

مشخصات چینه‌شناسی، سنگ‌نگاری و رخساره‌های نهشته‌های بوکسیتی - لاتریتی تاش و آستانه در البرز شرقی: رهیافتهای دیرینه محیطی

غلامحسین شمعانیان^{۱*}، زینب منفرد^۲، هادی عمرانی^۳

۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

۳- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

*پست الکترونیک: gh.shamanian@gu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۱۸

چکیده

نهشته‌های بوکسیتی - لاتریتی تاش و آستانه به ترتیب در ۴۰ کیلومتری شمال شاهرود و ۳۰ کیلومتری شمال غرب دامغان واقع شده‌اند. نهشته بوکسیتی تاش به شکل یک افق چینه‌سان در بین سنگ‌آهک‌های سازند روته و سنگ‌آهک‌های دولومیتی سازند الیکا قرار دارد، در حالی که نهشته لاتریتی آستانه به صورت چینه‌سان بین سنگ‌آهک‌های دولومیتی الیکا و شیل و ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک واقع شده است. بافتهای پلیتومورفیک و میکروگرانولار از فراوان‌ترین عناصر بافتی زمینه و اووئیدها، پیزوئیدها و پلتها از مهمترین عناصر بافتی متمایز در این نهشته‌ها است. تجزیه و تحلیل‌های بافتی، هر دو خاستگاه برجازا و نبرجازا را برای این نهشته‌ها نشان می‌دهد. بر اساس شواهد سنگ‌نگاری و رخساره‌ای، نهشته‌های تاش و آستانه به ترتیب به پنج و سه واحد معجزا قابل تفکیک می‌باشند. نهشته تاش به طور عمده از دیاسپور، آاناتاز، کائولینیت، هماتیت، گوتیت و برتیرین و نهشته آستانه از کوارتز، هماتیت، گوتیت، کائولینیت و آاناتاز تشکیل شده‌اند. یافته‌های چینه‌شناسی، سنگ‌نگاری و رخساره‌ای نشانگر سه مرحله اصلی در سرگذشت تشکیل نهشته تاش و دو مرحله اصلی در تشکیل نهشته آستانه است. در مرحله اول، مواد بوکسیتی، لاتریتی و کانیه‌های رسی بر اثر فرآیندهای لاتریت‌زایی و بوکسیت‌زایی در جازا از سنگ منشأ تشکیل شده‌اند. در مرحله دوم، بخشی از این مواد به حفرات کارستی انتقال یافته و با نهشت خود یک افق بوکسیتی ضخیم در منطقه تاش و عدسیه‌های لاتریتی در منطقه آستانه را ایجاد نموده‌اند. سرانجام در مرحله سوم که تنها در نهشته تاش رخ داده، شست‌وشوی برجا و سیلیکازدایی باعث بهبود کیفیت کانسنگ و افزایش مقدار آلومینا تا ۵۲ درصد شده است.

واژه‌های کلیدی: بوکسیت؛ لاتریت؛ تجزیه و تحلیل‌های بافتی؛ شواهد رخساره‌ای؛ تاش؛ آستانه.

مقدمه

آلومینوسیلیکات در اقلیم‌های حاره‌ای تا نیمه حاره‌ای با بارش سالیانه بیش از ۱۲۰۰ میلی‌متر و دمای متوسط بیش از

بوکسیت به نهشته‌های رسوبی برجازا و غنی از آلومینیوم اطلاق می‌شود که از هوازدگی سنگ مادر غنی از

بوکسیتی -لاتریتی پهنه البرز هستند که اطلاعات جامعی درباره ویژگیهای چینه‌شناسی و ریخت‌شناسی آنها وجود نداشته و درباره ویژگیهای بافتی و کانی‌شناسی آنها تاکنون مطالعه‌ای به انجام نرسیده است. از این‌رو، در این مقاله ویژگیهای چینه‌شناسی، سنگ‌نگاری و رخساره‌ای این نهشته‌ها بر پایه مشاهدات صحرایی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته و با مقایسه آنها با یکدیگر درباره شرایط تشکیل و مشخصات دیرینه محیطی اظهار نظر شده است.

روش مطالعه

مطالعه نهشته‌های بوکسیتی -لاتریتی تاش و آستانه در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شد. در بخش صحرایی، بررسی مشخصات زمین‌شناسی، ریخت‌شناسی نهشته‌ها و نحوه ارتباط آنها با سنگهای درونگیر و تعیین ویژگیهای ماکروسکوپی رخساره‌های بوکسیتی و لاتریتی در نیمرخهای عمود بر گسترش ماده معدنی انجام گرفت و تعداد ۲۸ نمونه سنگی از نهشته‌های بوکسیتی، سنگ بستر و پوشش آنها برداشت شد. در بخش آزمایشگاهی، مطالعات بافتی و کانی‌شناسی به روشهای مرسوم میکروسکوپی بر روی ۲۸ مقطع نازک - صیقلی انجام شد. کانیهای مجهول در ۱۴ نمونه به روش پراش اشعه ایکس (XRD) با استفاده از دیفرکتومتر ساخت شرکت فیلیپس مدل PW 1800 شناسایی و تعیین غلظت اکسیدهای اصلی در ۱۸ نمونه به روش فلورسانس پرتوایکس با استفاده از دستگاه XRF ساخت شرکت فیلیپس مدل PW 1480 متعلق به شرکت کانساران بینالود انجام گرفت. حد تشخیص دستگاه برای اکسیدهای TiO_2 ، P_2O_5 و MnO برابر با ۰/۰۱ درصد و برای سایر اکسیدها ۰/۰۱ درصد بوده است. محاسبه مقادیر نیمه کمی کانیها بر پایه روش *Johns et al.* (1954) و با استفاده از نرم‌افزار Origin 8 انجام گرفت. با تلفیق یافته‌های چینه‌شناسی، سنگ‌نگاری و رخساره‌ای، عوامل مؤثر بر

۲۲ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شود (Bardossy & Aleva, 1990). تشکیل این نهشته‌ها تابع چهار عامل اصلی شامل کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی سنگ مادر، زمین ریخت‌شناسی (شرایط زه‌کشی و نرخ فرسایش محلی)، شرایط دیرینه اقلیمی و دوره هوازدگی است که رخداد تمرکزهای اقتصادی عناصر در نیمرخهای هوازدگی به همبستگی مطلوب بین این چهار عامل بستگی دارد (Butt & Morris, 2003). نهشته‌های بوکسیتی بر پایه نوع سنگ مادر و شیوه تشکیل به دو گروه شامل بوکسیت‌های لاتریتی از سنگهای آلومینوسیلیکاتی و بوکسیت‌های کارستی بر روی سنگهای کربناتی تقسیم‌بندی شده‌اند (Bardossy, 1982).

ایران بخشی از کمربند بوکسیتی ایران - هیمالیا واقع در آسیای مرکزی است که نهشته‌های بوکسیتی متعلق به دوره‌های پرمین - تریاس، تریاس - ژوراسیک و کرتاسه واقع در پهنه‌های البرز، ایران مرکزی و زاگرس را در خود جای داده است (Zarasvandi *et al.*, 2008). پهنه ساختاری - رسوبی البرز به علت قرارگیری در امتداد کمربند بوکسیتی ایران - هیمالیا از نهشته‌های بوکسیتی متعددی برخوردار است (شکل ۱ الف). از مهمترین نهشته‌های این پهنه می‌توان به نهشته‌های بوکسیتی جاجرم (امینی و همکاران، ۱۳۹۰)، بوکان (Calagari & Abedini, 2007) و میاندوآب (کلاگری و همکاران، ۱۳۸۲) اشاره کرد. قرارگیری معدن بوکسیت جاجرم و کارخانه تولید آلومینا در بخش شرقی پهنه البرز و نیاز روزافزون به مواد خام اولیه بیانگر ضرورت شناسایی ذخایر جدید و اقتصادی نهشته‌های بوکسیتی در این پهنه است.

نهشته بوکسیتی تاش با مختصات جغرافیایی $36^{\circ}35'$ عرض شمالی و $44^{\circ}44'$ طول شرقی در ۴۰ کیلومتری شمال شاهرود و نهشته لاتریتی آستانه با مختصات جغرافیایی $36^{\circ}14'$ عرض شمالی و $54^{\circ}05'$ طول شرقی در ۳۰ کیلومتری شمال غرب دامغان (شکل ۱ الف)، از نهشته‌های

بوکسیتی و لاتریتی تریاس - ژوراسیک در نقاط مختلف البرز از جمله در منطقه آستانه شده‌است.

