

ریزریخت‌شناسی و فرآیند تشکیل پیزولیت‌های ذخایر بوکسیتی منطقه دهدشت

علیرضا زراسوندی*، اکرم فروغی‌نیا، هوشنگ پورکاسب، عباس چرچی، سمیه سلام‌اللهی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهیدچمران اهواز

دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۵/۲۳، پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲۳

چکیده

کانسارهای بوکسیتی منطقه دهدشت در ۴۰ کیلومتری شمال‌شرقی دهدشت در استان کهگیلویه و بویر احمد واقع بوده و بخشی از کمربند بوکسیت کارستی ایران-همیالیا محسوب می‌شوند که در فرورفتگی‌های کارستی واقع در بالای سنگهای آهکی سازند سروک به سن سنومین تا تورونین زیرین، قرار دارند. هدف از این پژوهش، تعیین انواع زایش پیزولیت‌ها و فرآیندهای حاکم بر تشکیل بوکسیت است که در این زمینه، مطالعات آزمایشگاهی شامل بررسی کانی‌شناسی کیفی با استفاده از پراش پرتو ایکس (XRD)، کانی‌شناسی کمی و مطالعات میکروسکوپی با استفاده از مقاطع نازک و سیقلی مد نظر قرار گرفت. فرآیندهای بوکسیتی‌شدن به تشکیل کانیهای بوهمیت، دیاسپور، کلسیت، کائولینیت، آاناتاز، روتیل، گوئتیت، همتیت و کلریت در این نهشته‌ها منجر شده است. بوکسیتی‌شدن، با فرآیند تخریب کائولینیت و فرآیند آهن‌زدایی در کانسارهای منطقه توسعه پیدا کرده و موجب تمرکز آلومینیم شده است. تفاوت این کانسارها از لحاظ کانی‌شناسی، وجود پیریت در افق خاکستری بعضی از کانسارها مانند مندان است. کانیها در این ذخایر، در مرحله هوازگی، دیاژنتیک و اپی‌ژنتیک تشکیل شده‌اند. براساس نتایج کمی کانیها از افقهای بوکسیتی، محیط دیاژنتیک/رسوبی کانسارهای منطقه مورد مطالعه از دوز تا فراتیک متغیر است. بررسی ریزریخت‌شناسی بوکسیت‌های منطقه، پیزولیت‌هایی با هسته‌های ساده، شیشه‌ای، کمپلکس و اولیتی و همچنین پیزولیت‌های رنگ‌رفته و شکسته نشان می‌دهد که بر این اساس، نهشته‌ها به سه نوع برج‌زا، نیمه‌برج‌زا و نابر‌جا تقسیم می‌شوند. تشکیل اشکال انحلالی، فرآیندهای آهن‌شویی، سیلیسی‌شدن مجدد و نهشت دیاسپور در شکستگیها از جمله تغییرات دیاژنتیک و اپی‌ژنتیکی است که بعد از تشکیل این کانسارها روی داده است. بررسی فراوانی ذرات پوسته‌ای در این کانسارها نشان می‌دهد که ذراتی با قطر ۵۰ تا ۲۰۰ میکرون دارای بیشترین فراوانی هستند و ساختار ساده اولیت‌ها مبین زمان کوتاه تشکیل است. با مقایسه فراوانی ذرات پوسته‌ای و بررسی پیزولیت‌ها و همچنین نمودار تغییرات TiO_2/Al_2O_3 به نظر می‌رسد در بعضی کانسارها مانند مندان، زمان تشکیل بوکسیت طولانی‌تر بوده است.

واژه‌های کلیدی: ریزریخت‌شناسی، بوکسیت کارستی، پیزولیت، کانی‌شناسی کمی.

مقدمه

تأثیرگذار است [۱]. طبق نظر [۳] کانسارهای بوکسیت به سه نوع ژنتیکی لاتریتی، کارستی و رسوبی تقسیم می‌شوند. بسیاری از بوکسیت‌ها را می‌توان با توجه به بافت و ویژگیهای زمین‌شیمیایی آنها به سنگ بسترشان نسبت داد [۴]. ریزریخت‌شناسی، یک ابزار تحقیقی و روشی برای مطالعه نمونه‌های غیرپراکنده خاکها و سنگهای هوازده شده با روش میکروسکوپی است و برای تعیین فرآیندهای هوازگی سنگها و منشأ آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵]. با توجه به اشکال کلوئیدی بسیاری از کانیهای بوکسیت، تعیین چگونگی بافتی و ژنتیکی این نهشته‌ها با بررسیهای کانی‌شناسی و میکروسکوپی

بوکسیت منبع اولیه آلومینیوم، معرف هوازگی و تکامل پوسته قاره‌ای و از بهترین شاخصهای بازسازی آب و هوای دیرینه است که تغییرات آب و هوا، شرایط خاکزاد و بیولوژیکی محیط نهشت را ثبت می‌کند. آب و هوای گرم و مرطوب مهمترین عامل برای تشکیل بوکسیت هستند [۱]. با این حال بر خلاف نظریه‌های قدیمی که بوکسیت‌ها فقط در شرایط گرمسیری و نیمه‌گرمسیری به‌وجود می‌آیند، در آب و هوای خنک و شرایط مرطوب نیز تشکیل می‌شوند [۲] که در این صورت عامل زمین‌شناسی دیگری غیر از آب و هوا نیز

چین خورده است. در این کانسار ماده معدنی در مسافتی بالغ بر ۲ کیلومتر مربع و ضخامت متوسط ۱ تا ۱/۵ متر دیده می‌شود. تاقدیس مندان نسبت به تاقدیسهای مجاور دارای دامنه‌هایی با شیب ملایم است. به طوری که احتمالاً همین مساله باعث بقای هر چه بیشتر عدسیه‌های نسبتاً بزرگ موجود در حوالی محور تاقدیس شده است. تاقدیس کوه سیاه، یک ساختار متقارن است که شامل ۵ رخداد بوکسیتی است که کانسار بوکسیت ده‌نو یکی از ۵ عدسی بوکسیتی در این تاقدیس می‌باشد [۹]. در این تاقدیسها گسلهایی در جهت عمود بر محور چینها مشاهده می‌شود که دره‌ها و تنگه‌های گسلی موجود در منطقه نتیجه عملکرد آنها است. این گسلها بر روی برونزد بنگستان به‌خصوص سازند سروک و ایلام تأثیر دارند [۱۳]. قدیمی‌ترین واحد سنگ چینه‌ای رخنمون یافته در منطقه مورد بررسی، سنگ آهک‌های نریتیک سازند سروک است. دیگر واحدهای سنگی منطقه شامل سازندهای ایلام، گورپی، پابده، آغاچاری و کنگلومرای بختیاری می‌باشد [۹] (شکل ۱).

بالا آمدگی بعد از تورونین در منطقه باعث ایجاد یک سطح فرسایشی کارستی بر روی بخش بالایی سازند سروک شده که در شرایط آب و هوایی مناسب تشکیل بوکسیت‌های لاتریتی را تسریع نموده است [۱۴]. مهمترین ویژگی منطقه حضور افقی از عدسیه‌های بوکسیتی است که سنگ بستر آن را سنگهای کربناته سروک با سن تورونین زیرین و سنگ پوشش آن را سنگهای کربناته ایلام با سن سانتونین تشکیل می‌دهند [۱۵] (شکل ۳). رخدادهای بوکسیتی منطقه از طبقات بوکسیتی متوالی مختلفی تشکیل شده است که از پایین به بالا به ترتیب می‌توان به بوکسیت سفید، خاکستری، سیاه، پیزولیتی، قرمز و زرد اشاره کرد (در قاعده افقهای بوکسیتی مورد مطالعه آهک آرژیلیتی سروک قرار دارد). بالاآمدگی در پلیوسن همراه با فرسایش بعدی، نهشته‌های بوکسیت را در وضعیت کنونی قرار داده است [۱۶].

روش مطالعه

بررسی صورت‌گرفته شامل مطالعات صحرایی دقیق نیم‌رخ و افقهای بوکسیتی همراه با مطالعات آزمایشگاهی می‌باشد. در مطالعات صحرایی نمونه‌برداری از ۱۲ افق بوکسیتی منطقه انجام پذیرفت، سپس تعداد ۷ نمونه از کانسار مندان و ۵ نمونه

