

کانی‌شناسی و ژئوشیمی حوزه‌ی زغالی گلندرود، البرز مرکزی، استان مازندران

مسلم آقائی کریق^{۱*}، مصطفی رقیمی^۲، غلامحسین شمعیان^۲، محسن قلی پور^۳

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اردبیل، باشگاه پژوهشگران جوان، اردبیل، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم، دانشگاه گلستان گرگان

۳- دانشگاه آزاد اسلامی گرگان، باشگاه پژوهشگران جوان

(دریافت مقاله: ۹۰/۱/۱۹، نسخه نهایی: ۹۰/۵/۱۴)

چکیده: معادن زغال‌سنگ گلندرود در استان مازندران یکی از مناطق تولید کننده‌ی زغال‌سنگ در حوزه‌ی زغالی البرز مرکزی است. براساس بررسی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی، پیریت مهمترین کانی سولفیدی موجود در این معدن است. براساس نتایج ماتریس همبستگی، آنالیز خوشه‌ای و آنالیز مولفه‌ی اصلی، اکسیدهای SiO_2 ، Al_2O_3 ، Na_2O ، K_2O و TiO_2 با کانی‌های آلومینوسیلیکاتی، عناصر CaO ، MgO و MnO با کانی‌های کربناتی (کلسیت و دولومیت) و Fe_2O_3 و SO_3 با پیریت وابسته‌اند. همبستگی مبهم بین P_2O_5 با اکسیدهای اصلی دیگر و حضور آپاتیت در زغال‌سنگ‌های گلندرود می‌تواند نشانگر دو خاستگاهی بودن آن باشد. همبستگی منفی بین SiO_2 ، Al_2O_3 ، Na_2O ، K_2O ، TiO_2 با Cl بیانگر خاستگاه آلی کلر است. همچنین V و Rb از کانی‌های آلومینوسیلیکاتی و Ni ، Cu ، Co ، Cr ، Pb ، Ce ، Y و Zn از کانی‌های سولفیدی و Sr ، Ba از کانی‌های کربناتی و کانی‌های فسفات‌دار ریشه گرفته‌اند. اغلب عناصر کمیاب در زغال‌سنگ گلندرود نسبت به زغال‌سنگ‌های چین، آمریکا و کلارک زغال‌سنگ، غنی‌شدگی و عناصر Nb و کلر تهی‌شدگی نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی؛ ژئوشیمی؛ زغال‌سنگ گلندرود؛ حوزه‌ی زغالی البرز مرکزی؛ ایران.

مقدمه

سنگ‌ها در آغاز از مواد تغذیه‌ای یکسانی برای ادامه حیات استفاده می‌کرده‌اند [۲]. برخی از کانی‌های معمول در زغال-سنگ عبارتند از کانی‌های سیلیکاتی (کوارتز و کانی‌های رسی)، کربنات‌ها (کلسیت و سیدریت) و کانی‌های سولفیدی (پیریت و مارکاسیت) [۳]. رس‌ها از نظر حجمی بیشترین گروه کانی‌ها در زغال‌سنگ‌ها هستند. کوارتز، کائولینیت و لایه‌های مخلوط رسی دارای خاستگاه آواری و سولفیدها و کربنات‌ها تا حد زیادی خاستگاه ثانویه دارند که در مرداب‌های زغالی تشکیل می‌شوند [۴]. کانی‌های فرومنیزیم مانند پیروکسن، آمفیبول‌ها و الیوین در زغال‌سنگ‌ها خیلی نادرند. این کانی‌ها در شرایط pH پایین محیط‌های باتلاقی ناپایدار بوده و در مراحل اول زغال‌سنگی‌شدن تخریب می‌شوند. در مقابل کانی‌های فرعی مقاوم، مانند روتیل، زیرکن و فسفات در زغال‌سنگ

طی مراحل زغالی‌شدن، فشار و آبگیری رسوب‌ها موجب ایجاد شکستگی (کلیت) در زغال‌سنگ می‌شود و آب از میان منافذ تورب یا از میان کلیت‌ها در زغال‌سنگ نفوذ کرده و کانی‌ها را ته‌نشست می‌کند [۱]. فراوانی اجزای غیر آلی و کانی‌ها در زغال‌سنگ دارای تغییرات زیادی است، به طوری که در ابعاد میکرومتری تا کیلومتری این، تغییرات وجود دارند. این تغییرات در اثر فرایندهای ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی متفاوتی ایجاد می‌شوند که روی تورب‌ها و زغال‌سنگ طی زمان زمین‌شناسی عمل کرده است [۲]. اختلاف در گونه‌های گیاهی، خاستگاه مواد، جریان‌های آواری، فرایندهای دیاژنزی و اپی ژنتیکی منجر به تنوع کانی‌شناسی و ژئوشیمی در زغال‌سنگ‌ها شده است. این در حالی است که گیاهان ایجاد کننده زغال

* نویسنده مسئول، تلفن: ۲۵۷۳۳۲۵ (۰۴۵۲)، نمابر: ۴۴۲۷۰۴۰ (۰۱۷۱)، پست الکترونیکی: aghaei.moslem3@gmail.com