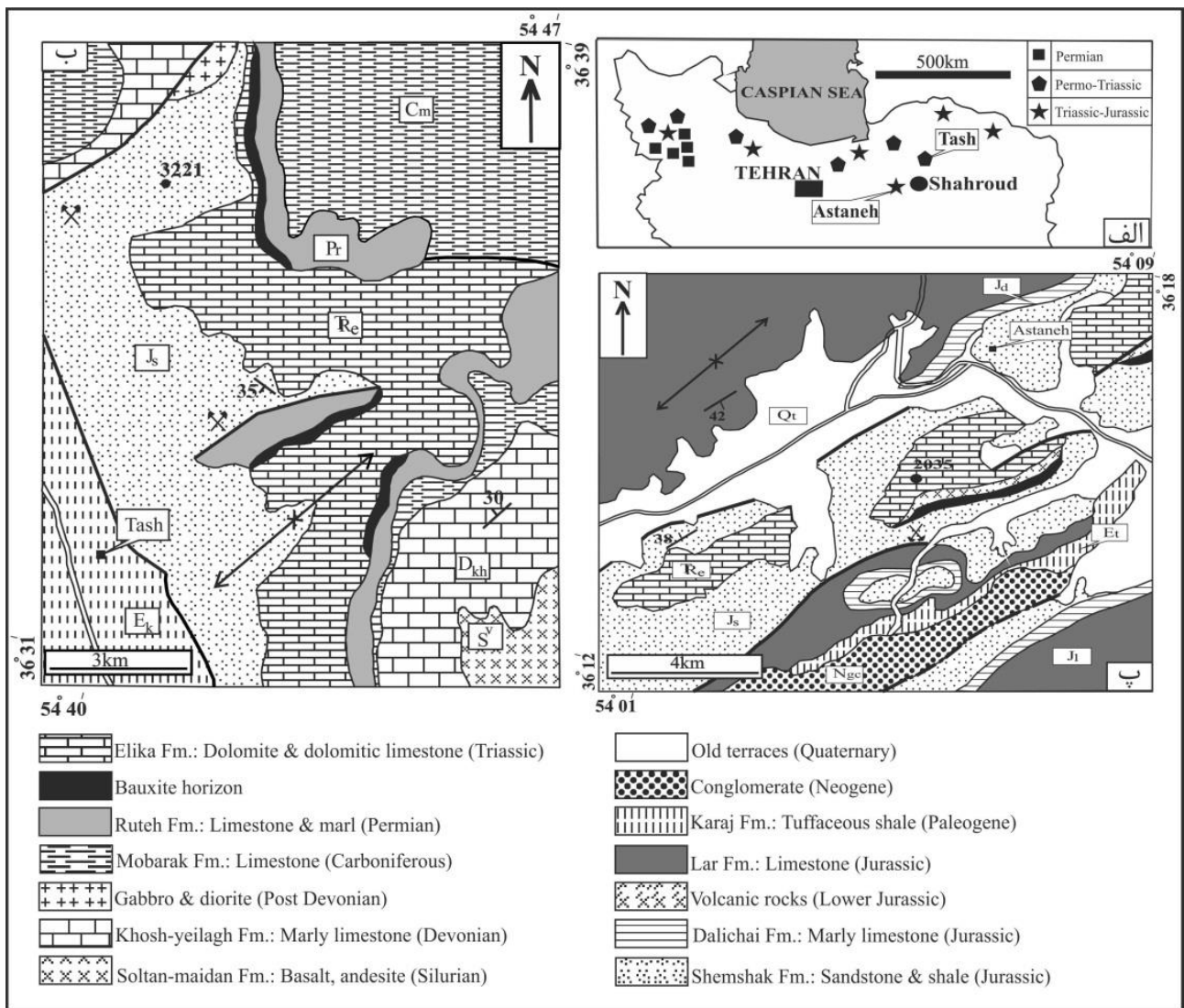
بر اساس نقشه زمین‌شناسی (شکل ۱ب)، کهن‌ترین واحد سنگ‌چینه‌ای رخنمون یافته در منطقه تاش بازالت‌های بالشی سازند سلطان میدان با سن $434/4 \pm 6/1 \text{ Ma}$ است (Ghavidel-Syooki *et al.*, 2011) که توسط سنگ آهک‌های مارنی سازند خوش بیلاق با سن دونین پوشیده شده است. بر روی این سازند، سنگ‌های کربناتی سازند مبارک با سن کربنیفر قرار دارد که به طور هم‌شیب در زیر سنگ آهک‌های توده‌ای سازند روته به سن پرمین قرار گرفته است. مرز بین سازند روته و سنگ آهک‌های دولومیتی سازند الیکا با وجود یک افق بوکسیتی مشخص می‌شود. مرز بالایی سازند الیکا نیز با ناپیوستگی فرسایشی هم‌شیب توسط رسوبات رودخانه‌ای - دلتایی سازند شمشک پوشیده می‌شود. در این منطقه، به دلیل عملکرد نیروهای زمین‌ساختی، مرز بالایی سازند شمشک گسلیده است و توسط توفهای سازند کرج به سن ائوسن در بر گرفته شده‌است (شهرابی، ۱۳۶۹).

کهن‌ترین واحد سنگ‌چینه‌ای رخنمون یافته در منطقه آستانه سنگ آهک‌های دولومیتی سازند الیکا با سن تریاس است که توسط روانه‌های بازالتی پوشیده شده است (شکل ۱پ). افق لاتریتی در این منطقه بر روی لایه بازالتی و گاه در حفرات کارستی سازند الیکا قرار دارد و با ناپیوستگی هم‌شیب توسط شیل و ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک به سن ژوراسیک پیشین پوشیده شده است. بر روی سازند شمشک، طبقات نازک لایه متشکل از سنگ آهک‌های مارنی ژوراسیک میانی قرار دارد که با سنگ آهک‌های سازند لار به سن ژوراسیک پسین پوشیده شده‌اند. جواترین واحدهای سنگ‌چینه‌ای رخنمون یافته در این منطقه شامل شیل‌های توفی سازند کرج به سن پالئوژن، نهشته‌های کنگلومرایی نئوژن و رسوبات عهد حاضر است (شهرابی، ۱۳۶۹).

تشکیل نهشته‌های مورد مطالعه و شرایط دیرینه محیطی آنها مورد بحث قرار گرفت.

زمین‌شناسی و چینه‌شناسی

نهشته‌های بوکسیتی - لاتریتی تاش و آستانه در پهنه ساختاری - رسوبی البرز شرقی واقع شده‌اند. این پهنه که از نظر زمین‌ساختی بسیار پرتکاپو بوده و با تظاهر فعالیت‌های ماگمایی، چین‌ها و گسل‌های متعدد با سازوکار امتدادی و تراستی مشخص می‌شود (آق‌آباتی، ۱۳۸۳)، میزبان نهشته‌های بوکسیتی پرمین - تریاس و تریاس - ژوراسیک است (شکل ۱الف). بررسی‌های چینه‌شناسی و دیرینه‌اقلیمی نشان می‌دهد که افزایش دمای اتمسفری در پرمین پسین باعث ذوب یخچال‌ها و نهشت توالی‌های کربناتی در اغلب نقاط ایران شده است. وقوع ناآرامی‌های زمین‌ساختی در اواخر پرمین و اُفت کلی سطح آب دریا و هوازدگی سنگ‌ها در شرایط آب و هوایی استوایی تا نیمه‌استوایی در این زمان شرایط مناسب برای تشکیل نهشته‌های بوکسیتی پرمین - تریاس (Muttoni *et al.*, 2009) از جمله نهشته تاش را فراهم آورده‌است. در ابتدای تریاس میانی، با پیش‌روی دریا، توالی‌های کربناتی سازند الیکا در البرز نهشته شده‌است (Berberian & King, 1981؛ لاسمی و همکاران، ۱۳۷۹؛ Nazari, 2006). در اغلب نقاط البرز، گذر تریاس میانی به تریاس بالایی ناپیوسته و نشانگر شواهدی از رویداد زمین‌ساختی سیمین پیشین است که با برپایی منطقه‌ای، چین خوردگی و توسعه فرآیندهای کارست‌زایی در سازند الیکا همراه بوده است (معین‌السادات و رضوی ارغمانی، ۱۳۷۲). در ادامه، وقوع مرحله کشتی در تریاس پسین و رخداد کافتش قاره‌ای که با خروج روانه‌های بازالتی قلیایی و ملافیرها در پهنه البرز همراه بوده (Berberian & King, 1981) و نیز ایجاد شرایط مناسب زمین‌شناسی و اقلیمی برای توسعه فرآیندهای بوکسیت‌زایی و لاتریت‌زایی، باعث تشکیل نهشته‌های



شکل ۱: الف) توزیع زمانی و مکانی نهشته‌های بوکسیتی در شمال ایران؛ در این شکل موقعیت جغرافیایی نهشته‌های تاش و آستانه نشان داده شده است. ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه تاش؛ پ) نقشه زمین‌شناسی منطقه آستانه (نقشه پایه از شهرابی، ۱۳۶۹).

به بالا به ۵ واحد شامل بوکسیت قرمز (RB)، بوکسیت سبز پایینی (LGB)، بوکسیت قرمز تیره (DRB)، بوکسیت قهوه‌ای (BB) و بوکسیت سبز بالایی (UGB) قابل تفکیک است (شکل ۳). دیاسپور، کائولینیت، همتیت، گوتیت، برترین و آناز از مهمترین کانیهای شناسایی شده در این نهشته است.

