

سنگ‌نگاری، کانی‌شناسی، زمین‌شیمی عنصری و الگوی رشد گلاکونی‌های نهشته‌های میوسن در

برش گشور، پهنه سنندج سیرجان (جنوب غرب هرسین)

جعفر شریفی^{۱*}، یعقوب نصیری^۲

(۱) استادیار، دانشکده علوم پایه، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

(۲) استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران

J_sharifi@pnu.ac.ir

تاریخ تنظیم: ۱۴۰۳/۷/۲۷

چکیده

توالی کربناته به سن میوسن در برش روستای گشور واقع در یک کیلومتری جنوب غرب هرسین، استان کرمانشاه، از سنگ‌آهک گلاکونی، مارن گلاکونی و میان لایه‌های شیل تشکیل شده است. کانی گلاکونی در تمام رخساره‌های سنگی این توالی وجود دارد. فراوانی گلاکونی از ۵ تا ۴۵ درصد و بر اساس درجه بلوغ، از کمی تکامل یافته به رنگ سبز کم‌رنگ تا بسیار تکامل یافته به رنگ سبز خیلی پر رنگ در مقاطع مشاهده شده‌اند. خصوصیات نظیر جانشینی غیر انتخابی، حضور پلت‌های گلاکونی نارس، وجود تکه‌های پراکنده گلاکونی در زمینه به صورت هاله سبز رنگ، جورشدگی ضعیف همراه با فسفات و چروکیدگی در برخی گلاکونی‌ها از مهم‌ترین شواهد تشکیل گلاکونی‌های اتوکتونوس است که تحت شرایط فیزیکوشیمیایی مناسب جانشین پوسته‌های فسیلی و زمینه مقاطع شده‌اند. در نمونه‌های مورد مطالعه، نتایج SEM کانی‌های گلاکونی با مطالعات پتروگرافی قابل تطبیق است. همچنین تجزیه و تحلیل‌های نیمه‌کمی انجام شده بر روی کانی‌های گلاکونی با استفاده از آنالیز نیمه‌کمی EDX SEM غلظت‌های Fe_2O_3 و K_2O ، نشان دهنده یک رابطه خطی مثبت بین غلظت Fe_2O_3 و K_2O است. غلظت اکثر نمونه‌ها پایین‌تر از مقادیر آستانه است ($\text{K}_2\text{O} < 8\%$) ($\text{Fe}_2\text{O}_3 < 7\%$) که با شواهد پتروگرافی برای گلاکونیتهای اتوکتونوس مطابقت دارد.

واژه‌های کلیدی: نهشته‌های میوسن، گلاکونی، برجاء، آنالیز EDX، پتاسیم، اتوکتونوس

Petrography, Mineralogy, Geochemistry and growth pattern of glauconite in Miocene deposits in the Gashor section, Sanandaj - Sirjan Zone (SW of Harsin)

Jafar Sharifi^{1*}, Y. Nasiri²

1) Assist. Prof., Faculty of Sciences, Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Miocene-aged carbonate sequence in Geshur village section which located in one kilometer to southwest of Harsin, Kermanshah province, is composed of glauconite limestone, glauconite marl, and interlayers of shale. Glauconite mineral is present in all rock facies of this sequence. The abundance of glauconite ranges from 5 to 45% and according to the degree of maturity, they have been observed from slightly evolved with pale green color to highly evolved with very rich green color in thin sections. Featured such as unselected replacement, the presence of highly evolved glauconite pellets, scattered pieces of glauconite in the form of green halo in matrix, weak sorting with phosphate and wrinkled glauconites are some of the most important evidences in the deposition of autochthonous glauconite under the suitable physico-chemical conditions which replacement with carbonate matrix and fossil shells. In the studied samples, the SEM results of glauconite minerals is compatible with the results of petrographic studies. Moreover, the semi-quantitative analysis on glauconite minerals using EDS SEM on FeO and K₂O concentrations indicate a positive linear relationship between the FeO and K₂O concentrations. The concentrations of most samples are lower than the values of the threshold (K₂O < 8%) (Fe₂O₃ < 7%), which is consistent with the petrographic evidence for autochthonous glauconites.

Keywords: Miocene deposit, glauconites, in situ, EDX analysis, potassium, autochthonous

حوضه‌های رسوبی مناطقی فرونشست یافته از سطح زمین بوده که بر هم کنش فاکتورهای مختلف چینه‌نگاری سکansı در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی، پاسخی بر ساختار چینه‌شناسی موجود در آن‌هاست [1]. مطالعه یک حوضه رسوبی با سکانس‌های واقع در آن با بهره‌گیری از داده‌های مختلفی چون رخنمون، زیرسطحی، ژئوفیزیکی و ... به شناخت هر چه بیشتر حوضه کمک شایانی می‌نماید [2]. با علم بر این خصوصیات یک برش چینه‌شناسی از رسوبات میوسن در ناحیه هرسین مورد مطالعه قرار گرفت. در زون ساختاری زاگرس، ایران مرکزی و سنندج سیرجان رسوبات موجود دارای رخساره، ضخامت و سن بسیار متغییر و متنوع از جایی به جای دیگر می‌باشند. رسوبات مربوط در زون زاگرس به سازند آسماری در ایران مرکزی به سازند قم و در سنندج سیرجان نامگذاری نشده‌اند. ناحیه مورد مطالعه در زون سنندج سیرجان قرار دارد (شکل ۱). با پیشروی سطح آب دریا رسوبات کربناته نهشته‌های میوسن در آب‌های نیمه‌عمیق و در زون ساختاری کرمانشاه بر جای گذاشته شده است. در ناحیه مورد مطالعه نهشته‌های مورد مطالعه بر روی افیولیت‌ها قرار دارد و مرز بالای آن نیز افیولیتی است (شکل ۲). لیتولوژی عمده این نهشته‌ها شامل مارن تیره و سنگ‌آهک خاکستری رنگ است (شکل ۲). کانی گلاکونی از اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات بخش بالایی نهشته‌های میوسن در ناحیه مورد مطالعه است. کانی گلاکونی تحت عنوان آلومینو فیلوسیلیکات‌های غنی از آهن و پتاسیم شناخته می‌شود که شامل طیفی از کانی‌ها با درصدهای متفاوت این عناصر بوده و با عضو ابتدایی اسمکتیت و عضو نهایی میکا مشخص می‌شود. گلاکونی‌ها به رنگ‌های سبز رنگ و با ظاهری خاکی یا درخشان، غالباً در حد ماسه بوده و معمولاً گرد تا بیضوی شکل هستند. به عقیده ادین و فلوگار [3] واژه گلاکونی تنها به عضو انتهایی در سری‌های گلاکونی که به عنوان میکای غنی از پتاسیم شناخته می‌شود مربوط است. دو نظریه اساسی در مورد تشکیل گلاکونی مطرح است. تئوری نوشکلی تشکیل این کانی را نتیجه ته‌نشینی مستقیم یا بعد از انحلال دیگر کانی‌ها که دارای ترکیب شیمیایی مناسب هستند در نظر می‌گیرد، در حالیکه تئوری شبکه لایه‌ای (layer lattice) تشکیل گلاکونی را نتیجه تکامل شیمیایی یک کانی رسی که تحت تجزیه قرار گرفته است می‌داند. مطالعه گلاکونی‌های موجود در رسوبات مربوط به سن‌های متفاوت نشان داده است که معمولاً با دمای بین ۱۰-۱۵ درجه سانتیگراد، شرایط مرز اکسیداسیون - احیا و اسیدیته حدود ۸ تشکیل می‌شود [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. محیط دریایی کم‌عمق با شوری نرمال از محیط‌های مستعد تشکیل گلاکونی بوده و بر سایر محیط‌ها ترجیح داده می‌شود. اگرچه گزارش‌های مختلفی حاکی از تشکیل گلاکونی در اعماق متفاوت (بین ۵۰ تا ۵۰۰ متر) [15, 3, 16, 17] و همچنین سیستم‌های رسوبی مختلف از جمله حاشیه ساحلی، خلیج دهانه‌ای و بخش‌های میانی تا عمیق رمپ است و بنابراین عدم وابستگی تشکیل این کانی به عمق مستدل به نظر می‌رسد. علاوه بر این توزیع عرض جغرافیایی خاصی نیز برای تشکیل گلاکونی عنوان نشده است [18]. نهشته‌های مورد مطالعه که قاعده آن به نهشته‌های افیولیتی واحد E1v ختم می‌شود در ۱ کیلومتری جنوب غرب هرسین و در ۶۰۰ متری روستای گشور واقع

شده و توسط جاده آسفalte بیستون هرسین قابل دسترسی است. از لحاظ مختصات جغرافیایی قاعده این برش دارای طول جغرافیایی ۱۲° و $۲۵'$ و ۴۷° شرقی و عرض جغرافیایی ۱۰° و $۱۷'$ و ۳۴° شمالی است. هدف از این مطالعه تشخیص خاستگاه و مکانیسم دانه‌های گلاکونی است که می‌تواند به تفسیر شرایط حاکم بر محیط رسوبی در زمان تشکیل گلاکونی‌ها در افق‌های مشابه در سایر نقاط ایران کمک بسزایی نماید.

