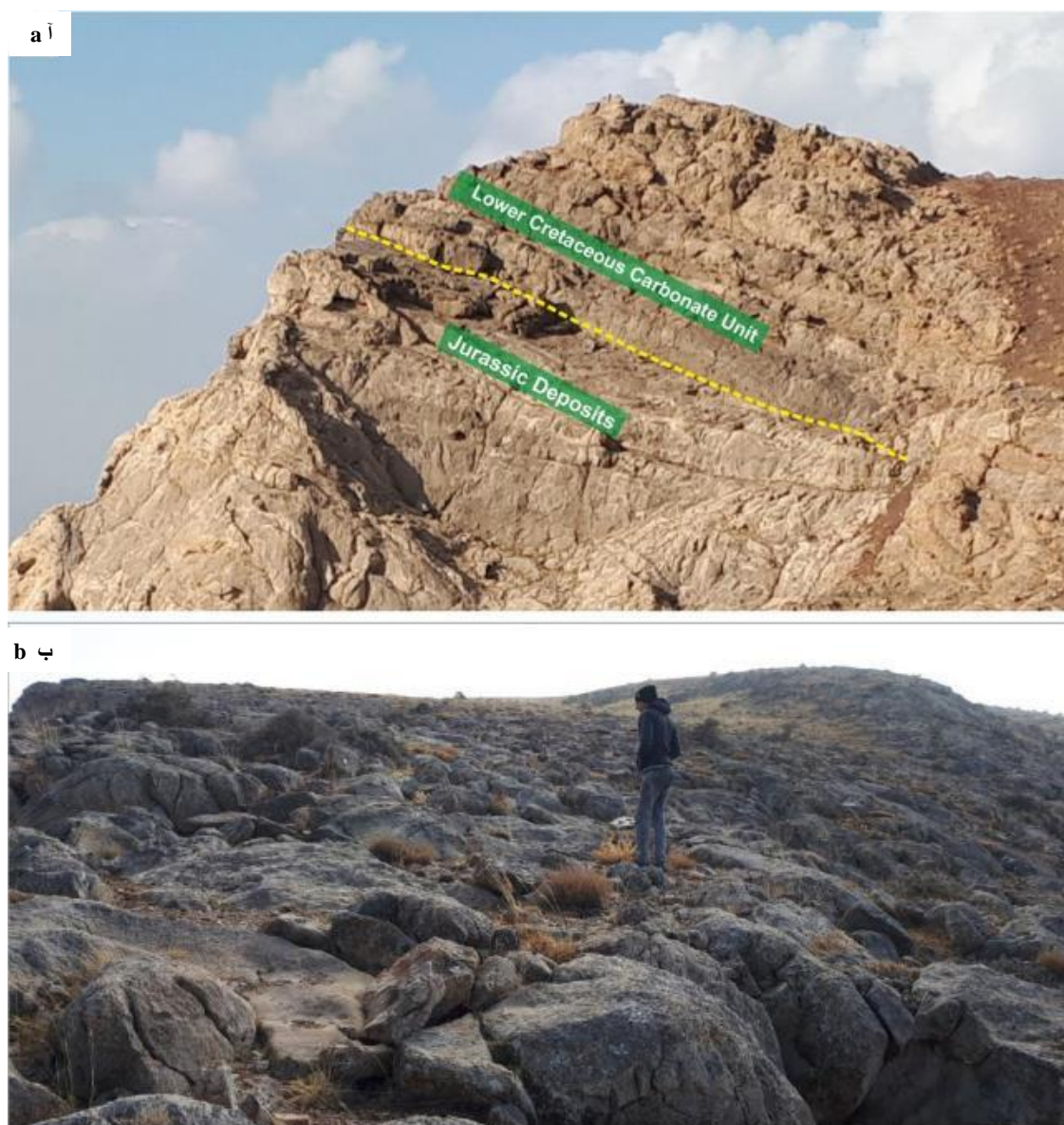
کوه خان‌گرمز با ارتفاع ۲۸۵۳ متر از سطح آب دریا در غرب ایران (جنوب همدان) در شمال غرب زون سنندج-سیرجان (شکل ۱ آ) واقع شده که در ۶۰ کیلومتری غرب تویسرکان و ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان اسدآباد در مختصات جغرافیایی (E ۳۵°۵۳' ۵۹" و N ۴۸° ۱۱' ۵۴" قرار دارد (شکل ۱ ب). واحدهای کرتاسه در منطقه بررسی شده با لایه‌بندی کم شیب تا افقی، که هسته ناودیس موجود در منطقه بررسی شده را تشکیل می‌دهند، در قاعده با ناپیوستگی فرسایشی (به دلیل حضور اکسید آهن و رخداد کارستی شدن در بین این مرز) روی رسوبات آهکی سفید رنگ و توده‌ای ژوراسیک واقع شده و در راس این سنگ آهک‌های خاکستری رنگ اربیتولین‌دار با مرزی فرسایشی (قله کوه خان‌گرمز) خاتمه می‌یابند (شکل ۲ آ و ب). رسوبات بررسی شده بیش‌ترین و مرتفع‌ترین رسوبات کوه خان‌گرمز را به‌خود اختصاص داده‌اند. در زیر واحد کربناته ژوراسیک یاد شده نیز یک واحد ماسه سنگی و کنگلومرایی قهوه‌ای‌رنگ به سن ژوراسیک قرار گرفته است. لازم به ذکر است که در نقشه تهیه شده در سال ۱۹۷۷ به‌وسیله سازمان زمین‌شناسی کشور واحدهای آهکی واقع در قاعده رسوبات بررسی شده را جزئی از رسوبات کرتاسه به حساب آورده اما در این پژوهش با توجه به وجود فسیل *Alveosepta* به سن ژوراسیک در مقاطع نازک میکروسکوپی این بخش از واحدهای رسوبات کربناته کرتاسه مجزا شدند. با توجه به بررسی‌ها و پیمایش‌های صحرائی یک واحد کربناته با ضخامت حدود ۲۷ متر غنی از اربیتولین در کنار برش اصلی بررسی شد که بر اساس تطابق واحدهای مربوط

به‌عنوان برش جانبی بررسی شد (شکل ۳ آ و ب). در کل، قاعده رسوبات ژوراسیک در منطقه بررسی شده ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های دگرگونی فولیاسیون‌داری قرار گرفته‌اند که در کنار جاده روستای سازیان به‌سمت منطقه خان‌گرمز به‌واسطه ترانشه در پیرامون جاده برونزد دارند.



شکل ۱. آ) نقشه زون‌های ساختاری ایران و جایگاه زون سنندج سیرجان (با تغییرات از آقانباتی، ۱۳۹۷)، ب) نقشه زمین‌شناسی توپسرکان و موقعیت برش بررسی شده در کوه خان‌گرمز (بر گرفته شده از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ همدان، تهیه شده به‌وسیله سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، برگه (D 6) با ترسیم مجدد و تغییرات)

Figure 1. a) Location map of the Iranian structural zones along with Sanandaj-Sirjan zone (modified from Aghanbati, 1397, **b)** Geological map of Tuyserkhan and the location of the study areas in the Kuh-e Khangormaz (Redrawing from 1: 250,000 of Hamedan map, prepared by Geological Survey of Iran, sheet (D 6))



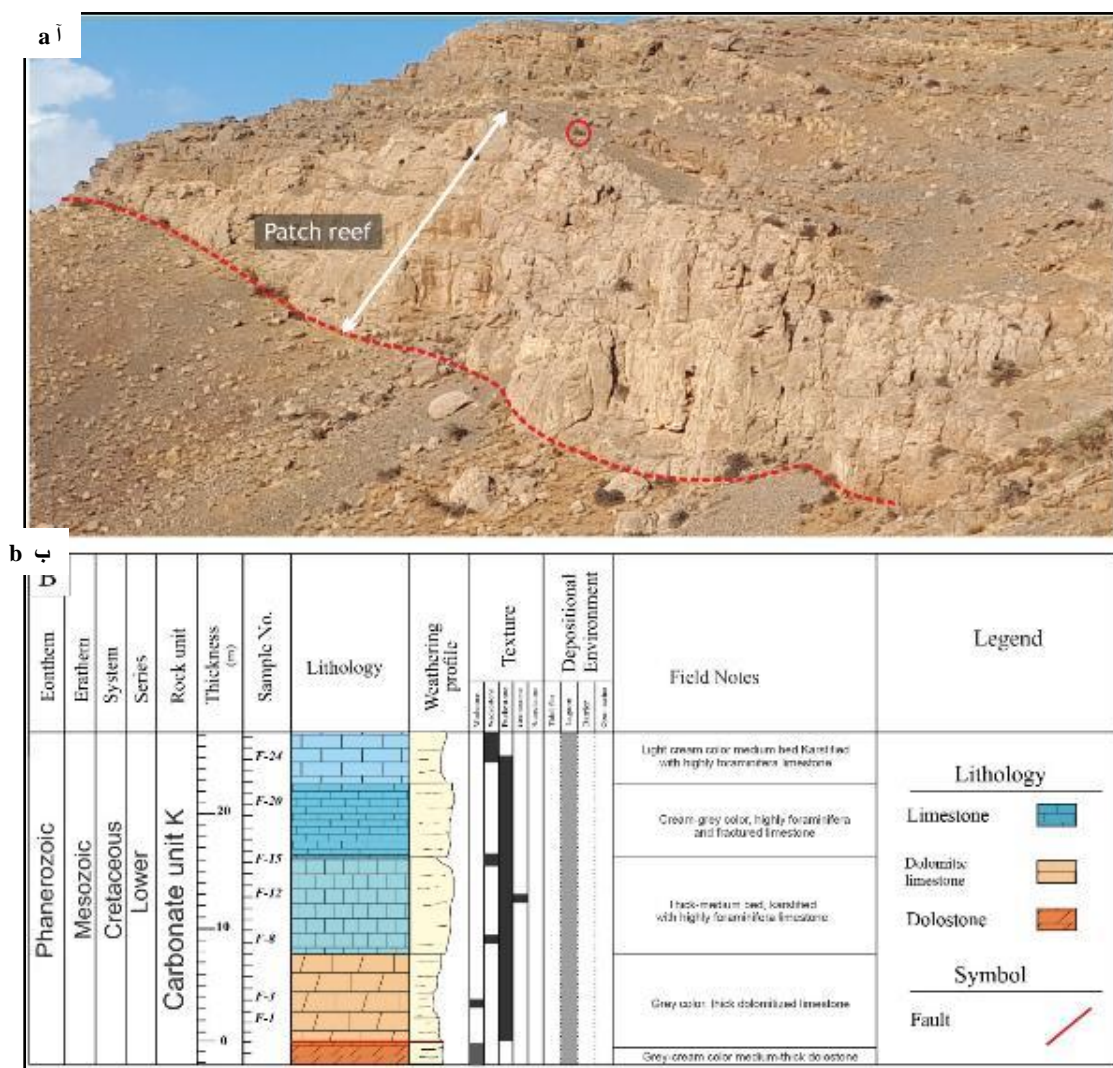
شکل ۲. آ) مرز فرسایشی قاعده رسوبات بررسی شده با رسوبات ژوراسیک (دید به سمت شمال)، ب) مرز فوقانی واحد کربناته کرتاسه کوه خان گرمز که از نوع فرسایشی است (آخرین رسوبات در قله کوه) (دید به سمت شرق، قله کوه خان گرمز).

Figure 2. a) Photograph of the outcrop section and the lower erosion boundary in contact with Jurassic deposits (view toward north), b) the erosional upper boundary of the strata in the Kuh-e Khangormaz (top of the Kuh-e Khangormaz mountain) (view toward east).

روش پژوهش

در این پژوهش پس از بررسی نقشه زمین‌شناسی برش مناسبی از منطقه کوه خان گرمز انتخاب و مسیر پیمایش به منظور بررسی‌های صحرایی مشخص شد. پس از بررسی‌های صحرایی تعداد ۱۱۹ نمونه از سنگ‌های کربناته آهکی کرتاسه زیرین کوه خان گرمز به ضخامت ۱۱۹ متر با فواصل ۱ متری به روش مترکشی (سیستماتیک) و در برخی لایه‌ها با توجه به پژوهش‌های سکانشی و ژئوشیمیایی با فواصل کمتر از یک متر انتخاب شد. مقاطع نازک میکروسکوپی حاصل به روش طبقه‌بندی دانهام (Dunham., 1962) نام‌گذاری شدند و تعداد ۱۰ نمونه از آنها برای تشخیص کانی

کلسیت از دولومیت به‌روش دیکسون (Dickson., 1965) با محلول آلیزارین قرمز (ARS) رنگ‌آمیزی و با میکروسکوپ پلاریزان بررسی شدند. بررسی رخساره‌های رسوبی در این رسوبات حاکی از محیط رسوبی رمپ هم‌شیب کربناته در زمان رسوب‌گذاری این رسوبات است که با مدل رسوب‌گذاری باکستون و پدلی (Buxton & Pedley, 1989) و نیز مدل رسوب‌گذاری رمپ فلوگل (Flügel., 2010) مطابقت شدند. سکانس‌های بررسی شده در این رسوبات با توجه به مدل ون وگنر و کاتانیوا (van Wagoner et al., 1990; Catuneanu., 2020a, b) تفسیر شدند. به‌منظور شناسایی فرآیندهای مختلف دیاژنزی تعداد ۳ نمونه با استفاده از میکروسکوپ کاتدولومینسانس مدل (400 μA-10 kV, 300) دانشگاه فردوسی مشهد بررسی شدند. برای بررسی نمونه‌های کاتد از مقاطع نازک صیقل



شکل ۳. آ) رسوبات کربناته ریفي کرتاسه زیرین در پیرامون برش اصلی به ضخامت تقریبی ۲۷ متر غنی از فرامینیفرهای *Orbitolina* (دید به سمت شمال شرق) با مرز تحتانی گسل خوردگی (برای مقیاس به فرد نشسته با اندازه ۱ متری توجه شود)، ب) ستون چینه‌شناسی واحدهای بررسی شده در آ.

Figure 3. a) Photograph of the Lower Cretaceous carbonate reef strata near main studied section with a thickness of about 27m composed of abundant *Orbitolina* (View toward northeast). In this outcrop the lower boundary shown by fault (Note the person for scale (circled), b) Schematic stratigraphic column of the studied reef strata outcrop in A.

