



تجزیه و تحلیل عناصر بافتی در بوکسیت‌های کارستی جاجرم: ترکیب و شرایط تشکیل

الهام حبیب‌زاده، غلامحسین شمعانیان*، هادی عمرانی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان

دریافت مقاله: 1392/1/28، پذیرش: 1392/5/7

چکیده

کانسار بوکسیت کارستی جاجرم در 175 کیلومتری جنوب‌غرب بجنورد واقع شده است. این کانسار به شکل یک افق چینه‌سان بین دولومیت‌های تریاس و شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک تشکیل شده است. در این تحقیق، عناصر بافتی بوکسیت‌های جاجرم بر پایه معیارهای ریخت‌شناسی و پیدایشی به عناصر بافتی زمینه و متمایز تقسیم شد. بافتهای پلیتومورفیک و میکروگرانولار از فراوانترین عناصر بافتی زمینه و اوئیدها، پیزوئیدها، پلت‌ها و رخ‌دادهای ثانویه از مهمترین عناصر بافتی متمایز می‌باشند. تجزیه و تحلیل‌های بافتی نشانگر هر دو خاستگاه برج‌ازا و نابرج‌ازا برای بوکسیت‌های جاجرم است. در مطالعات دقیق پتروگرافی دو نوع اوئید و پیزوئید بر مبنای ویژگیهای ریختی و انتظام لامینه‌ها شناسایی شد. نوع A با لامینه‌های نازک، منظم و پیوسته مشخص می‌شود، در حالی که نوع B دارای لامینه‌های ضخیم، نامنظم و ناپیوسته است. اوئیدها و پیزوئیدها به‌طور عمده از تناوبی از لامینه‌های کائولینیت-هماتیت و دیاسپور-گوتیت تشکیل شده‌اند که به سمت لامینه‌های بیرونی بر مقدار Al_2O_3 افزوده می‌شود. تناوب بسیار ظریف این لامینه‌ها در اوئیدها و پیزوئیدها نشانگر نوسانات اقلیمی در فصول خشک و مرطوب است. عناصر بافتی ثانویه به‌طور عمده دارای تظاهر رگه‌چه‌ای بوده و غنی از SiO_2 و Al_2O_3 می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: عناصر بافتی، اوئید، پیزوئید، نوسانات اقلیمی، بوکسیت کارستی، جاجرم.

مقدمه

بوکسیت‌ها و تعیین ویژگیهای میکروکانی‌شناسی و میکروشیمیایی آنها دارای کاربرد زیادی در بازسازی شرایط دیرینه محیطی و دیرینه اقلیمی است [8، 10 و 11]. براساس [12] عناصر بافتی بوکسیت‌ها را می‌توان به دو دسته اصلی زمینه و متمایز تفکیک کرد. اوئیدها و پیزوئیدها از مهمترین عناصر بافتی متمایزند که به‌دلیل تغییرات متناوب کانی‌شناسی و شیمیایی دارای ساختار هم‌مرکز می‌باشند و می‌توانند تغییرات دوره‌ای محیطی و اقلیمی را به نمایش بگذارند [13]. چگونگی تظاهر اوئیدها و پیزوئیدها و نیز تعداد و جنس هسته‌ها و لامینه‌های آنها از تنوع و پیچیدگیهای زیادی برخوردار است که طبقه‌بندی و تفسیر آنها را با دشواریهای فراوان روبه‌رو می‌سازد.

هدف اصلی این مقاله، توصیف و طبقه‌بندی عناصر بافتی به ویژه اوئیدها و پیزوئیدهای بوکسیت‌های جاجرم بر پایه

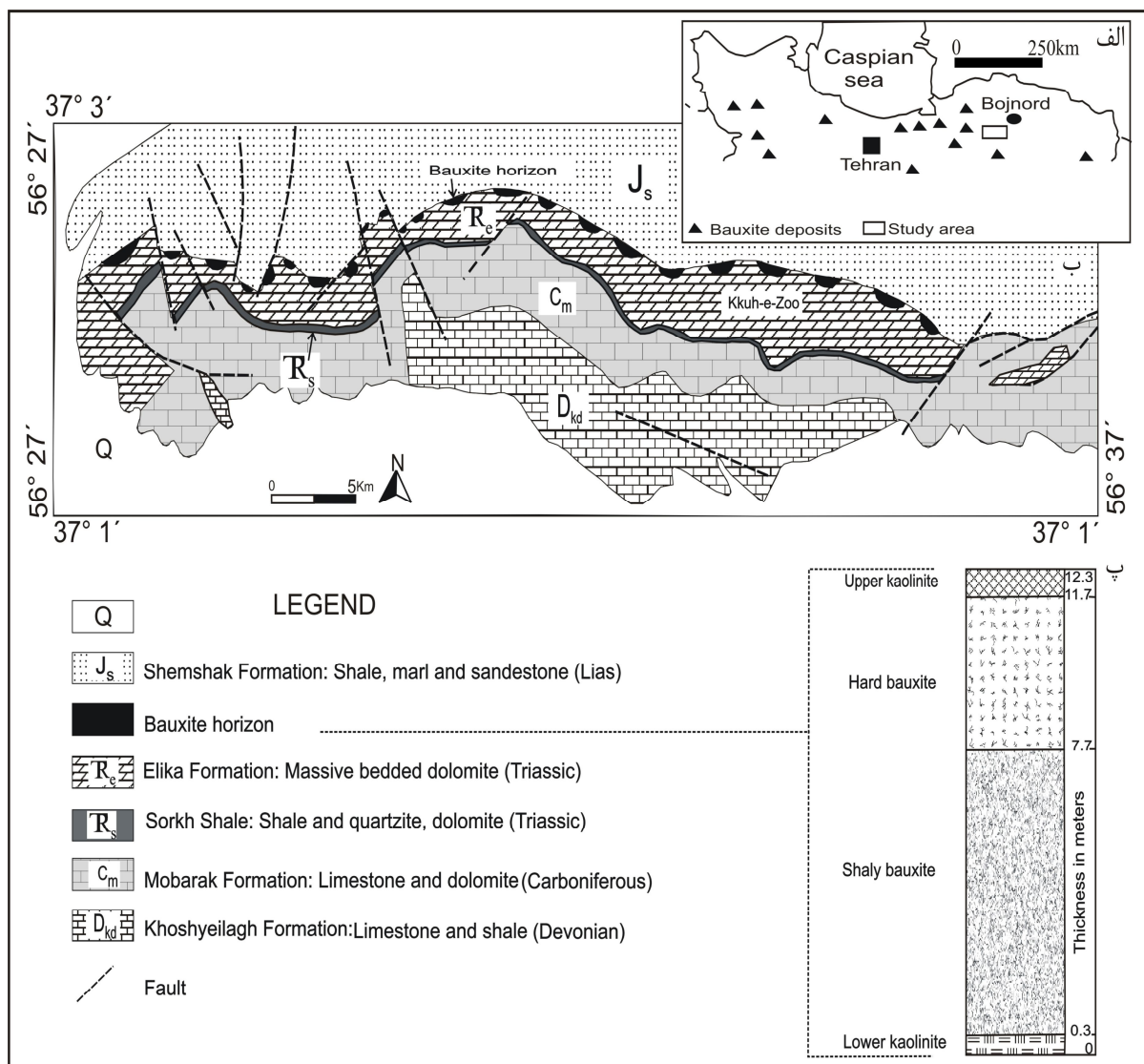
بوکسیت یکی از منابع اصلی آلومینیم است که بر اثر فرآیندهای هوازدگی شیمیایی و فرسایش عناصر قلیایی، قلیایی خاکی و سیلیکا در شرایط سطحی قاره‌ای در دمای $25^{\circ}C$ و در آب و هوای گرم و مرطوب با میزان بارش بیش از 1800 میلی‌متر در سال تشکیل می‌شود [1 و 2]. بنابراین، بوکسیت‌ها به‌دلیل ثبت رویدادهای اقلیمی، زیستی و خاک‌زایی [3] می‌توانند به‌عنوان یکی از شاخصهای مناسب در بازسازی نقشه‌های دیرینه اقلیم و اظهارنظر درباره شرایط محیطی به کار روند [4، 5 و 6].

