

بررسی مکانیسم تشکیل گلاکونی‌های قاعده سازند گورپی در شمال شرق گچساران (تاقدیس آنه)

محمود شرفی، دانشجوی دکتری رسوب‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد*

سمیه اکبری، کارشناسی ارشد چینه‌شناسی دانشگاه اصفهان

محمد حسین محمودی قرائی، استادیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

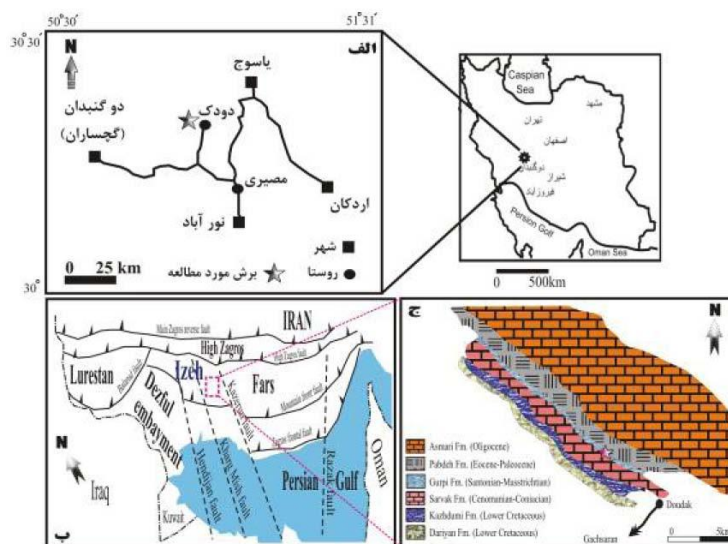
سازند گورپی (سانتوین بالایی - مایس تریشتین زیرین) که در حوضه رسوبی زاگرس در جنوب غرب ایران گسترش دارد. سازند گورپی با ناپیوستگی فرسایشی بر روی سازند ایلام و یا با انفصال رسوبی بر روی سازند سروک قرار گرفته و توسط سازند پابده که با شیل‌های ارغوانی مشخص می‌شود، با ناپیوستگی فرسایشی پوشیده می‌شود. در شمال شرقی لرستان بخش بالایی سازند گورپی به تدریج به ماسه سنگ و سنگ‌های سیلتی سازند امیران تبدیل می‌شود و در جهت فارس داخلی نیز به تدریج رخساره آهکی تاربور جانشین سازند گورپی می‌شود. این سازند عمدتاً از آهک‌های خاکستری نازک لایه و آهک با میان لایه‌های نازک از شیلی تشکیل شده است. گلاکونی یکی از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده در شیل‌های آهکی بخش پایینی این سازند است. گلاکونی‌های این سازند از نوع اتوکتونوس و به صورت پلت‌های گلاکونیتی و جانیشینی در خرده‌های اسکلتی هستند که تحت شرایط فیزیکی شیمیایی مناسب تشکیل شده‌اند. شواهد مهمی همچون جورشدگی نسبتاً ضعیف، جانیشینی غیرانتخابی، چروکیدگی در تعداد زیادی از گلاکونی‌ها و همراهی با فسفات نشان از تشکیل این ذرات در محیط رسوبی و به صورت برج‌ها دارد. آنالیزهای مورفولوژیکی و SEM-EDX نشان می‌دهد این گلاکونی‌ها از انواع نابالغ (nascent) به رنگ سبز روشن با میزان اکسید پتاسیم ۲،۵۵ تا ۵ درصد و ساختار درونی گلوبولی، تا تکامل یافته و بسیار تکامل یافته به رنگ سبز تا سبز خیلی پر رنگ با میزان اکسید پتاسیم ۷،۷ تا ۹ درصد و ساختار درونی لاملی تغییر می‌کنند. تشکیل این گلاکونی‌ها نشان دهنده دوره طولانی عدم رسوب‌گذاری یا نرخ بسیار پایین رسوب‌گذاری در مراحل ابتدایی ته‌نشینی رسوبات سازند گورپی است. از جمله شواهد دیگر تشکیل گلاکونی‌های اتوکتونوس در رسوبات مورد مطالعه می‌توان به حضور پلت‌های گلاکونی نوظهور به شکل سالم، وجود تکه‌های پراکنده گلاکونی در ماتریکس به صورت هاله سبز رنگ و تشکیل این ذرات از نهشته‌های دریایی (سنگ میزبان مناسب)، اشاره نمود. ارزیابی مکانیزم تشکیل گلاکونی‌های درجا در تفسیر شرایط حاکم بر محیط رسوبی رسوبات گلاکونیتی، شناسایی سطوح ناپیوستگی رسوبی (Marine hiatus)، بررسی تغییرات سطح آب دریا و آنالیز چینه‌نگاری سکاسی و انطباق توالی‌های چینه‌شناسی در حوضه زاگرس و سایر زون‌های ساختاری ایران اطلاعات کلیدی را ارائه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: گورپی، زاگرس، گلاکونی، اتوکتونوس، انفصال رسوبی

مقدمه

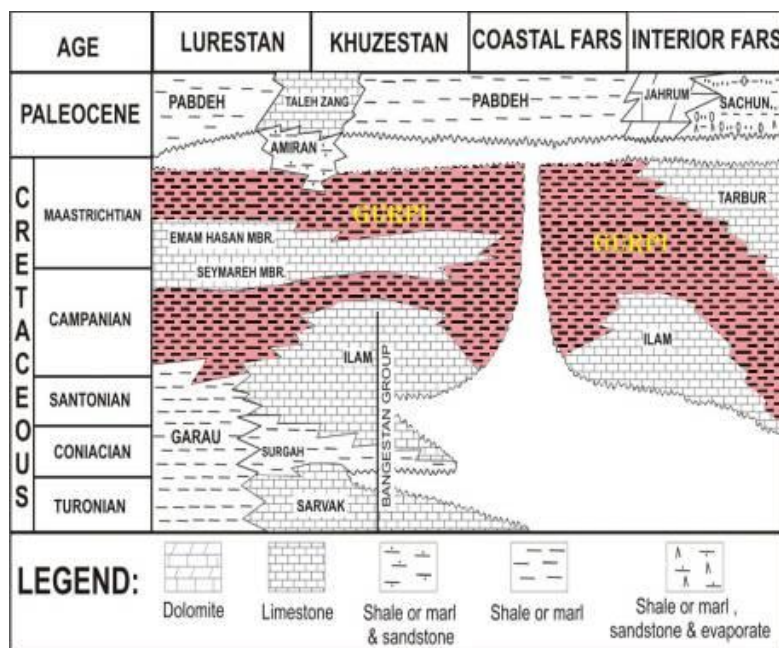
کربناته سازند گورپی در آب‌های نیمه عمیق و از شرق تا غرب حوضه برجای گذاشته شده است. لیتولوژی عمده این سازند شامل مارن‌های تیره و خاکستری مایل به آبی، شیل و کمی آهک خاکستری رنگ است. در شمال شرقی لرستان بخش بالایی سازند گورپی به تدریج به ماسه سنگ و سنگ‌های سیلتی سازند امیران با رخساره توریدایت تبدیل می‌شود و در جهت فارس داخلی نیز به تدریج و به صورت بین‌انگشتی رخساره آهکی تاربور جانشین سازند گورپی می‌شود (شکل ۲). علاوه بر این، سازند گورپی دارای دو عضو آهکی رسمی (امام حسن، سیمره) و یک عضو غیر رسمی (آهک منصوری) است (شکل ۲). عضو آهکی امام حسن بیشتر در لرستان و فروافتادگی دزفول دیده شده است (آقنابتی ۱۳۸۳) و بخش آهکی منصوری که یک سنگ‌آهک منقطع است در غرب خوزستان برونزد دار، ولی به سمت شمال شرق ناپدید می‌شود (آقنابتی ۱۳۸۳).

