

پetroگرافی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز افق بوکسیت در ناحیه کیسه جین، شمال غرب آبگرم، آوج

میرحسین موسوی*

گروه مهندسی نفت، واحد مسجد سلیمان، دانشگاه آزاد اسلامی، مسجد سلیمان، ایران

حسین مهدیزاده شهری

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ پذیرش: ۸۷/۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۸۵/۱۱/۵

چکیده

مقدمه: بوکسیت از منابع اصلی تامین آلومینیوم در جهان می باشد. افق بوکسیتی کیسه جین با یک سطح فرسایشی میان سازند الیکا و سازند شمشک واقع شده است.

هدف: هدف از این پژوهش تعیین بافت، کانی شناسی، نوع و منشاء بوکسیت کیسه جین می باشد.

روش بررسی: بررسی بافتی و کانی شناسی به ترتیب توسط مطالعات پتروگرافی و با استفاده از روش XRD و آنالیز شیمیایی توسط روش XRF انجام گرفت.

نتایج: مطالعات پتروگرافی نمونه های بوکسیت متراکم بافت های پیزولیتی، آلیتی و دانه ای را نشان می دهد. بر اساس ترکیب اکسیدهای اصلی ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$)، نمونه های بوکسیت کیسه جین به دو گروه طبقه بندی می شوند: ۱- بوکسیت رسی که عمدتاً از این نوع می باشند و ۲- بوکسیت غنی از آهن. دیاسپور و کانی های رسی از کانی های اصلی می باشند که همراه با کانی های فرعی فلدسپات، اکسید های آهن و آناتاز بوکسیت را تشکیل می دهند.

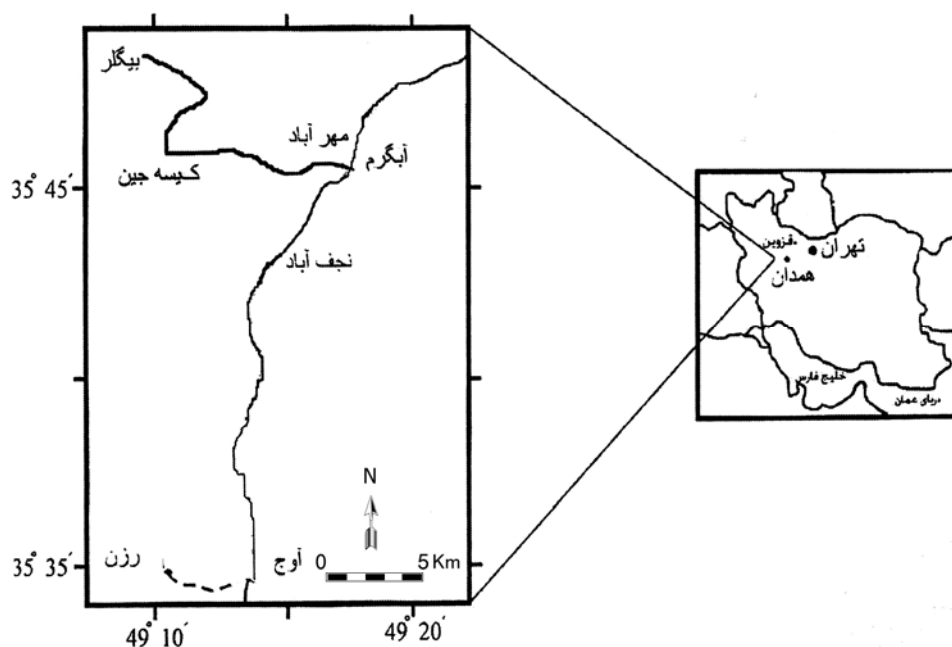
نتیجه گیری: بر اساس مشاهدات صحرایی، مطالعات پتروگرافی و مقادیر عناصر Cr, Ni, Zr و Ga، منشاء این افق بوکسیتی، سنگ های آذرین بازیک تا حدواسط می باشد که در جنوب منطقه مطالعاتی قرار گرفته اند.

واژه های کلیدی: بوکسیت، کیسه جین، دیاسپور

*عهده دار مکاتبات moosavi_m_h@yahoo.com

مقدمه

ناحیه کیسه جین واقع در ۲۵ کیلومتری شمال غرب آبگرم، در ۸۵ کیلومتری جنوب قزوین در مسیر اصلی قزوین - همدان واقع شده است (شکل ۱). افق بوکسیتی موجود در این منطقه با یک سطح فرسایشی میان سازند الیکا و سازند شمشک واقع شده است. در حال حاضر هیچ بررسی تفصیلی برای افق بوکسیتی این ناحیه که به صورت جامع و کامل که کلیه اطلاعات علمی این افق را در اختیار قرار دهد، موجود نمی باشد و می توان به گزارش علمی از ناحیه که مربوط به تهیه نقشه زمین شناسی منطقه می باشد،^(۱) به همراه دیگر کارهای تحقیقاتی که در زمینه این افق بوکسیتی صورت گرفته است، اشاره نمود.^(۲-۶) هدف از این پژوهش، تکمیل مطالعات قبلی با استفاده از پتروگرافی، کانی شناسی و تجزیه شیمیایی نمونه های افق بوکسیت این ناحیه و ارائه یک گزارش تفصیلی می باشد.

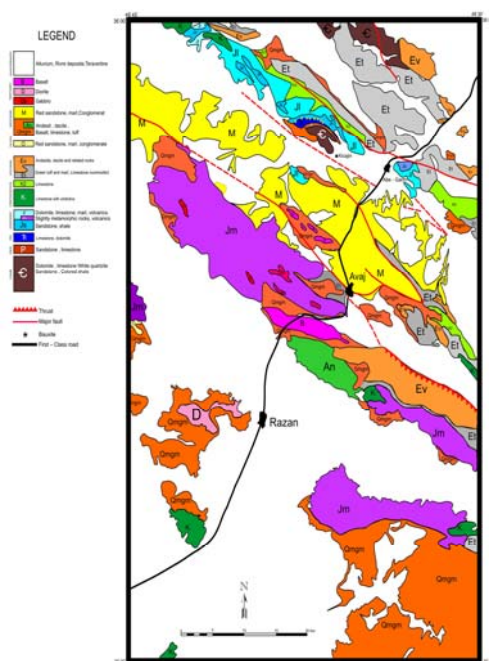


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به منطقه مورد مطالعه.

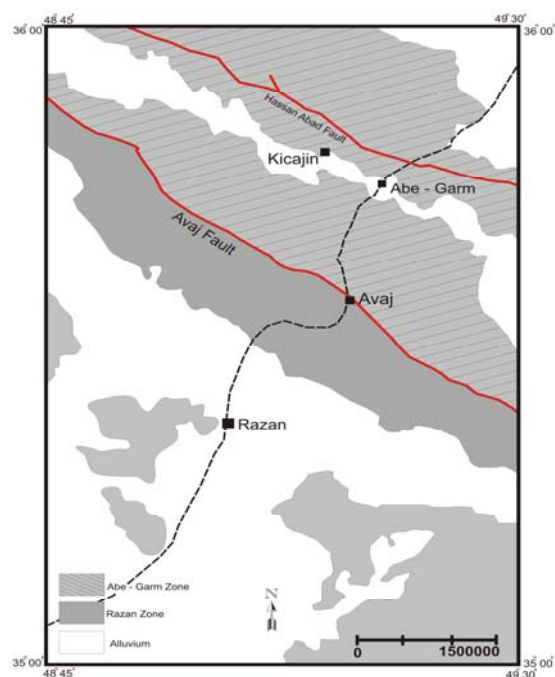
زمین شناسی ناحیه ای

منطقه آوج در غرب ایران و میان زون های ایران مرکزی و سنندج - سیرجان واقع شده است.^(۱، ۷ و ۸) این منطقه به طور عمده از دو واحد زمین شناسی، یکی در شمال به عنوان بخشی از ایران مرکزی و زون رزن در جنوب به عنوان بخشی از زون سنندج - سیرجان تشکیل گردیده است. گسل اصلی آوج با روند شمال غرب - جنوب شرق جدا کننده این دو زون می باشد. زون آبگرم همچنین توسط گسل حسن آباد به دو زیر زون تفکیک گردیده است (شکل ۳ و ۲). منطقه آوج توسط گسل هایی به چندین قطعه تقسیم شده است و مرفولوژی فرازمینی و فروزمینی را نشان می دهد. روند این گسل ها موازی گسل اصلی زاگرس است.^(۷ و ۱) در طول تریاس میانی تا تریاس بالایی، این بخش از پلاتفرم ایران - عربستان خرد و به یک فرازمینی با تعداد زیادی فروزمینی تبدیل شده است.^(۷ و ۱)