حضور دارند [۲]. تخریب کانی‌های فرومنیزیم باعث رها سازی فلزات Pb , Ni , Cu , Co , Cr می‌شود. شرایط آنتی اکسیدی موجود در باتلاق‌ها و فراوانی گوگرد آزاد شده از فساد مواد آلی، شرایط مناسبی برای تشکیل کانی‌های سولفیدی فراهم می‌آورد. از نظر ژئوشیمی، عناصر موجود در زغال‌سنگ به بخش‌های آلی و معدنی (کانی‌ها) وابسته‌اند [۵]. مهم‌ترین عناصر اصلی در زغال‌سنگ عبارتند از Si , Fe , Mg , Ca , Al . این عناصر اغلب در بخش‌های غیر آلی و در درز و شکاف‌های موجود در زغال‌سنگ قرار می‌گیرند و با کانی‌های رسی، کربنات‌ها و سولفیدها در ارتباطند [۲]. ترکیبات معدنی (کانی‌ها) موجود در زغال‌سنگ چگونگی استفاده از زغال‌سنگ در صنعت را تحت تاثیر قرار می‌دهد. عناصر درون این کانی‌ها (برای مثال گوگرد) موجب نگرانی‌های زیست محیطی در طی فرآوری و سوختن زغال‌سنگ می‌شوند. از نظر اقتصادی استفاده از زغال‌سنگی که دارای مقادیر بالای کلر است می‌تواند منجر به رسوب دهی در دیگ‌های بخار و باعث خوردگی دیواره‌ی کوره‌ها شود [۶، ۷]. عناصر W , Zn , Co و Mo موجود در زغال‌سنگ موجب اختلال در عملکرد کاتالیزورهایی می‌شود که برای شکل‌گیری زغال‌سنگ در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد [۸].

معادن زغال‌سنگ گلندرد یکی از مناطق زغالدار در البرز مرکزی است که از سال ۱۳۱۵ هجری شمسی تاکنون به صورت متناوب مورد پی‌جویی‌هایی قرار گرفته‌اند. علی‌رغم بررسی‌های انجام شده وابسته به زمین‌شناسی، ویژگی‌های کیفی و سنگ‌شناسی زغال‌سنگ‌های معادن گلندرد، تاکنون بسیاری از جنبه‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی این زغال‌سنگ به‌ویژه میزان غنی‌شدگی اکسیدهای اصلی و عناصر جزئی و چگونگی ارتباط آن‌ها با ترکیب‌های کانی‌شناسی و اجزای آلی و نیز خاستگاه ترکیب‌های معدنی در این زغال‌سنگ مورد توجه قرار نگرفته است. لذا این بخش از بررسی‌ها به عنوان هدف‌های اساسی در این مقاله تعریف و به اجرا در آمده است.

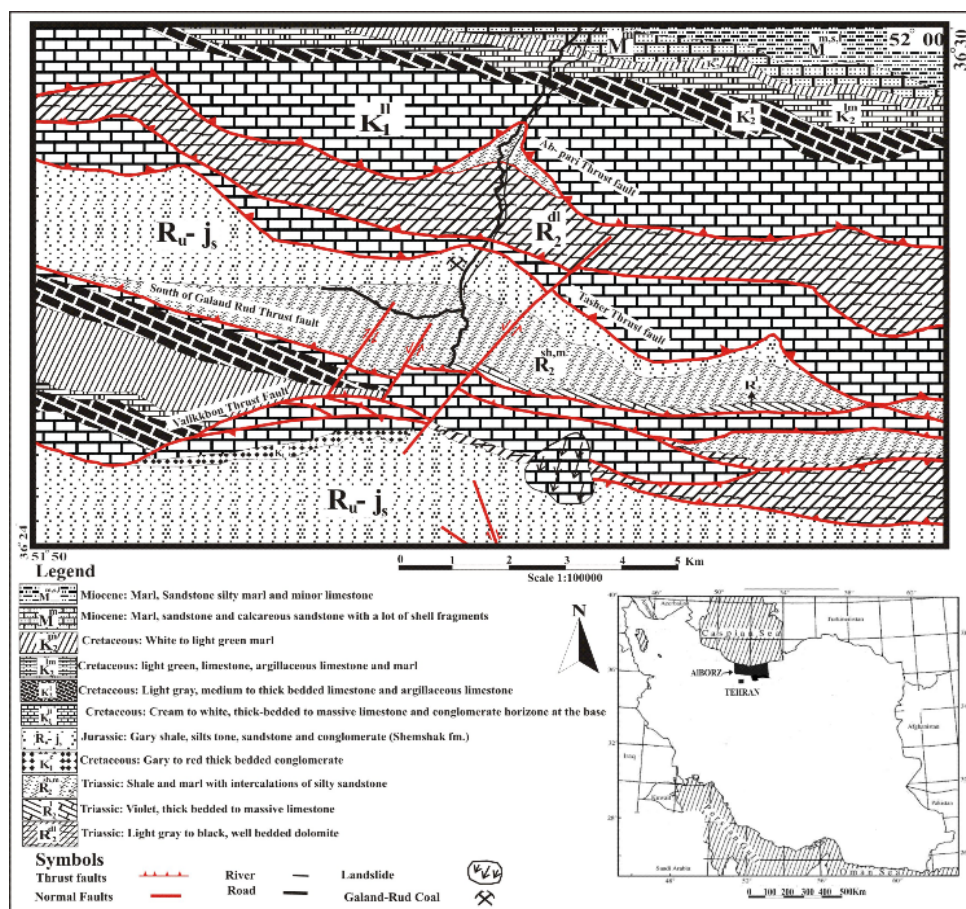
مشخصات منطقه مورد مطالعه

معادن زغال‌سنگ گلندرد با موقعیت جغرافیایی $53^{\circ} 53'$ طول شرقی و $27^{\circ} 36'$ عرض شمالی در دامنه‌ی شمالی رشته کوه‌های البرز در فاصله‌ی ۲۰ کیلومتری شهرستان نور استان مازندران قرار گرفته است. منطقه‌ی گلندرد به کمربند چین خوردگی رورانده شده‌ی البرز وابسته است که از سنگ‌های رسوبی کربناتی کرتاسه و تریاس و دنباله‌ی رسوبی آواری زغالی

