

بررسی خاک دیرینه کالکریتی در سازند شوریجه؛ نمونه‌ای از برش قرقه در شرق حوضه رسوی کپه داغ

مهناز کشمیری، محمدحسین محمودی قرایی*، سیدرضا موسوی حرمی، اسدالله محبوبی

گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۹/۷/۹، نسخه نهایی: ۹۹/۹/۱۲)

چکیده: سازند شوریجه (ژوراسیک پسین- کرتاسه پیشین)، در شرق حوضه رسوی کپه داغ، از رخساره‌های آواری تشکیل شده و افزون بر آن، خاک دیرینه از نوع کلسی‌سول نیز در این سازند-شناسایی شده است. کلسی‌سول‌های برش قرقه دارای شکل‌های درشت‌ریختار و ریز‌ریختار ویژه‌ای هستند به طوری که وجود غالب ریز بافت بتا بیانگر فعالیت ریز جانداران در تشکیل کالکریت‌های این برش است. خاک‌های دیرینه این برش در معرض فرآیندهای حفاری موجودات، سیمانی‌شدن و پیریتی شدن قرار گرفته‌اند. فشار دی اکسید کربن دیرینه در این برش 2981.08 ppmv حدود 7.99 تا 10.65 برابر مقدار کنونی است و با مقادیر مدل‌سازی شده برای این زمان همخوانی دارد. افزون بر فعالیت‌های زیست‌زا، نوسان‌های سطح ایستایی در پهنه مخلوط نقش مهمی در تشکیل خاک‌های دیرینه کالکریتی سازند شوریجه در برش قرقه داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: خاک دیرینه؛ کلسی‌سول؛ نوسان‌های سطح ایستایی؛ سازند شوریجه؛ حوضه رسوی کپه داغ.

(۲) بررسی شکل‌های درشت ریختار و ریز‌ریختار آن، (۳) مطالعه فرآیندهای درونزایی همراه و (۴) بررسی‌های زمین-شیمیایی (عنصری و ایزوتوپی) به منظور محاسبه فشار دی اکسید کربن دیرینه و برآورد مقدار بارش در زمان رسوب‌گذاری بوده است.

زمین شناسی منطقه

سرزمین ایران بخشی از کمربند کوه‌زایی آلپ-هیمالیاست که بین دو صفحه عربستان در جنوب غرب و سرزمین توران در شمال شرق در حال فشرده شدن است. یکی از واحدهای رسوی-ساختری ایران، حوضه رسوی کپه داغ در شمال شرق ایران است. از دیدگاه زمین‌ساختی، منطقه مورد بررسی در کرانه شمالی ایران مرکزی و البرز و در لبه جنوبی پلیت توران قرار دارد. ضخامت رسوب‌های تشکیل شده در شرق حوضه از ژوراسیک تا اواخر کواترنر حدود ۷۰۰۰ متر است [۵]. منطقه مورد بررسی در بخش شرقی حوضه رسوی کپه داغ قرار دارد (شکل ۱).

مقدمه
خاک‌های دیرینه در دهه‌های اخیر مورد توجه بسیاری از رسوب‌شناسان و زمین شیمیدان‌ها قرار گرفته‌اند. این نوع خاک‌ها در توالی‌های مختلف سیلیسی‌آواری و کربناتی بررسی شده‌اند [۱، ۲]. کالکریت‌ها از مهمترین انواع خاک‌های دیرینه غنی از کربنات به شمار می‌روند که تشکیل آن‌ها به مقدار بارندگی، نوع سنگ میزبان و سطح آب‌های زیرزمینی بستگی دارد. خاستگاه اولیه کالکریت‌ها اغلب کربنات‌های کم عمق دریاچه‌ای، مردابی و یا حتی سبخایی هستند و فرآیندهای زیست‌زا از جمله رشد ریشه گیاهان یا فعالیت ریز جانداران ممکن است در تشکیل آنها موثر باشند [۲]. بررسی خاک دیرینه اطلاعاتی پیرامون شرایط بارندگی دیرینه و مقدار دی اکسید کربن جو در زمان تشکیل به دست می‌دهد [۳]. در این پژوهش، کالکریت‌های سازند شوریجه در برش قرقه به سن ژوراسیک پسین تا کرتاسه پیشین [۴] در شرق حوضه کپه داغ بررسی شده، هدف از این پژوهش (۱) تعیین نوع خاک دیرینه،

برداری از کلکریت‌های سازند شوریجه به صورت سطحی انجام شد و ۱۲ نمونه پس از تهیه مقاطع نازک بررسی سنگنگاری شدند. مقاطع نازک با محلول آلیزارین قرمز با روش مرجع [۸] رنگ آمیزی گردیدند. همچنین نمونه‌ها با میکروسکوپ کاتدتالبناکی (CL) مدل Technosyncold 8200 MK3 (CL) در گستره شدت جریان ۱۶۰-۱۹۵ میلی آمپر در آزمایشگاه رسوب شناسی دانشگاه فردوسی مشهد بررسی شده و با دوربین دیجیتال تصویربرداری شدند. همچنین، نمونه‌ها در اندازه 1×1 سانتیمتر مربع با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل

۱۴۵OVP با دقت nm ۲۰۵ و با بیشینه ولتاژ ۳۵kV

آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد بررسی گردیدند.

برای این منظور، نمونه‌ها به روش کندوپاش پوشش دهی SC7620 (Au-Pd) مدل (Au-Pd) در آزمایشگاه زرآزمایشگاه فردوسی مشهد بررسی شدند. تجزیه عنصری کربنات‌ها به روش طیفسنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) در آزمایشگاه زرآزمایشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تعداد ۷ نمونه برای تجزیه ایزوتوب پایدار کربن به آزمایشگاه ایزوتوب دانشگاه نورنبرگ آلمان ارسال شد و نتایج نسبت به استاندارد VPDB محاسبه و گزارش شدند. شناسایی ترکیب کانی شناسی نمونه‌ها با روش پراش پرتوی ایکس (XRD) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. رنگ خاک دیرینه با استفاده از نگاره رنگی مانسل تعیین گردید.

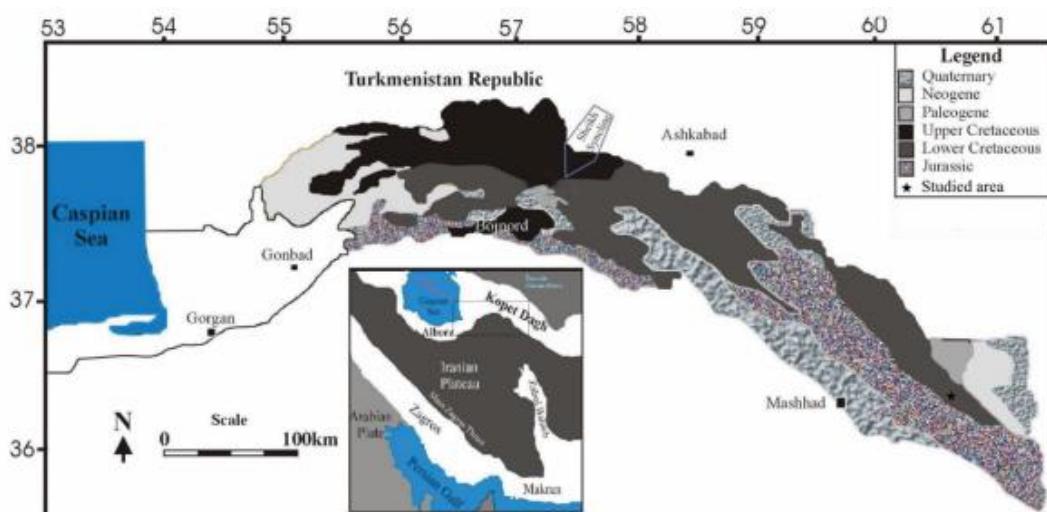
ردیبدی خاک‌های دیرینه بر پایه شش عامل اصلی مقدار مواد آلی، افق خاک دیرینه، شرایط اکسایش- کاهش، دگرسانی، رسوب کانی‌های غیر قابل حل و رسوب‌گذاری کانی- های قابل انحلال (محلول) انجام می‌شود [۷] که بر این اساس ۹ نوع خاک دیرینه معرفی شده‌است (شکل ۳).

بررسی رخساره‌های سنگی و تفسیر محیط رسوبی سازند شوریجه به ویژه در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی حوضه رسوبی کپه‌داغ نشان داده است که رسوب‌های این سازند بیشتر در سامانه رودخانه‌ای بریده بریده با بستر شنی نهشته شده‌اند. این در حالی است که به سمت نواحی شمالی، مرکزی و غربی حوضه، تنوعی از سامانه‌های رودخانه‌ای پیچان رودی، دریاچه‌های شور، دلتایی، دریابی و دشت ساحلی وجود داشته است [۶,۲] که در همه آن‌ها رخنمون‌های گوناگونی از خاک دیرینه دیده می‌شود (شکل ۲).

