Archive of SID

شاخص کیفیت بوکسیت (BQI) به عنوان معیار جدیدی برای کیفیت کانسنگ بوکسیت با مطالعه موردی

لیلا امینی*[۱]، غلامحسین شمعانیان[۲]، مجید عظیم محسنی[۳]

۱- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور- مرکز ساری
۲- دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان
۳- استادیار، گروه آمار، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان
(دریافت: اسفند ۱۳۹۶، پذیرش: آبان ۱۳۹۸)

چکیده

آلومینیم و ترکیبات شیمیایی مربوط به آن معمولاً از کانسنگ بوکسیت به روش بایر و شستشو توسط NaOH تولید می‌شوند. این فرایند به طور عمده به مقدار آلومینا و سیلیکا وابسته است. بنابراین، شاخص مدول (نسبت Al_2O_3 به SiO_2) به عنوان معیاری برای کیفیت کانسنگ بوکسیت به کار می‌رود. این شاخص فاقد پشوانه آماری است و قادر به کنترل داده‌های خارج از رده نیست. در این مقاله، شاخص کیفیت بوکسیت (BQI) به عنوان معیار جدیدی برای ارزیابی کیفیت کانسنگ معرفی شده است. برای ارزیابی توانایی این شاخص، از داده‌های زمین‌شیمیایی معدن بوکسیت جاجرم استفاده شد. معدن بوکسیت جاجرم با ۲۲ میلیون تن کانسنگ کشف شده، بزرگ‌ترین معدن بوکسیت ایران است. مقدار حد شاخص BQI در این معدن ۰/۱۹۷ است. این شاخص از قابلیت خوبی در شناسایی مناطق کانی‌سازی بر مبنای پتانسیل اقتصادی برخوردار است. شاخص BQI قادر به کنترل داده‌های خارج از رده و آشکار ساختن رابطه بین متغیرها است که از مهم‌ترین ویژگی‌های این شاخص محسوب می‌شود.

کلمات کلیدی

بوکسیت، جاجرم، شاخص مدول، شاخص کیفیت بوکسیت، داده‌های خارج از رده

*عهده‌دار مکاتبات: amini_eco_geo@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

اصطلاح بوکسیت برای اولین بار در سال ۱۸۲۱ توسط زمین‌شناسان فرانسوی برای توصیف لایه‌های رسی قرمز رنگ در ایالت بوکسیده[1] در جنوب فرانسه که حاوی ۵۲ درصد Al_2O_3 بود، مورد استفاده قرار گرفت[۱]. کانسارهای بوکسیتی حاوی ترکیبی از اکسیدها و هیدروکسیدهای آلومینیوم و ناخالصی‌های همچون کانی‌های رسی، کوارتز، اکسیدهای آهن و مواد آمورف هستند. این کانسارها به عنوان منبع اصلی تأمین کننده آلومینیم محسوب می‌شوند که با درجات کیفی متفاوت استخراج و بهره‌برداری می‌شود. استرالیا (۸۲ میلیون تن)، چین (۶۵ میلیون تن) و برزیل (۳۴/۵ میلیون تن) جزء بزرگ‌ترین کشورهای تولید کننده این عنصر به شمار می‌روند[۲].

شرایط جغرافیایی و زمین‌شناسی کانسار، فنون استخراج و عوامل اقتصادی از مهم‌ترین عوامل تعیین کننده کیفیت بوکسیت است[۳]. در میان عوامل اقتصادی، میزان مصرف سود سوزآور در طی فرایند تولید آلومینا که هزینه بالایی را به خود اختصاص می‌دهد و به فراوانی کانی‌های بوکسیتی و کوارتز بستگی دارد، دارای اهمیت ویژه‌ای است. در معدنکاری برای کنترل کیفیت کانسنگ، از داده‌های شیمیایی به جای داده‌های کانی‌شناسی استفاده می‌شود[۴]، چرا که پردازش داده‌های کمّی سریع، ارزان و در دسترس است. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی به منظور ارزیابی عیار بوکسیت با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و تجزیه و تحلیل داده‌های چند متغیره صورت پذیرفته است[۵]. با توجه به اثرگذاری میزان Al_2O_3 و SiO_2 در فرایند تولید آلومینا [۶] که شاخص مدول خوانده می‌شود[۵]، برخی پژوهشگران برای طبقه‌بندی کیفی بوکسیت همراه با پارامترهای دیگر از آن استفاده کرده‌اند[۵]. به این ترتیب می‌توان گفت یکی از معیارهای رتبه‌بندی کیفی کانسنگ‌های بوکسیتی بر مبنای نسبت درصد وزنی Al_2O_3 به SiO_2 است[۱]. در کانسارهای مختلف، حداقل مقدار مدول اقتصادی یا مدول حد متفاوت است و بر پایه مشخصات فنی کارخانه فرآوری تعیین می‌شود.