مطالعات کانی‌شناسی و تجزیه شیمیایی سنگ‌کل یکی از روشهای مرسوم در مطالعه کانسنگ‌های بوکسیتی است که برای بررسی فرآیندهای بوکسیتی‌شدن و تعیین سنگ منشأ کاربرد دارد [7، 8 و 9]. علاوه بر این، بررسی عناصر بافتی

روش مطالعه

برای انجام این پژوهش، مطالعات در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شد. در بخش صحرایی تغییرات بافتی و کانی‌شناسی افق بوکسیتی در نیمرخهای عمود بر لایه بررسی شد و از هر بخش نمونه‌برداری به‌عمل آمد. در بخش آزمایشگاهی 53 مقطع نازک- صیقلی به روشهای مرسوم میکروسکوپی بررسی شد و کلیه عناصر بافتی و کانیهای قابل تشخیص، شناسایی و طبقه‌بندی گردید. علاوه بر این برای شناسایی کانیهای مجهول از روش پراش پرتو ایکس (XRD) استفاده شد.

مطالعات میکروکانی‌شناسی و میکروشیمیایی و به‌کارگیری نتایج آن در تفسیرهای محیطی و دیرینه اقلیمی است. کانسار بوکسیت کارستی جاجرم با موقعیت جغرافیائی $37^{\circ} 2'$ طول شرقی و $56^{\circ} 30'$ عرض شمالی در فاصله 175 کیلومتری جنوب‌غرب شهرستان بجنورد (شکل 1 الف) و در بخش شرقی کمربند بوکسیتی ایران- هیمالیا واقع شده است. این کانسار دارای گسترش طولی 16 کیلومتر و ضخامت 1 تا 40 متر است [14 و 15] که برخی از ویژگیهای زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمی آن توسط محققان مختلف بررسی شده است [9، 16 و 17].



شکل 1. الف) موقعیت جغرافیایی کانسار بوکسیت جاجرم (مستطیل تو خالی) در شمال ایران. موقعیت سایر نهشته‌های بوکسیتی با ستاره توپر نشان داده شده است. ب) نقشه زمین‌شناسی ساده شده کانسار بوکسیت جاجرم، نقشه پایه از [17]. پ) واحدهای اصلی افق بوکسیتی در یکی از نیمرخهای مورد مطالعه.

سنگ چینه‌ای رخنمون‌یافته در محدوده کانسار است که توسط سنگ آهکها و دولومیت‌های سازند مبارک (C_m) با سن کربنیفر پوشیده شده است (شکل 1 ب). بر روی این سازند، تناوبی از شیل، دولومیت و کوارتزیت‌های منتسب به سازند سرخ‌شیل با ضخامت کم قرار دارد [17] که در یک محیط کم‌عمق نهشته شده‌اند [19]. بر روی سازند سرخ‌شیل، دولومیت‌های توده‌ای سازند الیکا با سن تریاس زیرین تا میانی قرار گرفته که حفره‌های کارستی آن توسط بوکسیت پر شده است. ماسه‌سنگها و شیل‌های سازند شمشک (J_s) با سن ژوراسیک تحتانی جوانترین واحدهای سنگ‌چینه‌ای محدوده کانسار است که بر روی افق بوکسیتی قرار گرفته‌اند.

توصیف ماده معدنی

افق بوکسیتی مورد مطالعه به‌طور عمده شامل توده‌های عدسی شکل و گاه لایه‌ای با امتداد عمومی شرقی - غربی است که در بین دولومیت‌های سازند الیکا با سن تریاس زیرین و شیل و ماسه‌سنگهای سازند شمشک با سن ژوراسیک تحتانی قرار گرفته است. مرز این افق با دولومیت‌های سنگ‌بستر موج‌سان و با شیل و ماسه‌سنگهای سنگ پوشش منظم است. افق بوکسیتی بر مبنای ویژگی‌های کانی‌شناسی و بافتی به چهار واحد اصلی شامل کائولینیت پایینی، بوکسیت شیلی، بوکسیت سخت و کائولینیت بالایی تفکیک شده‌اند (شکل 1 پ) [16]. واحد کائولینیت پایینی دارای ضخامت 25 تا 150 سانتی‌متر است و از کانیهای دیکیت، ایلیت و کائولینیت تشکیل یافته است (جدول 1).

تعیین غلظت عناصر و چگونگی تغییرات آنها و نیز بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی در هر یک از عناصر بافتی با استفاده از میکروسکپ الکترونی روبشی¹ (SEM) مدل LEO1400 در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران و نیز به‌روش XPM² و با استفاده از دستگاه مدل XGT-720 در آزمایشگاه تحقیقاتی شرکت کانساران بینالود انجام گرفت. در روش اخیر، تجزیه شیمیایی نقاط توسط پرتو اشعه ایکس به ضخامت 10 تا 100 میکرون انجام می‌شود و قادر به اندازه‌گیری عناصر در محدوده سدیم تا اورانیوم با دقت 0/01 درصد است. با توجه به شناسایی اوئیدها، پیزوئیدها و پلت‌ها به‌عنوان مهمترین عناصر بافتی در نمونه‌های مورد مطالعه، بررسی‌های تجزیه شیمیایی به‌طور عمده بر این عناصر بافتی متمرکز شد. به‌منظور تکمیل این بررسی‌ها، تعدادی از عناصر بافتی دیرزاد از قبیل رگه‌چه‌ها، آکندگیها و پوششها نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

بحث و بررسی

زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه، از نظر زمین‌شناسی در مرز بین حوضه‌های زمین‌ساختی - رسوبی البرز شرقی، کپه‌داغ و شرق ایران قرار گرفته است [17]. این منطقه از نظر زمین‌ساختی بسیار پرتکاپو بوده که با حضور چینها و گسلهای متعدد مشخص می‌شود [18]. تاقدیس زو با ارتفاع 1800 متر از سطح دریا یکی از چینهای منطقه است که کانسار بوکسیتی جاجرم در یال شمالی آن قرار دارد. سنگ آهکها و شیل‌های سازند خوش‌خیلاق (D_{kd}) با سن دونین، قدیمی‌ترین واحد

جدول 1. مهمترین کانیهای شناسایی شده در واحدهای اصلی افق بوکسیتی جاجرم به‌روش پراش پرتو ایکس (XRD)

نام واحد	کانیهای اصلی	کانیهای فرعی
کائولینیت بالایی	کائولینیت، دیکیت	دیاسپور، آاناتاز، کوارتز، هماتیت
بوکسیت سخت	دیاسپور، آاناتاز، شاموزیت	هماتیت، گوتیت، مگهمیت، کلسیت، پیریت
بوکسیت شیلی	هماتیت، دیاسپور، آاناتاز، دیکیت	هماتیت، گوتیت، مگهمیت، کلسیت، پیریت
کائولینیت پایینی	کائولینیت، دیکیت	کراندلیت، هالوئیزیت، هماتیت، کوارتز

واحد بوکسیت سخت با ضخامت 2 تا 30 متر حاوی مقادیر بالایی از کانیهای آلومینیم‌دار به‌ویژه دیاسپور بوده و دارای بیشترین اهمیت اقتصادی است. هماتیت، شاموزیت و آاناتاز

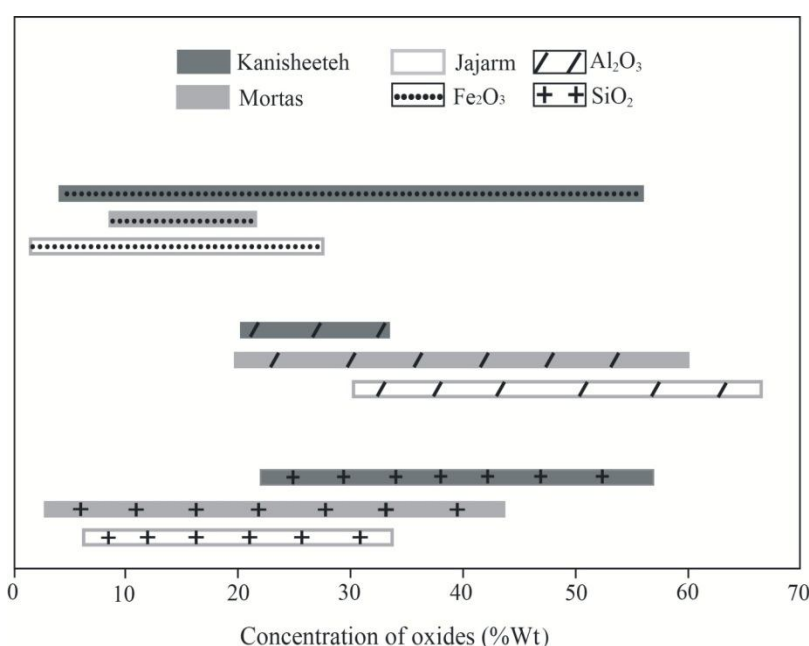
بوکسیت شیلی با ضخامت 3 تا 5 متر بر روی واحد کائولینیت پایینی قرار گرفته و به‌طور عمده حاوی کانیهای هماتیت و دیکیت و به مقدار کمتر دیاسپور، آاناتاز و کراندلیت است.