روش مطالعه

در این مطالعه برش چینه شناسی نهشته‌های میوسن در روستای گشور، هرسین به ضخامت ۱۰۰ متر مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۲). جهت بررسی مکانیزم تشکیل گلاکونی‌های نهشته‌های میوسن و همچنین به منظور شناسایی ویژگی‌های پتروگرافی گلاکونی‌ها از جمله ریخت‌شناسی، رنگ و نحوه ظهور، در این برش ۸۰ مقطع نازک میکروسکوپی مورد بررسی دقیق قرار گرفته است. پس از مطالعات پتروگرافی و جهت بررسی ساختار سطحی و درونی و همچنین تعیین درصد اکسیدهای مختلف تشکیل دهنده گلاکونی‌ها تعداد ۱۰ مقطع توسط میکروسکوپ الکترونی مورد تصویربرداری و آنالیز SEM-EDX در دانشگاه لرستان قرار گرفته است.

جدول ۱: میزان پتاسیم و آهن گلاکونی‌های نهشته‌های میوسن در برش گشور

شکل ۱ (الف) نقشه کلی از ایران که در آن ۸ حوضه مختلف نشان داده شده است [19]. ناحیه مورد مطالعه در حوضه سنندج سیرجان قرار دارد. (ب) نقشه موقعیت و راه‌های دسترسی به ناحیه مورد مطالعه.

شکل ۲ ستون چینه‌شناسی نهشته‌های میوسن در برش مورد مطالعه.

توصیف و تفسیر

توصیف

بررسی پتروگرافی دانه‌های گلاکونی موجود در نهشته‌های میوسن در ناحیه مورد مطالعه نشان می‌دهد که به صورت گلاکونی‌های پلتی و بخشی نیز به صورت جانشینی حرات خرده‌های فسیلی را پر کرده‌اند، یا به صورت لکه‌های سبز رنگ بدون حاشیه مشخص و شارپ در زمینه سنگ دیده می‌شوند (شکل ۳ الف و ب). ریخت‌شناسی پلت‌های گلاکونی از نیمه گردشده و بی‌شکل با حاشیه نامنظم تا انواع

پستان مانند در تغییر است (شکل ۳ پ). علاوه بر این اغلب ترک‌های V شکل که به سمت مرکز دانه کشیده شده‌اند در این نوع گلاکونی‌ها دیده می‌شود (شکل ۳ پ). پلت‌های گلاکونی با رنگ‌های مختلف از سبز روشن تا سبز و سبز تیره در کنار یکدیگر دیده می‌شوند. میزان خردشدگی در این گلاکونی‌ها بسیار اندک بوده اگر چه در مواردی ممکن است انواع خردشده نیز مشاهده شوند. این دسته از گلاکونی‌ها در اندازه‌های مختلف مشاهده شده و لذا از جورشدگی ضعیفی برخوردارند (شکل ۳ الف-پ). در مواردی پیریت‌های به فرم کوبیک به صورت جانشرینی در گلاکونی‌ها و یا پرکننده حجرات فرامینیفرها مشاهده شده است (شکل ۴ الف و پ). در مطالعات صورت گرفته توسط میکروسکوپ الکترونی SEM از دانه‌های مختلف گلاکونی با ریخت‌شناسی و رنگ‌های گوناگون وجود دو دسته گلاکونی به اثبات رسیده است. یک دسته ساختار درونی لاملی - تیغه‌ای را از خود نشان داده‌اند (شکل ۶ پ و ت) و دسته دوم که با رنگ سبز روشن و عدم وجود ترک‌های سطحی مشخص می‌شوند وجود ساختار درونی گلبولی در آن‌ها را آشکار می‌سازند (شکل ۶ الف و ب). در این نمونه‌ها عدم وجود گردشدگی، زاویه‌دار، سطح چروکیده ناصاف، اندازه‌های مختلف دیده می‌شود (شکل ۳ الف-پ). در مقاطع مورد مطالعه هم‌چنین همراهی فسفات که ترکیب یکنواخت از خود نشان می‌دهند با گلاکونی تایید شده است (شکل ۳ ب). مقدار پتاسیم گلاکونی‌های نهشته‌های میوسن از حدود ۲ درصد تا ۸ درصد افزایش می‌یابد (جدول ۱).

شکل ۳ الف: گلاکونی‌های نابالغ (Na)، کمی بالغ (Si) و تکامل یافته (Ev) و گلاکونی بسیار تکامل یافته. ب: گلاکونی‌های نابالغ (Na) و تکامل یافته (Ev). پ: ترک ۷ شکل (شماره ۳)، ریخت‌شناسی پستان شکل (شماره ۱)، ریخت‌شناسی کرمی شکل (شماره ۲).

تفسیر

نظریات اولیه تشکیل و تکامل، گلاکونی را مستلزم وجود یک کانی اولیه نظیر ایلیت و اسمکتیت که از نظر ساختاری شبیه کانی گلاکونی است می‌دانست که در این شرایط آهن جانشین الومینیوم شده و گلاکونی تشکیل می‌شود [20]. اما بعدها با شناسایی فرایند گلاکونی شدن در بسترهای مختلف این تئوری رد شد [21, 7, 4, 8, 16, 22]. فرایند گلاکونی شدن به طور ایده ال شامل ۴ مرحله بوده که به ترتیب پیشرفت فرایند شامل مراحل نوظهور یا نابالغ، کمی تکامل یافته، بالغ و خیلی تکامل است (شکل‌های ۳ الف و ب و ۵). هر یک از مراحل توسط خصوصیات پتروگرافیکی (رنگ، ریخت‌شناسی، ساختار درونی) و ژئوشیمیایی (به عنوان مثال تغییرات درصد پتاسیم و آهن) قابل شناسایی است. این فرایند در مراحل اولیه نیاز به وجود حفراتی در بستر (مانند حجرات پوسته‌های فسیلی از جمله فرامینیفرها، شکستگی، نقاط ضعف موجود در دانه‌ها) دارد. در نهشته‌های میوسن این بستر اولیه شامل حجرات فرامینیفرها است که توسط گلاکونی پر می‌شود. اما در مورد پلت‌های گلاکونیتی که عمدتاً از نوع رسیده تا خیلی رسیده هستند با توجه به درجه بالای رسیدگی تشخیص بستر اولیه غیر ممکن است. در مرحله ابتدایی، کانی‌های رسی درجای آهن‌دار و حاوی ۲ تا ۴ درصد پتاسیم این حفرات را پر می‌کنند، این مرحله را اصطلاحاً گلاکونی نابالغ یا نوظهور می‌گویند. در این مرحله گلاکونی به رنگ سبز کم‌رنگ و با حاشیه نامنظم دیده می‌شود.

با پیشرفت فرایند گلاکونی شدن مقدار پتاسیم افزایش یافته و در نهایت گلاکونی کاملاً بالغ به رنگ سبز پررنگ با میزان پتاسیم ۸ درصد ایجاد می‌شود. در این مرحله ممکن است ترک‌های ایجاد شده در مراحل قبل با گلاکونی سبز کمرنگ پر شود و سطح دانه‌ها صاف‌تر و به صورت کروی شکل می‌شود (شکل، ۵ الف-پ). بنابراین گلاکونی‌ها در هر یک از این مراحل از نظر ترکیب و ساختار کانی‌شناسی متفاوت‌اند. گلاکونی‌ها از لحاظ منشا به دو گروه آلوتکتونوس (Allochthonous) و اتوکتونوس (Autochthonous) تقسیم می‌شوند، به طوری که گروه آلوتکتونوس خود شامل دو گروه پارا اتوکتونوس (Parautochthonous) و آواری (Detritus) است. در نوع اتوکتونوس یا درجا زاده‌های گلاکونی از محل تشکیل خود جابه‌جا نمی‌شوند، ولی در نوع آلوتکتونوس یا نابرجا گلاکونی‌ها از محل تشکیل خود جابه‌جا می‌شوند. گلاکونی‌های پارا اتوکتونوس بعد از تشکیل بر اثر جریان‌های اقیانوسی، جزرومد یا طوفان به صورت محلی جابجا می‌شوند، در حالی که گلاکونی‌های آلوتکتونوس در اثر فرسایش و هوازدگی از رسوبات قدیمی به حوضه رسوبی حمل می‌شوند [7, 23, 24, 4].

