



کانی‌شناسی و زمین‌شیمی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی نادر نهشته بوکسیتی پیراشکفت، ممسنی، استان فارس

بتول تقی پور، شوکت جهانگیرزاده*

گروه علوم زمین، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۴/۸، نسخه نهایی: ۱۴۰۰/۷/۳)

چکیده: نهشته بوکسیتی پیراشکفت در یال شمالی تاق‌دیس پسکوهک در منطقه پیراشکفت در استان فارس، واقع است. افق بوکسیتی پیراشکفت بین سازند سروک و سازند گورپی در پی بیرون آمدگی اواخر تورنین که پیامد فاز کوهزایی لارامید است، تشکیل گردیده است. با توجه به بررسی‌های زمین‌شناسی منطقه، بوکسیت پیراشکفت از نوع کارستی است. کانسنگ بازماندی مورد بررسی در پیراشکفت را می‌توان به سه گروه: بوکسیت کائولینیتی، بوکسیتی و بوکسیت فریتی رده‌بندی کرد. بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری، بافت غالب بوکسیت پیراشکفت پیزوئیدی - اوئیدی است. بر پایه بررسی‌های کانی‌شناسی، کانی‌های اصلی شامل بوهمیت، هماتیت، دیاسپور و کائولینیت و کانی‌های فرعی گیبسیت و روتیل هستند. اکسید عناصر اصلی در افق‌های بوکسیتی بیشتر شامل Al_2O_3 (۳۷٫۸۸-۵۵٫۴۵ wt%)، SiO_2 (۲٫۰۱-۳۰٫۴۹ wt%)، Fe_2O_3 (۳۶٫۷۱ wt% - ۱۰٫۱۴) و با مواد فرار (LOI) ۱۵٫۱۳wt% - ۹٫۷۲ است. براساس نمودار دو متغیره Al_2O_3 نسبت به TiO_2 ، همبستگی مثبت قوی بین این دو اکسید برقرار است. افق‌های بوکسیتی دارای نسبت بالای عناصر خاکی نادر سبک به سنگین هستند. بی‌هنجاری Eu/Eu^* نمونه‌های واحدهای بوکسیتی از ۰٫۹۹ - ۰٫۲۶ در تغییر است. بی‌هنجاری مثبت Ce/Ce^* در گستره ۲٫۳۳-۱٫۲ نشان دهنده شرایط اکسایشی غالب در بوکسیتی شدن است.

واژه‌های کلیدی: بوکسیت کارستی؛ کانی‌شناسی؛ زاگرس چین خورده.

مقدمه

دارند [۳، ۱]. اغلب برای کانی‌شناسی بوکسیت‌ها از نمونه‌های به خوبی حفظ شده و با اندازه‌ی حدود ۱۰ سانتی متر استفاده می‌شود [۴]. ذخایر مهم بوکسیت در ایران در چهار منطقه جغرافیایی شمال غرب ایران، سلسله کوه‌های البرز، فلات ایران مرکزی و ارتفاع‌های زاگرس پراکنده هستند. آنها همچنین از نظرتوزیع زمانی به ۵ دوره پرمین، پرموتریاس، تریاس، تریاس پسین - ژوراسیک و کرتاسه (تورنین - سانتونین) تفکیک می‌شوند [۵]. آب‌های سطحی اکسایشی باعث تجزیه کائولینیت طی فرآیند آبکافت در محیط تقریباً خنثی (۷ - ۴ pH) می‌شود. انحلال کائولینیت باعث افزایش pH، انحلال کانی‌های رسی و تشکیل گیبسیت می‌شود [۶].

کانی گیبسیت در آغاز مرحله درونزایی در اثر آب‌زدایی به

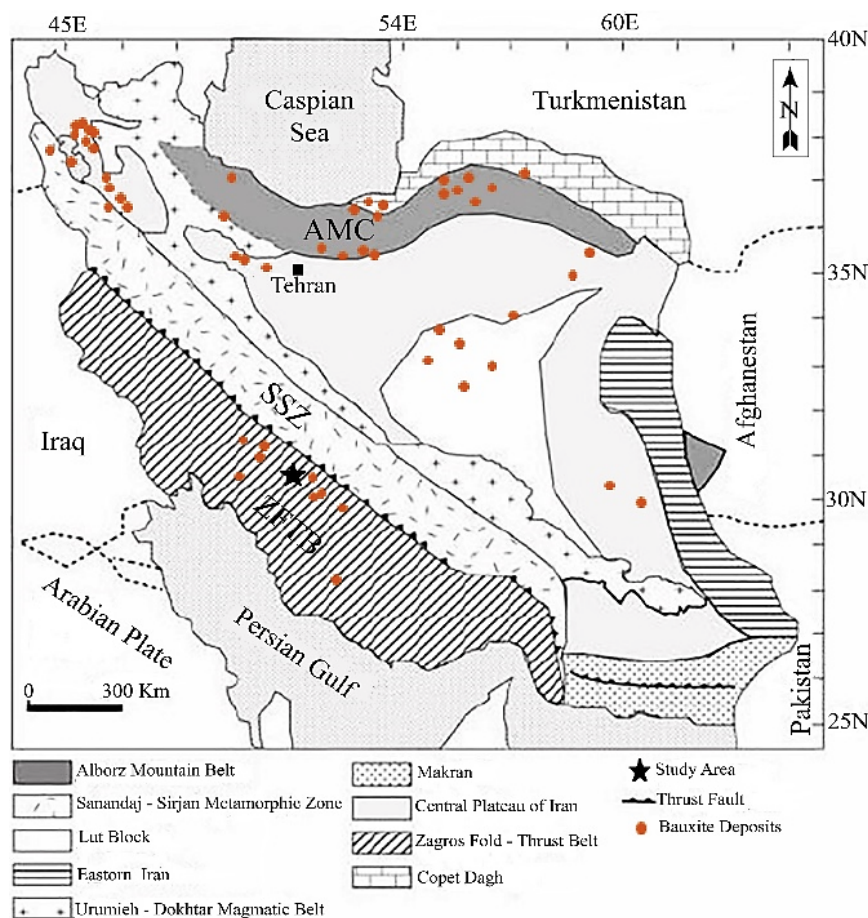
بوکسیت ذخیره‌ی اصلی آلومینیوم است، این کانسنگ در نتیجه هوازدهی سنگ‌های مختلف در آب و هوای گرمسیری یا شبه گرمسیری با توجه به ریختار و زهکشی مناسب تشکیل می‌شود [۲، ۱]. از نظر سنگ‌شناسی سنگ بستر، ذخایر بوکسیت به ۳ گروه رده‌بندی می‌شوند: ۱- ذخایر لاتریتی که بر سنگ‌های آلومینوسیلیکاتی آذرین و دگرگونی و در نتیجه‌ی هوازدهی آنها در هوای گرم و مرطوب گرمسیری یا شبه گرمسیری تشکیل می‌شوند، ۲- ذخایر کارستی که بر روی فرورفتگی‌های سنگ‌های کربناتی تشکیل می‌شوند و ۳- ذخایر نوع تیخون که بطور دگرشیب بر سنگ‌های آلومینوسیلیکاتی رسوبی بدون ارتباط مستقیم زایشی با سنگ‌های زیرین قرار

فرعی و خاکی نادر طی فرآیند بوکسیتی شدن، شرایط تشکیل نهشته بوکسیتی پیراشکفت تعیین می‌شود.

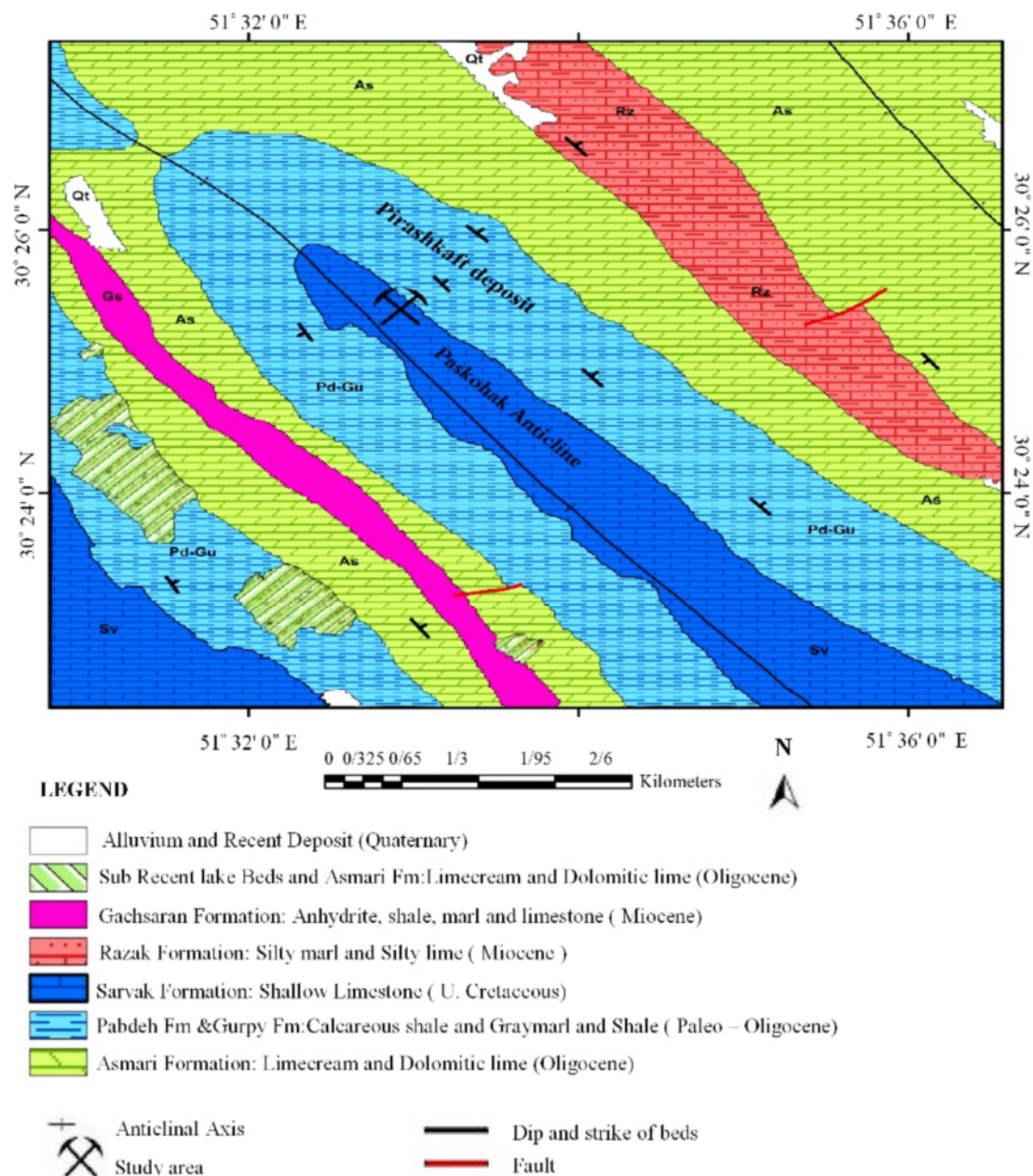
زمین‌شناسی عمومی

افق بوکسیتی پیراشکفت در یال شمالی تاق‌دیس پسکوهک (در غرب نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ چشمه دزدان) در پهنه زاگرس چین خورده قرار دارد (شکل ۱). این نهشته در سازندهای کرتاسه در کارست‌های آهک سروک تشکیل شده است. در منطقه پیراشکفت، هسته تاق‌دیس از آهک‌های دولومیتی سروک و یال آن از شیل‌های خاکستری سازند گورپی به همراه شیل و مارن‌های سازند پابده تشکیل شده است. سنگ آهک‌های کرم رنگ آسماری در ارتفاع‌ها و تبخیری‌های سازند گچساران به همراه ردیف‌های آواری رازک و رسوب‌های عهد حاضر به صورت پراکنده دیده می‌شوند (شکل ۲). محیط رسوبگذاری سازند سروک یک شیرابه کربناتی بوده است که با شیب بسیار ملایم به منطقه ساحلی با آب‌های کم‌عمق می‌رسد [۸].