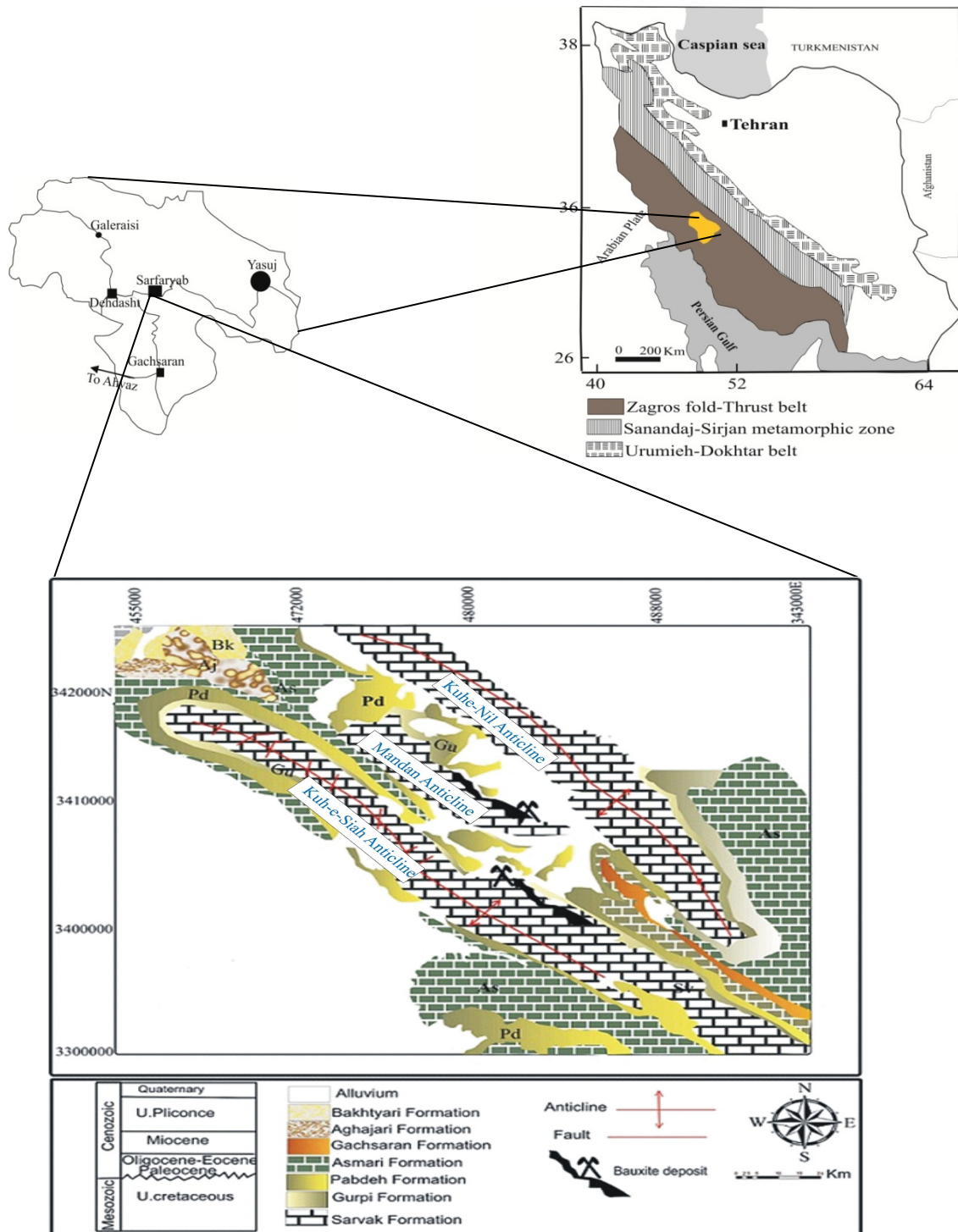
امکان‌پذیر است [۱]. یکی از شاخصترین عناصر بافتی در بوکسیت‌ها، دانه‌های پوشش‌دار (پیزولیت‌ها و اوولیت‌ها) می‌باشد. بافت بیشتر کانسارهای بوکسیتی، پیزولیتی یا توده‌ای است [۶]. پیزولیت‌ها شامل هسته و لایه‌های متحدالمرکزی هستند که در چند مرحله در نتیجه تغییرات آب و هوایی به‌وجود می‌آیند [۷] و زمین‌شیمی محیط نهشت را ثبت و در محیط خاکزاد غیراشباع از آب یا در محیط‌های دیاژنتیکی اشباع از آب تشکیل می‌شوند [۸]. یک پیزولیت معمولی از هسته و کورتکس‌های منظم میکرولامینه تشکیل شده است. پیزولیت‌های زایش اول دارای هسته هموزن، غیرترک خورده و کورتکس‌های منظم و دارای ضخامت یکسان می‌باشند. در بوکسیت‌های زایش دوم هسته با شبکه‌ای غیرمنظم از شکافهای شعاعی قطع می‌شوند [۵]. لذا با استفاده از ریزریخت‌شناسی می‌توان انواع زایش پیزولیت‌ها و فرآیندهای حاکم در طی تشکیل بوکسیت را تعیین کرد که از اهداف مطالعه حاضر می‌باشد. نهشته‌های بوکسیتی منطقه دهدشت (شکل ۱) بخشی از کمربند نهشته‌های بوکسیت منطقه زاگرس را تشکیل می‌دهند و از دیدگاه زمانی مربوط به کرتاسه می‌باشند. از ویژگیهای چشمگیر این کانسارها تغییرات کانی‌شناسی و بافتی در لایه‌های بوکسیتی و وجود افقهای خاکستری غنی از پیریت و تغییر تدریجی افق خاکستری به افق پیزولیتی می‌باشد. برخی از جنبه‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمی این کانسارها مورد بررسی قرار گرفته است [۹، ۱۰ و ۱۱]. در این مقاله سعی شده است تا با بررسی جزئیات بافتهای پیزولیتی و اوولیتی، مدل زایشی مبتنی بر تغییرات ریزریخت‌شناسی به‌دست آید.

زمین‌شناسی منطقه

از نظر زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی در زون ساختاری زاگرس چین‌خورده و از لحاظ زمین‌شناسی ساختمانی شامل مجموعه‌ای از تاقدیسها و ناودیسها است که به‌صورت نسبتاً فشرده به موازات یکدیگر قرار گرفته‌اند. محدوده مورد مطالعه در محل برونزد تاقدیسهای کوه سیاه، مندان و کوه نیل قرار دارد (شکل ۱). کانسارهای مورد مطالعه در یالهای جنوبی و شمالی تاقدیسهای مندان و کوه‌سیاه قرار دارند (شکل ۲). تاقدیس مندان با طول ۲۰ کیلومتر و عرض تقریبی ۵ کیلومتر به‌عنوان شناخته‌شده‌ترین منطقه بوکسیت‌دار در زاگرس

و کانی‌شناسی کمی نمونه‌های انتخاب شده از یال جنوبی تاقدیس مندان، در آزمایشگاه XRD دانشگاه کوئینز در کینگستون کانادا صورت گرفت. ترکیب شیمیایی نمونه‌ها به روش طیف‌سنج جرمی پلاسمای جفت شده‌ی القایی (ICP-MS) در آزمایشگاه شرکت ACME کشور کانادا تعیین شدند.

از یال شمالی تاقدیس کوه‌سیاه انتخاب و مورد بررسی‌های کانی‌شناسی و آنالیز شیمیایی قرار گرفتند. بررسی ریزریخت‌شناسی و کانی‌شناسی به روش میکروسکوپی در مقاطع نازک انجام شد. کانی‌شناسی دقیق کیفی نمونه‌های مورد بررسی به روش XRD در شرکت کانساران بینالود تهران



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و نقشه زمین‌شناسی دهدشت. با تغییراتی از [۱۲].



شکل ۲. الف) نمایی از عدسی بوکسیتی در یال شمالی تاقدیس کوه‌سیاه، ب) نمایی از عدسی بوکسیتی مندان در یال جنوبی تاقدیس مندان.

| Age | Formation | Thickness (m) | Lithology | Bauxite Types |
|------------------|-----------|----------------------------|-----------|--|
| Upper Cretaceous | Ilam | 100 to 200 | | Yellow Bauxite Red bauxite Pisolitic bauxite Black Bauxite Gray Bauxite White Bauxite Argillitic Bauxite |
| Lower Cretaceous | Sarvak | 12 to 25m 200 to 1000 m | | |

شکل ۳. توالی افقهای بوکسیتی و جایگاه آنها در مرز بین سازندهای ایلام و سروک در منطقه مورد مطالعه.

ریزریخت‌شناسی

بررسی‌های بافتی نمونه‌های مورد مطالعه، نشان‌دهنده بافتهای اوئیدی - پیزولیتی، اوئیدی - اسفروئیدی، پیزولیتی و پلیتومورفیک است. بافتهای پیزولیتی و اوولیتی از فراوانترین بافتهای مشاهده شده در کانسارهای منطقه است. به‌طور کلی خاستگاه پیزولیت‌ها و اوولیت‌ها ممکن است دیاژنتیکی و یا خاکزاد غیر اشباع از آب باشد [۸]. اگر شرایط محیطی و تکتونیک در طی دیاژنز غیر قابل تغییر باقی بماند و رسوب‌گذاری مجدد رخ ندهد، مواد میکروکریستالین، ماتریکس پلیتومورفیک را به‌وجود می‌آورند. تغییر شرایط فیزیکی - شیمیایی در طی دیاژنز به تشکیل پیزولیت‌ها و اوئیدها منجر می‌شود [۱۷]. [۶] منشأ پیزولیت‌ها در بوکسیت‌های پیزولیتی را زون رنگ‌رفته می‌داند که حاوی پیزولیت‌های نیمه‌کروی و نامنظم از اکسی/هیدروکسیدهای آهن است که در ماتریکس رسی قرار گرفته‌اند.

مطالعه افق‌های بوکسیتی منطقه دهدشت بیانگر آن است که اگر چه پیزولیت‌ها کاملاً مشابه همدیگر نیستند اما می‌توان موارد زیر را درباره آنها تعمیم داد: ۱- پیزولیت‌ها شامل هسته‌اند. ۲- برخی از هسته‌ها حاوی قطعاتی از مواد بوکسیتی قبلی هستند. ۳- برخی از پیزولیت‌ها حاوی هسته درونی و هسته بیرونی می‌باشند که هسته بیرونی ترک خورده است. ۴- بیشتر پیزولیت‌ها با دو یا چند کورتکس پوشانده شده‌اند. ۵- در برخی پیزولیت‌ها کورتکس‌ها به‌صورت ناپیوسته، هسته را احاطه کرده‌اند. از روندهای کلی مشاهده شده در ماهیت پیزولیت‌ها در افق‌های بوکسیتی منطقه، می‌توان به کاهش تعداد پیزولیت‌ها و همچنین به افزایش بوهمیت و هماتیت در افق‌های بالایی اشاره کرد که در بسیاری موارد، بوهمیت تشکیل‌دهنده هسته پیزولیت‌ها و اوولیت‌ها می‌باشد.