حوضه رسوبی زاگرس که در جنوب غربی ایران و حاشیه شمال شرقی صفحه عربی قرار دارد، متشکل از یک کمربند چین خورده- گسلیده با روند شمال غرب- جنوب شرق بوده و به عنوان بخشی از کمربند آلپی در نظر گرفته می‌شود (Berberian & King 1981; Alavi 2004). بر طبق شواهد زمین‌شناسی در طی گسترش حوضه اقیانوسی نئوتتیس ناحیه زاگرس بخشی از حاشیه غیر فعال در لبه شمالی صفحه عربی بوده است (Alavi 2007). کوه‌های زاگرس به سه زون موازی یکدیگر شامل زون ارومیه- دختر، زون رورانده و کمربند چین خورده گسلیده زاگرس تقسیم می‌شود (Alavi 2007). کمربند چین خورده گسلیده زاگرس خود شامل زون‌های ساختاری لرستان، خلیج دزفول، ایزه، فارس داخلی و فارس ساحلی بوده که توسط گسل‌های امتداد لغز به نام‌های بالارود، هنديجان و کازرون از یکدیگر جدا می‌شوند (شکل ۱ ب). با پیشروی سطح آب دریا در سانتونین- مایسترتیستین رسوبات



شکل ۱- الف) راه‌های دسترسی سازند گورپی در برش تاقدیس آنه؛ ب) زون‌های ساختاری کمربند چین خورده گسلیده زاگرس (اقتباس از Sherhati and

McQuillan 1974)؛ ج) نقشه ساده شده زمین‌شناسی تاقدیس آنه (اقتباس از Letouzey 2004)



شکل ۲- ارتباط زمانی و مکانی واحدهای سنگی کرتاسه زاگرس و تغییرات جانبی سازند گورپی در بخش‌های مختلف آن (Alavi 1994).

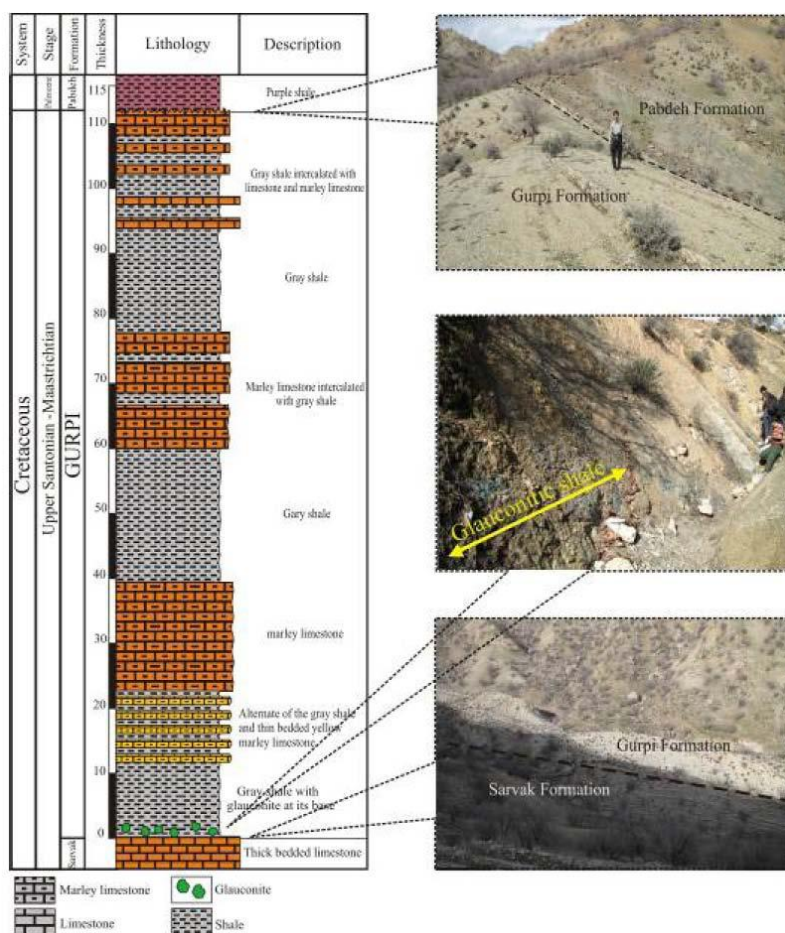
و با ظاهری خاکی یا درخشان، غالباً در حد ماسه بوده و معمولاً گرد تا بیضوی شکل هستند. به عقیده ادین و فلوگار (Odin and Fullagar 1988) واژه گلاکونی تنها به عضو انتهایی در سری کانی‌های گلاکونیتی که به عنوان میکای غنی از پتاسیم شناخته می‌شود، مربوط است. دو نظریه اساسی در مورد تشکیل گلاکونی مطرح است. تئوری نو شکلی (neoformation) تشکیل این کانی را نتیجه ته‌نشینی مستقیم یا بعد از انحلال دیگر کانی‌ها که دارای ترکیب شیمیایی مناسب هستند، در نظر می‌گیرد، در حالی که 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 گلاکونی‌های درجا‌زا در محیطی با دمای بین ۱۰-۱۵ درجه سانتیگراد، شرایط مرز اکسیداسیون- احیا و اسیدیته حدود ۸ تشکیل می‌شود (Amorosi et al. 2007; Chang et al. 2008). محیط دریایی کم عمق

در منطقه مورد مطالعه رسوبات سازند گورپی به صورت هم‌شیب بر روی آهک‌های ضخیم لایه سازند سروک قرار دارد و در بالا به صورت ناپیوسته توسط سازند پابده پوشیده شده است (شکل ۳). سازند گورپی در تاق‌دیس آنه عمدتاً از شیل با میان لایه‌های مارن آهکی، آهک‌های خاکستری نازک لایه و آهک با میان لایه‌های نازک از شیل تشکیل شده است (شکل ۴). کانی گلاکونی از اجزای اصلی رسوبات شیل آهکی بخش قاعده سازند گورپی در ناحیه مورد مطالعه است. این رسوبات گلاکونیتی در نواحی دیگر زاگرس از جمله در تاق‌دیس آغار در جنوب غرب فیروز آباد نیز شناسایی شده است (گردی‌زاده ۱۳۸۹) که نشان‌دهنده اهمیت ناحیه‌ای (regional) این رسوبات گلاکونیتی 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 صورت سبز رنگ

نشده است (Odin 1985).

هدف از این مطالعه تشخیص خاستگاه و مکانیسم تشکیل دانه‌های گلاکونی است که می‌تواند به تفسیر شرایط حاکم بر محیط رسوبی در زمان تشکیل گلاکونی‌ها، شناسایی سطوح ناپوستگی و عدم رسوب‌گذاری (Marine hiatus) که افق‌های کلیدی در تفسیر تغییرات سطح آب دریا و مباحث مربوط به آنالیز چینه‌نگاری سکانسی هستند، در افق‌های مشابه در سایر نقاط ایران کمک بسزایی نماید.