شاخص مدول به علت سادگی محاسبه در مقیاس آزمایشگاهی[۴] و دخالت مستقیم مقادیر آلومینا و سیلیکا، دارای کاربرد وسیعی است. با این حال، به نظر می‌رسد تعیین مدول حد یک کانسار به دلیل عدم توجه به داده‌های خارج از رده، فاقد پشتوانه آماری است. وجود این نوع داده‌ها می‌تواند منجر به مدول‌هایی شود که با واقعیت همخوانی نداشته و توانایی این شاخص در ارزیابی کیفیت کانسنگ را با سؤال روبرو سازد. برای مثال، در یک توده معدنی که مقدار Al_2O_3 آن کم و بیش ثابت اما مقادیر SiO_2 آن بسیار زیاد و یا بسیار کم است، شاخص مدول نمی‌تواند معیار مناسبی برای تعیین کیفیت بوکسیت باشد. بنابراین، ضرورت دارد تا در کنار شاخص مدول از شاخص جدیدی استفاده کرد که از پشتوانه آماری برخوردار بوده و اثر داده‌های خارج از رده را کاهش دهد. هدف از این مقاله معرفی این شاخص جدید با عنوان شاخص کیفیت بوکسیت[2] (BQI) بر پایه تجزیه و تحلیل‌های آماری و ارزیابی کارآیی آن بر مبنای داده‌های زمین‌شیمیایی گمانه‌های اکتشافی در معدن بوکسیت جاجرم است.

۲- روش بررسی

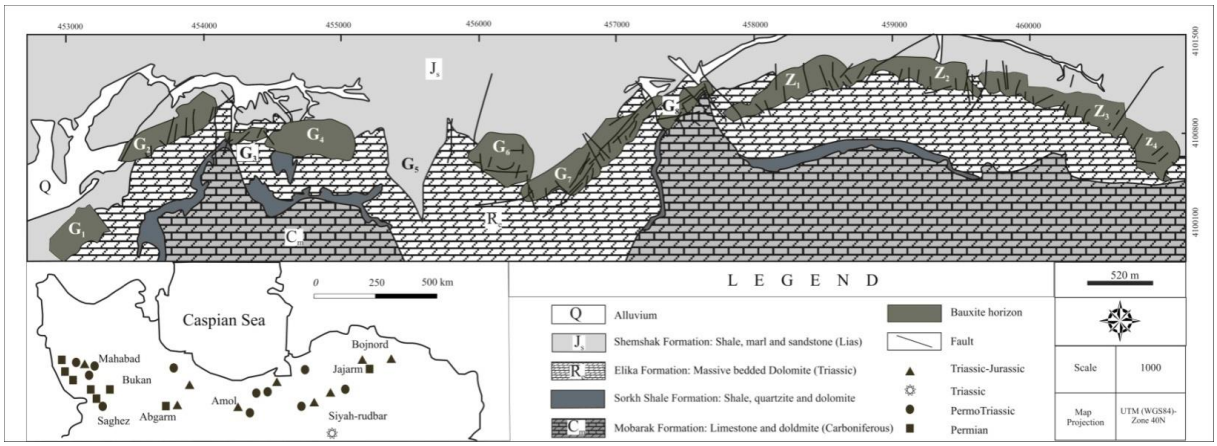
۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

معدن بوکسیت جاجرم با موقعیت جغرافیائی '۲ °۳۷ طول شرقی و '۳ °۵۶ عرض شمالی در ۱۷۵ کیلومتری جنوب غرب شهرستان بجنورد قرار دارد. این معدن که در بخش شرقی کمربند بوکسیتی ایران- هیمالیا واقع شده، بزرگ‌ترین معدن بوکسیت ایران محسوب می‌شود. ماده معدنی در این معدن شامل دو افق بوکسیتی A و B است. افق A یک افق بوکسیتی متعلق به پرموتریاس است که به دلیل کیفیت نامناسب و گسترش کم فاقد ارزش اقتصادی است. افق B بر روی سنگ بستر دولومیتی سازند الیکا قرار گرفته و توسط شیل و ماسه سنگ‌های سازند شمشک پوشیده شده است. این افق با گسترش طولی ۱۶ کیلومتر و عرض ۴۰ متر دارای ۲۲ میلیون تن ذخیره کشف شده است[۷]. وقوع رخدادهای شدید زمین‌ساختی با ایجاد گسل‌های متعدد با سازوکارهای امتدادی و راندگی [۸] باعث تفکیک افق بوکسیتی به چهار بخش اصلی به نام‌های سنگ‌تراش، تاگوئی، زو و گلبینی شده است. هر یک از این بخش‌ها نیز بر اثر عملکرد گسل‌های امتداد لغز به بلوک‌های کوچک‌تر تقسیم شده‌اند. شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی بخش‌های گلبینی و زو و بلوک‌های آنها را نشان می‌دهد. در

www.SID.ir

Archive of SID

حال حاضر ماده معدنی در این کانسار با مدول حد ۴/۷ به کارخانه تولید آلومینای جاجرم ارسال و در آنجا به پودر آلومینا تبدیل می‌شود. شکل ۲ نمای کلی از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت مهم‌ترین نهشته‌های بوکسیتی در شمال و شمال غرب ایران (پایین)؛ نقشه زمین‌شناسی بخش‌های گلبینی (G1 تا G8) و زو (z1 تا z4) در معدن بوکسیت جاجرم (بالا). افق بوکسیتی B در این نقشه بزرگنمایی شده است (نقشه زمین‌شناسی پایه از زمین-شناسی کوه کورخود)