با بررسی ۱۳۲۵ پیزولیت و اوولیت در کانسارهای منطقه، فراوانی آنها محاسبه و در نمودار شکل ۴ رسم شده است. همان‌طور که در شکل ۴ قابل مشاهده است، یکی از سیمای‌های قابل توجه در بوکسیت‌های مطالعه‌شده، فراوانی ذراتی با قطر ۵۰ تا ۲۰۰ میکرون است. کوچکترین قطر اوولیت‌ها ۲۰ تا ۵۰ میکرون می‌باشد. در بین لایه‌های بوکسیتی، بوکسیت سفید دارای بیشترین اوولیت و بوکسیت پیزولیتی حاوی کمترین اوولیت است. اندازه بزرگترین بعد پیزولیت‌ها تا ۱۸ میلی‌متر می‌رسد اما بیشترین ابعاد ۲۵۰ تا ۳۵۰ میکرون و بیشتر از

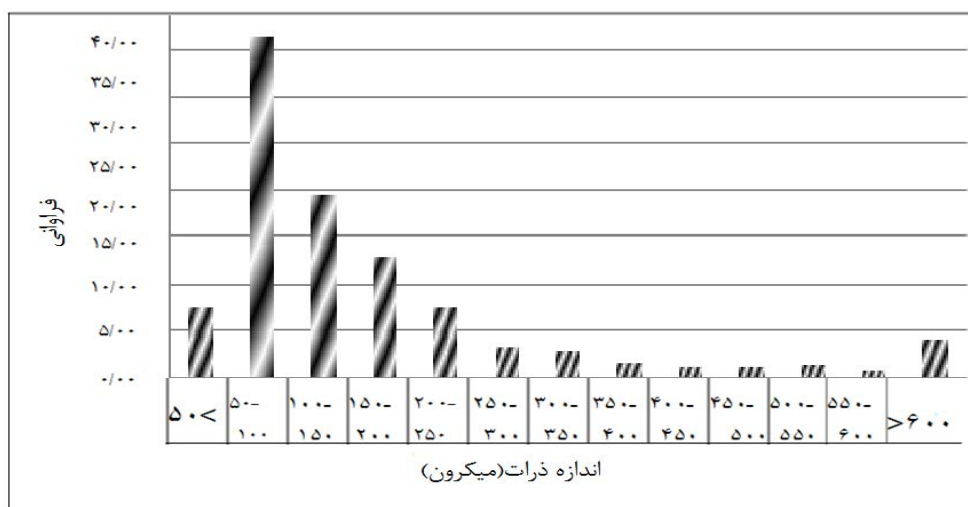
۶۰۰ میکرون است که بوکسیت پیزولیتی حاوی بیشترین تعداد پیزولیت‌هاست. ساختار ساده اوولیت‌ها، زمان کوتاه تشکیل آنها را نشان می‌دهد و بافت پیچیده بعضی پیزولیت‌ها زمان طولانی تشکیل آنها را نشان می‌دهد که ناشی از فرآیندهای متفاوت حمل و نقل آنها می‌باشد.

یکی از مسائل مهمی که در بسیاری از مطالعات کانسارهای بوکسیتی به آن پرداخته شده، مسأله حمل‌ونقل مواد بوکسیتی است. در بسیاری از موارد کانی‌شناسی و زمین‌شیمی ارتباط بین سنگ بستر و بوکسیت‌ها را نشان می‌دهد، اما ساختار درونی پیزولیت‌ها عدم پیوستگی بین این دو را آشکار می‌کند. [۱۸] در بررسی بوکسیت‌های pijiguaos در ونزوئلا نشان داد که بوکسیت از لحاظ بافت و زمین‌شیمی در ارتباط با سنگ بستر می‌باشد، اما بررسی پیزولیت‌ها حاکی از منشأ درجا (اما نه درجای کامل) بود که این امر حمل‌ونقل و تمرکز مجدد مواد بوکسیتی را نشان می‌دهد و [۱۹] در بررسی بوکسیت‌های لاتریتی Brownsberg در سورینام با مشاهده بافت کنگلومرایی شامل انواع مختلف قطعات سنگی و نودول‌ها، منشأ این کانسار را نابرجا دانست. بنابراین با بررسی انواع پیزولیت‌ها با استفاده از میکروسکپ نوری می‌توان تا حدودی به زایش لایه‌های بوکسیتی و فرآیندهای دخیل در تشکیل این لایه‌ها پی‌برد. مطالعات میکروسکوپی صورت‌گرفته حاکی از عدم وجود ذرات غیربوکسیتی در کانسارهای مورد مطالعه بوده است. بعضی از کانسارها دارای پیزولیت‌های شکسته‌شده بیشتری هستند و این مسأله حمل‌ونقل بیشتر مواد را در این کانسارها نشان می‌دهد.

در شکل‌های ۵ الف و ۶ الف پیزولیت‌هایی با هسته ساده در بوکسیت سفید و بوکسیت زرد مشاهده می‌شود که هسته واضح پیزولیت‌ها بیانگر این است که کورتکس‌های این پیزولیت‌ها در اطراف قطعاتی که از قبل (پیزولیت‌های قبلی) وجود داشته رشد کرده‌اند. این نوع پیزولیت‌ها که نشانگر برج بودن لایه بوکسیتی می‌باشند در سایر افق‌های بوکسیتی نیز وجود دارد. در شکل‌های ۵ ب و ۶ ب پیزولیت‌هایی مشاهده می‌شود که کورتکس‌ها فاقد شکستگی شعاعی و دایره‌ای هستند. این پیزولیت‌ها نشانه‌ای از انتقال را نشان نمی‌دهند و وجود شکستگی منظم دایره‌ای در هسته بیرونی، ناشی از اولین مرحله پوسته‌زایی است [۵]. در شکل‌های ۵ پ و ۶ پ قطعات شکسته‌شده پیزولیت، حمل‌شدگی مجدد را نشان

میکرون است، نشان می‌دهد که قطعات قبل از نهشت در ماتریکس نرم، دستخوش حمل‌ونقل شده‌اند. همان‌طور که در شکل ۵ ت دیده می‌شود نودول‌های قرمز تیره به خوبی گرد شده هستند. برخی از آنها مانند پیزولیت واقعی شامل هسته و کورتکس و برخی دیگر فاقد کورتکس می‌باشند که به‌نظر می‌رسد کورتکس اطراف هر پیزولیت قبل از انتقال و نهشت تشکیل شده است. البته این احتمال وجود دارد که از بین رفتن کورتکس‌ها ناشی از فرسایش باشد [۵].

می‌دهد که در فرورفتگیها تجمع پیدا کرده‌اند [۲۰]. بنابراین وجود یک قطعه از پیزولیت در میان سایر پیزولیت‌ها، مبین این است که این پیزولیت به‌صورت درجا تشکیل نمی‌شود. پیزولیت‌هایی که هسته آنها از اجتماعات کروی کوچک تشکیل شده، پیزولیت‌های آلوژن^۱ یا پیزولیت‌های هسته اوولیتی نامیده می‌شوند. حضور این پیزولیت‌ها نشانگر انتقال مواد بوکسیتی است [۲۱]. این نوع پیزولیت‌ها در کنسارهای منطقه (شکل‌های ۵ ت و ۶ ت) قابل مشاهده است. حضور کمپلکسی از قطعات گرد شده که کوچکترین قطر آنها ۲۰



شکل ۴. پراکندگی اندازه ذرات پوسته‌ای با مشاهده ۱۳۲۵ پیزولیت- اوولیت در بوکسیت‌های منطقه.

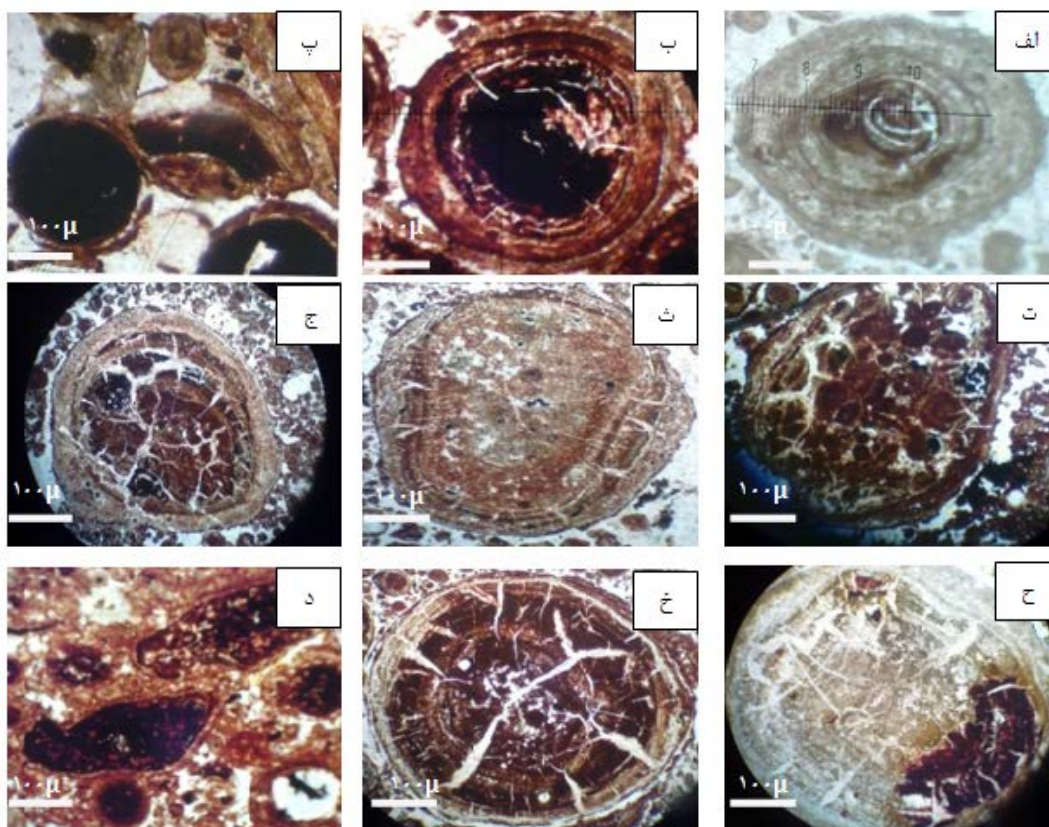
از شکل‌های پیزولیتی قابل توجه در بوکسیت‌های مورد مطالعه، پیزولیت‌های رنگ‌رفته به ویژه در افق بوکسیت زرد است. در بوکسیت‌های زایش دوم هسته با شبکه‌ای غیرمنظم از شکاف‌های شعاعی قطع می‌شود و ضخامت کورتکس‌ها متفاوت است. در شکل‌های ۵ ح و ۶ ح پیزولیت‌هایی مشاهده می‌شود که شامل هسته کمپلکسی است که توسط کورتکس‌های فاقد شکستگی احاطه شده، و به‌طور واضح رنگ‌رفته است. پیچیدگی بافت درونی پیزولیت نشان‌دهنده پیچیدگی تکامل طی مراحل فرسایش، حمل‌ونقل و ته‌نشست است. شکل پیزولیت بیان‌کننده آن است که در ابتدا هسته هموزن در ماتریکس نرم تشکیل شده (در ابتدا هسته و ماتریکس قرمز تیره می‌باشند) سپس طبق فرآیند تجمع، کورتکس‌ها اطراف هسته تشکیل می‌شوند. در طی فرآیند تشکیل کورتکس‌ها، هسته دچار شکستگی شعاعی و یا شکستگی مرکزی می‌شود. وقتی