با شوری نرمال از محیط‌های مستعد تشکیل گلاکونی بوده و بر سایر محیط‌ها ترجیح داده می‌شود. اگر چه گزارش‌های مختلف حاکی از تشکیل گلاکونی در اعماق متفاوت (بین ۵۰ تا ۵۰۰ متر) (Odin and Fullagar 1988; Sharafi et al. 2007; Berra et al. 2013) و همچنین سیستم‌های رسوبی مختلف از جمله حاشیه ساحلی، خط 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



شکل ۳- ستون چینه‌شناسی به همراه تصاویر صحرایی مرزهای قاعده و فوقانی و شیل‌های گلاکونیتی در قاعده سازند گورپی در برش تاقدیس آنه



شکل ۴- تصاویر صحرایی از بخش‌های مختلف سازند گورپی در برش تاق‌دیس آنه، الف) تناوب شیل‌های خاکستری و آهک‌های ماری نازک لایه زرد رنگ در بخش پایینی سازند گورپی ب) شیل‌های ضخیم لایه با میان لایه‌های نازک آهک ماری در بخش میانی سازند؛ ج) شیل‌های ضخیم لایه با میان لایه‌های آهک شیلی نازک لایه در بخش بالایی سازند گورپی

موقعیت منطقه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی $E 50^{\circ} 30', N 30^{\circ}$ $30' 12''$ در ۸۴ کیلومتری شمال شرق گچساران در ناحیه تاق‌دیس آنه نزدیکی روستای دودک واقع می‌باشد (شکل ۱ الف). این تاق‌دیس با روند شمال غرب- جنوب شرق در زون ایزه که به عنوان یکی از زون‌های ساختاری کمربند چین خورده- گسلیده زاگرس شناخته می‌شود، قرار دارد. زون ایزه توسط گسل امتداد لغز کازرون در شرق از زون فارس و گسل بالا رود در غرب از زون لرستان جدا می‌گردد (شکل ۱ ب).

روش مطالعه

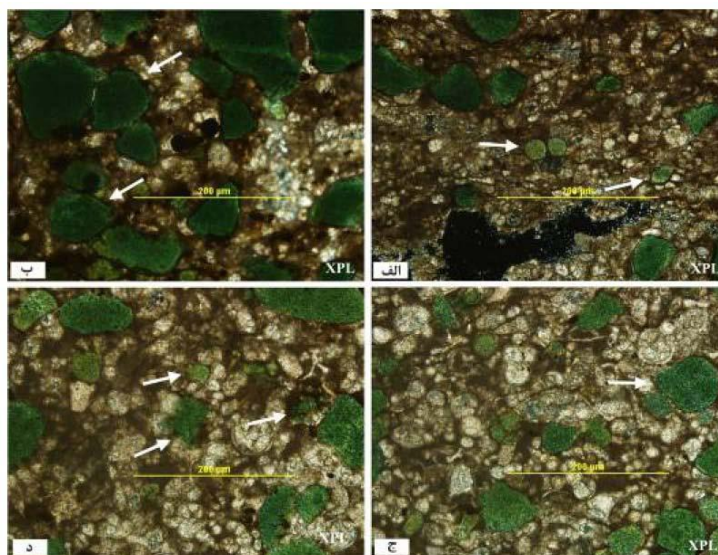
در این مطالعه برش چینه شناسی سازند گورپی در ناحیه تاق‌دیس آنه به ضخامت ۱۱۲ متر مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۳). جهت بررسی مکانیسم تشکیل گلاکونی‌های سازند گورپی در این برش تعداد ۸۰ مقطع نازک میکروسکوپی و به منظور شناسایی ویژگی‌های پتروگرافی گلاکونی‌ها از جمله مورفولوژی، رنگ و نحوه ظهور مورد بررسی دقیق قرار گرفته است. پس از مطالعات پتروگرافی و جهت بررسی ساختار سطحی و درونی و همچنین تعیین درصد اکسیدهای مختلف تشکیل‌دهنده گلاکونی‌ها، نمونه‌ها

مشاهده شده و لذا از جور شدگی ضعیفی برخوردارند (شکل ۵ ب و ۶ الف). در مواردی پیریت‌های به فرم کوییک به صورت جانشینی در گلاکونی‌ها و یا پرکننده حجرات فرامینفرها مشاهده شده است (شکل ۷ ج و د). در مقاطع مورد مطالعه همچنین همراهی فسفات که ترکیب یکنواخت از خود نشان می‌دهند با گلاکونی تأیید شده است (شکل ۷ الف و ب). در مطالعات صورت گرفته توسط میکروسکوپ الکترونی از دانه‌های مختلف گلاکونی با مورفولوژی و رنگ‌های گوناگون وجود دو دسته گلاکونی به اثبات رسیده است. یک دسته که در مطالعات پتروگرافی دارای رنگ سبز تا سبز تیره و ترک‌های سطحی بوده‌اند در زیر میکروسکوپ الکترونی ساختار درونی لاملی - تیغه‌ای را از خود نشان داده‌اند (شکل ۶ ج). علاوه بر این با انجام آنالیز EDX درصد اکسید پتاسیم بین ۷٫۷ تا ۹ برای این دسته از گلاکونی‌ها تعیین شده است. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از گلاکونی‌های دسته دوم که با رنگ سبز روشن و عدم وجود ترک‌های سطحی مشخص می‌شوند، وجود ساختار درونی گلوبولی در آنها را آشکار کرده است (شکل ۸ الف - د). علاوه بر این آنالیز EDX بر روی این گلاکونی‌ها نیز نشانگر تغییر درصد اکسید پتاسیم بین ۲٫۵ تا ۵ درصد در آنها است.

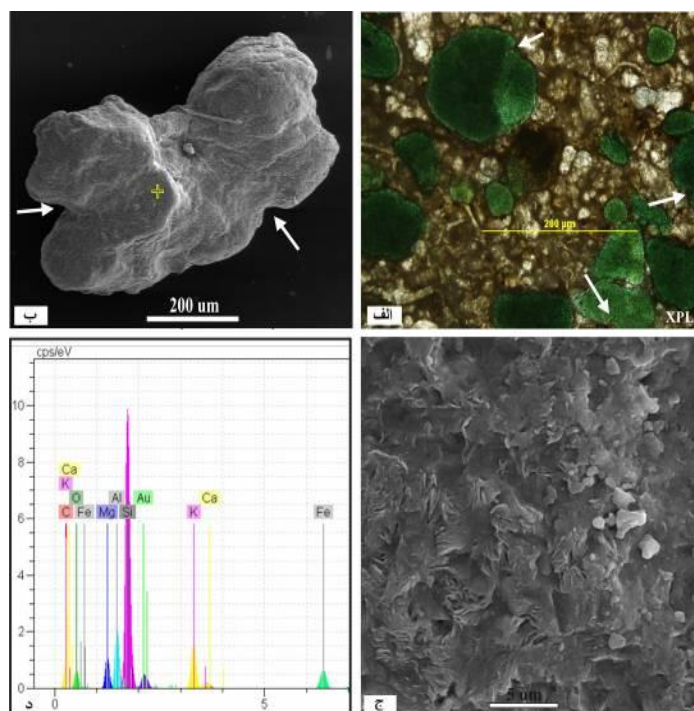
تحت آب شویی توسط آب اکسیژنه قرار گرفته و در نهایت تعداد ۱۰ نمونه ایزوله شده توسط میکروسکوپ الکترونی نوع Vega-Tescan مورد تصویربرداری و آنالیز SEM-EDX در موسسه رازی تهران قرار گرفته است.