شکل ۲: نمای کلی از منطقه مورد مطالعه، گذر از آهک‌های سازند مبارک به افق بوکسیتی A و سپس دولومیت‌های سازند الیکا، افق بوکسیتی B ، شیل و ماسه سنگ‌های سازند شمشک، در منتهی‌الیه سمت چپ عکس سنگ آهک‌های دلیچای و لار مشاهده می‌شود. (دید عکس به سمت شمال شرق)

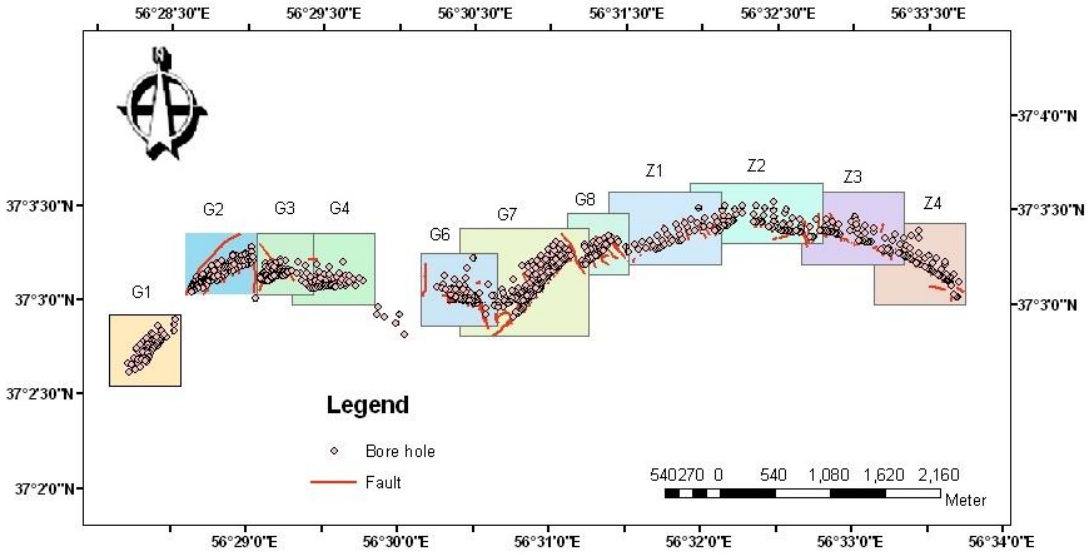
معدن بوکسیت جاجرم همواره مورد توجه پژوهشگران مختلف قرار داشته و از دیدگاه‌های مختلف همچون کانی‌شناسی[۹،۱۰]، زمین‌شیمیایی[۱۱،۱۲]، پیدایشی[۱۳، ۱۴] مورد مطالعه قرار گرفته است. یکی از موضوعات حائز اهمیت در این معدن، شناسایی نقاط امید بخش حفاری است تا بر پایه آن بتوان با صرف زمان کمتر، هزینه‌های عملیات اکتشاف را کاهش داد. امینی[۱۵] بر مبنای مطالعات آماری چندمتغیره و سامانه اطلاعات جغرافیایی، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت ماده معدنی را در این معدن مورد بررسی قرار داده و به پیش‌بینی مناطق پرعیار و دارای بهترین کیفیت پرداخته است.

۲-۲- داده‌های تحقیق

این پژوهش در بخش‌های گلبینی و زو به انجام رسیده که خود توسط گسل‌های امتداد لغز به بلوک‌های کوچک‌تر به نام‌های G_1 تا G_8 در بخش گلبینی و Z_1 تا Z_4 در بخش زو تقسیم شده‌اند. برای ایجاد بانک اطلاعات از داده‌های تجزیه شیمیایی، ازداده‌های ۸۶۷ گمانه اکتشافی استفاده شد. پس از ایجاد بانک اطلاعات داده‌ها و بررسی توزیع مکانی گمانه‌ها و داده‌های تجزیه شیمیایی، بلوک‌های G_1، G_4 و G_5 به دلیل کامل نبودن داده‌ها و توزیع مکانی ناکافی گمانه‌ها از روند مطالعات کنار گذاشته شد و بررسی تنها بر روی ۹ بلوک انجام گرفت. شکل ۳ توزیع گمانه‌های مورد بررسی در بلوک‌های موجود در منطقه مورد مطالعه را نشان داده است.