در شکل‌های ۵ ت و ۶ ت پیزولیت‌هایی مشاهده می‌شود که ناپیوستگی‌هایی در لایه‌های تشکیل‌دهنده هسته دارند که این موضوع نشان‌دهنده حمل‌ونقل و جابه‌جایی مواد بوکسیتی است. هرچند به‌نظر می‌رسد که شکستگی درجا‌زای کورتکس‌ها همراه با هسته، در اثر تغییرات کانی‌شناسی نیز می‌تواند باعث بروز چنین حالتی شود. هسته‌های شکسته‌شده بعضی از پیزولیت‌ها بیانگر این است که یا این قطعات به‌عنوان جایگاهی برای تشکیل کورتکس‌ها عمل کرده‌اند و یا پیزولیت‌ها، زایش مختلف (فرآیندهای پیوسته و نوسانی و یا تخریب) داشته‌اند. هنگامی که پیزولیت‌ها رشد می‌کنند و کانی‌شناسی آنها با شرایط محیطی سازگار می‌شود، ترک‌های زیادی در نتیجه آب‌زدایی در آنها بوجود می‌آید. این قطعات پیزولیت‌ها، پیزولیت‌های جدید و کامل‌تری را تشکیل می‌دهند [۲۱] (شکل‌های ۵ ج و ۶ ج).

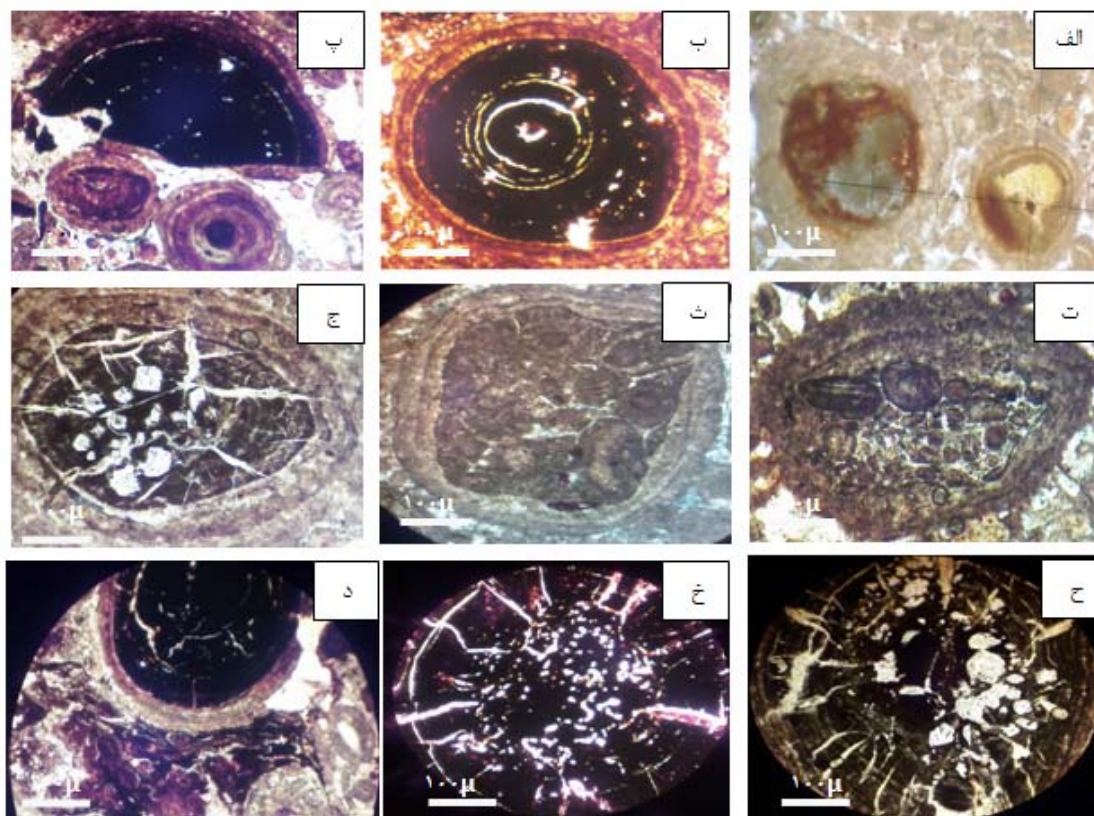
¹ Allogenic

می‌شود. منشأ این خردشدگی را می‌توان ناشی از انقباض ژل دانست که احتمالاً در اثر فرآیندهای دیاژنتیک و اپی‌ژنتیک به‌وجود آمده‌اند و دلایلی بر برجاستا بودن نهشته می‌باشند [۲۲] و توسط مواد مختلفی پر شده‌اند. از مهمترین مواد پرکننده این عوارض سیمان دیاسپوری است. بعضی از پیزولیت‌ها در کانسارهای منطقه حالت کشیده و دمبلی دارند (شکل ۵ د) که نشان‌دهنده تغییر شکل در طی فعالیت تکتونیکی و فشردگی می‌باشند [۲۳]. همچنین فشارهای حاصل از تدفین و فعالیت‌های تکتونیکی موجب تغییر شکلهای شیمیایی شده است. شواهد انحلال همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است، از تغییر شکلهای شیمیایی مهم در این کانسارهاست، که در محیط دیاژنتیکی به‌وجود می‌آید.

پیزولیت‌ها از ماتریکس قبلی آزاد می‌شوند ضمن انتقال به چندین قطعه تقسیم می‌شوند. یکی از قطعات شکسته‌شده در بین ماتریکس دوم قرار می‌گیرد و مجدداً هسته (به‌دنبال تشکیل کورتکس‌های جدید) و همچنین کورتکس‌های قبلی، با ترکهای شعاعی شکسته می‌شوند [۵]. بنابراین، بافت درونی پیزولیت‌ها مراحل تشکیل آنها را نشان می‌دهد. کورتکس‌های بیرونی که ترک خورده نیستند و به آسانی از هسته جدا می‌شوند بیانگر آن هستند که جدیداً به پیزولیت‌ها اضافه شده‌اند [۶]. این اشکال حمل و نقل و نهشت مجدد بوکسیت‌های پیزولیتی و قرمز را نشان می‌دهد. در شکلهای ۵ خ و ۶ خ پیزولیت‌هایی مشاهده می‌شود که به‌شدت خردشده هستند و شکستگی شعاعی در آنها دیده



شکل ۵. تصاویر انواع پیزولیت‌ها در کانسارهای بوکسیتی منطقه. الف) پیزولیتی با قطر ۵۷۰ میکرون با هسته ساده، ب) پیزولیت برجاستا با شکستگی هسته بیرونی با قطر ۵۰۰ میکرون، پ) قطعه شکسته‌شده پیزولیت در میان سایر پیزولیت‌ها، ت) پیزولیتی با قطر بیشتر از ۶۰۰ میکرون با هسته اووئیدی که قطر اووئیدها مختلف و کوچکترین قطر آنها ۲۰ میکرون می‌باشد، ث) پیزولیت هسته کمپلکس با قطر بیش از ۶۰۰ میکرون، ج) پیزولیت هسته شیشه‌ای با قطر ۴۰۰ میکرون، خ) پیزولیت رنگ‌رفته با قطر بیشتر از ۶۰۰ میکرون، د) پیزولیت برجاستا با قطر بیش از ۶۰۰ میکرون و به‌شدت خردشده که توسط سیمان شفاف دیاسپور پر شده است. د) پیزولیت دمبلی شکل که ناشی از تغییر شکل در ضمن فشردگی است.



شکل ۶. تصاویر انواع پیژولیت‌ها در کانسارهای بوکسیتی مورد مطالعه. الف) پیژولیت‌هایی با قطر ۲۵۰ و ۴۰۰ میکرون با هسته ساده، ب) پیژولیت برجا با شکستگی دایره‌ای با قطر ۵۰۰ میکرون، پ) قطعه شکسته شده پیژولیت در میان سایر پیژولیت‌ها، پیژولیتی با قطر ۷۰۰ میکرون با هسته اووئیدی که قطر اووئیدها مختلف و کوچکترین قطر آنها ۲۰ میکرون می‌باشد، ث) پیژولیت هسته کمپلکس با قطر ۷۰۰ میکرون، ج) پیژولیت هسته شیشه‌ای با قطر ۷۰۰ میکرون، ح) پیژولیت رنگ‌رفته با قطر بیشتر از ۷۰۰ میکرون، خ) پیژولیت بر جای با قطر بیش از ۷۰۰ میکرون و به شدت خرد شده که توسط سیمان شفاف دیاسپور پر شده است. د) تشکیل شکلهای انحلالی در محیط دیاژنتیکی.