رسوبگذاری در فروزمینی رزن در تریاس پیشین تا ژوراسیک با فعالیت های آتشفشانی از نوع بازالتی همراه بوده و در آپتین، یک فاز کششی موجب فعالیت های آتشفشانی در طول شکستگی ها در زون آبگرم شده است.^(۷،۹) در کرتاسه فوقانی، به علت فشارهای تکتونیکی و بسته شدن فروافتادگی رزن، این منطقه خرد شده و دچار چین خوردگی و دگرگونی درجه پایین شده است. فاز تکتونیکی بعدی، از نوع کششی با شدت کم بوده که در ائوسن شروع و فعالیت های آتشفشانی شدیدی را در طول گسل آوج موجب شده است. فشارهای تکتونیکی بعدی سبب فعالیت های آتشفشانی در طول زمان ائوسن - الیگوسن، به ویژه در طول گسل آوج شده است که توسط توده های دیوریتی در زون رزن دنبال می شوند. در این زمان، زون رزن به صورت فروزمینی بوده و رسوبات الیگوسن - میوسن در آن انباشته شده است. در زمان پلیستوسن، آخرین و کم اهمیت ترین رویداد تکتونیکی، شامل چین خوردگی ها و رورانندی ها که با فعالیت های آتشفشانی از نوع بازالتی ارتباط داشته، شروع شده است.^(۷،۱)



شکل ۳- نقشه عمومی زمین شناسی منطقه آوج، با کمی تغییرات اقتباس از بلورچی^(۱). مقیاس افقی و عمودی یکسان است.



شکل ۲- زون های مختلف منطقه آوج، با کمی تغییرات، اقتباس از بلورچی^(۱). مقیاس افقی و عمودی یکسان است.

مواد و روش ها

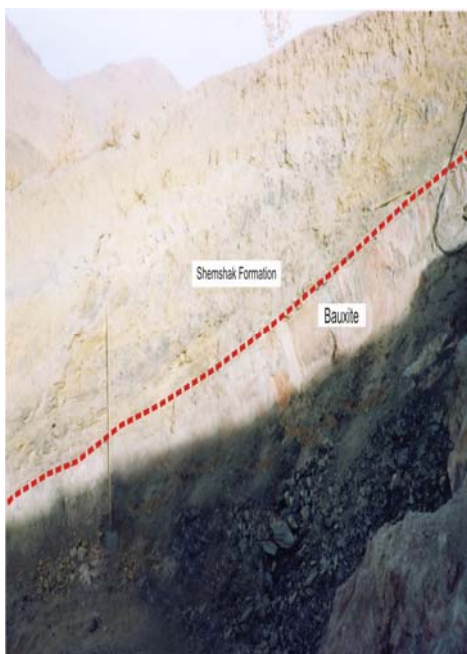
برای مطالعه یک مقطع کامل از افق بوکسیت به مختصات طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی برای نمونه برداری منظم انتخاب و تعداد ۲۶ نمونه به فواصل یک متر به صورت عمودی از سنگ میزبان تا سنگ پوشش جهت بررسی تغییرات بافت، کانی شناسی، درصد عناصر و فرآیند بوکسیتی شدن برداشت گردید (شکل ۴). افق بوکسیت در صحرا و هم در آزمایشگاه مورد مطالعه قرار گرفت. از نمونه های مترکم جهت تعیین بافت، مقطع نازک تهیه و توسط میکروسکپ پلاریزان مورد بررسی قرار

گرفتند. از کل نمونه های برداشت شده، تعداد ۲۴ نمونه جهت تعیین تغییر مقادیر عناصر اصلی، فرعی و کمیاب به همراه ۱۲ نمونه به فواصل دو متر، جهت تعیین تغییرات کانی شناسی در طول نیم‌رخ عمودی توده انتخاب و به آزمایشگاه‌های تجزیه شیمیایی و کانی شناسی ارسال گردید. تجزیه شیمیایی توسط دستگاه XRF مدل Philips 2400pw در آزمایشگاه تجزیه شیمیایی دانشگاه بوعلی سینای همدان و آنالیز کانی شناسی در آزمایشگاه سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور توسط دستگاه XRD مدل D-500 صورت پذیرفت. همچنین برای افزایش دقت آنالیزها، مواد آلی توسط H_2O_2 و مواد کربناته توسط اسید استیک از بین برده شده است.

نتایج و بحث

مطالعات صحرایی

افق بوکسیت منطقه به صورت لنزهای عدسی شکل منقطع، با ضخامت متوسط ۲۲ متر و پهنای ۱۴ متر به طول متوسط ۵ کیلومتر که مابین سازندهای الیکا و شمشک قرار گرفته است. تماس میان توده بوکسیتی و سنگ بستر کربناته به صورت نامنظم بوده که کارستی شدن سنگ بستر را قبل از بوکسیتی شدن بیان می نماید. ویژگی‌های اصلی توده بوکسیتی تفاوت رنگ میان قسمت‌های تحتانی و فوقانی توده بوده که علت آن اختلاف کانی شناسی قسمت‌های تحتانی و فوقانی می باشد. رنگ قسمت‌های تحتانی قرمز مایل به قهوه ای و قسمت‌های فوقانی خاکستری روشن بوده و نشان دهنده شستشوی Fe^{+3} از قسمت‌های فوقانی توده و ته نشست آن در قسمت‌های تحتانی توده است، بنابراین افزایش میزان دیاسپور و کائولینیت در بخش‌های فوقانی به دلیل رخداد این پدیده و در نتیجه افزایش حالت قلیایی شدن بوده است. (شکل ۴) همچنین وجود مرز مجزا و واضح میان توده بوکسیتی و شیل‌های ابتدایی قاعده شمشک، بیانگر توقف رسوبگذاری و شروع فرآیندهای بوکسیتی شدن از قسمت‌های فوقانی به سمت قسمت‌های تحتانی توده و تشکیل سنگ پوشش بعد از بوکسیتی شدن است که در طول کانی زایی رخ است. (شکل ۵) و (۱۰ و ۱۱) دیگر ویژگی بوکسیت حضور لایه‌های مجزای غنی از آهن و غنی از آلومینیم که دلیل آن آهن شویی تفریقی می باشد و به عبارت دیگر کنکرسیون در توده است. (شکل ۶)



شکل ۵- خطوط نقطه چین مشخص کننده مرز واضح میان توده بوکسیت و شیل های ابتدایی سازند شمشک می باشد. جهت عکس برداری به سمت شرق است.



شکل ۴- نمایی نزدیک از توده بوکسیت مورد مطالعه که قسمت های تحتانی [تیره] و فوقانی [روشن] را نشان می دهد.

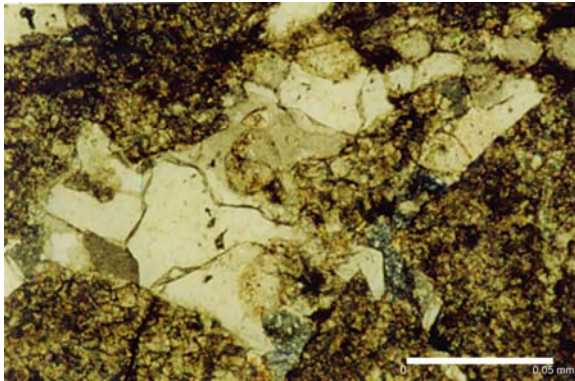


شکل ۶- نمایی از کنکرسیون های موجود در توده بوکسیت.