گلاکونی‌های اتوکتونوس به صورت درجا در محیط تشکیل شده و بعد از تشکیل نیز جابجا نمی‌شوند. جابجایی و حمل گلاکونی از پدیده‌های معمول در محیط‌های رسوبی بوده و از این رو برای تشخیص ماهیت واقعی حضور گلاکونی در یک توالی رسوبی مهم است تا درجا یا نابرجا بودن گلاکونی تشخیص داده شود [25]. دانه‌های گلاکونی در رسوبات نهشته‌های میوسن در گروه انواع درجا قرار می‌گیرند که در ادامه به ذکر دلایل و ویژگی‌های آن‌ها پرداخته می‌شود. وجود نهشته‌های دریایی (نوع سنگ میزبان)، توزیع مکانی غیر انتخابی گلاکونی، جورشدگی و گردشدگی پایین، چروکیدگی ریخت‌شناسی (morphological shrinkage) در گلاکونی و همراهی گلاکونی با دانه‌های فسفاته را از ویژگی‌های مهم جهت شناسایی دانه‌های گلاکونی درجا در نهشته‌های میوسن است. چروکیدگی یا شکست مورفولوژیکی گلاکونی‌های میوسن موید درجا بودن آن‌ها است، که علت آن خروج آب از کانی و به عنوان ترک‌های انبساطی مربوط به رشد تفکیکی کانی در پلت گلاکونی است [25]. چنان که ذکر گردید، گلاکونی‌های مورد مطالعه در نهشته‌های میوسن به دو صورت جانشینی در خرده‌های اسکلتی و پلت‌های گلاکونی مشاهده می‌شوند. پلیت‌های گلاکونی عمدتاً شکل دار، دارای جورشدگی نسبتاً ضعیف و نیمه گرد شده تا زاویه‌دار، سطح چروکیده ناصاف و اندازه‌های مختلف دیده می‌شود (شکل ۳ الف-پ و ۶ الف و پ). این گلاکونی‌ها از انواع دارای رنگ سبز روشن با حاشیه نامنظم و بدون ترک‌های سطحی تا سبز - سبز تیره با ترک‌های حاصل از فرایند چروکیدگی مربوط به افزایش درجه رسیدگی تغییر می‌کنند (شکل ۴ الف-ت). تصاویر میکروسکوپی از گلاکونی‌های با رنگ سبز روشن وجود ساختار گلبولی در آن‌ها را آشکار کرده که مشخصه گلاکونی‌های نوظهور (نابالغ) است (شکل ۶ الف و ب). میزان اکسید پتاسیم آهن بر اساس آنالیز EDX بین ۲،۵ تا ۵ درصد برای این دسته از گلاکونی‌ها تعیین شده است (جدول ۱). که با شواهد پتروگرافی برای گلاکونی‌های نابالغ مطابقت دارد. گلاکونی‌های دارای رنگ سبز تا سبز تیره ساختار درونی لاملی - تیغه‌ای از خود نشان می‌دهند که

مشخصه گلاکونی‌های رسیده تا خیلی رسیده است [8, 9, 15] (شکل ۶ پ و ت). میزان اکسید پتاسیم براساس و آهن آنالیز SEM – EDX بین ۷.۷ تا ۸ درصد برای این دسته از گلاکونی‌ها تعیین شده است که با مشخصه‌های پتروگرافی مانند رنگ سبز تیره، ترک‌های حاصل از رسیدگی و ساختار درونی لاملی برای گلاکونی‌های رسیده و خیلی رسیده مطابقت دارد. مشاهده مراحل تکامل دانه‌های گلاکونی از نابالغ (به صورت پلیت و یا در حجرات فرامینیفرها) تا بالغ (بخش عمده پلیت‌های گلاکونی) که در بسترهای مختلف در رسوبات نهشته‌های میوسن صورت گرفته است شاهدهی بر درج‌ها بودن این دانه‌ها است [25, 18, 26, 27]. در این ارتباط مطالعات پتروگرافی نشان می‌دهد که گلاکونی‌های نوظهور به رنگ سبز روشن و گلاکونی‌های بسیار تکامل یافته به رنگ سبز تا سبز تیره که گاهی دارای چروکیدگی ریخت‌شناسی‌اند در کنار یکدیگر مشاهده می‌شود (شکل ۵ الف-پ). از طرفی از نظر پتروگرافی گلاکونی‌های نابرجا (الکتونوس) دارای دانه‌های گردشده با جورشدگی خوب هستند که سطح آن‌ها صاف و آثار خراشیدگی دیده می‌شود که آثار خراش نشان دهنده حمل و نقل و تماس دانه‌ها با همدیگر است که این موارد در گلاکونی‌های میوسن دیده نشد. بنابراین گلاکونی‌های میوسن از نوع برج‌ها هستند. همچنین درصد اکسید پتاسیم و آهن گلاکونی‌های نابرجا (آلوکتونوس) بالاتر از خط آستانه یعنی بالاتر از عدد ۱۰ می‌باشد، که در مورد گلاکونی‌های میوسن درصد اکسید آهن و پتاسیم کمتر از ۸ یعنی پایین‌تر از خط آستانه قرار دارد. که تایید کننده گلاکونی از نوع برج‌ها است. بدیهی است که در صورت از بین رفتن هر یک از شرایط مورد نیاز جهت تکامل فرایند گلاکونی شدن مثلا تغییرات سطح آب دریا (جابجایی دانه‌های گلاکونی)، دفن در عمق بیشتر و ورود رسوبات سیلیسی آواری به حوضه در هر کدام از مراحل رسیدگی، این واکنش تکاملی متوقف می‌شود. حضور پلت‌های گلاکونی فاقد گردشدگی، سطحی ناصاف و علائم خراش در نهشته‌های میوسن نشانه دیگری بر منشا اتوکتونوس بودن گلاکونی‌ها است [28, 7, 4, 8] (شکل ۶ الف-ت). وجود پلت‌های گلاکونی با ریخت‌شناسی مختلف از جمله بی‌شکل، نیمه کروی تا پستان مانند و درجات رسیدگی متفاوت از نوظهور تا خیلی رسیده علت دیگری بر عدم تاثیر فرایند جورشدگی هیدرولیکی در طی تشکیل این دسته از گلاکونی‌ها و در نتیجه تایید کننده منشا درج‌ای آن‌ها است. برخی از خردشدگی‌های مشاهده شده در پلیت‌های گلاکونی نهشته‌های میوسن ممکن است در اثر آشفته‌گی‌های زیستی و فعالیت موجودات در درون لایه و یا در اثر از دست دادن آب ایجاد شده و ارتباطی با حمل و نقل ندارد [14]. از طرف دیگر وجود تعدادی از دانه‌های گلاکونی شکسته شده به صورت مخلوط با دانه‌های گلاکونی بالغ و بسیار بالغ حاوی ترک‌های مورفولوژیکی مشخصه مراحل پیشرفته فرایند گلاکونی شدن بوده و این شکستگی‌ها ارتباطی به حمل و نقل گلاکونی‌ها ندارد (شکل ۳ الف؛ شکل ۴ الف؛ شکل ۵) [23, 18]. این ترک‌های سطحی موجود در گلاکونی‌های سبز تیره حاصل چروکیدگی یا شکست مورفولوژیکی در دانه‌های گلاکونی به علت خروج آب از کانی و یا بر اثر ترک‌های انبساطی در هنگام رشد تفکیکی کانی در گلاکونی ایجاد می‌شود (شکل ۳ پ) [29, 30, 25, 31, 7].

شکل ۴) الف: حضور گلاکونی در جازا در میان نهشته‌های کم انرژی و گلاکونی با جورشدگی ضعیف (شماره ۱) به همراه پیریت جانیشینی (شماره ۲) در حجرات فرامینفرها ب: همراهی گلاکونی دارای جورشدگی ضعیف با دانه‌های فسفات، گلاکونی بیضی شکل (شماره ۱) وجود هاله گلاکونی در زمینه (شماره ۲)، C: گلاکونی با جورشدگی متوسط به همراه جانیشینی گلاکونی بجای زمینه، گلاکونی کرمی شکل (شماره ۱). D: گلاکونی با جورشدگی خوب، به همراه جانیشینی گلاکونی در زمینه کربناته.