www.SID.ir

Archive of SID

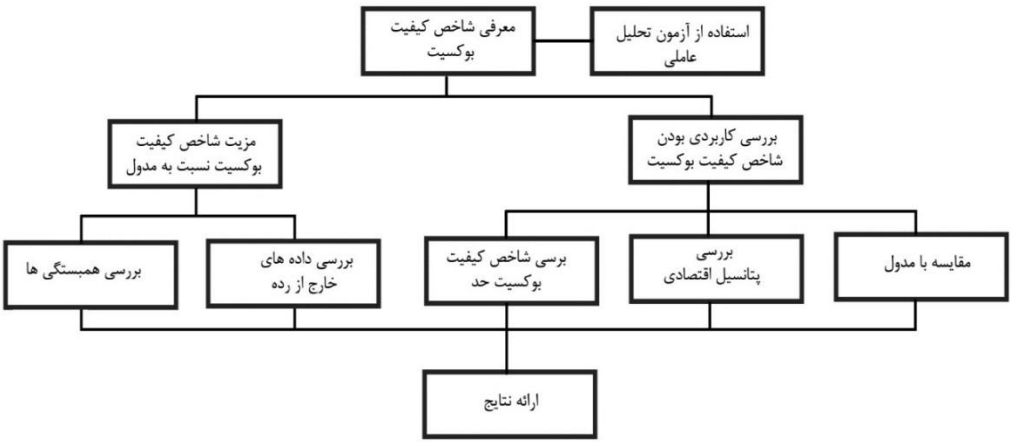


شکل ۳: موقعیت بلوک‌های معدنی و گمانه‌های حفاری شده در معدن بوکسیت جاجرم. نمونه‌های بوکسیتی مورد مطالعه در این مقاله از مغزه‌های گمانه‌ها برداشت شده است

۲-۳- مطالعات آماری

برای انجام مطالعات آماری، از نرم‌افزار SPSS 16 استفاده شد و در آغاز شاخص مدول بر مبنای نسبت Al_2O_3 به SiO_2 محاسبه گردید. در ادامه، آزمون تحلیل عاملی انجام و شاخص جدیدی به نام شاخص کیفیت بوکسیت (BQI) تعیین شد. مقدار این شاخص در معدن بوکسیت جاجرم بر مبنای داده‌های تجزیه شیمیایی و با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 محاسبه گردید. برای کنترل کارایی این شاخص، ابتدا مقایسه‌ای بین روابط موجود بین کیفیت و مقادیر آلومینا و سیلیکا در نسبت‌های شاخص مدول و شاخص کیفیت بوکسیت انجام گرفت.

سپس، پتانسیل اقتصادی معدن به تفکیک بر مبنای مقادیر شاخص مدول و شاخص کیفیت بوکسیت محاسبه و نتایج با یکدیگر مقایسه گردید. پتانسیل اقتصادی معدن بر مبنای فاصله اطمینان ۹۵ درصد که تعیین کننده کران پایین و کران بالای عامل مورد بررسی است، با استفاده از آماره‌های توصیفی ارزیابی شد. در ادامه، با مقایسه درصد گمانه‌هایی که مدول و BQI آنها به ترتیب بالاتر از مدول حد و BQI حد معدن است، بار دیگر کاربردی بودن شاخص کیفیت بوکسیت کنترل شد. سرانجام، برای ارزیابی برتری شاخص کیفیت به شاخص مدول همبستگی هر یک از این شاخص‌ها با مقادیر آلومینا و سیلیکا بررسی شد. شکل ۴ روند نمای ساده از بررسی‌های انجام شده در این پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل ۴: روندنمای بررسی‌های انجام شده در این پژوهش

www.SID.ir

Archive of SID

۳- نتایج و بحث

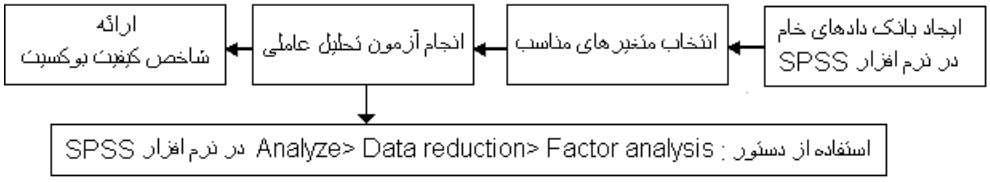
۳-۱- معرفی شاخص کیفیت بوکسیت (BQI)

تحلیل عاملی یک روش استنباط آماری چند متغیره است که هدف اصلی آن آشکارسازی عوامل پنهان میان متغیرها است که به طور مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شوند اما رابطه میان متغیرها را کنترل می‌کنند[۱۶، ۱۷]. تعداد متغیرهای پنهانی ارائه شده توسط تحلیل عاملی معمولاً باید از تعداد متغیرهای مورد بررسی کمتر باشد. در این تحلیل اگر واحد اندازه‌گیری متغیرها و یا گستره تغییرات آنها متفاوت باشد، بهتر است از مقادیر استاندارد شده در تعیین عوامل پنهان استفاده کرد. بر این اساس، تحلیل عاملی به پیش‌بینی مقدار استاندارد شده عامل پنهان بر مبنای مقادیر استاندارد شده متغیرها می‌پردازد. مقادیر استاندارد شده می‌تواند تأثیر داده‌های خارج از رده را تا حد زیادی کنترل کند. در رابطه تحلیل عاملی می‌توان از یکسو با بررسی ضرایب بار عاملی چگونگی ارتباط عامل پنهان با هر یک از متغیرها را ارزیابی کرد و از سوی دیگر سهم اثر هر یک از متغیرها بر عامل پنهان را تشخیص داد. بر اساس این یافته‌ها می‌توان عامل پنهان استاندارد شده را شناسایی و مقدار مشخصی برای را آن تعیین نمود.