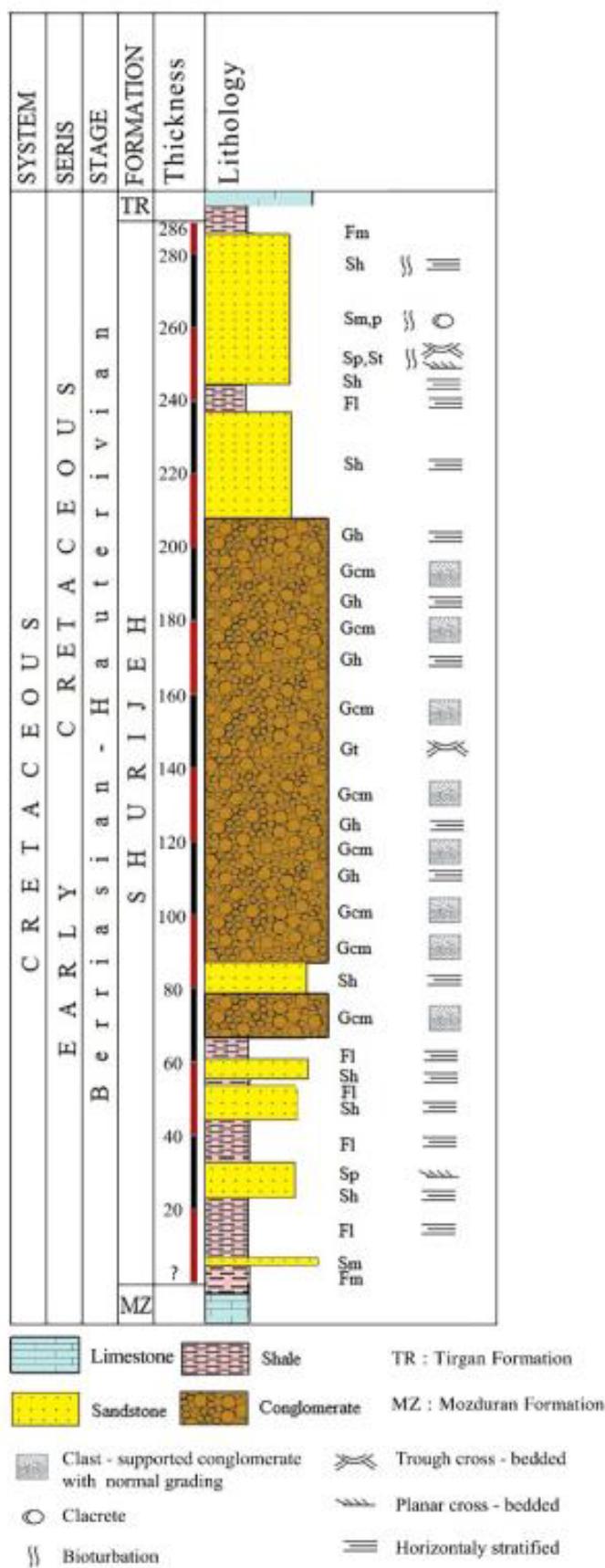
سازند شوریجه شامل رخساره‌های سیلیسی آواری (کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل) است که به طور هم شیب بر سازند کربناتی مزدوران قرار دارد. خاک‌های دیرینه مورد بررسی در این پژوهش مربوط به بخش بالایی سازند شوریجه در برش قرقره واقع در قسمت شرق این حوضه است. ضخامت سازند شوریجه در برش قرقره ۲۸۶ متر است.

روش بررسی

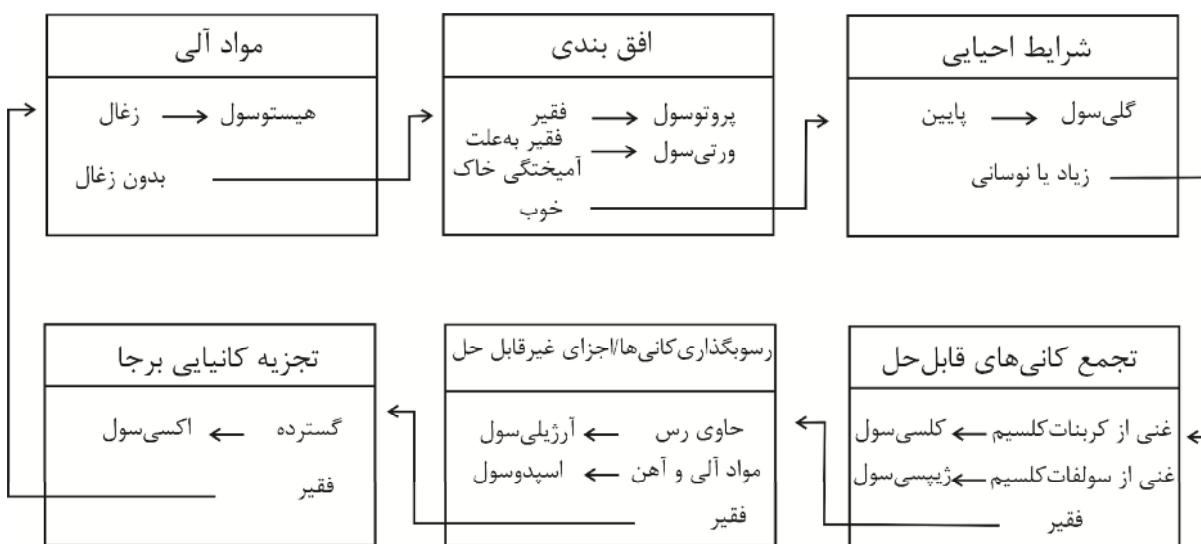
خاک‌های دیرینه برش قرقره از نظر ماکروسکوپی در بازدهی‌های میدانی و از نظر میکروسکوپی در آزمایشگاه با بررسی مقاطع نازک شناسایی شدند. در این پژوهش، به منظور بررسی صحرایی خاک‌های دیرینه از رده‌بندی مک و همکاران [۷] استفاده شد که با توجه به سادگی بیشترین کاربرد را در این زمینه دارند. خاک‌های دیرینه در بررسی‌های صحرایی براساس عوامل متعددی چون جنس و نوع سنگ میزان دربردارنده کالکریت، اندازه و گسترش جانبی آن، مرزبندی و ارتباط با سنگ بستر، رنگ خاک، وجود آثار آشفتگی زیستی، ضخامت و همچنین اندازه گرهک‌های کالکریتی شناسایی شدند. نمونه-



شکل ۱ نقشه زمین شناسی برش قرقره که موقعیت برش مورد بررسی با نشانه ستاره مشخص شده است.



شکل ۲ ستون چینه شناسی سازند شوریجه در برش قرقه.



شکل ۳ رده‌بندی خاک‌های دیرینه بر پایه فرآیندهای خاکزایی [۷].

سمتگیری مشخصی در آنها دیده می‌شود (شکل ۴ ت). مرز بیرونی این قطعه‌ها با سنگ میزان کاملاً متمایز است و با بستر ماسه سنگی زیرین چسبندگی چندانی ندارد. کالکریت‌های گرهکی به رنگ کرم روشن (5Y9/4) در سطح و گاهی به رنگ خاکستری روشن (N5) نیز قابل مشاهده است و در برخی قسمت‌ها، لکه‌های قرمز تیره (10R4/b) نیز وجود دارد. در بستر ماسه‌سنگی این کالکریت‌ها، آثاری از آشفتگی زیستی دیده می‌شود (شکل ۴ ث).

کانی شناسی و سنگنگاری

بر اساس طیف‌های XRD، ترکیب کانی شناسی این نوع خاک دیرینه کلسیت و با درصد کمتری کوارتز است (شکل ۴ ج). تصاویر میکروسکوپ الکترونی کالکریت‌های گرهکی برش قرقه تایید کننده نتایج XRD و نشان دهنده دانه‌های کوارتز (Q) و بلورهای کلسیت (Ca) با لبه‌های تیز و زاویه‌دار در بین بلورهای کوارتز است. بلورهای کلسیت در تصاویر میکروسکوپ الکترونی شواهدی از اتحلال و خوردگی را نشان می‌دهند (شکل ۴ ج). بررسی‌های اولیه مقاطع نازک با میکروسکوپ قطبشی انجام شد و برای تعیین درصد دانه‌های موجود در کالکریت‌های کربناتی از نگاره مقایسه‌ای مرجع [۹] استفاده گردید. در تصاویر میکروسکوپی، بلورهای ریز کوارتز جوش‌گی ضعیف را نشان دادند (شکل ۵ الف). مقدار بلورهای ریز کوارتز در مقاطع مختلف حدود ۸ تا ۲۴ درصد است، به طوری که کوارتزهای پلی کربناتی درصد کمی را تشکیل می‌دهند (شکل ۵ ب). همچنین در برخی مقاطع میکروسکوپی، کانی‌های رُسی کمی