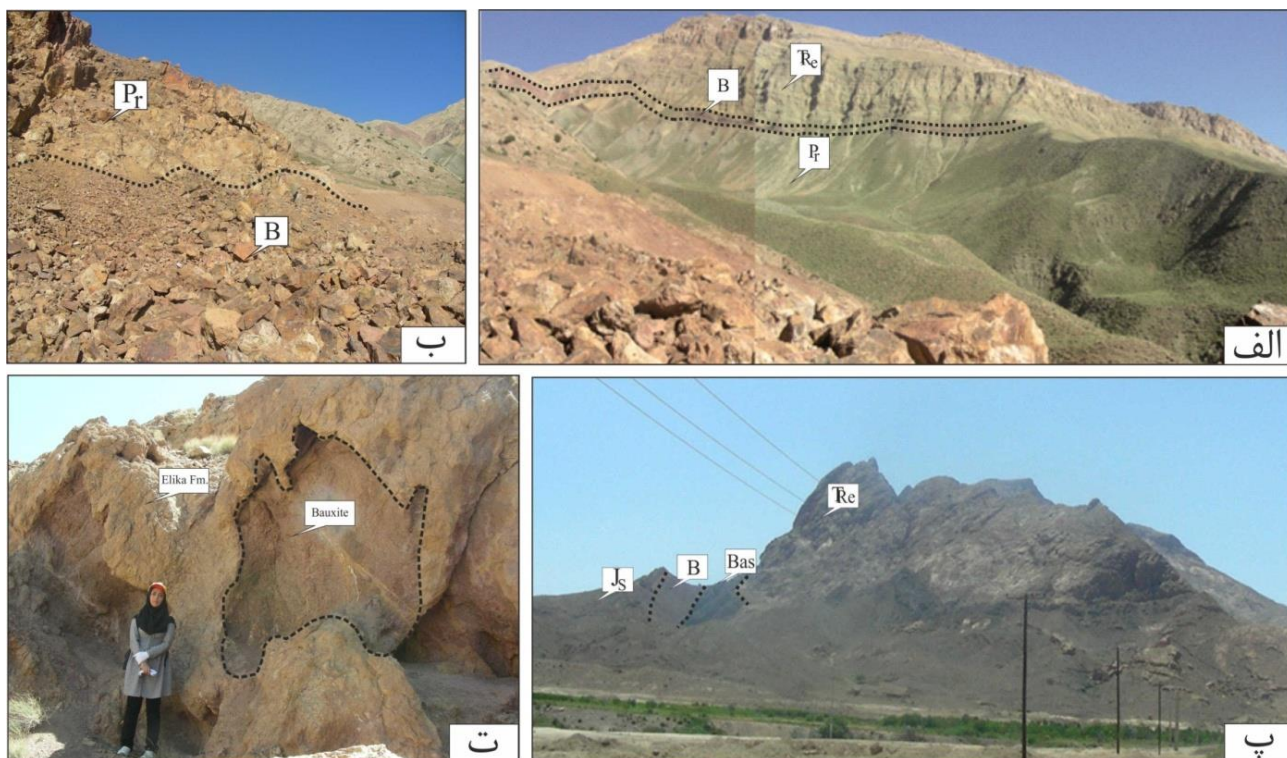
نهشته لاتریتی آستانه به طور عمده تظاهر لایه‌ای تا عدسی شکل دارد و با ضخامت متوسط ۱۵ متر و گسترش طولی بالغ بر ۴ کیلومتر بر روی واحد بازالتی و گاه سنگ آهکهای

مشخصات ریخت‌شناسی

نهشته بوکسیتی تاش به طور عمده دارای تظاهر لایه‌ای است (شکل ۲الف) و با ضخامت متوسط ۱۰ متر و گسترش طولی بالغ بر ۳ کیلومتر در بین سنگ آهکهای سازند روته و سنگ آهکهای دولومیتی سازند الیکا واقع شده است. مرز پایینی این افق با سازند روته موج‌سان و نامنظم و مرز بالایی آن با سازند الیکا تند و منظم است (شکل ۲ب). وجود منطقه‌بندی آشکار درونی از مشخصات بارز این نهشته است که بر مبنای تغییرات سنگ‌نگاری و رخساره‌ای از پایین

نهشته آستانه نیز دارای منطقه‌بندی درونی است و بر مبنای تغییرات سنگ‌نگاری و رخساره‌ای از پایین به بالا به ۳ واحد مجزا شامل واحد لاتریتی قرمز زیرین (LRL)، واحد لاتریتی سبز (GL) و واحد لاتریتی قرمز بالایی (URL) تفکیک شده است (شکل ۳). مهمترین کانیهای این نهشته شامل گوتیت، هماتیت، کائولینیت، کوارتز و مونتموریلونیت است.

دولومیتی سازند الیکا قرار گرفته و توسط شیل و ماسه سنگهای ژوراسیک پوشیده شده است (شکل ۲پ). مرز پایینی این نهشته با واحد بازالتی تدریجی و با سازند الیکا موج‌سان و نامنظم بوده و حفرات کارستی آن را آکنده کرده است (شکل ۲ت). مرز بالایی این نهشته با شیل و ماسه‌سنگهای سازند شمشک ناپیوسته و هم‌شیب است.

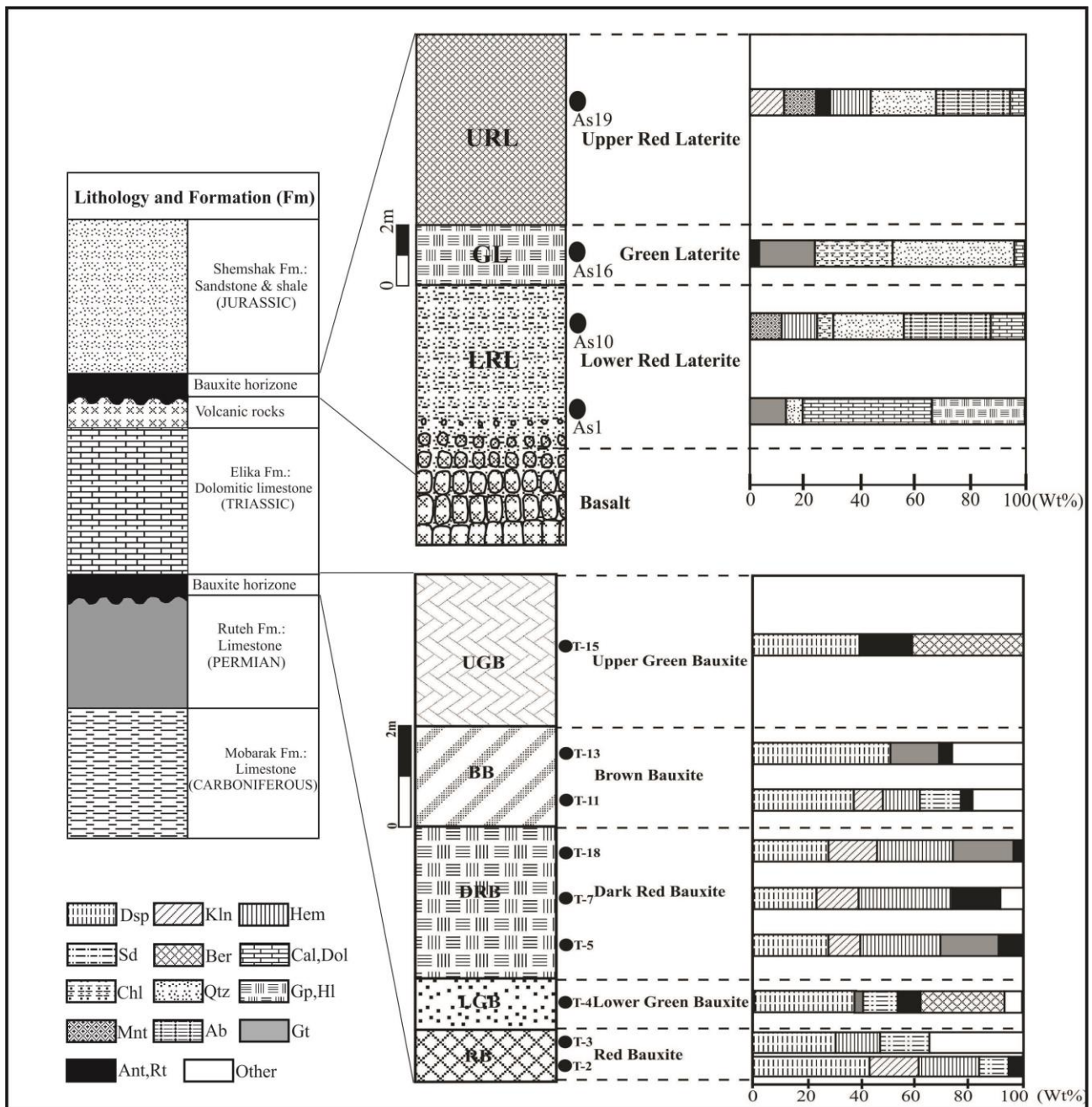


شکل ۲: تصاویر صحرایی از نهشته‌های تاش و آستانه؛ (الف) تظاهر لایه‌ای نهشته بوکسیتی تاش (نگاه به شرق)؛ (ب) مرز موج‌سان نهشته تاش با سنگ‌آهکهای سازند روته؛ (پ) نمای عمومی از منطقه آستانه؛ (ت) آکندگی حفرات کارستی سازند الیکا توسط مواد لاتریتی در نهشته آستانه (نشانه‌های اختصاری: B=افق بوکسیتی، Bas=بازالت، Js=ژوراسیک، سازند شمشک، Pr=پرمین، سازند روته، Re=تریاس، سازند الیکا).