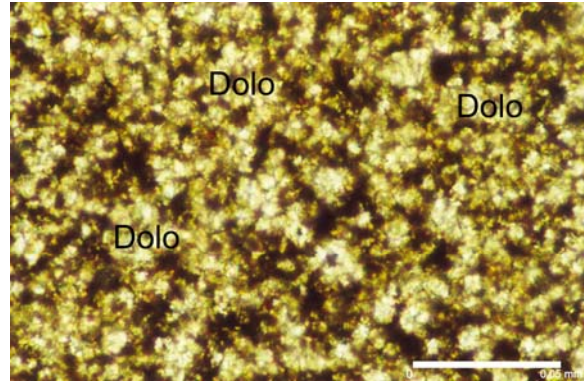
مطالعات پتروگرافی

مطالعات پتروگرافی بیانگر آن است که سنگ بستر از دولومیت ریز بلور با مقدراری کانی های آهن دار تشکیل و مربوط به سازند الیکا به سن تریاس زیرین و میانی می باشد (شکل ۷). بر روی سنگ بستر، برش های

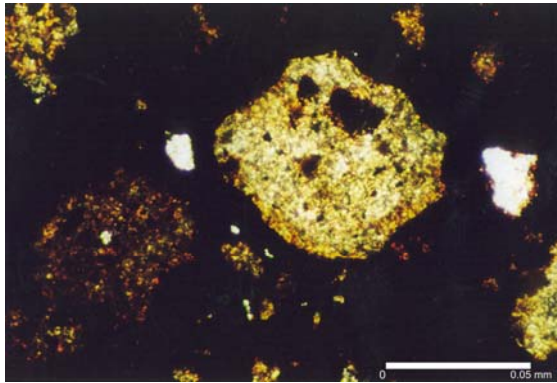
دروغین دولومیتی با سیمان کلسیتی درشت بلور قرار گرفته است (شکل ۸). قطعات برش دروغین، زاویه دار بوده و بیانگر جابه جایی اندک قطعات به دلیل قرار گیری سازند الیکا در معرض محیط خشکی توسط رویداد کوهزایی سیمیرین پیشین است.^(۷ و ۱) تشکیل سیمان کلسیتی درشت بلور به دلیل نفوذ آب‌های سطحی و قرار گرفتن منطقه در محیط دیاژنزی وادوز است. بر روی برش های دروغین، یک توده بوکسیتی قرمز تیره که شامل قطعات تخریبی می باشد، قرار گرفته است. این ذرات تخریبی شیشه آتشفشانی بوده و بیانگر منشاء آتشفشانی توده بوکسیتی است و زاویه دار بودن آن‌ها نشان می دهد این مواد به مقدار زیادی نشده اند. (تصویر ۹) این فعالیت آتشفشانی متعلق به زون رزن به سن تریاس تا ژوراسیک می باشد^(۱۰) که دگرسان شده و در حفرات کارستی زون آبگرم تجمع یافته و تحت تأثیر فرآیندهای بوکسیتی شدن قرار گرفته اند. از قسمت های تحتانی تا فوقانی توده، به تدریج هوازادگی و دگرسانی قطعات آتشفشانی افزایش یافته که در تصویر ۱۰ شدت دگرسانی قطعات آتشفشانی را می توان مشاهده نمود. رنگ توده به تدریج از پائین به بالا روشن (شکل ۴) و بافت پیزولیتی و آلیتی تشکیل می گردد (تصویر ۱۱). آئید ها و پیزوئید ها دارای زمینه می باشند. آنالیز XRD از زمینه، حضور کائولینیت، دیاسپور و هماتیت را نشان داده است. همچنین در بعضی نمونه ها آناتاز، کلریت، ایلیت و فلدسپات توسط آنالیز XRD مشخص گردید. بر روی بافت آلیتی و پیزولیتی، ساختمان لامینه ای وجود دارد (تصویر ۱۲) که آنالیز XRD وجود کانی هایی از قبیل کائولینیت، دیاسپور و هماتیت را نشان می دهد. قسمت های فوقانی توده رنگ روشنی دارد و از درصد بالایی از کانی‌های دیاسپور و کائولینیت تشکیل شده و دارای بافت دانه ای می باشد (تصویر ۱۳) که دگرسانی قطعات آتشفشانی را از قسمت های فوقانی به سمت قسمت های تحتانی، بیان می نماید. همچنین ذرات تشکیل دهنده این بافت دارای شکل‌های منظم می باشند که خود دلیلی بر وجود دیاسپور در این قسمت می باشد.^(۱۲) سنگ پوشش توده بوکسیت، متعلق به شیل و ماسه سنگ سازند شمشک می باشد که به طور عمده از نوع لیتارنایت است. (شکل ۱۴) خرده سنگ های موجود در این ماسه سنگ طور عمده از نوع سنگ های دگرگونی در حد اسلیتی شدن می باشد که از زون رزن منشاء گرفته و توسط آب های سطحی حمل و در زون آبگرم تجمع یافته اند. بنابراین، جریان های قدیمی در آن زمان از زون رزن به سمت زون آبگرم جریان داشته و توده های آتشفشانی و دگرگونی در ارتفاع بالاتری نسبت به حفرات کارستی قرار گرفته بودند. در شکل ۱۵ قسمت های مختلف توده بوکسیت بحث شده در بالا، نشان داده شده است.



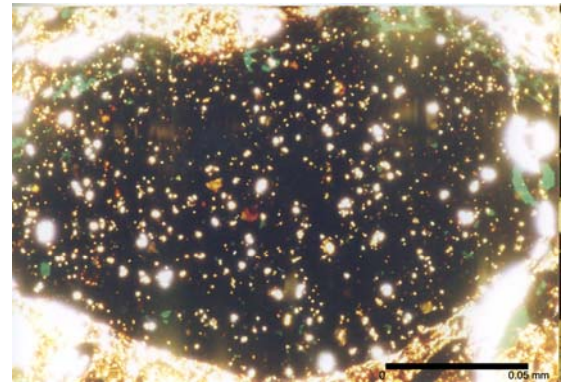
شکل ۸ - برش های دروغین که شامل قطعات دولومیتی سازند الیکا با سیمان کلسیتی درشت بلور می باشد [XPL].



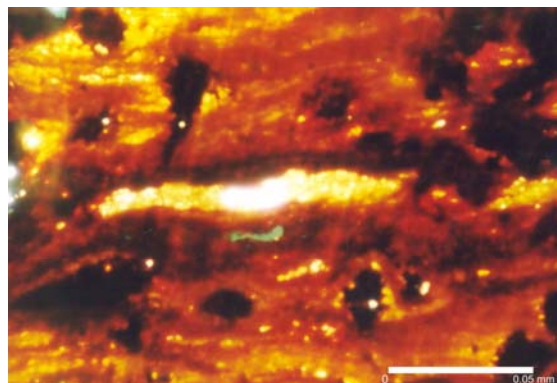
شکل ۷- دولومیت های ریز بلور سازند الیکا با مقداری کانی های آهن دار به عنوان سنگ بستر [XPL].



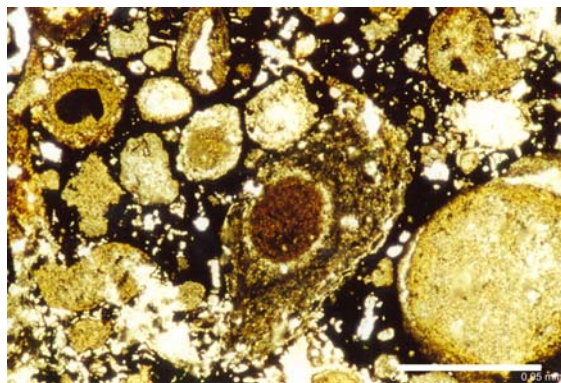
شکل ۱۰- یک خرده سنگ آتشفشانی دگرسان که به کانی سریسیت تبدیل شده است [XPL].