بحث و بررسی

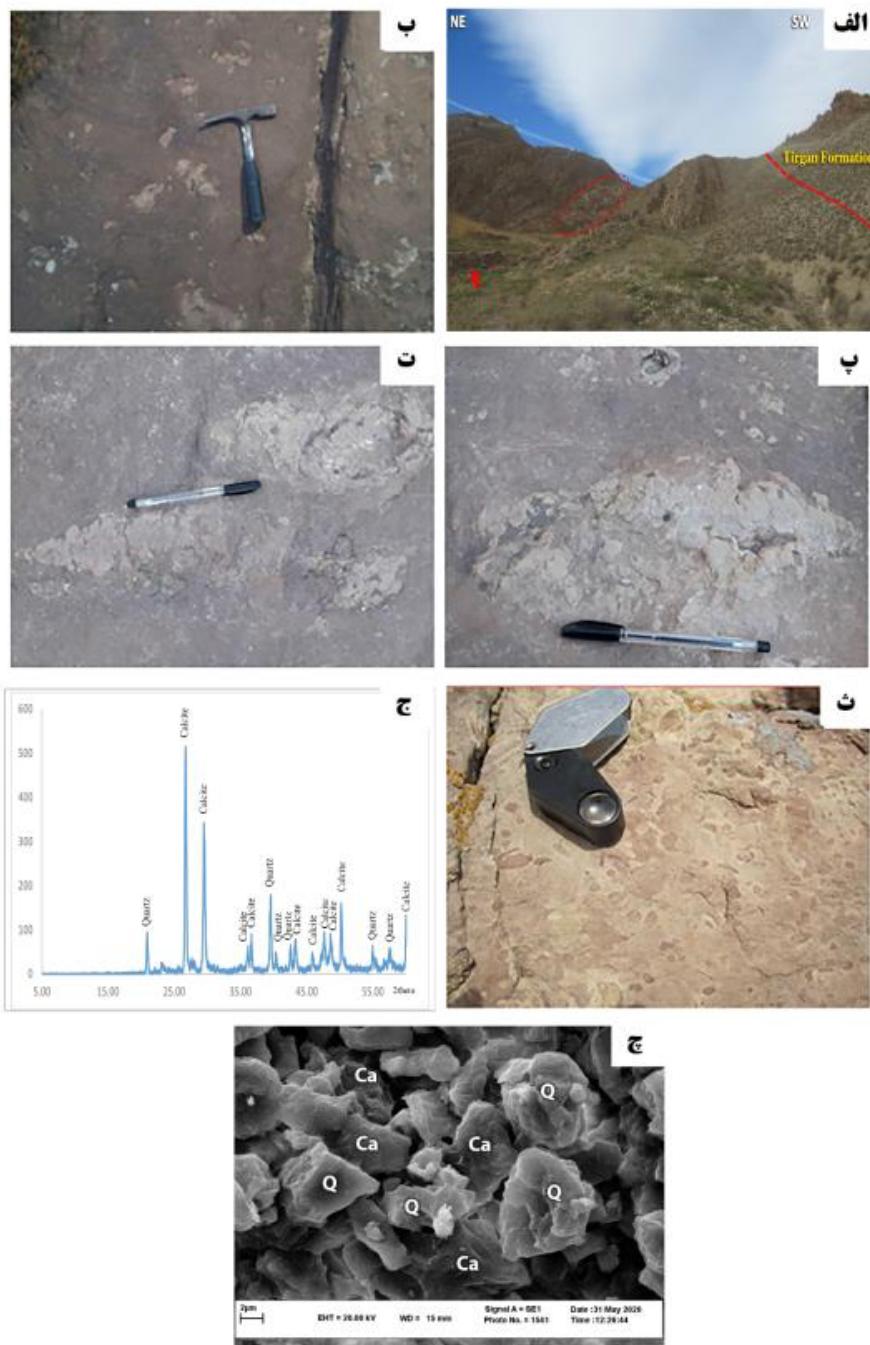
خاک‌های دیرینه سازند شوریجه (برش قرقه) در بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی بر پایه رده‌بندی [۷] (شکل ۳) در دسته کلسی‌سول‌ها قرار می‌گیرند که با توجه به مقدار قابل توجه کربنات، آن را کلکریت نیز می‌نامند [۱]. در ادامه، این کلکریت‌ها براساس بررسی‌های صحرایی، سنگنگاری و نتایج آزمایشگاهی به دقت توصیف می‌شوند.

توصیف کالکریت‌ها

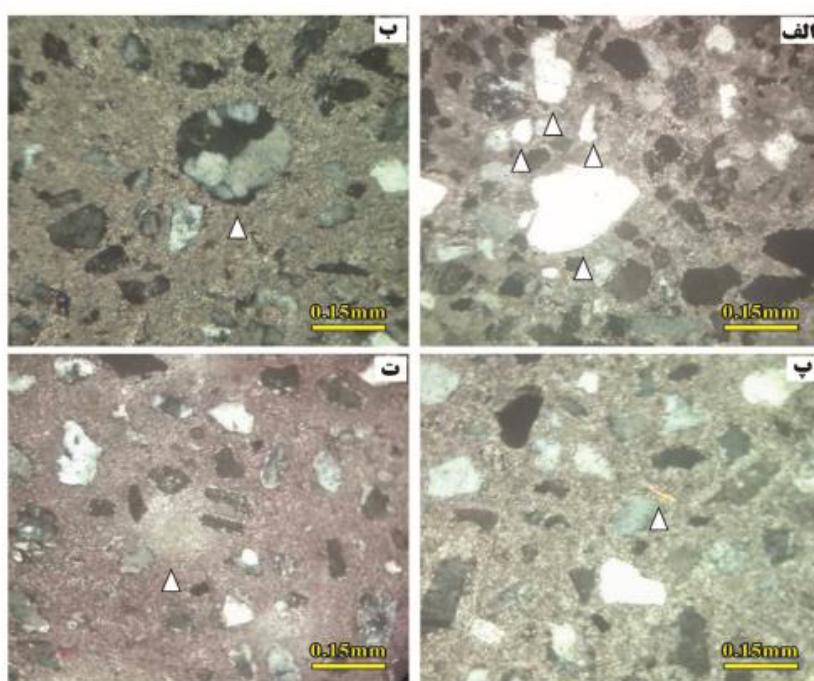
در توصیف صحرایی این گونه از خاک‌های دیرینه، ریختار، اندازه و رنگ آنها بررسی شد. در بستر ماسه سنگی یک سوم بالایی سازند شوریجه در برش قرقه (شکل ۴ الف)، کالکریت‌ها به شکل‌های پودری و گرهکی (بصورت توده‌های متوسط تا ضخیم) رخنمون دارند. کالکریت‌های مورد بررسی در نهشتلهای ماسه سنگ توده‌ای (رخساره سنگی Sm) وجود دارند. پیرامون کالکریت‌های گرهکی، قطعه‌هایی نیز دیده می‌شوند که هنگام برداشت، پودر می‌شوند (شکل ۴ ب). این لکه‌های پودری رنگ‌های متنوعی از کرم روشن تا زرد (5Y9/4)، و از خاکستری روشن تا مایل به آبی روشن (N7) دارند. این لکه‌ها از نظر اندازه نیز تنوع بسیاری از حدود ۱/۵ تا ۳۸۰ میلی‌متر دارند. قطر کالکریت‌های گرهکی از حدود ۵ میلی‌متر تا ۴۵ سانتی‌متر در تغییر است. قطعه‌های کالکریتی به صورت گرهک (شکل ۴ پ) ساختار دانه‌ای بسیار ریز و کاملاً یکنواختی دارند و به سختی با چکش شکسته می‌شوند. البته، جدا شدن این قطعه‌ها از بستر ماسه سنگی بسیار راحت است و

محلول آلیزارین قرمز و به روش مرجع [۸] انجام شد که به این ترتیب، بخش‌های عتمده کلسیتی کاملاً رنگ گرفتند. بخش‌های رنگ نگرفته جزئی نشان دهنده مقادیر کمی دولومیت در بین بلورهای کلسیت هستند (شکل ۵ ت).

(کمتر از ۵ درصد) دیده شد. در این بررسی‌ها، کانی موسکویت با مقادیر ۱ تا ۲ درصد شناسایی شد (شکل ۵ پ). در برخی از مقاطع نیز فلدسپار قلیایی با مقادیر کمتر از ۲ درصد مشاهده گردید. تفکیک کلسیت از دولومیت به وسیله رنگ‌آمیزی با



شکل ۴ تصاویر صحرایی کالکریت‌های برش قرقره: (الف) ماسه سنگهای یک سوم بالای برش قرقره شامل کالکریت (پیکان قرمز رنگ؛ دیوار چین به طول حدود ۱ متر به عنوان مقیاس است)، (ب) کالکریت پودری، (پ) کالکریت گرهکی، (ت) کالکریت گرهکی با سمتگیری مشخص، (ث) آثار آشفتگی زیستی، (ج) نمودار XRD یک نمونه کالکریتی بر شرکه کالکریتی برش قرقره که نشان می‌دهد کلسیت(Ca) در فضاهای بین دانه‌های کوارتز(Q) بر جای گذاشته شده و سپس دچار انحلال شده است.



شکل ۵ سنگ نگاری کالکریت‌های مورد بررسی: (الف) دانه‌های کوارتز تک بلوری با جورشده‌گی ضعیف، (ب) کوارتز پلی کریستالین، (پ) کانی رشته‌ای موسکویت و (ت) بلورهای دولومیت که در رنگ آمیزی با آلیزارین قرمز رنگ نگرفته‌اند.

تشکیل کربنات‌های با درخشندگی بالا، شرایط احیایی در منطقه آب آزاد رخ داده است (شکل ۶ ب) و عناصری چون منگنز و آهن در این شرایط به درون ساختار بلورهای کلسیت وارد شده‌اند. ضریب توزیع که برای هر عنصر مقداری ثابت و مشخص است، جذب این عناصر را توسط کلسیت کنترل می‌کند. از آنجا که این ضریب در رابطه با ورود برقی عناصر چون سدیم و استرانسیوم به شبکه بلوری کربنات کمتر از یک، ولی برای آهن و منگنز بیش از یک است [۱۲]، بخش‌های بدون درخشندگی در شرایط اکسیدی و در منطقه هواده تشکیل شده‌اند. این در حالی است که بخش‌های با درخشندگی بالا، به احتمالاً بسیار طی بالا آمدن سطح ایستابی و در شرایط کم اکسیژن شکل گرفته‌اند. بنابراین با استفاده از تصاویر کاتدتاپنیکی می‌توان به نتایج مطمئن‌تری دست یافته، به طوری که تغییر از حالت بدون درخشندگی و با درخشندگی بسیار ضعیف به حالت درخشندگی بسیار شدید (نوارهای نارنجی و قرمز) نشانه‌ای از شرایط متفاوت اکسایش-کاهش در زمان تشکیل این سیمان‌هاست. شکل ۶ پ بلورهای دولومیت در کالکریت‌های برش قرقره را نشان می‌دهد. این بلورها از نظر ترمودینامیکی یا در دمای پایین و یا در مدت طولانی‌تر و درجه اشباع شدگی پایین‌تر تشکیل می‌شوند [۱۳]. این دولومیت‌ها براساس ویژگی‌های بافتی و اندازه بلوری، به احتمال بسیار در

کانی‌های کربناتی در بررسی‌های میکروسکوپی کاتدتاپنیکی (CL) با منطقه‌بندی به خوبی مشخص می‌شوند که نشان دهنده تغییر شرایط شیمیایی رشد بلور است. تغییر در شدت پرتوهای تابیده از سطح کانی نشان دهنده تغییر در فراوانی Fe^{2+} و Mn^{2+} در بلور است که به ترتیب به عنوان عناصر فعال کننده و بازدارنده شناخته شده‌اند [۱۰]. عناصر فعال کننده سبب تحریک و باز تابش نور پس از بمباران الکترونی و عناصر بازدارنده مانع از تابش نور می‌شوند [۱۱]. بنابراین، درخشندگی کربنات‌ها با فراوانی نسبی Fe^{2+} (مهمنترین عامل بازدارنده) و Mn^{2+} (مهمنترین عامل فعال کننده) در شبکه بلوری کنترل می‌شود.