مشخصات بافتی و کانی‌شناسی

به طور کلی، عناصر بافتی موجود در نهشته‌های تاش و آستانه را می‌توان به دو دسته زمینه و متمایز تقسیم کرد (Bardossy, 1982). بافتهای پلیتومورفیک و میکروگرانولار از مهمترین عناصر بافتی زمینه و اووئید، پیزوئید، پلت و قطعات آواری از مهمترین عناصر بافتی متمایز در این نهشته‌هاست که در بررسیهای سنگ‌نگاری شناسایی شده‌اند. بررسیهای بافتی بر روی نمونه‌های مورد مطالعه نشان‌دهنده دو خاستگاه برجازا و

نابرجازا برای نهشته‌های تاش و آستانه است. بافتهای پلیتومورفیک (شکل ۴الف)، میکروگرانولار (شکل ۴ب)، اووئیدی (شکل ۴پ)، پیزوئیدی (شکل ۴ت) و کلوفرمی - جریان (شکل ۴ث) از شواهد برجازا بودن (Petrascheck, 1989) و قطعات بوکسیتی خردشده با بافت ریزآواری (شکل ۴ج)، پلتها (شکل ۴چ)، اووئیدهای خرد شده (شکل ۴ح) و نیز اووئیدهای با اندازه و شکل متفاوت (شکل ۴خ) از شواهد نابرجازا بودن (Bardossy, 1982) این نهشته‌هاست.

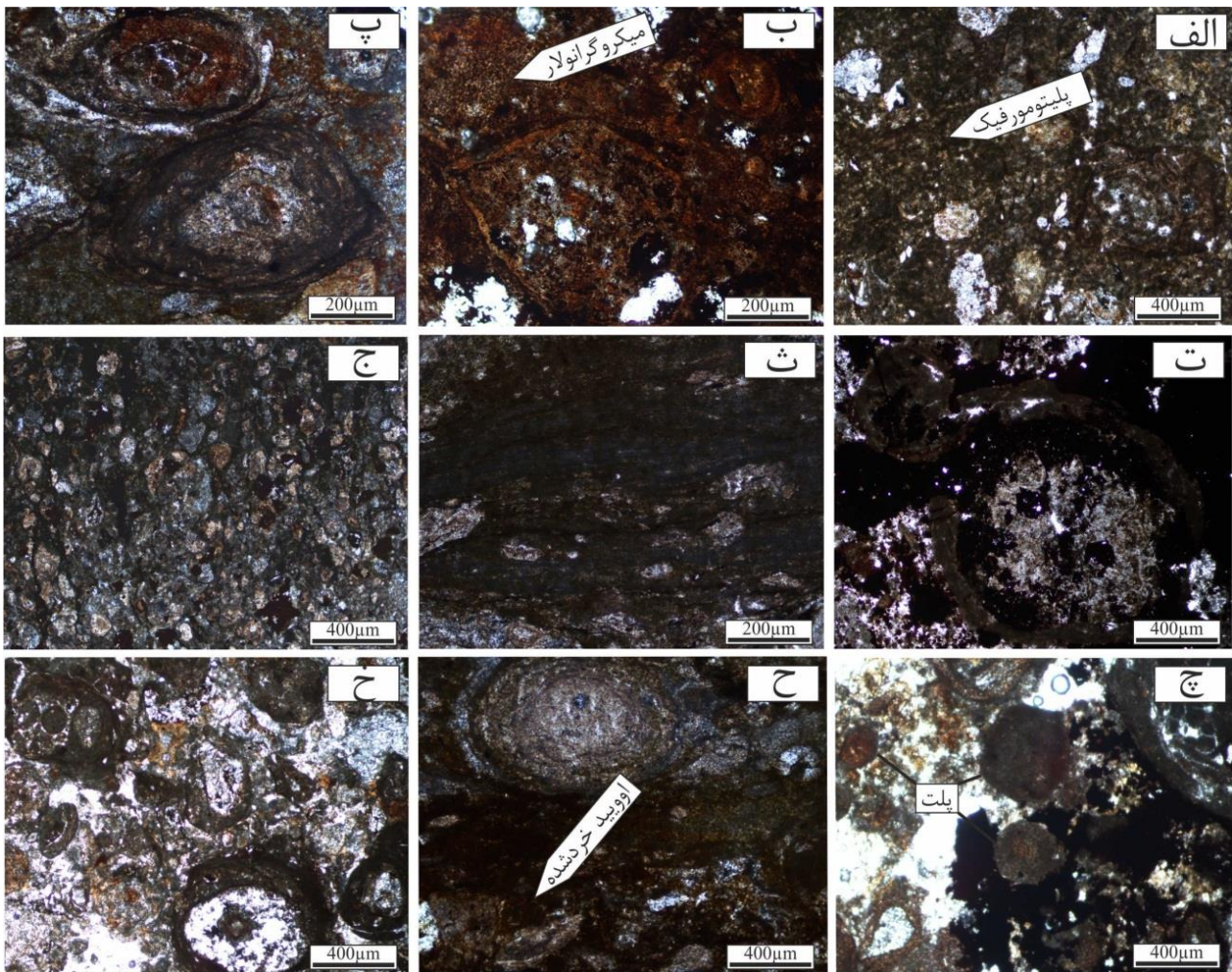


شکل ۳: توالی چینه‌شناسی طرح‌گونه از مناطق تاش و آستانه که در آن موقعیت چینه‌شناسی نهشته‌های مورد مطالعه مشخص شده است (سمت چپ). در این شکل تغییرات رخساره‌های نهشته‌های تاش (پایین) و آستانه (بالا) و نیز فراوانی نیمه‌کمی کانیها (سمت راست) نمایش داده شده است. دایره‌های توپر موقعیت نمونه‌برداری را نشان می‌دهند (نشانه‌های اختصاری: Dsp=دیاسپور، Kln=کائولینیت، Hem=هماتیت، Sd=سیدریت، Ber=برتیرین، Cal=کلسیت، Dol=دولومیت، Chl=کلریت، Qtz=کوارتز، Gp=ژپس، HI=هالیت، Mnt=مونتموریلونیت، Ab=آلبیت، Gt=گوتیت، Ant=آناتاز، Rt=روتیل، T=تاش، As=آستانه).

الف) نهشته تاش

به طور کلی، کانیهای تشکیل‌دهنده نهشته تاش در ۶ دسته شامل هیدروکسیدهای آلومینیوم‌دار (دیاسپور)، اکسیدهای تیتان‌دار (آناتاز و روتیل)، اکسیدها و هیدروکسیدهای

آهن‌دار (هماتیت و گوتیت)، کانیهای سیلیکاتی (کائولینیت، برتیرین، کلریت و کوارتز)، کانیهای کربناتی (سیدریت، کلسیت) و کانیهای سولفیدی (پیریت) قرار می‌گیرند که اغلب به روش XRD شناسایی شده‌اند (شکل ۵).



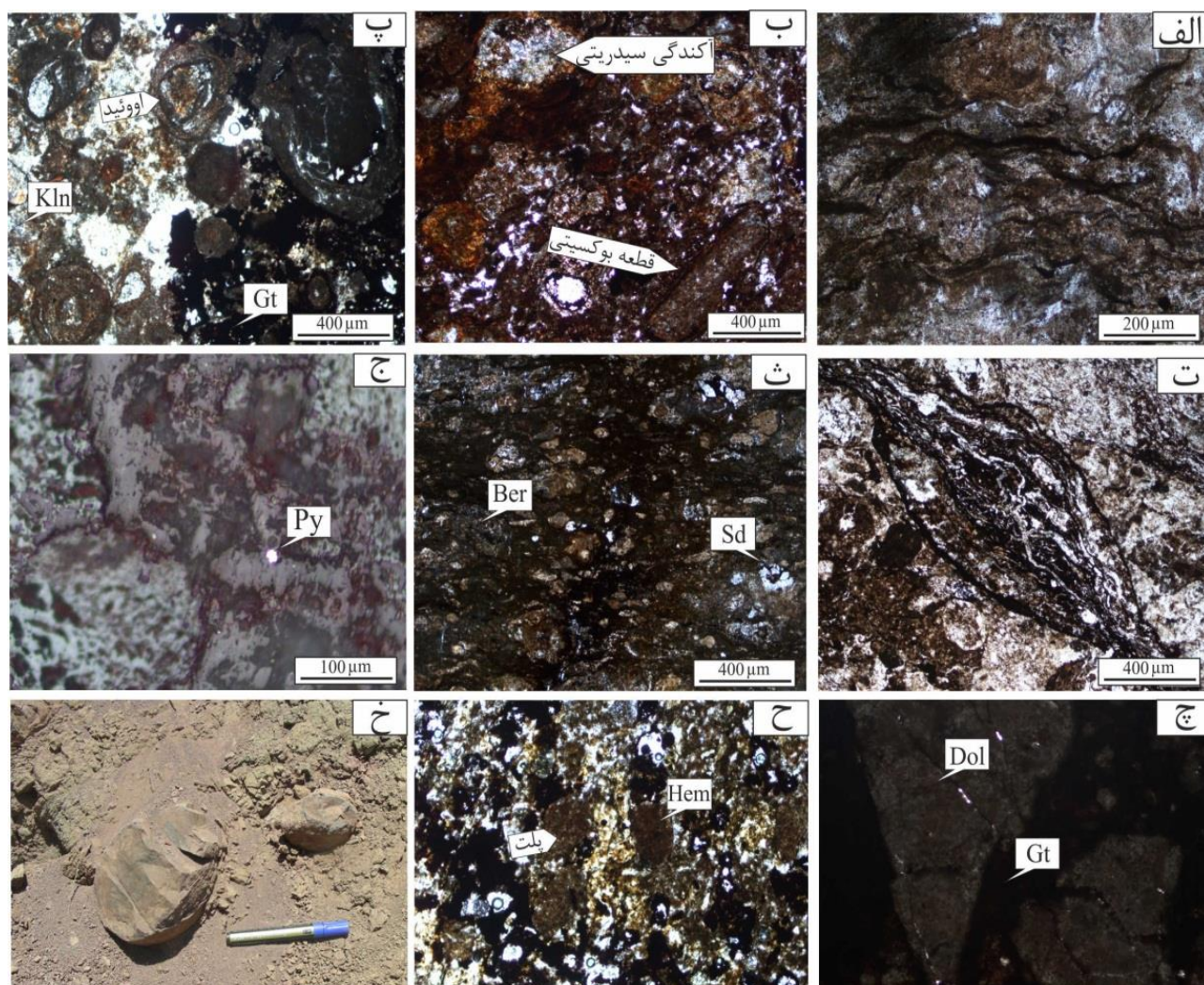
شکل ۴: تصاویر میکروسکوپی از شواهد بافتی برجازا و نابرجازا در نهشته‌های تاش و آستانه؛ الف) بافت پلیمورفیک؛ ب) بافت میکروگرانولار؛ پ) بافت اوئیدی؛ ت) بافت پیژوئیدی؛ ث) بافت جریانی - کلوفرمی؛ ج) بافت ریزآواری؛ چ) پلت؛ ح) اوئیدهای خردشده؛ خ) اوئیدهایی با اندازه و شکل متفاوت؛ همه تصاویر در نور گذرای عادی گرفته شده‌اند.