بوهمیت تبدیل شده و با دریافت انرژی بیشتر، بوهمیت ممکن است به دیاسپور تبدیل شود. این سازوکار تبدیل با توجه به تناوب دمایی در فصل‌های مختلف انجام می‌گیرد، به طور خلاصه، تجزیه کائولینیت و تبدیل آن به گیبسیت، بوهمیت و دیاسپور در نتیجه آبشویی توسط آب‌های زیرزمینی در شرایط مختلف از مهمترین فرآیندهای مرحله درونزایی می‌باشد [۱]. کانی‌های مهم بوکسیت به مرور دستخوش تغییراتی می‌شوند. بوکسیت‌های جوان (کرتاسه پایانی) غنی از گیبسیت هستند، در صورتی که بوکسیت‌های دوران اول غنی از دیاسپور و نوع پرکامبرین دربردارنده کزندوم است [۷]. منطقه مورد بررسی در گستره طول جغرافیایی $51^{\circ} 33' 10''$ تا $51^{\circ} 33' 68''$ و عرض جغرافیایی $30^{\circ} 25' 29''$ تا $30^{\circ} 24' 82''$ در یال شمالی تاق‌دیس پسکوهک در منطقه پیراشکفت از توابع شهرستان ممسنی در استان فارس قرار دارد. در این پژوهش، با بررسی کانی شناسی، سنگ‌نگاری و روابط بافتی افق‌های دیده شده در نهشته بوکسیتی پیراشکفت، زمین شیمی عناصر اصلی،



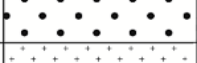
شکل ۱ موقعیت پهنه‌های زمین‌ساختی ایران و محل قرارگیری نهشته مورد بررسی بر آن (ستاره مشکی).



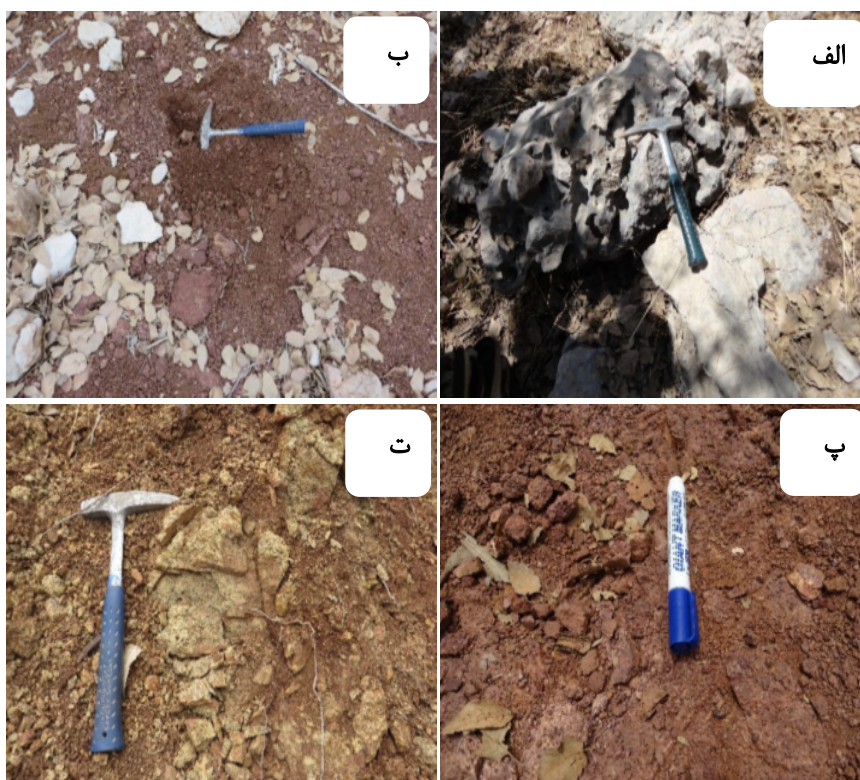
شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی و موقعیت افق بوکسیتی پیراشکفت (برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰ چشمه دزدان با تغییرات).

زیر است (شکل ۳): لایه‌ی آهکی ضخیم سازند سروک به رنگ زرد تا خاکستری (شکل ۴ الف)، واحدهای بوکسیت قرمز - قهوه‌ای با بافت سست و اغلب پیروئیدی - اوئیدی می‌باشد (شکل‌های ۴ ب و پ) و واحد بوکسیت زرد و خاکستری (شکل ۴ ت). واحد شیلی سازند گورپی بر افق‌های بوکسیتی شیل سازند گورپی قرار دارد که برخلاف سایر ذخایر بوکسیت زاگرس سازند ایلام در این منطقه دیده نمی‌شود.

موقعیت افق پیراشکفت، از نظر رده‌بندی زمین‌شناسی در پهنه فارس که بخشی از پهنه زاگرس چین‌خورده است، قرار دارد [۹]. در نمای کلی، چین‌خوردگی‌های موازی با روند ساختاری شمال غربی - جنوب شرقی در منطقه و گسل‌های روواندگی با راستای تقریبی شرقی - غربی و گسل‌های راستا لغز عمود بر محور تافدیس‌ها متأثر از گسل پی‌سنگی کازرون و گسل میشان دیده می‌شوند [۹]. توالی سنگ‌شناسی در گستره نهشته پیراشکفت رسوبی بوده و از پایین به بالا شامل واحدهای

Age	Strata	Rock type	Stratigraphic column	Sample location
Paleo-Oligocene	Pabdeh Formation	Shale & Gray marl		● PR.13 ● PR.15 ● PR.12 ● PR.3 ● PR.2-3 ● PR.22 ● PR.4-1 ● PR.8 (XRD) ● PR.10 ● PR.6 ● PR.3-1 ● PR.3-2 ● PR.16 (XRD) ● PR.8-1 ● PR.5-1 ● PR.4 ● PR.14
	Gurpy Formation	Shale		
Cenomanian to Turonian	Bauxite horizon	Soil Bauxite		
		Yellow Bauxite		
		Red Bauxite		
		Pisolitic Bauxite		
		Brownish red Bauxite		
		Brown Bauxite		
		Gray Bauxite		
U. Cretaceous	Sarvak Formation	Marly limestone		

شکل ۳ ستون چینه شناسی نهشته بوکسیتی پیراشکفت. محل برداشت نمونه‌ها با دایره‌های توپر نشان داده شده است.



شکل ۴ (الف) واحد آهک سازند سروک که سازند زیرین نهشته بوکسیتی پیراشکفت است. (ب) تصویری از خاک سرخ تشکیل شده از لاتریت و بوکسیت. (پ) نمای نزدیک از بوکسیت قرمز و (ت) نمای نزدیک از بوکسیت خاکستری.

روش بررسی

برای انجام این پژوهش، بررسی‌ها در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شد. در بررسی‌های صحرایی، برای شناسایی تغییرات بافتی و کانی‌شناسی افق بوکسیتی، از نیمرخ‌های عمود بر لایه و از همه افق‌ها شامل سنگ بستر، افق‌های بوکسیتی که خود شامل بوکسیت‌های زرد، قرمز-قهوه‌ای، قرمز، خاکستری، خاک سرخ بوکسیتی هستند و پوش سنگ شیلی مربوط به سازند پابده -گورپی نمونه‌برداری شد. در بخش آزمایشگاهی تعداد ۱۵ برش نازک و ۳ برش صیقلی از افق‌های مختلف بوکسیت‌های پیزولیتی و اوولیتی و سنگ آهک کارستی شده تهیه شد و با میکروسکوپ عناصر بافتی و کانی‌های قابل تشخیص بررسی شدند. به منظور تعیین عناصر اصلی، فرعی، کمیاب و خاکی نادر (REE)، تعداد ۱۰ نمونه در آزمایشگاه زرآما با دستگاه MMS-01 تجزیه‌ی شیمیایی شدند. نمونه‌ها، نخست خشک و سپس پودر گردیدند. پودر بدست آمده از هر نمونه با لیتیوم بورات آمیخته شده و تا ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد گرمادهی شد و سپس در اسید نیتریک رقیق گردید. برای اندازه‌گیری مقادیر اکسیدهای اصلی، محلول به‌دست آمده، با روش طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) و برای اندازه‌گیری مقادیر عناصر جزئی و خاکی نادر، با طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) بررسی شد. حد آشکارسازی برای اکسیدهای اصلی برابر با ۰/۰۵ درصد، برای عناصر کمیاب ۰/۱ تا ۱۰ پی پی ام و برای عناصر خاکی نادر برابر با ۰/۰۵ تا ۱ پی پی ام و با درصد خطای نسبی ± 5 درصد است (جدول ۱). تعداد ۱۰ نمونه پودر شده و برای شناسایی فازهای کانایی با پراش‌سنج پرتو ایکس (XRD) فیلیپس مدل Xpert Pro در شرکت بهین آزمون سپاهان اصفهان تجزیه شدند. برای بررسی دقیق مقادیر عناصر اصلی به ویژه آلومینیوم، آهن و سیلیسیم و مواد فرار (LOI)، تعداد ۵ نمونه پودر شده به مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران برای انجام طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) با دستگاه فیلیپس مدل Magixpro ارسال گردید.

سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی

بافت بوکسیت نشان دهنده چگونگی انباشت و قرار گرفتن واحدهای سازنده آن است. واحد بافت‌ساز می‌تواند از یک کانی و یا کانی‌های مختلف تشکیل شود. بافت بوکسیت‌ها بر اساس ویژگی‌های ریختی و پیدایشی به دو گروه اصلی زمینه و متفاوت از آن قابل تقسیم است [۱]. بررسی‌های انجام شده بر

نمونه‌های پیراشکفت نشان می‌دهد بیشتر که واحدهای بافت ساز از نوع اووئیدی -پیزوئیدی هستند. ماده زمینه بر اساس اندازه‌ی ذرات تشکیل دهنده از نوع نامنظم ریخت (شکل ۵ الف)، سراسر خود شکل (شکل ۵ ب) و ریزدانه‌ای (شکل ۵ پ) است. در نمونه‌ی بوکسیت قرمز، هماتیت با بافت نامنظم ریخت (پلیتومورفیک) زمینه را تشکیل می‌دهد، زمینه سراسر خود شکل بیشتر در مقاطع با بافت‌های گیاهی و مواد آلی دیده می‌شود. جنس هسته اووئیدها، به احتمال بسیار از اکسید و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) است که پیرامون آن لایه‌ای از بوهمیت تشکیل شده است. بطور کلی باور این است که این لایه‌ها طی دو مرحله تشکیل شده‌اند؛ نخست در شرایط آب و هوایی مرطوب، هسته‌ی هماتیتی به وجود آمده و سپس در شرایط خشک پسروی و افتادگی سطح آب دریا یا دریاچه رخ داده است. هسته پیزوئیدها می‌تواند از جنس هماتیت و یا کانی‌های دیگر چون: کوارتز، کلسیت و یا کائولینیت باشد. همچنین هسته پیزوئیدها می‌تواند قطعه‌های اووئید یا پیزوئیدهای خرد شده‌ای باشد که پیشتر تشکیل شده، و بر اثر عوامل زمین‌ساختی، خرد شده و سپس با فرآیندهای حمل و نقل، جابه‌جا شده و در محل انباشت ته‌نشست کرده و پس از تشکیل لایه‌ها پیرامون آن پیزوئیدهای جدیدی را تشکیل داده‌اند [۱]. کانی گیبسیت به عنوان کانی فرعی در این مقاطع وجود دارد در این افق، زمینه از کلسیت و هماتیت تشکیل شده که نشان دهنده‌ی پدیده‌ی آهن شویی است (شکل ۶ الف). بعضی از برش‌ها از هسته درجای هماتیت و لایه‌های بوهمیت و هماتیت تشکیل شده‌اند (شکل ۶ ب). بطور کلی، شکستگی در پیزوئیدها به دو صورت دیده شده است: الف) شکستگی‌های شعاعی درون اووئید یا پیزوئید که می‌تواند ناشی از فرآیندهای اولیه فشردگی ژل باشد و ب) شکستگی و درزه‌ها درون زمینه برآمده از تزریق ژل که زمینه دانه‌ها را قطع می‌کنند [۱۰]. هسته‌های اووئیدی در پیزوئید بزرگ تشکیل شده‌اند (شکل ۶ پ).