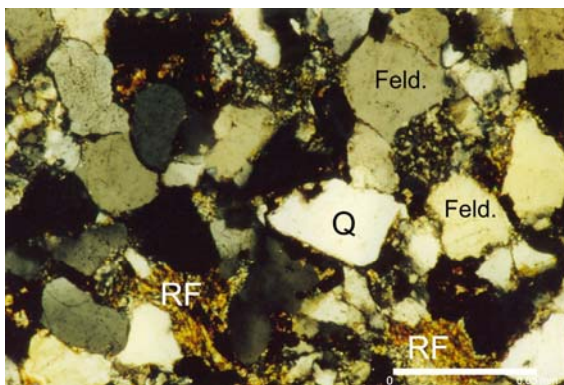
شکل ۹- یک خرده سنگ آتشفشانی از نوع شیشه [XPL].



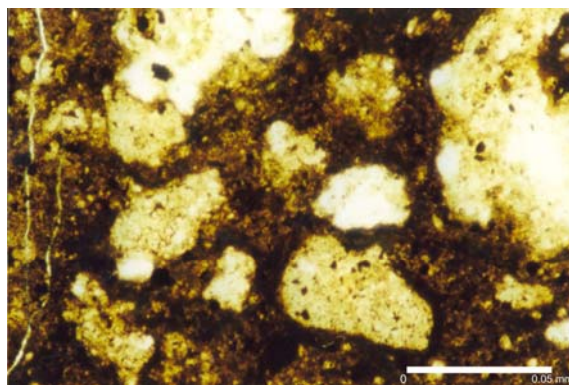
شکل ۱۲- ساختمان لامینه ای در توده بوکسیت [XPL].



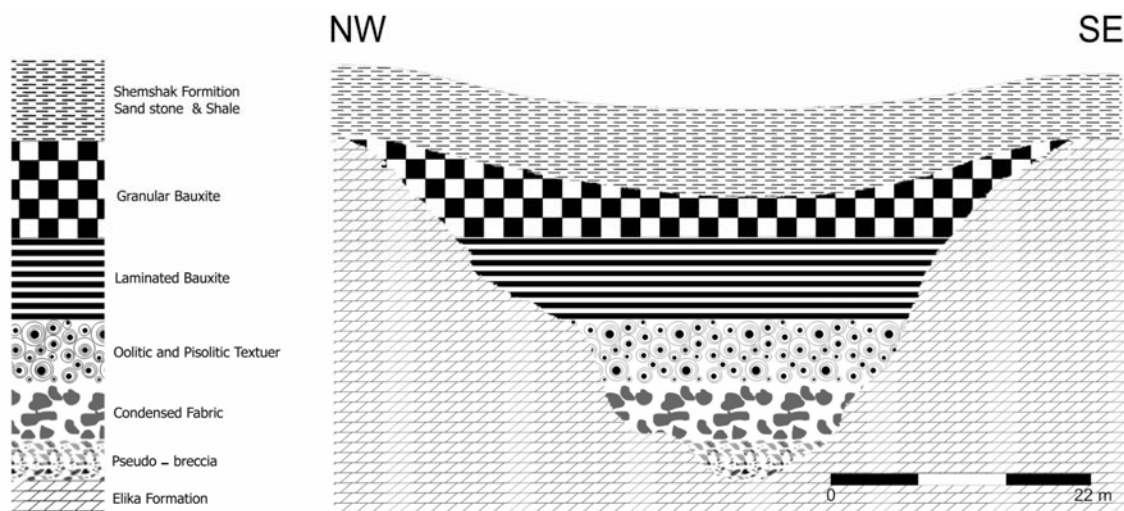
شکل ۱۱- بافت پیزولیتی و آلیتی با زمینه ای از کانی های دیاسپور و کائولینیت [XPL].



شکل ۱۴- لیتارنایت مربوط به سازند شمشک بعنوان سنگ پوشش [XPL].



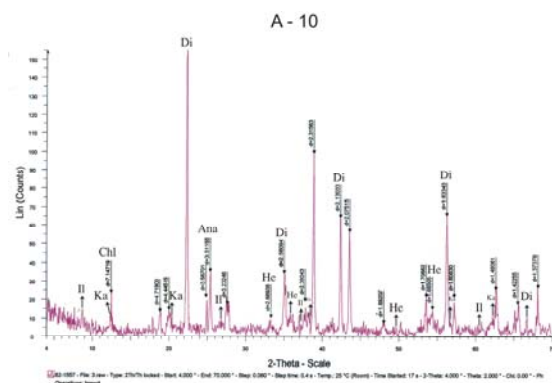
شکل ۱۳- بافت دانه ای مربوط به قسمت های فوقانی توده بوکسیت که از درصد بالایی از کانی های دیاسپور و کائولینیت تشکیل شده است [XPL].



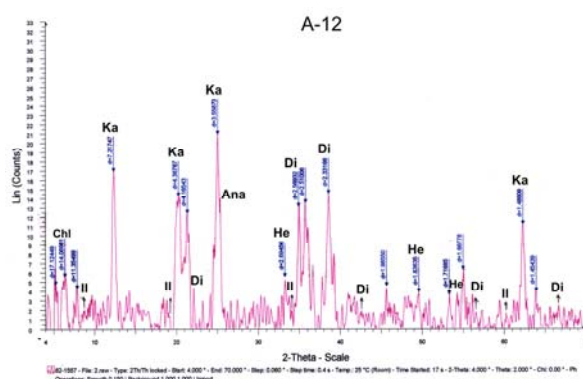
شکل ۱۵- نیم رخ شماتیک عمودی توده بوکسیت. کلیه اطلاعات تصویر ۱۵ بر اساس نتایج حاصل از نمونه برداری سطح الارضی است.

مطالعات کانی شناسی

بر اساس مطالعات XRD کانی های اصلی تشکیل دهنده توده بوکسیتی منطقه عبارتند از دیاسپور، آناز، همتایت، کائولینیت، ایلیت و کلریت (تصاویر ۱۶ و ۱۷). لازم به ذکر می باشد که دیاسپور تنها کانی آلومینیوم دار توده بوکسیتی منطقه بوده و بیانگر این است که منطقه تحت تاثیر تکتونیک واقع شده است^(۱۳). کانی تیتانیم دار موجود در توده بوکسیتی آناز می باشد. کائولینیت نیز دارای تبلور بالا می باشد. کشیدگی و تیزی پیک مربوط به این کانی و عرض کم آن در نصف ارتفاع پیک بیانگر درجه تبلور بالای این کانی می باشد.^(۱۴) ایلیت در بخش های تحتانی و فوقانی توده وجود داشته و درجه تبلور آن نیز بسیار کم است. حضور ایلیت در بخش های فوقانی توده بوکسیتی بیانگر وجود آن در سنگ پوشش و در قسمت های تحتانی به دلیل دگرسانی سنگ بستر می باشد.^(۱۰) کلریت نیز تنها در بخش های فوقانی توده مشاهده شده است.



شکل ۱۷- یکی دیگر از دیگرام های XRD توده بوکسیت که وجود کانی های دیاسپور، آناز، کائولینیت، هماتیت، کلریت و ایلیت قابل تشخیص می باشد.

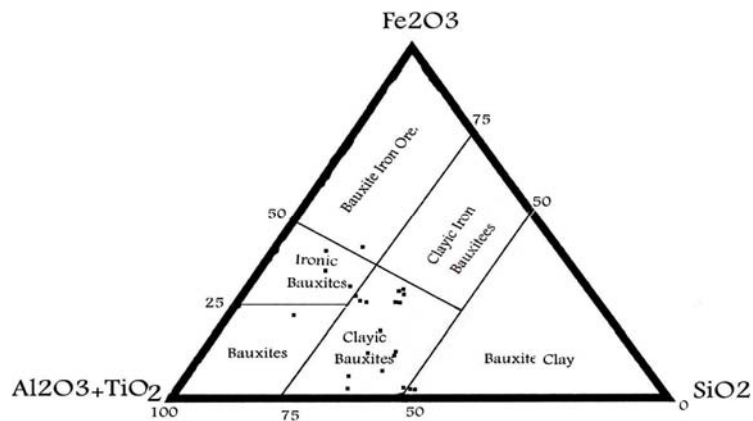


شکل ۱۶- یکی از دیگرام های XRD توده بوکسیت که وجود کانی های دیاسپور، آناز، کائولینیت، هماتیت، کلریت و ایلیت قابل تشخیص می باشد.