یکی از اساسی‌ترین مراحل آزمون تحلیل عاملی انتخاب مناسب‌ترین متغیرها است[۱۸]. بر مبنای شاخص مدول، ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر Al_2O_3 و SiO_2 همواره منفی است. بر مبنای تحلیل عاملی می‌توان کیفیت بوکسیت را به عنوان عامل پنهان در نظر گرفت که متأثر از رابطه منفی این دو متغیر است. با توجه به نقش مقادیر آلومینا و سیلیکا در کیفیت بوکسیت از مقادیر خام این اکسیدها به عنوان متغیرهای مورد بررسی استفاده شد. بر پایه این فرضیات، شاخص کیفیت بوکسیت به صورت رابطه (۱) تعیین شد:

$$BQI = X\ \frac{Al_2O_3 - \mu Al_2O_3}{std\ Al_2O_3} + Y\ \frac{SiO_2 - \mu\ SiO_2}{std\ SiO_2} \qquad (۱)$$

در این رابطه BQI بیانگر مقدار استاندارد شده کیفیت بوکسیت، μ میانگین کل متغیرهای مورد بررسی و std انحراف معیار متغیرهای مورد بررسی است. ضرایب X و Y به ترتیب بیانگر بار عاملی Al_2O_3 و SiO_2 در کیفیت بوکسیت است. این ضرایب از بردار ویژه مربوط به بزرگ‌ترین مقدار ویژه ماتریس همبستگی بین Al_2O_3 و SiO_2 حاصل می‌شوند که مقدار و علامت آنها چگونگی رابطه متغیرهای Al_2O_3 و SiO_2 را با کیفیت بوکسیت نشان می‌دهند. به عبارت دیگر تحلیل عاملی یک میانگین وزنی توانمند از مقادیر استاندارد شده Al_2O_3 و SiO_2 را ارایه می‌دهد که وزن‌ها بر حسب نحوه تغییرات مقادیر متغیرها مشخص می‌گردد. از آنجا که در این رابطه از متغیرهای استاندارد شده استفاده می‌شود، به صورت مناسبی می‌توان داده‌های خارج از رده را در هر دو مورد Al_2O_3 و SiO_2 تعیین و کنترل کرد. روند نمای تعیین شاخص کیفیت در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: روندنمای انجام مراحل آماری برای دستیابی به شاخص کیفیت بوکسیت

۳-۲- بررسی کارایی BQI

به منظور بررسی کارایی شاخص کیفیت بوکسیت، داده‌های تجزیه شیمیایی بوکسیت‌های جاجرم وارد رابطه (۱) شد و شاخص کیفیت بوکسیت به صورت رابطه (۲) برای معدن بوکسیت جاجرم بازنویسی شد:

$$BQI = (0.55)\frac{Al_2O_3 - \mu Al_2O_3}{std\ Al_2O_3} + (-0.55)\ \frac{SiO_2 - \mu\ SiO_2}{std\ SiO_2} \qquad (۲)$$

در این رابطه مقادیر X و Y دارای بزرگی یکسان ۰/۵۵ هستند که دلالت بر سهم مساوی متغیرهای Al_2O_3 و SiO_2 در تعیین BQI به عنوان شاخص کیفیت بوکسیت دارد. از طرفی، وجود علامت منفی برای ضریب سیلیکا، بیانگر همبستگی معکوس مقادیر این متغیر با شاخص کیفیت بوکسیت است. بر این اساس می‌توان قضاوت کرد که مقادیر زیاد BQI نشانگر کیفیت بهتر بوکسیت است.