(سازند شمشک) بین آن‌ها تشکیل شده است (شکل ۱). زغال خیزی معدن زغال‌سنگ گلندرد به رسوب‌های تریاس پسین (رتین) تا ژوراسیک میانی وابسته است. این منطقه‌ی زغالی با ضخامت حدود ۷۰۰ متر شامل بخش‌های زغال‌دار و ماسه سنگ پایینی و بالایی حدود ۵۷۰ متر را تشکیل می‌دهد. در این منطقه ۳۲ لایه زغالی شناسایی شده‌اند که از این میان حدود ۱۸ لایه‌ی زغالی با میانگین ضخامت ۱/۲۴ برای هر لایه و جمع ۲۲/۳۸ متر قابل استفاده‌اند [۱۰]. زغال سنگ گلندرد از نوع زغال‌های قیردار با مواد فرار بالا (به طور متوسط ۳۵٪) و ضریب بازتاب ویتترینیت (R_0) ۰/۶۵-۰/۸۱ است. میزان ماسرال ویتترینیت بیشتر (۹۰-۵۰ درصد) از ماسرال‌های دوریت، فوزینیت و ویتترینیتی که از نوارهای جداگانه و کوچک تشکیل شده‌اند، است. همچنین زغال سنگ گلندرد دارای میزان خاکستر نسبتاً زیاد (به طور متوسط حدود ۲۵٪) و گوگرد پایین (۰/۷۴٪) است [۱۰، ۱۱].

روش بررسی

براساس بررسی‌های صحرایی و نمونه‌برداری در تابستان ۱۳۸۸، ویژگی‌های ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی حوزه‌ی زغالی گلندرد مورد بررسی قرار گرفت. تعداد ۹ نمونه به صورت تصادفی و به روش تکه‌ای از لایه‌های مختلف زغال‌سنگ گلندرد برداشت شدند. برای تهیه خاکستر زغالی از روش استاندارد روسی (GOST) استفاده و نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت در دمای ۸۵۰ سانتی‌گراد گرما داده شد [۱۲]. برای اندازه‌گیری اکسیدهای اصلی و برخی از عناصر جزئی در معادن زغال‌سنگ گلندرد، از یک دستگاه پرتو ایکس فلورسان (XRF) فیلیپس مدل PW2400 (با توان ۳۰۰۰ وات، ولتاژ ۶۰۰۰ ولت، جریان ۱۲۵ میلی آمپر، ۸ بلور پراش دهنده و ۳ آشکارساز با لوله از جنس رودیوم) شرکت کانساران بینالود استفاده شد. همچنین به منظور بررسی کانه نگاری، تعداد ۷ مقطع صیقلی از لایه‌های زغالی غیر هوازده تهیه شدند. برای بررسی‌های آماری از نرم افزار SPSS (Version 11.5) استفاده شد. سپس به منظور تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی روش آماری تحلیل عاملی مورد استفاده قرار گرفت. تحلیل عاملی روشی است که تعداد زیادی از متغیرها را به تعداد کمی از متغیرهای مفروض که عامل نامیده می‌شوند تبدیل می‌کند. عامل‌ها معمولاً از همبستگی‌های متقابل موجود میان متغیرها استخراج می‌شوند. اگر همبستگی متقابل موجود میان متغیرها معادل صفر یا چیزی



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی زغالی گلندرد با اصلاحات از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بدله [۹].

زمینه‌ی زغالی مشاهده می‌شود (شکل ۲). بر پایه بررسی‌های میکروسکوپی سه شکل متفاوت از پیریت در معادن زغال‌سنگ گلندرد قابل مشاهده‌اند (شکل ۳). در تمامی این نمونه‌ها پیریت به صورت ذرات بسیار ریز مشاهده می‌شود. این سه شکل متفاوت عبارتند از:

۱- پیریت‌های بی‌شکل^۱: این شکل از پیریت به همراه پیریت‌های توده‌ای بیشترین گسترش را در زغال‌سنگ گلندرد دارند (شکل ۳ الف و ب). پیریت‌های بی‌شکل در درز و شکستگی‌های زغال‌سنگ گلندرد قرار گرفته و دارای خاستگاه اپی‌ژنتیک‌اند. این نوع از پیریت‌ها احتمالاً در اثر نفوذ آب‌گون‌های آهن‌دار به درون درز و شکستگی‌ها و در محیط‌های احیایی تشکیل شده‌اند.

۲- پیریت توده‌ای^۲: بین پژوهشگران، دانه‌های پیریت با شکل‌های نامنظم و اندازه‌های متفاوت به پیریت توده‌ای معروف است

نزدیک به آن باشد، هیچ عاملی ظاهر نخواهد شد [۱۳]. از سوی دیگر اگر همبستگی‌های قابل ملاحظه‌ای بین متغیرها موجود باشد، ممکن است یک یا چند عامل ظاهر شود [۱۳]. در این بررسی از تحلیل عاملی برای خوشه‌بندی داده‌های ژئوشیمیایی استفاده شد و ماهیت و ویژگی‌های مربوط به هر یک از خوشه‌ها، مورد بحث و بررسی قرار گرفت. همچنین با استفاده از این روش آماری از تجزیه عنصری یک نمونه زغال-سنگ به عنوان ابزاری برای تعیین ارتباط کانی - عنصر استفاده شد.