داده شده استفاده شد. سیستم‌های کاتدی واقع شده روی میکروسکوپ پتروگرافی از طریق یک تفنگ الکترونی که به صفحه دوار میکروسکوپ پتروگرافی متصل شده و از طریق آن مقاطع نازک قرار گرفته درون محفظه‌ای خلأ بررسی شدند. در تفسیر سکانس‌های رسوبی از تلفیق مدل‌های سکانسی ارائه شده به وسیله (Catuneanu., 2020a) استفاده شد. برای بررسی ژئوشیمیایی عناصر اصلی (Ca, Mg) و فرعی (Fe, Mn, Sr, Na)، مینرالوژی اولیه آراگونیتی و فرآیندهای مختلف دیاژنزی متائوریک و تدفینی تجزیه ۴۰ نمونه از پودر نمونه‌های آهکی حل شده در اسید کلریدریک ۲/۵ مولار به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتری جذب اتمی (AAS) مدل (PincleAGA 910L) دانشگاه شهید بهشتی تهران انجام شد.

محیط رسوبی

بر اساس پژوهش‌های صحرایی و بررسی مقاطع نازک میکروسکوپی، نتایج حاکی از محیط رسوبی رمپ هم‌شیب برای رسوبات کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز است که متشکل از کمربندهای رخساره‌ای لاگون، پشته و دریای باز کم‌عمق است [۲] در مجموع ۱۳ رخساره رسوبی در نمونه‌های آهکی بررسی شده تشخیص داده شد که ۶ رخساره مربوط به محیط لاگون در رمپ درونی، ۲ رخساره متعلق به پشته‌ها در رمپ میانی و ۵ رخساره مربوط به رمپ بیرونی است. این ریز رخساره‌ها همراه با ویژگی‌های آنها به ترتیب از محیط کم‌عمق به عمیق شرح داده می‌شوند.

ریز رخساره‌های محیط لاگون (رمپ درونی)

L1. پکستون حاوی اینتراکلاست (Intraclast packstone)

این ریز رخساره با توجه به قرارگیری رخساره‌های محیط لاگون در پایین و بالای آن در طول ستون چینه‌نگاری به محیط لاگون اختصاص داده شد. در این رخساره اینتراکلاست‌ها با فراوانی ۶۰ درصد در یک زمینه میکرایتی قرار گرفته‌اند که ناشی از انتقال از مناطق کم‌عمق تر و رسوب‌گذاری در محیط لاگون (Boggs., 2015) هستند (شکل ۴، آ). پلوئید، اکینودرم و فرامینیفرهای بنتیک از قبیل میلیولید به‌عنوان آلوکم‌های فرعی با فراوانی کم‌تر از ۱۰ درصد در این ریز رخساره حضور دارند.

تفسیر: با توجه به حضور فرامینیفرهای بنتیک میلیولید و پلوئیدهای کوچک که در رمپ درونی دیده می‌شوند (Flügel., 2010)، ترتیب ریز رخساره‌ها در طول ستون چینه‌شناسی و هم‌چنین بافت پکستونی، این ریز رخساره مربوط به محیط کم انرژی و آرام لاگون است.

L2. پکستون حاوی میلیولید و بایوکلاست (Bioclast miliolid packstone)

آلوکم‌های اصلی در این ریز رخساره فرامینیفرهای بنتیک مانند میلیولید و تکستولاریا بوده است که همراه با خرده‌های فسیلی مختلف استراکد، دوکفه‌ای و اکینودرم با فراوانی ۱۰ درصد همراه هستند. با توجه به حضور استراکدها و روزن‌داران کف‌زی و سایر آلوکم‌ها رسوب‌گذاری در محیط لاگون برای این ریز رخساره پیشنهاد می‌شود و با RMF18 مدل رمپ فلوگل (Flügel., 2010) و رخساره شماره ۱ باکسون و پدلی (Buxton & Pedley., 1989) قابل مقایسه است (شکل ۴ ب).

تفسیر: حضور فرامینیفرهای بنتیک مانند میلیولیدها که نشان‌دهنده محیط کم عمق و آب‌های آرام، نیمه‌شور تا شور هستند، حاکی از یک محیط لاگون بوده است (James & Jones., 2016) که همراهی آنها با اکینودرم، استراکد مربوط به رمپ درونی حاکی از ارتباط لاگون و دریای باز از طریق کانال‌های بین پشته است (Bachmann & Hirsch., 2006).

L3. وکستون/پکستون حاوی آنکوئید (Oncoïd wackestone/packstone)

در این ریزرخساره آلوکم اصلی آنکوئیدها با فراوانی ۶۰ درصد است (شکل ۴، پ). اکینودرم، اینتراکست و جلبک سبز با فراوانی حدود ۳۰ درصد به‌صورت فرعی همراه با کوارتز دارای فراوانی حدود ۵ درصد در این رخساره هستند. این ریزرخساره منطبق با ریز رخساره RMF21 مدل رمپ فلوگل (Flügel., 2010) است. تفسیر: از ویژگی‌های مهم این ریز رخساره وجود آنکوئیدها است. این دانه‌های غیراسکلتی که شاخص محیط جزرومدی تا لاگونی هستند (Bachmann & Hirsch., 2006). همراه با اکینودرم‌ها در یک زمینه میکریتی نشان‌دهنده محیط کم انرژی لاگون دارای ارتباط آزاد با دریای باز در محیط رسوبی واحد کربناته کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز است.

L4. پکستون حاوی اربیتولین، آنکوئید (Oncoïd Orbitolina packstone)

در محیط لاگون واحد کربناته کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز اربیتولین‌ها با اشکال دیسکی و کشیده به فراوانی بررسی شدند که در مقاطع نازک میکروسکوپی همراه با آنکوئیدها ریزرخساره آنکوئید اربیتولین پکستون را به‌خود اختصاص می‌دهند. این نوع اربیتولین‌ها معمولاً در محیط‌های عمیق‌تری نسبت به اربیتولین‌های مخروطی دیده می‌شوند (Pittet et al., 2002; Salehi et al., 2010). آلوکم‌های فرعی شامل اینتراکست، فرامینیفراهای بنتیک (میلیولید و تکستولاریا) و اکینودرم است. این ریزرخساره منطبق با رخساره RMF21 مدل رمپ فلوگل (Flügel., 2010) است (شکل ۴، ت).

تفسیر: با توجه به وجود اربیتولین‌های دیسکی و کشیده و فرام‌های بنتیک میلیولید و تکستولاریا که نشان‌دهنده محیط لاگونی هستند (Tucker., 1993)، هم‌چنین با توجه به بافت پکستونی و نیز بر اساس ریزرخساره‌های پیرامون در طول ستون چینه‌شناسی این ریزرخساره به محیط لاگون نسبت داده می‌شود.

L5. گرینستون حاوی اربیتولین (Orbitolina grainstone)

در بررسی‌های میدانی انجام شده یک واحد ۲۷ متری از رسوبات توده‌ای کرم تا سفید رنگ در کنار برش اصلی بررسی شده که با تطابق انجام گرفته این واحد درون رسوبات لاگون برش اصلی قابل انطباق است (شکل ۳). این واحد کربناته با توجه به بررسی‌های انجام شده به‌صورت ریف کومه‌ای اربیتولین‌دار تشخیص داده شدند. آلوکم اصلی در این واحد اربیتولین‌های مخروطی شکل است که دوکفه‌ای‌ها، میلیولید، براکیوپودها و آنکوئید از اجزای فرعی هستند. این ریزرخساره منطبق با ریزرخساره RMF26 مدل رمپ فلوگل (Flügel., 2010) و ریزرخساره شماره ۳ باکسون و پدلی (Buxton & Pedley., 1989) است (شکل ۴، ث).

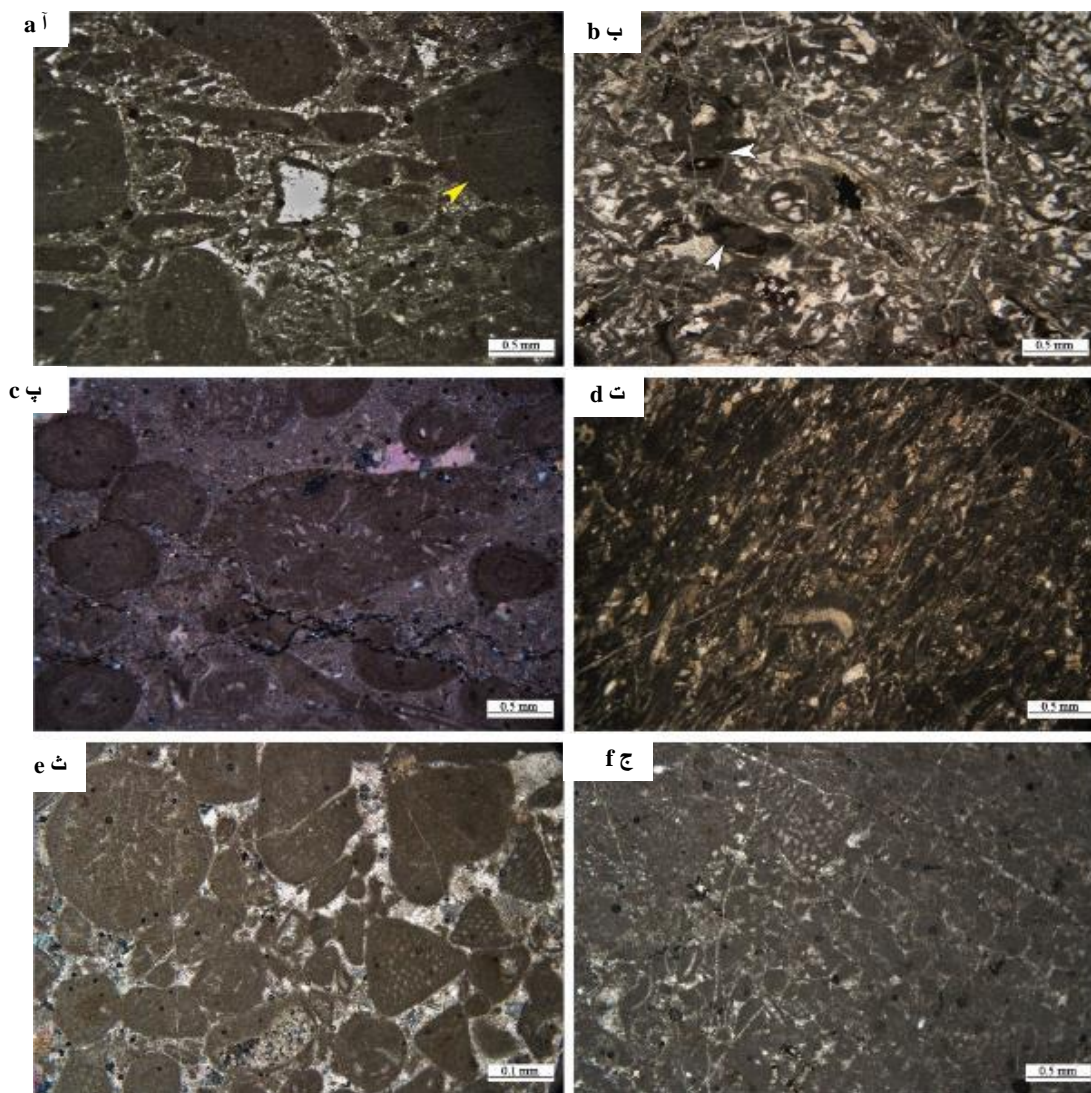
تفسیر: با توجه به شکل مخروطی اربیتولین‌ها که عمدتاً متعلق به منطقه نوری^۱ هستند، همراه با زمینه سیمانی که حاکی از انرژی زیاد در محیط رسوبی است (Pittet et al., 2002; Salehi et al., 2010) و هم‌چنین رسوبات فوقانی و تحتانی این واحد که عمدتاً مربوط به محیط لاگون هستند، این ریزرخساره به ریف‌های کومه‌ای^۲ محیط لاگونی در رمپ درونی در حوضه رسوبی واحد کربناته کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز نسبت داده شد.

L6. پکستون حاوی پلوئید و اربیتولین (Orbitolina peloid packstone)

در انتهای کمربند رخساره‌ای لاگون به‌سمت سد حضور فراوان پلوئیدها و اربیتولین‌ها با فراوانی ۵۰ درصد تشکیل دهنده ریزرخساره اربیتولین پلوئید پکستون در رسوبات بررسی شده است. دوکفه‌ای‌های میکریتی شده، اکینودرم و

1. Photic zone
2. Patch reef

فرامینیفر بنتیک از قبیل لنتی کولین به صورت فرعی در این ریزرخساره بررسی شدند. این ریزرخساره منطبق با ریز رخساره استاندارد RMF20 مدل رمپ فلوگل (Flügel., 2010) است. تفسیر: حضور فرامینیفرهای بنتیک مانند اربیتولین و لنتی کولین، میکریتی شدن دانه‌ها وجود پوشش‌های میکریتی در اکثر آلوکرها نشان‌دهنده عمق کم محیط لاگون (Tucker., 2001) است که حضور پلوئیدها و نیز بافت گل پش‌تیبان نشان‌دهنده یک محیط لاگون در زمان تشکیل این ریزرخساره است (شکل ۴، ج).



شکل ۴. ریزرخساره‌های محیط لاگونی رسوبات کربناته کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز، آ) پکستون حاوی اینتراکلاست (فلش زردرنگ) (نمونه شماره ۹۶Fs)، ب) میلیولید پکستون حاوی اینتراکلاست (فلش سفیدرنگ) (نمونه شماره ۶۶Fs)، پ) وکستون/پکستون حاوی آنکوئید (نمونه شماره ۳Fs)، ت) پکستون حاوی پلوئید اربیتولین آنکوئید با جهت‌گیری اجزاء تشکیل دهنده (نمونه شماره ۱۰۲Fs)، ث) گرینستون حاوی اربیتولین (نمونه شماره ۱۱۲Fs)، F: پکستون حاوی پلوئید و Orbitolinid (نمونه شماره ۹۴Fs).

Figure 4. Lagoonal microfacies of the Kuh-e Khangormaz, Lower Cretaceous strata. **a)** Intraclast packstone (yellow arrow) (sample number: 96Fs), **b)** Miliolid packstone consist of Intraclast (white arrow) (sample number: 66Fs), **c)** Oncoid wackestone/packstone (sample number: 3Fs), **d)** Oncoid orbitolina peloid packstone with orientation pattern (sample number: 102Fs), **e)** Orbitolina grainstone (sample number: 112Fs), **f)** Peloid Orbitolina packstone (sample number: 94Fs).

ریز رخساره‌های پشته (رمپ میانی)

S1. گرینستون حاوی آنکوئید و اینتراکلاست (Intraclast oncoid grainstone)

در بخش میانی ستون چینه‌نگاری رسوبات بررسی شده فراوانی آنکوئیدها و اینتراکلاست‌ها در زمینه اسپاریتی و همراهی با ریزرخساره‌های لاگونی در قاعده حاکی از افزایش انرژی و پشته سد به سمت لاگون^۱ است. از اجزای فرعی در این ریزرخساره اکینودرم و دوکفه‌ای‌ها را می‌توان نام برد که حدود ۱۰ درصد فراوانی دارند. این ریزرخساره منطبق با ریزرخساره RMF27 مدل رمپ فلوگل (Flügel., 2010) و ریزرخساره شماره ۳ باکسون و پدلی (Buxton & Pedley., 1989) است.