هماتی (شکل ۴چ) از مهمترین عناصر بافتی این واحد است. بافت جریانی - کلوفرمی (شکل ۴الف) در برخی از نمونه‌ها مشاهده شد که بیانگر بوکسیتی شدن غیرمستقیم سنگ مادر است (Boulangé, 1984).

واحد بوکسیت سبز پایینی (LGB): این واحد با ضخامت متوسط ۱ متر بر روی واحد بوکسیت قرمز و در زیر واحد قرمز تیره قرار گرفته و به دلیل برخورداری از رنگ سبز قابل تشخیص است. دیاسپور، برترین، سیدریت و به مقدار کمتر آناتاز، کوارتز و گوتیت از کانیهای تشکیل دهنده واحد بوکسیت سبز پایینی است. رنگ سبز این واحد را می‌توان به

کانیها در هر یک از واحدهای شناسایی شده در نهشته تاش و مشخصات رخساره‌ای این واحدها به شرح ذیل است:

واحد بوکسیت قرمز (RB): این واحد دارای ضخامت متوسط ۱ متر و رنگ ظاهری قرمز است که با مرز موج‌سان و نامنظم بر روی سنگ آهکهای دولومیتی سازند روتنه قرار گرفته و به سمت بالا به واحد بوکسیت سبز پایینی تبدیل می‌شود (شکل ۳). دیاسپور، هماتیت، سیدریت، کائولینیت، کلریت و در مقادیر کمتر آناتاز، ایلیت، کوارتز و کلسیت از کانیهای تشکیل دهنده این واحد است. زمینه میکروگرانولار، قطعات بوکسیتی آواری با فراوانی ۵۰ درصد (شکل ۴ب) و پلتهای



شکل ۶: تصاویر میکروسکوپی و ماکروسکوپی از واحدهای مختلف شناسایی شده در مناطق تاش و آستانه؛ الف) بافت جریان - کلوفرمی؛ ب) قطعات بوکسیت آواری در زمینه میکروگرانولار و آکندگی فضاها توسط کلسیت؛ پ) بافت اووئیدی؛ ت) اسپاستولیت؛ ث) قطعات بوکسیتی خرد شده با بافت ریزآواری؛ ج) پیریت افشان؛ چ) قطعات سنگی؛ ح) پلت‌های هماتیتی؛ خ) کنکرسینونهای واحد لاتریتی سبز آستانه (نشانه‌های اختصاری: Kln= کائولینیت، Sd= سیدریت، Ber= برتیرین، Py= پیریت، Dol= دولومیت، Gt= گوتیت، Hem= هماتیت). تصویر ج در نور بازتابی عادی و سایر تصاویر در نور گذاری عادی گرفته شده‌اند.

از نظر تعداد لامینه‌ها نشان می‌دهد که مواد بوکسیتی به صورت ژله‌های غنی از آهن، سیلیکا و آلومینا توسط آبهای جاری از سنگ مادر شسته شده و در یک محیط مردابی - ساحلی که سطح ایستابی و شرایط اکسایشی - احیایی آن دائم در حال نوسان بوده ته‌نشین شده‌اند (Öztrük *et al.*, 2002).

واحد بوکسیت قهوه‌ای (BB): این واحد در حدود ۲ متر ضخامت دارد و با رنگ قهوه‌ای از سایر واحدها قابل

فراوانی ۱۵ درصد و ابعاد بیش از ۲۰۰ میکرون، اسپاستولیتها^۱ (شکل ۶) و پیروئیدهای کم تعداد و کم لامینه (شکل ۴) از دیگر عناصر بافتی متمایز در واحد بوکسیت قرمز تیره‌اند که گاه توسط رگچه‌ها و آکندگیهای شکافی قطع شده‌اند. گسترش محدود پیروئیدها چه از نظر فراوانی و چه

۱- اسپاستولیت به اووئیدها و پیروئیدهای تغییر شکل یافته‌ای اطلاق می‌شود که در مرحله کلوییدی بر اثر وزن طبقات متحمل تغییر شکل پلاستیکی شده‌اند و از شواهد برجایز بودن نهشته می‌باشند (Reolid *et al.*, 2008).

تشکیل این واحدها طی فرآیندهای بوکسیت‌زایی و شدت یکسان انحلال و آب‌شویی در این واحدها است.

ب) نهشته آستانه

کانیهای تشکیل‌دهنده نهشته آستانه در ۴ دسته شامل اکسیدهای تیتان‌دار (آنتاز و روتیل)، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن‌دار (هماتیت و گوتیت)، کانیهای سیلیکاتی (کائولینیت، مونتموریلونیت، کلریت، کوارتز و آلپیت) و کانیهای تبخیری (کلسیت، دولومیت، ژپس و هالیت) قرار می‌گیرند (شکل ۵). این نهشته منطقه‌بندی درونی دارند و به ۳ واحد مختلف قابل تفکیک هستند (شکل ۳):

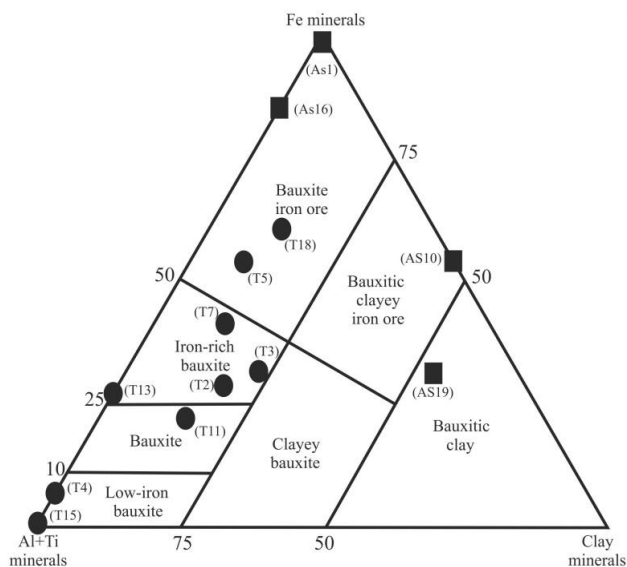
واحد لاتریتی قرمز زیرین (LRL): این واحد دارای تظاهر لایه‌ای با ۶ متر ضخامت است که با رنگ ظاهری قرمز، تورق شیلی و خردشوندگی زیاد مشخص می‌شود. بخش زیرین این واحد همبری تدریجی با بازالت‌های سنگ بستر دارد و حاوی قطعات دگرسان شده بازالتی است. زمینه پلئومورفیک و وجود قطعات سنگی (شکل ۶ج) و پلت (شکل ۶ح) از مشخصات بافتی این واحد است. گوتیت، هماتیت، دولومیت، ژپس، آلپیت، کوارتز، مونتموریلونیت و به مقدار کمتر کلسیت، کلریت و هالیت از کانیهای تشکیل‌دهنده این واحد است. بررسی مقادیر نیمه کمی این کانیها (شکل ۳) نشان دهنده فراوانی بیشتر کانیهای آهن‌دار نسبت به کانیهای آلومینیوم‌دار و بیانگر ناکامل بودن فرآیندهای بوکسیت‌زایی و وجود سنگ مادر غنی از آهن است که با شواهد صحرایی مبنی بر حضور سنگ بستر بازالتی در این منطقه همخوانی دارد.