شکل ۵) مراحل مختلف تکامل گلاکونی با تغییرات [21] الف، و همخوانی آن با نهشته‌های میوسن (ب، پ): ۱- گلاکونی نابالغ، ۲- گلاکونی اندکی بالغ، ۳- گلاکونی بالغ، ۴ گلاکونی بسیار بالغ. به افزایش پتاسیم و رنگ در طی رسیدگی گلاکونی و ارتباط آن با گلاکونی‌های نهشته‌های میوسن توجه شود.

چنان که پیشتر ذکر گردید بخشی از گلاکونی‌های موجود در رسوبات نهشته‌های میوسن به صورت تکه‌هایی از هاله‌های سبز رنگ در زمینه سنگ مشاهده شده‌اند (شکل ۴ ب و ت) که این ویژگی به همراه پلت‌های گلاکونی دارای مرز نامنظم تدریجی و غیر شارپ با زمینه، از شواهد قطعی تشکیل گلاکونیت‌های در جازا است [32, 7, 11].

همراهی فسفات با گلاکونی‌ها نشان دهنده وجود شرایط احیایی مناسب جهت فرایند گلاکونی شدن است. به طوری امکان حرکت و انتقال آهن دوظرفیتی و تثبیت آهن سه ظرفیتی در ساختار بلوری گلاکونی و همچنین افزایش مقدار پتاسیم که دو عنصر اصلی تشکیل دهنده گلاکونی هستند با وجود شرایط نیمه اکسیدی و یا مرز اکسایش - احیایی فراهم می‌شود. در بعضی موارد جانیشینی پیریت در پلت‌های گلاکونی و همچنین در حجرات فرامینفرها مشاهده شده است (شکل ۴ الف و پ)، که نشان دهنده ادامه شرایط کمبود اکسیژن و تبدیل شرایط نیمه احیایی (تشکیل گلاکونی) به شرایط احیایی (تشکیل پیریت) در ادامه فرایند دیاژنز است [33, 34]. در نهشته‌های میوسن جانیشینی گلاکونی در خرده‌های اسکلتی نیز صورت گرفته است. غالباً جایگزینی گلاکونی در حجرات فرامینفرها دیده می‌شود، بنابراین گلاکونی شکل قالب حجره فرامینفر را به خود گرفته است (شکل ۴ الف). در این مورد وجود شرایط اسیدی نسبی در مراحل اولیه فرایند گلاکونی شدن محتمل بوده (که منجر به انحلال خرده‌های اسکلتی می‌شود) به طوری که با پیشرفت فرایند اسیدیته توسط انحلال خرده‌های اسکلتی خنثی و شرایط PH طبیعی حاکم می‌شود. همچنین وجود شرایط اسیدیته در مراحل اولیه گلاکونی شدن توسط درصد اکسید پتاسیم و آهن تایید می‌شود. بنابراین تاثیر خرده‌های اسکلتی در ایجاد شرایط فیزیکی شیمیایی مناسب فرایند گلاکونی شدن به عنوان یکی از عوامل اساسی در نظر گرفته می‌شود [32]. در این ارتباط توسعه زیر محیط‌های مستعد گلاکونی شدن در چنین رسوباتی احتمالاً مربوط به انحصار فیزیکی و یا محتوای بالای مواد آلی خرده‌های اسکلتی است که فرایند گلاکونی شدن را تسهیل می‌نماید [32, 35, 36, 37]. در ارتباط با منشأ عناصر مورد نیاز جهت فرایند گلاکونی شدن در نهشته‌های میوسن می‌توان به واحدهای مارنی اشاره نمود که عناصر مورد نیاز تشکیل گلاکونی از جمله آهن، سیلیس، آلومینیوم و پتاسیم را تامین می‌کنند. علاوه بر

این اگرچه آب دریا با شوری نرمال دارای تمرکز پایینی از آلومینیوم، سیلیس و آهن است اما دارای مقادیر قابل توجهی پتاسیم است، لذا آب دریا می‌تواند تامین کننده یون‌های پتاسیم برای فرایند گلاکونی شدن باشد. از جمله منشاهاى احتمالى پتاسیم می‌توان به کانی‌های رسی موجود در رسوبات مارنی اشاره کرد. بنابراین به طور کلی فراهم شدن شرایط فیزیکی شیمیایی مختلف از جمله نرخ ته‌نشینی پایین، شرایط نیمه اکسیدی و وجود بستر اولیه مناسب جهت تشکیل گلاکونی ضروری است [28, 38, 39, 40].

در این ارتباط در موقعیت‌های رسوبی که امواج و جریان‌ات قوی وجود دارد جابجا کردن سریع رسوبات از محیط‌های تشکیل گلاکونی به محیط‌های دفنی از توسعه گلاکونی جلوگیری کرده و شرایط تجمع رسوبات رسی به عنوان منبع تامین کننده عنصرهای مورد نیاز فرایند گلاکونی شدن را نیز به حداقل می‌رساند. لذا شرایط و محیط تشکیل دانه‌های گلاکونی در رسوبات نهشته‌های میوسن از شرایط عنوان شده مستثنی نبوده است که با توجه به فرامینفرهای پلاژیک در مناطق عمیق دریای باز تشکیل شده‌اند. بنابراین محیط دریایی باز با میزان ورود اندک رسوبات آوارای بستر مناسبی از رسوبات که دارای چرخش کافی آب دریا بوده و شرایط مرز اکسیداسیون و احیا را می‌توان برای تشکیل گلاکونی‌های نهشته‌های میوسن پیشنهاد کرد. به طور کلی در ارتباط با مراحل تشکیل و تکامل گلاکونی‌های نهشته‌های میوسن یک مدل چهار مرحله‌ای قابل شناسایی است (شکل ۵ الف): مرحله ۱: این مرحله با ایستایی و سکون آب دریا مشخص می‌شود و به عنوان مرحله قبل از سیلابی شدن و شکستگی (pre-flooding or pre-winnowing stage) نامگذاری می‌شود. در این مرحله با توجه به حالت سکون آب دریا تبادل یونی صورت نگرفته و بنابراین احتمال تشکیل گلاکونی در آن بسیار ضعیف است. مرحله ۲: در این مرحله با بالا آمدن سطح آب دریا و عملکرد جریان‌ات زیرسطحی و ایجاد گردش آب در بین رسوبات بستر دریا که به عنوان عامل اصلی تامین کننده یون‌های مورد نیاز فرایند گلاکونی شدن مطرح است. این فرایند در سطح رخنمون یافته بین آب - رسوب و در شرایط حداقل رسوب گذاری (Sediment starvation) و با تبادل یونی بین آب دریا و رسوبات زمینه با دانه‌های مستعد گلاکونی شدن شروع می‌شود. در این مرحله گلاکونی‌های نوظهور و کمی تکامل یافته تشکیل می‌شوند. این مرحله تحت عنوان مرحله رخنمونی و یا شکستگی مطرح می‌شود (Omission or winnowing stage). مرحله ۳ ادامه مرحله ۲ بوده که با گذشت زمان و تداوم شرایط نرخ رسوب گذاری پایین و با افزایش تبادل یونی بین بستر مستعد و آب دریا و رسوبات زمینه کانی‌های گلاکونی نوظهور مرحله قبل به درجات رسیدگی بالا می‌رسند که به عنوان انواع تکامل یافته و خیلی تکامل یافته شناخته می‌شوند. مرحله ۴ در این مرحله با افزایش نرخ رسوبگذاری و دفن کانی‌های گلاکونی و دور شدن آن‌ها از سطح رخنمونی آب - رسوب، فرایند تبادل یونی و به تبع آن گلاکونی شدن متوقف می‌گردد و در بخش‌های بالاتر توالی رسوبی نیز به میزان اندکی ممکن است گلاکونی تشکیل شود. این مرحله با عنوان مرحله دفن و یا مرگ گلاکونی ها (Burial or die-out stage) معرفی می‌شود. در ادامه فرایند دفن رسوبات و با

تبدیل شرایط نیمه احیایی (مناسب گلاکونی شدن) به احیایی، تشکیل پیریت در حجرات فرامینیفرها و به صورت جانشینی در کانی‌های گلاکونی آغاز می‌گردد.

شکل ۶ تصاویر گلاکونیت از میکروسکوپ الکترونی SEM و پلاریزان: الف) تصاویر میکروسکوپی از گلاکونی‌های با رنگ سبز روشن (شماره ۱)، ب) تصویر SEM از شکل الف که وجود ساختار گلبولی در آن‌ها را آشکار کرده که مشخصه گلاکونی‌های نوظهور (نابالغ) است (شماره ۱)، همانطور که در شکل دیده می‌شود سطح دانه‌های گلاکونی فاقد گردشگی و آثار خراشیدگی دیده نمی‌شود که نشان دهنده گلاکونی برجا است. میزان اکسید پتاسیم بر اساس آنالیز EDX بین ۲٫۵ تا ۵ درصد برای این دسته از گلاکونی‌ها تعیین شده است. پ) تصویر میکروسکوپی گلاکونی‌های دارای رنگ سبز تا سبز تیره (شماره ۱)، ت) تصویر SEM از شکل پ که ساختار درونی لاملی - تیغه‌ای از خود نشان می‌دهند که مشخصه گلاکونی‌های رسیده تا خیلی رسیده است (شماره ۱).