تفسیر: با توجه به وجود آنکوئیدها و وجود خرده فسیل‌های مربوط به رمپ بیرونی همراه با بافت سیمانی این ریزرخساره مربوط به پشته (به طرف لاگون) در رمپ میانی نسبت داده شد (شکل ۵، آ)

S2. گرینستون حاوی اینتراکلاست و پلوئید (Peloid intraclast grainstone)

اینتراکلاست‌ها در اندازه‌های مختلف با ساختار میکریتی خود با فراوانی بیش از ۵۰ درصد همراه با پلوئیدها، اکینودرم‌ها و تا حدودی فرامینیفراهای بنتیک (میلیولید) در مجموع با فراوانی حدود ۱۵ درصد در زمینه‌ای کاملاً سیمانی تشکیل‌دهنده ریزرخساره اینتراکلاست گرینستون در واحد آهکی کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز هستند (شکل ۵، ب). فرآیند دیاژنزی غالب در این ریزرخساره رگه‌های پر شده با سیمان کلسیت است. این ریزرخساره منطبق با ریزرخساره شماره ۳ باکسون و پدلی (Buxton & Pedley., 1989) است.

تفسیر: حضور اینتراکلاست‌ها در زمینه گرینستونی که نشان‌دهنده محیط پر انرژی در زمان رسوب‌گذاری است (De Wet et al., 2012; Abdolmaleki et al., 2016) و همچنین با توجه به جایگاه آن در طول توالی چینه‌شناسی و ریزرخساره‌های بالایی و پایینی بررسی شده آن، این ریزرخساره به نواحی پشته در رمپ میانی نسبت داده شد.

ریزرخساره‌های دریای باز کم عمق (رمپ بیرونی)

O1. وکستون-پکستون حاوی جلبک و بایوکلاست (Bioclast algal wackestone-packstone)

یکی از ویژگی‌های رسوبات مربوط به رمپ بیرونی در منطقه بررسی شده فراوانی جلبک‌های قرمز ژیمنوکوداسه‌آ و بایوکلاست‌هایی مانند دوکفه‌ای‌ها و اکینودرم‌ها به‌عنوان آلوکم اصلی و فرامینیفراهای بنتیک مانند میلیولید به‌صورت فرعی همراه با دانه‌های کوارتز با فراوانی حدود ۵ درصد به‌صورت پراکنده است که رخساره وکستون حاوی جلبک و بایوکلاست را تشکیل داده است (شکل ۵، پ). بر اساس ویژگی‌های موجود این ریزرخساره قابل انطباق با ریزرخساره RMF7 مدل رمپ فلوگل (Flügel., 2010) است.

تفسیر: جلبک‌های ژیمنوکوداسه‌آ که عمدتاً در ریزرخساره‌های کم عمق رمپ بیرونی یافت می‌شوند (Elliott., 1978). همراه با خرده‌ها اکینودرم در یک زمینه میکریتی حاکی از محیط کم عمق دریای باز است.

O2. وکستون-پکستون حاوی بایوکلاست (Bioclast wackestone-packstone)

این ریزرخساره دارای میکریت در زمینه است و اجزاء عمده این ریزرخساره شامل دوکفه‌ای‌ها، براکیوپود، لوله کرم و اکینودرم‌ها است (شکل ۵ ت) که در آن اکینودرم‌ها و لوله‌های کرم دارای فراوانی غالب هستند. دانه‌های آواری

1. Leeward shoal

کوارتز نیز حدود ۵ درصد فراوانی دارند. این رخساره مطابق با رخساره استاندارد RMF13 فلوگل (Flügel., 2010) است.

تفسیر: به طور کلی همراهی حضور اکتینودرمها و لوله‌های کرم نشان‌دهنده نواحی کم عمق محیط رمپ بیرونی بوده است (Tucker., 2001).

03. وکستون حاوی لوله کرم (Worm tube wackestone)

یکی از شاخص‌ترین جانداران محیط دریای باز در رسوبات بررسی شده کرم‌های حلقوی هستند. این بی‌مهرگان مربوط به دریاچه‌های کم عمق به صورت چسبیده به سطوح سخت یا سطوح نرم است (Fauchald & Jumars., 1979; Ruppert et al., 2004) و آلوکم اصلی در این ریزرخساره بوده است که در یک زمینه گلی واقع شده‌اند (شکل ۵ ث). اکتینودرم و دوکفه‌ای‌ها نیز از اجزای فرعی این ریزرخساره هستند. دانه‌های آواری کوارتز نیز به صورت پراکنده در این ریزرخساره حضور دارند این ریزرخساره منطبق با ریزرخساره شماره ۷ باکسون و پدلی (Buxton & Pedley., 1989) است.

تفسیر: با توجه به فراوانی غالب لوله‌های کرم که از جانداران بی‌مهره و کفزی دریاچه‌های کم عمق بوده است و به سطوح سخت و نرم می‌چسبند (Fauchald & Jumars., 1979; Ruppert et al., 2004) و نیز حضور اکتینودرمها که مربوط به رمپ بیرونی است این ریزرخساره در رمپ بیرونی واحد کربناته کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز نهشته شده است.

04. وکستون حاوی اکتینودرم (Echinoderm wackestone)

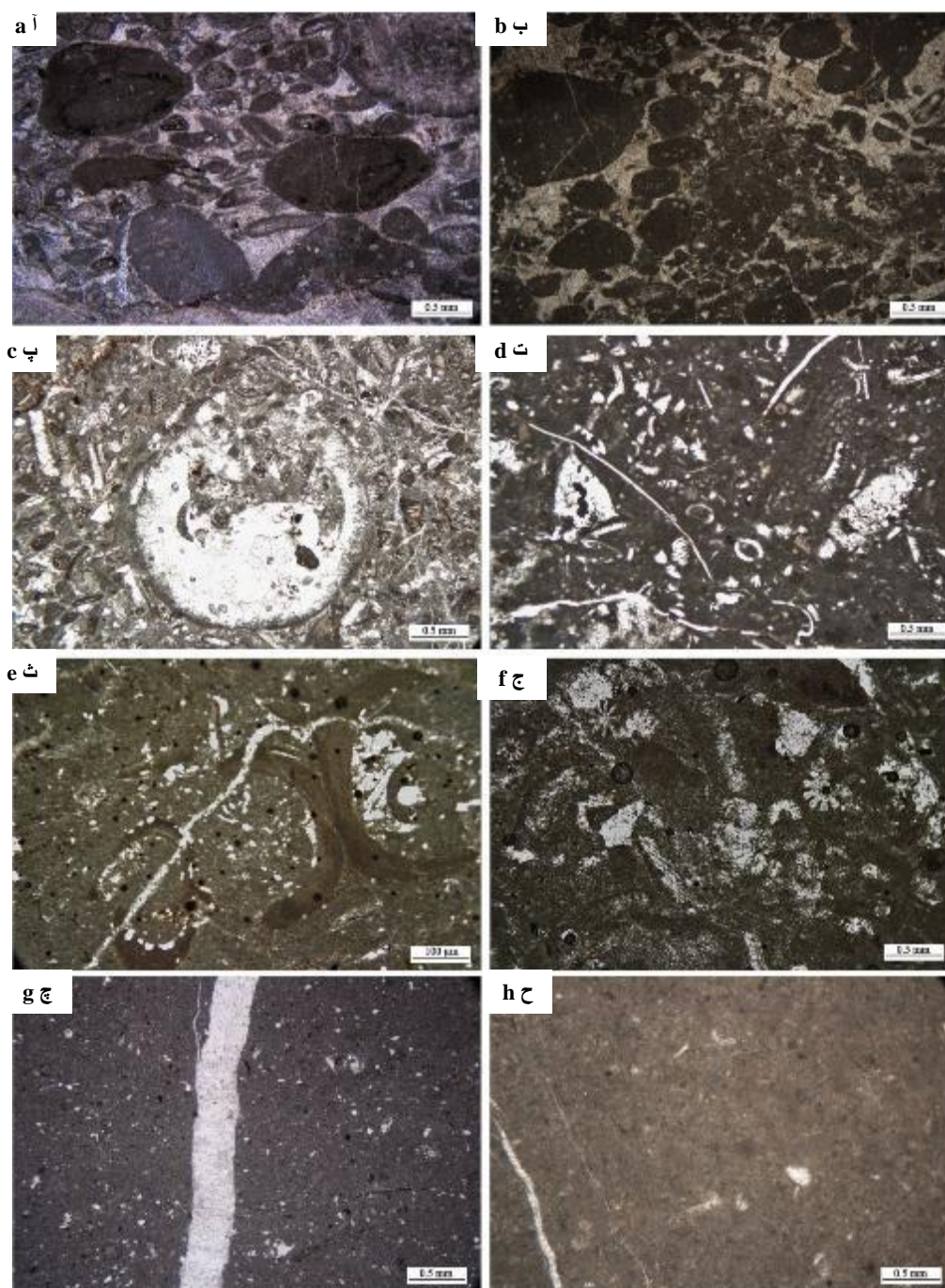
ریزرخساره اکتینودرم وکستون در رسوبات بررسی شده در بخش‌های نسبتاً عمیق‌تر حوضه رسوبی اکتینودرمها در زمینه‌ای میکریتی همراه با دانه‌های آواری کوارتز در اندازه سیلت به صورت پراکنده ریزرخساره اکتینودرم وکستون را تشکیل می‌دهند (شکل ۵، ج). این ریزرخساره منطبق با رخساره RMF7 فلوگل (Flügel., 2010) و ریزرخساره شماره ۷ باکسون و پدلی (Buxton & Pedley., 1989) است.

تفسیر: حضور اکتینودرمها که عمدتاً معرف دریای باز است (Hess et al., 2002) و نیز با توجه به جایگاه در طول ستون چینه‌نگاری که در ادامه ریزرخساره لوله کرم وکستون واقع شده، این ریزرخساره حاکی از رمپ بیرونی در زمان تشکیل است.

05. مادستون (Mudstone)

عمیق‌ترین رسوبات مربوط به محیط رسوبی واحدهای کربناته بررسی شده رخساره مادستون با فسیل‌هایی از قبیل دوکفه‌ای، اکتینودرم و لوله کرم با فراوانی کم‌تر از ۵ درصد بررسی شد. رگه‌های پر شده با سیمان کلسیتی و سیمان هم بعد از فرآیندهای دیاژنزی بررسی شده در این ریزرخساره است. دانه‌های آواری کوارتز در اندازه سیلت با فراوانی حدود ۵ درصد از دانه‌های غیرکربناته این ریزرخساره هستند. این ریزرخساره منطبق با ریزرخساره RMF5 مدل رمپ فلوگل (Flügel., 2010) در رمپ بیرونی است (شکل ۵، چ).

ریزرخساره‌های بررسی شده در طول ستون چینه‌شناسی این واحد در شکل ۷ نشان داده شده‌اند.

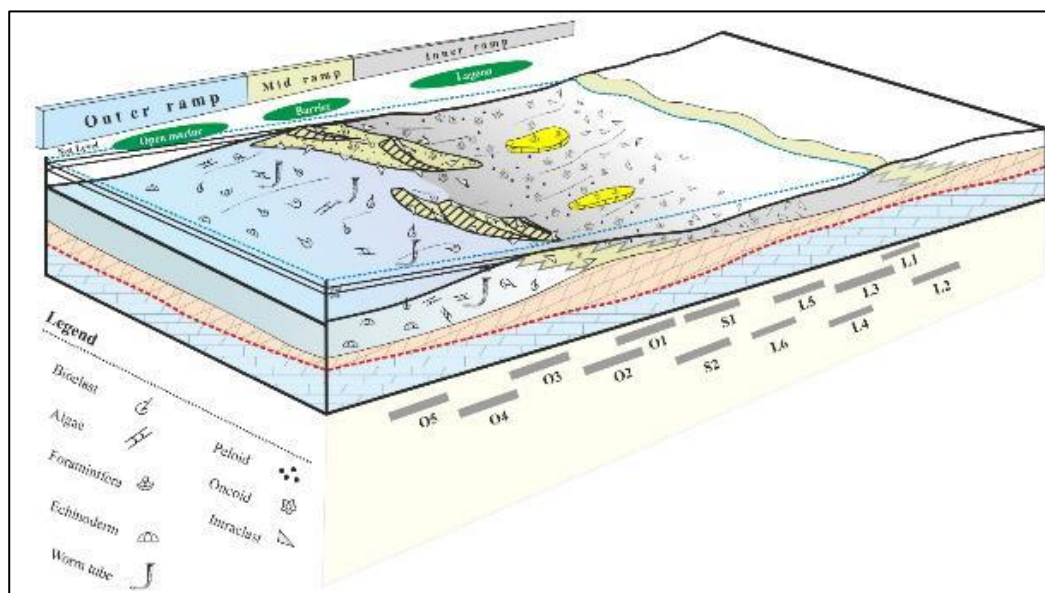


شکل ۵. آ) گرینستون حاوی آنکوئید و اینتراکلاست (فلش زردرنگ) (نمونه ۴Fs)، ب) گرینستون حاوی اینتراکلاست و پلوئید (نمونه ۱۱۲Fs)، پ) وکستون-پکستون حاوی جلبک و بایوکلاست (نمونه ۲۴Fs)، ت) وکستون-پکستون حاوی بایوکلاست (نمونه ۲۶Fs)، ث) وکستون حاوی لوله کرم (نمونه ۹۱Fs)، ج) وکستون حاوی اکیئودرم (نمونه ۱۱Fs)، چ) مادستون (نمونه ۵۴Fs)، ح) مادستون (نمونه ۵۵Fs) که به‌عنوان عمیق‌ترین ریزرخساره رسوبات کربناته کوه خان‌گرمز شناخته شد.

Figure 5. a) Oncoid intraclast grainstone (yellow arrow) (sample number: 4Fs), b) Intraclast peloid grainstone (sample number: 112Fs), c) Algal bioclast wackestone-packstone (sample number: 24Fs), d) Bioclast wackestone-packstone (sample number: 26Fs), e) Worm tube wackestone (sample number: 91Fs), f) Echinoderm wackestone (sample number: 11Fs), g) mudstone (sample number: 54Fs), h) Mudstone (sample number: 55Fs) regarded deepest carbonate microfacies in the Cretaceous Kuh-e Khangormaz strata.