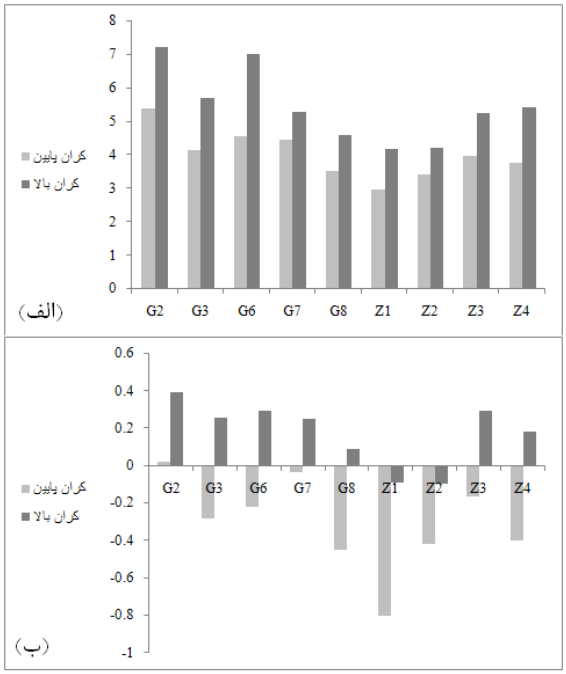
www.SID.ir

Archive of SID

برای بررسی پتانسیل اقتصادی بلوک‌های مورد مطالعه، فاصله اطمینان ۹۵ درصد به تفکیک برای مدول حد ۴/۷ و مقادیر BQI محاسبه شد. نتایج این بررسی (جدول ۱) نشان دهنده بیشترین پتانسیل اقتصادی برای بلوک G_2 است. بلوک‌های Z_1،Z_2 و G_8 دارای کمترین پتانسیل اقتصادی بوده و سایر بلوک‌ها از پتانسیل اقتصادی متوسط برخوردارند. همخوانی نتایج به دست آمده دلالت بر کارایی شاخص کیفیت بوکسیت در تفکیک و تشخیص مناطق با پتانسیل اقتصادی بالا دارد (شکل ۶).

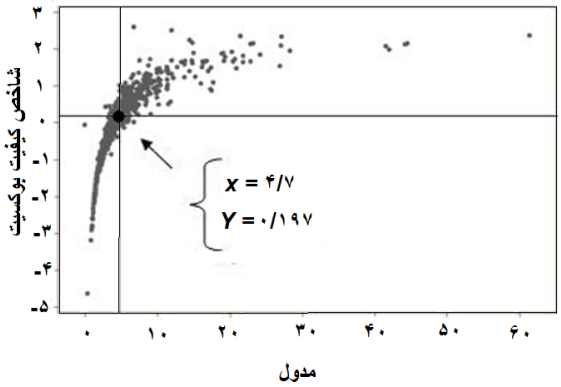
جدول ۱: فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای مقادیر مدول و شاخص کیفیت بوکسیت (BQI) در بلوک‌های مورد مطالعه.

شماره بلوک	مدول		شاخص کیفیت بوکسیت	
	کران پایین	کران بالا	کران پایین	کران بالا
G_2	۵/۳۷	۷/۲۲	۰/۰۱۸۱	۰/۳۸۷
G_3	۴/۱۳	۵/۶۸	-۰/۲۸۲	۰/۲۵۷
G_6	۴/۵۳	۶/۹۹	-۰/۲۲۰	۰/۲۹۰
G_7	۴/۴۵	۵/۲۶	-۰/۰۳۷	۰/۲۴۷
G_8	۳/۴۹	۴/۵۷	-۰/۴۵۱	۰/۰۸۶
Z_1	۲/۹۵	۴/۱۷	-۰/۸۰۴	-۰/۰۸۹
Z_2	۳/۴۱	۴/۱۸	-۰/۴۲۰	-۰/۱۰۰
Z_3	۳/۹۴	۵/۲۲	-۰/۱۶۳	۰/۲۹۳
Z_4	۳/۷۵	۵/۴۱	-۰/۴۰۱	۰/۱۷۷



شکل ۶: بررسی پتانسیل اقتصادی بلوک‌های مورد مطالعه در کانسار بوکسیت جاجرم با استفاده از مقادیر شاخص مدول (الف) و شاخص کیفیت بوکسیت (ب)

با رسم نمودار نقطه‌ای مدول در مقابل BQI (شکل ۷) و تلاقی خط مدول حد (X= ۴/۷) با روندی صعودی نمودار، مقدار متوسط ۰/۱۹۷۸ به عنوان BQI حد برای کانسار بوکسیت جاجرم معرفی شد. سپس از بین تمامی گمانه‌های کانسار بوکسیت جاجرم، درصد گمانه‌هایی با مدول بیش از ۴/۷ و BQI بیش از ۰/۱۹۷۸ تعیین شد. در ادامه مشخص گردید که در کانسار جاجرم، ۴۲/۵ درصد گمانه‌ها دارای مدولی بیش از مدول حد (شکل ۸ - الف) و ۴۲ درصد گمانه‌ها دارای BQI بیش از BQI حد (شکل ۸ - ب) هستند. همخوانی این نتایج نشانگر ارائه اطلاعات مشابه و یکسان توسط شاخص‌های مدول و BQI است که این موضوع صحت کارایی شاخص BQI را مورد تأیید قرار می‌دهد.