بررسی عناصر تشکیل دهنده بوکسیت

نتایج آنالیز شیمیایی نمونه های مختلف برداشت شده از توده بوکسیتی به روش XRF برای اکسیدهای اصلی شامل اکسیدهای آلومینیم، سیلیسیم، تیتانیم، آهن، منیزیم، منگنز، سدیم، کلسیم، پتاسیم، فسفر و مواد فرار (L.O.I) می باشد که در جدول ۱ آورده شده است. همچنین مقادیر عناصر فرعی و کمیاب موجود در توده بوکسیتی شامل زیرکونیم، کلر، گوگرد، باریم، سدیم، گالیم، هافنیم، کبالت، سرب، کروم، مس، اورانیم، توریم، نئوبیم، نیکل، روبیدیوم، استرانسیم، تنگستن، وانادیم و ایتیریم می باشد که در جدول ۲ مشاهده می گردد. با توجه به دامنه تغییرات اکسیدهای آلومینیم، تیتانیم، سیلیسیم، نوع توده بوکسیتی بر اساس طبقه بندی Bardossy^(۱۰) به طور عمده از نوع بوکسیت رسی می باشد که تمایل به بوکسیت آهن دار دارد (تصویر ۱۸) که رنگ توده در مشاهدات صحرائی نیز بیانگر این موضوع می باشد. بنابراین نفوذپذیری کم توده بوکسیتی مورد مطالعه به دلیل حضور کانی های رسی در توده، باعث عدم هوازدهی کامل بر روی توده بوکسیتی گردیده است و به عبارت دیگر، پرشدگی در دو مرحله صورت پذیرفته است. در مرحله نخست پرشدگی حفره کارستی، به دلیل انجام هوازدهی ناقص بر روی توده، تنها عناصر قلیایی که قابلیت تحرک بالایی نسبت به سایر عناصر داشته، از محیط خارج گردیده اند و عناصری که از تحرک کمتری دارند، در همان جا باقی مانده اند [همراهی کانی هماتیت با دیاسپور موید این مطلب است] و پس از طی زمانی، مجدداً حفره کارستی از مواد بوکسیت زا پر گردیده است و دیاسپور به صورت افقی نازک در قسمت فوقانی توده تشکیل گردیده است. همچنین به نظر می رسد فرآیند سیلیسی شدن موجب تبدیل بوکسیت به بوکسیت رسی شده است. مقدار عناصر قلیایی و قلیایی خاکی همیشه کمتر از یک درصد می باشد و فراوانی کم این عناصر دلیل بر خروج تقریباً کامل این عناصر از محیط می باشد. به طور کلی عناصری که دارای قدرت مهاجرت بالایی هستند، به صورت محلول از محیط خارج می شوند و تنها زمانی می توان مقادیر بالایی از این عناصر را در توده بوکسیت مشاهده کرد که کانی اولیه این عناصر حل نشده باشد.^(۱۲) همان طور که مقادیر عناصر فرعی و کمیاب بوکسیت نشان دهنده آن است که این عناصر در قسمت های تحتانی توده تجمع یافته اند، که دلیلی بر نابرجا بودن بوکسیت می باشد، زیرا کانی اولیه این عناصر حل نشده و در بخش های تحتانی توده انباشته و فرآیند های بوکسیتی

از بالا به پایین عمل نموده است. همچنین مطالعات پتروگرافی نیز نشان دهنده این مطلب می باشد. همچنین سنگ بستر کربناته به عنوان یک سد ژئوشیمیایی در تجمع این عناصر عمل نموده است^(۱۵).



شکل ۱۸- طبقه بندی توده بوکسیت، که از نوع بوکسیت رسی می باشد که تمایل به بوکسیت آهن دار دارد.

جدول ۱- نتایج آنالیز XRF عناصر اصلی موجود در توده بوکسیتی منطقه مورد مطالعه برحسب درصد.

عمق (m)	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O	K ₂ O	MnO	Na ₂ O	TiO ₂	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	LOI
۱	۲۶/۵۶	۵۲/۷۸	۰/۰۱۵	۰/۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۳/۴۹۷	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۸۶	۱۳/۷
۲	۲۹/۲۱	۴۹/۱۵	۰/۰۵۱	۰/۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۴/۸۷۶	۰/۰۸	۰/۲	۲/۰۶	۱۳/۹۴
۳	۲۷/۳۵	۵۰/۳۱	۰/۰۴۲	۰/۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۴/۳۷	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۹۹	۱۶/۱۹
۴	۲۵/۲۴	۴۳/۲۶	۰/۰۳۹	۰/۰۶	۰/۰۲۴	۰/۰۱	۴/۴۸۶	۰/۱۳	۰/۲۱	۱۰/۶۶	۱۵/۲۷
۵	۲۷/۸۱	۳۴/۷۷	۰/۰۵۶	۰/۱	۰/۰۱۹	۰/۰۱	۲/۲۴۳	۰/۲۳	۰/۲۱	۲۰/۲۶	۱۳/۸۶
۶	۳۰/۲۵	۴۴/۲۴	۰/۰۵۴	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۱	۲/۵۸۳	۰/۱۸	۰/۲۲	۷/۷۸	۱۴/۳۱
۷	۲۵/۹۴	۴۳/۵۶	۰/۰۳۱	۰/۰۷	۰/۰۲۴	۰/۰۱	۳/۶۱۲	۰/۱۴	۰/۱۷	۱۱/۶۸	۱۴/۱۲
۸	۲۸/۷۶	۳۴/۵۳	۰/۰۳۹	۰/۱	۰/۰۳۷	۰/۰۱	۵/۱۴۳	۰/۳۵	۰/۸۶	۱۵/۸۱	۱۳/۹۴
۹	۲۸/۸۲	۴۳/۸	۰/۰۳۱	۰/۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۱	۴/۰۷۶	۰/۱۷	۰/۲۲	۷/۹۵	۱۴/۱۵
۱۰	۲۳/۱۲	۳۱/۱۵	۰/۰۶۱	۰/۰۵	۰/۰۵۱	۰/۰۱	۱/۹۹۸	۰/۲۶	۰/۵۷	۲۸/۱۵	۱۴/۰۷
۱۱	۲۳/۸۴	۳۰/۸۱	۰/۳۰۵	۰/۰۹	۰/۰۲۹	۰/۰۱	۴/۳۳۴	۰/۱۸	۰/۴۲	۲۸/۴۲	۱۱/۲۷
۱۲	۲۰/۱	۲۵/۳۱	۰/۳۷۹	۰/۱	۰/۰۳۳	۰/۰۱	۴/۸۳۶	۰/۲۲	۴/۵۸	۳۱/۷۷	۱۲/۳۸
۱۳	۲۴/۱۴	۲۸/۹۵	۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۰۴۱	۰/۰۱	۴/۹۴۹	۰/۲۱	۰/۴۶	۲۹/۳۲	۱۱/۲۳
۱۴	۲۲/۴۳	۲۶/۱۵	۰/۲۸	۰/۱۷	۰/۴۲	۰/۰۱	۳/۷	۰/۱۸	۱/۶۵	۳۳/۹۲	۱۱/۱۲
۱۵	۲۰/۷۱	۲۳/۳۴	۰/۳۳۸	۰/۲۶	۰/۰۴۴	۰/۰۱	۲/۴۶	۰/۱۵	۲/۸۴	۳۸/۵۱	۱۱/۰۲
۱۶	۱۹/۵	۱۴/۷۸	۰/۰۲۹	۰/۸	۰/۱۲۶	۰/۰۸	۴/۹۴	۰/۱۶	۳/۱۴	۴۶/۱۶	۹/۹۲
۱۷	۳۰/۶۶	۱۵/۱۶	۰/۰۴۳	۰/۹۶	۰/۱۴	۰/۱	۶/۹۰۹	۰/۱۲	۰/۱۶	۳۶/۴۳	۸/۸۳
۱۸	۴۴/۱	۱۵/۳۴	۰/۰۳۹	۱/۰۴	۰/۰۳۴	۰/۱۱	۶/۴۱۷	۰/۱۱	۰/۱۳	۲۱/۰۶	۱۱/۲۲
۱۹	۱۴/۷۸	۱۸/۰۹	۰/۷۷۹	۰/۵۲	۰/۱۳۲	۰/۰۹	۳/۲۱۷	۰/۱۴	۳/۲۱	۴۸/۵۴	۹/۹۵
۲۰	۲۳/۹۳	۳۲/۹۷	۰/۲۵	۰/۷۳	۰/۲۴	۰/۰۶	۱/۲۵	۰/۲۳	۰/۷۴	۸/۲۰	۱۰/۲۱
۲۱	۲۴/۹۶	۳۶/۳۱	۰/۱۳۷	۰/۷۵	۰/۰۱۳	۰/۱	۵/۷۳۵	۰/۱۵	۰/۳	۳/۲۰	۱۰/۹۳
۲۲	۱۷/۲۶	۳۲/۶۳	۰/۱۸۲	۰/۷	۰/۰۱۷	۰/۰۲	۳/۰۹۳	۰/۱۸	۰/۷۴	۳۵/۴۵	۹/۴۸
۲۳	۱۸/۷۱	۳۲/۹۵	۰/۱۷۳	۰/۶۶	۰/۰۱۴	۰/۰۳	۳/۱۸۷	۰/۱۴	۰/۳۷	۳۳/۷۶	۹/۳۹
۲۴	۱۶/۰۳	۳۵/۰۴	۰/۱۵۵	۲/۵۴	۰/۰۱۶	۰/۳۳	۲/۵۳۲	۰/۲۱	۱/۵۷	۳۴/۳۶	۶/۵