نتیجه‌گیری

گلاکونی یکی از اجزاء مهم در بخش‌های بالایی نهشته‌های میوسن است. گلاکونی نهشته‌های میوسن دارای درجه بلوغ متفاوت بوده و از نوع نابالغ با رنگ قهوه‌ای تا سبز کم‌رنگ تا خیلی تکامل یافته برنگ سبز تیره در تغییرند. این گلاکونی‌ها از نوع درجا‌زا بوده و به سه فرم تشکیل در حجرات درونی فرامینیفرهای پلاژیک، گلاکونی شدن پلت مدفوعی و جانشینی در برخی از کانی‌ها و زمینه سنگ تشکیل شده است. جورشدهگی ضعیف، همراهی دانه‌های فسفات، حضور پلت‌های گلاکونی نارس و رسیده، وجود پلت‌های گلاکونی با ریخت‌شناسی مختلف از بی‌شکل، نیمه‌کروی تا پستان مانند از دلایل اتوکتونوس (درجا‌زا) بودن گلاکونی‌های نهشته‌های میوسن است. برای محیط تشکیل دانه‌های گلاکونی در نهشته‌های میوسن محیط دریای باز با میزان اندک ورود رسوبات آواری، شرایط اندک احیایی و بستر مناسبی از رسوبات که دارای چرخش کافی آب دریا بوده است را می‌توان پیشنهاد کرد.

منابع

- [1] Allen P.A., Allen J.R., "Basin Analysis: Principles and Application to Petroleum Play Assessment", Wiley Blackwell (2013) 655 p.
- [2] Miall A.D., "The Geology of Stratigraphic Sequences (2 nd Edition) ", Springer- verlag (2010) 522 p.
- [3] Odin G.S., Fullagar P.D., "Geological significance of the glaucony facies, In: Odin, G.S. (Ed.), Green Marine Clays Developments in Sedimentology", Elsevier Amsterdam 45 (1988) 295–332.

- [4] Amorosi A., Guidi R., Mas R., Falanga E., "Glaucy from the Cretaceous of the Sierra de Guadarrama (Central Spain) and its application in a sequence-stratigraphic context", *International Journal of Earth Science* 101 (2011) 415-427.
- [5] Amorosi A., Sammartino I., Tateo F., "Evolution patterns of glaucony maturity: A mineralogical and geochemical approach", *Deep-Sea Research II* 54 (2007) 1364- 1374.
- [6] Chang S.S., Shau Y.H., Wang M.K., Ku C.T., Chiang P.N., "Mineralogy and occurrence of glauconite in central Taiwan", *Applied Clay Science* 42 (2008) 74-80.
- [7] Chatteraj S.L., Banerjee S., Saraswati P.K., "Glaconites from the Late Palaeocene-Early Eocene Naredi Formation, western Kutch and their genetic implications", *Journal of the Geological Society of India* 73 (2009) 567-574.
- [8] Banerjee S., Chatteraj S.L., Saraswati P.K., Dasgupta S., Sarkar U., "Substrate control on formation and maturation of glauconites in the Middle Eocene Harudi Formation, western Kutch, India", *Marine and Petroleum Geology* 30 (2012) 144-160.
- [9] Banerjee S., Farouk S., Nagm E., Choudhury T.R., Meena S., "High Mg-glaconite in the Campanian Duwi formation of Abu Tartur Plateau, Egypt and its implications". *Journal of African Earth Sciences*, 56 (2019) 12–25.
- [10] Bansal U., Banerjee S., Pande K., Ruidas D.K., "Unusual seawater composition of the Late Cretaceous Tethys imprinted in glauconite of Narmada basin, central India", *Geological Magazine* 157(2) (2020) 233–247. <https://doi.org/10.1017/s0016756819000621>.
- [11] Rafiei M., Löhr S.C., Alard O., Baldermann A., Farkaš J., Brock G.A., "Microscale Petrographic, Trace Element, and Isotopic Constraints on Glaconite Diagenesis in Altered Sedimentary Sequences: Implications for Glaconite Geochronology", *Geochemistry Geophysics Geosystems* 24 (2023) e2022GC010795. <https://doi.org/10.1029/2022GC010795>.
- [12] Redaa A., Farkaš J., Gilbert S., Collins A.S., Löhr S., Vasegh D., "Testing nano-powder and fused-glass mineral reference materials for in situ Rb-Sr dating of glauconite, phlogopite, biotite and feldspar via LA-ICP-MS/MS", *Geostandards and Geoanalytical Research* 47(1) (2022) 23–48. <https://doi.org/10.1111/ggr.12467>.

- [13] Rafiei M., Löhr S.C., Baldermann A., Webster R., Kong C., "Quantitative petrographic differentiation of detrital vs diagenetic clay minerals in marine sedimentary sequences: Implications for the rise of biotic soils", *Precambrian Research* 350 (2020) 105948. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2020.105948>.
- [14] Moser U., Scheiblhofer E., Wright N., Zack T., "Impact of green clay authigenesis on element sequestration in marine settings", *Nature Communications* 13 (2022) 1527.
- [15] Berra F., Zanchi A., Mattei M., Nawab A., "Late Cretaceous transgression on a Cimmerian high (Neka Valley, Eastern Alborz, Iran): A geodynamic event recorded by glauconitic sands", *Sedimentary Geology* 199 (2007) 189–204.
- [16] López-Quirós A., Escutia C., Sánchez-Navas A., Nieto F., Garcia-Casco A., Martín-Algarra A., "Glaucony authigenesis, maturity and alteration in the Weddell Sea: An indicator of paleoenvironmental conditions before the onset of Antarctic glaciation", *Scientific Reports* 9 (2019) 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50107-1>
- [17] Baioumy H., Farouk S., Al-Kahtany K., "Paleogeographic, paleoclimatic and sea-level implications of glauconite deposits in Egypt: A review", *Journal of African Earth Science* 171 (2020) 103944. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103944>.
- [18] Odin G.S., "Significance of green particles (glaucony, berthierine, chlorite) in arenites. In: G.G. Zuffa (Editor), *Provenance of Arenites*", Riedel Publication Dordrecht, (1985) pp. 279-307.
- [19] Aghanabati A., (2004) "Geology of Iran. Geological survey of Iran", Tehra, pp. 606.
- [20] Burst J.F., "Glauconite pellets: Their mineral nature and application to stratigraphic interpretations", *Bulletin of the American Association of Petroleum Geology* 42 (1985) 310-327.
- [21] Odin G.S., Matter A., "De glauconarium origin", *Sedimentology* 28 (1981) 611–641.
- [22] López-Quirós A., Sánchez-Navas A., Nieto F., Escutia C., "New insights into the nature of glauconite. *American Mineralogist*", *Journal of Earth and Planetary Materials* 105(5) (2020) 674–686. <https://doi.org/10.2138/am-2020-7341>.
- [23] Pasquini C., Lualdi A., Vercesi P., "Depositional dynamics of glaucony-rich deposits in the Lower Cretaceous of Nice arc, Southeast France", *Cretaceous Research* 25 (2004) 179–189.