بررسی‌های کاتدتاپنیکی (CL) بر مقاطع نازک کالکریتی منطقه‌بندی مجزایی را نشان می‌دهد (شکل ۶ الف). در این نمونه‌ها، منطقه‌بندی‌های CL دارای تنوع بسیار بالایی است به طوری که از حالت بدون درخشندگی و یا درخشندگی بسیار کم تا حالت با درخشندگی بسیار شدید (نوارهای نارنجی و قرمز) در تغییر هستند. از طرفی، نوارهای با درخشندگی بالا شرایط احیایی را نشان می‌دهند که در انتقال به منطقه آب آزاد کم عمق رخ می‌دهد. بالا آمدن سطح ایستابی به شرایط احیایی تر می‌انجامد و درخشندگی بالا را به دنبال دارد [۲] که بیانگر تغییرات شیمی اب منفذی است. بنابراین در مرحله

فضاهای خالی است [۱۷]. وجود این سیمان نشان دهنده نسبت پایین منیزیم به کلسیم (Mg/Ca) در سیال‌های تشکیل دهنده آن‌هاست [۱۸]. این نوع سیمان در کالکریت‌های مورد بررسی درشت بلور با لبه‌های مشخص بوده و فضاهای خالی را پر کرده‌است (شکل ۷ ب). قطر کلسیت‌های قطعه‌ای $0_{+/-}^{+/-} ۰.۸۵$ میلی‌متر است.

ب- فشردگی: این فرآیند اغلب همزمان با رسوب‌گذاری شروع شده و تا اعمق زیاد ادامه می‌یابد. فشردگی فیزیکی باعث می‌شود که دانه‌ها متراکم شده، نفوذپذیری و تخلخل کاهش یابد و گاهی باعث شکستگی دانه‌ها می‌شود فرآیند فشردگی فیزیکی اغلب در اعمق کم رخ می‌دهد [۱۹]. کالکریت‌های سازند شوریجه در معرض فرآیند فشردگی فیزیکی قرار گرفته‌اند (شکل ۷ ب).

پ- دولومیتی شدن: جانشینی کربنات کلسیم توسط دولومیت ممکن است درست پس از تشکیل رسوب‌ها، یا همزمان با رسوب‌گذاری و یا پس از آن انجام شود [۲۰]. در نمونه‌های کالکریتی برش مورد بررسی، بلورهای دولومیتی ریز و پراکنده نیز دیده می‌شوند، که به احتمال بسیار طی دفن کم عمق در منطقه آب آزاد تشکیل شده‌اند. با توجه به تصاویر میکروسکوپی (شکل ۷ ت)، بلورهای دولومیتی نمونه‌های کالکریتی پس از رنگ آمیزی توسط آلیزارین قرمز رنگ نگرفته‌اند (شکل ۵ ت).

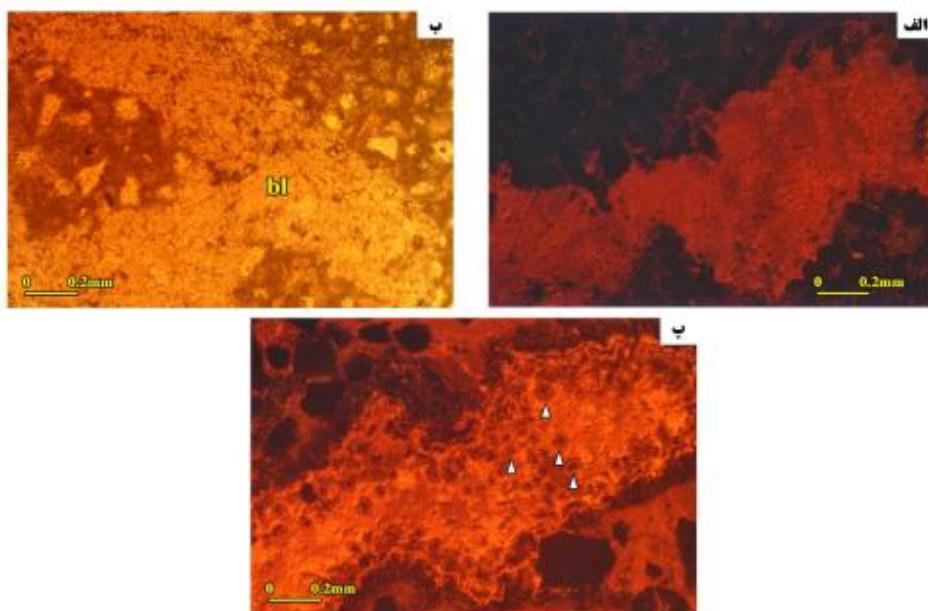
مرحله تدفین کم عمق، به صورت جانشینی و یا در اثر نوریختی افزایشی دولومیت‌های ریزتر تشکیل شده‌اند [۱۴].

شواهد درونزایی

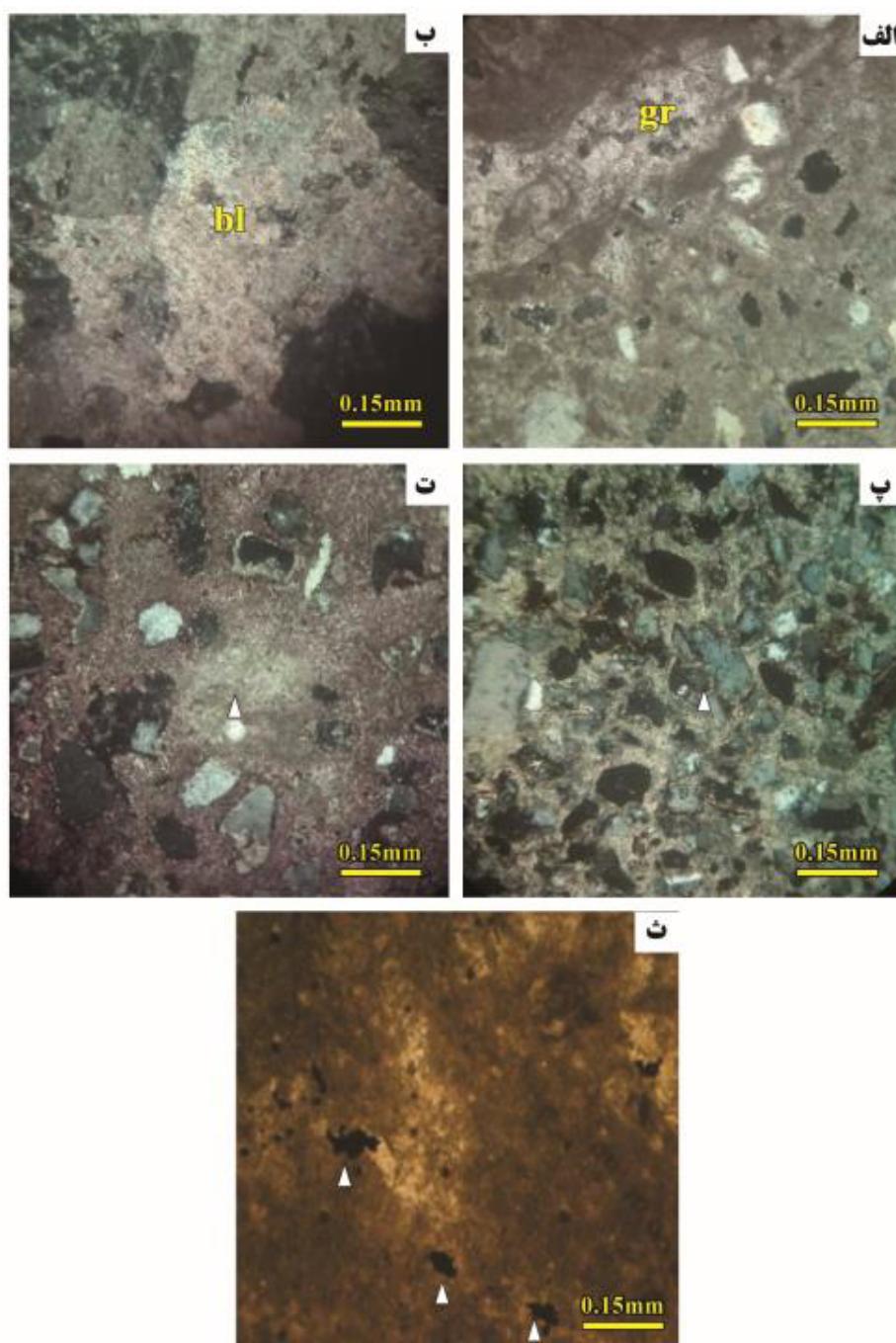
کالکریت‌های سازند شوریجه (کربنات‌های قاره‌ای) در معرض فرایندهای دیاژنزی مختلف شامل سیمانی‌شدن، فشردگی، دولومیتی‌شدن و پیریتی شدن قرار گرفته‌اند که در ادامه توضیح داده می‌شوند.