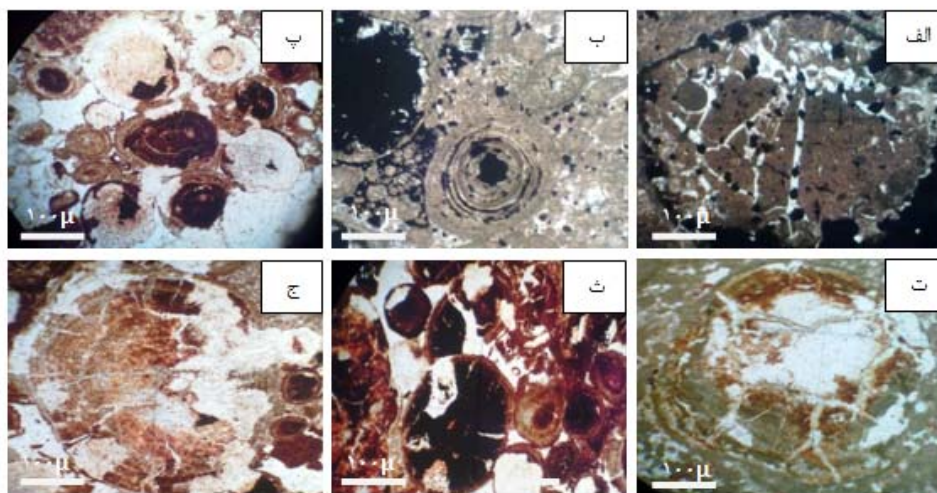
تشکیل کلسیت پرکننده شکاف تشکیل شده‌اند، به نظر می‌رسد این پیریت‌ها در مراحل آخر دیاژنز، در صورتی که پیریت‌های فرامبوئیدال در مراحل اول دیاژنز تشکیل شده‌اند. در مطالعه مقاطع میکروسکوپی بوکسیت خاکستری، ساختارهای نواری از کانی پیریت و بوهمیت قابل مشاهده است (شکل ۷ ب). ساختار نواری پیریت و بوهمیت، نشان‌دهنده تغییر شرایط اکسایش-کاهش در محیط‌های دیاژنتیک است و پیریتی شدن هماتیت را نشان می‌دهد [۲۰]. زایش بوکسیت تا حدی منوط به وجود محیط پایدار تکتونیکی است که این شرایط برای فرآیندهای شست‌وشو و زه‌کشی مساعد می‌باشد. این شرایط با آب و هوای گرمسیری و فعالیت بالای بیولوژیکی شدت پیدا کرده و باعث کاهش Eh و pH کم تا متوسط آب زیرزمینی می‌شود. آهن فریک در محیط‌های هیدرومورفیک که pH اندکی اسیدی (۵-۶) و Eh اندکی

از ویژگیهای بارز رخداد بوکسیتی منطقه که موجب تمایز این بوکسیت‌ها از یکدیگر شده است، افق بوکسیت خاکستری غنی از پیریت می‌باشد. پیریت یکی از کانیهای رایج در بوکسیت‌های کارستی است که وجود آن به فراوانی موادالی، اکسی/هیدروکسیدهای آهن و سولفات بستگی دارد [۲۴] و [۲۵]. اکسیژن ناکافی آبهای منفذی، در محیط غیرهوازی موجب اکسیداسیون موادالی و احیای باکتریایی سولفات و به جانشینی اکسی/هیدروکسیدها با سولفیدهای آهن منجر می‌شوند [۲۵]. در طی مطالعات ریزریخت‌شناسی از بوکسیت خاکستری دو نوع پیریت شناسایی شد: پیریت فرومبوئیدال و پیریت یوهدرال. باکتری‌های احیاکننده سولفات در ارتباط با تشکیل فرومبوئیدها هستند. بافت فرومبوئیدال پیریت همچنین تمرکز بالایی از آهن حل شده را مشخص می‌کند [۲۶]. با توجه به شکل ۷ الف که بلورهای یوهدرال بعد از

بررسی بوکسیت‌های کارستی بوهمیتی ترکیه نیز نشان داد که دیاسپور به صورت اپی‌ژنتیک همراه کلسیت تشکیل می‌شود. از دیگر فرآیندهای اپی‌ژنتیک در کانسارهای مورد مطالعه، فرآیند کائولینیتی شدن می‌باشد. محلولهای غنی از سیلیس باعث سیلیسی شدن مجدد و تشکیل کائولینیت جدید می‌شوند که این فرآیند در شکستگیها و ترکها رخ می‌دهد. محلولها در شکستگیها نفوذ می‌کنند و با ماتریکس و پیزولیتها واکنش می‌دهند [۳۰، ۳۱ و ۳۲] (شکل ۱۱ ت). وقتی که محلولها حاوی بیش از $2/5 \times 10^{-5}$ مول/لیتر سیلیس باشند، کائولینیت از کانیه‌های آلومینیوم دار طبق واکنش زیر به وجود می‌آید [۳۲]:

$Al_2O_3 \cdot H_2O + 2 H_4 SiO_4 = H_4 Al_2 Si_2 O_9 + 3 H_2O$
 [۳۰، ۳۱] با بررسی فرآیندهای کائولینیتی شدن در بوکسیت Vlasenica اظهار داشت که کائولینیتی شدن فرآیند ساده متاسوماتیسم سیلیس نیست، بلکه تحرک مجدد Al را نیز به دنبال دارد. همراهی کائولینیت با دیاسپور در افقهای بوکسیتی منطقه، حاکی از تشکیل دیاسپور حاصل از تحرک مجدد آلومینیوم ضمن فرآیندهای سیلیسی شدن مجدد، می‌باشد. (شکل ۷ ج).

احیایی است، متحرک است. وقتی که فرآیندهای بیولوژیکی فعال باشند، آهن با اسید هومیک شسته می‌شود و به عنوان کمپلکس ارگانومتال (Chelation) تحت Eh پایین انتقال می‌یابد، درحالی که هیدروکسید آلومینیوم غیرقابل حل باقی می‌ماند [۲۷]. فرآیند آب‌شویی آهن، یکی از فرآیندهای اپی‌ژنتیک مهم در کانسارهای منطقه است که موجب غنی‌شدگی آلومینیوم در افقهای بوکسیتی شده است. شدت آهن‌شویی در افقهای مختلف بوکسیتی، متغیر است. به‌طور کلی در فرآیند آهن‌شویی، سیمان‌های بوکسیتی به دلیل نفوذپذیری بیشتر نسبت به آبهای زیرزمینی در ابتدا آب‌شویی می‌شوند، سپس پیزولیتها از خارج به طرف هسته شسته می‌شوند. پیزولیت‌هایی که به‌طور ناقص شسته شده‌اند، هسته قرمز غنی از آهن دارند که با لایه‌های بیرونی کم آهن احاطه شده‌اند [۲۸] (شکل ۷ پ). اجتماعات بلورهای دیاسپور در منافذ (شکل ۷ ت) در بوکسیت‌های سفید آب‌شویی شده، ناشی از آهن‌شویی است [۲۵]. همراهی دیاسپور با کلسیت در شکافهای به‌وجود آمده در پیزولیتها (شکل ۱۱ ت) مبین تشکیل دیاسپور در شرایط اپی‌ژنتیک می‌باشد. [۲۹]

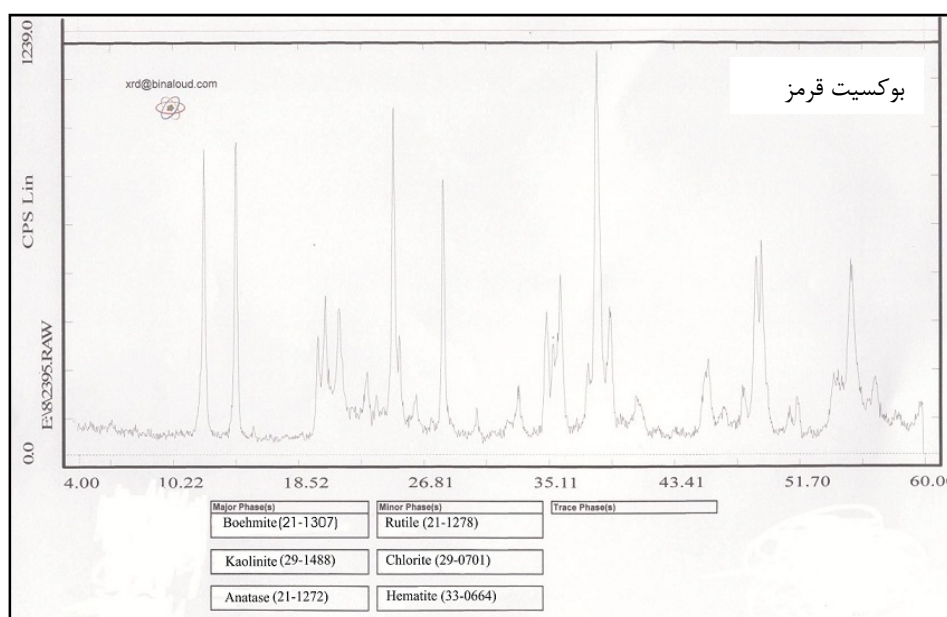
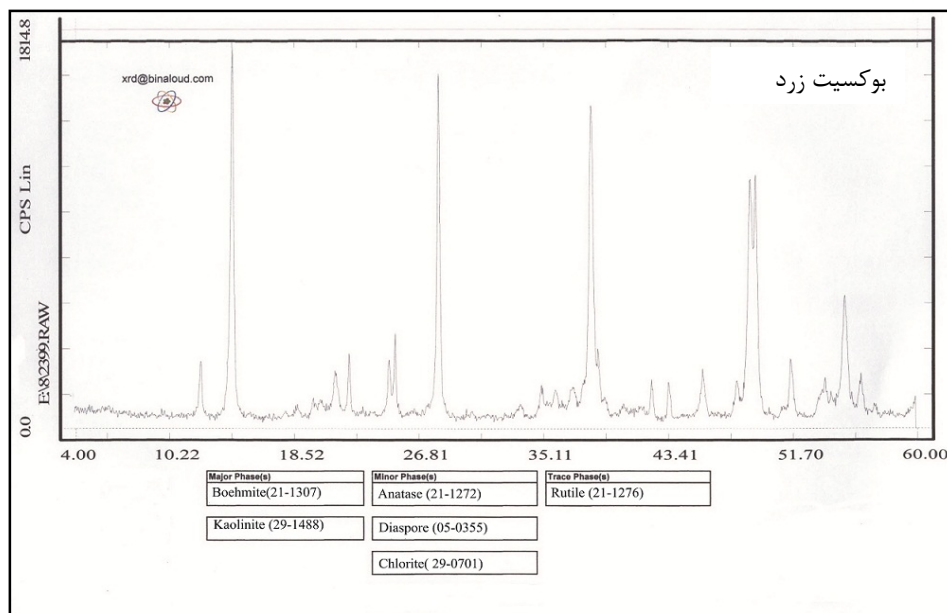


شکل ۷. الف) پیریت یوهدرال در رگه کلسیتی، ب) ساختار نواری پیریت و بوهمیت، پ) پیزولیت‌هایی که در بوکسیت پیزولیتی به‌صورت ناقص آب‌شویی شده‌اند، ت) شکافها به‌عنوان عناصر بافتی در بوکسیت سفید توسط دیاسپور و کلسیت پر شده‌اند. ث) در طی فرآیند سیلیسی شدن مجدد، پیزولیتها با کائولینیت پر شده‌اند. ج) همراهی کائولینیت با دیاسپور، تبلور مجدد آلومینیوم را در محلول نشان می‌دهد.