ارائه مدل رسوبی

براساس پژوهش‌های میدانی و بررسی پتروگرافی مقاطع نازک میکروسکوپی، تغییرات تدریجی رخساره‌ها، وجود میکریت در بیش‌تر ریزرخساره‌ها، نبود ساخت‌های ریزشی و لغزشی، نبود آگرگات‌ها، پیژوئیدها و کلسی توربیدیت‌ها^۱ که نشان‌دهنده شیب زیاد محیط‌رسوبی هنگام رسوب‌گذاری هستند، رسوبات کربناته کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز در برش بررسی شده در یک پلت‌فرم کربناته از نوع رمپ هم‌شیب نهشته شده‌اند. با توجه به فسیل‌ها و بررسی تغییرات عمودی و جانبی این ریزرخساره‌ها و هم‌چنین مقایسه آنها با دو مدل رمپ فلوگل (Flügel., 2010) و باکستون و پدلی (Buxton & Pedley., 1989) می‌توان بیان کرد که به‌دلیل تنوع و فراوانی روزن‌داران کفزی این رمپ کربناته به‌عنوان سیستم رمپ کربناته با فراوانی فرامینیفرهای کفزی شناخته شده است و کمربندهای رخساره‌ای لاگون، پشته و دریای باز در زمان رسوب‌گذاری رسوبات آهکی کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز وجود داشته‌اند که به‌صورت شماتیک در شکل ۶ نشان داده شده است. هم‌چنین وجود جلبک‌های ژیمنوکودپاسه^۲ در کرتاسه زیرین، در پلت‌فرم‌های کربناته حوضه تئیس بیان‌گر محیط‌های دریایی گرم و کم عمق با انرژی کم تا متوسط است (Hughes., 2017). حضور این جلبک‌ها تأکیدی بر محیط رسوبی گرم لب‌شور و بسیار شور با عمق کم رسوبات این برش است.



شکل ۶. تصویر شماتیک از مدل رسوبی مفهومی سه‌بعدی ارائه شده رسوبات آهکی کرتاسه کوه خان‌گرمز همراه با گسترش رخساره‌های رسوبی در آن (شریفی، ۱۳۹۸)

Figure 6. Schematic illustration of the three-dimensional Schematic sedimentary model of the Cretaceous carbonate deposit in the Kuh-e Khangormaz (Sharifi, 1398)

چینه‌نگاری سکانسی

تغییرات سطح آب دریا در دوران کرتاسه در مناطق مختلف دنیا نشان‌دهنده پیش‌روی‌های متعدد آب دریا در رسوبات این دوره زمین‌شناسی است. رسوب‌گذاری در رمپ‌های کربناته بیش‌تر در بخش‌های پیش‌رونده و تراز زیاد تغییرات سطح نسبی آب دریا رخ می‌دهد. رسوب‌گذاری در مرحله تراز کم در رمپ‌های با بخش انتهایی پر شیب، اهمیت بیش‌تری دارد (Catuneanu., 2020a, b). رسوب‌گذاری در مرحله افت و تراز کم در رمپ‌های هم‌شیب اهمیت

1. Calciturbidite
2. Gymnocodiaceae

کم‌تری داشته و به این ترتیب این بخش از سکانس‌ها ضخامت کم‌تری دارند. بر اساس بررسی‌های صحرایی و بررسی‌های پتروگرافی در رسوبات بررسی شده، مطالعات چینه‌نگاری سکانسی در این رسوبات انجام شد. نتایج حاکی از وجود سه سکانس رسوبی رده ۳ در این رسوبات بوده است که با توجه به شواهد موجود این سکانس‌ها از یک‌دیگر تفکیک شدند.

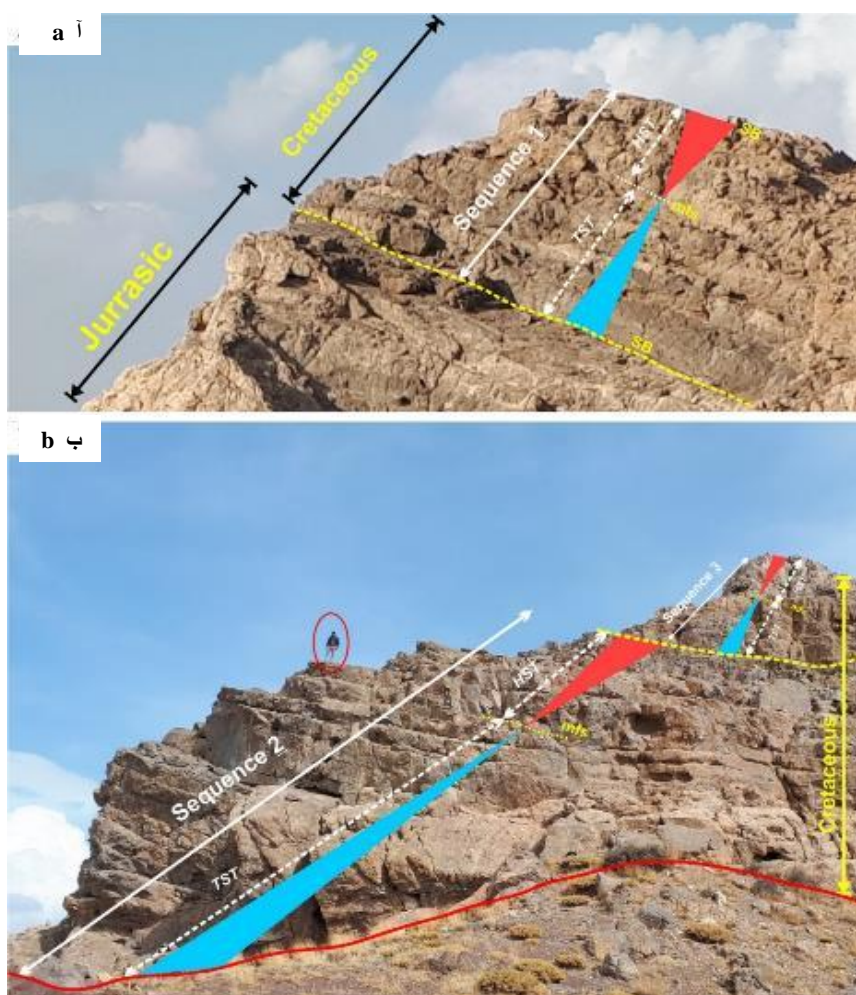
سکانس ۱: سکانس ۱ در منطقه بررسی شده ۳۳ متر ضخامت داشته و مرز زیرین این سکانس واقع در بین نهشته‌های آهکی سفید رنگ توده‌ای به سن ژوراسیک و رسوبات قهوه‌ای تیره کرتاسه زیرین است. مرز فوقانی این سکانس در رسوبات آهک خاکستری رنگ قرار گرفته که با رخساره بایوکلیست و کستون مشخص شده است. توالی‌های رسوبی این سکانس در صحرا متشکل از سنگ آهک‌های خاکستری رنگ با آثار کارستی و شکستگی‌های فراوان با رگه‌های کلسیتی است. این سکانس متشکل از دو دسته رخساره تراز پیش‌رونده آب دریا و تراز بالای آب دریا بوده است که دسته رخساره تراز پیش‌رونده متشکل از رخساره‌های محیط لاگون و دریای باز کم‌عمق است که در انتهای آن رسوبات دارای لوله کرم و اکینودرم شاخص هستند. سطح حداکثر غرقابی (mfs) درون رخساره مادستونی در ضخامت ۱۷ متری متعلق به دریای باز تشخیص داده شد. در ادامه این سکانس دسته رخساره تراز بالای آب دریا (HST) با روندی کم‌عمق شونده همراه با سنگ آهک در بردارنده دانه‌های آواری کوارتز قرار گرفته که در بررسی‌های میکروسکوپی از رخساره‌های رمپ بیرونی و درونی تشکیل شده است. در انتها این سکانس به رخساره بایوکلیست و کستون محیط لاگون ختم می‌شود. سکانس رسوبی ۱ همراه با اجزاء آن در شکل (۷، آ) نشان داده شده است.

سکانس ۲: رسوبات تشکیل‌دهنده این سکانس با ۴۰ متر ضخامت در ضخامت ۳۳ تا ۷۳ متری واحد کربناته کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز قرار گرفته‌اند. مرز زیرین این سکانس منطبق بر رخساره بایوکلیست و کستون و مرز بالایی به رخساره آنکوئید و کستون/پکستون ختم می‌شود. در این سکانس دسته رخساره پیش‌رونده (TST) با ضخامت ۱۹ متر تشکیل شده که در انتها به سطح حداکثر غرق‌شوندگی (mfs) در ضخامت ۵۲ متری با رخساره مادستون دریای باز ختم می‌شود. در ادامه رسوبات آهکی کرم رنگ دسته رخساره تراز بالا (HST) با ضخامت ۲۱ متر با روند کم عمق شونده به سمت بالا واقع شده که از رخساره‌های رمپ بیرونی به رخساره‌های رمپ میانی تبدیل می‌شود. انتهای این سکانس منتهی به مرز سکانس ما بین سکانس ۲ و ۳ می‌شود.

سکانس ۳: این سکانس که در ضخامت ۷۳ متری تا ۱۱۹ متری رسوبات کربناته کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز قرار گرفته که ۴۶ متر ضخامت دارد. مرز زیرین این سکانس منطبق بر رخساره آنکوئید و کستون/پکستون و مرز بالایی بر رخساره اربیتولین و کستون منطبق شده است. در این سکانس دسته رخساره تراز پیش‌رونده (TST) از رخساره‌های بایوکلیست و کستون، اینتراکلیست گرینستون و مادستون تشکیل شده است. سطح حداکثر غرق‌شوندگی (mfs) در ضخامت ۸۴/۵ متری درون رخساره مادستونی تشخیص داده شد. دسته رخساره تراز بالای آب دریا (HST) با روند کم عمق شوندگی به طرف بالا در این سکانس به ترتیب از محیط دریای باز به لاگون تبدیل می‌شود. در نهایت این سکانس به رخساره پکستون حاوی اربیتولین و پلوئید محیط لاگون در ضخامت ۱۱۹ متری ختم می‌شود که با توجه به نبود هیچ واحد رسوبی دیگر به‌عنوان بالاترین بخش (HST) در سنگ آهک‌های کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز با مرزی فرسایشی در نظر گرفته شده است (شکل ۸).

دیاژنز (Diagenesis)

بر اساس پژوهش‌های صحرایی و پتروگرافی و واحدهای آهکی کرتاسه زیرین در کوه خان‌گرمز فرآیندهای دیاژنزی موجود بررسی شدند. مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی در این رسوبات شامل:



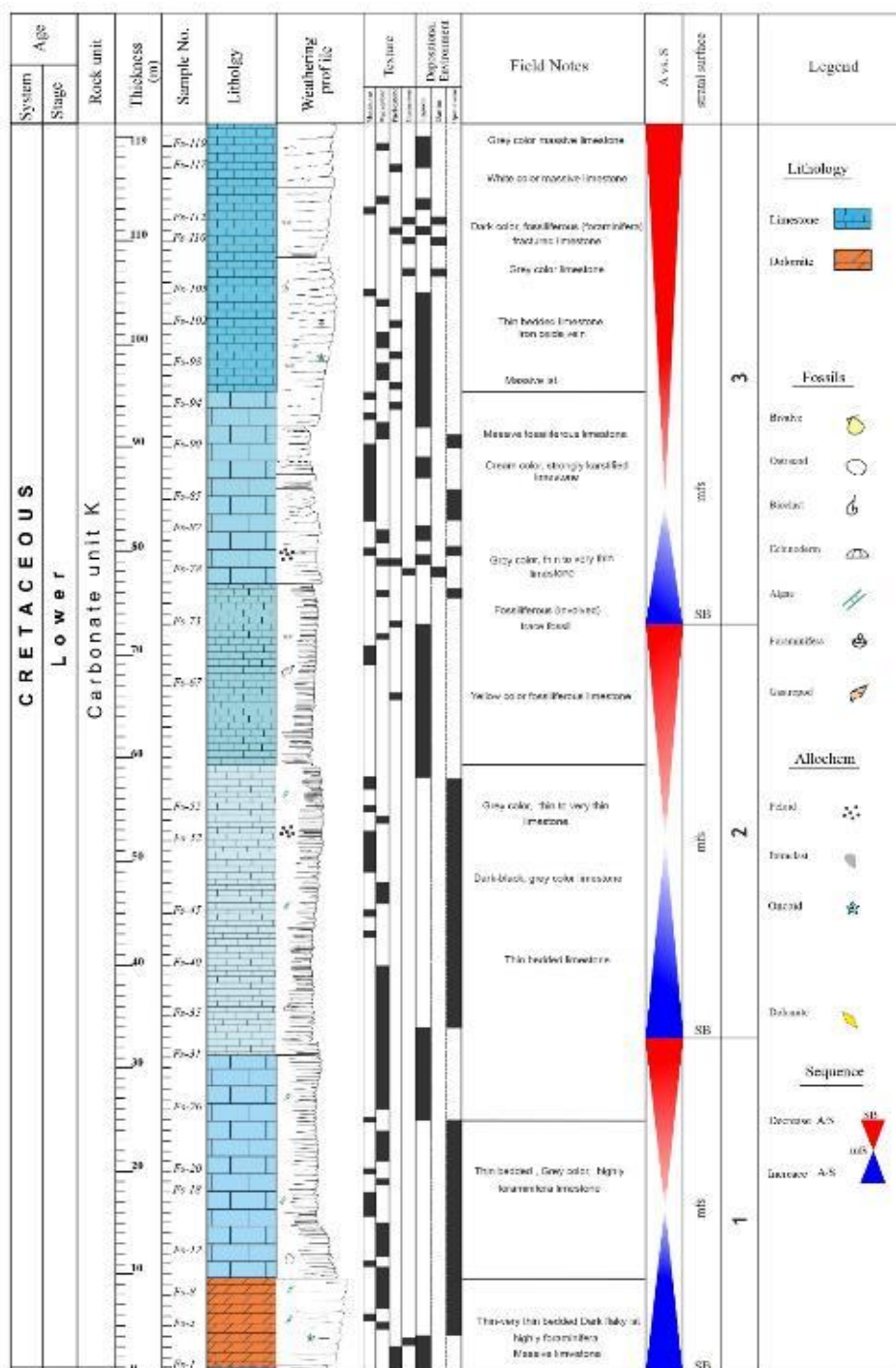
شکل ۷. آ) سکانس ۱ همراه با دسته‌رخساره‌های موجود که در قاعده به مرز سکانسی فرسایشی با رسوبات ژوراسیک ختم شده است (دید به سمت شمال)، ب) سکانس‌های رسوبی ۲ و ۳ همراه با دسته‌رخساره‌های بررسی شده با توجه به بررسی پتروگرافی (برای مقیاس به فرد توجه شود، دید به سمت شرق)

Figure 7. a) Field view of the sequence 1 along with its systems tract terminating to erosional unconformity of the Jurassic deposits (view toward north), b) The depositional sequences 2 and 3 together with studied systems tracts based on petrographic studies (Note the person for scale (circled) view toward east).