1- Scanning electron microprobe

2- X-ray probe microanalysis

مطالعه با دو کانسار بوکسیتی واقع در کمربند بوکسیتی ایران - هیمالیا شامل کانسار کانیشیته در شمال غرب بوکان [20] و کانسار مورتاز در جنوب ترکیه [21] نشانگر غلظت بالاتر Al_2O_3 در بوکسیت‌های جاجرم است (شکل 2). از طرفی، نسبت درصد وزنی Al_2O_3 به SiO_2 که به مدول موسوم است و به عنوان شاخص کیفیت در کانسارهای بوکسیتی مورد استفاده قرار می‌گیرد، از $2/95$ تا $7/22$ در کانسار جاجرم در تغییر است که دلالت بر کیفیت مناسب بوکسیت‌های جاجرم دارد [9].

سایر کانیهای اصلی شناسایی شده در این واحد می‌باشند. کائولینیت بالایی دارای ترکیب کانی‌شناسی کم و بیش مشابه با کائولینیت پایینی است که با ضخامت 25 تا 75 سانتی‌متر در بالاترین بخش عدسیهای بوکسیتی قرار گرفته است. بررسی نتایج تجزیه شیمیایی کل کانسنگ بوکسیتی جاجرم [9] نشان می‌دهد که مقادیر Al_2O_3 ، Fe_2O_3 و SiO_2 به ترتیب از $30/09$ تا $66/24$ درصد برای Al_2O_3 ، $1/62$ تا $28/8$ درصد برای Fe_2O_3 و $5/69$ تا $43/48$ درصد برای SiO_2 در تغییر است. مقایسه غلظت این اکسیدها در نمونه‌های مورد



شکل 2. تغییرات غلظت اکسیدهای Al_2O_3 ، Fe_2O_3 و SiO_2 در کانسار بوکسیت جاجرم [9] و مقایسه آن با کانسارهای کانیشیته [20] و مورتاز [21].

دیاژنتیک بوده و از شواهد برج‌آب‌بودن بوکسیت محسوب می‌شوند [12].

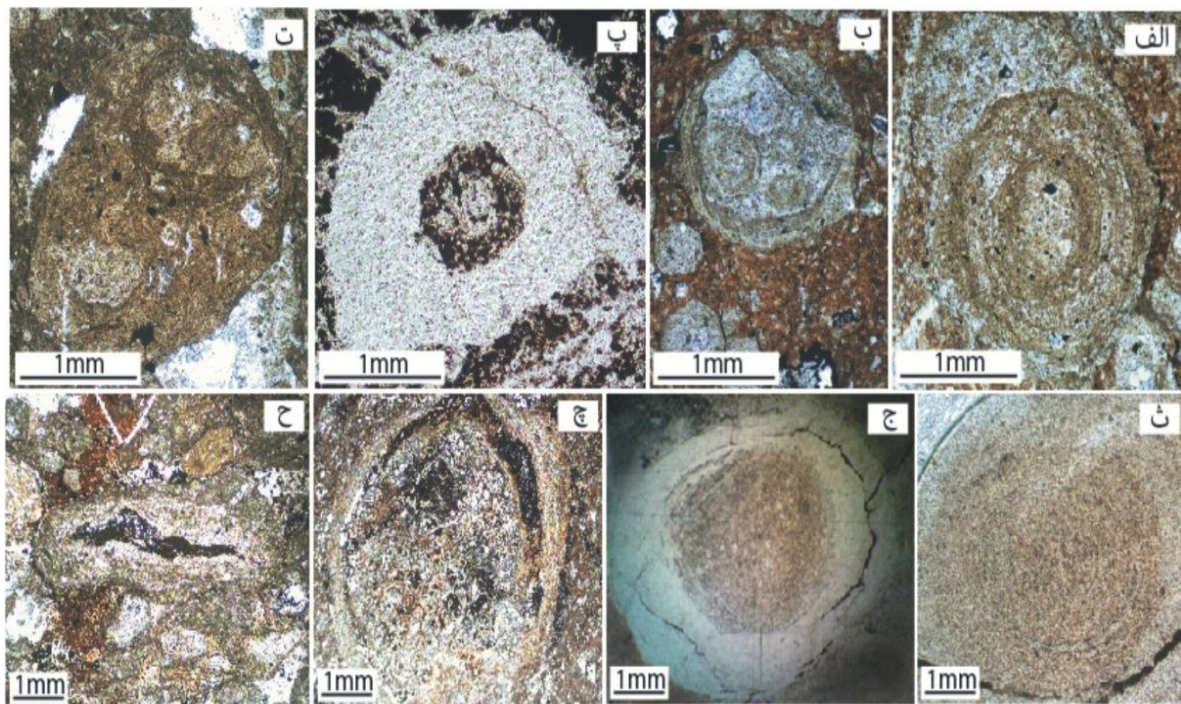
عناصر بافتی متمایز به‌طور عمده شامل عناصر بافتی هم مرکز، پلت‌ها و رخ‌دادهای ثانویه است [12]. اووئیدها و پیروئیدها از عناصر بافتی هم مرکز می‌باشند که از لامینه‌های متناوب با یک یا چند هسته مرکزی تشکیل شده‌اند که به‌دلیل ثبت تغییرات محیطی می‌توانند در تفسیرهای دیرینه اقلیمی به کار روند [12]. اووئیدها و پیروئیدها از فراوانترین عناصر بافتی متمایز در بوکسیت‌های جاجرم است که به شکل‌های کروی، نیمه کروی تا بیضوی تظاهر دارند.

تجزیه و تحلیل بافتی

عناصر بافتی بوکسیت‌ها بر مبنای ویژگی‌های ریختی و پیدایشی به دو گروه اصلی زمینه و متمایز قابل تفکیک است [12]. عناصر بافتی زمینه شامل تجمعات نسبتاً ریزدانه با اندازه‌های کم و بیش یکسان است که مانند سیمانی عناصر بافتی متمایز را در بر گرفته‌اند. بافتهای پلیتومورفیک¹ (شکل 3 الف و ب) و میکروگرنولار² (شکل 3 ب و ج) از فراوانترین عناصر بافتی زمینه است که در نمونه‌های مورد مطالعه شناسایی شد. این بافتها که از ذرات بسیار ریز و یکنواخت غنی از Al_2O_3 و SiO_2 تشکیل شده‌اند، دارای منشأ همزاد تا

1- Pelitomorphic

2- Microgranular



شکل 3. تصاویر میکروسکوپی از مهمترین عناصر بافتی زمینه و متمایز در بوکسیت‌های جاجرم الف) اووئیدهای ساده گروه A در زمینه پلیتومورفیک، ب) اووئید پیچیده گروه A در زمینه میکروگرانولار، پ) اووئید ساده گروه B، ت) اووئید پیچیده گروه B (ث) پیروئید ساده گروه A در زمینه پلیتومورفیک، ج) پیروئید ساده گروه B در زمینه میکروگرانولار، چ) پیروئید پیچیده گروه B، ح) اسپاستولیت گروه B. کلیه تصاویر در نور عادی گذرا گرفته شده‌اند.






ناپیوسته و کم‌تعداد می‌باشند. اووئیدهای گروه A و پیروئیدهای گروه B دارای بیشترین فراوانی هستند. هسته اووئیدها و پیروئیدها، گاه از قطعات سنگی، کانیهای آواری، هماتیت و اووئید تشکیل شده و به‌صورت یک‌هسته‌ای تا چندهسته‌ای تظاهر دارند. اووئیدهای ساده گروه A (شکل 3 الف) دارای اندازه متوسط 0/3 میلی‌متر بوده و از لامینه‌های متعدد تشکیل شده‌اند. اووئیدهای پیچیده گروه A (شکل 3 ب) از نظر مشخصات لامینه‌ها مشابه با اووئیدهای ساده گروه A هستند که دارای بیش از یک هسته می‌باشند. بر خلاف اووئیدهای گروه A، اووئیدهای ساده و پیچیده نوع B (شکل 3 پ و ت) دارای لامینه‌های ضخیم‌تر و اندازه متوسط درشت‌تر می‌باشند.

بررسیهای بافتی نشانگر حضور پیروئیدهای ساده گروه A و پیروئیدهای ساده و پیچیده گروه B در نمونه‌های مورد مطالعه است.