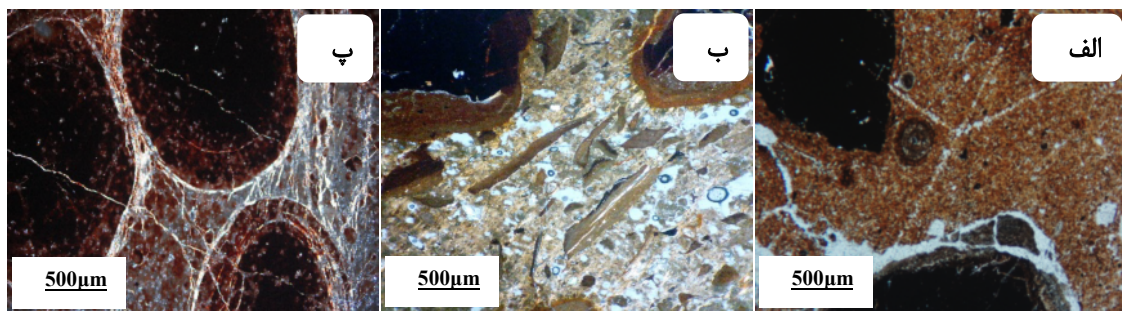
پیزوئید با شکستگی‌های شعاعی که زمینه را قطع نموده‌اند (شکل ۶ ت) اغلب بر اثر تزریق ژل ایجاد می‌شود. پیزوئیدها گاهی بر اثر عوامل زمین‌ساختی خرد و شکسته شده، بخش‌هایی از آن از محیط تشکیل خارج شده و سپس زمینه جای خالی آن را پر می‌کند. تشکیل این پیزوئید به حالت برج‌آزا بوده است، زیرا آثاری از حمل و نقل در آن دیده نمی‌شود (شکل‌های ۶ ث، ج). گاهی پیزوئیدها در اثر عوامل حمل و نقل به درون زمینه انتقال می‌یابند. اگر مواد انتقال یافته از جنس خود قطعه‌های

پیزوئید شکسته که به احتمال بسیار در اثر جابه‌جاشدگی محلی است (شکل ۶ ح). در برخی از نمونه‌ها، بافت اووئیدی دیده شد که دارای اووئیدهای با اندازه‌های متفاوت است (شکل ۶ خ).

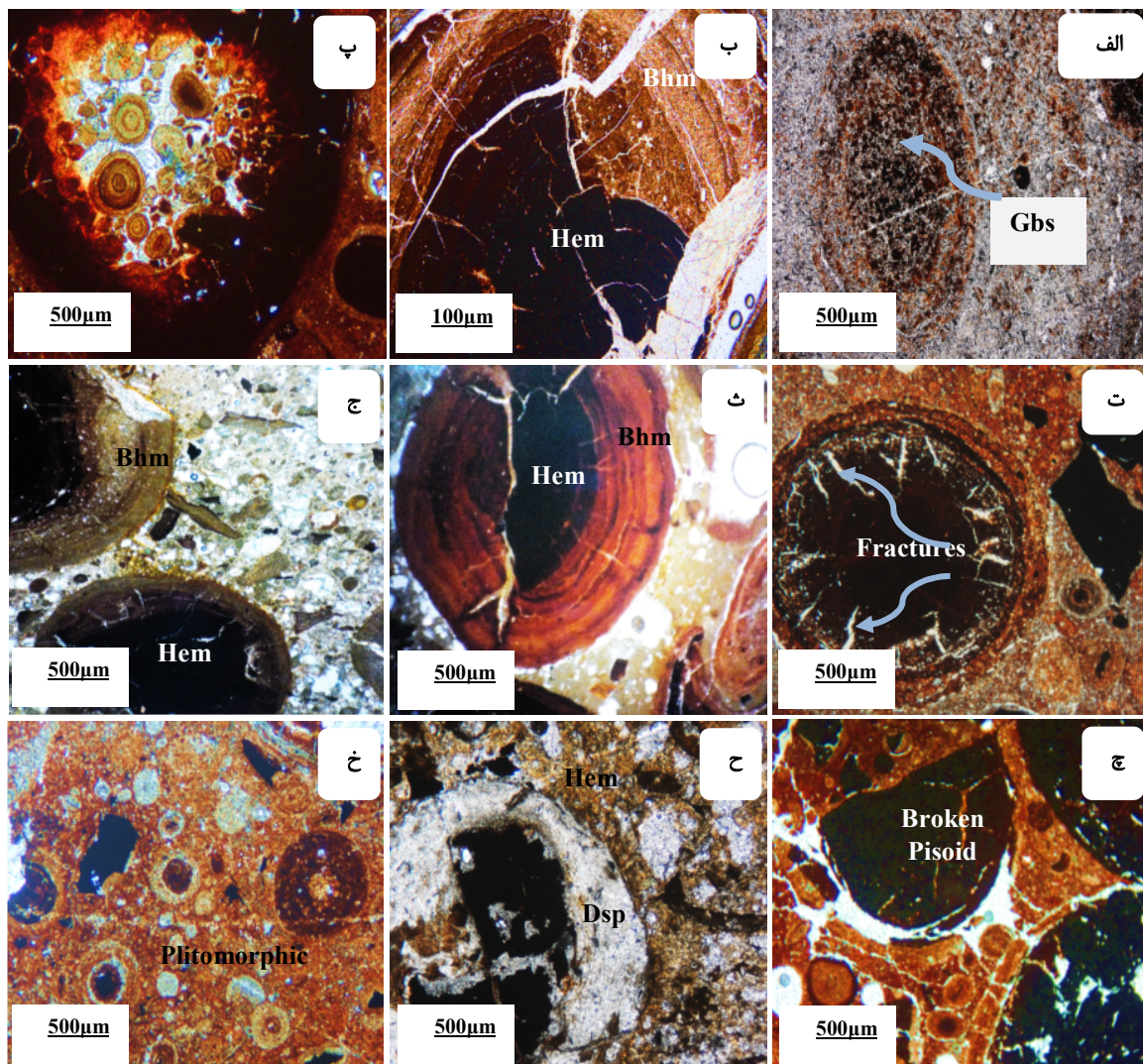
بوکسیتی باشند (اووئید و پیزوئید شکسته شده) نشان می‌دهد که طی مسیر انتقال، قطعه‌های شکسته شده روی خود کانسار بوکسیتی انتقال یافته و قطعه دیگری وارد کانسار نشده است (قطعه آواری، شکل ۶ چ). در برخی از مقاطع، هسته هماتیستی

جدول ۱ نتایج تجزیه ICP-MS نمونه‌های نهشته بوکسیتی پیراشکفت. Lim = آهک سروک؛ YB = بوکسیت زرد؛ RB = بوکسیت قرمز؛ PISOB = بوکسیت پیزولیتی؛ GB = بوکسیت خاکستری؛ BB = بوکسیت قهوه‌ای. Clay = Pis.OO = پیزوئید و اووئید؛ RB-BB = بوکسیت قرمز-قهوه‌ای؛ SB = خاک بوکسیتی.