میکریتی شدن: از اولین فرآیندهای دیاژنزی است که در محیط‌های فریاتیکی دریایی و نزدیک سطح تماس آب و رسوب اتفاق می‌افتد (Reid & Macintyre., 2000). میکریتی شدن به دو صورت جزئی که به صورت یک پوشش میکریتی^۱ در اطراف دانه‌ها مانند صدف دوکفه‌ای‌ها و یا به طور کامل در اجزاء اسکلتی موجودات رخ داده و آنها را به دانه‌های غیراسکلتی مانند پلوئید تبدیل می‌کند (Zarza & Tanner., 2010) (شکل ۹، آ).

رگه‌های پر شده با سیمان: اغلب سنگ‌های کربناته دارای شکستگی‌های در حد میلی‌متر و سانتی‌متر است. که این شکستگی‌ها معمولاً با کلسیت پر شده‌اند و رگه یا رگچه نامیده می‌شوند. این سیمان در مراحل مختلف رسوب‌گذاری و دیاژنز تشکیل می‌شود (Zarza & Tanner., 2010)، و اغلب به صورت هم بعد و دروزی درون رگه‌ها را پر می‌کند (Tucker., 2001) این نوع سیمان با خصوصیات ذکر شده کلیه فرآیندهای دیاژنزی را قطع می‌کند، می‌توان محیط ته نشست این سیمان را به مراحل آخر تدفین نسبت داد (شکل ۹، ب).

1. Micritic envelope



شکل ۸. ستون چینه‌شناسی رسوبات کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز همراه با سکانس‌های بررسی شده (شریفی، ۱۳۹۸)
Figure 8. Schematic measured stratigraphic column of the Lower Cretaceous Kuh-e Khangormaz deposits with interpretation sequences (Sharifi, 1398).

سیمانی شدن: به فرآیند دیاژنزی که در آن کانی‌ها در فضای خالی رسوبات نهشته می‌شوند سیمانی شدن گویند. در واقع فرآیند سیمانی شدن در یک سنگ کربناته از زمان نهشته شدن رسوب در محیط دریایی تا پس از رسوب‌گذاری در محیط‌های تدفین کم‌عمق، متوسط، عمیق و دوز در چندین مرحله تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Sajed & Glover., 2020) (شکل ۹، ب).

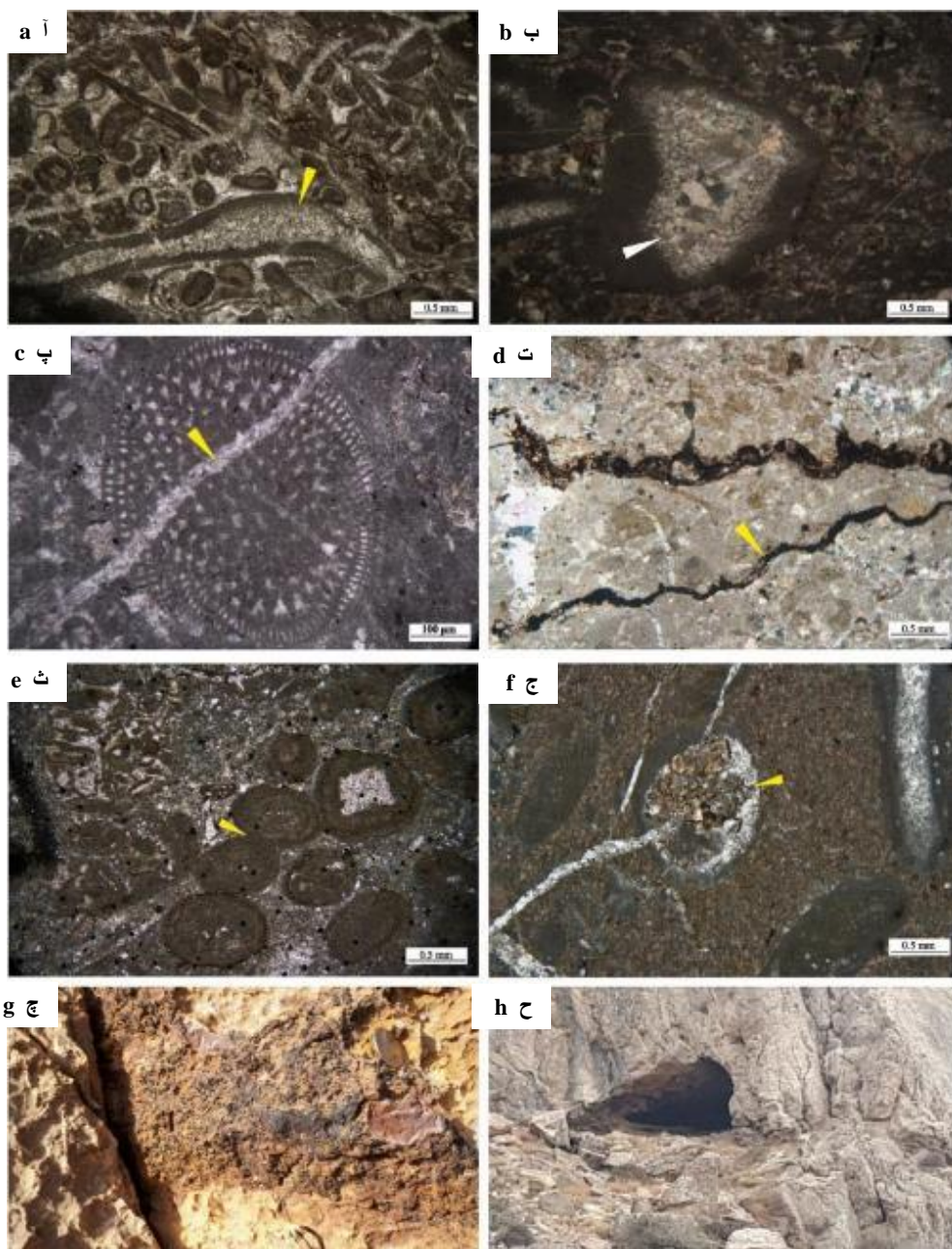
استیلولیتی شدن: استیلولیت‌ها سطوح مضرس ممتدی هستند که دانه‌ها، سیمان و ماتریکس را قطع می‌کنند و دامنه آنها کم‌تر از ۱ میلی‌متر است دامنه‌ها نشان‌دهنده حداکثر ضخامت مواد حل شده است. استیلولیت‌ها در اثر انحلال فشاری در اثر فشارهای تکتونیکی یا وزن طبقات فوقانی اتفاق می‌افتد (Hughes., 2017; Toussaint et al., 2018) استیلولیتی شدن باعث کاهش چشم‌گیری در ضخامت رسوبات می‌شود. در نمونه‌های بررسی شده استیلولیت‌ها به فراوانی دیده می‌شود و در اطراف آنها تمرکز مواد آلی و گاهی دولومیت مشاهده می‌شود (شکل ۹، ت).
تراکم مکانیکی: در اثر پدیده تراکم مکانیکی تغییر شکل پلاستیک، خرد شدن دانه‌ها، تغییر در فواصل دانه‌ها و آرایش مجدد ذرات تشکیل‌دهنده سنگ دیده می‌شود. در نمونه‌های بررسی شده تماس‌های خطی در نمونه‌های بررسی شده در بین آنکوئیدها در رخساره پکستونی بررسی شدند (شکل ۹، ث).

دولومیتی شدن: دولومیتی شدن یکی از فرآیندهای مهم و متداول در سنگ‌های آهکی است. دولومیت یک کانی جانیشینی ثانویه است اگرچه می‌تواند به‌صورت سیمان نیز ظاهر شود. دولومیت می‌تواند در بیش‌تر مراحل دیاژنز یعنی بلافاصله بعد از رسوب‌گذاری تا تدفین در اعماق و از آب‌هایی با ترکیب شیمیایی مختلف و مخلوط آب‌های متائوریکی و دریایی، آب دریا و آب‌های بسیار شور تشکیل شود (Fantle et al., 2020). هر چقدر که سنگ اولیه دانه‌ریز باشد (میکرایت) سطح تماس محلول‌های دولومیت‌ساز بالا است و سرعت هسته‌زایی نیز زیاد است و در نتیجه دولومیت‌ها ریزتر خواهند بود. بر اساس بررسی انجام شده در نمونه‌های آهکی واحد کرتاسه زیرین در کوه خان‌گرمز با توجه به مقاله آدابی (Adabi., 2009). یک نوع دولومیت در این پژوهش شناسایی شد. این نوع دولومیت‌ها در نمونه‌های بررسی شده به‌صورت موزائیک‌های یک اندازه^۱ دارای مرز نیمه شکل‌دار در اندازه ۱۰ تا ۶۰ میکرون (میانگین ۴۰ میکرون) مشاهده می‌شوند (شکل ۹، ج).

آهن‌دار شدن: در این فرآیند ترکیبات آهن (به خصوص ۳ ظرفیتی) به‌صورت محلول در آب‌های زیرزمینی وارد خلل و فرج سنگ‌های آهکی می‌شود و به‌راحتی جانشین کربنات کلسیم می‌شوند (Fantle et al., 2020). این فرآیند در امتداد استیلولیت‌ها به‌طور بارزی دیده می‌شوند (Adabi., 2009) (شکل ۹، چ).

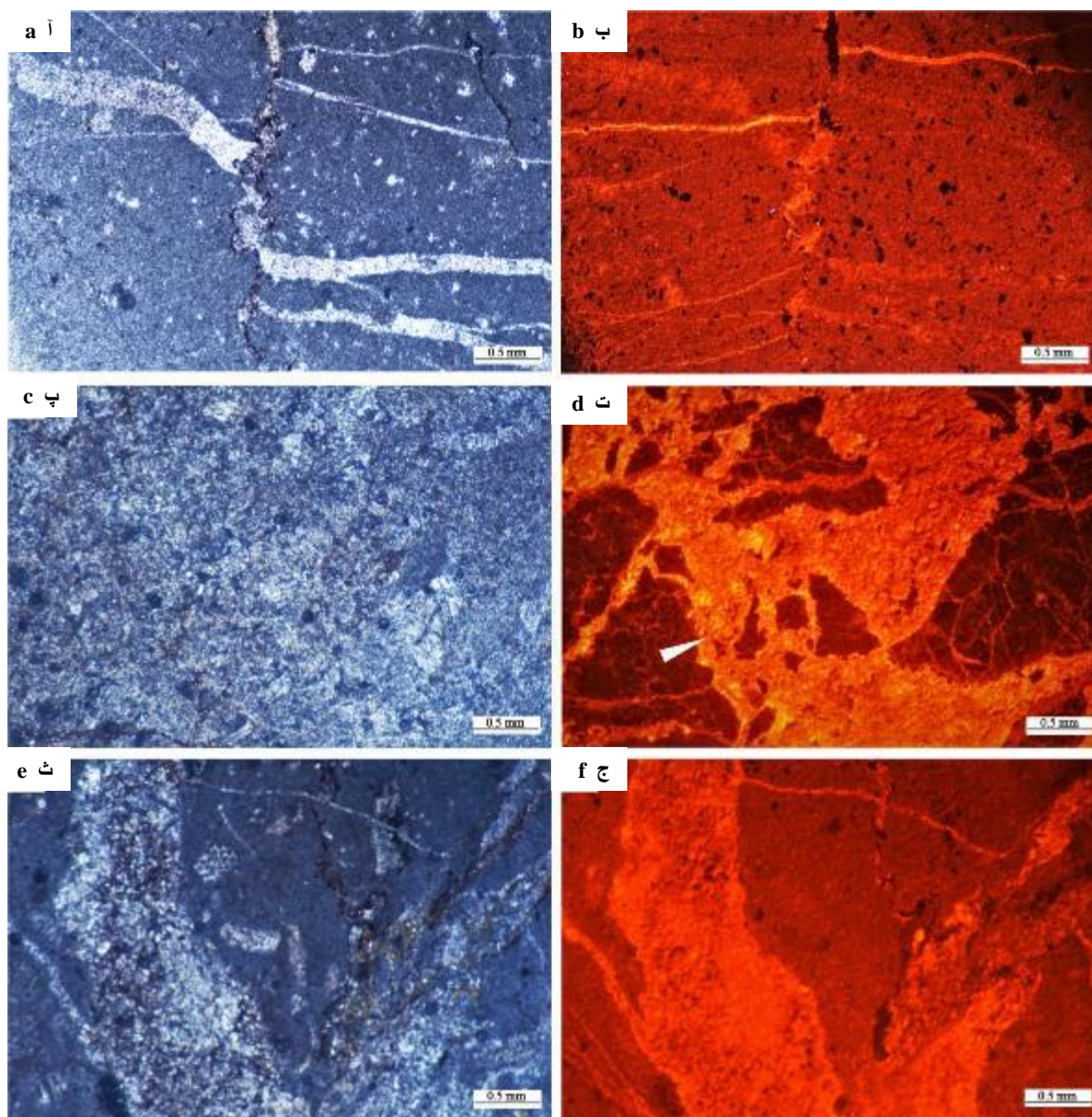
کارستی شدن: همراه با انحلال سنگ‌های آهکی واژه کارست اشاره به ویژگی‌های مورفولوژیکی دارد و زمانی رخ می‌دهد که سنگ‌های کربناته به‌وسیله آب‌های متائوریکی انحلال می‌یابند. تغییرات سطح آب دریا در سیستم‌های تهنشینی کربناته باعث توقف کارخانه کربناته و فرآیند کارستی شدن به‌خصوص در محیط‌های مرطوب می‌شود (Morad et al., 2013) (شکل ۹، ح) در منطقه که منجر به تشکیل غار شده است.

به‌منظور تشخیص نوع محیط دیاژنزی دریایی، متائوریکی و تدفینی بررسی‌های کاتدولومینسانس در برخی از مقاطع انجام شد که نشان‌دهنده فرآیند دیاژنز متائوریکی تدفینی (شکل ۱۰، آ و ب) و دیاژنز تدفینی (شکل ۱۰، ث و ج) است. هم‌چنین فرآیند برشی شدن که با سیمانی شدن همراه است در نور کاند درون نمونه‌ها بررسی شده (شکل ۱۰، پ و ت).