قطر اووئیدها در جهت بیشترین طول شدگی از 0/1 تا 1/9 میلی‌متر و پیروئیدها از 2/6 تا 4/4 میلی‌متر در تغییر است. اووئیدها و پیروئیدهای درشت‌تر اغلب دارای اشکال بیضوی شکل می‌باشند. سطح لامینه‌ها یکنواخت و دارای مرز آشکار با زمینه است.

اووئیدها و پیروئیدهای مورد مطالعه بر مبنای ضخامت و چگونگی انتظام لامینه‌ها به دو گروه اصلی A و B [10] و بر پایه تعداد هسته‌ها به دو گروه ساده و پیچیده [22] تقسیم شدند (شکل 4). اووئیدها و پیروئیدها ممکن است بر اثر عملکرد نیروهای فشارشی به صورت شکل‌های بیضوی و کشیده موسوم به اسپاستولیت¹ تغییر شکل یابند [10] که در نمونه‌های مورد مطالعه نیز شناسایی شد. اسپاستولیت‌ها نشان‌دهنده تغییر شکل اووئیدها و پیروئیدهایی می‌باشند که در مرحله کلونیدی بر اثر وزن طبقات متحمل تغییر شکل پلاستیکی شده‌اند و از شواهد برجازا بودن نهشته می‌باشند.

اووئیدها و پیروئیدهای گروه A دارای لامینه‌های نازک، پیوسته و پرتعداد و گروه B دارای لامینه‌های نسبتاً ضخیم‌تر،

اسپاستولیت	گروه B		گروه A		دانه‌های گرد شده با ساختار داخلی	
	پیچیده	ساده	پیچیده	ساده	اوپتید	اندازه متوسط (mm)
						انواع ریخت‌شناسی
۱/۳۰	۰/۱	۱/۲۰	۰/۸	۰/۳		
۳/۶۰	۳/۳۰	۴/۸۰	مشاهده نشد	۳	پیزوئید	
قطعات سنگی، کانیهای آواری، اوپتید، کانیهای آهن‌دار					مشخصات هسته	
ضخیم، کم تعداد، ناپیوسته			نازک، پر تعداد، پیوسته		مشخصات لامینه	

شکل 4. انواع اوپتیدها و پیزوئیدهای شناسایی شده در بوکسیت‌های جاجرم

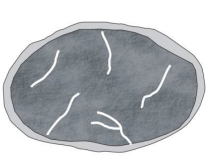
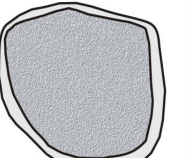
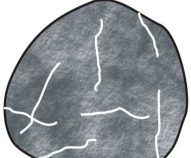
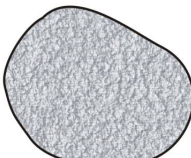
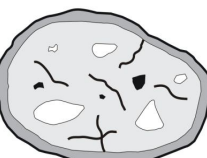



دانه‌ها در دو گروه همگن و ناهمگن جای گرفتند و سپس هر یک از این گروه‌ها به دو دسته با پوشش و بدون پوشش تقسیم شدند. برخی از این پلت‌ها دارای رگه‌چه‌های داخلی و برخی همگن و بدون رگه‌چه می‌باشند.

تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی در عناصر بافتی

نتایج تجزیه شیمیایی نقطه‌ای تعدادی از عناصر بافتی مورد مطالعه در جدول 2 آمده است. به‌طور کلی، بررسی روند تغییرات غلظت TiO_2 ، SiO_2 ، CaO ، Fe_2O_3 ، Al_2O_3 و اوپتیدها و پیزوئیدها نشانگر کاهش عمومی غلظت Fe_2O_3 و CaO و افزایش غلظت SiO_2 و Al_2O_3 از هسته به سمت لامینه‌های بیرونی است (شکل 6). با این حال، غلظت این اکسیدها در لامینه‌های مختلف و متناوب دارای روند متناوب افزایشی و کاهشی است که دلالت بر تغییرات کانی‌شناسی بر اثر تغییرات شرایط محیطی و اقلیمی در طی فرآیندهای بوکسیت‌زایی دارد. بالا بودن غلظت Al_2O_3 و SiO_2 در اوپتیدهای ساده A و B (شکل 6 الف)، نشان می‌دهد که کائولینیت یکی از کانیهای اصلی تشکیل‌دهنده لامینه‌های این اوپتیدها است. غلظت Al_2O_3 در بیرونی‌ترین لامینه‌ها به بیشترین مقدار خود رسیده (15/7 درصد وزنی) و همواره روند افزایشی نشان می‌دهد.

پیزوئیدهای ساده گروه A که دارای اندازه متوسط 3 میلی‌متر می‌باشند (شکل 3 ث) از لامینه‌های متعدد با مشخصات کانی‌شناسی مشابه با زمینه تشکیل شده‌اند. در حالی که پیزوئیدهای ساده گروه B دارای اندازه متوسط 4/8 میلی‌متر بوده و از لامینه‌های ضخیم و ناپیوسته تشکیل شده‌اند (شکل 3 ج). این لامینه‌ها دارای مرز آشکار با یکدیگر و زمینه می‌باشند. پیزوئیدهای پیچیده گروه B (شکل 3 چ) که از بیشترین فراوانی نسبت به سایر انواع پیزوئیدها برخوردارند، دارای اندازه متوسط 3/3 میلی‌متر بوده و لامینه‌های آنها دارای بیشترین تنوع رنگی است. این پیزوئیدها اغلب تحت تأثیر فرآیندهای ثانویه قرار گرفته و شواهدی از انحلال و نهشت کانیهای دیرزاد نشان می‌دهند. در برخی نمونه‌های مورد مطالعه اسپاستولیت‌هایی مشاهده شد (شکل 3 ح) که می‌توان آن را به ماهیت کلوئیدی کانی‌های رسی تشکیل‌دهنده اوپتیدها و پیزوئیدها و تغییر شکل پلاستیکی آنها در طی رویدادهای زمین‌ساختی نسبت داد [23].

بررسیهای بافتی نشانگر حضور دانه‌های گرد شده بدون ساختار داخلی یا پلت¹ [24] به‌عنوان یکی دیگر از عناصر بافتی متمایز در بوکسیت‌های جاجرم است. این پلت‌ها بر مبنای کانی‌شناسی و اندازه دانه‌های تشکیل‌دهنده، نوع پوشش و رگه‌چه‌های داخلی تقسیم‌بندی شدند (شکل 5). به این ترتیب، ابتدا کلیه پلت‌ها بر پایه تغییرات کانی‌شناسی و اندازه

انواع پلت	با پوشش		بدون پوشش	
	دارای رگه چه	بدون رگه چه	دارای رگه چه	بدون رگه چه
همگن				
ناهمگن				

شکل 5. تقسیم‌بندی انواع پلت‌ها بر اساس ترکیب و رخ دادهای دیرزاد

جدول 2. غلظت اکسیدهای اصلی اندازه‌گیری شده در تعدادی از اوونیدها و پیزونیدهای مورد مطالعه (مقادیر بر حسب درصد وزنی)

نمونه اکسید	پیزونید - گروه B - پیچیده						پیزونید - گروه B - ساده				پیزونید - گروه A - ساده		
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₁	P ₂	P ₃
SiO ₂	13/7	17/4	35/7	10/3	12/4	3/3	62/3	56/4	59/8	61/6	58/1	58/5	57/0
TiO ₂	10/5	3	0/8	1/0	4/0	1/0	0/2	0/3	0/3	0/1	0/4	0/4	0/4
Al ₂ O ₃	21/9	39/5	37/8	15/0	47/8	74/1	6/4	5/1	4/0	13/5	5/1	5/4	8/1
Fe ₂ O ₃	26/0	9/0	1/8	28/9	11/8	0/6	2/8	7/3	4/1	0/5	2/8	2/7	3/0
CaO	16/7	15/8	10/5	23/3	14/8	3/8	18/1	19/2	17/5	12/6	18/9	18/1	17/3
K ₂ O	0/5	0/6	0/7	0/5	0/4	0/3	0/2	0/2	0/3	0/3	0/2	0/2	0/2

P = نقاط تجزیه شده؛ ترتیب شماره‌ها نمایانگر تجزیه از هسته به سمت حاشیه است.

ادامه جدول 2. غلظت اکسیدهای اصلی اندازه‌گیری شده در تعدادی از اوونیدها و پیزونیدهای مورد مطالعه (مقادیر بر حسب درصد وزنی)

نمونه اکسید	اوونید - گروه B - ساده		
	P ₁	P ₂	P ₃
SiO ₂	57/7	54/0	61/1
TiO ₂	0/4	0/4	0/1
Al ₂ O ₃	6/5	8/6	15/6
Fe ₂ O ₃	9/2	9/8	0/5
CaO	15/3	14/9	13/2
K ₂ O	0/2	0/2	0/2

پلت‌های غنی از هماتیت و گوتیت در کانسارهای مختلف بوکسیتی توسط [12] و تیلور [25] گزارش شده است.