جدول ۲- نتایج آنالیز XRF عناصر فرعی و کمیاب موجود در توده بوکسیتی منطقه مورد مطالعه برحسب ppm

عمق (m)	S	Ni	Hf	Ga	Rb	Zn	Y	Zr	W	Pb	U	TU	Sr	V	Ba	Nb	Ce	Co	Cr	Cu	Cl
۱	۱۲	۲۶۹	۱۱	۱۵	۹	۳۸	۱۶	۴۳۱	۱	۱۷	۹	۶	۱۳۳	۳۵۳	۵۴	۵۱	۳۹	۸	۲۸۳	۱۱۵	۲
۲	۱۵	۲۴۵	۱۲	۲۶	۱۰	۳۸	۱۶	۲۹۳	۷	۱۴	۸۵	۵	۳۳۱	۳۵۸	۱۱۴	۲۴	۱۰۸	۱۲	۲۹۰	۲۰۷	۳۱
۳	۱۰	۳۰۷	۱۰	۱۶	۱۰	۳۳	۱۸	۴۱۴	۱	۲۲	۶۲	۰	۲۹۶	۲۸۸	۱۵۱	۲۳	۱۲۴	۱۱	۱۷۹	۱۲۵	۱۸
۴	۱۱	۳۴۲	۱۵	۱۷	۹	۴۵	۱۷	۳۱۹	۱۵	۱۱	۱۸	۶	۲۲۸	۴۱۱	۱۶۷	۳۲	۹۷	۱۲۶	۳۳۲	۷۶	۲۳
۵	۱۲	۵۴۸	۱۶	۲۰	۸	۴۲	۱۷	۲۷۴	۱۱	۷	۹	۳	۲۸۷	۴۱۷	۲۹۹	۲۲	۲۲۰	۱۸۷	۱۷۸	۲۵۷	۲۳
۶	۱۳	۲۸۷	۱۴	۱۹	۷	۳۶	۱۵	۲۶۷	۱	۹	۲۰	۱	۳۱۵	۲۸۱	۱	۲۵	۲۸۶	۹۳	۱۹۰	۱۶۴	۲۴
۷	۱۴	۲۸۱	۱۸	۲۰	۸	۳۶	۱۶	۲۷۷	۲۳	۱۶	۲۱	۱	۱۰۲	۴۷۶	۱۸۶	۳۳	۵۹	۱۰۱	۲۱۵	۱۰۲	۳۰
۸	۱۰	۲۷۱	۱۸	۲۲	۸	۳۵	۱۹	۳۵۵	۳	۱۵	۲۸	۱	۱۸۲	۶۰۱	۱۸۳	۲۲	۲۴۹	۹۲	۳۳۴	۷۹	۱۹
۹	۱۲	۲۹۶	۱۵	۱۶	۶	۳۸	۱۷	۳۳۷	۱	۸	۳۰	۴	۱۲۴	۳۹۹	۸۵	۲۵	۸۹	۴۱	۳۳۳	۶۰	۲۴
۱۰	۱۵	۱۵۰	۱۷	۱۸	۵	۴۳	۱۴	۲۰۵	۱	۱	۱۳	۱	۲۹۷	۳۹۶	۳۱۷	۲۰	۱۵۸	۸۵	۲۵۴	۸۳	۵۶
۱۱	۵۳۴	۱۹۸	۱۹	۱۴	۱۰	۶۲	۱۶	۳۳۸	۲	۲۱	۱	۱	۳۰۴۱	۶۹۹	۵۸۰	۳۴	۴۰۷	۴۹	۳۷۰	۶۴	۳۸
۱۲	۷۷۴	۱۳۱	۱۶	۱۶	۸	۶۱	۱۶	۴۱۳	۱	۶	۱	۱	۳۳۹۶	۷۱۳	۴۷۲	۳۱	۱۸۰	۶۰	۳۵۰	۷۵	۳۸