نتایج

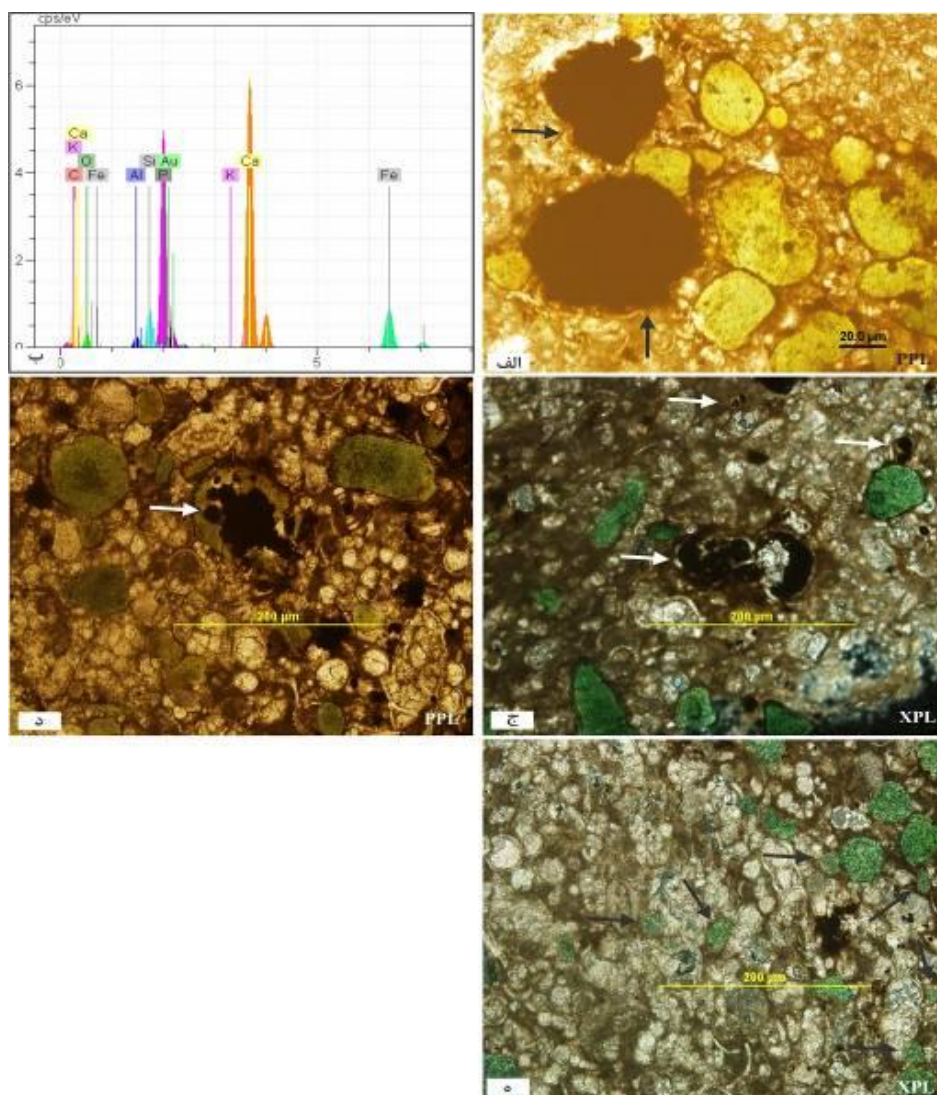
بررسی پتروگرافی دانه‌های گلاکونیتی موجود در قاعده سازند گورپی در ناحیه مورد مطالعه نشان می‌دهد که عمده این گلاکونی‌ها به صورت پلیت‌های گلاکونیتی و بخشی نیز به صورت جانشینی حجرات خرده‌های فسیلی را پر کرده‌اند (که عمدتاً به صورت رنگ سبز روشن دیده می‌شوند) و یا به صورت لکه‌های سبز رنگ بدون حاشیه مشخص و شارپ در زمینه سنگ دیده می‌شوند (شکل ۵ الف - د). مورفولوژی پلیت‌های گلاکونیتی از نیمه گرد شده و بی‌شکل با حاشیه نامنظم تا انواع پستان مانند در تغییر است (شکل ۵ ب و ج). علاوه بر این اغلب ترک‌هایی ۷ شکل که به سمت مرکز گلاکونی کشیده شده‌اند در این نوع گلاکونی‌ها دیده می‌شود (شکل ۶ الف و ب). پلیت‌های گلاکونیتی با رنگ‌های مختلف از سبز روشن تا سبز و سبز تیره در کنار یکدیگر دیده می‌شوند. میزان خرد شدگی در این گلاکونیت‌ها بسیار اندک بوده اگر چه در مواردی ممکن است انواع خرد شده نیز مشاهده شوند. این دسته از گلاکونی‌ها در اندازه‌های مختلف



شکل ۵- الف) همراهی گلاکونی‌های نابالغ تا کمی رسیده (فلش) با گلاکونی‌های خیلی رسیده به رنگ سبز تیره، ب) گلاکونی‌های رسیده و خیلی رسیده به صورت سالم و با جورشدگی ضعیف که نشان‌دهنده منشأ در جای آنها و عدم حمل شدگی بعد از تشکیل است. فلش‌ها نشان‌دهنده مورفولوژی پستان مانند هستند، ج) گلاکونی‌های رسیده تا خیلی رسیده با مورفولوژی‌های مختلف پستان مانند (فلش) تا نیمه کروی و بی‌شکل، د) گلاکونی‌های رسیده به صورت هاله‌های سبز رنگ در زمینه با حاشیه غیرشارپ که نشان‌دهنده تشکیل در جای آنها است



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی و SEM از گلاکونی‌های خیلی رسیده، الف) گلاکونی‌های خیلی رسیده تا خیلی رسیده با ترک‌های سطحی متعدد (فلش)، ب) تصویر میکروسکوپ الکترونی از گلاکونی خیلی رسیده که دارای ترک‌های سطحی است (فلش)، ج) تصویر میکروسکوپ الکترونی از گلاکونی خیلی رسیده که دارای ساختار درونی لاملی است، د) نمودار SEM-EDX عناصر اصلی تشکیل‌دهنده گلاکونی‌های خیلی رسیده



شکل ۷- تصاویر میکروسکوپی و آنالیز EDX از فسفات و پیریت همراه با گلاکونی‌ها، الف) همراهی فسفات (فلش) با گلاکونی نشان‌دهنده وجود شرایط نیمه احیایی- احیایی در زمان تشکیل آنهاست، ب) نمودار آنالیز EDX پلیت‌های فسفات، ج و د) تشکیل پیریت در حجرات فرامینیفرها (فلش) و جانشین گلاکونی‌ها (فلش) که نشان‌دهنده تبدیل شرایط نیمه احیایی به احیایی در ادامه فرآیند دیاژنز است، ه) تشکیل گلاکونی در حجرات فرامینیفرها (فلش)

بحث

که به ترتیب پیشرفت فرآیند شامل مراحل نوظهور یا نابالغ، کمی تکامل یافته، یا بالغ و خیلی تکامل یافته است (شکل ۹). هر یک از مراحل توسط خصوصیات پتروگرافیکی (رنگ، مورفولوژی، ساختار درونی) و ژئوشیمیایی (به عنوان مثال تغییرات درصد پتاسیم) قابل شناسایی است. این فرآیند در مراحل اولیه نیاز به وجود حفراتی در بستر (مانند حجرات پوسته‌های فسیلی از جمله فرامینیفرها، شکستگی در ذرات آواری، نقاط ضعف در چرت) دارد. در سازند گورپی این

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 آلومینیوم شده و گلاکونی تشکیل می‌شود (Burst 1958)، اما بعدها با شناسایی فرآیند گلاکونیتی شدن در بسترهای مختلف این تئوری رد شد (Odin and Matter 1981). فرآیند گلاکونیتی شدن به طور ایده‌آل شامل چهار مرحله بوده