بحث و بررسی

کانی‌شناسی

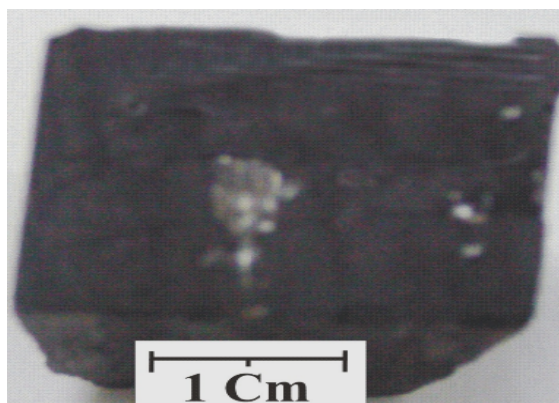
پیریت فراوانترین کانی سولفیدی موجود در زغال‌سنگ گلندرد است. این کانی در مقیاس دستی و ماکروسکوپی به صورت پرکننده درز و شکستگی‌ها و نیز به صورت پولکی مشاهده می‌شود، که به صورت ذرات ریز کمتر از یک سانتی متر در

1 - anhedral pyrite

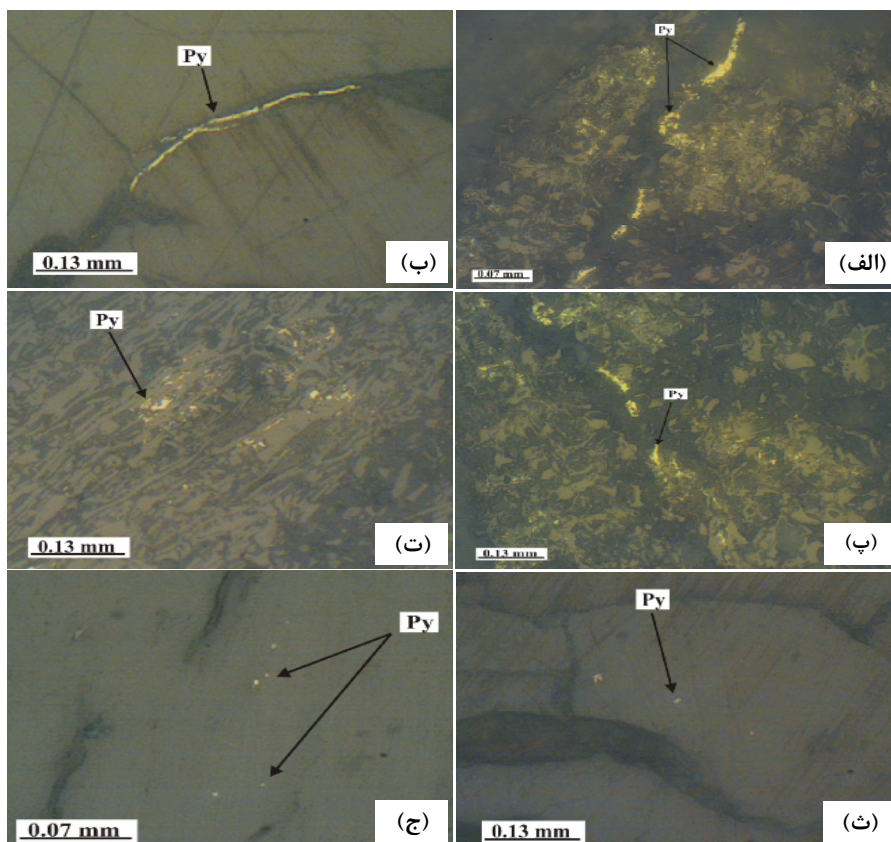
2 - massive pyrite

[۱۴، ۱۵]. این نوع پیریت‌ها معمولاً پرکننده‌ی کلیت‌ها، سیمان‌شدگی و یا به صورت روکشی روی پیریت‌های فرامبوهدری، یوهدرال و کانی‌های آواری تشکیل می‌شود [۱۶]. در زغال‌سنگ گلندرد بخش عمده‌ای از پیریت به این شکل مشاهده شده است (شکل ۳ پ و ت). این نوع از پیریت به دلیل شکل نامنظم دارای منافذ و حفره‌های زیادی هستند که

به اکسایش سریع آن منجر می‌شود. در برخی نمونه‌های زغال-سنگ گلندرد پیریت توده‌ای به موازات لایه‌بندی نهشته شده‌اند. این پیریت‌ها دارای خاستگاه سین ژنتیک‌اند و همزمان با نهشته شدن پیت رسوب کرده‌اند. اما در برخی دیگر پیریت توده‌ای در درز و شکستگی زغال‌سنگ قرار گرفته و دارای خاستگاه اپی ژنتیکی هستند.

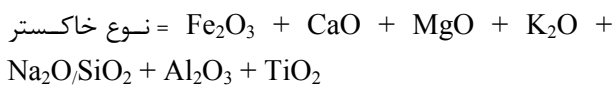


شکل ۲ حضور پیریت در نمونه‌های دستی معدن زغال‌سنگ گلندرد.



شکل ۳ تصویر میکروسکوپی از پیریت‌های شناسایی شده در زغال‌سنگ گلندرد در نور عادی بازتابی (PPI). الف و ب) پیریت‌های بی شکل نهشته در طول درز و شکستگی‌ها، پ) پیریت‌های توده‌ای در راستای درز و شکستگی‌ها، ت) پیریت‌های توده‌ای به موازات لایه‌های زغال‌سنگ، ث، ج) پیریت‌های شکل‌دار با خاستگاه سین ژنتیک.