واحد لاتریتی سبز (GL): این واحد که حدود ۲ متر ضخامت دارد به دلیل رنگ ظاهری سبز و فراوانی کنکرسینونهای به قطر ۱۰ سانتی‌متر (شکل ۶خ) از سایر واحدها قابل تفکیک است. تشکیل کنکرسینون در این واحد را می‌توان به ناهمگن

تشخیص است. از مهمترین کانیهای این واحد می‌توان به دیاسپور، کلریت، هماتیت، گوتیت، سیدریت و در مقادیر کمتر به کلسیت، کائولینیت و آنتاز اشاره کرد (شکل ۳). این واحد دارای زمینه پلئومورفیک است که قطعات آواری بوکسیتی با اندازه‌های مختلف را دربر گرفته است (شکل ۴الف).

واحد بوکسیت سبز بالایی (UGB): این واحد که از نظر رنگ مشابه واحد بوکسیت سبز پایینی است دارای ۳ متر ضخامت بوده و با همبری منظم در زیر سنگ آهک‌های دولومیتی سازند الیکا قرار گرفته است. این واحد زمینه میکروگرانولار دارد و واجد عناصر بافتی متمایز از قبیل اووئیدهای یک هسته‌ای، کم لامینه و ضخیم، پلت و قطعات بوکسیتی خرد شده با بافت ریز آواری (شکل ۶ث) است. دیاسپور، برتیرین، آنتاز و به مقدار جزئی پیریت (شکل ۶ج) از کانیهای شناسایی شده در این واحد است. پیریت تنها کانی سولفیدی نهشته بوکسیت تاش است که در واحدهای بوکسیت سبز پایینی و بالایی شناسایی شد. حضور این کانی نشان‌دهنده وجود شرایط احیایی است. گوگرد مورد نیاز برای تشکیل این کانی را می‌توان به احیای باکتریایی سولفات‌های آب دریایی یا اکسایش مواد آلی نسبت داد (Öztrük et al., 2002). به نظر می‌رسد آهن مورد نیاز برای تشکیل این کانی از اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن تامین شده که در شرایط احیایی تحرک دوباره یافته و به صورت پیریت نهشته شده است. فراوانی برتیرین و حضور پیریت در واحدهای سبز پایینی و بالایی بیانگر تشکیل این کانیها در مراحل اولیه دیاژنز و تحت شرایط نسبتاً احیایی است که باعث تشکیل بوکسیت‌های نوع فریتیک می‌شود (Argenio & Mindszenty, 1995). بوکسیت‌های نوع فریتیک بر عکس نوع وادوز در دشتهای کارستی کم ارتفاع تشکیل می‌شوند (Boni et al., 2013). تشابه بافتی و کانی‌شناسی واحدهای بوکسیت سبز بالایی و پایینی پیشنهاد دهنده شرایط یکسان زمین‌شناسی در

تاش و آستانه (جدول ۱) نشانگر تغییرات غلظت Al_2O_3 ، Fe_2O_3 و SiO_2 به ترتیب از ۲۰/۷۹ تا ۵۲/۰۲ درصد برای Al_2O_3 ، ۲۱/۸۲ تا ۵۵/۸۹ درصد برای Fe_2O_3 و ۲/۷۸ تا



شکل ۷: مشخصات رخساره‌های نهشته‌های تاش (دایره توپر) و آستانه (مربع توپر) بر روی نمودار سه‌تایی کانیهای آلومینیوم - تیتان دار، کانیهای آهن دار و کانیهای رسی؛ برای مشخص شدن موقعیت صحرایی نمونه‌ها، شکل ۳ را ببینید (نمودار پایه از Bardossy, 1982).

۱۵/۰۳ درصد برای SiO_2 در نهشته تاش و ۱/۷۴ تا ۱۷/۴۳ درصد برای Al_2O_3 ، ۹/۱۱ تا ۲۷/۰۳ درصد برای Fe_2O_3 و ۰/۹۵ تا ۵۵/۲۰ درصد برای SiO_2 در نهشته آستانه است. مقایسه غلظت این اکسیدها با نهشته جاجرم در پهنه البرز شرقی (امینی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Mollai, 2011) و مورتاس در جنوب ترکیه (Öztrük et al., 2002)، از نهشته‌های واقع در کمربند بوکسیتی ایران - هیمالیا، نشان‌دهنده مقدار بسیار پایین Al_2O_3 در نهشته آستانه است. این در حالی است که نهشته تاش از مقدار Al_2O_3 بیشتری برخوردار بوده و تشابه بیشتری به نهشته‌های جاجرم و مورتاس دارد (شکل ۸). 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 ۲/۳۸ تا ۱۰/۱۹ در

بودن کلونید اولیه و وجود هسته مناسب نسبت داد (کلاگری و همکاران، ۱۳۸۲). کوارتز، کلریت و گوتیت از کانیهای اصلی این واحد است.

واحد لاتریتی قرمز بالایی (UGL): این واحد با ضخامت حدود ۷ متر، تورق شیلی و خردشوندگی زیاد دارد و رنگ ظاهری آن از قرمز روشن در بخش پایینی به قرمز تیره در بالا تغییر می‌یابد. هماتیت، کائولینیت، مونتموریلونیت، آلبیت، کوارتز و آنتاز از مهمترین کانیهای تشکیل‌دهنده این واحد می‌باشند (شکل ۳).

مشخصات رخساره‌ای

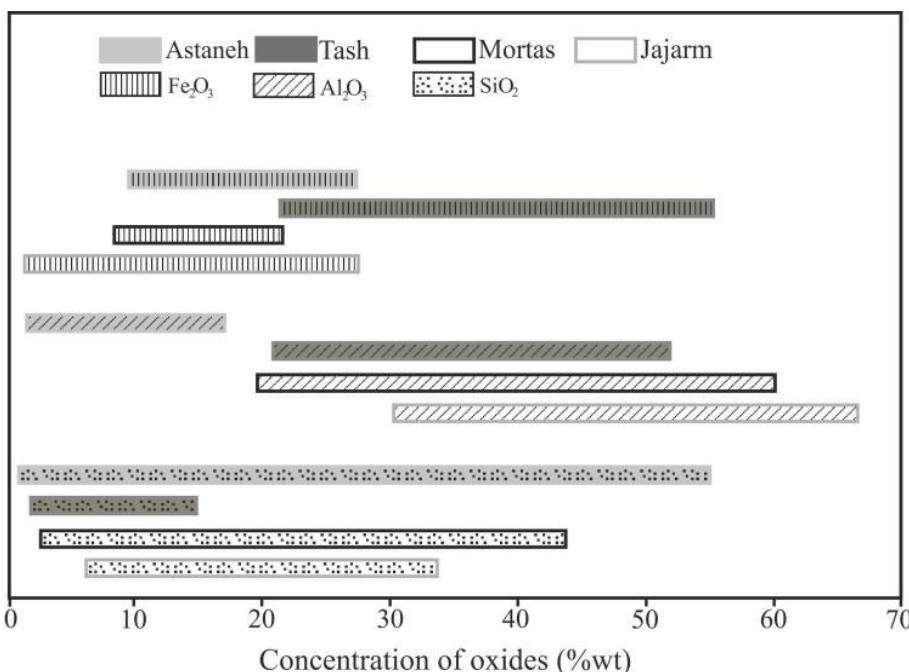
برای تعیین مشخصات رخساره‌های نهشته‌های تاش و آستانه از مقادیر نیمه کمی کانیهای آلومینیوم و تیتان دار، کانیهای آهن دار و کانیهای رسی و پیاده‌سازی داده‌ها بر روی نمودار سه‌تایی این کانیها استفاده شد (شکل ۷). بررسی مشخصات رخساره‌ای در نهشته تاش نشان‌دهنده رخساره بوکسیت غنی از آهن برای واحد بوکسیت قرمز، رخساره بوکسیت فقیر از آهن برای واحد بوکسیت سبز پایینی، رخساره‌های بوکسیت غنی از آهن و کانسنگ آهن بوکسیتی برای واحد بوکسیت قرمز تیره، رخساره بوکسیت برای واحد بوکسیت قهوه‌ای و رخساره بوکسیت فقیر از آهن برای واحد بوکسیت سبز بالایی است. این در حالی است که نهشته آستانه به دلیل فراوانی بیشتر کانیهای آهن‌دار به طور عمده در قلمرو رخساره کانسنگ آهن بوکسیتی قرار می‌گیرد، به طوری که واحد لاتریتی قرمز زیرین دارای رخساره کانسنگ آهن بوکسیتی، واحد لاتریتی سبز دارای رخساره‌های کانسنگ آهن بوکسیتی و کانسنگ آهن رسی بوکسیتی و واحد لاتریتی قرمز بالایی از نوع رخساره رس بوکسیتی است.

مشخصات زمین‌شیمیایی

بررسی نتایج تجزیه شیمیایی سنگ کل نهشته‌های بوکسیتی

جدول ۱: نتایج تجزیه شیمیایی اکسیدهای اصلی در نمونه‌های تاش (T1 تا T10) و آستانه (AS1 تا AS6).