شکل ۹. آ) فرآیند میکریتی شدن در اطراف یک دوکف‌های (فلش زردرنگ) (نمونه ۴Fs)، **ب)** فرآیند سیمانی شدن از نوع دروزی در درون یک آلوکم (فلش سفید رنگ) (نمونه ۵Fs)، **پ)** رگه پر شده با سیمان که یک اربیتولینید را قطع کرده است (نمونه ۱۰۰Fs)، **ت)** استیلولیت‌ها (فلش زردرنگ) (نمونه ۶۶Fs)، **ث)** تماس خطی دو آنکوئید ناشی از فشردگی مکانیکی (فلش زردرنگ) (نمونه ۳Fs)، **ج)** دولومیتی شدن (فلش زردرنگ) (نمونه ۱۰۰Fs)، **چ)** آهن‌دار شدن در بخش میانی (نمونه ۸۵Fs) توالی آهکی بررسی شده، **ح)** تشکیل غار ناشی از فرآیند انحلال و کارستی شدن در ارتفاع ۹۵ متری (دید به سمت جنوب).

Figure 9 a) Micritization process around a bivalve (yellow arrow) (sample number: 4Fs), **b)** Drusy cement inside an allochem (white arrow) (sample number: 5Fs), **c)** A vein filled with cement cut across an orbitolinid (sample number: 100Fs), **d)** Stylolites (yellow arrow) (sample number: 66Fs), **e)** Linear contact between two oncoids as a result mechanical compaction (yellow arrow) (sample number: 3Fs), **f)** Dolomitization (yellow arrow) (sample number: 100Fs), **g)** Hematitization in the middle part (sample 85Fs) of the studied carbonate sequence and **h)** Formation of cave as a result of dissolution and karstification process (View toward south).



شکل ۱۰. بررسی‌های میکروسکوپ پلاریزان در تعدادی از نمونه‌های بررسی شده، (آ) سیمان رگه‌ای در زیر میکروسکوپ پلاریزان (نور PPL)، (ب) تصویر کاتدولومینسانس مربوط به نمونه آ، در این تصویر لومینسانس روشن است که نشان‌دهنده رخداد دیاژنز متافوریک است (نمونه ۸۴Fs)، (پ) سنگ آهک که در نور پلاریزان بافت برشی در آن دیده نمی‌شود (نور PPL)، (ت) تصویر کاتدولومینسانس مربوط به نمونه پ که نشان‌دهنده لومینسانس تیره است و حاکی از تأثیر دیاژنز تدفینی و رخداد برشی شدن (فلش سفید رنگ) است (نمونه ۲۹Fs)، (ث) سیمان کلسیتی پرکننده رگه در میکروسکوپ پلاریزان (نور PPL)، (ج) تصویر لومینسانس مربوط به نمونه ث که لومینسانس روشن آن نشان‌دهنده تأثیر دیاژنز متافوریک و عدم زون‌بندی در آن نشان‌دهنده تشکیل یک مرحله‌ای سیمان است (نمونه ۲۹Fs).

Figure 10. Thin section image of some studied samples under xpl and cathodoluminescence microscope. **a)** Vein cement photomicrograph xpl, **b)** Same area as in (a) under cathodoluminescence which shows bright luminescence, possibly of meteoric diagenetic origin (sample number: 84Fs), **c)** Limestone in ppl, showing brecciated texture with dull luminescence in **d)** reflecting burial diagenesis and brecciation (sample number: 29Fs), **e)** Calcite vein fill cement in ppl, bright luminescence in **f)** reflecting meteoric diagenesis without zoning.

تاریخچه دیاژنتیکی

توالی پاراژنتیکی نشان‌دهندهٔ زمان نسبی تأثیر فرآیندهای دیاژنتیکی نسبت به یکدیگر است (Fantle et al., 2020) در کوه خان گرمز با توجه به خصوصیات پتروگرافی، انواع سیم آنها و سایر فرآیندهای دیاژنتیکی سه محیط دیاژنزی دریایی، متاوریکی و تدفینی در این رسوبات بررسی شدند. با توجه به پژوهش‌های پتروگرافی و محیط‌های تشخیص داده شده در نمونه‌ها توالی پاراژنتیکی در نمونه‌های بررسی شده در شکل ۱۱ ارائه شده است.



شکل ۱۱. توالی پاراژنتیکی در نمونه‌های آهکی کوه خان گرمز

Figure 11. A detailed paragenetic sequence in the Lower Cretaceous carbonate of the Kuh-e Khangormaz.

بررسی‌های ژئوشیمی

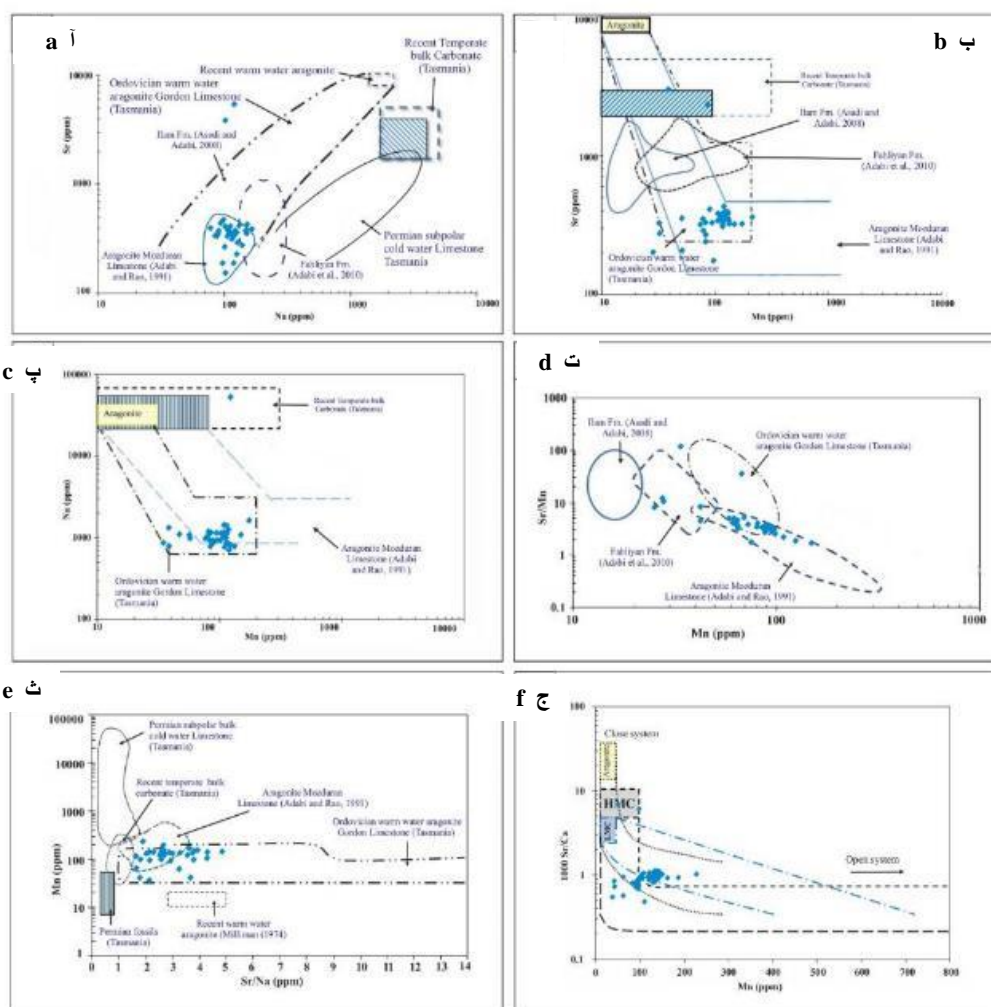
بخش مهمی از بررسی‌های کربنات‌ها و به‌ویژه دیاژنز مطالعه و بررسی عناصر اصلی^۱ و فرعی^۲ است. تغییرات عناصر اصلی و فرعی در کربنات‌ها به عامل‌های مختلفی از جمله دما، ترکیب کانی‌شناسی، شرایط اکسیداسیون و احیاء بستگی دارد. با استفاده از بررسی‌های ژئوشیمی می‌توان شرایط تشکیل کربنات‌ها، ترکیب کانی‌شناسی و نوع محیط دیاژنزی را تشخیص داد (Adabi & Asadi-Mehmandosti., 2008) با مشاهدهٔ تغییرات عناصر اصلی و فرعی در رسوبات کربناته آب سرد و گرم عهد حاضر می‌توان معادل دیرینه آنها را نیز تشخیص داد (Liaghat et al., 2021). نتایج تجزیه‌های ژئوشیمیایی در جدول ۱ ارائه شده است. استرانسیم در تعیین ترکیب کانی‌ها و شرایط دیاژنتیکی

1. Major elements
2. Trace element

محیط‌های گذشته رسوبات کربناته استفاده می‌شود (Liagha et al., 2021) مقدار استرانسیم با افزایش آراگونیت، افزایش و با افزایش کلسیت، کاهش می‌یابد (Rao & Adabi., 1992; Salehi et al., 2010; Adabi et al., 2016) در آب‌های متائوریکی میزان Sr کم و در نتیجه در کربنات‌هایی که تحت تأثیر این آب قرار دارد باعث کاهش Sr در این کربنات‌ها می‌شود (Veizer., 1983). مقدار استرانسیم حاصل از تجزیه نمونه‌ها ما بین ۱۷۵ تا ۴۲۶ پی‌پی‌ام متغیر بوده است که ترسیم مقدار سدیم در برابر استرانسیم در (شکل ۱۲، آ) قرار گیری نمونه‌های بررسی شده در محدوده آراگونیت مزدوران را نشان می‌دهد. بر اساس تجزیه‌های انجام شده مقدار سدیم در نمونه‌های مربوط به کوه خان گرمز بین ۶۸ تا ۱۷۰ پی‌پی‌ام متغیر است. با توجه به (شکل ۱۲، آ) با ترسیم مقدار سدیم در برابر استرانسیم نشان می‌دهد که نمونه‌های بررسی شده خارج از محدوده‌های کلسیتی قرار گرفته‌اند که حاکی از ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی این نمونه‌ها در زمان رسوب‌گذاری است. با توجه به آن که ترسیم نسبت Sr/Mn در مقابل Mn به‌عنوان معیاری مفید برای تخمین میزان انحلال سنگ‌ها استفاده می‌شود (Liaghat et al., 2021) به‌طوری‌که در اثر این عمل نسبت Sr/Mn کاهش می‌یابد. با توجه به (شکل ۱۲، ب) این نمودار در رسوبات بررسی شده حاکی از قرار گیری نمونه‌ها در محدوده آراگونیت مزدوران بوده است و در واقع ترسیم نسبت Sr/Mn در برابر Mn معیاری مفید برای تخمین میزان انحلال سنگ آهک‌ها است. میزان منگنز در نمونه‌های کربناته کرتاسه زیرین کوه خان گرمز بین ۳۱ تا ۲۲۵ پی‌پی‌ام اندازه‌گیری شده است. نمودار میزان سدیم در برابر منگنز در (شکل ۱۲، پ) ترسیم شده است. نمودار میزان استرانسیم در برابر منگنز ترسیم شده است (شکل ۱۲، ت). بررسی‌ها نشان می‌دهند که بیش‌تر نمونه‌های آهکی بررسی شده در محدوده سنگ آهک‌های حاره‌ای مزدوران و حاره‌ای گوردون تاسمانیا با ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی واقع شده‌اند، زیرا بیش‌تر نمونه‌ها دارای نسبت استرانسیم به سدیم بیش از یک است (شکل ۱۲، ث). به‌طورکلی با توجه به تمرکز عناصر فرعی در کربنات‌ها می‌توان به میزان درجه دگرسانی دیاژنتیکی پی برد. دگرسانی اغلب باعث افزایش مقدار Mn و Fe در کلسیت می‌شود، زیرا این عناصر در شرایط احیایی می‌تواند در شبکه کلسیت قرار گیرد (Veizer., 1983). در نمودار Sr/Ca در برابر Mn (شکل ۱۲، ج) می‌توان روند دیاژنز را در سیستم‌های باز و بسته تعیین کرد. در سیستم‌های دیاژنتیکی باز، معمولاً تبادل آب به سنگ بیش‌تر است و از این رو، دگرسانی بیش‌تر می‌شود و مقادیر Mn افزایش چشم‌گیری می‌یابد؛ این تبادل به واسطه آب‌های متائوریکی انجام می‌شود و آراگونیت ناپایدار و کلسیت دارای منیزیم زیاد نیمه‌پایدار به کلسیت کم منیزیم پایدار تبدیل می‌شود. در سیستم دیاژنتیکی نیمه‌بسته و بسته، تبادل آب به سنگ کم‌تر است و از این رو، میزان دگرسانی ناچیز و مقادیر Mn به ترکیب کانی‌شناسی سنگ اولیه بسیار نزدیک است. چنان‌که در شکل مشاهده می‌شود با توجه به محدوده قرارگیری نمونه‌های کربناته کرتاسه زیرین کوه خان گرمز به نظر می‌رسد که آهک‌های بررسی شده تحت تأثیر دیاژنز غیر دریایی^۱ در یک محیط بسته تا نیمه‌بسته قرار گرفته‌اند.

جدول ۱. نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های واحد کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز
 Table 1. Geochemical results of the Kuh-e Khangormaz's samples analyzed.