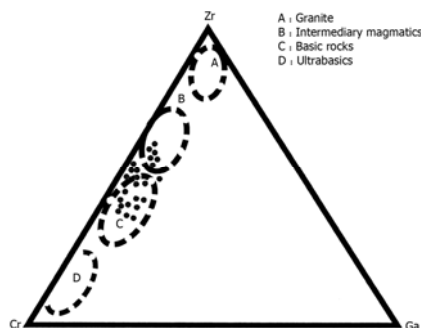
ادامه جدول ۲

۱۳	۳۴۲	۱۵۷	۱۰	۱۸	۸	۷۱	۱۷	۳۷۵	۱	۱۲	۸	۱	۱۹۰۲	۸۰۴	۳۷۴	۳۶	۳۱۴	۶۴	۴۲۰	۳۸	۳۳
۱۴	۱۰۵	۴۴	۱۴	۲۹	۱۱	۲۹	۹	۶۴	۱۷	۵	۱	۱	۳۲۳	۶۵	۵۰	۱۱	۶	۳	۳۳	۸	۳۳
۱۵	۶۰۶	۱۰۸	۱۱	۲۴	۱۱	۷۲	۱۳	۳۴۷	۹	۳	۴	۱	۳۱۱۵	۴۶۹	۳۹۹	۱۳	۱۵۷	۷۶	۲۴۸	۶۰	۸۹
۱۶	۱۰	۵۴	۱۵	۲۰	۱۳	۶۱	۱۱	۱۴۸	۱	۳	۲۵	۷	۷۸	۸۸۸	۴۷۱	۲۲	۸۷	۱۰۹	۲۷۵	۴	۸۴
۱۷	۱۲	۱۱۵	۱۷	۱۶	۱۷	۶۰	۱۵	۲۸۴	۱	۳	۱۷	۱	۲۰۷	۱۰۷۵	۴۲۸	۳۹	۱۳۳	۲۳۲	۳۷۶	۶۲	۸۶
۱۸	۱۴	۵۶	۱۸	۱۷	۲۱	۳۹	۱۹	۳۷۵	۳	۸	۱۸	۴	۲۳۲	۷۲۵	۲۱۱	۴۰	۹۸	۶۳	۲۵۹	۴	۷۸
۱۹	۱۶۶۶	۶۳	۱۹	۲۲	۱۲	۵۰	۱۵	۵۰۶	۵	۷	۱	۱	۵۰۸۲	۶۴۸	۸۵۶	۱۷	۵۷۴	۱۱۴	۲۹۷	۸۷	۸۵
۲۰	۲۴۹	۲۷	۱۵	۱۶	۱۲	۲۳	۸	۳۸	۱	۶	۱	۱	۴۶۶	۴۳	۴۳	۲	۱۲	۱۶	۶	۳	۴۹
۲۱	۵۸	۱۴۷	۱۶	۱۵	۲۱	۲۶	۲۱	۴۰۷	۱	۱۲	۱۴	۱	۹۳۸	۸۶۴	۴۰۲	۳۹	۴۶۵	۱۹	۲۴۳	۳۲	۴۰
۲۲	۱۳۷	۱۷۶	۱۸	۲۴	۱۹	۳۱	۱۶	۳۰۴	۱	۱۴	۱۰	۱	۱۳۷۰	۷۳۲	۳۸۲	۲۴	۴۹۸	۶۵	۲۳۹	۳۱	۸۷
۲۳	۱۳۳	۱۴۹	۱۹	۲۰	۱۸	۲۷	۱۵	۲۸۹	۱	۱۵	۸	۱	۱۱۸۵	۶۹۳	۳۴۸	۲۴	۳۴۹	۵۸	۲۲۳	۲۰	۳۰
۲۴	۱۳۵	۷۴	۱۵	۱۹	۴۲	۲۸	۱۷	۲۳۸	۱	۱۵	۷	۱	۱۱۷۶	۶۵۳	۳۷۱	۲۳	۲۷۹	۴۱	۱۷۵	۸	۵۶

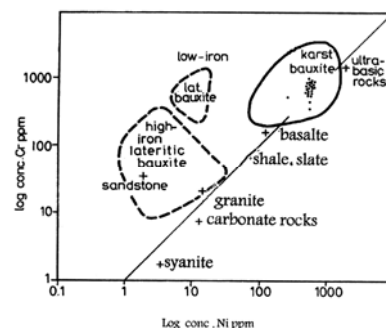
ژئز توده بوکسیت مورد مطالعه

برای تعیین خاستگاه توده های بوکسیتی از روش های مختلفی استفاده می گردد که از جمله می توان از نسبت عناصر مختلف به یکدیگر از قبیل Cr / Ni , Mo / V , Ti / Cr و نیز دیاگرام های مثلثی استفاده نمود.^(۱۶) دلیل استفاده از نسبت عناصر کمیاب به یکدیگر این است که غلظت این عناصر در اثر فرآیندهای دیاژنز و دگرگونی تغییر نمی یابد، بنابراین عناصر مزبور منحصراً در بخش آواری رسوبات، حمل شده و نشان دهنده منشاء آنها می باشد.^(۱۷) با توجه به دیاگرام نسبت عناصر کروم و نیکل به یکدیگر که توسط (Schroll & Sauer, 1991)^(۱۶) به منظور درک بهتر از سنگ منشاء ارائه گردید، به خوبی می توان بوکسیت های کارستی را از بوکسیت های نوع لاتریتی تعیین نمود. بر این اساس، نسبت لگاریتم نیکل به کروم در بوکسیت نوع کارستی بیشتر از نوع لاتریتی است. بنابراین با توجه به نسبت نیکل به کروم موجود در توده بوکسیتی مورد مطالعه، تمامی نمونه های برداشت شده از توده بوکسیتی، در محدوده بوکسیتی کارستی قرار می گیرد (تصویر ۱۹).

همچنین بر اساس روش Ozlu^(۱۸) که توزیع بوکسیت های کارستی را به عنوان تابعی از عناصر گالیم، کروم و زیرکیم در نظر می گیرد، می توان منشاء توده های بوکسیتی را تعیین نمود. برای این منظور میانگین درصد عناصر گالیم، کروم و زیرکیم توده مشخص و با استفاده از دیاگرام مثلثی مبنا که توسط Ozlu ارائه شده است، منشاء توده بوکسیتی مورد مطالعه را مشخص می نماییم. با توجه به میانگین درصد عناصر گالیم، زیرکیم و کروم، سنگ منشاء این توده از نوع سنگ های حد واسط و بازیک می باشد (تصویر ۲۰) که مطالعات پتروگرافی نیز منشاء آذرین توده بوکسیت را بیان می نماید.



شکل ۲۰- توزیع درصد زیرکونیم، کروم و گالیم موجود در نمونه های توده بوکسیتی مورد مطالعه که نشان می دهد، توده مورد مطالعه از سنگ های بازیک و حدواسط منشاء گرفته است.



شکل ۱۹- دیاگرام نسبت Cr / Ni ، که توزیع نسبت عناصر کروم و نیکل را نشان می دهد، که توده مورد مطالعه در محدوده بوکسیتی کارستی قرار گرفته است.

در ادامه می توان با استفاده از ضریب انباشت عناصر کمیاب موجود در توده بوکسیت، منشاء آنرا مشخص نمود. لازم به ذکر می باشد که محتوی عناصر کمیاب از بوکسیتی به بوکسیت دیگر متفاوت می باشد که این تفاوت را به اختلاف میزان عناصر کمیاب در سنگ منشاء و تاریخ زمین شناسی منطقه نسبت می دهند. در این روش که یک شیوه کاربردی می باشد و توسط (Shaw, 1964)^(۱۹) ارائه شد، وی ضریب انباشت عناصر کمیاب را برای سنگ های مختلف ارائه نمود (جدول ۳). جهت محاسبه ضریب انباشت عناصر کمیاب از روش ذیل استفاده گردید:

$$R = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{ki}{k_i'}$$

ki = میزان میانگین عنصر کمیاب در سنگ مورد نظر

n = تعداد عناصر کمیاب مورد استفاده در محاسبات

i = عناصر کمیاب فرض شده

k_i' = محتوی بخش عنصر کمیاب در لیتوسفر

R = ضریب انباشت عناصر کمیاب

جدول ۳- ضرایب انباشت عناصر فرعی در سنگ های مختلف^(۱۹)

نوع سنگ	الترابازیک	بازیک	اسیدی	رسوبی رسی
ضریب انباشت عناصر فرعی	۳/۴۱	۱/۱۸	۱/۱۴	۲/۱۳

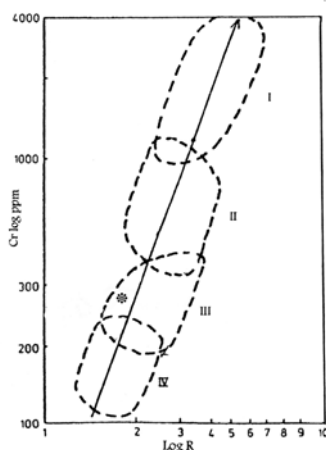
برای این منظور باید تمامی عناصر کمیاب موجود در بوکسیت های رسوبی که تقریباً از نظر تئوری پایدار می باشند، به عنوان نماینده انتخاب شوند.^(۱۹) لازم به ذکر می باشد که تفاوت در ضرایب انباشت به دلیل تفاوت در ماهیت سنگ های منشاء هوازده می باشد، همچنین تنها با احتساب این ضرایب نمی توان به طور حتم، سنگ منشاء را مشخص کرد، بلکه با توجه به مطالعات پتروگرافی و مطالعات صحرایی می توان منشاء توده های بوکسیت را مشخص نمود.^(۱۹) عناصر کمیاب مورد استفاده در این روش شامل مس، سرب، روی، گالیم، وانادیم، کروم، منگنز، زیرکونیم، نئوبیم و نیکل می باشد که در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- میزان میانگین عناصر کمیاب فرضی در لیتوسفر^(۲۰) و توده بوکسیتی مورد مطالعه.