لايه	YB	RB-BB	Lim	GB	PisoB	BB	BS	Clay	Piso.OO	RB
نمونه	PR.3	PR.3-1	PR.4	PR.5-1	PR.6	PR.8	PR.10	PR.15	PR.16	PR.22
SiO ₂ (wt%)	۱۶۶۷	۲۸۸۴	۰۴۸	۳۰۴۹	۱۵۴۳	۱۰۹۶	۱۸۸۴	۲۰۰۹	۷۱۲	۲۰۱
Al ₂ O ₃	۵۵۴۴	۳۷۸۸	۰۵۵	۳۸۴۲	۴۹۹۷	۴۸۶۳	۵۰۷۸	۴۸۴۸	۴۲۷۶	۵۵۴۵
TiO ₂	۲۷۴	۱۷۵	۰۰۳	۲۰۴	۲۱۵	۲۱۴	۲۳۴	۲۱۶	۲۵۲	۱۹۴
Fe ₂ O ₃	۱۰۱۴	۱۱۷۳	۰۱۴	۱۳۳۲	۱۸۷۱	۲۲۰۲	۱۳۹۶	۱۳۶۸	۳۶۷۱	۲۴۴۶
CaO	۰۳۵	۳۴۹	۵۵۲۷	۰۶۷	۰۵۶	۱۹۳	۰۳۷	۰۲۸	۰۲۵	۰۶۱
MgO	۰۷۵	۰۵۴	۰۰۸	۰۵۴	۰۴۱	۰۴۳	۰۶	۰۵۸	۰۲۸	۰۱
Na ₂ O	۰۰۲	۰۰۸	۰۰۳	۰۰۹	۰۰۲	۰۳۴	۰۰۳	۰۰۲	۰۰۲	۰۰۳
K ₂ O	۰۵۴	۰۳۸	۰۰۲	۰۷۹	۰۲۵	۰۳۷	۰۳۱	۰۳۵	۰۳۲	۰۰۶
P ₂ O ₅	۰۱۱	۰۰۷	۰۰۲	۰۳۱	۰۰۵	۰۰۶	۰۰۵	۰۰۵	۰۱	۰۱
Cr ₂ O ₅	۰۰۱	۰۰۳	۰۰۲	۰۲۸	۰۰۷	۰۰۶	۰۰۵	۰۰۳	۰۱۲	۰۱۵
LOI	۱۳۱۶	۱۵۱۳	۴۳۴۱	۱۲۸۷	۱۲۳۱	۱۳۰۲	۱۲۶۶	۱۴۳۵	۹۷۲	۱۴۵۳
مجموع	۹۹۹۳	۹۹۹۲	۱۰۰۰۵	۹۹۸۲	۹۹۹۳	۹۹۹۶	۹۹۹۹	۹۹۹۷	۹۹۹۲	۹۹۲۵
Ba(ppm)	۶۲۸	۳۰۱	۰۵	۶۹۶	۶۹۴	۳۸۶	۶۴۳	۴۹۳	۵۴۰	۳۲۵
Rb	۲۲	۱۰	۰۴	۲۴	۱۸	۱۰	۱۰	۱۲	۱۴	۱
Sr	۷۰۵	۱۱۲۶	۹۷۷	۴۸۱۵	۵۶۶	۶۵۸	۴۵۷	۵۳۵	۵۲۱	۳۵۶
Zr	۲۵۷	۱۹۱	۴۲	۲۹۱	۳۲۸	۲۲۵	۲۴۲	۲۳۳	۳۱۲	۲۱۹
Y	۳۰۵	۲۶۳	۳۷	۴۴	۲۰۵	۲۴۷	۱۳۹	۱۹۸	۲۶۹	۶۳۶
Nb	37	۱۸۱	۰۵	۳۳۷	۳۰۵	۲۹۴	۳۲۹	۳۰۹	۳۱۳	۲۳
Hf	۸۷۴	۶۳۶	۰۳	۹۴۴	۷۶۲	۷۱۶	۷۸۲	۷	۸۷۲	۶۸۲
Th	۱۹۳۱	۱۵۴۸	۰۰۵	۳۹۷۷	۲۳۵۳	۲۱	۱۴	۱۵۶۱	۳۳۵۵	۲۶۱۳
Ta	۳۴۹	۱۵۲	۰۳	۲۵۱	۲۸۵	۲۴۸	۲۸	۲۷۴	۲۴۹	۱۷۲
Co	۳۴۴	۱۹۴	۳	۳۶۵	۱۹۸	۲۳۲	۱۹۳	۲۰۹	۲۲۳	۵۸۴
U	۵۳	۳۵	۰۰۴	۶۷۸	۵۴	۴۷	۳۹	۴	۷۴	۸
V	۱۴۶	۱۳۷	۱۴	۳۳۲	۱۵۸	۱۶۲	۱۶۴	۱۴۷	۳۰۹	۱۹۴
Ni	۲۱۰	۱۳۴	۱	۱۶۶	۱۷۲	۱۶۵	۱۷۶	۱۶۴	۱۲۱	۱۸۶
Cr	۲۰۴	۱۹۲	۷	۱۵۷۰	۳۶۰	۳۶۰	۲۶۵	۲۳۰	۸۰۳	۷۹۶
Cs	۸۱	۳۷	۰۳۵	۵۷	۵۳	۳۴	۴	۵۷	۵۸	۱۳
Pb	۲۴	۲۸	۵	۲۰	۳۵	۳۱	۳۲	۲۴	۵۷	۲۸
La	۳۷	۳۴	۳	۶۶	۳۱	۴۴	۱۵	۲۳	۳۸	۱۱۷
Ce	۱۲۴	۹۸	۱۱	۱۸۳	۱۴۳	۱۲۰	۸۹	۸۶	۱۴۰	۶۰۷
Pr	۱۲۵۴	۹۸۹	۰۹۶	۱۵۷۱	۱۰۷۳	۱۲۸۱	۵۵۲	۷۲۲	۱۱۶۵	۳۵۹
Nd	۴۸۲	۳۷۲	۳۸	۵۵۲	۴۰۵	۴۷۶	۲۱۲	۲۶۹	۴۳۵	۱۳۲۷
Sm	۹۸	۶۹	۰۷۳	۲۹۹	۸۵۹	۹۲۱	۴۵۴	۵۵۲	۹۴۷	۲۸۹۲
Eu	۲۵۳	۱۶۳	۰۰۸	۲۹	۲۲۶	۲۳	۱۲۳	۱۴۲	۲۴۷	۷۰۴
Gd	۸	۵۷۱	۱۱۱	۹۵۱	۶۷۳	۷۵۲	۴۰۳	۴۶۳	۷۶۱	۲۵۰۴
Tb	۱۳۲	۰۸۹	۰۱۶	۱۶۵	۱۰۶	۱۱۸	۰۶۷	۰۷۷	۱۲۸	۳۴۸
Dy	۸۲۴	۵۷۱	۱۰۴	۱۰۰۶	۶۱۵	۶۷۹	۴۴	۵۰۱	۷۳۶	۱۷۲۴
Er	۵۴۷	۳۹۳	۰۴۴	۶۵۳	۳۷۱	۴۰۳	۳۰۶	۳۵۴	۴۰۶	۷۲۸
Tm	۰۸۱	۰۵۸	۰۰۷	۰۹۲	۰۵۲	۰۵۵	۰۴۸	۰۵۴	۰۵۶	۰۸۲
Yb	۵۴	۳۹	۰۲	۵۹	۳۶	۳۷	۳۳	۳۷	۳۷	۴۹
Lu	۰۸۸	۰۶۲	۰۰۹	۰۹۳	۰۵۸	۰۵۸	۰۵۴	۰۵۹	۰۵۸	۰۷۴
REEΣ	۲۶۴۱۹	۲۰۸۹۶	۲۲۴۴	۳۶۹۳	۲۵۸۴۳	۲۶۰۲۷	۱۵۲۹۷	۱۶۸۸۴	۲۷۰۲۴	۹۸۸۰۶
LREEΣ	۲۳۴۰۷	۱۸۷۶۲	۱۹۴۲	۲۳۳۸	۲۳۶۰۸	۲۳۵۹۲	۱۳۶۴۹	۱۵۰۰۶	۲۴۵۰۹	۹۲۸۵۶
HREEΣ	۳۰۱۲	۲۱۳۴	۲۹۵	۳۵۵	۲۲۳۵	۲۴۳۵	۱۶۴۸	۱۸۷۸	۲۵۱۵	۵۹۵
Eu/Eu*	۰۸۸	۰۸	۰۲۶	۰۸۷	۰۹۲	۰۸۵	۰۸۹	۰۸۶	۰۹۹	۰۸۱
Ce,Ce*	۱۳۷	۱۲۷	۱۵۴	۱۳۵	۱۸۷	۱۲	۲۳۳	۱۵۹	۱۵۸	۲۲۳
(La/Yb) _N	۴۶۴	۵۹	۱۰۱۸	۷۵۸	۵۸۳	۸۰۵	۳۰۸	۴۲۱	۶۹۶	۱۶۱۸
ΣLREE	۷۷۷	۸۷۹	۶۶۱	۹۴	۱۰۵۶	۹۶۹	۸۲۸	۷۹۹	۹۷۵	۱۵۶۱



شکل ۵ انواع بافت زمینه در نمونه های بوکسیت پیراشکفت. (الف) نامنظم ریخت (پلیتومورفیک)، (ب) سراسر خود شکل و (پ) ریزدانه ای.



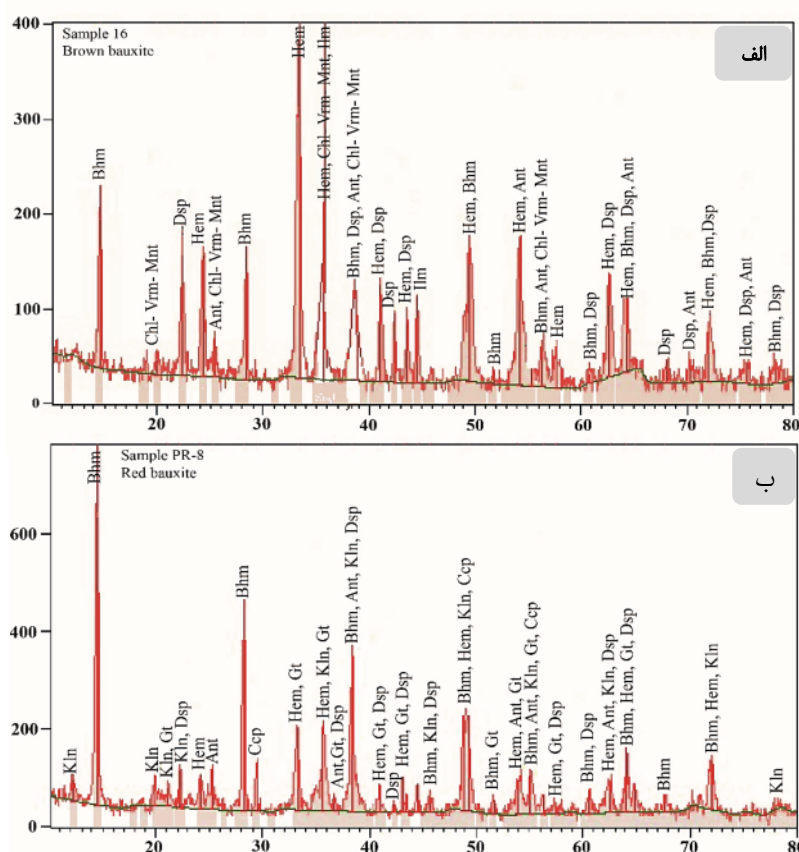
شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی نهشته بوکسیتی پیراشکفت: (الف) کانی گیبسیت در بافت تخریبی شدید (4x)، (ب) پیزوئید با ترک های انقباضی (10x)، (پ) هسته اووئیدی در پیزوئید بزرگ (4x)، (ت) شکستگی های شعاعی ناشی از تزریق ژل در پیزوئیدهای نیمه خرد شده (4x)، (ث) پیزوئید تشکیل شده با لایه هایی از اکسید آهن و اکسید آلومینیوم پس از شکستگی پیزوئید بر اثر تزریق ژل، (ج) پیزوئید برجوازاد (4x)، (چ) پیزوئید دگرزاد داخل ماتریکس میکروگرانولار (4x)، (ح) هسته آواری شکسته که پیرامون آن لایه هایی از دیاسپور تشکیل شده است (4x) و (خ) بافت اووئیدی (4x). همه تصاویر در نور قطبیده متقاطع، xpl، ثبت شده اند. (هماتیت = Hem، بوهمیت = Bhm، دیاسپور = Dsp، گیبسیت = Gbs).

شاموزیت)، کانی‌های REE دار چون سریانیت و مونازیت، کانی‌های سولفاتی (کالکوپیریت و تالناکیت) و کانی‌های کربناتی (کلسیت و دولومیت) است (جدول ۲ و شکل ۷). در افق بوکسیتی، کانی آلومینیوم دار غالب بوهمیت است. کانی گیبسیت به عنوان یک کانی فرعی در افق بوکسیتی دیده می‌شود.

نتایج پراش پرتو ایکس (XRD) از نهشته بوکسیت پیراشکفت نشان می‌دهد که فازهای کانیایی موجود در بوکسیت پیراشکفت شامل هیدروکسیدهای آلومینیوم (بوهمیت، دیاسپور و گیبسیت)، اکسید و هیدروکسید آهن (هماتیت و گوتیت)، اکسید تیتانیوم (روتیل، آناتاز و ایلمنیت)، کانی‌های سیلیکاتی (کائولینیت، مونت موریلونیت، ورمیکولیت،

جدول ۲ نتایج پراش پرتو ایکس XRD نمونه‌های افق بوکسیتی پیراشکفت.

نمونه	نوع سنگ	فازهای کانیایی اصلی	فازهای کانیایی فرعی
PR-3	بوکسیت زرد	بوهمیت، ههماتیت آناتاز و کائولینیت	گیبسیت، بایریت، پروکلریت، توریت
PR-4	آهک	کلسیت	اسپینل، کالکوپیریت
PR-5-1	بوکسیت خاکستری	بوهمیت و کائولینیت	فلوگوپیت، دیاسپور، کائولینیت، ناکریت و آناتاز
PR-6	بوکسیت پیزولیتی	بوهمیت، دیاسپور، ههماتیت و کائولینیت	کریستوبالیت، کاسیدریت و بوراکیت
PR-8	بوکسیت قرمز - قهوه‌ای	بوهمیت، دیاسپور، آناتاز، کائولینیت، گوتیت و ههماتیت	ایلمنیت
PR-10	خاک سخت	بوهمیت، ههماتیت، آناتاز، کائولینیت و هالوئیسیت	پروکلریت، بایریت و توریت
PR-13	شیل (پوش سنگ)	کلسیت و کوارتز	اسپینل و دولومیت
PR-14	آهک کارستی	کلسیت و سیلیکا	دولومیت
PR-15	خاک رس (زرد رنگ)	بوهمیت، کائولینیت و گوتیت	روتیل، آناتاز، ورمیکولیت - مونت موریلونیت و ایلمنیت
PR-16	پیزوئید - اوئید	بوهمیت، دیاسپور، ههماتیت، آناتاز، کلریت - ورمیکولیت - مونت موریلونیت و ایلمنیت	پروتیت



شکل ۷ نتایج XRD افق‌های مختلف بوکسیت پیراشکفت. الف) نمونه‌ای از بوکسیت قهوه‌ای، با کانی‌های: بوهمیت، ههماتیت، آناتاز، مونت موریلونیت و کائولینیت. ب) نمونه‌ای از بوکسیت قرمز، با کانی‌های: بوهمیت، ههماتیت، دیاسپور، گوتیت، کائولینیت و آناتاز. (هماتیت=Hem، بوهمیت=Bhm، دیاسپور=Dsp، کائولینیت=Kln، گوتیت=Gt، آناتاز=Ant، ایلمنیت=Ilm، کالکوپیریت=Ccp، کلریت - ورمیکولیت - مونت موریلونیت=Chl-Vrm-Mnt).