پلت‌های ناهمگن از تغییرات عنصری بیشتری برخوردارند (جدول 3) و به‌طور عمده مخلوطی از هماتیت، گوتیت، کائولینیت، دیاسپور، روتیل و کوارتز می‌باشند که به دو صورت دارای پوشش و بدون پوشش تظاهر دارند. پوشش اطراف پلت‌های ناهمگن دارای رنگ قهوه‌ای روشن بوده و به‌طور عمده از گوتیت تشکیل شده است. این پلت‌ها ممکن است حاوی رگه‌های نازک متشکل از کائولینیت و دیاسپور (شکل 7 ث) و یا بدون رگه‌ها باشند (شکل 7 ج).

پلت‌های ناهمگن بدون پوشش نیز دارای دو نوع حاوی رگه‌ها (شکل 7 چ) و بدون رگه‌ها (شکل 7 ح) می‌باشند. رگه‌های موجود در این نوع پلت‌ها به‌طور عمده شامل کائولینیت و دیاسپور است.

عناصر بافتی ثانویه در نمونه‌های مورد مطالعه به‌طور عمده به‌صورت شکافه پرکن و با تظاهر رگه‌های تظاهر دارند. این رگه‌ها تا چند میکرون ضخامت داشته و به‌طور عمده غنی از SiO_2 و Al_2O_3 می‌باشند. رگه‌ها انواع عناصر بافتی متمایز به‌ویژه پلت‌ها را قطع کرده‌اند.

برخی از رگه‌ها فقط درون عناصر بافتی دیده می‌شوند (شکل 8 الف) که در این صورت قبل از تشکیل زمینه، تشکیل شده‌اند. در برخی از موارد، این رگه‌ها علاوه بر عناصر بافتی متمایز، زمینه را نیز قطع کرده‌اند (شکل 8 ب، پ و ت) که نشانگر منشأ دیرزاد آنها می‌باشد [12]. غلظت Al_2O_3 و SiO_2 در یکی از رگه‌های تجزیه‌شده به ترتیب 28/1 و 53/5 درصد وزنی است. براساس [12]، رگه‌ها و عناصر بافتی ثانویه بوکسیت‌ها به‌طور عمده تک‌کانی و یا دو کانی است و اغلب شامل دیاسپور و گیبسیت در انواع تک‌کانی و دیاسپور-کائولینیت در انواع دو کانی است.

شرایط تشکیل

شواهد بافتی دلالت بر هر دو خاستگاه برج‌جا و نابر‌جا را برای بوکسیت‌های جاجرم دارد که محققان قبلی [9، 16 و 17] نیز به آن اشاره داشته‌اند. بافتهای اووئیدی و پیزوئیدی که از فراوانی زیادی در نمونه‌های مورد مطالعه برخوردارند دارای خاستگاه دیاژنتیک بوده و بیانگر خاستگاه برج‌جای نهشته است [12 و 26].

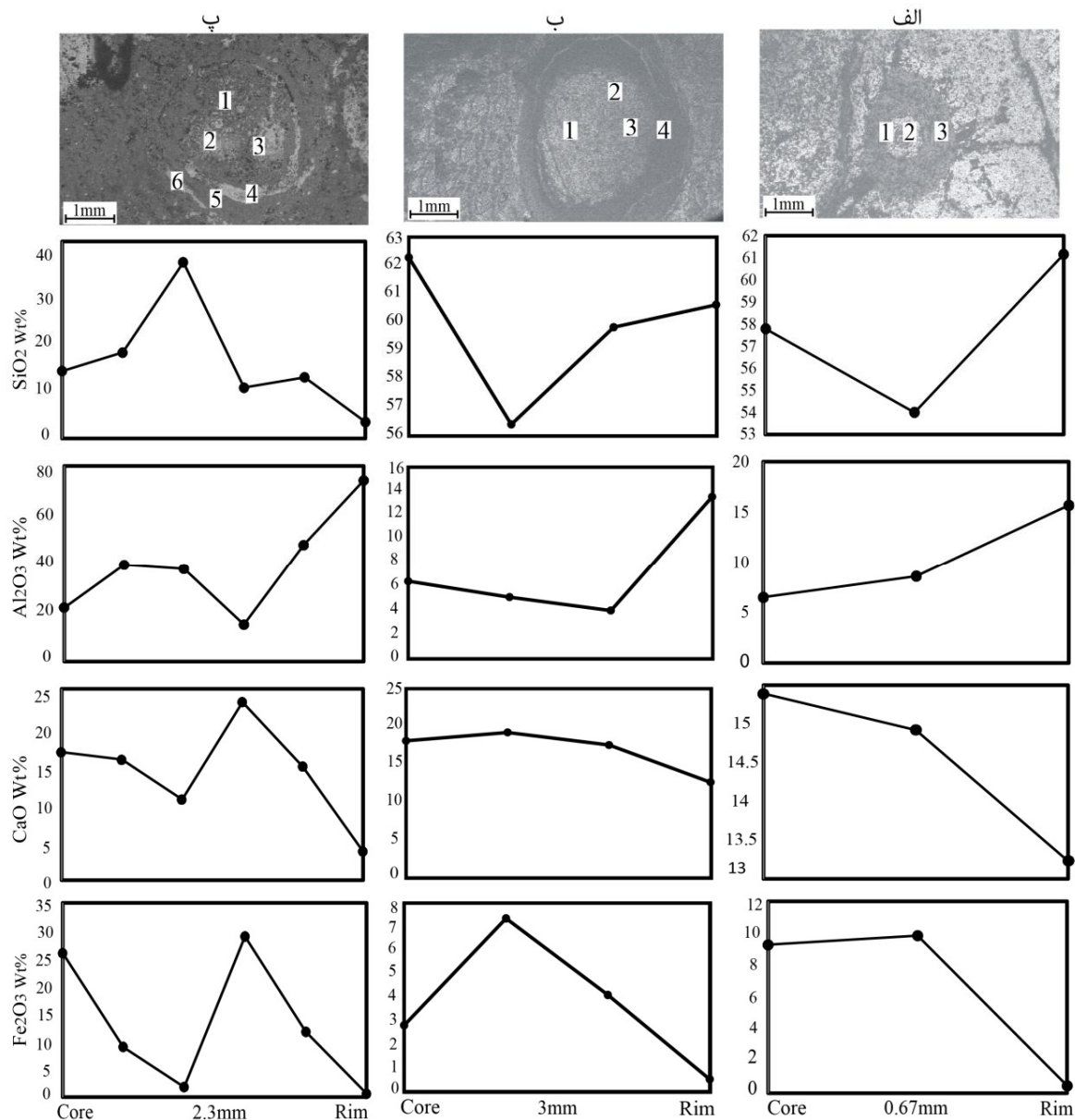
تغییرات غلظت اکسیدهای اصلی در پیزوئیدهای ساده A و B (شکل 6 ب) کم و بیش مشابه روند تغییرات این اکسیدها در اووئیدهای ساده A و B است. غلظت Al_2O_3 در پیزوئیدهای ساده گروه A از 5/1 درصد وزنی در بخش مرکزی تا 8/1 درصد وزنی در بیرونی‌ترین لامینه‌ها و در پیزوئیدهای ساده گروه B از 6/4 درصد وزنی در هسته تا 13/5 درصد وزنی در حاشیه تغییر می‌یابد. بالا بودن غلظت SiO_2 و همبستگی مثبت آن با Al_2O_3 نشانگر حضور کائولینیت به‌عنوان یکی از کانیهای اصلی موجود در لامینه‌هاست. بیرونی‌ترین لامینه‌ها توسط رگه‌های غنی از Al_2O_3 و SiO_2 قطع شده‌اند که دلالت بر حضور کائولینیت داشته و احتمالاً بر اثر فرآیندهای تراکم ژل و آب‌زدایی یا فشارهای ساختاری تشکیل شده‌اند [12].