	Mg%	Ca%	Fe ppm	Sr ppm	Na ppm	Mn ppm	Sr/Na	Sr/Ca	Sr/Mn
۱	۱/۶۸	۳۶/۴۶	۱۰۴۲/۹۸	۳۴۶/۲۱	۱۱۷/۲۶	۱۳۰/۰۴	۲/۹۵	۹/۴۹	۲/۶۶
۲	۱/۶۹	۳۵/۷۵	۱۳۲۳/۵۸	۳۶۶/۱۳	۶۷/۸۱	۱۳۴/۱۵	۵/۳۹	۱۰/۲۴	۲/۷۲
۳	۰/۱۶۸	۴۰/۲۱	۱۱۱/۶۴	۳۴۶/۲۱	۱۰۶/۳۷	۸۴/۷۷	۳/۳۰	۸/۶۱	۴/۰۸
۴	۰/۷۰	۳۶/۰۵	۹۳/۷۳	۲۰۲/۷۸	۸۷/۰۹	۳۱/۲۷	۲/۳۲	۲/۶۲	۶/۴۸
۵	۴/۶۰	۳۲/۳۱	۶۷۲/۸۳	۳۱۸/۳۲	۷۸/۸۰	۱۵۸/۸۴	۴/۰۴	۹/۸۵	۲
۶	۰/۵۶	۳۸/۱۸	۸۳۴/۰۲	۴۰۵/۹۷	۸۵/۴۱	۹۷/۱۱	۴/۷۷	۱۰/۶۳	۴/۱۸
۷	۰/۸۴	۳۳/۹۳	۱۲۸۵/۷۲	۳۷۴/۱۰	۹۴/۶۳	۱۱۳/۵۸	۳/۹۵	۱۱/۰۲	۳/۲۹
۸	۰/۷۴	۳۴/۵۳	۱۳۲۹/۵۵	۴۲۵/۸۹	۸۹/۶۰	۱۳۰/۰۴	۴/۷۵	۱۲/۳۳	۳/۲۷
۹	۰/۷۵	۳۳/۷۲	۱۴۱۹/۱۰	۳۸۲/۰۷	۱۲۹/۸۴	۱۳۸/۲۷	۲/۹۴	۰/۰۲	۷۶/۲
۱۰	۰/۶۶	۳۳/۳۴	۲۲۵/۰۷	۳۵۴/۱۸	۹۸/۸۲	۵۵/۹۶	۳/۵۸	۱۰/۰۲	۶/۳۲
۱۱	۰/۷۷	۳۱/۳۹	۱۳۷۱/۳۴	۳۵۸/۱۶	۱۷۰/۹۱	۲۲۴/۶۹	۲/۰۹	۱۱/۴۲	۱/۵۹
۱۲	۰/۷۱	۳۸/۷۹	۲۰۱/۱۹	۲۹۰/۴۳	۱۲۲/۲۹	۸۴/۷۷	۲/۳۷	۷/۴۸	۳/۴۲
۱۳	۰/۵۹	۳۲/۶۲	۲۵۴/۹۲	۲۶۶/۵۳	۹۲/۱۰	۸۸/۸۸	۲/۸۹	۷/۹۲	۲/۹۹
۱۴	۰/۶۵	۳۴/۱۳	۸۵۱/۹۴	۳۴۲/۲۳	۱۰۳/۰۱	۱۲۵/۹۲	۳/۳۲	۱۰/۰۲	۲/۷۱
۱۵	۰/۷۲	۳۰/۸۲	۱۷۰۵/۶۷	۳۳۸/۲۴	۱۵۲/۴۷	۱۲۱/۸۱	۲/۲۱	۱۰	۲/۷۷
۱۶	۰/۷۱	۳۰/۹۹	۱۰۳۷/۰۱	۳۸۶/۰۵	۱۵۱/۸۳	۱۳۰/۰۴	۲/۵۴	۱۲/۴۵	۲/۹۶
۱۷	۰/۷۰	۳۶/۴۶	۳۲۶/۵۶	۳۲۶/۲۹	۷۷/۸۷	۸۸/۸۸	۴/۱۹	۸/۹۴	۳/۶۷
۱۸	۰/۷۴	۳۴/۱۳	۵۴۷/۴۶	۳۱۰/۳۵	۱۰۹/۷۲	۱۲۵/۹۲	۲/۸۴	۹/۰۹	۲/۴۶
۱۹	۰/۶۰	۲۴/۹۱	۱۸۷۸/۸۰	۳۰۲/۳۹	۱۲۴/۸۱	۱۲۱/۸۱	۲/۴۲	۱۲/۱۳	۲/۴۸
۲۰	۰/۶۱	۳۵/۰۴	۹۳/۷۳	۱۷۴/۹۰	۹۶/۳	۵۵/۹۶	۱/۸۱	۴/۹۹	۱/۶۶
۲۱	۰/۷۴	۳۳/۴۲	۱۴۰۷/۱۶	۳۵۴/۱۸	۱۲۰/۶۲	۱۱۷/۶۹	۲/۹۳	۱۰/۵۹	۲/۹۰
۲۲	۰/۵۷	۳۶/۲۶	۷۵/۸۲	۲۰۶/۷۷	۱۱۱/۳۹	۱۱۳/۵۸	۱/۸۵	۵/۷۰	۳/۶۹
۲۳	۰/۹۱	۳۲/۸۱	۱۲۴۰	۳۲۶/۲۹	۹۱/۲۸	۱۸۳/۵۳	۳/۵۷	۹/۹۴	۱/۷۷
۲۴	۰/۶۳	۳۲/۶۱	۱۰۹۰/۷۴	۳۳۸/۲۴	۱۱۵/۵۹	۳۵/۳۹	۲/۹۲	۱۰/۳۷	۲/۹۷
۲۵	۰/۷۱	۳۲/۲۰	۹۶۵/۳۷	۳۲۲/۳۱	۱۰۹/۷۲	۱۸۳/۵۳	۲/۹۳	۱۰	۱/۷۵
۲۶	۰/۶۸	۳۶/۱۶	۲۸۴/۷۷	۳۲۶/۲۹	۸۰/۳۸	۳۵/۳۹	۴/۰۵	۹/۰۲	۹/۲۱
۲۷	۰/۶۶	۳۴/۰۳	۱۴۵۴/۹۲	۳۴۶/۲۱	۸۱/۲۲	۱۸۳/۲۷	۰/۰۱	۱۰/۱۷	۲/۵۰
۲۸	۰/۶۷	۲۷/۹۵	۱۳۶۵/۳۷	۳۳۴/۲۱	۱۱۸/۱۰	۱۴۲/۳۸	۲/۸۳	۱۱/۹۵	۲/۷۸
۲۹	۰/۶۶	۳۱/۰۹	۱۱۸۶/۲۶	۳۵۰/۱۹	۱۴۹/۹۵	۱۲۵/۹۲	۲/۳۳	۱۱/۲۶	۲/۶۸
۳۰	۰/۵۸	۳۱/۶۰	۶۴۲/۹۸	۲۳۸/۶۴	۱۱۹/۷۸	۸۸/۸۸	۱/۹۹	۷/۵۵	۷/۷۵
۳۱	۰/۶۵	۲۸/۵۶	۱۱۲۰/۵۹	۳۶۲/۱۵	۱۲۵/۶۴	۱۲۵/۹۲	۲/۸۸	۱۲/۶۸	۳/۲۶
۳۲	۰/۶۲	۳۶/۰۵	۶۹/۸۵	۲۷۴/۵۰	۱۳۷/۱۸	۳۵/۳۹	۱/۹۹	۷/۶۱	۲/۵۲
۳۳	۰/۶۷	۲۹/۳۷	۱۶۶۳/۸۸	۳۳۰/۲۷	۱۱۷/۲۶	۱۰/۱۳۳	۸۱/۲	۱۱/۲۴	۲۳/۷۷
۳۴	۰/۶۴	۳۰/۶۸	۹۸۹/۲۵	۳۱۸/۳۲	۷۶/۱۹	۱۲۵/۹۲	۴/۱۷	۰/۱۰	۲/۷۴
۳۵	۰/۵۶	۲۹/۶۷	۷۸۰/۲۹	۲۲۱۰/۷	۹۲/۱۰	۹۳	۲۴	۶۴/۵۱	۳/۹۴
۳۶	۰/۶۴	۳۱/۶۰	۱۰۴۲/۹۸	۳۳۴/۲۶	۱۰۴/۶۹	۱۲۱/۸۱	۳/۱۹	۱۰/۵۷	۳/۰۳
۳۷	۰/۷۱	۳۷/۶۷	۸۱/۷۹	۳۱۸/۸۲	۹۸/۸۲	۸۰/۶۵	۳/۲۲	۸/۴۵	۲۹/۶۵
۳۸	۰/۶۵	۲۹/۹۷	۳۸۲/۰۷	۳۸۲/۰۷	۱۰۴/۹۶	۱۲۵/۹۲	۳/۶۴	۱۲/۷۴	۲/۲۶



شکل ۱۴. آ) تغییرات Sr در برابر Na در نمونه‌های کربناته کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز که با محدوده‌های ارائه شده برای آهک‌های سازند مزدوران با ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی که مربوط به بخش‌های کم عمق حوضه است (Adabi., 2004)، محدوده کربنات‌های معتدل حاضر تاسمانیا (Rao & Amini., 1995)، محدوده آراگونیت‌های حاره‌ای عهد حاضر (Mackenzie., 2005)، سنگ‌های آهکی حاره‌ای گوردون اردویسین تاسمانیا با ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی (Rao., 1992)، سنگ‌های سازند ایلام (Adabi., 2009)، و سازند فهلپان (Aghaei et al., 2014) مقایسه شده است. به‌طوری‌که دیده می‌شود بیش‌تر نمونه‌ها در محدوده و یا در مجاورت سنگ‌های آهکی حاره‌ای مزدوران و گوردون بیشتر نمونه‌ها در محدوده سازند مزدوران با ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی قرار گرفته‌اند و علت آن ناشی از تأثیر فرآیند دی‌آزن است. ب) ترسیم روند تغییرات Na در برابر Mn در نمونه‌های واحد کربناته کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز با محدوده سنگ‌های سازند مزدوران با ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی مربوط به بخش کم‌عمق حوضه (Adabi & Rao., 1991)، محدوده کربنات‌های معتدل عهد حاضر تاسمانیا، محدوده تاسمانیا (Adabi & Rao., 1991) و سنگ‌های گوردون محدوده آراگونیت‌های عهد حاضر (Mackenzie., 2005) مقایسه شده است. همه نمونه‌ها در محدوده سنگ‌های مزدوران و گوردون تاسمانیا با ترکیب کانی‌شناسی آراگونیتی قرار گرفته است. پ) ترسیم روند تغییرات Sr در برابر Mn در نمونه‌های سنگ آهکی کوه خان‌گرمز که با محدوده‌های مشخص شده برای سنگ‌های سازند مزدوران با ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی مربوط به بخش‌های کم‌عمق حوضه (Adabi & Rao., 1991)، با محدوده آراگونیت‌های حاره‌ای عهد حاضر تاسمانیا (Mackenzie., 2005)، نمونه‌ها در محدوده آراگونیتی سازند مزدوران و گوردون تاسمانیا با ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی قرار گرفته‌اند، مقایسه شده است. ت) ترسیم مقدار آهن در مقابل منگنز. این دو عنصر به‌صورت روند خطی مثبت است که این امر را می‌توان به شرایط احیایی یا به تأثیر دی‌آزن متاثریکی نسبت داد که سبب افزایش مقادیر آهن و منگنز می‌شود. ث) تغییرات Sr/Na در برابر Mn در نمونه‌های واحد کربناته کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز که با محدوده‌های ارائه شده برای سنگ‌های سازند مزدوران (Adabi & Rao., 1991)، سنگ آهک گوردون تاسمانیا (Rao., 1990)، محدوده کربنات‌های معتدل حاضر تاسمانیا (Rao., 1995)، محدوده آراگونیت‌های عهد حاضر (Mackenzie., 2005) و فسیل‌ها و سنگ‌های آهکی نیمه قطبی پرمین تاسمانیا (Rao., 1990) مقایسه شده است. بیش‌تر نمونه‌های آهکی بررسی شده در مجاورت یا درون محدوده آهک آراگونیتی سازند گوردون تاسمانیا

(Van Wagoner & et al., 1990) و مزدوران قرار می‌گیرند. توجه شود که تمام نمونه‌ها دارای نسبت Sr/Na بیش از یک هستند، ج) تغییرات (Sr/Ca) در برابر Mn نمونه‌های کربناته کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز بر اساس موقعیت نمونه‌ها در این نمودار، نمونه‌های تجزیه شده تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنزی در یک سیستم بسته تا نیمه بسته قرار گرفته‌اند، (A) آراگونیت، (HMC) و (LMC) کلسیت پر منیزیم و کلسیت کم منیزیم.

Figure 12. a) Sr and Na variations in the Lower Cretaceous carbonate samples of the Kuh-e Khangormaz, compared with Mozduran Formation original aragonite mineralogy in shallow environment, **b)** Na and Mn variations in the Lower Cretaceous carbonate samples of the Kuh-e Khangormaz compared with the original aragonite mineralogy of previous studies, **c)** Sr and Mn variations in the Lower Cretaceous carbonate samples of the Kuh-e Khangormaz together with the Mozduran Formation with original aragonite mineralogy, **d)** Bivariate plot of Fe and Mn showing positive linear correlation probably due to anoxic condition or the effect of the meteoric diagenesis resulted in increasing in the Fe and Mn, **e)** Sr/Ca and Mn variations in the Lower Cretaceous carbonate samples of the Kuh-e Khangormaz compared with the field of the previous studies, **f)** Mn and Sr/Ca variations in Lower Cretaceous carbonate samples of the Kuh-e Khangormaz. This trend shows that these carbonates were affected by closed diagenetic system.

نتایج

رسوبات کربناته کرتاسه زیرین کوه خان‌گرمز به ضخامت ۱۱۹ متر با ناپیوستگی فرسایشی روی رسوبات آهکی ژوراسیک قرار گرفته‌اند. بر اساس پیمایش‌های صحرایی و بررسی‌های مقاطع نازک میکروسکوپی ۱۳ ریزرخساره رسوبی مربوط به رمپ درونی، میانی و بیرونی در این رسوبات تشخیص داده شدند که رسوبات لاگون بیش‌ترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند. براساس پژوهش‌های پتروگرافی انجام شده و ریزرخساره‌های شناسایی شده همراه با دیگر شواهد از قبیل نبود رسوبات توربیدیتی در منطقه و تغییر تدریجی رخساره و مقایسه با پژوهش‌های پیشین از قبیل مدل رسوب‌گذاری رمپ فلوگل (Flügel., 2010) و باکسون و پدلی (Buxton & Pedley., 1989) می‌توان یک پلاتفرم کربناته کم شیب از نوع رمپ هم‌شیب را برای این واحدها در نظر گرفت. بررسی‌های چینه‌نگاری سکانسی این رسوبات نشان‌دهنده وجود سه سکانس رسوبی رده ۳ در این واحد شده که این سکانس به صورت محلی تشکیل شده‌اند. از نظر دیاژنزی رسوبات بررسی شده تحت تأثیر فرآیندهای مختلفی از قبیل: شکستگی، استیلولیت، میکریتی شدن، سیمانی شدن، انحلال، کارستی شدن و آهن‌دار شدن قرار گرفته‌اند. بر اساس پژوهش‌های ژئوشیمیایی و کاتدولومینسانس عمده نمونه‌های بررسی شده تحت تأثیر دیاژنز متاوریکی و تدفینی قرار گرفته‌اند که دیاژنز دریایی تأثیر چندانی بر این رسوبات نداشته است. براساس تجزیه‌های ژئوشیمی عنصری انجام شده روی ۴۰ نمونه و ترسیم آن روی نمودارهای ژئوشیمی برای عناصر اصلی و فرعی می‌توان نتیجه گرفت کانی‌شناسی اولیه رسوبات آراگونیتی بوده است. نسبت Sr/Na به مقدار (>1) بوده است که آراگونیتی بودن ترکیب اولیه این سنگ آهک‌ها را تأیید می‌کند. کاهش نسبت Sr/Mn نشان‌دهنده آراگونیتی بودن این سنگ آهک‌ها است. ترسیم نمودار Mn در برابر Sr/Ca نشان‌دهنده تأثیر فرآیندهای دیاژنزی روی نمونه‌ها در یک سیستم بسته تا نیمه‌بسته است.