کانی‌شناسی

(پیزولیتی - خاکستری) نشان‌دهنده تغییر کانی‌شناسی و تغییر محیط رسوب‌گذاری است. در جدول ۱ نتایج آنالیز XRD کمی این دو افق نشان داده شده است. استفاده از نمودار سه متغیره [۳۳] (شکل ۹) نشان می‌دهد که بوکسیت پیزولیتی از نظر درجه تکامل کانیایی به مرحله رسی بوکسیتی و بوکسیت خاکستری به مرحله تشکیل بوکسیت با سیلیس بالا رسیده‌اند.

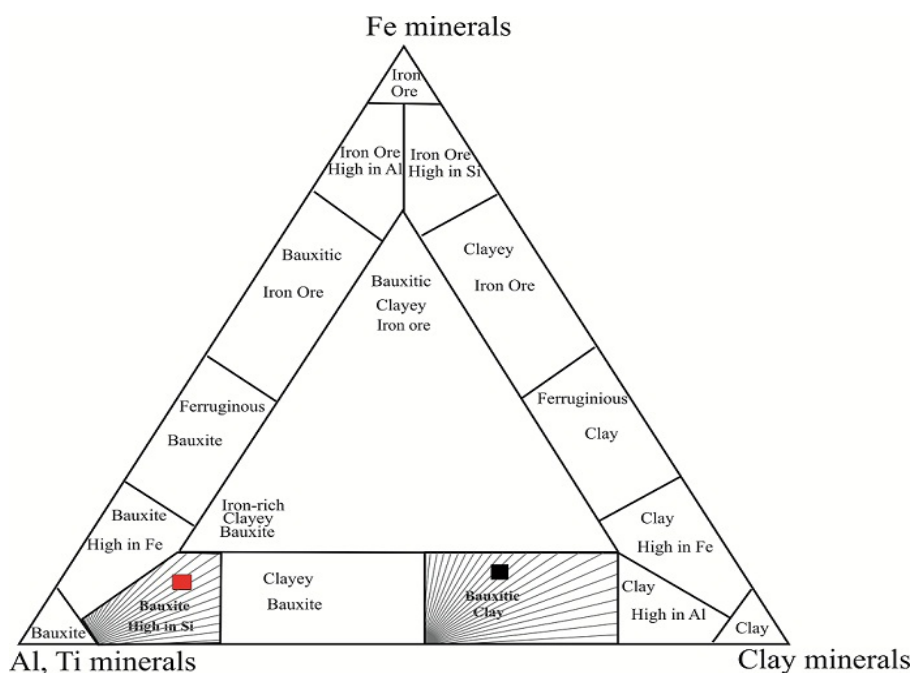
نتایج XRD و مطالعات میکروسکوپی وجود کانیهای بوهمیت، دیاسپور، کلسیت، کائولینیت، آناتاز، روتیل، گوتیت، هماتیت و کلریت را در افقهای بوکسیتی منطقه نشان می‌دهد. در شکل ۸ الگوی پراش XRD برای دو نمونه انتخابی نشان داده شده است. وجود مرزهای مشخص در لایه‌های بوکسیتی



شکل ۸. نتایج تجزیه پراش پرتو X (XRD) از افق بوکسیت زرد در یال شمالی تاقدیس کوه‌سیاه و افق قرمز در یال جنوبی تاقدیس مندان

جدول ۱. نتایج کمی XRD نمونه‌های معرف از کانسار بوکسیتی منطقه (مقادیر به درصد).

| آنتاز | پیریت | هماتیت | کائولینیت | دیاسپور | بوهمیت | رنگ | افق بوکسیتی |
|-------|-------|--------|-----------|---------|--------|----------------|----------------------------|
| ۴ | ۱۰ | - | ۱۶ | ۱۷ | ۵۲ | خاکستری | خاکستری (بال جنوبی مندان) |
| ۱ | - | ۱۳ | ۶۲ | ۲۲ | ۱۲ | قرمز - قهوه‌ای | پیزولیتی (بال جنوبی مندان) |



شکل ۹. موقعیت بوکسیت پیزولیتی و بوکسیت خاکستری کانسارهای مورد مطالعه در نمودار سه متغیره کانیهای آلومینیوم و تیتانیوم دار-کانیهای رسی- کانیهای آهن دار، با توجه به آنالیزهای کمی XRD [۳۳].

در شکل ۹ نشانگر نقش فرآیندهای جان‌شینی کانیهای آلومینیوم دار با سیلیس، در تشکیل کائولینیت افقه‌های بوکسیتی می‌باشد.

ترکیبات کانی‌شناسی افقه‌های بوکسیتی (جدول ۱) نشان‌دهنده نوسانهای شرایط اکسایش و احیایی طی تشکیل افقه‌های بوکسیتی است. مهمترین عامل در تشکیل رنگ قرمز رسوبات، هماتیت است. دو منشأ برای تشکیل هماتیت در نظر گرفته می‌شود: ۱- هماتیت تخریبی برگرفته از خاکهای لاتریتی. ۲- هماتیت اتوژنیک ناشی از تخریب کانیهای آهن دار مانند پیریت [۳۵]. هماتیت مهمترین گروه کانیایی در افق پیزولیتی می‌باشد. هماتیت در pH بیشتر از ۷ و Eh بیشتر از ۰/۲ V نهشت می‌کند و نهشت پیریت در pH بیشتر از ۸ و در Eh کمتر از ۰/۳ V - صورت می‌گیرد [۳۶]. حضور پیریت در

با توجه به ترکیب کانی‌شناسی، تشکیل افقه‌های بوکسیتی منطقه را می‌توان ناشی از بوکسیت‌زایی در جای آلومینوسیلیکات‌ها در حفرات کارستی دانست که به تشکیل بوکسیت بوهمیتی منجر شده است. علی‌رغم بسیاری از مطالعات، پایداری و شرایط تشکیل بوهمیت و دیاسپور و ارتباط زایشی آنها با یکدیگر و با کائولینیت تا حدودی غیر قابل درک می‌باشد. کائولینیت از لحاظ منشأ ممکن است اپی‌ژنتیک، برج‌زا و سین‌ژنتیک باشد [۳۱]. تشکیل کائولینیت در بوکسیت‌های کارستی ممکن است در ارتباط با دو فرآیند باشد: ۱- جان‌شینی اپی‌ژنتیک کانیهای آلومینیوم دار با سیلیس حل شده. ۲- آبرزایی همراه با فرآیندهای دیاژنتیکی، که بوهمیت را به کائولینیت تبدیل می‌کند [۳۴]. ارتباط کائولینیت با دیاسپور و بوهمیت و موقعیت افقه‌های بوکسیتی

آهن و افزایش آلومینیوم در کانسار مندان، نشانگر تفکیک نسبی آهن و آلومینیوم در طی فرآیندهای هوازدگی بوده و همین مسأله موجب شده تا این کانسارها در شمار بوکسیت‌ها قرار گیرند [۴۰].

در طی فرآیندهای هوازدگی و لاتریتی تیتانیوم و آلومینیوم یون‌های هیدرولیز تشکیل و بر روی سنگ مادر هم‌وزن متمرکز می‌شوند [۴۱]. میزان TiO_2 ذخایر بوکسیتی در ارتباط مستقیم با نوع سنگ منشأ است. میانگین TiO_2 در ذخایر بوکسیتی حاصل از گرانیته‌ها در حدود ۰/۵ درصد و در ذخایر حاصل از بازالت‌ها حدود ۴ تا ۵ درصد است [۴۲]. میانگین درصد TiO_2 بوکسیت‌های مورد مطالعه ۲/۲ درصد و ۲/۹ درصد است (جدول ۲). بر این اساس می‌توان دریافت که سنگ منشأ این ذخایر بوکسیتی، نمی‌تواند سنگ آذرین باشد. تغییرات TiO_2/Al_2O_3 برای کانسار مورد مطالعه در شکل ۱۱ نشان داده شده است. خطوط تقریباً مستقیم در نمودار نشانگر هوازدگی بر جازای نهشته می‌باشد. [۴۱] در بررسی بوکسیت‌های Hall و Veneer در گرجستان، تغییرات شدید TiO_2/Al_2O_3 را انتقال مواد بوکسیتی و مخلوط‌شدن چند سنگ منشأ برای بوکسیت‌ها بیان کرد. با توجه به عدم وجود سنگهای آذرین و دگرگونی در منطقه مورد مطالعه و نواحی مجاور آن، تغییرات TiO_2/Al_2O_3 در کانسارهای منطقه را نمی‌توان ناشی از مخلوط‌شدن چند سنگ منشأ دانست، چنانچه در مطالعات قبلی [۱۰] منشأ آلومینیوم برای این نهشته‌ها، خرده‌های رسی موجود در سنگ آهک زیرین بیان شده است، بنابراین این تغییرات را می‌توان ناشی از حمل‌ونقل در سطوح کارستی تلقی کرد.