روند تغییرات اکسیدهای اصلی در اووئیدها و پیزوئیدها پیچیده از تغییرات زیادی در لامینه‌های مختلف برخوردار است (شکل 6 پ). با این حال همانند اووئیدها و پیزوئیدهای ساده، غلظت Fe_2O_3 و CaO از هسته به سمت حاشیه دارای روند عمومی کاهش است. پیزوئیدهای پیچیده گروه B از لامینه‌های متناوب تیره و روشن تشکیل شده‌اند (شکل 6 پ) که مقدار Fe_2O_3 در لامینه‌های تیره از 0/6 تا 28/9 درصد وزنی و مقدار Al_2O_3 در لامینه‌های روشن از 21/9 تا 74/1 درصد وزنی در تغییر است (جدول 2). این داده‌ها نشانگر تغییرات کانی‌شناسی و حضور هماتیت در لامینه‌های تیره و دیاسپور در لامینه‌های بیرونی است.

بررسیهای میکروسکوپی و تجزیه شیمیایی نقطه‌ای پلت‌های همگن دارای پوشش، نشانگر حضور دو نوع پلت غنی از آهن (شکل 7 الف) و غنی از آلومینیم (شکل 7 ب) است. پلت‌های همگن بدون پوشش به‌طور عمده غنی از آهن می‌باشند و ممکن است دارای رگه‌های نازک (شکل 7 پ) و یا بدون رگه‌ها (شکل 7 ت) باشند. به‌طور کلی، بالا بودن مقدار آهن در پلت‌ها به‌ویژه در بخش مرکزی آنها ناشی از قابلیت فشرده‌گی بیشتر پلت نسبت به زمینه است که باعث مقاومت بیشتر در برابر هوازدگی و مانع از فروزش آهن می‌شود [12]. بنابراین، پلت‌ها در هنگام آهن‌زدایی کانسنگ‌های بوکسیتی تمایل کمتری به آهن‌زدایی نشان داده و همین امر باعث بالا رفتن مقدار آهن آنها در مقایسه با زمینه می‌گردد که به‌خوبی با رنگ قرمز تیره تا سیاه مشخص می‌شود. وجود

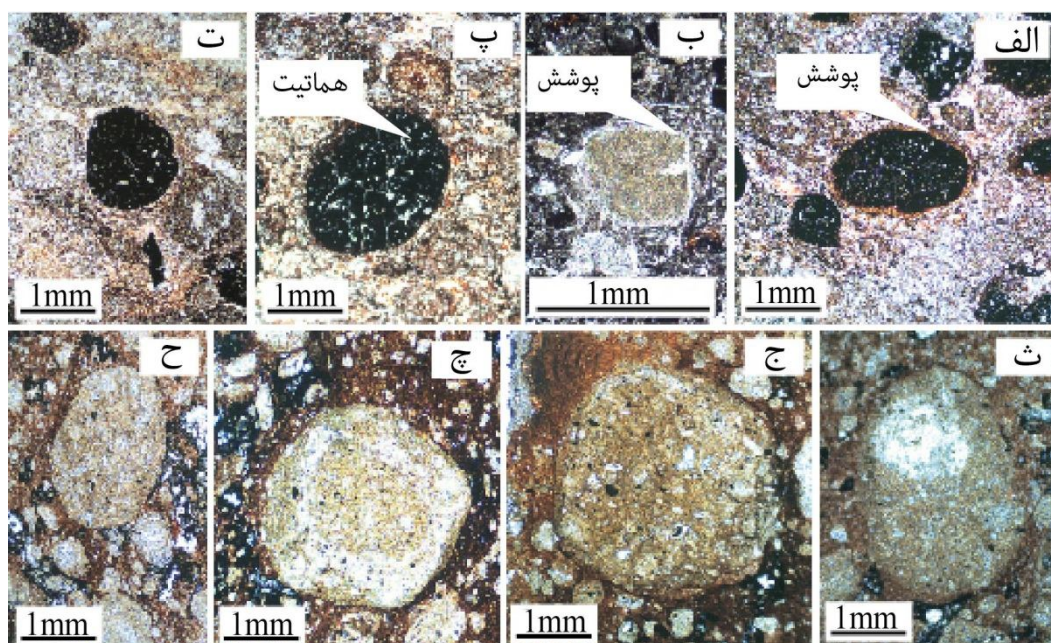
کانیهای آهن و آلومینیوم دار می‌باشند، بر اثر انتقال و جابه‌جایی مواد بوکسیتی تشکیل شده‌اند. از طرفی، برخی از اووئیدها، پیزوئیدها و پلت‌ها توسط رگچه‌های شعاعی یا حلقوی قطع شده‌اند. این ویژگیها از دیگر شواهد حمل و نقل و نابرجازا بودن بوکسیت‌های جاجرم است. وجود اووئیدها، پیزوئیدها و پلت‌های فاقد رگچه و آکندهای شکافی نشانگر نسل دیگری از عناصر بافتی متمایز است که پس از انتقال مواد بوکسیتی به حفرات کارستی، به‌صورت برجازا تشکیل شده‌اند.

این در حالی است که وجود پلت، پیزوئیدها و اووئیدهای خرد شده و نیز پیزوئیدها و اووئیدهای با اندازه و شکل متفاوت دلالت بر منشأ آواری و نابرجازا بودن بوکسیت‌های مورد مطالعه دارد [12، 27 و 28]. در بوکسیت‌های مورد مطالعه، اووئیدها و پیزوئیدها دارای شکل‌های کروی تا بیضوی می‌باشند. برخی از این اووئیدها دارای لامینه‌های خرد شده‌اند ولی هسته‌های خرد شده مشاهده نشد. اووئیدها و پیزوئیدهای پیچیده که در گروه B از فراوانی بیشتری برخوردارند و دارای هسته‌هایی متشکل از قطعات سنگی، کانیهای آواری، اووئیدهای ساده و



شکل 6. تصاویر Back scattered (BS) از عناصر بافتی مورد مطالعه و تغییرات اکسیدهای اصلی در اووئیدها و پیزوئیدها. الف) اووئید ساده گروه

B، ب) پیزوئید ساده گروه B، پ) پیزوئید پیچیده گروه B



شکل 7. تصاویر میکروسکوپی در نور گذرا عادی از انواع پلت‌های شناسایی شده در کانسار بوکسیت جاجرم. الف) پلت همگن دارای پوشش و رگه‌چه، ب) پلت همگن دارای پوشش بدون رگه‌چه، پ) پلت همگن بدون پوشش و دارای رگه‌چه، ت) پلت همگن بدون پوشش و رگه‌چه، ث) پلت ناهمگن دارای پوشش و رگه‌چه، ج) پلت ناهمگن دارای پوشش و بدون رگه‌چه، چ) پلت ناهمگن بدون پوشش و دارای رگه‌چه، ح) پلت ناهمگن بدون پوشش و بدون رگه‌چه

جدول 3. غلظت اکسیدهای اصلی اندازه‌گیری شده در دو نمونه پلت (مقادیر بر حسب درصد وزنی)

نمونه اکسید	پلت ناهمگن					پلت همگن	
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₁	P ₂
SiO ₂	59/1	54/7	55/3	28/6	58/4	0/4	7/5
TiO ₂	0/3	0/4	0/7	0/9	0/1	0/9	1/7
Al ₂ O ₃	20/4	17/0	23/5	13/0	23/8	10/0	13/3
Fe ₂ O ₃	4/1	11/1	3/4	45/4	0/5	85/9	74/1
CaO	11/1	11/4	0/9	7/4	0/9	n.d.	0/2
K ₂ O	0/3	0/3	0/2	0/2	0/3	n.d.	n.d.

P=نقاط تجزیه شده؛ ترتیب شماره‌ها نمایانگر تجزیه از هسته به سمت حاشیه است.