- [24] Scheibelhofer E., Moser U., Löhr S., Wilmsen M., Farkaš J., Gallhofer D., "Revisiting glauconite geochronology: Lessons learned from in situ radiometric dating of a glauconite-rich Cretaceous Shelfal sequence", *Minerals* 12(7) (2022) 818. <https://doi.org/10.3390/min12070818>.
- [25] Amorosi A., "Detecting compositional, spatial and temporal attributes of glaucony: A tool for provenance research", *Sedimentary Geology* (1997) 135–153.
- [26] Huggett J., Adetunji J., Longstaffe F., Wray D., "Mineralogical and geochemical characterisation of warm-water, shallow-marine glaucony from the Tertiary of the London Basin", *Clay Miner* 52 (2017) 25–50.
- [27] Huggett J.M., "Glauconites. In *Encyclopedia of Geology*", Elsevier Amsterdam 2nd edition (2021) 334–340.
- [28] Huggett J.M., Gale A.S., "Petrology and palaeoenvironmental significance of glaucony in the Eocene succession at White cliff Bay, Hampshire Basin", *Journal Geological Society of London* 154: (1997) 897–912.
- [29] Fischer H., "Glauconite formation: Discussion of the terms authigenic, perigenic, allogenic, and meta-allogenic", *Eclogae Geologicae Helvetiae* 83 (1990) 1-6.
- [30] Chudhuri A.K., Chanda S.K., Dasgupta A.S., "Protrozoic peloids from South India: Their origin and significance", *Journal of Sedimentary Research* 64A (1994) 765-770.
- [31] Harris L.C., Whiting B.M., "Sequence-stratigraphic significance of Miocene to Pliocene glauconite-rich layers, on- and offshore of the US Mid-Atlantic margin", *Sedimentary Geology* 34 (2000) 129-147.
- [32] Kelly J.C., Webb J.A., "The genesis of glaucony in the Oligo–Miocene Torquay group, southeastern Australia: petrographic and geochemical evidence", *Sedimentary Geology* 125 (1999) 99–114.
- [33] El-ghali M.A.K., Mansurbeg H., Morad S., Al-Aasm I., Ramseyer K., "Distribution of diagenetic alterations in glaciogenic sandstones within a depositional facies and sequence stratigraphic framework: Evidence from the Upper Ordovician of the Murzuq Basin, SW Libya", *Sedimentary Geology* 190 (2009) 323–351.
- [34] Wang D., Zhu X.K., Zhao N., Yan B., Li X.H., Shi F., Zhang F., "Timing of the termination of Sturtian glaciation: SIMS U-Pb zircon dating from South China", *Journal of Asian Earth Sciences* 177 (2019) 287–294. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.03.015>
- [35] Zhou C., Huyskens M.H., Lang X., Xiao S., Yin Q.Z., "Calibrating the terminations of Cryogenian global glaciations", *Geology* 47(3) (2019) 251–254. <https://doi.org/10.1130/g45719.1>

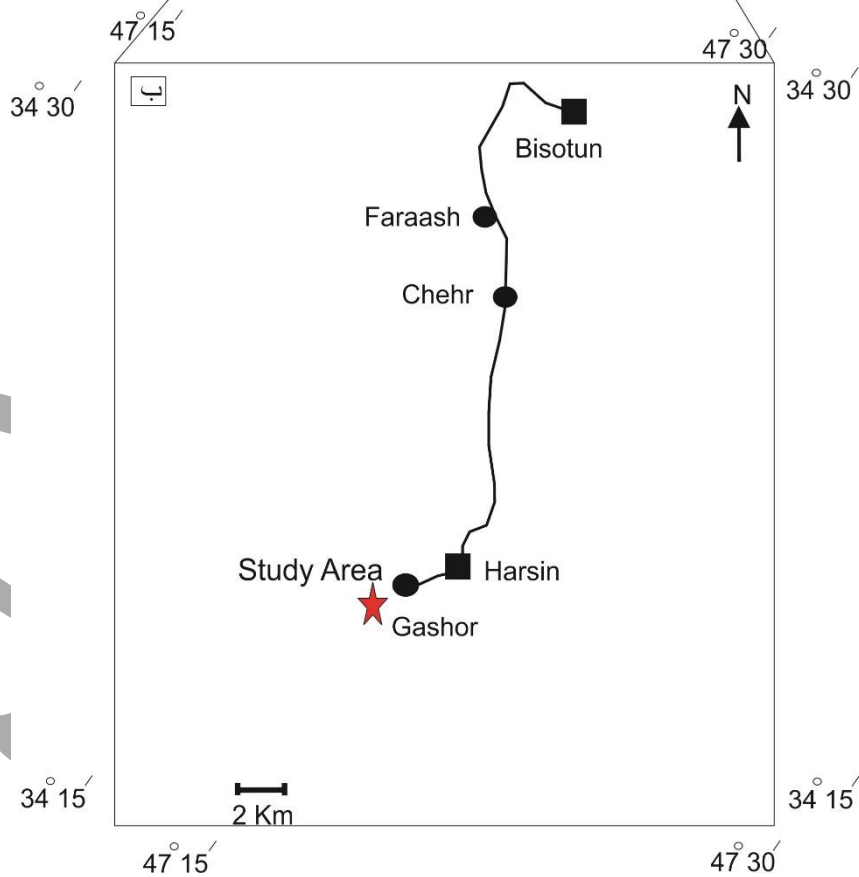
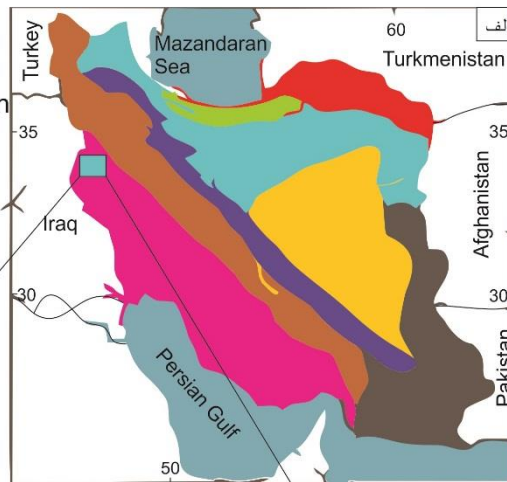
- [36] Tribovillard N., Bout-Roumazeilles V., Abraham R., Ventalon S., Delattre M., Baudin F., "The contrasting origins of glauconite in the shallow marine environment highlight this mineral as a marker of paleoenvironmental conditions", *Comptes Rendus Geoscience* 355(S2) (2023) 1–16.
- [37] Tribovillard N., Bout-Roumazeilles V., Delattre M., Ventalon S., Abraham R., Nzié O., "Syndepositional glauconite as a paleoenvironmental proxy - the lower Cenomanian Chalk of Cap Blanc Nez (N-France)". *Chemical Geology* 584, (2021) 120508.
- [38] Roy Choudhury T., Banerjee S., Khanolkar S., Saraswati P.K., Meena S.S., "Glauconite authigenesis during the onset of the Paleocene- Eocene Thermal Maximum: a case study from the Khuiala Formation in Jaisalmer Basin, India", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 571 (2021) 110388.
- [39] Kalinina N., Maximov P., Boris Makarov B., Dasi E., Maxim Rudmin M., "Characterisation and Environmental Significance of Glauconite from Mining Waste of the Egorievsk Phosphorite Deposit", *Minerals* 13 (2023) 1228. <https://doi.org/10.3390/min13091228>.
- [40] Tribovillard N., Bout-Roumazeilles V., Guillot F., Baudin F., Deconinck J. F., Abraham R., Ventalon S., "A sedimentological oxymoron: highly evolved glauconite of earliest diagenetic origin", *Géoscience — Sciences de la Planète* 355 (2023) 157-173 <https://doi.org/10.5802/crgeos.208>.

جدول (۱)

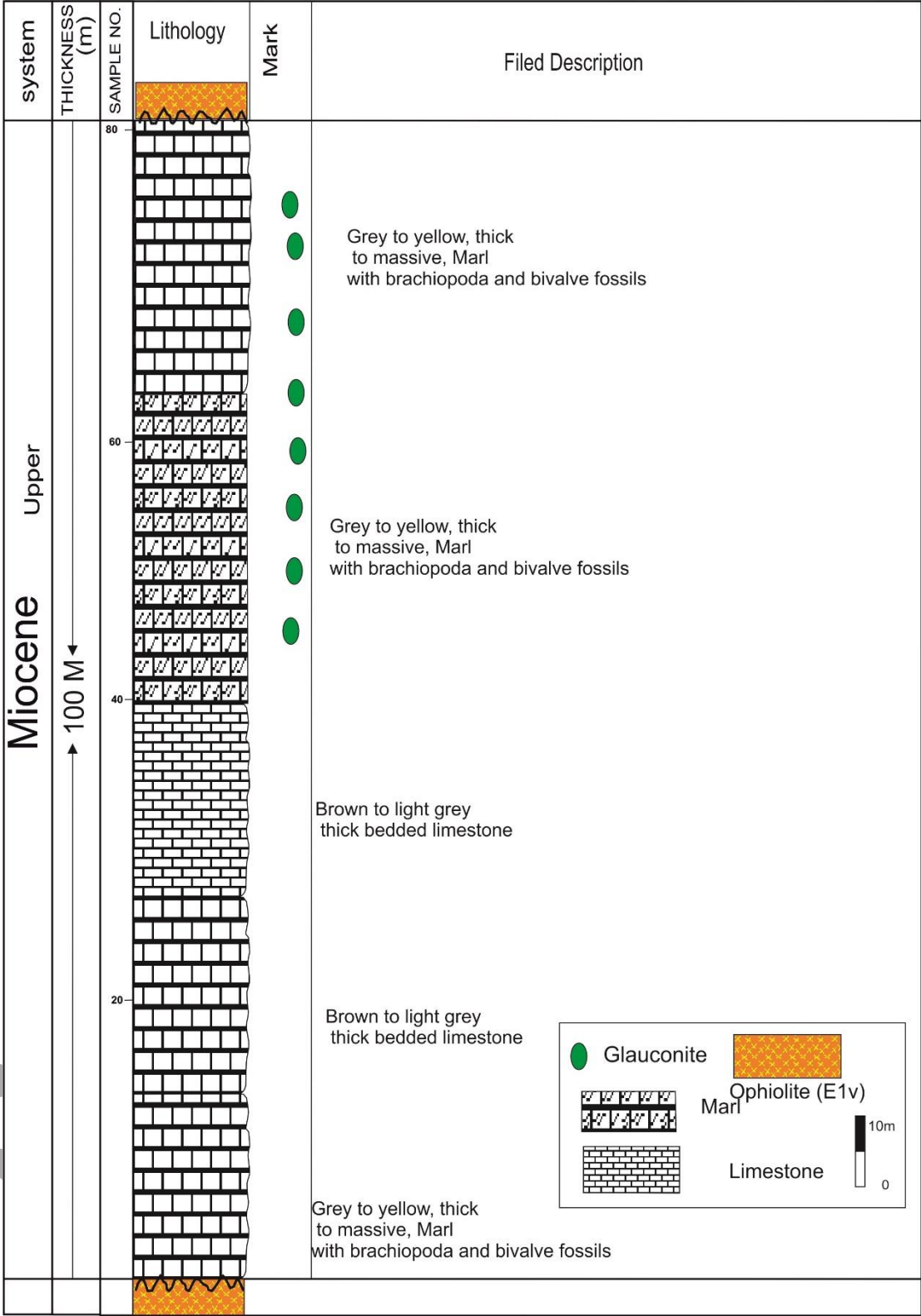
شماره نمونه	K %	Fe%
-------------	-----	-----