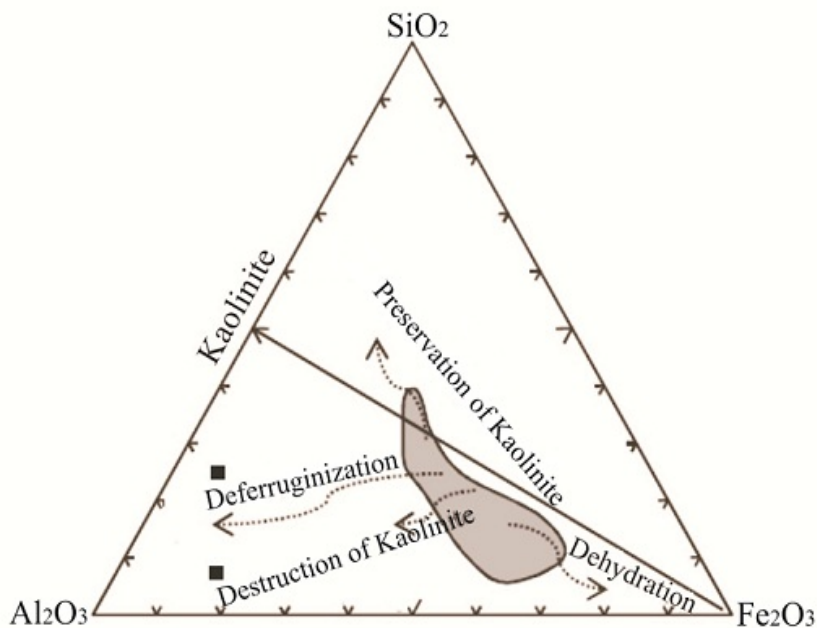
بوکسیت خاکستری گواه این است که در برهه‌ای از زمان، محیط دیاژنتیکی بوکسیت احیایی بوده است. تشکیل هم‌زمان بوهمیت و هماتیت مبین محیط اکسایش و اسیدی ضعیف در بوکسیت پیزولیتی است [۳۷]. در شرایط اکسایشی علاوه‌بر کانیهای ثانویه آهن، کانیهای دیاسپور، بوهمیت، آنتاز و کائولینیت نیز تشکیل شده‌اند. حضور آنتاز نیز در کانسارهای بوکسیتی مبین شرایط احیایی و pH پایین تشکیل کانسارهای بوکسیت کارستی می‌باشد. با توجه به حضور بوهمیت، هماتیت، دیاسپور و پیریت به نظر می‌رسد محیط رسوب‌گذاری/ دیاژنتیکی افقهای بوکسیتی از ودوز تا فراتیک متغیر است [۲۳]. مطالب گفته‌شده در بالا، گویای تغییرات متعدد ترکیب کانی‌شناسی افقهای بوکسیتی در طی تشکیل آنهاست. در این میان، فرآیندهای دیاژنتیک و اپیژنتیک افزون بر تغییر کانیهای اولیه باعث تشکیل کانیهای مختلف نیز شده‌اند [۲۶].

زمین‌شیمی

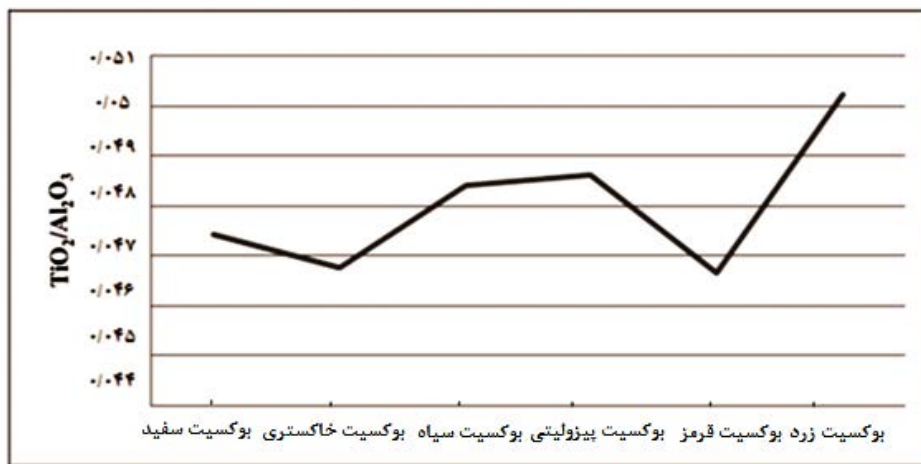
با استفاده از میانگین عناصر اصلی افقهای بوکسیتی منطقه (جدول ۲)، مسیرهای زمین‌شیمی [۳۸ و ۳۹] نشان می‌دهد که فرآیند بوکسیتی‌شدن در بوکسیت‌های منطقه مورد مطالعه، با تخریب کائولینیت و آب‌شویی آهن ادامه پیدا کرده و موجب تمرکز آلومینیوم شده است (شکل ۱۰). با توجه به جدول ۲، با شست‌وشوی شدید SiO_2 در بوکسیت‌های موجود در یال شمالی تاقدیس کوه‌سیاه، میزان Al_2O_3 و Fe_2O_3 افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. با توجه به این ویژگی زمین‌شیمی، این بوکسیت‌ها جز لاتریت‌های اکسیدی و هیدروکسیدی محسوب می‌شوند. از طرف دیگر شست‌وشوی

جدول ۲. ترکیب میانگین اکسیدهای اصلی نمونه‌های بوکسیتی معرف منطقه مورد مطالعه (داده‌ها بر حسب درصد).

| TiO_2 | Fe_2O_3 | Al_2O_3 | SiO_2 | اکسید (اصلی) |
|---------|-----------|-----------|---------|---|
| ۲/۲ | ۱۱/۰۵ | ۴۶/۴۸ | ۱۶/۵ | میانگین بوکسیت در یال جنوبی تاقدیس مندان |
| ۲/۹ | ۱۰/۸۴ | ۶۰/۰۹ | ۵/۸۲ | میانگین بوکسیت در یال شمالی تاقدیس کوه‌سیاه |



شکل ۱۰. نمودار مسیر زمین‌شیمیایی برگرفته از [۳۸] نشان‌دهنده روندهای مختلف فرآیندهای بوکسیتی‌زایی است. در این جا مسیر سایه‌زده شده بیانگر داده‌های منطقه آهن‌دار می‌باشد [۳۹]. نمونه‌های بوکسیتی منطقه تحت تأثیر تخریب کائولینیت و آهن‌زدایی قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۱. نسبت میانگین TiO_2/Al_2O_3 در بوکسیت‌های منطقه مورد مطالعه.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی‌های کانی‌شناسی نشان داد که فرآیندهای بوکسیتی شدن به تشکیل کانیهای بوهمیت، دیاسپور، کلسیت، کائولینیت، آاناتاز، روتیل، گوتیت، هماتیت و کلریت در این نهشته‌ها منجر شده‌اند. در این کنسارها بوکسیتی‌شدن توسط فرآیندهای تخریب کائولینیت و آهن‌زدایی در کنسارها توسعه و موجب تمرکز آلومینیوم شده است. بر اساس نتایج کمی کانیها در این پژوهش، مشخص شد که محیط دیاژنتیک/

رسوبی کنسارهای منطقه از دوز تا فراتیک متغیر است. تشکیل بوهمیت، پیریت و آاناتاز در بوکسیت خاکستری را می‌توان به فرآیندهای دیاژنتیک نسبت داد. همراهی هماتیت و بوهمیت در بوکسیت پیزولیتی مبین شرایط اکسایش در محیط دوز می‌باشد. با توجه به حضور هماتیت و پیریت در افقهای پیزولیتی و خاکستری، می‌توان انتقال کانه‌ها را در افقهای بوکسیتی منطقه در دو مرحله بیان کرد: ۱- احیای آهن فریک به آهن فرس که منجر به تشکیل پیریت با شکل

درج‌ازاست. همراهی این بافتها با پیزولیت‌های شکسته‌شده و فرسایش یافته حاکی از منشأ نیمه‌درج‌ازای این لایه‌های بوکسیتی است. شواهدی از قبیل پیزولیت‌های آلوزن، هسته‌های شیشه‌ای بعضی پیزولیت‌ها، نشان‌دهنده منشأ نابرجا می‌باشند. پیزولیت‌های رنگ‌گرفته در بوکسیت زرد، انتقال مجدد بوکسیت‌های قرمز و پیزولیتی را نشان می‌داد. وجود کورتکس‌های غیر ترک‌خورده در اطراف هسته‌های شکسته‌شده نشان می‌دهد که فرآیند بوکسیتی شدن بعد از حمل‌ونقل در گودال‌های کارستی نیز ادامه دارد. تشکیل شکلهای انحلالی، پیزولیت‌های دملی شکل، آب‌شویی آهن و فرآیند کائولینیتی شدن از جمله تغییرات دیاژنتیک و اپیژنتیکی می‌باشد که بعد از تشکیل این کانسارها روی داده است.

مراجع

- [1] Hao X., Leung K., Wang R., Sun W., Li Y., "The geomicrobiology of bauxite deposits", *Geoscience Frontiers* 1 (2010) 81-89
- [2] Bird M.I., Chivas A.R., "Geomorphic and paleoclimatic implications of an oxygen-isotope chronology for Australian deeply weathered profiles", *Australian Journal of Earth Sciences* 40 (1993) 345-358.
- [3] Bogatyrev B.A., Zhukov V.V., "Tsekhovskiy Yu.G., Phanerozoic Bauxite Epochs", published in *Geologiya Rudnykh Mestorozhdenii* 51 (2009) 508-519.
- [4] Maclean W.H., Bonavia F.F., Sanna G., "Argillite debris converted to bauxite during karst weathering: evidence from immobile element geochemistry at the Olmedo Deposit, Sardinia", 32 (1997) 607-616.
- [5] Delvigne J. E., "Atlas of micromorphology of mineral alteration and weathering", Mineralogical association of Canada (1998) 494p.
- [6] Taylor G., Eggleton R. A., "Genesis of pisoliths and of the Weipa Bauxite deposit, northern Australia", *Australian Journal of Earth Sciences* 55 (2008) S87-S103.
- [7] Mongelli, G., "Growth of hematite and boehmite in concretions from ancient karst bauxite: clue for past climate", *Catena* 50 (2002) 43-51.
- [8] Mongelli G., Acquafredda P., "Ferruginous concretions in a Late Cretaceous karst bauxite: composition and conditions of formation", *Chemical Geology* 158 (1999) 315-320.