زمین‌شیمی

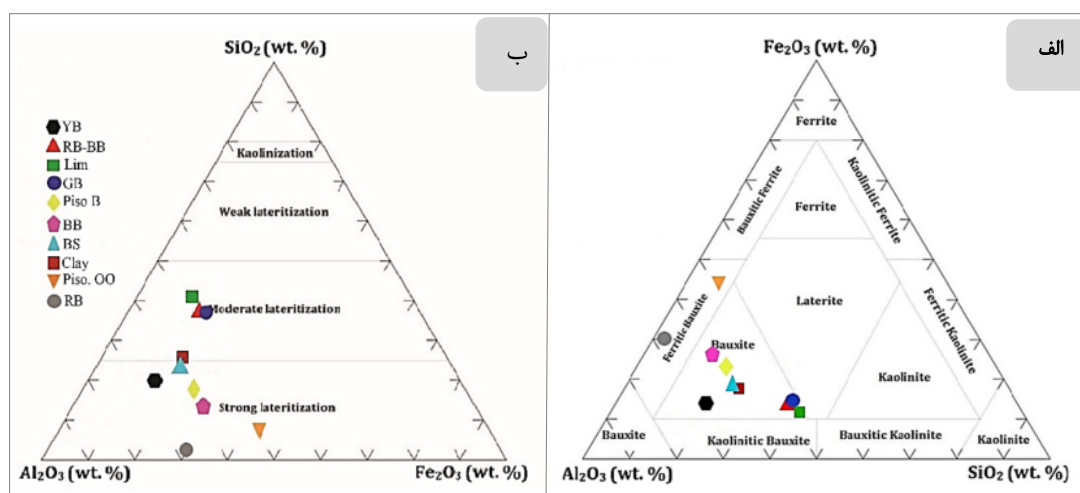
عناصر اصلی

اکسیدهای عناصر اصلی SiO_2 ، Fe_2O_3 ، Al_2O_3 در نمونه‌های افق بوکسیتی تغییرات بسیاری نشان می‌دهند اما دیگر اکسیدها تغییرات کمی دارند (جدول ۱). عناصر اصلی بوکسیت‌ها بیشتر از Al_2O_3 (۳۷٫۸۸-۵۵٫۴۵ wt%)، SiO_2 (۲۰٫۱-۳۰٫۴۹ wt%)، Fe_2O_3 (۳۶٫۷۱-۱۰٫۱۴ wt%) و TiO_2 (۱٫۷۵-۲٫۵۲ wt%) با ۱۵٫۱۳-۹٫۷۲ wt% مواد فرار (LOI)، تشکیل شده‌اند. مقدار بالای SiO_2 با ۳۰٫۴۹ wt% می‌تواند بیانگر حضور کائولینیت باشد که سبب لاتریتی شدن شدید می‌شود (جدول ۳) [۱۲، ۱۱]. مقدار Fe_2O_3 در شرایط پتانسیل اکسایش - کاهش (Eh) مختلف، متغیر است، بنابراین افزایش غلظت Fe_2O_3 در افق بالایی

ویژگی کانی‌های آهن‌دار هماتیت و گوتیت است که در شرایط مناسب pH و Eh در طول هوازدهی و فرآیند کارستی شدن تشکیل می‌شوند [۱۳]. از نمودار سه متغیره SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 برای نشان دادن درجه لاتریتی شدن و رده‌بندی بوکسیت استفاده شده است (شکل ۸ الف). بر این اساس، کانسنگ بازماندی مورد بررسی در پیراشکفت را می‌توان در سه گروه بوکسیت کائولینیتی، بوکسیتی و بوکسیت فریتی رده‌بندی کرد. نمودار سه متغیره در شکل ۸ ب نشان می‌دهد که سنگ مادر طی تبدیل شدن به کانسنگ لاتریتی-بوکسیتی در پیراشکفت دستخوش فرایندهای لاتریتی شدن متوسط تا شدید شده است. نمونه‌های غنی از Al_2O_3 ، لاتریتی شدن درجه بالا و نمونه‌های غنی از SiO_2 لاتریتی شدن ضعیف را نشان می‌دهند (شکل ۸ ب).

جدول ۳ نتایج تجزیه XRF نمونه‌های نهشته بوکسیتی پیراشکفت (اکسید عناصر اصلی بر حسب درصد) حد آشکارسازی 0.1wt% است. (Lim = آهک سروک؛ YB = بوکسیت زرد؛ BB = بوکسیت قهوه‌ای. RB-BB = بوکسیت قرمز-قهوه‌ای؛ SB = خاک بوکسیتی.

نمونه	PR.8-1	PR.2-3	PR.3.2	PR.12	PR.4-1
لایه	BB	YB	RB-BB	SB	Lim
SiO_2	۱۷٫۶۷	۱۹٫۰۷	۲۹٫۵۳	۱۸٫۶	۰٫۷
Al_2O_3	۴۸٫۶۲	۵۲٫۳	۴۱٫۵	۵۲٫۵۵	۰٫۸۶
TiO_2	۱٫۸۵	۲٫۲۲	۱٫۵۷	۲٫۱۳	۰٫۰۷۵
Fe_2O_3	۱۷٫۲	۹٫۸۷	۸٫۰۸	۱۲٫۰۶	۰٫۰۷۵
CaO	۱٫۴۲	۰٫۵	۲٫۷۲	۰٫۴۲	۵۴٫۷۶
MgO	۰٫۲۸	۰٫۴۴	۰٫۳۸	۰٫۴۶	۰٫۱۳
K_2O	۰٫۲۶	۰٫۴	۰٫۳۳	۰٫۳۶	۰٫۰۷۵
LOI	۱۲٫۵۲	۱۵٫۰۴	۱۵٫۸	۱۳٫۳۱	۴۳٫۵۵
مجموع	۹۹٫۸۲	۹۹٫۸۴	۹۹٫۹۱	۹۹٫۸۹	۱۱٫۱۸

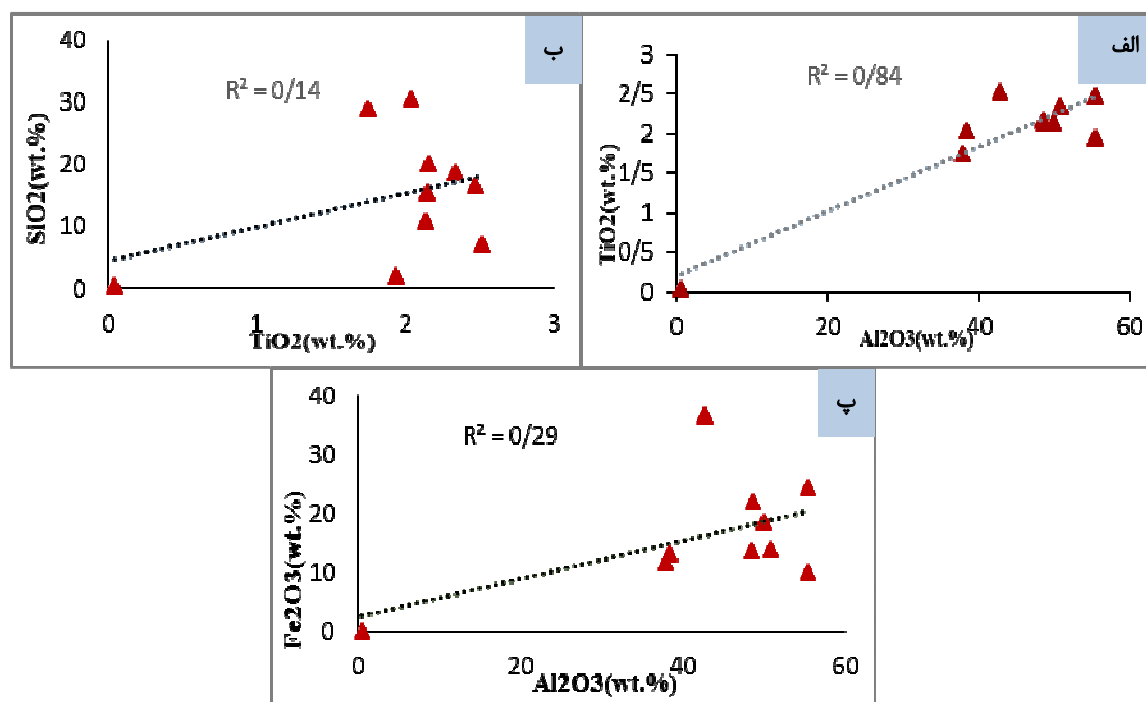


شکل ۸ الف) نمودار سه متغیره SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 [۱۰] و موقعیت نمونه‌های افق بوکسیتی پیراشکفت بر آن که بیشتر آنها در پهنه بوکسیت، بوکسیت کائولینیتی و به مقدار کمتر در پهنه بوکسیت آهنی قرار دارند. ب) - نمودار سه متغیره SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 برای تعیین نوع هوازدهی [۱۳] و موقعیت نمونه‌های افق بوکسیتی پیراشکفت بر آن که بیشتر آنها در منطقه لاتریتی شدن قوی تا حد واسط قرار دارند. Lim = آهک سروک؛ YB = بوکسیت زرد؛ RB = بوکسیت قرمز؛ PISO = بوکسیت پیزولیتی؛ GB = بوکسیت خاکستری؛ BB = بوکسیت قهوه‌ای. Clay = خاک رس؛ PISO = پیزولیت و اووئید؛ RB-BB = بوکسیت قرمز-قهوه‌ای؛ BS = خاک بوکسیتی.