[۲۰]، پروده طبس [۲۱] و مزینو [۱۹] به ترتیب ۰/۸۳، ۰/۵۲ و ۰/۲۵ به دست آمد.



بر اساس آنالیز مولفه‌ی دوران یافته سه فاکتور غالب با ۸۹٪ کل واریانس شامل PC_1 ، PC_2 و PC_3 برای اکسیدهای اصلی، بیشترین میزان واریانس و مقادیر ویژه را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۲). با توجه به ماتریس مؤلفه دوران یافته (جدول ۳ و شکل ۴) می‌توان به این نتیجه رسید که PC_1 وابسته به تمرکز اکسیدهای غالب SiO_2 ، Al_2O_3 ، Na_2O ، K_2O و TiO_2 است. SiO_2 و Al_2O_3 بخش مهم درصد اکسیدهای اصلی را در خاکستر زغال‌سنگ به خود اختصاص داده‌اند. عناصر موجود در عامل PC_1 به طور چشمگیری از کانی‌های رسی و کوارتز ریشه گرفته‌اند. نسبت درصد اکسیدهای $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ در زغال‌سنگ گلندرد بین ۳/۵۲-۰/۴۶ و به طور متوسط ۱/۷۶ می‌باشد. این نسبت برای زغال-سنگ‌های چین [۲۰] و پروده طبس [۲۱] به ترتیب ۱/۳۹ و ۱/۸۵ است. درصد اکسیدهای SiO_2 به Al_2O_3 برای کانی‌های رسی مانند کائولینیت ۱ و برای مونتموریلونیت، ورمیکولیت، کلریت و میکا ۰/۵ است [۲۲]. این امر احتمالاً به دلیل حضور این اکسیدها در ساختار کانی‌های متفاوت است. به طوری که بخشی از SiO_2 به صورت سیلیس آواری و بخش دیگری از آن همراه با Al_2O_3 و $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ در ساختار کانی‌های آلومینوسیلیکات‌ها حضور داشته و دارای خاستگاه آواری هستند. دیکسون و ود [۲۳]، مریٹ [۲۴]، کریستائیس و همکاران [۲۵]، بورگر و همکاران [۲۶]، شپرت و همکاران [۲۷]، الکساندرا و پاول [۲۸]، یزدی و اسماعیل نیا [۱۲] و رضایی و مهربادی [۲۹] اکسیدهای SiO_2 ، Al_2O_3 و $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ موجود در خاکستر زغال‌سنگ را به کانی‌های رسی و کوارتز وابسته می‌دانند. این کانی‌ها دارای خاستگاه آواری هستند. همچنین این پژوهشگران اکسیدهای TiO_2 موجود در خاکستر زغالی را به کانی‌های رسی نسبت می‌دهند. نسبت $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ در زغال‌سنگ گلندرد بین ۰/۰۵ تا ۰/۱۳ و به طور میانگین ۰/۰۶ است. این نسبت برای میانگین زغال‌سنگ-های جهان [۳۰]، چین [۲۰] و طبس [۲۱] به ترتیب ۰/۰۵،

۳- پیریت شکل‌دار^۳: این شکل از پیریت با دانه‌های ریز و با بلورهای کروی، بسیار کم در زغال‌سنگ گلندرد و در بخش-های دور از درز و شکستگی‌های آن مشاهده شده است (شکل ۳ ث، ج). پیریت‌های شکل‌دار دارای خاستگاه سین ژنتیک بوده و طی مرحله‌ی تورب‌زایی تشکیل شده‌اند.

ژئوشیمی

به منظور بررسی میزان پراکندگی اکسیدهای اصلی و عناصر جزئی و چگونگی ارتباط بین آنها در زغال‌سنگ گلندرد بررسی‌های ژئوشیمی صورت گرفت. نتایج آنالیز شیمیایی اکسیدهای اصلی و عناصر جزئی در جدول ۱ ارائه شده‌اند. معدن زغال‌سنگ گلندرد در مقایسه با معادن دیگر زغال‌سنگ موجود در حوزه‌ی زغالی البرز مرکزی، از عناصر Ca ، Fe ، Mg ، Mn و Zn غنی شده است. فراوانی این عناصر بیشتر در ارتباط با کانی‌های کربناتی و پیریت است. برای مثال غلظت کلسیم در این معدن در مقایسه با میانگین این عنصر در سه معدن شمشک، زیرآب و جزیره، ۱۵ برابر غنی شدگی نشان می‌دهد [۱۷]. کربنات‌ها شامل دولومیت، دولومیت آهن‌دار و سیدریت از کانی‌های غالب در معدن زغال‌سنگ گلندرداند و کانی‌های پیریت، اکسیدهای آهن و آپاتیت کانی‌های فرعی شناخته شده در این معدن هستند [۱۷]. بررسی‌های کانی‌شناسی در حوزه-ی زغالی البرز بیانگر خاستگاه سین ژنتیک برای کانی‌های پیریت و مارکاسیت است. براساس این بررسی‌ها، کانی‌های کلسیت و دولومیت خاستگاه اپی ژنتیک و کوارتز و کانی‌های رسی خاستگاه آواری دارند [۱۸]. براساس نتایج داده‌های ژئوشیمیایی، در زغال‌سنگ گلندرد اکسیدهای اصلی SiO_2 ، CaO ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3 و SO_3 بیشترین و MnO و Na_2O کمترین مقدار اجزای مواد معدنی خاکستر را تشکیل می‌دهند. این خاکسترها با توجه به ترکیب ژئوشیمیایی بررسی شده از نوع خاکسترهای اسیدی هستند. در معادله‌ی زیر [۱۹] اگر نسبت به دست آمده کمتر از ۱ باشد، خاکستر از نوع اسیدی محسوب می‌شود. نسبت مجموع این داده‌ها در زغال‌سنگ منطقه‌ی گلندرد ۰/۶۲ است که از نوع خاکسترهای تقریباً اسیدی محسوب می‌شود. این نسبت برای زغال‌سنگ‌های چین