و اندازه‌های مختلف می‌شود. ۲- اکسیداسیون پیریت در شرایط سطحی که منجر به تشکیل اکسیدهای آهن می‌شود. بنابراین می‌توان بر اساس آهن غالب (فروس یا فریک) افقهای بوکسیتی منطقه را به بوکسیت فریک (پیزولیتی) و بوکسیت فروس (خاکستری) تقسیم‌بندی کرد. طبق نتایج کمی کانیها، ارتباط کائولینیت با دیاسپور و بوهمیت نشانگر نقش فرآیندهای جاننشینی کانیهای آلومینیوم‌دار با سیلیس در خلال تشکیل کائولینیت در افقهای بوکسیتی است. در طی این فرآیند آبهای زیرزمینی نفوذی به کانسار که غنی از سیلیس و دارای pH اسیدی بوده‌اند، موجب ترکیب شدن سیلیس محلول با کانیهای آلومینیوم‌دار شده و بدین ترتیب باعث سیلیسی شدن مجدد افقهای بوکسیتی شده است. در افق پیزولیتی شدت سیلیسی شدن آن قدر شدید بوده که منجر به تبدیل بوکسیت به رس بوکسیتی شده است. از آنجایی که کائولینیتی شدن تنها محدود به فرآیند متاسوماتیسم سیلیس نمی‌باشد و با تحرک مجدد آلومینیوم در محلول همراه است، می‌توان نتیجه گرفت بوهمیتی شدن و دیاسپوری شدن نیز، در این افقها رخ داده است. مطالب گفته شده در بالا، گویای تغییرات متعدد ترکیب کانی‌شناسی افقهای بوکسیتی در طی تشکیل آنها است. در این میان فرآیندهای دیاژنتیک و اپیژنتیک افزون بر تغییر کانی‌های اولیه باعث تشکیل کانیهای مختلف نیز شده‌اند. بنابراین می‌توان گفت کانیهای موجود در کانسارهای بوکسیت منطقه دهدشت طی سه مرحله هوازگی، دیاژنتیک و اپیژنتیک تشکیل شده‌اند. با توجه به فراوانی ذرات پوشش‌دار، بررسی پیزولیت‌ها با مطالعات میکروسکوپی و همچنین نمودار تغییرات TiO_2/Al_2O_3 مشخص شد که در بعضی کانسارها زمان تشکیل بوکسیت طولانی‌تر بوده است. تلفیق بررسی ریزریخت‌شناسی و TiO_2/Al_2O_3 نشان‌دهنده انتقال مواد اولیه بوکسیتی در فاصله کم می‌باشد. از لحاظ زمین‌شیمی کانسارها در ارتباط با سنگ بستر آهک کارستی می‌باشند اما شکلهای پیزولیتی حاکی از سه منشأ درجا، نیمه‌درجا و نابرجا برای بوکسیت‌های کارستی منطقه دهدشت است. پیزولیت‌های نسل اول و دوم در این کانسارها به خوبی قابل‌مشاهده است. ماتریکس پلیتومورفیک، تشکیل سیمان، پیزولیت‌های با هسته ساده و پیزولیت‌هایی با شکستگی دایره‌ای در هسته که دارای کورتکس‌های غیر ترک خورده می‌باشند، نشانگر منشأ

- (Suriname)", Bulletin de la Socié'te' Belge de Ge'ologie 106 (1997) 117-126.
- [20] Öztürk H., Hein J.R., Hanilci N., "Genesis of the Dog'ankuzu and Mortas, Bauxite Deposits, Taurides, Turkey: Separation of Al, Fe, and Mn and Implications for Passive Margin Metallogeny", Economic Geology 97 (2002) 1063-1077.
- [21] Taylor G., Eggleton, T., "The origin of the Weipa bauxite", In: Roach, I.C. (ed). Regolith. CRC LEME (2004) 350-354.
- [۲۲] رحیم‌پور بناب ح., اسماعیلی د., "پتروگرافی و ژئوبوکسیت جاجرم", مجله علوم دانشگاه تهران، جلد ۳۳، شماره ۱ (۱۳۸۶) ص ۱۰۷-۱۲۳.
- [23] Liu X., Wang Q., Deng J., Zhang Q., Sun S., Meng J., "Mineralogical and geochemical investigations of the Dajia Salento-type bauxite deposits, western Guangxi, China", Journal of Geochemical Exploration 105 (2010) 137-152.
- [24] Laskou M., Economou-Eliopoulos M., "The role of microorganisms on the mineralogical and geochemical characteristics of the Parnassos-Ghiona bauxite deposits, Greece", Journal of Geochemical Exploration 93 (2007) 67-77.
- [25] Kalaitzidis S., Siavalas G., Skarpelis N., Araujo V.C., Christa k., "Late Cretaceous coal overlying Karstic bauxite deposits in the Parnassus- Ghiona unit, Central Greece: caol characteristics and depositional environment". International Journal of Coal Geology 81 (2010) 211-226.
- [26] Laskou M., "Pyrite-rich bauxite from the Parnassos-Ghiona zone, Greece", In: Mao et al. (eds), 8th SGA Meeting, Mineral Deposits Research Meeting the Global Challenge Beijing (2005) 1007-1010.
- [27] Ferenczi P., "Iron Ore, manganese and bauxite deposits of the Northern Territory", Northern Territory Geological Survey, Report 13 (2001).
- [28] White A.H., "Genesis of Low Iron Bauxite, Northeastern Cape York, Queensland Australia", Economic geology 71 (1976) 1526-1532.
- [29] zlü N., "New facts on diaspore genesis in the Akseki-Seydesehir bauxie deposit", (Western Taurus, Turkey): Travaux du ICSOBA 14-15 (1985) 53-62.
- [30] Dangić A., "Kaolinization of bauxite: A study in the Vlasenica bauxite area Yugoslavia I. alteration of matrix", Clays and Clay minerals 33 (1985) 517- 524.
- [9] Zarasvandi A., CHarchi A., Karranza E.J.M., Alizadeh B., "Karst bauxite deposits in the Zagros Mountain Belt, Iran", Geology Reviews 34 (2008) 521-53.
- [10] Zarasvandi A., Zamanian H., Hejazi E., "Immobile elements and mass changes geochemistry at Sar-Faryab bauxite deposit, Zagros Mountains, Iran", Journal of Geochemical Exploration 107 (2010) 77-85.
- [11] Zarasvandi A., Carranza E.J.M., Salamab Ellahi S., "Geological, Geochemical and Mineralogical characteristics of the Mandan and Deh-Now bauxite deposits, Zagros Fold Belt, Iran", Ore Geology Reviews (2012) in press.
- [12] "Dehdasht geological compilayion map, 1: 100000", Iranian Oil Operating Companies (1973).
- [۱۳] زراسوندی ع., "بررسی زمین‌شناسی و ژئوشیمی اندیس‌های بوکسیتی کرتاسه در استان کهگیلویه و بویر احمد", دانشگاه شهیدچمران اهواز- طرح پژوهشی، شماره طرح ۶۲۸، (۱۳۸۷) ۹۷ ص.
- [14] Hajikazemi E., Al-Aasm I.S., Coniglio M., "Subaerial exposure and meteoric diagenesis of the cenomanian-Turonian Upper Sarvak Formation, southwestern Iran", Geological Society, of London 330 (2010) 253-272.
- [15] Alavi M., "Regional stratigraphy of the Zagros fold-Thrust belt of Iran and its proforeland evolution", American Journal of Science 304 (2004) 1-20.
- [۱۶] زراسوندی ع., پورکاسب ه., ساکی ع., سلامب اللهی س., "بررسی شرایط نهشت، محیط رسوبی و تعیین زایش افق بوکسیتی در کانسارهای مندان و دهنو، منطقه دهدشت، استان کهگیلویه و بویر احمد با استفاده از مطالعات کانی‌شناختی", مجله زمین‌شناسی اقتصادی جلد ۳، شماره ۱ (۱۳۹۰) ص ۱-۱۳.
- [17] Solymar K., Madai F., Papanastassiou D., "Effect of Bauxite microstructure on beneficiation and processing. Light Metals", Edited by Halvor Kvande TMS (The Minerals, Metals & Materials Society) (2005) 47-52.
- [18] Meyer F.M., Happel U., Haunsberg J., Wiechowski A., "The geometry and anatomy of the Los Pijiguaos bauxite deposit, Venezuela", Ore Geology Reviews 20 (2002) 27-54.
- [19] Eeckhout S., "Lithology and weathering of the Palaeoproterozoic rocks of Brownsberg

- [۳۷] امینی ل.، شمعانیان غ.ح.، رقیمی م.، جعفرزاده ر.، "بررسی‌های کانی‌شناسی، زمین‌شیمیایی و پیدایشی کانسار بوکسیت کارستی جاجرم، شمال شرق ایران"، مجله بلور و کانی‌شناسی ایران، جلد ۱۹، شماره ۳ (۱۳۹۰) ص ۴۱۳-۴۲۶.
- [38] Beauvais A., "Palaeoclimats et dynamique d'un paysage cuirasee du centrafreque. Morphologie et geochimie". Thesis, University Poitiers (1991) 315p.
- [39] Tardy Y., "Petrology of laterites and tropical soils". Oxford and IBH publishing Co.Pvt.Ltd (1997) 408p.
- [40] Nortom S. A., "Laterite and bauxite formation", Econ.Geol.,v (1973) 352-361.
- [41] Ayourinde A. O., "Mineralogy and geochemistry of the bauxite deposits (Cretaceous) Wilkinson County, Georgia", Geosciences theses. in the college of arts and sciences Georgia Staty University (2011).
- [۴۲] طورچی م.، کامکار ع.، "ویژگی‌های کانی‌شناسی-ژئوشیمی و نتیجه کانسار بوکسیت بلبلوئیته در کرمان"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، جلد ۹ شماره ۲ (۱۳۸۰) ص ۹۳-۱۰۴.
- [31] Dangić A., "Kaolinization of bauxite: A study in the Vlasenica bauxite area Yougoslavia II. alteration of oolites", Clays and Clay minerals 36 (1988) 439- 447.
- [32] Oggiano G., Mameli P., "The bauxite of North-Western Sardinia", Rendiconti Seminario Facoltà Scienze Università Cagliari Supplemento71 (2001) 59-73.
- [33] Valetton I., "Bauxites", Elsevier Publishing Company, Amsterdam (1972) 226p.
- [34] Karadage M.M., Kupeli S., Aryk S., Ayhan A., Zedef v., DÖyn A., "Rare earthelement(REE) geochemistry and genetic implications of the Mortas- bauxite deposit(Seydis-ehir/Konya – SouthernTurkey)" Chemie der Erde 69 (2009) 143-159.
- [35] Cai Y., Li X., Hu X., Chen X., Pan y., "Paleoclimatic approach to the origin of the coloring of Turonian pelagic limestones from the Vispi Quarry section (Cretaceous, central Italy). Cretaceous Research 30 (2009) 1205-1216.
- [36] Temur S., Kansun G., "Geology and petrography of the Masatdagi diasporic bauxites, Alanya,Antalya turkey", Journal of Asian Earth sciences 27 (2006) 512-522.