SiO ₂ (wt%)	آستانه						تاش									
	AS6	AS5	AS4	AS3	AS2	AS1	T10	T9	T8	T7	T6	T5	T4	T3	T2	T1
SiO ₂ (wt%)	۴۶/۲۴	۴۲/۳۴	۳۱/۵۱	۵۵/۲	۴۱/۲۱	۴۲/۵۸	۳/۷۵	۱۴/۶۵	۷/۹۸	۶/۷۵	۱۵/۰۳	۶/۳۴	۲/۷۸	۱۰/۶۸	۸/۳۴	۷/۶۵
Al ₂ O ₃	۱۷/۴۳	۱۲/۶۷	۱۴/۰۳	۱۵/۳۴	۱۶/۹۵	۱۶/۳۱	۲۴/۵۷	۳۴/۹۶	۵۲/۰۲	۳۹/۷۷	۲۳/۴۹	۲۰/۷۹	۲۸/۳۴	۳۴/۲۶	۳۲/۴۵	۴۶/۲۵
Fe ₂ O ₃	۱۷/۵۲	۲۷/۰۳	۱۸/۲۸	۹/۶۶	۱۴/۹۸	۹/۳۲	۵۴/۶۷	۳۲/۸۸	۲۱/۸۲	۳۲/۴۵	۳۳/۵۱	۵۵/۸۹	۵۲/۶۸	۳۶/۵۱	۳۹/۲۳	۲۵/۸۹
CaO	۲/۲۹	۱/۳۹	۶/۶۵	۳/۵۳	۵/۲۲	۱۲/۹۶	۰/۴	۰/۲۴	۰/۵۹	۰/۳۲	۰/۷۱	۰/۷۲	۰/۲۶	۰/۴	۰/۵۱	۰/۲۵
Na ₂ O	۰/۵۹	۰/۱۶	۲/۶۹	۰/۵۲	۲/۷۵	۳/۴۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳
K ₂ O	۰/۹۶	۰/۱۳	۰/۰۷	۱/۶۶	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۴۶	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۴۸	۰/۰۷
MgO	۱/۵۸	۲/۶۸	۷/۱۵	۱/۵۷	۲/۹۶	۲/۳۴	۰/۲۹	۰/۹۶	۰/۱۵	۰/۷۵	۱/۰۱	۰/۳۱	۰/۱۴	۰/۸۲	۰/۹	۰/۳۷
TiO ₂	۱/۹۱	۱/۷۴	۱/۳۱	۱/۴۱	۱/۲۳	۱/۱۴	۲/۱۲	۳/۶۶	۳/۴۳	۳/۹۷	۲/۲۹	۲/۵۶	۲/۹۷	۳/۱۳	۲/۳۷	۴/۲۹
MnO	۰/۱۳	۰/۴۴	۰/۲۱	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۲۶	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۵
P ₂ O ₅	۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
L.O.I	۱۰/۹۱	۱۰/۸۷	۱۷/۶۵	۱۰/۸۱	۱۳/۸	۱۱/۲۳	۱۳/۷۲	۱۲/۱۵	۱۳/۵۵	۱۲/۲۵	۲۳/۰۵	۱۲/۶۸	۱۲/۱	۱۳/۸۴	۱۵/۱۹	۱۴/۹۲
Total	۹۹/۶۱	۹۹/۶۴	۹۹/۶۵	۹۹/۷۶	۹۹/۵۳	۹۹/۶۵	۹۹/۸۶	۹۹/۶۶	۹۹/۶۴	۹۹/۷۳	۹۹/۷	۹۹/۶۴	۹۹/۶۵	۹۹/۷۸	۹۹/۶۱	۹۹/۶۸



شکل ۸: تغییرات غلظت اکسیدهای Fe₂O₃, Al₂O₃ و SiO₂ در نهشته‌های تاش و آستانه و مقایسه آن با کانسارهای جاجرم (امینی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Mollai, 2011) و مورتاس (Öztrük et al., 2002).

بودن (Bardossy, 1982) و وجود پلتها و قطعات آواری از شواهد بافتی نابرجازا بودن (Öztrük et al., 2002) این نهشته‌هاست. تظاهر لایه‌ای شکل نهشته تاش و مرزهای مشخص و واضح آن با سنگ آهک‌های سازند روت‌ه پیشنهاد دهنده تعلق این نهشته به گروه بوکسیت‌های کارستی، نابرجازا بودن مواد و انتقال آنها به محیط‌های رسوب‌گذاری (Herrmann et al., 2007) است.

نهشته تاش در تغییر است و بر اهمیت اقتصادی و کیفیت مناسب بوکسیت‌های این نهشته دلالت دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

شواهد سنگ‌نگاری و رخساره‌ای نشان دهنده دو خاستگاه برجازا و نابرجازا برای نهشته‌های تاش و آستانه است. بافت‌های اووئیدی، پیزوئیدی و پلیتومورفیک از شواهد برجازا

تلفیق یافته‌های چینه‌شناسی، سنگ‌نگاری و رخساره‌ای نشانگر سه مرحله اصلی در سرگذشت تشکیل نهشته تاش و دو مرحله اصلی در تشکیل نهشته آستانه است. در هر دو نهشته، در مرحله نخست، توسعه فرآیندهای هوازدگی فیزیکی و شیمیایی باعث شست‌وشوی عناصر قلیایی و سیلیس از سنگ منشأ شده و با غنی‌شدگی عناصر نامتحرک، خاکهای بوکسیتی و لاتریتی تشکیل شده‌اند. وجود اووئیدها و یزویدهای چند لامینه‌ای متشکل از لامینه‌های غنی از هماتیت - کائولینیت و گوتیت - دیاسپور نشانگر نوسانات اقلیمی، تناوب در فصول خشک و مرطوب و تغییرات پیوسته شرایط اکسایش و احیا در محیط تشکیل این نهشته‌ها است. هم‌نشینی هماتیت و کائولینیت در لامینه‌ها به محیطهای خشک استوایی و حضور گوتیت و دیاسپور به وجود شرایط اکسیدی ضعیف و اسیدی ضعیف تا متوسط نسبت داده شده است (کلاگری و همکاران، ۱۳۸۳). در مرحله دوم، این خاکها در یک محیط ساحلی و بر اثر نوسانات سطح آب به حفره‌های کارستی سازند روته در نهشته تاش و سازند الیکا در نهشته آستانه منتقل شده و نهشت یافته‌اند. تغییر در وضعیت رسوب‌گذاری یکی از عوامل مؤثر در تغییرات بافتی و رخساره‌ای این نهشته‌ها و بروز منطقه‌بندی درونی بوده است (Herrmann et al., 2007). با توجه به قرارگیری بخش زیادی از نهشته آستانه بر روی سنگ منشأ بازالتی،

به نظر می‌رسد این مرحله در نهشته آستانه از اهمیت کمتری برخوردار بوده و تنها باعث انتقال محلی مواد لاتریتی و انباشت آنها در حفرات کارستی شده است. مرحله سوم که تنها در نهشته تاش به وقوع پیوسته بر اثر زه‌کشی و فروشت آبهای جوی و نوسانات سطح ایستابی به وجود آمده و باعث تغییرات کانی‌شناسی و رخساره‌ای و سرانجام توسعه آشکار منطقه‌بندی درونی در این نهشته شده است. در این مرحله، با شست‌وشو و سیلیکازدایی مواد بوکسیتی و افزایش غلظت آلومینا کیفیت کانسنگ بهبود یافته است. نقش آبهای نسبتاً اسیدی در بهبود کیفیت کانسنگ و تشکیل دیاسپور که بر اثر انحلال و تبلور دوباره در طی مراحل دیرزاد روی می‌دهد توسط محققین مختلف (به عنوان مثال: Maclean et al., 1997؛ حبیب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳) نشان داده شده است. نهشته‌های بوکسیتی از نظر محیط زمین‌شیمیایی تشکیل به دو گروه وادوز واقع در بالای سطح ایستابی و فریاتیك واقع در زیر سطح ایستابی تقسیم شده‌اند (Boni et al., 2013). حضور دیاسپور، کائولینیت، هماتیت، گوتیت، کلریت و پیریت در مجموعه‌های کانی‌شناسی نهشته‌های تاش و آستانه نشانگر نبود شرایط کاملاً وادوز یا فریاتیك در تشکیل این نهشته‌هاست. بنابراین، به نظر می‌رسد این کانیها در پهنه تدریجی بین محیط وادوز تا فریاتیك تشکیل شده‌اند.