۰/۰۶ و ۰/۰۲ به دست آمد. مانستگی نسبت TiO_2/Al_2O_3 زغال‌سنگ گلندرد با میانگین زغال‌سنگ‌های جهان و چین بیانگر خاستگاه آلومینوسیلیکاتی (کانی‌های رسی) TiO_2 در این زغال‌سنگ است. به طوری که میزان TiO_2 در این زغال-سنگ بین ۱/۰۳-۰/۳ درصد در نوسان است. این در حالی است که یزدی و اسماعیل نیا [۱۲]، صباغی و همکاران [۳۱] و قلی‌پور و همکاران [۳۲] TiO_2 موجود در خاکستر زغال‌سنگ‌های لوشان (البرز غربی)، قشلاق (البرز شرقی) و کارمزد را به پلاسرها و تیتانیوم‌دار موجود در حوزه‌ی زغالی البرز وابسته می‌دانند.

میانگین TiO_2 در زغال‌سنگ‌های چین، لوشان و کارمزد به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۷۷ و ۱/۹ درصد است. مؤلفه‌ی PC_2 شامل عناصر CaO ، MgO ، MnO ، Fe_2O_3 و SO_3 است. خاستگاه اصلی این عناصر عبارتند از کانی‌های کربناتی به ویژه کلسیت و دولومیت و نیز کانی‌های سولفیدی. کریستالینیس و همکاران [۲۵]، رن و همکاران [۳۰]، یزدی و اسماعیل نیا [۱۲]، شیرت و همکاران [۲۷] و قلی‌پور و همکاران [۳۲] در بررسی‌های خود اکسیدهای Fe_2O_3 و SO_3 موجود در خاکستر زغال‌سنگ را به کانی‌های سولفیدی نسبت داده‌اند.

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی اکسیدهای اصلی (بر حسب درصد) و عناصر جزئی (بر حسب ppm) از ۸ لایه زغال‌سنگ گلندرد.