n.d = پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه

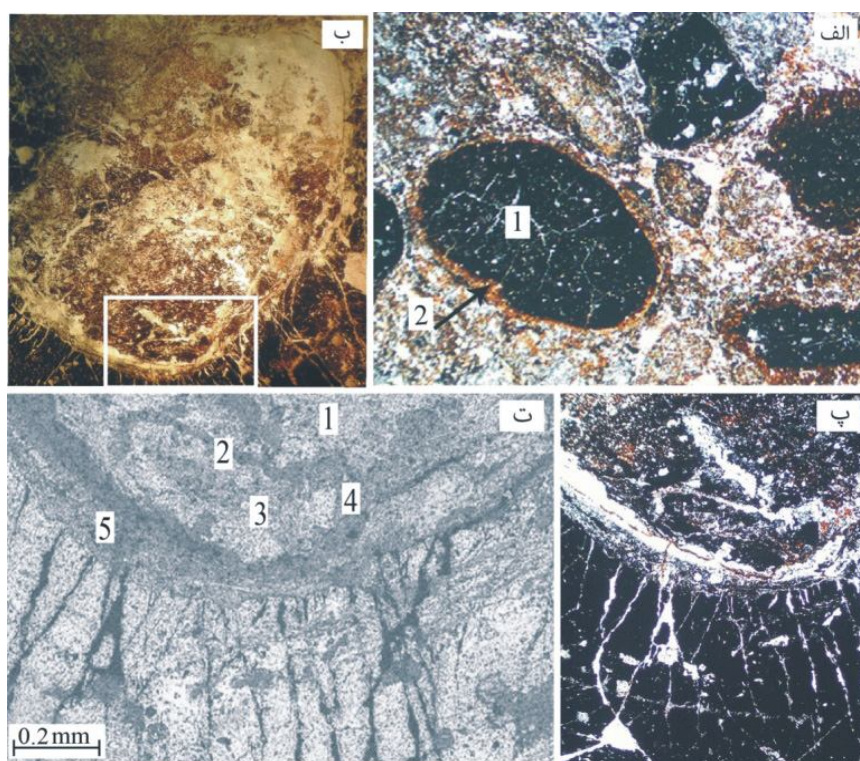
الیکا انتقال یافته‌اند. نوسانات اقلیمی، تناوب در فصول خشک و مرطوب و تغییرات پیوسته شرایط احیایی و اکسیدی در این محیط باعث تشکیل لامینه‌های نازک و متناوب متشکل از کانیهای هماتیت، کائولینیت، دیاسپور و گوتیت در اووئیدها و پیزوئیدها شده است.

کانسارهای بوکسیتی از نظر محیط ژئوشیمیایی تشکیل به دو گروه وادوز واقع در بالای سطح ایستابی و فراتیک واقع در زیر

براساس مطالعات انجام‌شده، بازالت‌های قلیایی تریاس فوقانی را می‌توان به‌عنوان سنگ مادر بوکسیت‌های جاجرم در نظر گرفت [9 و 17]. به این ترتیب، هوازدگی این بازالت‌ها و توسعه فرآیندهای بوکسیتی شدن باعث شست‌وشوی عناصر قلیایی و سیلیکا و غنی‌شدگی عناصر نامتحرک و تشکیل خاکهای بوکسیتی شده است. این خاکها در یک محیط ساحلی و بر اثر نوسانات سطح آب به حفره‌های کارستی سازند

بوکسیت‌های جاجرم نشانگر شواهدی از هر دو محیط وادوز و فراتیک برای تشکیل این بوکسیت‌هاست. به این ترتیب، به نظر می‌رسد بوکسیت‌های جاجرم در زون تدریجی بین این دو محیط تشکیل شده است.

سطح ایستایی تقسیم شده‌اند [3] و [12]. بوکسیت‌های وادوز با فراوانی هماتیت و گوتیت و بوکسیت‌های فراتیک با فراوانی کائولینیت، شاموزیت، پیریت و کلریت مشخص می‌شوند. وجود کانیه‌های دیاسپور، کائولینیت، هماتیت، شاموزیت و پیریت در



شکل 8. تصاویر میکروسکوپی و Back scatter از پلت‌های مورد مطالعه. الف) پلت همگن غنی از آهن، ب) پلت ناهمگن، پ) بخشی از پلت ناهمگن که مورد تجزیه نقطه‌ای قرار گرفته است. ت) تصویر Back scattered از شکل پ. تصاویر الف، ب و پ در نور گذرای عادی گرفته شده‌اند.

توسط چرخش محلول‌های غنی از SiO_2 کنترل می‌شود [31]. این محلول‌های اسیدی می‌توانند باعث سیلیسی شدن هیدروکسیدهای آلومینیم و تبدیل آنها به کائولینیت شوند. بالا بودن Al_2O_3 در اووئیدها و پیروئیدهای پیچیده نشان‌دهنده بالا بودن Al^{3+} است که به تشکیل دیاسپور منجر شده است. قبلاً تصور بر این بوده که دیاسپور فقط در شرایط دگرگونی تشکیل می‌شود [32]. اما مطالعات آزمایشگاهی جدید نشان می‌دهد که دیاسپور می‌تواند به‌طور مستقیم در محیط‌های نزدیک به سطح نیز تشکیل شود [33 و 34]. تشکیل دیاسپور در این شرایط تابع غلظت مؤثر آلومینیم (Al^{3+}) در محلول است. از آنجا که $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ گونه غالب در شرایط pH خنثی است، تشکیل کانیه‌های

وجود لامینه‌های متناوب غنی از Fe_2O_3 و SiO_2 در اووئیدها و پیروئیدهای ساده A و B بیانگر شرایط اقلیمی گرمسیری با متوسط دمای سالانه 30°C و رطوبت کمتر از 70 درصد است که برای تشکیل هماتیت و کائولینیت مناسب است [29]. بالا بودن غلظت SiO_2 در برخی از نتایج تجزیه شیمیایی کل (شکل 2) و نیز بالا بودن غلظت این اکسید در برخی از اووئیدها و پیروئیدهای مورد مطالعه نشانگر حضور کائولینیت به‌عنوان یکی از کانیه‌های اصلی بوکسیت‌های جاجرم است. کائولینیت موجود در بوکسیت‌ها دارای منشأ همزاد یا دیرزاد است [30]. به این ترتیب، کائولینیت‌های موجود در زمینه و عناصر بافتی متمایز از نوع همزاد و کائولینیت موجود در رگه‌چه‌ها از نوع دیرزاد است. تشکیل کائولینیت‌های دیرزاد

شرایط کاملاً وادوز یا فراتیک در تشکیل این بوکسیت‌هاست. به نظر می‌رسد این کانیاها در زون تدریجی بین محیط وادوز تا فراتیک تشکیل شده‌اند. عناصر بافتی ثانویه مانند رگه‌چه‌ها، درز و شکافها و پوششها به‌طور عمده توسط کائولینیت‌های دیرزاد، دیاسپور و گوتیت پر شده که نشانگر گردش محلولهای دمای پایین غنی از عناصر سازنده این کانیهاست.

منابع

- [1] Bardossy G., Melfi A. J., Carvalio A., "A Comparison of the Main Lateritic Bauxite Region of Our Globe", in Proceedings of the 2nd International Seminar on the Lateralization Processes (1983) 15-51.
- [2] Taylor G., Truswell E. M., Mcqueen K. G., Brown M. C., "Early Tertiary paleogeography, landform evolution, and paleoclimates of the southern Monaro", NSW, Australia. Paleogeography paleoclimatology paleoecology 78 (1990) 109-134.
- [3] Valetton I., "Saprolite bauxite facies of ferralitic duricrusts on paleosurfaces of former Pangaea", In: Thiry M., Simon Coincon R. (Eds.), paleoweathering, paleosurfaces and Related Continental Deposits. Association of sedimentologists, Spectral Publications, Blackwell Science. Alden Press 27 (1999) 153-188
- [4] Bardossy G., Aleva G. J. J., "Lateritic bauxite", Elsevier, Amsterdam (1990) 624 p.
- [5] Price G. D., Valdes P. J., Sellwood B. W., "Predication of modern bauxite occurrence: implications for climate reconstruction", Paleogeography Paleoclimatology Paleoecology 131 (1997) 1-13.
- [6] Bardossy G. Y., Combes P. J., "Karst bauxites: interfingering of deposition and palaeoweathering", In: Thiry, M., Simon-Coincon, R. (Eds.), Palaeoweathering, Palaeosurfaces and Related Continental Deposits, Association of Sedimentologists, Special Publications, Blackwell Science, Alden Press 27 (1999) 189-206.
- [7] اسماعیلی د، اثنی عشری ا، رحیم‌پور بناب ح، امینی فضل ع، "زمین‌شیمی عناصر خاکی کمیاب (REE) در کانسار بوکسیت جاجرم (شمال خاوری ایران)"، مجله علوم زمین، شماره 62 (1385) ص 2-13.

هیدروکسیدی آلومینیم را می‌توان وابسته به pH دانست [35]. تغییرات pH محیط ناشی از تغییرات دوره‌ای و متناوب اقلیمهای گرمسیری خشک و مرطوب است که از اهمیت زیادی در تشکیل بوکسیت‌ها برخوردار است [36 و 37]. به این ترتیب، حضور هماتیت و کائولینیت در لامینه‌های اووئیدها و پیزوئیدهای مورد مطالعه بیانگر اقلیمهای گرمسیری خشک و حضور دیاسپور و گوتیت نشانگر دوره‌های گرمسیری و مرطوب است.

وجود عناصر بافتی ثانویه از قبیل رگه‌چه‌های واجد دیاسپور که با غلظت بالای Al_2O_3 مشخص می‌شوند، نتیجه انحلال و تبلور دوباره در طی مراحل دیرزاد است.