شکل ۷: نمودار نقطه‌ای شاخص مدول در برابر شاخص کیفیت بوکسیت (BQI)

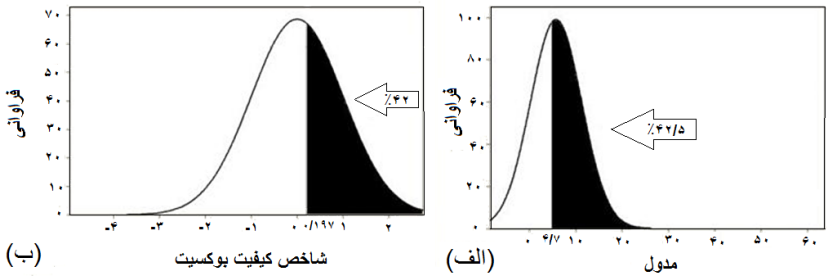
۳-۳- مزیت استفاده از BQI

مهم‌ترین اشکال شاخص مدول، تأثیرپذیری بسیار زیاد آن از داده‌های خارج از رده است. داده‌های خارج از رده منجر به ارائه نتایج غیر واقعی شده و تمامی استنتاج‌های بعدی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این اشکال در شاخص BQI با استانداردسازی داده‌ها و حذف اثر منفی داده‌های خارج از رده به کمترین مقدار ممکن می‌رسد. مقایسه نمودارهای جعبه‌ای برای مقادیر شاخص مدول و شاخص BQI بیانگر کنترل بخش زیادی از داده‌های خارج از رده در شاخص BQI است (شکل ۹). به این ترتیب، با جایگزینی شاخص BQI به جای شاخص مدول و دستیابی به نتایج واقعی‌تر می‌توان استنتاج‌های درست‌تری از برنامه‌های اکتشافی و استخراجی ارائه نمود و هزینه این نوع عملیات را به طور چشمگیری کاهش داد.

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی همبستگی شاخص‌های مدول و BQI با مقادیر آلومینا و سیلیکا (جدول ۲)، نشانگر همبستگی مثبت Al_2O_3 با شاخص BQI (r=۰/۹۰۵) و همبستگی منفی این شاخص با SiO_2 (r= -۰/۹۰۵) است. اگرچه شاخص مدول نیز با Al_2O_3 دارای همبستگی مثبت (r=۰/۶۶۳) و با SiO_2 دارای همبستگی منفی (r= -۰/۶۳) است، اما از ضرایب همبستگی کمتری برخوردار است. به این ترتیب، شاخص BQI در مقایسه با شاخص مدول از توانایی بیشتری در آشکارسازی همبستگی بین متغیرها برخوردار است.



شکل ۸: منحنی توزیع فراوانی برای مقادیر شاخص مدول (الف) و شاخص BQI (ب) در معدن بوکسیت جاجرم. بخش سیاه زیر منحنی مقادیر بالاتر از مدول حد و BQI حد را نشان می‌دهد

شکل ۹: نمودار جعبه‌ای مقادیر شاخص مدول و شاخص کیفیت بوکسیت (BQI) در معدن بوکسیت جاجرم. شاخص کیفیت بوکسیت (BQI) قادر به کنترل بخش زیادی از داده‌های خارج از رده است

جدول ۲: همبستگی مقادیر شاخص کیفیت بوکسیت و مدول با Al_2O_3 و SiO_2

	شاخص کیفیت بوکسیت	Al_2O_3	SiO_2	مدول
شاخص کیفیت بوکسیت	۱			
Al_2O_3	۰/۹۰۵	۱		
SiO_2	-۰/۹۰۵	-۰/۶۳۸	۱	
مدول	۰/۷۱۴	۰/۶۶۳	-۰/۶۳۰	۱

۴- نتیجه‌گیری

کیفیت ماده معدنی یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر روند اکتشاف، استخراج و کانه آرایی مواد معدنی است. با ارزیابی دقیق کیفیت ماده معدنی و عوامل مؤثر بر آن می‌توان هزینه‌های اکتشاف و استخراج را به طور چشمگیری کاهش داد و با انتخاب بهترین مواد، بازدهی عملیات فرآوری و استحصال ماده معدنی را بهبود بخشید. در کانسارهای بوکسیتی، بالا بودن مقدار Al_2O_3 در مقایسه با SiO_2 به عنوان یکی از معیارهای کیفیت ماده معدنی استفاده می‌شود. این معیار که به شاخص مدول معروف است فاقد پشتوانه آماری است و به دلیل عدم کنترل داده‌های خارج از رده بر روی تمامی استنتاج‌های آماری اثرگذار است. به منظور بر طرف نمودن این اشکالات، در

www.SID.ir

Archive of SID

این مقاله شاخص جدیدی به نام شاخص کیفیت بوکسیت (BQI) معرفی شد. در این شاخص علاوه بر دخالت آشکار مقادیر Al_2O_3 به عنوان ماده ارزشمند و SiO_2 به عنوان پرهزینه‌ترین باطله کانسنگ، چگونگی رابطه این متغیرها با متغیرهای پنهان بررسی شده و با کنترل داده‌های خارج از رده، رابطه بین متغیرها به نحو بهتری بررسی و آشکار میگردد. محاسبه و مقایسه شاخص مدول و شاخص BQI در معدن بوکسیت جاجرم بیانگر نتایج زیر است:

۱- کیفیت کانسنگ در هر دو شاخص دارای همبستگی مثبت با مقادیر آلومینا و همبستگی منفی با مقادیر سیلیکا است.
۲- نسبت تأثیر آلومینا و سیلیکا در هر دو شاخص برابر است. این نسبت اثر خود را در شاخص مدول با ضریب ۱ و در شاخص BQI با ضریب ۰/۵۵ نشان می‌دهد.
۳- هر دو شاخص قادر به شناسایی و تفکیک مناطق کانی‌سازی بر حسب پتانسیل اقتصادی هستند.
۴- مدول حد معدن بوکسیت جاجرم بر پایه مطالعات تجربی ۴/۷ و BQI حد این معدن بر مبنای محاسبات انجام شده در این مقاله ۰/۱۹۷ است.
۵- شاخص BQI با استاندارسازی داده‌ها توسط آزمون تحلیل عاملی قادر به کنترل داده‌های خارج از رده است به نحوی که بر اساس تعداد ۶۸۸ داده موجود، تعداد داده‌های خارج از رده در روش مدول بزرگ‌تر از ۲۵ و شاخص کیفیت بوکسیت برابر با ۵ است. این داده‌ها به دلیل تأثیر بر روی استنتاج‌های بعدی از منابع اصلی خطا در عملیات اکتشاف محسوب می‌شوند.
۶- شاخص BQI به دلیل دارا بودن شرایط لازم از قبیل شناسایی و تفکیک مناطق کانی‌سازی و کنترل داده‌های پرت، پشتیبان مناسبی برای شاخص مدول است. این شاخص می‌تواند مبنای استنباط‌های آماری بیشتر و دقیق‌تر در ارزیابی کیفیت کانسنگ‌های بوکسیتی باشد.

مراجع

[1] Angélicaa, R.S. Kahnb, H. Paz, S.P.A. (2018). "A proposal for bauxite quality control using the combined Rietveld - Le Bail - Internal Standard PXRD method – Part 2: Application to a gibbsitic bauxite from the Paragominas region, northern Brazil". Minerals Engineering. 122: (2018) 148–155.

[2] Bray, E.L. (2017). "Bauxite and Alumina. In: Mineral Commodity Summaries", USGS pp. 32–33.

[3] Shahriyari, M. (1986). "Reserves of bauxite Karst (bed carbonate)." Tehran University (In Persian).

[4] Paza, S.P.A. Kahna, H. Angélica, R.S. (2018). "A proposal for bauxite quality control using the combined Rietveld – Le Bail – Internal Standard PXRD Method – Part 1: hkl model developed for kaolinite". Minerals Engineering, 118: 52-61.

[5] Tutmez, B. (2018). "Bauxite Quality Classification by Shrinkage Methods". Journal of Geochemical Exploration, S0375-6742(17)30495-8.

[6] Habashi, F. (2015). "A short history of hydrometallurgy", Hydrometallurgy. 79: 15-22.

[7] Exploration of the Ministry of Mines and Metals. (1997). "Design and construction of mining equipment alumina factory." unpublished, (In Persian).

[8] Engineers Khak Khub. (1991). "According to geological and tectonic Jajarm bauxite deposit." unpublished, (In Persian).

[9] Jafarzadeh, R. (2000). "Evaluation of bauxite mineralogy Jajarm." Master Thesis, University of Shiraz, (In Persian).

[10] Mollai, H. and Sharifian Atar, R (2006). "The study of texture and different phases constituting the Jajarm Bauxite minerals in northern Khurassan." Journal Of Crystallography and Mineralogy of Iran 14 (2): 339-366 (In Persian).

[11] Ismaili, D. Esna-ashari, A. Rahimpour-Bonab, H. Amini fazl (2006). "Geochemistry of rare earth elements (REE) in Jajarm Bauxite Deposit (North East of Iran)." Journal of Earth Sciences, 62: 2-13 (In Persian).

[12] Nasery, M. (2003). "Investigation of Geochemical Exploration of the bauxite deposit Jajarm the capabilities and limitations in industrial applications." Master Thesis, University of Mashhad Ferdosy. (In Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

[13] Amini, L. Shamanian, Gh.h, Raghimi, M. Jafarzadeh, D. (2011) "Mineralogical, geochemical and genetical investigations of the Jajarm karst bauxite deposit, NE Iran." Journal of Crystallography and mineralogy of Iran." 3: 413-426 (In Persian).

[14] Esmaeily, D. Rahimpour-Bonab, H. Esna-ashari, A. Kananian, A. (2010). "Petrography and Geochemistry of the Jajarm Karst Bauxite Ore Deposit, NE Iran: Implications for Source Rock Material and Ore Genesis." Turkish Journal of Earth Sciences 19: 267-284.

[15] Amini, L. (2010). "Mineralogical and Geochemical Characteristics Investigation of the Jajarm Bauxite Deposit, Northern Khorasan Province, Iran", Master Thesis, University of Golestan (In Persian).

[16] Pearson, K. (1901). "On lines and planes of closest fit to systems of points in space." Phil Magazine, 2: 559-572.

[17] Loewen, Sh. Gonulal, T. (2015) "Exploratory Factor Analysis and Principal Components Analysis". Routledge, pp.182-212

[18] Spearman, Ch. (1904). "General Intelligence, Objectively Determined and Measured." American Journal of Psychology, 15: 201-293.

1- Baux-de-Provence
2- Bauxite Quality Index

www.SID.ir