الف- سیمانی شدن: این فرآیند از اصلی‌ترین فرآیندهای درونزایی در سنگ‌های رسوبی است که سبب پایداری رسوب‌ها می‌شود. این فرآیند در محیط‌های مختلف، متفاوت است و به صورت‌های گوناگونی دیده می‌شود. سیمانی شدن با عبور یک سیال اشباع در فضاهای خالی انجام می‌شود [۱۵]. در کالکریت‌های سازند شوریجه (برش قرقه)، سیمان‌های کلسیتی دانه‌ای و قطعه‌ای دیده شده‌اند. سیمان دانه‌ای شامل بلورهای کلسیت کوچک و تقریباً هماندازه است که بیشتر در فضای خالی بین دانه‌ها تشکیل می‌شوند. سیمانی شدن این نمونه‌ها ممکن است همزمان با حاکزایی یا در اثر فرآیندهای درونزایی تشکیل شده باشد [۱۶]. در مقاطع میکروسکوپی کالکریت‌های مورد بررسی، اندازه بلورهای کلسیتی دانه‌ای بین حدود $۰_{+/-}^{+/-} ۰.۳$ تا $۰_{+/-}^{+/-} ۰.۱۷$ میلی‌متر اندازه‌گیری و برآورد شده‌است (شکل ۷ الف).

سیمان بلوکی از سیمان‌های درونزادی نهایی و پر کننده



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپ کاتدوتاپناکی از نمونه‌های کالکریتی در برش قرقه: (الف) تغییررنگ در CL که ناشی از تغییرات عناصر آهن و منگنز و تعییر در نسبت آهن به منگنز و نشان‌دهنده شرایط مختلف پتانسیل اکسایش-کاهش (Eh) در نوسان‌های سطح ایستابی است. ب) سیمان قطعه ای (b1) کالکریت‌های مورد بررسی (در نور قطبیده صفحه ای, app) و پ) دولومیت‌های شناسایی شده در کالکریت‌های برش قرقه.



شکل ۷ تصاویر میکروسکوپی از فرآیندهای دیاژنزی در نمونه‌های کالکریتی سازند شوریجه (برش قرقه). همه تصاویر در نور قطبیده متقطع (XPL) ثبت شده‌اند. (الف) سیمان دانه‌ای، (ب) بافت سیمان قطعه‌ای؛ (پ) فرآیند فشردگی فیزیکی (نوك پیکان)؛ (ت) فرآیند دولومیتی شدن که در رنگ آمیزی با آلیزارین قرمز رنگ نگرفته است؛ (ث) فرآیند پیریتی شدن (نوك پیکان).

میکرون و انواع شکل دار آن اغلب بصورت تکی و در اندازه‌های بزرگتر از میکرون به وجود می‌آیند [۲۲]. فرآیند پیریتی شدن به صورت لکه‌ای در کنار کالکریت‌های سازند شوریجه دیده شده است (شکل ۷ ث).

ت-پیریتی شدن: پیریت یک فرآورده درونزادی ناشی از واکنش شیمیایی سولفور و آهن دوظرفیتی است که در شرایط احیایی و اغلب در مراحل اولیه درونزایی تا دفن کم عمق و شرایط زیر سطح ایستابی (منطقه آب آزاد) شکل می‌گیرد [۲۱]. پیریت دانه‌تمشکی از انباست بلورهای ریز و کروی پیریت در اندازه

به شناسایی عوامل اصلی تشکیل‌دهنده این رسوب‌ها کمک می‌کنند انجام شد. غلظت عناصر فرعی ۷ نمونه کالکریتی در جدول ۲ ارائه شده است. در نمونه‌های کالکریتی، مقدار منیزیم ۰/۱۷ تا ۰/۸۶ درصد وزنی (میانگین ۰/۵۲ درصد وزنی)، مقدار سدیم ۱۱۸۶ تا ۴۹۷۱ پی‌پی‌ام (میانگین ۳۰۲۵ ppm)، مقدار استرانسیوم ۱۴/۷۵ تا ۹۵۸۷/۸۵ پی‌پی‌ام (میانگین ۴۹۸۳/۵۴ ppm)، مقدار منگنز ۱۱۲/۴ تا ۹۶۵/۴۴ پی‌پی‌ام (میانگین ۵۲۵/۸۱ ppm)، آهن ۱۰۹/۱۷ تا ۶۸۸/۳۴ پی‌پی‌ام (میانگین ۳۹/۱۱ ppm) و مقدار کلسیم ۳۴/۴۲ تا ۳۰/۷۲۹ ppm درصد وزنی (به طور متوسط ۳۶/۷۸ درصد وزنی) است. نتایج تجزیه ایزوتوبی نیز در جدول ۲ آورده شده‌اند.

مقدار ایزوتوب کربن کالکریت‌های سازند شوریجه در برش قرقره از ۵/۲۵-تا ۲۳-۶ در هزار (میانگین ۵/۷۵-در هزار) و مقدار ایزوتوب پایدار اکسیژن این نمونه‌ها از ۹/۹-تا ۷/۵۳-در هزار (میانگین ۴/۸-در هزار) در تغییر است.

ریزبافت‌های کالکریت‌ها

ریزبافت‌های کالکریت‌ها با تاب دهنه همه فرآیندهای زیست-زایی و غیرزیست‌زایی است که باعث تشکیل کالکریت‌ها شده‌اند [۳]. در کالکریت‌ها دو نوع ریز بافت آلفا و بتا دیده می‌شود. در تشکیل ریزبافت آلفا فرآیندهای زیست‌زایی نقشی نداشته‌اند [۲۲]، در حالیکه ریز بافت بتا متأثر از فعالیت‌های زیست‌زایی است [۲۴]. سیمان‌های کلسیتی مختلف از ریزبافت‌های آلفا به شمار می‌روند [۳]. ویژگی‌های ریز بافت‌های کالکریت‌ها مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

زمین شیمی عنصری و ایزوتوبی

در برش مورد بررسی، خاک‌های دیرینه ریز بافت پودری و گرهک‌های کربناتی هستند. با توجه به سهولت برداشت نمونه‌های کالکریتی گرهکی در مقایسه با نمونه‌های پودری، فقط زمین شیمی این نوع از کالکریت‌ها، بررسی شد. بررسی زمین شیمی برپایه تجزیه‌های مختلف عنصری و ایزوتوبی که

جدول ۱ ویژگی‌های نمونه‌های کالکریت مورد بررسی.

نوع ریزبافت بر پایه ردی بندی مرجع [۱۹]	تعريف	میکرومورفولوژی
ریز بافت بتا	این بافت به صورت بلورهای کلسیتی پیرامون کانیهای کوارتز دیده می‌شود (شکل ۶ الف). عرض این بلورهای کلسیتی کمتر از طول این آن‌هاست. تشکیل این بلورهای کلسیتی نتیجه فعالیت قارچ‌ها، سیانوباکتری‌ها و فعالیت‌های میکروبی است [۲۴].	بلورهای کلسیت پیرامون دانه‌های کوارتز
ریز بافت بتا	این بافت سمتگیری ویژه‌ای ندارد. حفره‌ها به صورت رشته‌های لوله‌ای شکل هستند که طول حفاری‌ها از عرض آنها بیشتر است (شکل ۶ ب).	حفاری موجودات
ریز بافت بتا	در بیشتر نمونه‌های کالکریتی مورد بررسی، همه مقطع نازک از میکریت تشکیل شده‌است (شکل ۶ ج). زمینه میکریتی در نمونه‌های کالکریتی در اثر فعالیت‌های میکروبی در مرز بین آب و رسوب تشکیل شده‌است [۳].	زمینه میکریتی
ریز بافت‌های آلفا	در بررسی‌های میکروسکوپی انجام شده، این نوع ریز بافت تنها در یک نمونه دیده شده‌است (نمونه شماره GS6). در این نمونه، ریز بافت‌های آلفا شامل سیمان‌های دانه‌ای (شکل ۷-الف) و بلوكی (۷-ب) هستند. این نوع سیمان‌ها توسط آب‌های زیرزمینی و در اثر واکنش‌هایی چون تبخیر، خروج گاز دی اسیدکربن و واکنش‌های یونی شکل گرفته‌اند. این نوع ریز بافت نشانگر نقش نوسان‌های سطح ایستابی در تشکیل این نوع کالکریت‌هاست [۳].	نوع سیمان‌های دانه‌ای و بلوكی

جدول ۲ داده‌های تجزیه عنصری و ایزوتوبی نمونه‌های کلسی سولی برش قرقره

شماره نمونه	Ca(%)	Fe(ppm)	Mg(%)	Mn(ppm)	Na(ppm)	Sr(ppm)	$\delta^{13} C_{(PDB)}$ کربنات	$\delta^{18} O_{(PDB)}$ کربنات
۶۲CAL	۳۵,۸۱	۱۲۴,۲۸	%۰,۱۷	۱۹۰,۹۴	۱۲۵۵,۱۵	۲۵۱۶,۷۶	۵,۲۵-	۸,۴۹-
۶۱CAL1	۳۸,۵۰	۲۴۴,۴۸	%۰,۸۶	۱۱۲,۴	۱۱۸۵,۶	۲۲۷۱,۲۱	۵,۴۶-	۸-
۹۱CAL	۳۶,۹۰	۱۱۱,۱۲	%۰,۲۷	۸۸۹,۷۳	۴۹۷۰,۸۲	۵۴۷۵,۸۷	۵,۶-	۸,۷۶-
۹۲CAL	۳۴,۴۲	۵۵۴,۸۳	%۰,۷۶	۴۲۱,۸۷	۳۰۴۲,۶	۸۶۵۶,۲۵	۵,۴۴-	۹,۹-
۱۰۱CAL	۳۹,۱۱	۶۸۸,۳۴	%۰,۳۱	۷۸۱,۴۲	۲۷۹۲,۵۴	۵۲۶۲,۱۰	۶,۰۲-	۸,۳۳-
۱۰۲CAL	۳۷,۵۴	۳۱۸,۸۹	%۰,۸۲	۳۱۸,۸۹	۳۱۰۳,۴۸	۱۱۱۴,۷۵	۶,۲۳-	۸,۳۳-
۱۳۱CAL	۳۵,۱۹	۱۰۹,۱۷	%۰,۵۰	۹۶۵,۴۴	۴۸۸۲,۶	۹۵۸۷,۸۵	۶,۱۴-	۷,۵۳-

کلسی سولی، افزون بر پوشش گیاهی سطحی نوع C3 شامل درختان، بوتهای و چمنزارها که اغلب در شرایط آب و هوایی خشک تا نیمه خشک فراوان است) می‌تواند به وجود فعالیت‌های میکروبی نیز نسبت داده شود (شکل ۸).