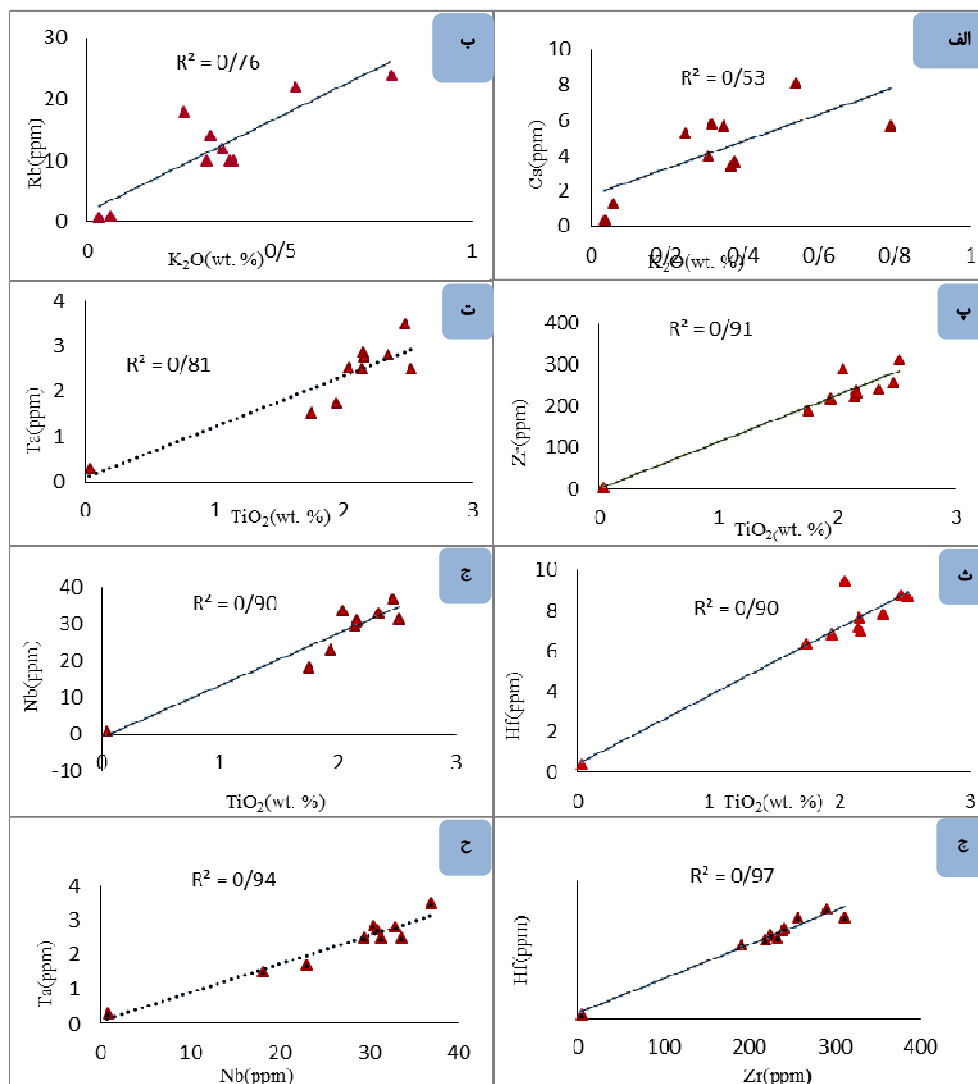
عناصر کمیاب

فراوانی عناصر کمیاب از چند ppm تا بیش از ۶۰۰ ppm (Ba) است. نمونه‌های بوکسیت دارای (۱۹۱-۳۱۲ ppm) Zr، (۶۳۶-۹۴۴ ppm) Hf، (۱۸-۳۷ ppm) Nb، (۳۷-۶۶۶ ppm) Th، (۱۴-۳۹۷۷ ppm) U، (۰/۴-۸ ppm) Sr، (۳۵/۶-۴۸۱/۵ ppm) Rb، (۱-۲۴ ppm) Cs و (۱/۳-۸/۱ ppm) Pb در افق بوکسیتی است (جدول ۱). Ba و Sr در بوکسیت خاکستری و بوکسیت قرمز - قهوه‌ای پیروئیدی غنی شده‌اند. Ba فراوان‌ترین عنصر سنگ دوست بزرگ یون (LILE) بوده که در کانی‌های دارای K جانشین شده است. غلظت بالای عناصر Ba و Sr نشان می‌دهد که این عناصر به صورت جذب سطحی وارد ساختار کانی‌هایی چون کائولینیت و دیکیت می‌شوند. عناصر سنگ دوست بزرگ یون نسبت به Ti به شدت تهی شده‌اند. بین Cs و K_2O همبستگی مثبت متوسط دیده می‌شود، Cs می‌تواند جانشین پتاسیم در کانی‌های رسی شود (شکل ۱۰ الف). بین Rb و K_2O همبستگی مثبت قوی وجود دارد و Rb به صورت استتار شده جانشین K در شبکه کانی‌های رسی شده است (شکل ۱۰ ب). بوکسیت‌های کارستی با مقدار بالایی از Al_2O_3 ، TiO_2 و عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) و فراوانی کانی‌های آواری چون زیرکن، تورمالین و روتیل شناخته می‌شوند [۱۵].

نمودار دو متغیره اکسیدها نشان دهنده همبستگی مثبت قوی بین TiO_2 با Al_2O_3 و همبستگی مثبت ضعیف بین TiO_2 با SiO_2 و همبستگی مثبت بین Al_2O_3 با Fe_2O_3 است (شکل‌های ۹ و ۱۰). افزون بر این، در میان اکسید عناصر اصلی، TiO_2 و Al_2O_3 بالاترین همبستگی مثبت را دارند که این نمودارها نشان می‌دهند که سیلیس آبشویی شده و آلومینیوم و تیتانیوم باقی مانده و در افق به شدت هوازده، غنی شده‌اند (شکل ۹ الف). بطور کلی، در کانی‌های تیتانیوم‌دار موجود در بوکسیت‌های کارستی در درجه اول آنتاز، سپس روتیل و پس از آنها، ایلمنیت حامل Ti هستند. آنتاز از جمله فراوان‌ترین کانی‌های بوکسیت کارستی است. بیشتر آنتاز موجود در بوکسیت‌های کارستی همزاد هستند و در زمینه بوکسیت توزیع شده‌اند، آنتاز از کانی‌هایی است که در شرایط اسیدی و بارش زیاد تشکیل می‌شود، در حالیکه بوهمیت و دیاسپور در شرایط قلیایی ضعیف تا متوسط شکل می‌گیرند. روتیل پس از آنتاز فراوان‌ترین کانی تیتان در بوکسیت کارستی بوده و در مواردی که به صورت کانی ثانویه دیده می‌شود، فراورده دگرسانی ایلمنیت است [۱]. حضور آنتاز در کانسار بوکسیت نشان دهنده‌ی شرایط کاهشی و pH پایین در تشکیل بوکسیت کارستی است [۱۴].



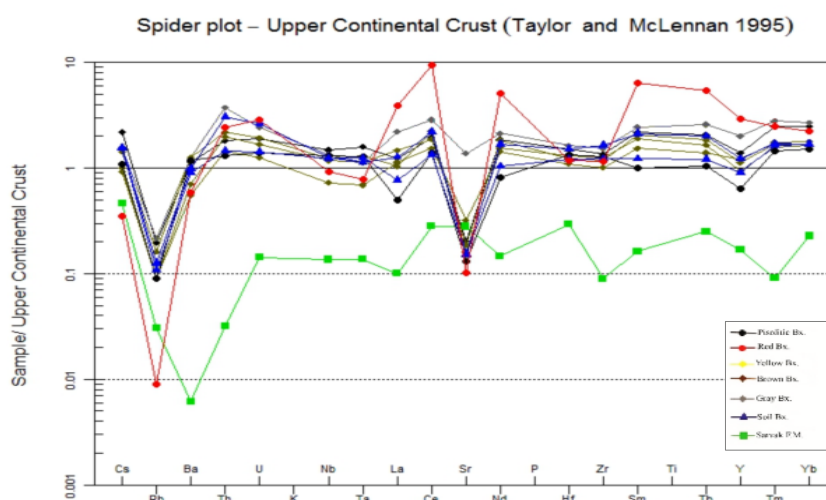
شکل ۹ نمودارهای دوتایی ضرایب همبستگی: الف) نمودار Al_2O_3 نسبت به TiO_2 ، ب) نمودار SiO_2 نسبت به TiO_2 ، پ) نمودار دو متغیره Al_2O_3 نسبت به Fe_2O_3 .



شکل ۱۰ نمودارهای دوتایی ضرایب همبستگی: الف) نمودار Cs نسبت به K_2O (ب) نمودار Rb نسبت به K_2O (پ) نمودار Ti نسبت به Zr (ت) نمودار Ta نسبت به TiO₂ (ث) نمودار Hf نسبت به TiO₂ (ج) نمودار Nb نسبت به TiO₂ (چ) نمودار Zr نسبت به Hf (و) نمودار Nb نسبت به Ta.

بیشترین غنی شدگی مربوط به عنصر Ti است. این الگو برای همه نمونه‌ها غنی شدگی از عناصر Ba, U, Nb, Th و Ti و تهی شدگی از Rb و Sr را نشان می‌دهد، در حالیکه نمونه‌های آهکی سروک روندی متفاوت دارند. برای مثال، واحد کربناتی از عناصر Ba و Ti تهی شده، که به علت تحرک این عناصر است. برای همه نمونه‌ها، غنی شدگی عنصر U دیده می‌شود، بنابراین افق هوازه خاستگاه پوسته‌ای دارد. تغییرات زمین‌شیمیایی (غنی شدگی و تهی شدگی) در عناصر کمیاب به عوامل انتقال فازهای کانایی در سنگ خاستگاه مربوط می‌شود؛ عناصر بسیار متحرک در بوکسیت غنی‌شدگی نشان می‌دهند و انحلال ناپذیرند [۱۷].

برای نمونه‌های بوکسیت، TiO₂ دارای بالاترین ضریب همبستگی مثبت با HFSEها چون Zr, Ta, Hf و Nb (۰/۹) - (۰/۸) است (شکل‌های ۱۰ پ تا ج). همچنین Zr نسبت به Hf با ضریب همبستگی بالا (۰/۹۷، $R^2 = 0.97$ ، شکل ۱۱ چ) و Ta نسبت به Nb با ضریب همبستگی بالا (۰/۹۴، $R^2 = 0.94$) است. بنابراین، این عناصر می‌توانند جانشین هم شوند، زیرا دارای بار و شعاع یونی مشابه هستند (شکل ۱۰ ج). براساس ویژگی‌ها، عناصر HFSE و Ti رفتار زمین‌شیمیایی مشابهی را نشان می‌دهند و طی فرآیند بوکسیتی شدن به نسبت متحرک هستند [۱۶]. در شکل ۱۱، الگوی توزیع عناصر جزئی نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی نشان داده شده است. دیده می‌شود که



شکل ۱۱ الگوی توزیع عناصر جزئی نمونه‌های بوکسیتی پیراشکفت نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی [۱۸].

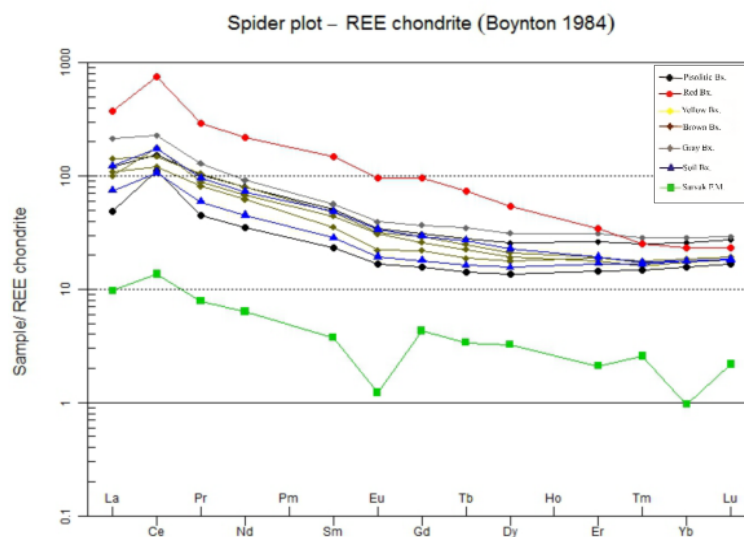
عناصر خاکی نادر (REE)

رفتار REE ها طی هوازدگی تا حدود بسیاری به pH و Eh، نقش ریزاندامگان، کانی‌های ثانویه و ماهیت سنگ بستر بستگی دارد [۱۸-۲۲]. طی فرآیندهای کائولینیتی شدن و لاتریتی شدن، REE ها می‌توانند از کانی‌های اولیه آزاد شده و جذب بسیاری از کانی‌های جاذب شوند. بنابراین کانی‌های ثانویه مانند کانی‌های فسفاتی (آپاتیت)، کانی‌های رسی همراه با اکسید و هیدروکسیدهای Fe و Mn، عوامل مهم در درجه آبشویی و تفکیک REE ها هستند [۱۳]. عناصر خاکی نادر سبک (LREE) در شرایط اسیدی می‌توانند به آسانی از بخش‌های بالایی آبشویی شده و در بخش‌های پایین‌تر متمرکز شوند که این به دلیل پتانسیل یونی پایین‌تر LREE ها نسبت به HREE ها است [۲۳-۲۵]. نمودار تغییرات REE های بهنجار شده با کندریت‌ها و نسبت $(La/Yb)_N$ و $(\Sigma LREE/\Sigma HREE)_N$ سالها به عنوان شاخص‌های قابل اطمینانی برای تفکیک عناصر خاکی نادر سبک از سنگین در ذخایر فلزی و غیر فلزی به کار رفته است [۲۶، ۲۵]. سنگ آهک سازند سروک به عنوان سنگ بستر نهشته بوکسیتی پیراشکفت با مقادیر پایین عناصر خاکی نادر (۲۲/۴۴ ppm) مشخص می‌شود. کانسنگ‌های بوکسیتی با مقادیر عناصر خاکی نادر متغیر (۱۵۲/۹۷ تا ۹۸۸/۰۶ ppm)، نسبت‌های $(La/Yb)_N$ از ۳/۰۸ تا ۱۶/۱۸، بی‌هنجاری‌های منفی Eu از ۰/۲۶ تا ۰/۹۹ و بی‌هنجاری‌های مثبت Ce (۱/۲ تا ۲/۳۳) توصیف می‌شوند (جدول ۱). پس از بهنجار سازی با کندریت [۱۸]، الگوی توزیع عناصر خاکی نادر، نمونه‌های بوکسیت و سازند سروک رفتار مشابهی از غنی‌شدگی در LREE ها و تهی‌شدگی در HREE ها نشان می‌دهند (شکل