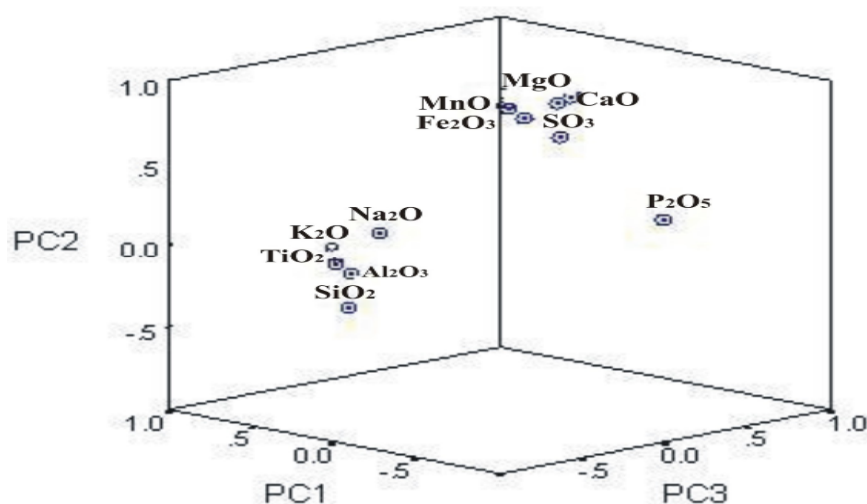
No.31	No.30	No.29	No.26	No.25	No.9	No.5	No.2	
۱۰/۹۸	۰/۸۷	۶/۲۸	۲/۵۹	۶/۸۷	۲۴/۲۴	۳۲/۲	۱۰/۷۹	SiO ₂
۵/۲۶	۱/۸۸	۷/۳۱	۴/۲۳	۱/۹۵	۱۴/۲۳	۱۴/۷۴	۴/۰۹	Al ₂ O ₃
۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۲۹	۰/۰۳	Na ₂ O
۰/۳۴	۳/۲۹	۳/۶۱	۵/۰۵	۱/۲۲	۰/۴۴	۱/۰۱	۰/۱۲	MgO
۰/۱۹	۰/۱۰	۰/۳۲	۰/۱۶	۰/۰۱	۱/۴۳	۲/۴۷	۰/۱۷	K ₂ O
۰/۳۰	۰/۱۵	۰/۳۷	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۶۶	۱/۰۳	۰/۲۴	TiO ₂
۰/۰۱	۰/۴۱	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	MnO
۳/۲۵	۱۴/۲۴	۱۰/۰۷	۱۰/۲۵	۵/۱۸	۰/۶۶	۱/۹۷	۲/۰۸	CaO
۰/۸۸	۰/۵۵	۱/۲۱	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۲۰	۰/۵۷	۰/۷۸	P ₂ O ₅
۲/۴۱	۶/۶۸	۳/۴۱	۴/۲۱	۲/۸۰	۱/۷۷	۲/۰۶	۲/۷۰	Fe ₂ O ₃
۳/۱۹	۵/۶۵	۴/۲۴	۶/۵۸	۳/۲۷	۲/۸۳	۲/۱۷	۴/۱۰	SO ₃
۲۳۳۶/۰۰	۳۱۴/۰۰	۲۳۵۲/۰۰	۵۳۶/۰۰	۹۱۷/۰۰	۱۰۶۴/۰۰	۱۴۰۷/۰۰	۱۲۱۸/۰۰	Ba
۴۰/۰۰	۴۰/۰۰	۵۷/۰۰	۸۹/۰۰	۷۸/۰۰	۱۷۱/۰۰	۷۰/۰۰	۸۰/۰۰	Co
۹۷/۰۰	۶۰/۰۰	۱۱۶/۰۰	۹۲/۰۰	۶۴/۰۰	۲۴۷/۰۰	۲۲۰/۰۰	۱۳۰/۰۰	Cr
۱۸۸/۰۰	۱۸۸/۰۰	۱۴۴/۰۰	۳۲۴/۰۰	۱۰۵/۰۰	۲۲۰/۰۰	۳۲۴/۰۰	۷۳۶/۰۰	Cu
۱/۰۰	-	۳/۰۰	-	-	۲۵/۰۰	۲۷/۰۰	-	Nb
۱۰۹/۰۰	۵۵/۰۰	۱۲۱/۰۰	۲۸۹/۰۰	۱۴۷/۰۰	۳۱۹/۰۰	۲۳۹/۰۰	۱۵۹/۰۰	Ni
۴/۰۰	۱۱/۰۰	-	۱۰/۰۰	۹/۰۰	۴/۰۰	۵/۰۰	۱/۰۰	U
۹/۰۰	۴/۰۰	۴/۰۰	۸/۰۰	۱۱/۰۰	۲۲/۰۰	۲۳/۰۰	۱۱/۰۰	Th
۱۸۹/۰۰	۴۶/۰۰	۱۷۶/۰۰	۲۸/۰۰	۱۰۹/۰۰	۲۰۰/۰۰	۱۷۶/۰۰	۴۱۳/۰۰	Ce
۱۰۱/۰۰	۶۱۷/۰۰	۴۰۳/۰۰	۸۲۵/۰۰	۲۵۷/۰۰	۷۳/۰۰	۸۱/۰۰	۱۰۱/۰۰	Cl
۹۲/۰۰	۹۳/۰۰	۸۷/۰۰	۱۱۲/۰۰	۶۹/۰۰	۱۷۹/۰۰	۱۲۹/۰۰	۳۸۵/۰۰	Pb
۳۸/۰۰	۱۶/۰۰	۴۸/۰۰	۳۳/۰۰	۱۴/۰۰	۱۷۸/۰۰	۳۰۹/۰۰	۲۹/۰۰	Rb
۲۰۷۳/۰۰	۳۸۹/۰۰	۳۵۳/۰۰	۲۹۱/۰۰	۲۰۸/۰۰	۷۲۶/۰۰	۱۳۰۶/۰۰	۱۸۴۱/۰۰	Sr
۲۰۲/۰۰	۹۱/۰۰	۱۸۱/۰۰	۱۰۲/۰۰	۱۲۲/۰۰	۴۴۸/۰۰	۳۷۷/۰۰	۲۱۸/۰۰	V
-	-	۲۹/۰۰	-	-	-	۱۸/۰۰	-	W
۴۴/۰۰	۲۳/۰۰	۳۹/۰۰	۲۴/۰۰	۳۱/۰۰	۲۵/۰۰	۶۷/۰۰	۸۸/۰۰	Y
۱۶۴/۰۰	۳۷/۰۰	۱۵۳/۰۰	۹۷/۰۰	۱۱۹/۰۰	۶۴۱/۰۰	۴۲۸/۰۰	۱۵۱/۰۰	Zr
۱۴۰/۰۰	۱۱۸/۰۰	۱۲۰/۰۰	۱۹۰/۰۰	۹۹/۰۰	۳۴۲/۰۰	۱۶۸/۰۰	۳۷۲/۰۰	Zn
۲۵/۵۵	۵۱/۴۶	۲۴/۶۴	۱۹/۶۴	۲۴/۵۷	۲۰/۲۴	۲۲/۷۴	۳۹/۲۶	Ash %

جدول ۲ مقادیر ویژه و درصد واریانس [وردایی] هر یک از فاکتورهای اصلی و دوران یافته استخراج شده برای اکسیدهای عناصر اصلی.

مؤلفه	مقدار ویژه اولیه	مجموع مربعات بارهای عاملی استخراج شده	مربعات بارهای عاملی چرخش یافته	درصد واریانس	درصد تجمعی واریانس	درصد واریانس
۱	۶۳٫۲۳	۶۳٫۲۳	۴۱٫۶۴	۴۱٫۶۴	۶۳٫۲۳	۴۱٫۶۴
۲	۱۶٫۷۷	۸۰٫۰۰	۱۶٫۷۷	۸۰	۸۰٫۰۰	۳۸٫۳۵
۳	۹٫۹۷	۹۰	۹٫۶۷	۸۹٫۶۷	۹۰	۹٫۶۸
۴	۶٫۳	۹۶				
۵	۲٫۷۵	۹۹				
۶	۱٫۲۵	۹۹٫۹۹				
۷	۰٫۰۱	۱۰۰				
۸	۳٫۱۶E-۱۶	۱۰۰				
۹	۱٫۳۸E-۱۶	۱۰۰				
۱۰	-۱٫۹E-۱۶	۱۰۰				