منابع

- آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶ ص.
- امینی، ل.، شمعیان، غ.ح.، رقیمی، م.، جعفر زاده، ر.، ۱۳۹۰. بررسی‌های کانی‌شناسی، زمین‌شناسی و پیدایشی کانسارهای بوکسیت کارستی جاجرم. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۳: ۴۱۳-۴۲۶.
- حبیب‌زاده، ا.، شمعیان، غ.ح.، عمرانی، ه.، ۱۳۹۳. تجزیه و تحلیل عناصر بافتی در بوکسیت‌های کارستی جاجرم: ترکیب و شرایط تشکیل. مجله زمین‌شناسی اقتصادی، ۶(۱): ۱۶۳-۱۷۶.
- شهرابی، م.، ۱۳۶۹. نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ گرگان. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- کلاگری، ع.ا.، عابدینی، ع.، مؤذن، م.، ۱۳۸۲. زمین‌شناسی و کانی‌شناسی افق بوکسیتی قپی در غرب میاندوآب، آذربایجان غربی. *مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، ۲: ۱۶۵-۱۸۵.
- کلاگری، ع.ا.، عابدینی، ع.، مؤذن، م.، ۱۳۸۳. سنگهای دیاباز منشأ عمده واحد بوکسیتی پرموتریاس در قپی، غرب میاندوآب، آذربایجان غربی، ایران. *نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم*، ۲: ۳۸۷-۴۰۰.
- لاسمی، ی.، داود، ج.، نادر، ک.، ۱۳۷۹. بررسی سازند الیکا در غرب البرز شرقی، ناحیه غزنوی. *چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران*، تبریز، صص. ۱۹۸-۲۰۲.
- معین‌السادات، س.ح.، رضوی ارمغانی، م.ب.، ۱۳۷۲. زغال‌سنگ. *سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور*، ۲۸۶ ص.
- Argenio, B., & Mindszenty, A., 1995. Bauxites and related paleokarst: Tectonic and climatic event markers at regional unconformity. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 88: 453-499.
- Bardossy, G., & Aleva, G.J.J., 1990. Lataritic bauxite. *Developments in Economic Geology*. Elsevier, Amsterdam, 624p.
- Bardossy, G., 1982. Karst Bauxites-Bauxite deposits on carbonate rocks. *Developments in Economic Geology*. Elsevier, Amsterdam, 441p.
- Berberian, M., & King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Earth Science*, 18: 210-265.
- Calagari A.A., & Abedini A., 2007. Geochemical investigation on Permo-Triassic bauxite horizon at Kanisheeteh of Bukan, West-Azarbaidjan, Iran. *Geochemical Exploration Journal*, 94: 1-18.
- Boni, M., Rollinson, G., Mondillo, N., Balassone, G., & Santoro, L., 2013. Quantitative Mineralogical Characterization of Karst Bauxite Deposits in the Southern Apennines, Italy. *Economic Geology*, 108: 813-833.
- Boulangé, B., 1984. Les formations bauxitiques latéritiques de Côte d'Ivoire. Les faciès. Leur transformation, leur distribution et l'évolution du modèle. *Travet Doc, ORSTOM*, Paris, 341p.
- Ghavidel-Syooki, M., Hasanzadeh, J., & Vecoli, M., 2011. Palynology and isotope geochronology of the Upper Ordovician-Silurian successions (Ghelli and Soltan-Maidan Formation) in the Khoshyeilagh area, eastern Alborz Range, northern Iran. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 164: 251-271.
- Herrmann, L., Anongrak, N., Zarei, M., Schuler, U., & Spohrer K., 2007. Factor and processes of gibbsite formation in Northern Thailand. *Journal of Asian Earth Sciences*, 71: 279-291.
- Johns, W.D., Grim, R.E., & Bradly, W.F., 1954. Quantitative estimation of clay minerals by diffraction methods. *Journal of Sediment Petrology*, 24: 242-251.
- Maclean, W.H., Bonavia, F.F., & Sanna, G., 1997. Argillite debris converted to bauxite during karst weathering: evidence from immobile element geochemistry at the Olmedo Deposit, Sardinia. *Mineralum Deposita*, 32: 607-616.
- Mollai, H., 2011. Role of Mineralogy and Geochemistry in the Beneficiation of Jajarm Bauxite from North East Iran: Comparison with some other Bauxite Deposits of the World. *Iranian Journal of Earth Sciences*, 3: 153-167.
- Muttoni, G., Gaetani, M., Kent, D.V., Sciunnach, D., Angiolini, L., Berra, F., Garzanti, E., Mattei, M., & Zanchi, A., 2009. Opening of the Neo-Tethys Ocean and the Pangea B to Pangea A transformation during the Permian. *GeoArabia*, 14: 17-48.
- Nazari, H., 2006. Analyse de la tectonique récente et active dans l'Alborz Central et la région de Teheran: Approche morphotectonique et paléoseismologique. *Science de la terre et de l'eau*. Montpellier, 247p.
- Öztrük, H., Hein, J.R., & Haniçci, N., 2002. Genesis of the Dogankuzu and Mortaz bauxite deposits, Turides, Turkey, Separation Al, Fe and Mn implication for passive margin metallogeny. *Economic Geology*, 97: 1063-1077.
- Petrasccheck, W.E., 1989. The genesis of allochthonous Karst-type bauxite deposits of southern Europe. *Mineralum Deposita*, 24: 77-81.
- Reolid, M., Abad, I., & Martín García, J. M., 2008. Palaeoenvironmental implications of ferruginous deposit related to a Middle-Upper Jurassic discontinuity (Prebetic Zone, Betic Cordillera), Southern Spain. *Sedimentary Geology*, 203: 1-16.
- Zarasvandi, A., Charchi, A., Carranza, E.J.M., & Alizadeh, B., 2008. Karst bauxite deposits in the Zagros Mountain Belt, Iran. *Ore Geology Reviews*, 34: 521-532.

Stratigraphic, petrographic and facies characteristics of the Tash and Astaneh Bauxitic-Lateritic deposits in eastern Alborz: Paleoenvironmental implications

Shamanian, G.H.^{1*}, Monfared, Z.¹, Omrani, H.¹

1- Associate Professor, Geology Department, Faculty of Science, Golestan University, Gorgan, Iran

2- M.Sc. student in Economic Geology, Geology Department, Faculty of Science, Golestan University, Gorgan, Iran

3- Assistant Professor, Geology Department, Faculty of Science, Golestan University, Gorgan, Iran

*Email: gh.shamanian@gu.ac.ir

Introduction

Bauxite deposits can be classified into two main categories according to the bedrock lithology including karstic bauxites, overlying the carbonate rocks and lateritic bauxites overlying aluminosilicate rocks (Bardossy, 1982). The Alborz structural zone in northern Iran is the host of a number of important karstic bauxite deposits. Tash and Astaneh bauxitic-lateritic deposits are two of them, located about 40 km north of Shahroud and 30 km northwest of Damghan, respectively. The Tash bauxite deposit has been developed as a stratiform horizon along the contact zone of Ruteh limestone and Elika dolomitic limestone, whereas the Astaneh laterite deposit located along the contact zone of Triassic dolomitic limestones and Jurassic shale and sandstones. In this paper, the Tash and Astaneh bauxite deposits are examined in terms of field relations, lithologic associations, petrography, mineralogy and geochemistry. The objectives were to determine the deposit characteristics, the paleoenvironmental conditions in the region and the processes responsible for the mobilization, fractionation and deposition of Al, Fe, and Si.

Materials and methods

28 samples were collected from the Tash and Astaneh deposits. Petrography of the samples was carried out by the conventional microscopic methods at the Golestan University. Mineralogical analyses were done by an X-ray diffractometer equipped with CuK α tube and monochromator (XRD Philips PW 1800) at the Kansaran Binaloud Company. For whole-rock geochemical analyses, the samples were crushed to 200-mesh using an agate mill. All analyses were carried out at the Kansaran Binaloud Company using a wavelength X-ray fluorescence spectrometer (XRF Philips PW 1480).

Discussion

The Tash bauxite deposit has been developed as a stratiform horizon with more than 3 km long and about 10 m thick along the contact zone of Ruteh limestone and Elika dolomitic limestone. This deposit shows excellent relations between the bauxite and the footwall and hanging-wall limestones. The base of the bauxite horizon is undulatory, whereas the top contact is concordant with the overlying limestones. The Astaneh laterite deposit is 4 km long and about 15 m thick. The basal contact zone of the laterite horizon is mainly undulatory, whereas the upper contact zone is concordant with the hanging-wall shales and sandstones.

Textural analyses indicate that both allochthonous and autochthonous origins for both deposits. For example pseudo-breccia, colloform, and pisolitic textures reveal an authigenic development during the bauxitization processes. In contrast, reworked bauxite fragments, broken oolites and pisolites of various shapes and sizes indicate reworking or clastic accumulation (Ozturk *et al.*, 2002).

Based on mineralogical and textural features, the Tash and Astaneh deposits can be divided into five and three distinct units, respectively. The Tash deposit is mainly composed of diaspore, anatase, kaolinite, hematite, goethite and berthierine, whereas the quartz, hematite, goethite kaolinite and anatas are the most abundant minerals in Astaneh region.

The Tash and Astaneh deposits have a complex history of deposition, uplift, subaerial erosion and karst weathering. The mineral assemblages, textural and facies evidences, wall-rock relationships and geological settings show that Tash and Astaneh deposits formed during three and two main stages, respectively. First, bauxite and laterite materials and clay minerals were developed as authigenic bauxitization and lateritization processes of the parent rock. During the second stage, these materials were transported to karst depressions,

where they accumulated as a relatively thick bauxite horizon in Tash and lateritic lenses in Astaneh. Finally, during the third stage which has occurred only in the Tash deposit, the ore upgraded to 52% alumina by in situ leaching and desilicification.

Acknowledgment

We appreciate the valuable and careful comments of the two anonymous reviewers. This research was a part of research project of the first author (No. 92/71/20826) and MSc thesis of the second author which supported by the Vice-Chancellor for Research of the Golestan University. The authors wish to thank the Department of Geology, Faculty of Sciences at the Golestan University for financial assistance and all necessary resources needed to carry out this research.

Keywords: Bauxite; laterite; textural analyses; facies evidence; Tash; Astaneh.

References

- Bardossy, G., 1982. Karst Bauxites–Bauxite deposits on carbonate rocks. *Developments in Economic Geology*. Elsevier, Amsterdam, 441p.
- Öztrük, H., Hein, J.R., & Hanilci, N., 2002 . Genesis of the Dogankuzu and Mortaz bauxite deposits, Turides, Turkey, Separation Al, Fe and Mn implication for passive margin metallogeny. *Economic Geology*, 97: 1063-1077.