مطالعه در سازند گورپی به دو صورت جانمایی در خرده‌های اسکلتی و پلیت‌های گلاکونیتی مشاهده می‌شوند. پلیت‌های گلاکونیتی عمدتاً شکل دار، دارای جور شدگی نسبتاً ضعیف و نیمه گرد شده تا زاویه‌دار هستند (شکل ۵ ب و ج). 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 ۶ الف و ب و ۸ الف و ب). تصاویر میکروسکوپ الکترونی از گلاکونی‌های با رنگ سبز روشن وجود ساختار گلبولی در آنها را آشکار کرده که مشخصه گلاکونی‌های نوظهور (نابالغ) است (شکل ۸ ج). میزان اکسید پتاسیم براساس آنالیز EDX بین ۲٫۵ تا ۵ درصد برای این دسته از گلاکونی‌ها تعیین شده است (شکل ۸ د) 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 (Berra et al. 2007) (شکل ۶ الف-د). میزان اکسید پتاسیم براساس آنالیز SEM-EDX بین ۷٫۷ تا ۹ درصد برای این دسته از گلاکونی‌ها تعیین شده است (شکل ۶ د) که با مشخصه‌های پتروگرافی مانند رنگ 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 گلاکونیتی) که در بسترهای مختلف در رسوبات سازند گورپی صورت گرفته است شاهدهی بر درجازا بودن این دانه‌ها است (Odin 1985; Amorosi 1997; عاشوری و همکاران ۱۳۸۹؛ شرفی و همکاران ۱۳۹۱). 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

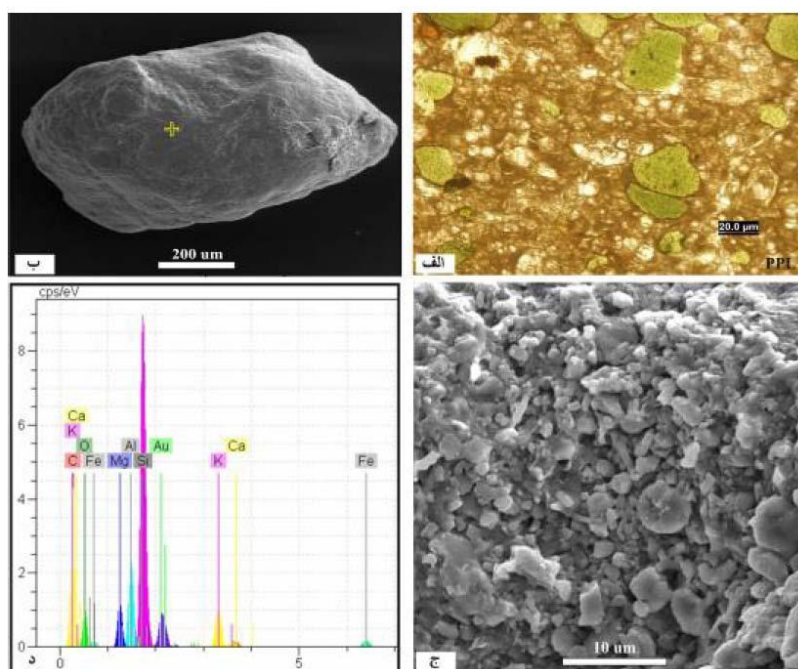
بستر اولیه شامل حجرات فرامینیفرهاست که توسط گلاکونی پر می‌شود. اما در مورد پلیت‌های گلاکونیتی که عمدتاً از نوع رسیده تا خیلی رسیده هستند با توجه به درجه بالای رسیدگی تشخیص بستر اولیه غیر ممکن است. در مرحله ابتدایی کانی‌های رسی درجازای غنی از آهن و حاوی ۲ تا ۴ درصد پتاسیم این حجرات را پر می‌کنند، این مرحله را اصطلاحاً گلاکونی نابالغ یا نوظهور (nascent) می‌گویند که در این مرحله گلاکونی به رنگ سبز کم‌رنگ و با حاشیه نامنظم دیده می‌شود. با پیشرفت فرآیند گلاکونی شدن مقدار پتاسیم افزایش یافته و در نهایت گلاکونی کاملاً بالغ (evolved) به رنگ سبز پررنگ با میزان پتاسیم بیشتر از ۸ درصد ایجاد می‌شود. در این مرحله ممکن است ترک‌های ایجاد شده در مراحل قبل با گلاکونی سبز کم‌رنگ پرمی‌شود و سطح دانه‌ها صاف‌تر و به شکل کروی می‌شود (شکل ۹). بنابراین گلاکونی‌ها در هر یک از این مراحل از نظر ترکیب و ساختار کانی‌شناسی متفاوت‌اند. از نظر منشأ، سه نوع گلاکونی آلوتونوس، پاراآلوتونوس و آتوتونوس در رسوبات گلاکونی‌دار قابل تفکیک است. گلاکونی‌های پاراآلوتونوس بعد از تشکیل بر اثر جریان‌های اقیانوسی، جزر و مد یا طوفان به صورت محلی (local) جابجا می‌شوند، در حالی که گلاکونی‌های آلوتونوس در اثر فرسایش و هوازدگی از رسوبات قدیمی به حوضه رسوبی حمل می‌شوند (Pasquini et al. 2004). گلاکونی‌های آلوتونوس به صورت درجا در محیط تشکیل و بعد از آن نیز متحمل جابجایی 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 درجازا یا نابرجا بودن گلاکونی تشخیص داده شود (Amorosi 1997). دانه‌های گلاکونی در رسوبات سازند گورپی در گروه انواع درجازا قرار می‌گیرند که در ادامه به ذکر دلایل و ویژگی‌های آنها پرداخته می‌شود. چنان که ذکر گردید، گلاکونی‌های مورد

سازند گورپی به صورت تکه‌هایی (patch) از هاله‌های سبز رنگ در زمینه سنگ مشاهده شده‌اند که این ویژگی به همراه پلیت‌های گلاکونیتی دارای مرز نامنظم، تدریجی و غیرشارپ با زمینه از شواهد قطعی تشکیل در جای گلاکونی است (Kelly and Webb 1999; شرفی و همکاران ۱۳۹۱) (شکل ۵ د). همراهی فسفات (هر چند به میزان اندک) با گلاکونی‌ها نشان‌دهنده وجود شرایط احیایی مناسب جهت فرآیند گلاکونیتی شدن است (شکل ۷ الف). به طوری که امکان حرکت و انتقال آهن دو ظرفیتی و تثبیت آهن سه ظرفیتی در ساختار بلوری گلاکونی و همچنین افزایش مقدار پتاسیم که دو عنصر اصلی تشکیل‌دهنده گلاکونی هستند با وجود شرایط نیمه اکسیدی و یا مرز اکسایش-احیایی، فراهم می‌شود. قابل ذکر است که دوره سانتونین به عنوان یکی از دوره‌های احیایی (anoxic) شناخته شده است که مربوط به تولید وسیع فسفات است (Fölmi 1996; El-ghali et al. 2009). علاوه بر این، در بعضی موارد جانشینی پیریت در پلیت‌های گلاکونیتی و همچنین در حجرات فرامینفرها مشاهده شده است (شکل ۷ ج و د) که نشان‌دهنده ادامه شرایط کمبود اکسیژن و تبدیل شرایط نیمه احیایی (تشکیل گلاکونی) به شرایط احیایی (تشکیل پیریت) در ادامه فرآیند دیاژنز است (El-ghali et al. 2009). در سازند گورپی جانشینی گلاکونی در خرده‌های اسکلتی نیز صورت گرفته است. غالباً جایگزینی گلاکونی در حجرات فرامینفرها صورت گرفته و بنابراین گلاکونی شکل قالب حجره فرامینفر را به خود گرفته است (شکل ۷ ه). در این مورد، وجود شرایط اسیدی نسبی در مراحل اولیه فرآیند گلاکونیتی شدن محتمل بوده (که منجر به انحلال خرده‌های اسکلتی می‌شود) به طوری که با پیشرفت این فرآیند این اسیدیته توسط انحلال خرده‌های اسکلتی ختنی و شرایط PH طبیعی حاکم می‌شود. بنابراین تأثیر خرده‌های اسکلتی در ایجاد شرایط فیزیک و-شیمیایی مناسب فرآیند گلاکونیتی شدن به عنوان یکی از عوامل اساسی در نظر گرفته می‌شود (Kelly and Webb 1999). در این ارتباط، توسعه ریز محیط‌های مستعد گلاکونیتی شدن (مانند حجرات فرامینفرها) در چنین رسوباتی احتمالاً مربوط