تقدیر و تشکر

از دکتر یداله عظام پناه (عضو هیات علمی دانشگاه بوعلی سینا همدان) به دلیل همکاری در کارهای صحرایی تشکر می‌کنیم. هم‌چنین از مسئولان محترم اداره منابع طبیعی استان همدان و نیز کارمندان محترم اداره منابع طبیعی شهرستان توپسراکان برای همکاری جهت انجام پژوهش‌های صحرایی در منطقه حفاظت شده و شکار ممنوع خان‌گرمز به‌طور ویژه تشکر و قدردانی می‌کنیم.

منابع

۱. آقابات، سید علی، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۹۷) ۵۸۶.

۲. شریفی طائمه، فرزانه، محیط رسوبی، "چینه‌نگاری سکانسی، ژئوشیمی و دیاژنز رسوبات کرتاسه زیرین در برش کوه خان گرمز، غرب توپسرکان"، همدان، (۱۳۹۸) ۱۵۴.
۳. قبادی، محمد حسین، بابازاده، رضا، "فرآیندهای کارستی شدن، رسوبات کرتاسه بالایی کوه خان گرمز"، نشریه زمین‌شناسی و ژئوتکنیک، شماره (۲) (۱۳۹۳) ۱۵۰-۱۶۰.
4. Abdolmaleki J., Tavakoli V., and Asadi E.A., "Sedimentological and diagenetic controls on reservoir properties in the Permian-Triassic successions of Western Persian Gulf, Southern Iran", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 141 (2016) 90-113.
5. Adabi M.H., Rao C.P., "Petrographic and geochemical evidence for original aragonitic mineralogy of Upper Jurassic carbonate (Mozduran Formation) Sarakhs area", *Iran, Sedimentary Geology*, 72 (1991) 253-267.
6. Adabi M. H., "A re-evaluation of aragonite versus calcite seas", *Carbonates and Evaporites*, 19 (2004) 133-141.
7. Adabi M. H., Asadi-Mehmandosti E., "Microfacies and geochemistry of the Ilam Formation in the Tang-E Rashid area, Izeh, S.W, Iran", *Journal of Asian Earth Sciences*, 33 (2008) 267-277.
8. Adabi M. H., "Multistage dolomitization of upper Jurassic Mozduran Formation, Kopet-Dagh Basin, n.e, Iran", *Carbonates and Evaporites*, 24 (2009) 16-32.
9. Adabi M.H., Kakemem U., and Sadeghi A., "Sedimentary facies, depositional environment and sequence stratigraphy of Oligocene-Miocene shallow water carbonates from the Rig Mountain, Zagros basin SW, Iran", *Carbonates and Evaporites*, 23(2) (2016) 1-17.
10. Aghaei A., Moussavi H. R., Najafi M., and Chakrapani G.j., "Carbonate diagenesis of the Upper Jurassic succession in the Wes of Binalud-Eastern Alborz (NE Iran)", *Journal Geological Society of India*, 83 (2014) 311-328.
11. Bachmann M., and Hirsch F., "Lower Cretaceous carbonate platform of the eastern Levant (Galilee and the Golan Heights), stratigraphy and second order sea-level change", *Cretaceous Research*, 27 (2006) 478-512.
12. Boggs S.J., "Principles of Sedimentology and Stratigraphy (6th edition)", University of Oregon, (impress) 660 (2015).
13. Buxton M.W.N., Pedley H.M., "A standardized model for Tethyan tertiary carbonate ramps", *journal of the geological society, London*, 146 (1989) 1989.
14. Catuneanu, O., "Sequence stratigraphy in the context of the 'modeling revolution'", *Marine and Petroleum Geology*, 116. (2020) 104309.
15. Catuneanu, O., "Sequence stratigraphy of deep-water systems", *Marine and Petroleum Geology*. 114 (2020) 104238.
16. De Wet C.B., Hopkins D., Rahnis M., Murphy M., and Dvoretzky R., "High-energy shelf-margin carbonate facies: Microbial sheet reefs, endolites, and intraclast grainstone Ledger Formation (Middle Cambrian), Pennsylvania: In Derby J.R. Fritz R.D. Longacre S.A. Morgan W.A. and Sternbach C.A. (Eds.), *The great American carbonate bank: The geology*

- and economic resources of the Cambrian–Ordovician Sauk megasequence of Laurentia", *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 98 (2012) 421-450.
17. Dickson J.A.D., "A modified staining technique for carbonate in thin section", *Nature*, 205 (1965) 587.
 18. Dunham R.J., "Classification of carbonate rocks according to depositional texture, in W.E. Ham, ed., *Classification of carbonate rocks*", *American Association of petroleum Geologist Memoir*, 1 (1962) 108-121.
 19. Elliott F. G., "Ecologic significance of post-Palaeozoic green calcareous algae", *Geological Magazine*, 115 (1978) 437-442.
 20. Fantle, Matthew S., B. Davis Barnes, and Kimberly V. Lau. "The Role of Diagenesis in Shaping the Geochemistry of the Marine Carbonate Record.", *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 48 (2020): 549-583.
 21. Fauchald K., Jumars P. A., "The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds" *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 17 (1979) 193–284.
 22. Flügel E., "Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis Interpretation and Application Springer-Verlag, Berlin", Heidelberg, (impress) 976 (2010).
 23. Hess H., Ausich W. I., Brett C. E. and Simms M. J., "Fossil Crinoids", Cambridge University Press, (impress) 275 (2002).
 24. Hughes, G. W., "Exceptionally well-preserved Permocalculus cf. tenellus Pia) (Gymnocodiaceae) from Upper Permian Khuff Formation limestones", Saudi Arabia. *Journal of Micropalaeontology*, 36(2) (2017) 166-173.
 25. James N. P. and Jones B., "Origin of Carbonate Sedimentary Rocks, Department of Earth and Atmospheric", Sciences University of Alberta Canada, (impress) 467 (2016).
 26. Liaghat, Mohsen, Mohammad Hossein Adabi, Rudy Swennen, Zahra Mohammadi, and Hassan Alijani., "An integrated facies, diagenesis and geochemical analysis along with sequence stratigraphy of the Lower Triassic Aghe-Darband basin (north-east Iran)." *Journal of African Earth Sciences*, (2021) 103952.
 27. Mackenzie F. T., "Sediments, diagenesis, and sedimentary rocks 1st edition treatise on geochemistry" Second Edition Elsevier Science, 70 (2005) 446.
 28. Miall A. D., "Stratigraphy: A Modern Synthesis", Springer Verlag, Berlin/ Heidelberg (impress), 454 (2016).
 29. Morad S., J.M. Ketze and L.F., De Ros., "Linking diagenesis to sequence stratigraphy: an integrated tool for understanding and predicting reservoir quality distribution: SEPM, Wiely Blackwell" (impress) 522 (2013).
 30. Pittet B., France S., Van Buchem P., Hillgartner H., Razin P., Grotsggh J., and Drostes H., "Ecological succession, palaeoenvironmental change, Ecological succession, palaeoenvironmental change of Barremian-Aptian shallow sedimentology", 49 (2002) 555-581.

31. Rao C.P., "Geochemical characteristics of cool-temperate carbonates, Tasmania, Australia", carbonates and evaporites, 5 (1990) 209-221.
32. Rao C.P., Adabi M.H., "Carbonate minerals, major elements and oxygen and carbon isotopes and their variation with depth in cool, temperate carbonates, Western Tasmania, Australia", Marine Geology, 103 (1992) 249-272.
33. Rao C.P., Amini Z.Z., "Faunal relationship to grain-size, mineralogy and geochemistry in recent temperate shelf carbonates, Eastern Tasmania, Australia", carbonates and evaporites, 10 (1995) 114-123.
34. Reid, R. P., and Macintyre, I. G., "Microboring versus recrystallization: further insight into the micritization process", Journal of Sedimentary Research, 70(1) (2000) 24-28.
35. Ruppert E.E., Fox R.S., Barnes R.D., "Invertebrate zoology, a functional evolutionary approach", Thomson-Brooks/Cole, Belmont, USA, (impress) 963 (2004).
36. Salehi M.A. Adabi M.H. Ghalavand H. and Khatibi Mehr M., "Sedimentary environment, diagenesis and geochemistry of the Fahliyan Formation in the type section (Fahliyan Anticline) and Gachsaran Oil Field", Scientific Quarterly Journal, Geosciences, 19 (76) (2010) 33-44.
37. Sajed, O. K. M., and Glover, P. W., "Dolomitisation, cementation and reservoir quality in three Jurassic and Cretaceous carbonate reservoirs in north-western Iraq", Marine and Petroleum Geology, 115 (2020) 104256.
38. Toussaint, R., Aharonov, E., Koehn, D., Gratier, J. P., Ebner, M., Baud, P., & Renard, F., "Stylolites: A review. Journal of Structural Geology", 114 (2018) 163-195.
39. Tucker M. E., "Sedimentology petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks: Blackwell", scientific publication, London, (impress) 260 (2001).
40. Tucker M. E., "Carbonate diagenesis and sequence stratigraphy. In: V.P. Wright (ED)", Sedimentology review 1. Blackwell, London, (impress) 51-72 (1993).
41. Tucker M. E., and Wright V. P., "Carbonate Sedimentology", Blackwell Oxford, (impress) 482 (1990).
42. Van Wagoner, J. C., Mitchum, R. M., Campion, K. M. and Rahmanian, V. D., "Siliciclastic sequence stratigraphy in well log, cores, and outcrops: Concepts of high-resolution correlation of time and facies", (1990).
43. Veizer J., "Chemical diagenesis of carbonates: theory and application of trace element technique: In Arthur M.A. Anderson T.F. Kaplan I.R. Veizer J. and Land L.S (Eds), Stable isotopes in sedimentary geology", SEPM Society for Sedimentary Geology, 10 (1983) 3-100.
44. Zarza A.M., L.H. Tanner., "Carbonates in Continental Settings Geochemistry Diagenesis and Applications", Elsevier, (impress) 319 (2010).

Depositional Environment, Diagenesis, Sequence Stratigraphy and Geochemistry of Lower Cretaceous Carbonate Unit (K1) of Kuh-e Khangormaz, Tuyserkan (Sanandaj-Sirjan Zone)

Farzaneh Sharifi taeme^{1*}, Mohammad Hossein Adabi¹, Mohsen Liaghat¹
1. Petroleum and Sedimentary Basins Group, Shahid Beheshti University, Tehran

Extended Abstract

(Paper pages 135-160)

Introduction

One of the prominent features of carbonate sedimentary rocks is their use in the reconstruction of ancient sedimentary environment. In an ancient sedimentary environment that consists of different sub-environments, events and happenings have taken place. Over time, as changes in sedimentary conditions, changes in seawater, diagenetic processes are recorded within sedimentary units which can be obtained by studying these sediments in field surveys or subsurface studies. The Sanandaj-Sirjan zone, which is located in northeast of the main Zagros mountains, is similar to central Iran in terms of sedimentation regime and structure. In different areas of this zone, stratigraphic units are mainly composed of igneous and metamorphic rocks. Some of regions in this zone consist of sedimentary units. Therefore, in order to better recognition of the available successions of this zone, an outcrop section of white, cream to gray color limestones including Lower Cretaceous Orbitolinids in the whole Hamedan zone was examined. This region in terms of rock and biological characteristics is correlative with Orbitolinids carbonates in the Zagros basin (i.e. Fahlian and Darian formations), Alborz basin (i.e. Tizkooh Formation), Kopeh Dagh basin (i.e. Tirgan Formation) and central Iran (i.e. Taft and Shah Kooch formations) and shows sedimentary conditions similar to the previous Cretaceous in Iran. This area was studied only by the Geological Survey of Iran to prepare a geological map. It was studied in terms of karst phenomena, too. This research is the first one in thence of depositional environment, sequence stratigraphy, diagenesis and geochemistry.

Material and methods

In this research a thickness of 119 m was studied to understand depositional model, sequence stratigraphy, diagenesis, and geochemistry. In total about 119 m of outcrop section from the Kuh-e Khangormaz lower Cretaceous carbonate units in the west of Tuyserkan city (south of Hamedan province) was studied in order to investigate microfacies, depositional environment, diagenesis, sequence stratigraphy and geochemistry. Ten thin sections were stained with Alizarin Red-S and potassium ferricyanide following Dickson (1966) method. The studied microfacies were described using the Dunham (1962) classification. Description of microfacies was after method proposed by Flügel (2010) and Buxton and Pedley (1989). Cathodoluminescence microscopy analysis of eight thin sections gathered to the characterization of various diagenetic processes occurred in this unit. The definition of the available sequences model is taken from Tucker and Hunt, (1993). Forty powdered micritic samples were analyzed using atomic absorption spectrometry (AAS) toll for major elements (Ca and Mg) minor elements (Sr, Fe, Mn and Na) at the Shahid Beheshti university laboratory.

Results and discussion

The Lower Cretaceous carbonate unit (K1) of Kuh-e Khangormaz including 119 m thickness overlaid on Jurassic limestones with erosional disconformity. In this unit based on field investigation and thin section microscopy, thirteen microfacies belonging to lagoon (with highest abundant), shoal and shallow open marine determined. Based on petrographic studies and determined microfacies together with the lack of turbidites in the study section along with gradual microfacies changes and comparison with previous studies i.e., Flügel (2010) and Buxton and Pedley (1989), these carbonate units deposition took place on a carbonate homoclinal ramp. Fractures, cementation, micritization, dissolution, karstification, dolomitization and hematization were the main diagenetic processes affected the studied samples. The vertical sequence of the Lower Cretaceous carbonate unit (K1) in the Kuh-e Khangormaz indicates 3 major episodes of deepening and shallowing-upward trend. Geochemical analysis using AAS (40 powdered samples) and Cl (eight samples) reflecting occurrence of close to semi-close meteoric and burial diagenesis in the studied samples. Geochemical results reflecting original aragonite mineralogy for these units.

Conclusions

Based on this research, the following conclusions are presented:

- The identification of thirteen microfacies belonging to the inner, mid, and outer ramp environment.
- The three 3rd order depositional sequences have been recognized.
- Cementation, micritization, hematization, dissolution, karstification and dolomitization as main diagenetic processes.
- Original aragonite mineralogy in these Cretaceous units along with close to semi-close meteoric and burial diagenetic environment was identified.

Keywords: Khangormaz, Sedimentary environment, Sequence stratigraphy, Geochemistry, Lower Cretaceous

*Corresponding Author: Sharifi7170@gmail.com