۱۲). غنی‌شدگی LREE ها نسبت به HREE ها از رابطه زیر به دست می‌آید [۲۷]:

$$(La/Yb)_N = (La/La_N) / (Yb/Yb_N) \quad (۱)$$

غنی‌شدگی بیشتر LREE ها نسبت به HREE ها در نهشته بوکسیتی پیراشکفت نشان دهنده‌ی هوازدگی شدید و لاتریتی شدن قوی در نهشته و نیز تشکیل سربانیت و فلورنسیت به صورت برجاست. نسبت $\Sigma LREE (La-Sm) / \Sigma HREE (Gd-Lu)$ در نمونه‌های بوکسیتی پیراشکفت و سنگ میزبان کربناتی سروک (۱۰/۵) بسیار بالاتر از بوکسیت‌های لاتریتی با سنگ خاستگاه فرامافیک (۳/۳) و بازی (۱/۹) است [۲۸] (جدول ۱). بنابراین احتمال کربناتی بودن سنگ خاستگاه بالاست. بی‌هنجاری مثبت Ce در نیمرخ بوکسیتی پیراشکفت به احتمال بسیار می‌تواند مربوط به تشکیل سربانیت CeO_2 و نیز پایداری CeO_2 که به شرایط pH و Eh بستگی دارد باشد. کاهش pH و Eh باعث تبدیل Ce^{4+} به Ce^{3+} می‌شود، بالاترین مقدار بی‌هنجاری مثبت Ce مربوط به پیژوئید و اووئیدها و کمترین مقدار آن مربوط به بوکسیت قهوه‌ای است [۲۹، ۳۰]. بی‌هنجاری مثبت Ce به احتمال بسیار به نوسان‌های سطح آب زیرزمینی و ماهیت بافر بودن سنگ بستر کربناتی مربوط است [۳۱]. مقدار بی‌هنجاری Eu حدود ۰/۹۹ - ۰/۲۶ است. کمترین و بیشترین بی‌هنجاری Eu به ترتیب مربوط به سنگ بستر کربناتی و افق بالایی یعنی خاک سخت کمی بوکسیتی است. مقدار بی‌هنجاری Eu تقریباً در همه نهشته یکنواخت است که نشان می‌دهد که فرآیند بوکسیتی شدن اثری بر بی‌هنجاری Eu ندارد. از بی‌هنجاری Ce و Eu می‌توان برای ارزیابی شرایط فیزیکوشیمیایی طی بوکسیتی شدن استفاده کرد [۲۵، ۳۲، ۳۳].



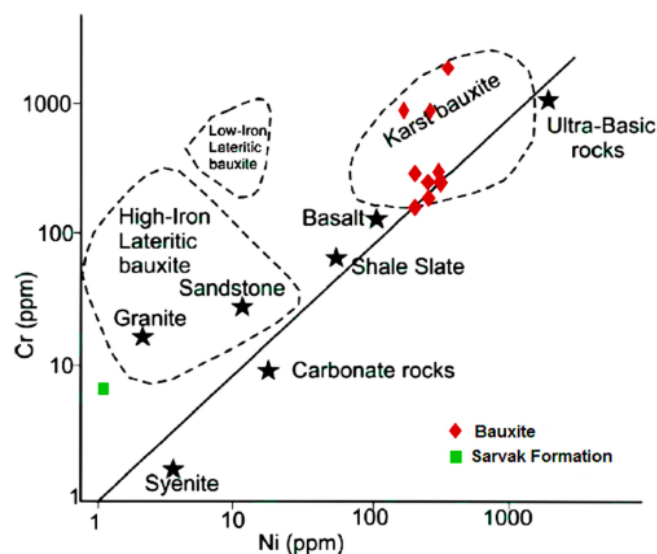
شکل ۱۲ الگوی توزیع عناصر خاکی نادر نمونه‌های بوکسیت و سنگ بستر آهکی نهشته پیراشکفت نسبت به کندریت [۳۴].

تعیین نوع نهشته بوکسیتی پیراشکفت

شیمی عناصر باعث تفکیک یا باقی ماندن آنها در سنگ خاستگاه طی بوکسیتی شدن می‌شود. عناصر قلیایی و قلیایی خاکی مهمترین عناصر متحرک طی بوکسیتی شدن هستند که کانی‌های ثانویه پایداری در افق بوکسیتی ایجاد نمی‌کنند [۸]. این در حالی است که برخی از عناصر کمیاب چون Ni, Cr, Hf, Ga, Ta, Th, Nb, Zr, Ti و هوازدهگی به عنوان عناصر نامتحرک شناخته می‌شوند و بنابراین برای تعیین سنگ خاستگاه بوکسیت‌ها در مراحل مختلف فرآیند بوکسیتی شدن استفاده می‌شوند [۱۸]. توالی کربنات‌هایی که دستخوش کارستی شدن شده می‌تواند به عنوان سنگ خاستگاه بوکسیت محسوب شود، اگرچه انحلال

سنگ بستر کربناتی به تنهایی سازوکار کافی برای تشکیل کانسنگ نیست، سنگ شناسی‌های متفاوت برای سنگ خاستگاه بوکسیت‌های کارستی پیشنهاد می‌شود از جمله ترکیب آرژیلیت به همراه کربنات، خاکستر آتشفشانی، رسوب-های بادی و سنگ‌های مافیک [۳۵]. براساس نمودار Ni-Cr برای تعیین سنگ خاستگاه بوکسیت [۳۰، ۲۵، ۳۶-۳۸]، بیشتر نمونه‌های بوکسیت پیراشکفت از نوع بوکسیت کارستی هستند که خاستگاه پیچیده دارند (شکل ۱۳).

ویژگی‌های کانی‌شناسی، بافتی و زمین‌شیمیایی نهشته بوکسیت پیراشکفت در جدول ۴ با سایر بوکسیت‌ها مقایسه شده است.



شکل ۱۳ موقعیت نمونه‌های افق بوکسیت پیراشکفت (لوزی‌های تو پر) در ارتباط با سنگ مادرهای مختلف در نمودار دو متغیره Cr-Ni [۲۸].

جدول ۴ مقایسه ویژگی‌های کانی‌شناسی، بافت، زمینه و داده‌های زمین‌شیمیایی نهشته‌های بوکسیتی مختلف در جهان و ایران با نهشته بوکسیتی پیراشکفت.

Ce/Ce*	Eu/Ee*	REE (ppm)	TiO ₂ (wt.%)	Fe ₂ O ₃ (wt.%)	SiO ₂ (wt.%)	Al ₂ O ₃ (wt.%)	زمینه	بافت	کانی شناسی	موقعیت کانسار بوکسیتی
۰.۳۴-۰.۳۳	۰.۷۶-۰.۸۹	۹۳۰.۷	۵.۱۹	۳۶.۳۲	۷.۹۶	۳۹.۸۵	نا منظم ریخت (پلیتومورفیک)	اوونیدی	بوهمیت، هماتیت، کائولینیت، آناز، گوتیت، روتیل و کلسیت	Apulian (ایتالیا) [۲۵]
۰.۸۱-۱.۴۲	۰.۷۱-۰.۸۵	-	۳.۱۸	۹.۷۶	۱۵.۲۶	۵۶.۳۶	نا منظم ریخت	اوونیدی - پیروونیدی	بوهمیت، گوتیت، کائولینیت، آناز، و هماتیت	Nurra (ایتالیا) [۱۱]
۰.۵-۰.۲۰۴	۰.۵۱-۰.۷	۵۸۶.۰	۲.۹۱	۵.۷۷	۱۴.۰۵	۶۱.۸۷	ریزدانه‌ای و نا منظم ریخت	کریپتوکریستالین، ایلیت، کائولینیت، و اوونید نودولار	دیاسپور، آناز، کائولینیت، هماتیت و گوتیت	Guangou (چین) [۳۹]
۰.۳۴-۰.۲۷۶	۰.۴۶-۰.۶۶	۳۹۰.۱۶	۳.۲۵	۱۹.۵۷	۶.۹۴	۵۴.۵۳	نا منظم ریخت	پلیتومورفیک، اوونیدی و کلسیتی	دیاسپور، هماتیت، کائولینیت، آناز، گیبسیت و گوتیت	Daji Salento (چین) [۱۶]
۰.۴-۰.۲۰	۰.۶-۰.۷	۵۹۱.۹۸	۲.۰۶	۱۶.۷۴	۸.۰۶	۴۸.۸۶	ریزدانه‌ای و نا منظم ریخت	اوونید - پیروونیدی و توده ای	بوهمیت، هماتیت، کائولینیت، دیاسپور، روتیل و آناز	Mortas (ترکیه) [۴۰]
۱-۱.۵۲	۰.۵۸-۰.۶۸	۵۸۱.۵۷	۲.۲۲	۱۰.۳۹	۱۶.۵۴	۴۶.۴۸	ریزدانه‌ای، ریزبلوری و سراسر خودشکل	پلیتومورفیک و پیروونید - اوونید کروی	بوهمیت، دیاسپور، کائولینیت، کلریت، آناز، هماتیت، پیریت، کلسیت، روتیل و گوتیت	بوکسیت مندان (زاگرس - ایران) [۴۱]
۰.۴۹-۱.۶۴	۰.۶۵-۰.۸۱	۲۹۳.۸۳	۱.۳۸	۲۰.۵۱	۳۴.۸۲	۲۲.۹۸	درشت بلوری، نا منظم ریخت و سراسر خودشکل	پیروونید - اوونیدی	بوهمیت، دیاسپور، کائولینیت، هماتیت، کلسیت، آناز و دیکیت	بوکسیت سمیرم (زاگرس - ایران) [۴۲]
۰.۴۸-۰.۲۰	۰.۴۸-۰.۷۱	۴۰۸.۶۵	۱.۸۵	۱۰.۷۴	۱۹.۲	۵۰.۸۵	نامنظم ریخت، ریزدانه‌ای و سراسر خودشکل	اوونید - پیروونیدی و اوونیدی کروی	بوهمیت، دیاسپور، هماتیت، کائولینیت، گیبسیت، گوتیت و آناز	بوکسیت مومبی (زاگرس - ایران) [۳۶]
۱.۵۱-۰.۶۳۴	۰.۱۹-۰.۲۴	۰	۲.۳۷	۱۵.۵۴	۱۲.۹۲	۵۴.۴۶	نا منظم ریخت و ریزدانه‌ای	پیروونیدی - اوونیدی	بوهمیت، دیاسپور، لپیدوکروزیت، گوتیت، هماتیت و کائولینیت	بوکسیت لوداب (زاگرس - ایران) [۴۳]
۱.۲-۰.۲۳۳	۰.۲۶-۰.۹۹	۳۹۶.۸	۲.۲	۱۸.۳	۱۶.۷۲	۴۷.۵۳	نامنظم ریخت، ریزدانه‌ای و سراسر خودشکل	پلیتومورفیک و پیروونید - اوونیدی	بوهمیت، دیاسپور، هماتیت، آناز، کائولینیت، گوتیت و روتیل	بوکسیت پیراشکفت (منطقه مورد بررسی)

برداشت

نهشته بوکسیت پیراشکفت در یال شمالی تاقدیس پسکوهک، در منطقه پیراشکفت از توابع شهرستان ممسنی در استان فارس قرار دارد. بوکسیت پیراشکفت از نوع کارستی و مدیترانه‌ای است. در برش عمودی، افق بوکسیتی پیراشکفت بین سازند آهکی سروک و شیل و مارن‌های نازک لایه سازند گورپی قرار دارد و در پی یک ناپیوستگی در اواخر تورنین برآمده فازکوهزایی لارامید تشکیل شده است. بر اساس نتایج سنگ‌نگاری، بافت زمینه از نامنظم ریخت (پلیتومورفیک) و ریزدانه‌ای تا سراسر خود شکل متغیر است. همچنین زمینه بیشتر از هماتیت و کلسیت است. براساس نتایج XRD، کانی‌های اصلی تشکیل دهنده بوکسیت مورد بررسی، شامل بوهمیت، هماتیت، دیاسپور، کائولینیت، گوتیت، کالکوپیریت و آناز و کانی‌های فرعی اسپینل، روتیل، کائولینیت هستند. در