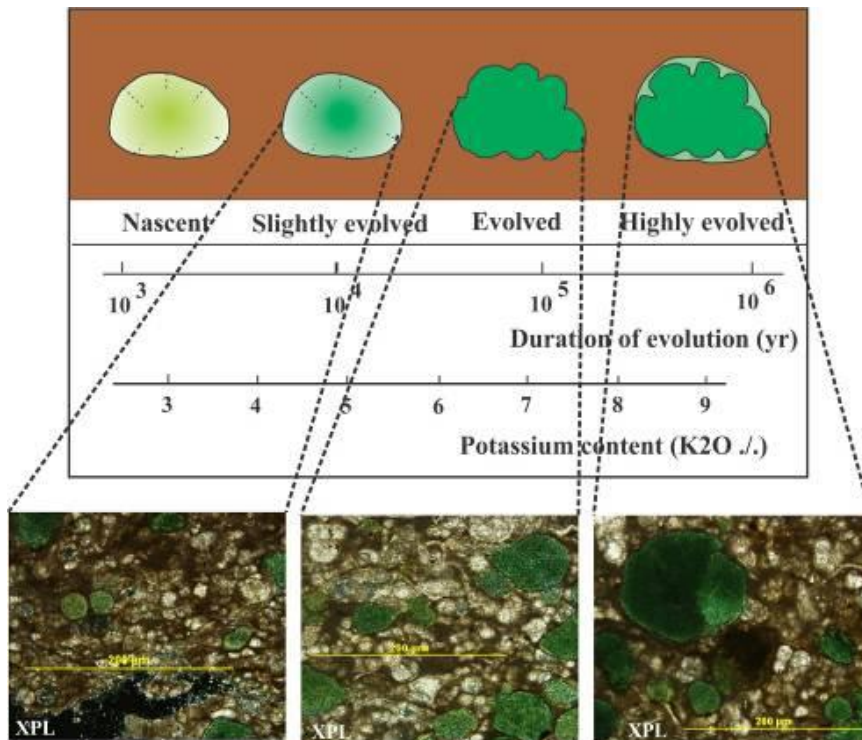
یکدیگر مشاهده می‌شود (شکل ۵ الف). بدیهی است که در صورت از بین رفتن هر یک از شرایط مورد نیاز جهت تکامل فرآیند گلاکونیتی شدن مثلاً تغییرات سطح آب دریا (جابجایی دانه‌های گلاکونی)، دفن در عمق بیشتر و ورود رسوبات سیلیسی آواری به حوضه (Hesselbo and Huggett 2001; عاشوری و همکاران ۱۳۸۹) در هر کدام از مراحل رسیدگی، این واکنش تکاملی متوقف می‌شود. حضور پلیت‌های گلاکونی رسیده سالم در سازند گورپی می‌تواند نشانه دیگری بر منشأ اتوکتونوس بودن گلاکونی‌ها باشد، زیرا پلیت‌های گلاکونیتی رسیده خیلی شکننده‌اند و احتمال کمی وجود دارد که به میزان زیادی حمل شده باشند (Huggett and Gale 1997) (شکل ۵ ب و ۶ الف). وجود پلیت‌های گلاکونیتی با مورفولوژی‌های مختلف (از جمله بی‌شکل، نیمه کروی تا پستان مانند) و درجات رسیدگی متفاوت از نوظهور تا خیلی رسیده علت دیگری بر عدم تأثیر فرآیند جورشدگی هیدرولیکی در طی تشکیل این دسته از گلاکونی‌ها و در نتیجه تأیید کننده منشأ در جای آنها است. برخی از خوردشدگی‌های مشاهده شده در پلیت‌های گلاکونی سازند گورپی ممکن است در اثر آشفته‌گی‌های زیستی و فعالیت موجودات در درون لایه و یا حمل و نقل جزئی توسط جریان‌ات زیر سطحی ایجاد شده و ارتباطی با حمل و نقل در خارج حوضه ندارد (McCracken et al. 1996). 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 فرآیند گلاکونی شدن بوده و این شکستگی‌ها ارتباطی به حمل و نقل گلاکونی‌ها ندارد (Odin 1985; Pasquini et al. 2004; عاشوری و همکاران ۱۳۸۹). 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 پلیت گلاکونی ایجاد می‌شود (Fischer 1990; Chudhuri et al. 1994; Amorosi 1997; Harris and Whiting 2000). چنان‌که پیشتر ذکر گردید بخشی از گلاکونی‌های موجود در رسوبات

نرخ ته‌نشینی پایین، شرایط نیمه اکسیدی و وجود بستر اولیه مناسب جهت تشکیل کانی گلاکونی ضروری است (Huggett and Gale 1997). 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 منبأ تأمین کننده عنصرهای مورد نیاز فرآیند گلاکونیتی شدن را نیز به حداقل می‌رساند. لذا شرایط محیط تشکیل دانه‌های گلاکونی در رسوبات سازند گورپی از شرایط عنوان شده مستثنی نبوده است. بنابراین محیط دریای باز با میزان ورود اندک رسوبات آواری، بستر مناسبی از رسوبات که دارای چرخش کافی آب دریا بوده و شرایط مرز اکسیداسیون و احیاء را می‌توان برای تشکیل گلاکونی‌های سازند گورپی پیشنهاد کرد.

به انحصار فیزیکی و یا محتوای بالای مواد آلی خردده‌های اسکلتی است که فرآیند گلاکونیتی شدن را تسهیل می‌نماید (Kelly and Webb 1999). در ارتباط با منشأ عناصر مورد نیاز جهت فرآیند گلاکونیتی شدن در سازند گورپی، می‌توان به رسوبات شیلی و مارنی و همچنین انحلال ذرات سیلیسی آواری موجود در شیل‌ها اشاره نمود که عناصر مورد نیاز تشکیل گلاکونی از جمله آهن، سیلیس، آلومینیوم و پتاسیم را تأمین می‌کنند. علاوه بر این، اگر چه آب دریا با شوری نرمال دارای تمرکز پایینی از آلومینیوم، سیلیسیم و آهن است اما دارای مقادیر قابل توجهی پتاسیم است، لذا آب دریا می‌تواند تأمین کننده یون‌های پتاسیم برای فرآیند گلاکونی شدن باشد. از جمله دیگر منشأهای احتمالی پتاسیم می‌توان به کانی‌های رسی موجود در رسوبات شیلی اشاره نمود. بنابراین به طور کلی فراهم شدن شرایط فیزیک و شیمیایی مختلف از جمله



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپی و SEM و آنالیز EDX از گلاکونی‌های نابالغ تا کمی رسیده، الف) گلاکونی‌های نوظهور تا کمی رسیده بدون ترک‌های سطحی، ب و ج) تصاویر SEM از گلاکونی‌های نابالغ که ساختار درونی گلولی از خود نشان می‌دهند، د) نمودار SEM-EDX عناصر اصلی تشکیل دهنده گلاکونی‌های نابالغ (نوظهور)