M40	5.2	6.3
M42	6.4	6/8
M45	5.5	6.9
M47	6.5	6.3
M49	5.1	6.4
M51	7.1	6.8
M53	7.2	6.7
M54	6.8	7.2
M57	7.9	7.6
M59	7.7	7.9

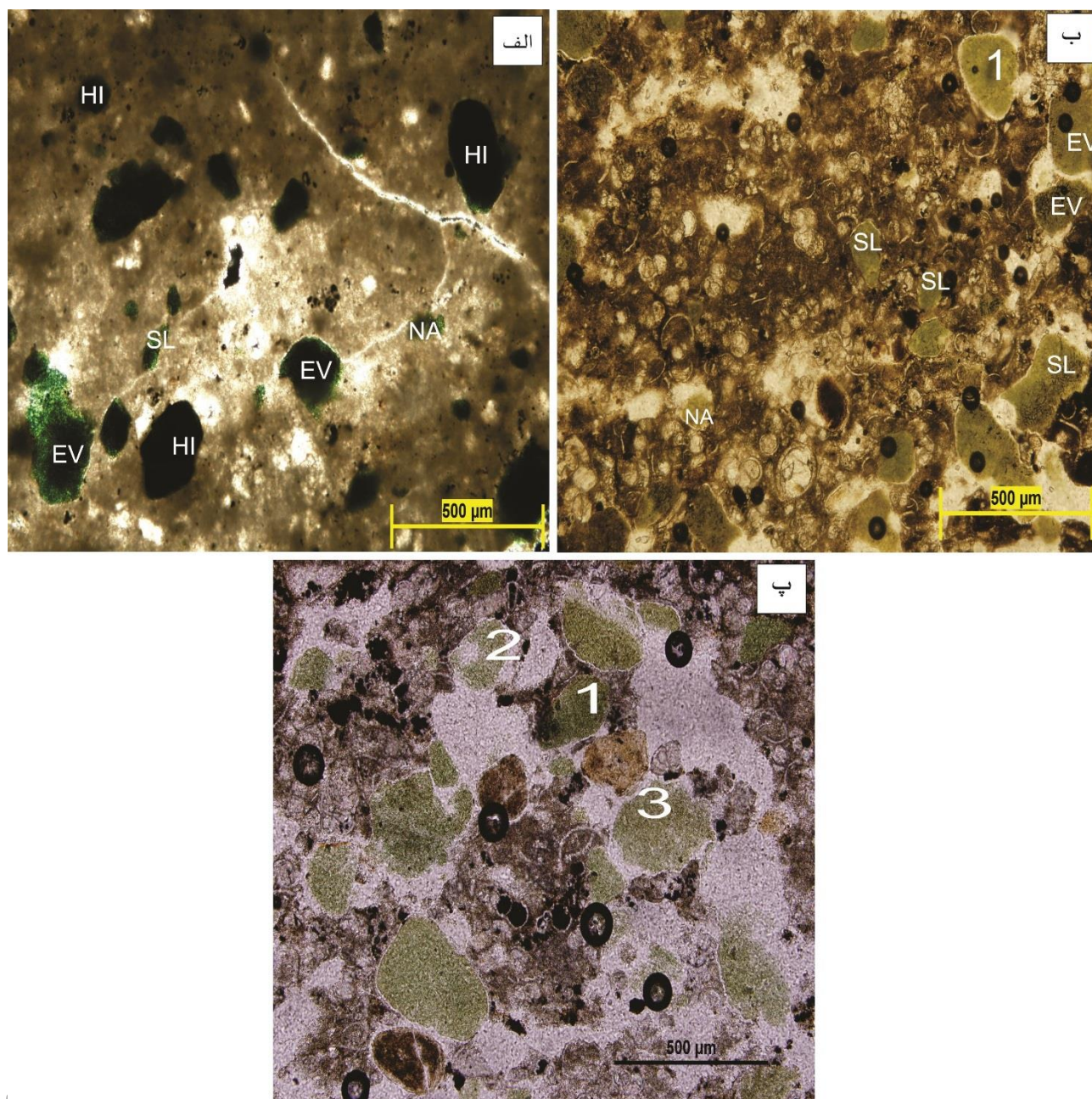
فصل پنجم



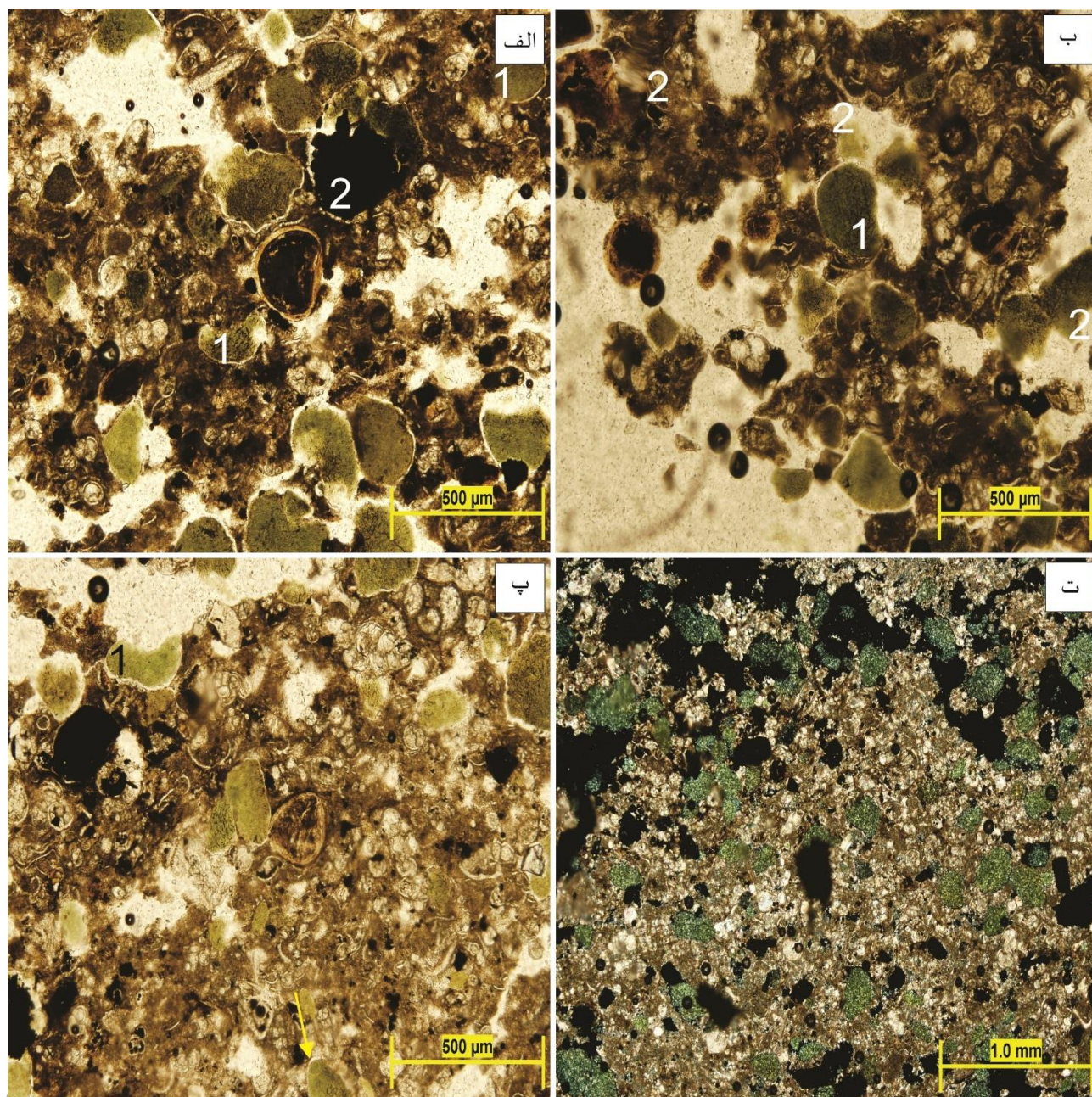