افق بوکسیتی، کانی آلومینیوم‌دار غالب بوهمیت است. بر اساس نمودار سه تایی SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃، کانسنگ‌های بازماندی مورد بررسی در پیراشکفت را می‌توان به سه دسته بوکسیت کائولینیتی، بوکسیتی و بوکسیت آهنی رده‌بندی کرد. همچنین بر پایه این نمودار، سنگ مادر دستخوش لاتریتی شدن متوسط تا شدید شده است. در الگوی توزیع عناصر جزئی نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی، بیشترین غنی‌شدگی مربوط به عنصر Ti است. این الگو برای همه نمونه‌ها غنی‌شدگی از عناصر Ba, U, Nb, Th و Ti و تهی‌شدگی از Rb و Sr نشان می‌دهد، در حالیکه نمونه‌های آهکی سروک روندی متفاوت دارند. الگوی REE‌ها پس از بهنجارسازی با کندریت نشان می‌دهد که LREE‌ها نسبت به HREE‌ها غنی شده‌اند. مقدار بی‌هنجاری Eu تقریباً در همه نهشته یکنواخت است که این نشان می‌دهد که فرآیند بوکسیتی شدن اثری بر بی‌هنجاری Eu ندارد. برای

- [11] Mameli P., Mongelli G., Oggiano G., Dinelli E., "Geological, geochemical and mineralogical features of some bauxite deposits from Nurra (Western Sardinia, Italy): insights on conditions of formation and parental affinity", *International Journal of Earth Sciences*, 96(5) (2007) 887-902.
- [12] Meyer F. M., Happel U., Hausberg J., Wiechowski A., "The geometry and anatomy of the Los Pijiguaos bauxite deposit, Venezuela", *Ore Geology Reviews*, 20(1-2) (2002) 27-54.
- [13] Karadağ M. M., Küpeli Ş., Arýk F., Ayhan A., Zedef V., Döyen A., "Rare earth element (REE) geochemistry and genetic implications of the Mortaş bauxite deposit (Seydişehir/Konya-Southern Turkey)", *Chemie der Erde-Geochemistry*, 69(2) (2009) 143-159.
- [14] Özlü N., "Trace-element content of Karst Bauxites and their parent rocks in the Mediterranean Belt", *Mineral. Depos.* 18 (1983) 469-476.
- [15] Wang Q.F., Liu X.F., Yan C.H., Cai S.H., Li Z.M., Wang Y.R., Zhao J.M., Li G.J., "Mineralogical and geochemical studies of boron-rich bauxite ore deposits in the Songqi region, SW Henan", *China. Ore Geol. Rev.* 48 (2012) 258-270.
- [16] 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(3) (2010) 137-152.
- [17] Meshram R. R., Randive K. R., "Geochemical study of laterites of the Jamnagar district, Gujarat, India: Implications on parent rock, mineralogy and tectonics", *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(6) (2011) 1271-1287.
- [18] 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", *Mineralium Deposita*, 32(6) (1997) 607-616.
- [19] Tang H.S., Chen Y.J., Wu G., Yang T., "Rare earth element geochemistry of carbonates of Dashiqiao Formation, Liaohe Group, eastern Liaoning province: implications for Lomagundi Event", *Acta Petrol Sin-Engl* 25 (2009) 3075-3093.
- [20] Tang H.S., Chen Y.J., Santosh M., Zhong H., Yang T., "REE geochemistry of carbonates from the Guanmenshan Formation, Liaohe Group, NE Sino-Korean Craton: Implications for seawater compositional change during the Great Oxidation Event", *Precambrian Res* 227 (2013) 316-336.
- [21] Deng X.H., Chen Y.J., Yao J.M., Bagas L., Tang H.S., "Fluorite REE-Y(REY) geochemistry of the ca. 850 Ma Tumen molybdenite-fluorite

تعیین سنگ خاستگاه از نمودارهای مختلف استفاده شد. براساس نمودار Ni-Cr برای تعیین سنگ خاستگاه بوکسیت، بیشتر نمونه‌های بوکسیت پیراشکفت از نوع بوکسیت کارستی هستند که خاستگاه پیچیده دارند.

قدردانی

از کمیته پژوهشی دانشگاه شیراز که در انجام این پژوهش حمایت کردند، قدردانی می‌شود. از راهنمایی‌های سرکار خانم دکتر مریم خسروی کمال تشکر را داریم. از راهنمایی‌های ارزنده داوران محترم در بهبود هرچه بیشتر محتوای مقاله نیز کمال تشکر و قدردانی را داریم.

مراجع

- [1] Bardossy G., "Karst bauxites: developments in economic geology", (1984).
- [2] Boni M., Rollinson G., Mondillo N., Balassone G., Santoro L., "Quantitative mineralogical characterization of karst bauxite deposits in the Southern Apennines, Italy", *Econ. Geol.* 108 (2013) 813-833.
- [3] Abedini A., Calagari A.A., "REE geochemical characteristics of titanium-rich bauxites: the Permian Kanigorgeh horizon, NW Iran", *Turk. J. Earth Sci.* 23 (2014) 513-532.
- [4] Mongelli G., Buccione R., Gueguen E., Langone A., Sinisi R., "Geochemistry of the apulian allochthonous karst bauxite, Southern Italy: Distribution of critical elements and constraints on Late Cretaceous Peri-Tethyan palaeogeography", *Ore Geology Reviews*, 77 (2016) 246-259.
- [5] Calagari A. A., Abedini A., "Geochemical investigations on Permo-Triassic bauxite horizon at Kanisheeteh, east of Bukan, West-Azarbaidjan, Iran", *Journal of Geochemical Exploration*, 94(1), 1-18.
- [6] Garrels R.M., Christ C.L., "Solutions, Minerals and Equilibria. Harper and Row, New York", pp. 450. *Geochemical Journal* 37 (1965) 627-637.
- [7] Karimpour M., Saadat S., "Applied Economic Geology", Mashhad Ferdowsi University (in persian) (2002).
- [8] 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.
- [9] Agha Nabati A., *Geology of Iran*, Geological Survey of Iran. (in persian)" (2004).
- [10] Alea G.J.J., "Laterites: Concepts, Geology, Morphology and Chemistry; International Soil Reference and Information Centre (ISRIC): Wageningen, The Netherlands", 1994; Volume 169.

- [32] Mongelli G., Taghipour B., Sinisi R., Khadivar S., "Mineralization and element redistribution in the Chah-Gheib Ni-laterite ore zone, Bavanat, Zagros Belt, Iran", *Ore Geology Reviews*, 111 (2019) 102990.
- [33] Abedini A., Khosravi M., Calagari A. A., "Geochemical characteristics of the Arbanos karst-type bauxite deposit, NW Iran: implications for parental affinity and factors controlling the distribution of elements", *Journal of Geochemical Exploration*, 200 (2019) 249-265.
- [34] Boynton W.V., "Geochemistry of the REE: meteorite studies", Pp. 63-114 in. Rare earth element geochemistry (P.Henderson, editor). Elsevier, Amsterdam (1984).
- [35] Mondillo N., Balassone G., Boni M., Rollinson G., "Karst bauxites in the Campania Apennines (southern Italy): a new approach", *Periodico di Mineralogia*, 80(3) (2011) 407-432.
- [36] Zamanian H., Ahmadnejad F., Zarasvandi A., "Mineralogical and geochemical investigations of the Mombi bauxite deposit, Zagros Mountains, Iran", *Geochemistry*, 76(1) (2016) 13-37.
- [37] Valetton I., Biermann M., Reche R., Rosenberg F., "Genesis of nickel laterites and bauxites in Greece during the Jurassic and Cretaceous, and their relation to ultrabasic parent rocks", *Ore Geol. Rev.* 2 (1987) 359-404.
- [38] Taylor S.R., McLennan S.M., "The Continental Crust: Its Composition and Evolution". Blackwell Oxford, (1995) pp. 1-312.
- [39] Liu X., Wang Q., Feng Y., Li Z., Cai S., "Genesis of the Guangou karstic bauxite deposit in western Henan, China", *Ore Geology Reviews*, 55 (2013) 162-175.
- [40] Temur S., Kansun G., "Geology and petrography of the Masatdagi diasporic bauxites, Alanya, Antalya, Turkey", *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(4), 512-522.
- [41] Zarasvandi A., Carranza E. J. M., Ellahi S. S., "Geological, geochemical, and mineralogical characteristics of the Mandan and Deh-now bauxite deposits, Zagros Fold Belt, Iran", *Ore Geology Reviews*, 48 (2012) 125-138.
- [42] Salafzoon. M., "Mineralogy, geochemistry and determination of the origin of Semirom bauxite deposit, high Zagros", Master Thesis, Shiraz University. (in persian)" (2015).
- [43] Azarnia S., "Mineralogy, geochemistry and determination of the origin of Lodab, bauxite deposits, Yasuj, Kohgoluyeh and Boyer-Ahmad. Master Thesis, Shiraz University. (in persian)" (2017).
- deposit, eastern Qinling, China: constraints on ore genesis", *Ore Geol Rev* 63 (2014) 532-543.
- [22] Chen Y.J., Tang H.S., "The great oxidation event and its records in North China Craton. In: Zhai MG, Zhao Y, Zhao TP (eds) *Main tectonic events and metallogeny of the North China Craton*", Springer, Singapore, (2016) pp 281-304
- [23] Compton J.S., White R.A., Smith M., "Rare earth element behavior in soils and salt pan sediments of a semi-arid granitic terrain in the Western Cape, South Africa", *Chem. Geol.* 201, (2003) 239-255.
- [24] Esmaily D., Rahimpour-Bonab H., Esna-Ashari A., Kananian A., "Petrography and geochemistry of the Jajarm Karst bauxite ore deposit, NE Iran: implications for source rock material and ore genesis", *Turk J Earth Sci* 19 (2010) 267-284
- [25] Mongelli G., Boni M., Buccione R., Sinisi R., "Geochemistry of the Apulian karst bauxites (southern Italy): Chemical fractionation and parental affinities", *Ore Geology Reviews*, 63 (2014) 9-21.
- [26] Khosravi M., Abedini A., Alipour S., Mongelli G., "The Darzi-Vali bauxite deposit, West-Azarbaidjan Province, Iran: critical metals distribution and parental affinities", *J Afr Earth Sci* 129 (2017) 960-972
- [27] Defant M.J., Drummond M.S., "Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere", *Nature*, 347(6294) (1990) 662-665.
- [28] Schroll E., Sauer D., "Beiträge zur Geochemie von Titan, Chrom, Nickel, Cobalt, Vanadium und Molybdän in bauxitischen Gesteinen und das Problem der stofflichen Herkunft des Aluminiums", *Travax du l'ICSIBA, Zagreb*, vol. 5 (1968) pp. 83-96.
- [29] Salamab-Ellahi S., Taghipour B., Mongelli G., "Clayey bauxite from the Irano-Himalayan belt: Critical metals, provenance and palaeoclimate in the Upper Cretaceous Semirom ore deposit, Zagros Mountain, Iran", *Journal of Asian Earth Sciences*, 172, 126-142.
- Schellmann W (1986) A new definition of laterite. *Memoirs Geol Surv India* 120:1-7.
- [30] Ahmadnejad F., Zamanian H., Taghipour B., Zarasvandi A., Buccione R., Ellahi S. S., "Mineralogical and geochemical evolution of the Bidgol bauxite deposit, Zagros Mountain Belt, Iran: Implications for ore genesis, rare earth elements fractionation and parental affinity", *Ore Geology Reviews*, 86 (2017) 755-783.
- [31] Braun J.J., Pagel M., Muller J.P., Bilong P., Michard A., Guillet B., "Ce anomalies in lateritic profiles", *Geochim Cosmochim Acta* 54 (1990) 781-795.