فشار دی اکسید کربن دیرینه

دی اکسید کربن گاز گلخانه‌ای مهمی است که تعیین مقدار آن در جو در دوره‌هایی که شرایط برای تشکیل گازهای گلخانه‌ای فراهم بوده است اهمیت بسیار دارد [۲۵]. روش‌های گوناگونی برای تعیین مقدار دی اکسید کربن دیرینه جو در دوره‌های زمین‌شناسی وجود دارد که از روش‌های متداول می‌توان به تعیین آن بر پایه مقدار کربن موجود در خاک دیرینه اشاره نمود. فشار دی اکسید کربن دیرینه در بسیاری از پژوهش‌ها براساس مقدار ایزوتوب کربن خاک‌های دیرینه کربناتی سنجیده شده است [۲۷,۲۶]. درک بیشتر اقلیم و شرایط آب و هوایی کرتاسه پیشین و اکوسیستم و پیش‌بینی شرایط آب و هوای دیرینه نیازمند بررسی و برآورد فشار دی اکسید کربن است.

برای اندازه‌گیری فشار CO_2 جو، از فشار CO_2 کالکریت‌ها به روش سرلینگ [۲۸] و تصحیح شده توسط اکارت و همکاران [۲۹] استفاده شد:

تحلیل داده‌های زمین‌شیمی به طور کلی در آب‌های زیرزمینی، غلظت عناصر سدیم و استرانسیوم بالا و غلظت عناصر آهن و منگنز پایین تر است [۱۲]. در نمونه‌های مورد بررسی، عناصر سدیم و استرانسیوم مقادیر بالاتری را نسبت به عناصر آهن و منگنز دارند، از طرفی، مقادیر منفی ایزوتوب اکسیژن در اثر آب‌های جوی و شهابی است [۳]. بر این اساس می‌توان گفت که پهنه مخلوط در محیط دلتایی که هم سطح ایستابی بالا آمده و هم در معرض آب‌های جوی است، در تشکیل کالکریت‌های برش قرقره مؤثر بوده است. به عبارتی، نوسان‌های سطح ایستابی باعث تشکیل کالکریت‌های برش قرقره شده است.

عوامل متعددی چون نوع فعالیت زیستی، عمق تشکیل کربنات، نرخ تنفس خاک و میانگین تولید CO_2 می‌تواند بر مقادیر ایزوتوبی خاک‌های دیرینه کالکریتی را اثر داشته باشد [۳]. نتایج تجزیه ایزوتوب‌های پایدار کربن نمونه‌های کلسی سولی مورد بررسی نشان دهنده مقادیر منفی $\delta^{13} C$ با میانگین ۵,۷۵-درهزار است. بررسی‌های پیشین دلیل احتمالی مقادیر منفی نتایج ایزوتوب کربن نمونه‌های کلسی سولی مورد بررسی را پوشش گیاهی سطحی نوع C3 بیان کرده‌اند [۳]. این در حالی است که با توجه به غالب بودن ریز بافت بتا که خود ناشی از فعالیت ریز جانداران است، مقادیر منفی $\delta^{13} C$ نمونه‌های

آمده توسط مرتضوی و همکاران [۳] در برش‌های کارغش و اسفیدان از سازند شوریجه را تایید می‌نماید. ریتلاتک [۳۲] فشار دی اکسید کربن در دوره کرتاسه پیشین را ۱۰۰۰ تا ۳۱۰۰ ppmv اندازه‌گیری کرده است این نشان می‌دهد که در دوره کرتاسه فشار گاز دی اکسید کربن به طور پیوسته بالا نبوده است [۲۵].

مقدار بارندگی دیرینه

مقدار بارندگی دیرینه را می‌توان با تحلیل داده‌ها و بررسی گرهک‌های کلکریتی، تعیین کرد. در این پژوهش، مقدار بارندگی دیرینه با استفاده از عمق گرهک‌های کربناتی و بکار بردن روابط جامع مراجع [۳۳، ۳۴] به دست آمد. استفاده از این روش تنها برای کالکریت‌های گرهکی مجاز است، زیرا به راحتی و به طور کامل از بستر ماسه‌سنگی جدا می‌شوند، و به سادگی می‌توان عمق تشکیل آنها را اندازه‌گیری کرد. عمق گرهک‌های کالکریتی با خط‌کش اندازه‌گیری و نسبت به شب ساختاری تصحیح شده و مقدار بارندگی سالانه (MAP) بر حسب میلی متر از رابطه زیر به دست آمد:

$$\text{MAP} = 137.24 + 0.6445D_0 - 0.00013D_0^2$$

خطای استفاده از این رابطه ± 147 میلی متر است. D_0 عمق گرهک کربناتی از بالاترین قسمت آن تا بیشترین عمق انباشت‌های کربناتی بر حسب سانتی‌متر است. در این گرهک‌های کربناتی هیچ گونه جابجایی عمودی دیده نشده است. برای به دست آوردن مقدار بارندگی دیرینه از رابطه زیر استفاده شد [۳۳]:

$$P = 0.029(D-38)^2 + 2.7D + 133 \quad (4)$$

که P مقدار بارندگی سالیانه بر حسب میلی‌متر است. خطای این رابطه، ± 95 میلی‌متر و کمتر از خطای رابطه مرجع [۳۴] است. میانگین مقدار بارندگی سالیانه در برش مورد بررسی براساس رابطه مرجع [۳۴] حدود ۱۵۲/۲۵ میلی‌متر و بر اساس رابطه (۴) حدود ۲۰۶/۹۳ میلی‌متر در سال برآورد شد که این مقادیر با جغرافیای دیرینه همخوانی دارد (شکل ۹). مقادیر بارندگی سالیانه محاسبه شده در جدول ۳ ارائه شده است.

$$P_a = P_r \frac{(\delta^{13}\text{C}_s - 1.0044\delta^{13}\text{C}_r - 4.4)}{(\delta^{13}\text{C}_a - \delta^{13}\text{C}_s)} \quad (1)$$

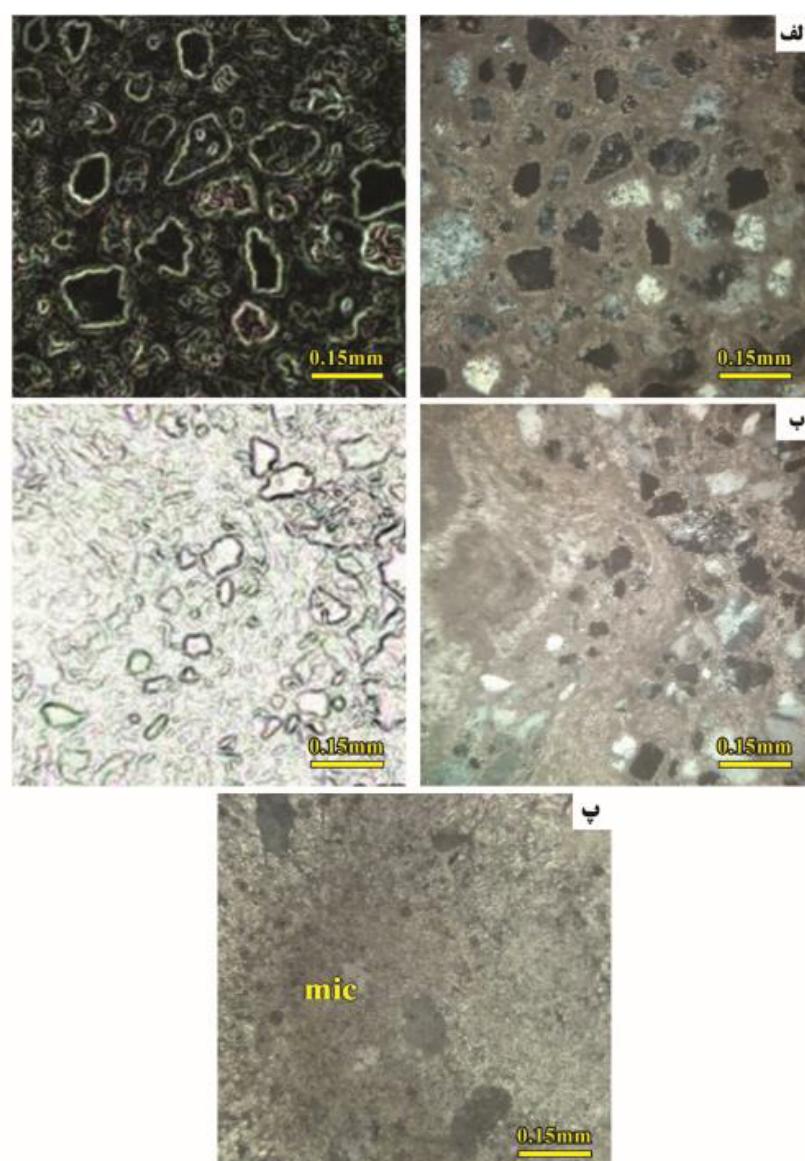
در این رابطه، P_a فشار دی اکسید کربن جو، P_r فشار دی اکسید کربن موجود در خاک دیرینه، $\delta^{13}\text{C}_s$ و $\delta^{13}\text{C}_r$ به ترتیب، مقدار ترکیب‌های ایزوتوپی دی اکسید کربن خاک، دی اکسید کربن دمیده شده در خاک و دی اکسید کربن جو هستند. P_r تابعی از عمق خاک است که در عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متری به مقدار ثابتی می‌رسد. خاک‌هایی که به خوبی هواهدی و زهکشی شده‌اند، مقادیر P_r بین ۴۰۰۰ تا ۷۰۰۰ ppmv را نشان می‌دهند [۲۹]. برای این نوع از خاک‌های دیرینه، مقدار ۴۵۷۷ ppmv برآورد شده است و معادل تقریبی آن را حدود ۵۰۰۰ ppmv در نظر گرفته‌اند [۳۰]. $\delta^{13}\text{C}_s$ در رابطه (۱)، مقدار ایزوتوپی کالکریت است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\delta^{13}\text{C}_s = \frac{\delta^{13}\text{C}_e + 1000}{\frac{11.98 - 0.12T}{1000} + 1} - 1000 \quad (2)$$