شکل ۱



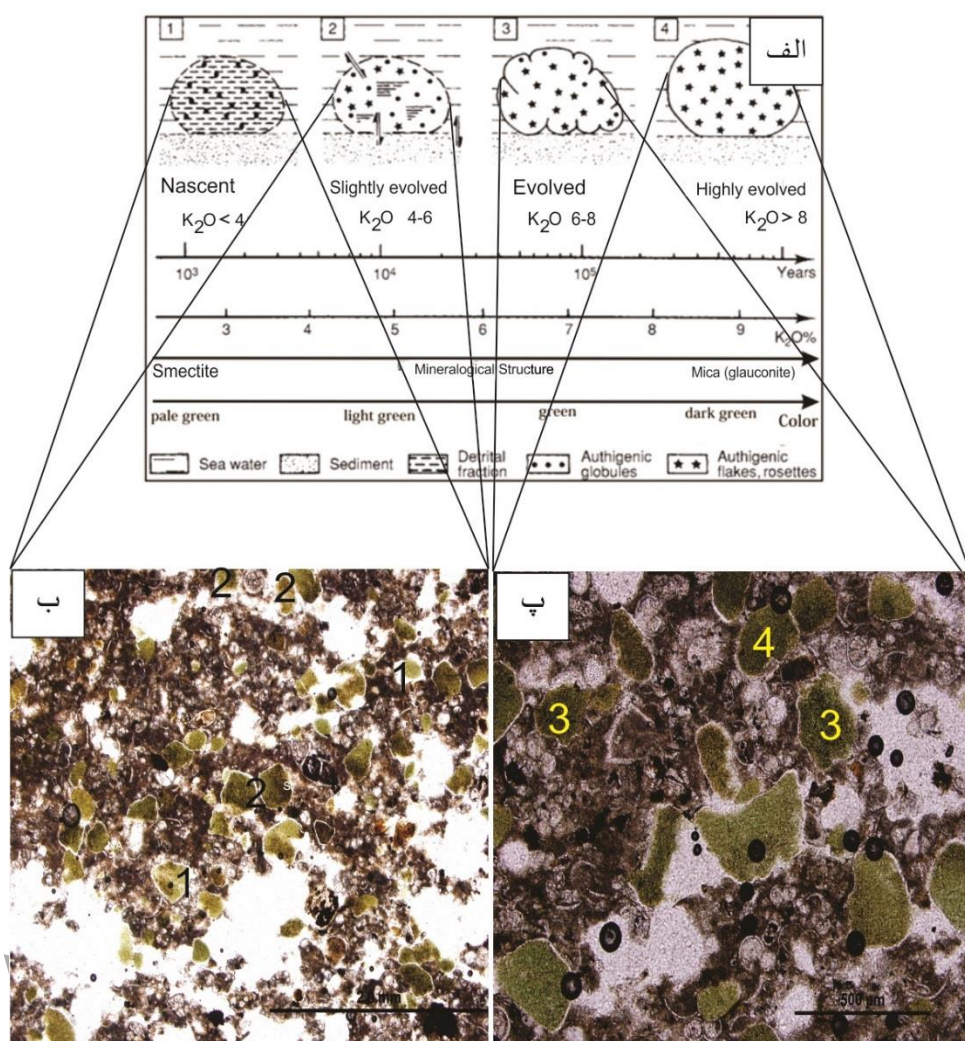
شکل ۲



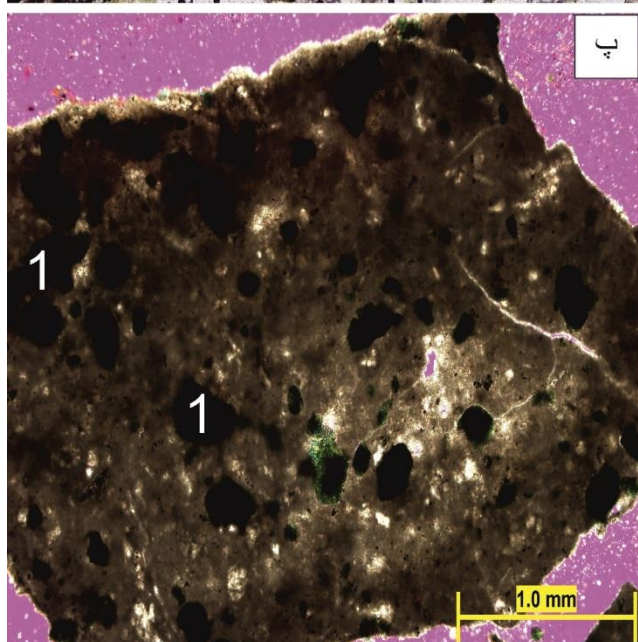
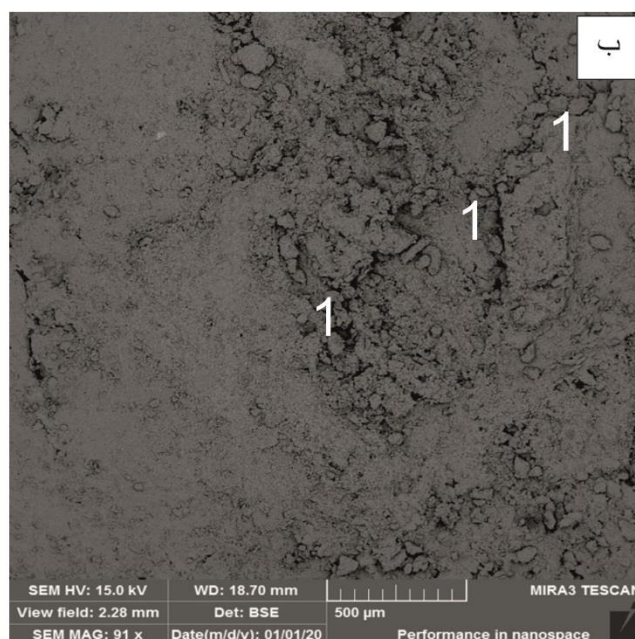
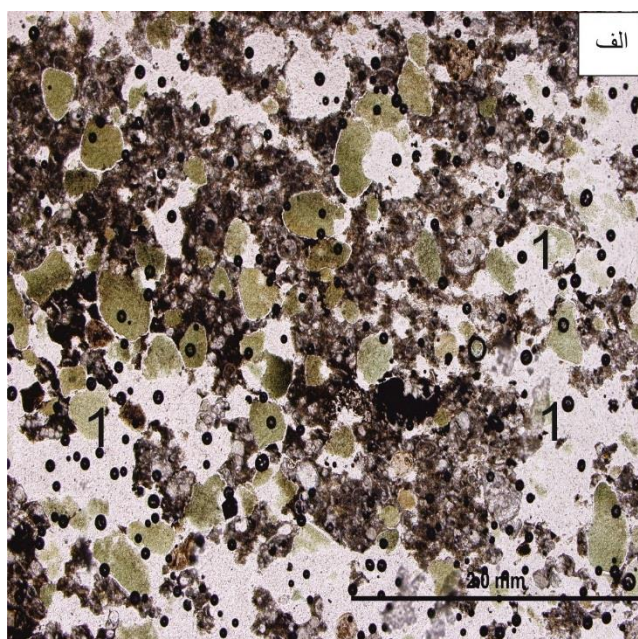
شکل ۳



شکل ۴



شکل ۵



شکل ۶