i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
نوع عنصر	V	Cr	Cu	Pb	Zn	Ga	Mn	Zr	Nb	Ni
ki	۵۸۴/۱۶	۲۶۲/۵۴	۷۶/۶۲	۱۰/۵۸	۴۲/۷۹	۱۹/۱۲	۰/۰۴	۳۳۱/۲۵	۳۱/۰۸	۱۹۴/۴۱
تعداد نمونه	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴	۲۴
k_i'	۱۳۵	۱۰۰	۵۵	۱۳	۷۰	۱۵	۹۵۰	۱۶۵	۲۰	۷۵

$$R = \frac{1}{10} \sum \frac{584/16}{135} + \frac{262/54}{100} + \frac{194/41}{75} + \frac{76/62}{55} + \frac{10/58}{13} + \frac{42/79}{70} + \frac{19/12}{15} + \frac{0/04}{950} + \frac{331/25}{165} + \frac{31/08}{20} = 1/97$$

بر این اساس لگاریتم ضریب انباشت (R) را در مقابل لگاریتم غلظت عنصر کروم ترسیم می نماییم. نمودار حاصل در تفکیک ماهیت و ترکیب سنگ منشاء بوکسیت، مؤثر می باشد^(۱۹). بدین ترتیب موقعیت توده بوکسیتی مورد مطالعه در محدوده سنگ‌های حدواسط قرار می گیرد [تصویر ۲۱] و نتیجه حاصل با نتیجه روش Ozlu مطابقت دارد.



شکل ۲۱- ضریب انباشت عناصر کمیاب به عنوان تابعی از عنصر کروم، که نشان دهنده موقعیت توده مورد مطالعه [x] در محدوده سنگ‌های حدواسط است.

I: سنگ‌های الترابازیک II: سنگ‌های بازیک III: سنگ‌های حدواسط IV: سنگ‌های اسیدی

نتیجه گیری

- توده بوکسیتی منطقه کیسه جین آبگرم، از نظر پتروگرافی، ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب، کانی شناسی و منشاء مورد بحث و بررسی قرار گرفت که مهم‌ترین نتایج حاصل به شرح ذیل می باشد:
- کانسار بوکسیت منطقه کیسه جین آبگرم یک ذخیره کارستی می باشد...
- براساس ترکیب ژئوشیمیایی، بوکسیت مورد مطالعه در محدوده بوکسیت رسی قرار می گیرد که به بوکسیت آهن دار تمایل دارد.
- با تلفیق داده‌های پتروگرافی، کانی شناسی و ژئوشیمی و نیز مشاهدات صحرائی، نابرجا بدون بوکسیت منطقه مورد تأیید است.
- بوکسیتی شدن در داخل حفرات به علت هوازگی مواد آتشفشانی در محیط قلیایی و احیاء با جابه جایی عناصر آهن و آلومینیوم صورت گرفته است.
- بوکسیتی شدن با زهکشی و جابجایی عناصر از بالا به پائین توده بوکسیت مطابقت دارد.
- کانی آلومینیوم دار توده بوکسیت از نوع دیاسپور می باشد.

- باگذشت زمان و افزایش فرآیندهای دیاژنزی و با افزایش زهکشی از قسمت های فوقانی به تحتانی، سیلیس خارج گردیده و آلومینیم غنی می گردد، کائولینیت دگرسان شده و به دیاسپور تبدیل می گردد.
- هماتیت کانی آهن دار موجود در توده می باشد که وجود این کانی باعث ایجاد رنگ قرمز آجری در این ذخیره شده است.

- با توجه به نتایج حاصل از تجزیه عناصر موجود در توده بوکسیتی مشخص گردید که قسمت میانی توده افزایش عناصری چون آلومینوم، تیتانیم، گالیم، زیرکنیم، کروم، توریم، نئوبیم و وانادیم را نشان می دهد، همچنین عناصری چون استرانسیم، سدیم، پتاسیم و منیزیم به سمت قسمت تحتانی نیمرخ افزایش نشان می دهد و در مجاورت سنگ بستر تجمع نموده اند، در این حالت سنگ بستر کربتاته به عنوان سد ژئوشیمیایی در تمرکز این عناصر عمل نموده است.

تشکر و قدرانی

نویسندگان این مقاله از اساتید ارجمند جناب آقایان دکتر احمد معتمد و دکتر بهروز رفیعی که در ارائه این تحقیق ما را یاری و همراهی نمودند، مراتب تشکر و قدردانی خود را ابراز می دارند.

Reference:

1. Bolourchi M.H., *Explanatory text of the Kabudar Ahang. Quadrangle map 1:250000*, Geological Survey of Iran, D5 (1979).
2. Bolourchi M.H., *Preliminary report on the Permian and Triassic bauxite on Abe-Garm and Soltanieh Mt.*, G. S. I. Intr. Rep (1971).
3. Moosavi, M. H., *The study of bauxite deposit (Genesis - Generalities) in the Kicajin area, NW, Abe-Garm, Qazvin. Unpubl. M.Sc. Thesis*, North Tehran branch, Tehran (2004).
4. Moosavi, M. H., and Zarasvandi, A., *Geology of the Bauxite Horizon at the Base of the Shemshak Formation in the Kicajin Region, Avaj*, Proceeding of 14th Crystallography and Mineralogy congress of Iran, **2**, 192 (2007).
5. Moosavi, M. H., *Geochemistry of the Bauxite Horizon at the Base of the Shemshak Formation in the Kicajin Region, Avaj*, Proceeding of the 1st Applied Geological Congress of Iran, **1**, 801 (2007).
6. Moosavi, M. H., *Petrography of the Bauxite Horizon at the Base of the Shemshak Formation in the Kicajin Region, Avaj*, Proceeding of the 1st Applied Geological Congress of Iran, **1**, 102 (2007).
7. Bolourchi M.H., *Etude geologique de la region d Avaj (NW de l Iran)*, Stratigraphie ET Tectonique. These, France, Grenoble (1975).
8. Darvishzadeh, A., *Geology of Iran*, Amir Kabir Publication, Tehran (1996)
9. Khosro Tehrani, Kh., *Stratigraphy of Per-Cambrian and Paleozoic Stratigraphy*, Universtiy of Tehran Publication, Tehran (1985).
10. Bardossy G., *Karst bauxite, Bauxite deposite on carbonate rocks, Development in Econmic Geology*, Elsevier Pub. Co. (1989).
11. Shahriari, M., *Karstic bauxite reserves (with carbonate base-rock)*, *Jahad-e-Daneshgahi Publication, Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, (1986)*,
12. Lapparent, A. F., *Remarques Geologiques Sur Quelques Bauxites*, Paris, Institut de Geologic I. G. A. L (1962).
13. Leonide, E., , *Russia*, *Journal of Geochemical Exploration*, **66**, 353 (1999).
14. Cullity B.D., *Element of X- ray Diffraction*, University of Norte Dame (1998).
15. Weiser, M., *Danas system of mineralogy*, 7th Edj Phys. Chem., **26**, 3010 (1932).
16. Schroll E., Sauer D., *Ein Beitray Zur Geochemie der Seltenen in Bauxite*, Symp. ICSOBA, Zagreb (1964).
17. Tosianid T., and Ramirez A., *Geochemistry of major and trace elements in Los Pijiguaos Bauxite Ore, Venezuela*, 2nd International symposium, July, Aix en Provence, France (1990).
18. Ozlu N., *Trace element content of Karst Bauxite and their Parent Rocks in the Mediterranean Belt*, Mineralium Deposita (1983).
19. Shaw D.M., *Interpretation geochimige des elements en traces dans les roches cristallines*, Masson ET Cie, Paris (1964).
20. Mason B., and Moore, C.B., *Principles of Geochemistry*, John Wiley and Sons, New York (1982).