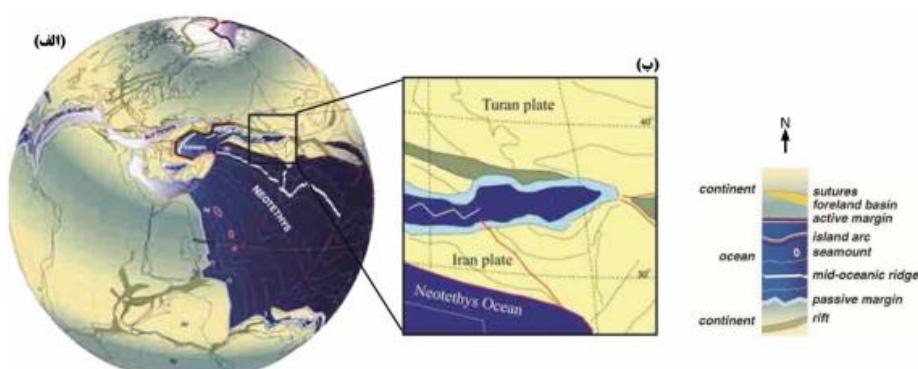
که در این جا، T میانگین دمای سالانه بوده که مقدار 8°C برای آن در نظر گرفته شده است [۳۰]. $\delta^{13}\text{C}_e$ مقدار کربن آلی است که رابطه (۱) میانگین ترکیب ایزوتوپی کربن آلی در کرتاسه پیشین حدود ۲۶-۲۶ درصد اعمال شد. همچنین، $\delta^{13}\text{C}_a$ با مقدار ایزوتوپی دی اکسید کربن جو از رابطه زیر محاسبه شد [۳۱]:

$$\delta^{13}\text{C}_a = \frac{(\delta^{13}\text{C}_e + 18.67)}{1.1} \quad (3)$$

که $\delta^{13}\text{C}_e$ مقدار ایزوتوپی مواد آلی موجود در خاک یا (همان $\delta^{13}\text{C}_r$) است. سرانجام، با قرار دادن همه داده‌ها در رابطه (۱) فشار دی اکسید کربن کالکریت‌های خاکزد سازند شوریجه در برش قرقه محاسبه گردید. برای اساس، مقدار فشار دی اکسید کربن دیرینه در دوره کرتاسه پیشین در گستره ۲۲۳۷/۱۰ تا ۲۹۸۱/۰۸ ppmv برآورد شد که ۷/۹۹ تا ۱۰/۶۵ برابر مقدار فشار دی اکسید کربن امروزی است. این مقادیر نتایج به دست



شکل ۸ تصاویر ریزribختار کالکریت‌های برش قرقه: (الف) تصویر سنگنگاری (سمت راست; xpl) و تصویر نگاشتاری (سمت چپ) بلورهای کلسیت سوزنی و رشته‌ای پیرامون دانه‌های کوارتز (ریز بافت بتا)، (ب) تصویر سنگنگاری (سمت راست; XPL) و تصویر نگاشتاری حفاری‌های موجودات (ریز بافت بتا) و (پ) زمینه میکریتی (ریز بافت بتا).



شکل ۹ (الف) مدل زمین دینامیکی کرتاسه (اقتباس از [۳۵]) ب) موقعیت جغرافیای دیرینه حوضه رسوی کپه‌داغ در زمان ژوراسیک پسین-کرتاسه پیشین، که بین عرض جغرافیایی ۳۰ تا ۴۰ درجه شمالی قرار گرفته است.

جدول ۳ مقدادیر بارندگی سالیانه محاسبه شده بر پایه روابط مراجع [۳۴، ۳۳].

شماره نمونه	قطر(سانتی‌متر)	MAP (mm) [۲۹]	MAP (mm) [۱۲]
۲,۶CAL	۱۸	۱۴۸,۸	۱۹۳,۲
۶,۱CAL	۳۳	۱۵۸,۳۷	۲۲۲,۸۳
۹,۱CAL	۲۷	۱۵۴,۵۵	۲۰۹,۴۱
۹,۲CAL	۴۱	۱۶۳,۴۵	۲۴۳,۹۶
۱۰,۱CAL	۶	۱۴۱,۱	۱۷۸,۹
۱۰,۲CAL	۷	۱۴۱,۷۵	۱۷۹,۷۷
۱۲,۱CAL	۳۲	۱۵۷,۷۳	۲۲۰,۴۴

است، زیرا فشار دی اکسید کربن و دما نسبت مستقیم دارند از این رو بررسی زمین شیمیایی کلسی‌سولهای برش مورد بررسی می‌تواند به بازسازی شرایط آب و هوایی جغرافیایی دیرینه کمک نماید.

برداشت

در نهشته‌های قاره‌ای سازند شوریجه افزون بر رخساره‌های سنگی آواری، رخساره سنگی غیرآواری کالکریتی نیز دیده شده است. بر اساس رده‌بندی خاک‌های دیرینه، نوع کلسی‌سولی در این برش شناسایی شد. کلسی‌سولهای این برش شامل دو نوع پودری و گرهکی هستند که بر پایه ویژگی‌های میکروسکوپی، ماکروسکوپی و زمین‌شیمیایی خاستگاه آبهای زیرزمینی جوی برای آن پیشنهاد شده است. شواهد زمین‌شیمیایی بیانگر نوسان‌های سطح ایستابی برای تشکیل این نوع کالکریت‌هاست. بررسی‌های میکروسکوپی به روش کاتدوتابناکی نشان‌دهنده کالکریت‌شدن در پهنه مخلوط است. کلسی‌سولهای برش قرقره دارای شکل‌های درشت ریختار و ریز‌ریختار ویژه‌ای هستند که با توجه به وجود غالب ریز بافت بتا، فعالیت ریز جانداران در تشکیل کالکریت‌های این برش نقش اساسی داشته است. خاک‌های دیرینه این برش دستخوش فرآیندهای حفاری موجودات، سیمانی‌شدن و پیریتی‌شدن شده‌اند. بر اساس بررسی‌های ایزوتوپی، مقدار بارندگی دیرینه

مقایسه نتایج به دست آمده با جغرافیای دیرینه کپه داغ نتایج زمین‌شیمی کلسی‌سولهای سازند شوریجه در برش قرقره با توجه به جغرافیای دیرینه این حوضه رسوبی در زمان ژوراسیک پسین-کرتاسه پیشین که بر پسروی گستره حوضه رسوبی کپه داغ اثر داشته است [۳۶، ۳۵] بررسی شد. تفسیر محیط دیرینه بر پایه ترکیب ایزوتوپ کربن و اکسیژن خاک‌های دیرینه کلسی‌سولی برش مورد بررسی با این شرایط همخوانی دارد. حوضه رسوبی کپه داغ در گستره زمانی ژوراسیک پسین-کرتاسه پیشین در عرض‌های جغرافیایی دیرینه ۳۰ تا ۴۰ درجه شمالی واقع بوده [۳۷] (شکل ۹)، که این عرض جغرافیایی دیرینه در بر دارنده شرایط آب و هوایی نیمه حاره‌ای بوده است (شکل ۹). مقدار برآورده شده میانگین بارندگی سالیانه برابر با ۲۴۴ تا ۱۴۱ میلی متر نیز با عرض چهارمیانه کپه داغ در بخش شرقی حوضه رسوبی کپه داغ قرار دارد که مقدار بارندگی آن کمتر از نواحی غربی این حوضه بوده است. برآورده فشار دی اکسید کربن (۳۱۰۰-۱۱۰۰ ppmv) در این گستره زمانی و مقایسه آن با مقادیر فشار دی اکسید کربن ناشی از کلسی‌سولهای برش مورد بررسی (۲۲۳۷/۱۰ تا ۲۹۸۱/۰۸ ppmv) نشان می‌دهد که شرایط آب و هوایی در گستره زمانی ژوراسیک پسین-کرتاسه پیشین معتدل بوده

"Structural evolution of the Kopeh Dagh fold-and-thrust belt (NE Iran) and interactions with the South Caspian Sea Basin and Amu Darya Basin", *Marine and Petroleum Geology*. 57 (2004) 68-87.