نتیجه‌گیری

بررسی عناصر بافتی در بوکسیت‌های جاجرم بیانگر دو خاستگاه برجازا و نابرجازا برای این بوکسیت‌هاست. اووئیدها و پیزوئیدها از مهمترین عناصر بافتی متمایز و از شواهد برجازا بودن است که در نمونه‌های مورد مطالعه شناسایی شد. از طرفی وجود پلت، پیزوئیدها و اووئیدهای خرد شده و با اندازه متفاوت از شواهد نابرجازای بوکسیت‌های مورد مطالعه است. به این ترتیب، خاکهای بوکسیتی پس از تشکیل بر روی سنگ مادر، توسط آبهای سطحی به حفرات کارستی سازند الیکا انتقال یافته و نهشته شده‌اند. تغییر در وضعیت رسوب‌گذاری باعث بروز تغییرات کانی‌شناسی، بافتی و تظاهر منطقه‌بندی داخلی در عدسیهای بوکسیتی شده‌است.

در میان اووئیدها و پیزوئیدهای مورد مطالعه، لامینه‌های اووئیدها و پیزوئیدهای پیچیده از تغییرات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی بیشتری برخوردار است. وجود لامینه‌های بیرونی غنی از آلومینیم در این عناصر بافتی نشانگر توسعه‌یافتگی و بلوغ فرآیندهای بوکسیتی‌شدن در کانسار جاجرم است.

یکی از ویژگیهای بوکسیت‌های جاجرم وجود اووئیدها و پیزوئیدهایی با لامینه‌های متناوب هماتیت، کائولینیت و گاه دیاسپور است که تشکیل آنها به عوامل مختلف به‌ویژه تغییرات pH، Eh و مقدار آب در محیط خاک‌زاد و نوسانات اقلیمی بستگی دارد. هماتیت و کائولینیت در اقلیم گرمسیری خشک و دیاسپور در شرایط احيایی و در دوره‌های گرمسیری مرطوب تشکیل شده‌اند.

حضور دیاسپور، کائولینیت، هماتیت، شاموزیت و پیریت در مجموعه کانی‌شناسی بوکسیت‌های جاجرم نشانگر عدم وجود

- Material and Ore Genesis*", Turkish Journal of Earth Sciences 19 (2010) 267-284.
- [18] آقانباتی ع، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافی معدنی کشور (1383) 586 ص.
- [19] درویش‌زاده ع، "زمین‌شناسی ایران"، نشر دانش امروز (1370) 901 ص.
- [20] Calagari A. A., Abedini A., "Geochemical investigations on permo - triassic bauxite horizon at Kanisheeteh, east of Bukan, west-Azarbaidjan, Iran", Geochemical Exploration journal 94 (2007) 1-18.
- [21] Karadag M. M., Kupeli S., Aryk F., Ayhan A., Zedaf V., Doyen A., "Rare earth element (REE) geochemistry and genetic implications of the Mortas Bauxite deposit (Seydisehir/Konya – Southern Turkey)", Chemie der Erde 69 (2009) 143-159.
- [22] Guerrak S., "Metallogenesis of the cratonic oolitic ironstone deposits in the Bled el Mass, Azzel Matti, Ahnet and Mouydir basins, Central Sahara, Algeria", Geol.Rundsch 76 (1987) 903-922.
- [23] Cotter E., "Diagenetic alteration of chamositic clay minerals to ferric oxide in oolitic ironstone", Journal of Sedimentary Petrology 62 (1992) 54-60.
- [24] Bunshinsky G. I., "Geology of Bauxites" Nedra, Moscow (1971) 416 p.
- [25] Talor G., Eggleton T., "All pisolithic bauxite deposits are transported-Really?" Australian Regolith and Clays Conference Mildura (2012) 47-49.
- [26] Petrascheck W. E., "The genesis of allochthonous karst-type bauxite deposits of southern Europe", Mineralum Deposita 24 (1989) 77-81.
- [27] Grubb P. C. L., "Genesis of the Weipa bauxite deposits, N.E. Australia", Mineralum Deposita 6 (1971) 265-274.
- [28] Öztrük H., Hein J. R., Hanilci N., "Genesis of the Dogankuzu and Mortaz bauxite deposits, Turides, Turkey, Separation Al, Fe and Mn implication for passive margin metallogeny", Economic Geology 97 (2002) 1063-1077.
- [29] Tardy Y., Trolard F., Roquin C., Noveikoff A., "Distribution of hydrated and dehydrated minerals in lateritic profiler and lanscapes", Chemical geology 84 (1990) 133-136.
- [30] Dangic A., "Kaolinization of bauxite: a study in the vlasenice bauxite area, [8] Taylor G., Eggleton R. A., Foster L. D., Tilley D. B., Le Gleuher m. & Morgan C. M., "Nature of the Weipa Bauxite deposit, northern Australia", Australian Journal of Earth Sciences 55 Supplement (2008) 45-70.
- [9] امینی ل، شمعانیان غ. ح، رقیمی م، جعفرزاده ر، "بررسی‌های کانی‌شناسی، زمین‌شناسی و پیدایشی کانسارهای بوکسیت کارستی جاجرم"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره 3 (1390) ص 413-426.
- [10] Reolid M., Abad I., Martin Garcia J. M., "palaeoenvironmental implications of ferruginous deposit related to a Middle-Upper Jurassic discontinuity (Prebetic Zone, Betic Cordillera, Southern Spain)", Sedimentary Geology 203 (2008) 1-16.
- [11] Horbe A., Anand R. R., "Bauxite on igneous rocks from Amazonia and Southwestern of Australia: Implication for weathering process", Journal of Geochemical Exploration 111 (2011) 1-12.
- [12] Bardossy G., "Karst Bauxites-Bauxite deposits on carbonate rocks", Developments in Economic Geology, Elsevier, Amsterdam (1982) 441 p.
- [13] Olóriz F., Reolid M., Rodríguez-Tovar F. J., "Taphonomic features in Upper Oxfordian ammonite assemblages (Bifurcatus Zone) from the Navalperal section (Internal Prebetic, Betic Cordillera)", In: Renzi, M., Pardo, M. V., Belinchón, M., Peñalver, E., Montoya, P., Márquez-Aliaga, A. (Eds.) Currents topics on taphonomy and fossilization, Col-lección Encontros Valencia (2002) 215-222.
- [14] گزارش اکتشافی وزارت معادن و فلزات، "طرح تجهیز معدن و احداث کارخانه تولید آلومینا"، (1376) 43 ص.
- [15] شرکت آلومینای ایران، "معرفی مجتمع آلومینای جاجرم"، مجله نظام مهندسی معدن، شماره 5 (1388) ص 26-36.
- [16] ملائی ح، شریفیان عطار ر، "مطالعه بافت و فازهای کانیهای تشکیل‌دهنده بوکسیت جاجرم، خراسان شمالی، شمال شرق ایران"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره 2 (1385) ص 339-366.
- [17] Esmaeily D., Rahimpour-Bonab H., Esnaashari A., Kananian A., "Petrography and Geochemistry of the Jajarm Karst Bauxite Ore Deposit, NE Iran: Implications for Source Rock

- [35] Schwertmann U., Murad E., "Effect of pH on the formation of goetite and hematite from ferrihydrite", Clays and Clay Minerals 31 (1983) 277-284.
- [36] زراسوندی ع. ر.، پورکاسب ه.، ساکی ع.، سلامب اللهی س. "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، شماره 1 (1390) ص 1-13.
- [37] Herrington R., Boni M., Skarpelis N., Large D., "Paleoclimate, weathering and ore deposits-a European perspective", proceedings of the Ninth Biennial SGA Meeting, Dublin (2007) 1373-1376.
- Yugoslavia", Clays and Clay Minerals 33 (1985) 517-524.
- [31] Oggiano G., Mameli P., "The bauxite of North-Western Sardinia" Rendiconti Semminario Facolta Scienze Universita Cagliari Supplemento 2 (2001) 59-73
- [32] Gorecky Y. K., Lavrovich N. S., Lyubimov A. B., "Bauxite", Gosgeoltekhizdat Moscow (1949) 186 p.
- [33] Ozlu N., "New facts on diaspora genesis in the Akseki-Seydisehir bauxite deposit (Western Taures, Turkey)", Travaux Du ICSOBA 14-15 (1985) 53-62.
- [34] Argenio B., Mindszenty A., "Bauxites and related paleokarst: Tectonic and climatic event markers at regional unconformities", Ecologiae Geologicae Helvetiae 88 (1995) 543-499.