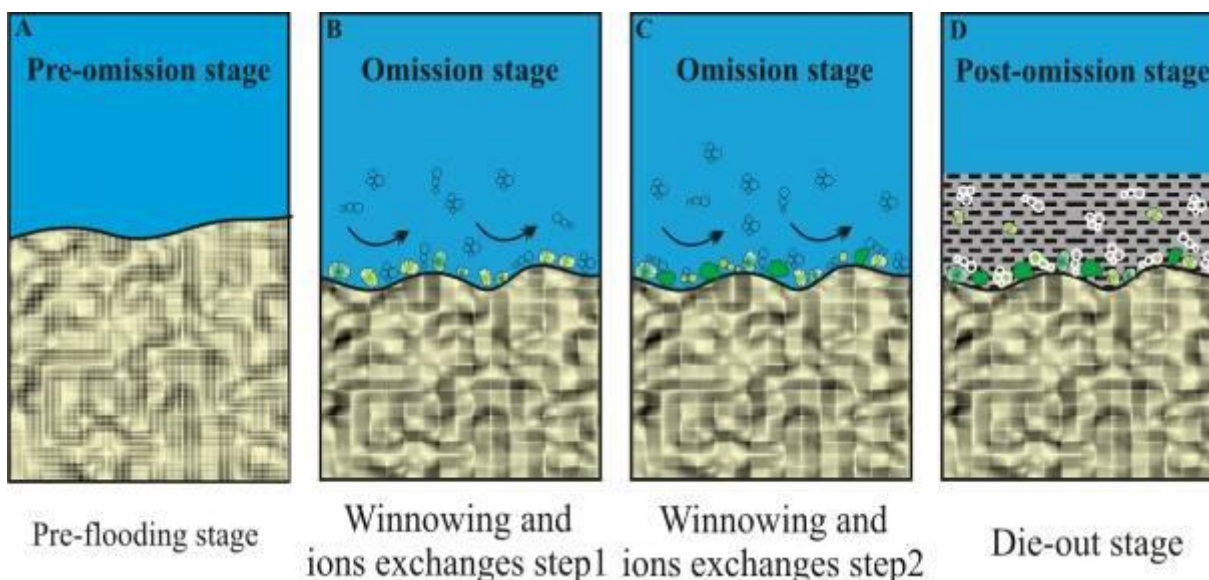
شکل ۹- تصویر شماتیک از مراحل تکامل گلاکونی (اقتباس از مک کراکن ۱۹۹۶) و انطباق آن با گلاکونی‌های سازند گورپی

مرحله گلاکونی‌های نوظهور و کمی تکامل یافته تشکیل می‌شوند. این مرحله تحت عنوان مرحله رخنمونی و یا شستگی مطرح می‌شود (Omission or winnowing stage) (شکل ۱۰B)، مرحله ۳ ادامه مرحله ۲ بوده که با گذشت زمان و تداوم شرایط نرخ رسوب گذاری پایین و با افزایش تبادل یونی (جذب عنصرهای پتاسیم و آهن) بین بستر مستعد و آب دریا و رسوبات زمینه کانی‌های گلاکونیتی نوظهور مرحله قبل به درجات رسیدگی بالا می‌رسند که به عنوان انواع تکامل یافته و خیلی تکامل یافته شناخته می‌شوند (شکل ۱۰C)، مرحله ۴: در این مرحله با افزایش نرخ رسوب‌گذاری و دفن کانی‌های گلاکونیتی و دور شدن آنها از سطح رخنمونی آب- رسوب فرآیند تبادل یونی و به تبع آن گلاکونیتی شدن متوقف می‌گردد و در بخش‌های بالاتر توالی رسوبی نیز به میزان اندکی ممکن است گلاکونی تشکیل می‌شود. این مرحله با عنوان مرحله دفن و یا مرگ گلاکونی‌ها (Burial or die-out stage) معرفی می‌شود (شکل ۱۰D). در ادامه فرآیند دفن

به طور کلی در ارتباط با مراحل تشکیل و تکامل گلاکونی‌های سازند گورپی یک مدل چهار مرحله‌ای قابل شناسایی است: مرحله ۱: این مرحله با ایستایی و سکون آب دریا مشخص می‌شود و به عنوان مرحله قبل از سیلابی شدن و شستگی (pre-flooding or pre-winnowing stage) نام‌گذاری می‌شود (شکل ۱۰A). 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 زیر سطحی و ایجاد گردش آب (Circulation) در بین رسوبات بستر دریا که به عنوان عامل اصلی تأمین‌کننده یون‌های مورد نیاز فرآیند گلاکونیتی شدن مطرح است، این فرآیند در سطح رخنمون یافته بین آب- رسوب و در شرایط حداقل رسوب‌گذاری یا عدم رسوب‌گذاری (Sediment starvation) و با تبادل یونی بین آب دریا و رسوبات زمینه با دانه‌های مستعد گلاکونیتی شدن شروع می‌گردد. در این

صورت جانشینی در کانی‌های گلاکونی آغاز می‌گردد (شکل ۷ ج و د).

رسوبات و با تبدیل شرایط نیمه احیایی (مناسب گلاکونیتی شدن) به احیایی تشکیل پیریت در حجرات فرامینفرها و به



شکل ۱۰- تصویر شماتیک از مراحل تشکیل و تکامل گلاکونی‌های سازند گورپی در برش ناقدیس آنه، (A) مرحله ایستایی و سکون آب دریا و قبل از سیلابی شدن و ایجاد شستگی در رسوبات کف بستر دریا، (B) مرحله سیلابی شدن و ایجاد شستگی در رسوبات و تبادل یونی بین آب دریا و رسوبات بستر با دانه‌های مستعد گلاکونیتی شدن در اثر گردش آب دریا بین رسوبات کف بستر، (C) ادامه تبادل یونی و تکامل گلاکونیتی شدن و ایجاد گلاکونی‌های رسیده و خیلی رسیده، (D) مرحله دفن گلاکونی‌ها و توقف فرآیند گلاکونیتی شدن در اثر افزایش نرخ رسوب‌گذاری (اقتباس از Sharafi et al. 2012)

نتیجه‌گیری

سازند گورپی به سن سانتونین- مایستریشتین در ناحیه ناقدیس آنه عمدتاً از شیل، آهک و آهک ماری تشکیل شده است. گلاکونی‌های سازند گورپی به دو صورت پلیت‌های گلاکونیتی و جانشینی در حجرات فرامینفرها و یا در زمینه سنگ مشاهده می‌شوند. مطالعات پتروگرافی و آنالیز EDX بر روی این گلاکونی‌ها نشان می‌دهد که آنها از گلاکونی‌های نوظهور به رنگ سبز کم رنگ، فاقد ترک‌های سطحی و ساختار درونی گلبولی با میزان اکسید پتاسیم بین ۲,۵ تا ۵ درصد تا گلاکونی‌های تکامل یافته تا خیلی تکامل یافته به رنگ سبز تیره دارای ترک‌های سطحی و ساختار درونی لاملی

و میزان اکسید پتاسیم بین ۷,۷ تا ۹ درصد، در تغییراند. تشکیل گلاکونی‌ها از نهشته‌های دریایی (سنگ میزبان مناسب)، جورشدگی نسبتاً ضعیف، همراهی گلاکونی با دانه‌های فسفات، چروکیدگی ریخت‌شناسی در برخی دانه‌های گلاکونی، حضور پلیت‌های گلاکونی نارس و رسیده به صورت سالم، وجود پلیت‌های گلاکونی با مورفولوژی‌های مختلف از بی‌شکل، نیمه کروی تا پستان مانند سالم، وجود هاله سبزرنگ گلاکونی‌های پراکنده با مرزهای تدریجی بین پلیت‌ها و زمینه اطراف و مشاهده مراحل تکامل دانه‌های گلاکونی از کمی تکامل یافته به رنگ سبز کم‌رنگ تا بسیار تکامل یافته به رنگ سبز پر رنگ دلایل اتوکتونوس (درجازا)