[5] Afshar-Harb A., "The stratigraphy tectonics and petroleum geology of Kopet-Dagh region, northern Iran. Unpublished PHD thesis, Petroleum Geology Section", Imperial College, London, (1979), 316pp.

[6] Hosseinyar G., Moussavi Harami R., Abdollahie Fard I., Mahboubi A., Noemani Rad R., "Seismic geomorphology and stratigraphic trap analyses of the Lower Cretaceous siliciclastic reservoir in the Kopeh Dagh- Amu Darya Basin", *petroleum Science*, Volume (16), (2019), 776-793.

[7] Mack G.H., James W.C., Monger H.C., "Classification of paleosols", *Geological Society of America Bulletin* 105, (1993), 129-136.

[8] Dickson J.A.D., "Carbonate identification and genesis as revealed by staining". *Journal of Sedimentary Petrology*.36 (1966) 441-505.

[9] Tucker M.E., "Sedimentary Petrology" Third Edition, Blackwell, Oxford,(2001), 260pp.

[10] Boggs S., Jr., Krinsley D., "Applications of Cathodoluminescence Imaging to the Study of Sedimentary Rocks", Cambridge, New York, (2006), 165 pp.

[11] Walker G., "Mineralogical applications of luminescence techniques. In: Berry, F.J. and Vaughan, D.J.(Eds)", Chemical Bonding and Spectroscopy in Mineral Chemistry: Champman and Hall, London, (1985), 103-140.

[12] Parcerisa D., Gomez-Gras D., Trave A., Martin- Martin J.D., Maestro E., "Fe, Mn in calcites cementing red beds: a record of oxidation-reduction conditions examples from the Catalan Coastal Ranges (NE Spain)", *Journal of Geochemical Exploration* 89, (2006), 318-321.

[13] Sibley D.F., Gregg J.M., "Classification of dolomite rock texture", *Journal of Sedimentary Petrology*, 57 (1987) 967-975.

[14] Al- Aasm I.S., Packard J.J., "Stabilization of early-formed dolomite: a tale of divergence two

در برش ۱۴۱,۷۵ تا ۲۲۰,۴۴ میلی متر در سال برآورد شد که با نقشه‌های بارندگی دیرینه همخوانی دارد، بر پایه این بررسی -ها، فشار دی اکسید کربن نیز در این برش برآورد شد که نتایج به دست آمده نیز با جغرافیای دیرینه کپه‌داغ در این زمان همخوانی دارد.

قدرتانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد، برای فراهم نمودن امکانات بررسی‌های میدانی و آزمایشگاهی (طرح پژوهشی شماره ۳/۴۷۹۶۸۹) سپاسگزاری می‌شود. بررسی‌های میکروسکوپی کاتدولابنایی در آزمایشگاه رسوب‌شناسی و میکروسکوپی الکترونی در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد که از زحمات کارکنان آن قدردانی می‌گردد. از آقای محمدحسین طبری آبکوه برای کمک در برداشت‌های میدانی و نمونه برداری سپاسگزاریم.

مراجع

- [1] Mortazavi M., Mousavi Harami R., Mahboubi A., Najafi M., "Paleosol types and characteristics in Shurijeh Formation (Late Jurassic-Early Cretaceous), Kopeh Dagh sedimentary basin, Northeast of Iran", *Stratigraphy and Sedimentology Research*,46, (2011), 1-32.[In Persian].
- [2] Moussavi-Harami R., Mahboubi A., Nadjafi M., Brenner R.L., Mortazavi M., "Mechanism of calcrete formation in the Lower Cretaceous (Neocomian) fluvial deposits, northeastern Iran based on petrographic, geochemical data", *Cretaceous Research* 30, (2009), 1146-1156.
- [3] Mortazavi M., Moussavi-Harami R., Brenner R. L., Mahboubi A., "Stable isotope record in pedogenic carbonates in northeast Iran: Implications for Early Cretaceous (Berriasian-Barremian) paleovegetation and paleoatmospheric P (CO₂) levels", *Geoderma*, 211-212, (2013), 85-97.
- [4] Robert A., Letouzey j., Kavoosi M.A., Sherkati Sh., Muller C., Verges J., Aghababaei A.,

- [22] Passier H.F., Middelburg J.J., de Lange G.L., Bottcher M.E., "Pyrite contents, microtextures and sulfur isotopes in relation to formation of the youngest eastern Mediterranean sapropel", *Geology*, 25 (1997) 519-522.
- [23] De Yoreo J., Gilbert P., Sommerdijk N., Lee Penn R., Whitelam S., D Joester D., Zhang H., Rimer J., Navrotsky A., Banfield J., Wallace A., Michel M., Meldrum F., Colfen H., Dove P., "Crystallization by particle attachment synthetic, biogenic, and geologic environments", *Science*. 349 (2015) 562-574.
- [24] Bindschedler S., Cailleau G., Verrecchia E., "Role of Fungi in the Biomineralization of calcite", *Minerals*, 42, (2016), 1-19.
- [25] Huber B., Kenneth G., Macleod David K., "Watkins Millard F and Coffin. The rise and fall of the Cretaceous Hot Greenhouse climate", *Global and Planetary Change* (2018) 167, 1-23.
- [26] Kanzaki Y., Murakami T., "Estimate of atmospheric CO₂ in the Neoarchean-Paleoproterozoic from paleosols", *Geochimica Cosmochimical Acta* 159 (2015) 190- 219.
- [27] Sheldon N. D., "Causes and consequences of low atmospheric pCO₂ in the Late Mesoproterozoic", *Chemical Geology*. 362,(2013), 224-231.
- [28] Cerling T.E., "Stable carbon isotopes in paleosol carbonates. in Thiry, M., Simm-Coincon, R., (eds), Paleoweathering, Paleosurfaces, and Related Continental Deposits". Special Publication of the International Association of Sedimentologists 27 (1999) 43- 60.
- [29] Ekart D.D., Cerling T.E., Montanez I.P., Tabor N.J., "A 400 million year carbon isotope record of pedogenic carbonate: implications for paleoatmospheric carbon dioxide", *American Journal of Science* 299 (1999) 805- 827.
- [30] Retallack G.J., "New transfer functions for estimating paleoproductivity in paleosols", *Proceedings of the Oregon Academy of Science*, (2008), 25-46.
- [31] Arens N.C., Jahren A.H., Amundson, R., "Can C3 plants faithfully record the carbon Mississippian dolomites", *Sedimentary Geology*, 131, (2000),97-108.
- [15] Bjorlykke K., "Relationships between depositional environments, burial history and rock properties. Some principle aspects of diagenetic processes in sedimentary basins", *Sedimentary Geology*, 301 (2014)1-14.
- [16] Armenteros I., "Diagenesis of Carbonates in Continental Settings. In: Alonso-Zarza, A.M., Tanner, L.H.(Eds.), Carbonates in Continental Settings: Geochemistry", Diagenesis and Applications, Developments in Sedimentology 62, Elsevier, Amsterdam (1996) 62-122.
- [17] Ahmad A. H., Bhat G. M., Azim Khan M. H., "Depositional environments and diagenesis of the Kuldhar and Keera Dome Carbonates (Late Bathonian-Early Callovian) of the Western India", *Journal of Asia Earth Sciences*, 27,(2006),765-778.
- [18] Leonide Ph., Fournier F., Reijmer J., Vonhof H., Borgomano J., Dijk J., Rosenthal M., Geothem M., Cochard J., Meulenaars K., "Diagenetic patterns and pore space distribution along a platform to outershelf transect (Urgonian limestone, Barremian- Aptian, SE France)", *Sedimentary Geology*, 306, (2014),1-23.
- [19] Tucker M.E., Wright V.p., "Carbonates Sedimentology", Blackwell. Oxford, (1990), 482pp.
- [20] Sabbagh Bajestani M., Mahboubi A., Al-Aasm I., Moussavi-Harami R., Nadjafi M., "Multistage dolomitization in the Qal eh Dokhtar Formation (Middle-Upper Jurassic) Central Iran: Petrographic and geochemical evidence, *Geological Journal*,22-44 (Doi: 10.1002/gj.2876).
- [21] Rahman M.U., Ali F., Faisal S., KhalidS., Hussain H.S., Haq T.U., "The impact of diagenesis and dolomitization on the reservoir potential of Middle Jurassic Samana Suk Formation from Khanpur Dam section Hazara Basin, Khyber Pakhtunkhwa Pakistan", *International Journal of Economic and Environment Geology*, 8(2) (2017) 40-54.

- [35] Thomas J.C., Cobbold E.R., Shein V.S., Le Douaran S., “*Sedimentary record of late Paleozoic to Recent tectonism in central Asia -- analysis of subsurface data from the Turan and south Kazak domains*”, *Tectonophysics*, 313, (1999) 243-263.
- [36] Golonka J., “*Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic*”, *Tectonophysics*, 381 (2004) 235–273.
- [37] Stampfli G., Borel G.D., “*A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones*”, *Earth and Planetary Science Letters*, 196 (2002) 17-33.
- isotopic composition of atmospheric carbon dioxide?”, *Paleobiology* 26 (2000) 137–164.
- [32] Retallack G.J., “*Greenhouse crises of the past 300 million years*”, *Geological Society of America Bulletin* 121, (2009), 1441- 1455.
- [33] Cleveland D.M., Nordt L.C., Atchley S. C., “*Paleosols, trace fossils, and precipitation estimates of the uppermost Triassic strata in northern New Mexico*”, *Paleogeography, Paleoceanography, Paleoecology*, 257, (2008), 421-444
- [34] Retallack G.J., “*Pedogenic carbonate proxies for amount and seasonality of precipitation in Paleosols*”, *Geology* 33, (2005), 333–336.