- Alavi, M., 1994, Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretation: *Tectonophysics*, v. 229, p.211-238.
- Alavi, M., 2004, Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution: *American Journal of Science*, v. 304, p.1-20.
- Alavi, M., 2007, Structure of Zagros fold-thrust belt in Iran: *American Journal of Science*, v. 307, p. 1064-1095.
- Amorosi, A., 1997, Detecting compositional, spatial and temporal attributes of glaucony, a tool for provenance research: *Sedimentary Geology*, p.135-153.
- Amorosi, A., I. Sammartino, & F. Tateo, 2007, Evolution patterns of glaucony maturity: A mineralogical and geochemical approach: *Deep-Sea Research II*, v. 54, p.1364-1374.
- Berberian, M., and G.C.P. King, 1981, Toward a paleogeography and Tectonic evolution of Iran: *Canadian Journal of Earth Science*, v. 18, p.210-265.
- Berra, F., A., Zanchi, M., Mattei, & A., Nawab, 2007, Late Cretaceous transgression on a Cimmerian high (Neka Valley, Eastern Alborz, Iran): A geodynamic event recorded by glauconitic sands: *Sedimentary Geology*, v. 199, p.189-204.
- Burst, J.F., 1958, "Glauconite" pellets: their mineral nature and application to stratigraphic interpretation: *Bulletin of American Association of Petroleum Geology*, v. 42, p.373-378.
- Chang, S.S., Y.H. Shau, M.K. Wang, C.T. Ku, P.N. Chiang, 2008, Mineralogy and occurrence of glauconite in central Taiwan: *Applied Clay Science*, p. 20-36.
- Chudhuri, A.K., S.K. Chanda, & A.S. Dasgupta, 1994, Protozoic peloids from South India: their origin and significance: *Journal of Sedimentary Research*, A, v. 64, p.765-770.
- El-ghali, M.A.K., H. Mansurbeg, S. Morad, I. Al-Aasm, & K. Ramseier, 2009, 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*, v. 190, p.323-351.
- Fischer, H., 1990, Glauconite formation: discussion of the terms authigenic, perigenic, allogenic, and meta-allogenic: *Eclogae Geol. Helv.*, v. 83, p.1-6.
- Fölmi, K.B., 1996, The phosphorus cycle, phosphogenesis and marine phosphate-rich

بودن گلاکونی‌های این سازند است.

تشکیل میزان قابل توجه گلاکونی در بخش قاعده سازند گورپی و همراهی آنها با فسفات نشان‌دهنده وجود شرایط نیمه احیایی و احیایی و دوره طولانی عدم رسوب‌گذاری یا رسوب‌گذاری بسیار آهسته در دوره سانتونین است که می‌تواند با وقایع احیایی جهانی (Oceanic anoxic event or OAE) و توسعه رسوبات غنی از فسفات در دیگر نقاط جهان در این دوره مرتبط باشد.

قدردانی

نمونه‌های این تحقیق مربوط به پایان نامه کارشناسی ارشد خانم سمیه اکبری به راهنمایی آقای دکتر حسین وزیری مقدم از دانشکده علوم دانشگاه اصفهان بوده که بدینوسیله نگارندگان از همکاری ایشان تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- آقاناتی، ع. ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران: سازمان زمین‌شناسی کشور، ۵۸۶ ص.
- شرفی، م. ا. محبوبی و ر. موسوی حرمی، ۱۳۹۱، ارتباط گلاکونیت‌زایی و کلسیتی شدن با تغییرات نسبی سطح آب دریا در رسوبات سیلیسی آواری-کربناته سازند آیتامیر (کرتاسه میانی)، حوضه کپه داغ: پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۴۸، ص ۱۹-۳۶.
- گردی‌زاده، ن. ۱۳۸۹، زیست چینه‌نگاری سازند گورپی در جنوب غرب فیروزآباد: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، ۱۰۷ صفحه.
- عاشوری، م. م. شرفی، ا. محبوبی، ر. موسوی حرمی و م. نجفی، ۱۳۸۹، بررسی خاستگاه و ساز و کار تشکیل گلاکونی‌های سازند آیتامیر در جنوب شرق درگز: بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۲، ص ۲۴۷-۲۵۴.

- distribution actuelle et composition: C.R. Acad. Sci., Paris, v. 301, p.105-108.
- Odin, G.S., P.D. Fullagar, 1988, Geological significance of the glaucony facies. In: Odin, G.S. (Ed.), Green Marine Clays. Developments in Sedimentology, 45: Elsevier, Amsterdam, p.295-332.
- Odin, G.S., and A. Matter, 1981, De Glauconie origine: Sedimentology, v. 28, p.611-641.
- Pasquini, C., A. Lualdi, P. Vercesi, 2004, Depositional dynamics of glaucony-rich deposits in the Lower Cretaceous of Nice arc, Southeast France: Cretaceous Research, v. 25, p.179-189.
- Sharafi, M., M. Ashuri, A. Mahboubi and R. Moussavi-Harami, 2012, Stratigraphic application of Thalassinoides ichnofabric in delineating sequence stratigraphic surfaces (Mid-Cretaceous), Kopet-Dagh Basin, northeastern Iran: Palaeoworld, v. 21, p.202-216.
- Sharafi, M., A. Mahboubi, R. Moussavi-Harami, M. Ashuri and B. Rahimi, 2013, Sequence stratigraphic significance of sedimentary cycles and shell concentrations in the Aitamir Formation (Albian-Cenomanian), Kopet-Dagh Basin, northeastern Iran: Journal of Asian Earth Sciences, v. 67-68, p.171-186.
- Sherkati, S., and J. Letouzey, 2004, Variation of structural style and basin evolution in the central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran: Marine and Petroleum Geology, v. 21, p.535-554.
- deposits: Earth-Science. Review, v. 40, p.55-124.
- Harris, L.C. and B.M. Whiting, 2000, Sequence-stratigraphic significance of Miocene to Pliocene glauconite-rich layers, on- and offshore of the US Mid-Atlantic margin: Sedimentary Geology, v. 134, p.129-147.
- Hesselbo, S.P., and J.M. Huggett, 2001, Glaucony in ocean margin sequence stratigraphy (Oligocene Pliocene, offshore New Jersey, U.S.A.; ODP LEG 174A): Journal of Sedimentary Research, v. 71, p.599-607.
- Huggett, J.M., and A.S. Gale, 1997, Petrology and palaeoenvironmental significance of glaucony in the Eocene succession of Whitecliff Bay, Hampshire Basin, UK: Journal of the Geological Society, London, v. 154, p.897-912.
- Kelly, J.C., and J.A. Webb, 1999, The genesis of glaucony in the Oligo-Miocene Torquay Group, south eastern Australia: petrographic and geochemical evidence: Sedimentary Geology, v. 125, p.99-114.
- McCracken, S.R., J. Compton, & K. Hicks, 1996, Sequence-stratigraphic significance of glaucony-rich lithofacies at Site 903, in Mountain, G.G., Miller, K.G., Blum, P., Poag, C.W., Twitchell, D.C., Proceedings of the Ocean Drilling Program: Scientific Results v. 150, p.171-187.
- McQuillan, H., 1974, Geological Map of Iran, 1:100,000 Series, Sheet No. 20842, Fahliyan: Oil service company of Iran.
- Odin, G.S., 1985, La verdine, facies granulaire vert, marin et cotier, distinct de la glauconie