جدول ۳ ماتریس مؤلفه‌های دوران یافته برای اکسیدهای عناصر اصلی

PC3	PC2	PC1	
-۰٫۰۶	-۰٫۵۲	۰٫۸۴	SiO ₂
-۰٫۰۲	-۰٫۳۳	۰٫۸۶	Al ₂ O ₃
۰٫۱۷	-۰٫۱۲	۰٫۸۸	Na ₂ O
-۰٫۰۶	۰٫۸۵	-۰٫۱۱	MgO
-۰٫۰۷	-۰٫۲۱	۰٫۹۶	K ₂ O
-۰٫۰۳	-۰٫۲۹	۰٫۹۵	TiO ₂
-۰٫۰۵	۰٫۸۱	-۰٫۰۲	MnO
۰٫۱۱	۰٫۹۲	-۰٫۰۳	CaO
۰٫۹۹	-۰٫۰۳	۰٫۰۰۵	P ₂ O ₅
۰٫۰۳	۰٫۹۰	-۰٫۳۱	Fe ₂ O ₃
-۰٫۱۲	۰٫۷۶	-۰٫۴۸	SO ₃



شکل ۴ نقشه‌ی مؤلفه‌های اکسیدهای اصلی زغال‌سنگ گلندرد در فضای دورانی.

مؤلفه‌ی PC_3 در برگرفته‌ی عنصر P_2O_5 است که همبستگی مبهمی با عناصر دیگر دارد. براساس نتایج تجزیه ژئوشیمیایی میانگین درصد اکسید P_2O_5 در خاکستر زغال-سنگ گلندرد ۰/۵۴ درصد است. اساساً زغال‌سنگ‌های البرز مرکزی دارای زغال‌سنگ‌های کم فسفر یا با فسفر متوسط هستند [۳۳]. این نتایج احتمالاً بیانگر خاستگاه آلی P_2O_5 در این زغال‌سنگ‌هاست. فسفات یکی از مواد مغذی مورد نیاز گیاهان است که به صورت ارتوفسفات ($H_2PO_4^{2-}$) جذب گیاهان می‌شود [۳۴]. این در حالی است که گودرزی [۱۷]، به حضور کانی فسفات‌دار آپاتیت در زغال‌سنگ گلندرد اذعان کرده است. همچنین کولین و همکاران [۳۵] در بررسی زغال-سنگ‌های استرالیا بخش عمده‌ی فسفر را به حضور کانی‌های فسفر دار مانند کانی‌های آپاتیت و آلومینوفسفات نسبت داده‌اند. یزدی و اسماعیل‌نیا [۱۲] فسفر موجود در خاکستر زغال-سنگ‌های لوشان را به کانی آپاتیت نسبت داده‌اند.

براساس آنالیز مؤلفه‌ی اصلی، چهار عامل غالب با واریانس کل ۹۲٪ شامل PC_1 ، PC_2 ، PC_3 و PC_4 با بیشترین میزان واریانس و مقادیر ویژه برای عناصر جزئی مشخص شد (جدول ۴). PC_1 وابسته به عناصر V ، Rb ، Th ، Ni ، Nb ، Cr ، Co و Zr است که ۳۶٪ کل واریانس را در بر می‌گیرد. PC_2 با ۲۵٪ کل واریانس در بر گیرنده‌ی عناصر Zn ، Y ، Pb ، Ce ، Cu و W است. PC_3 و PC_4 به ترتیب شامل عناصر Sr ، Ba ، W و Co ، Ni و Zn است (جدول ۵ و شکل ۵). همچنین براساس ماتریس مؤلفه‌ی اصلی همبستگی مثبت معنی‌داری بین هر یک از گروه‌های گفته شده وجود دارد. خاستگاه این عناصر بیشتر در رابطه با کانی‌های سولفیدی است. به طوری که کریستائیس و همکاران [۲۵] و یزدی و اسماعیل‌نیا [۱۲] در بررسی‌های خود، فلزات سنگین موجود در زغال‌سنگ را به کانی‌های سولفیدی نسبت داده‌اند. مارکال و همکاران [۳۶] عناصر لیتوفیل Sr ، Ba و Rb و عناصر کالکوفیل Cr ، Co ، Cu و Pb موجود در خاکستر زغال‌سنگ را به ترتیب به کانی‌های آلومینوسیلیکاتی و کانی‌های سولفیدی نسبت می‌دهند. استیفن و همکاران [۱] Co ، Zn ، Mo ، Cd ، V ، Ni و Mn را در ارتباط با کانی‌های سولفیدی غیر از پیریت و Sr ، Ba و P را به کانی‌های فسفاتی گروه کرائدالیت نسبت داده‌اند. این در حالی است که گودرزی [۱۷] آپاتیت را از جمله کانی‌های نادری می‌داند که در زغال‌سنگ گلندرد شناسایی شده است. لذا احتمالاً Ba و Sr موجود در خاکستر زغال‌سنگ گلندرد از کانی‌های

آلومینوسیلیکاتی و کانی‌های فسفات‌دار ریشه گرفته است. مقایسه‌ی درصد اکسیدهای اصلی و عناصر نادر با روش تحلیل عاملی نشان داد که شش عامل با واریانس کل ۹۷٪، داده‌های ژئوشیمیایی معدن گلندرد را به شش خوشه تقسیم می‌کند، که بین عناصر موجود در هر یک از گروه‌ها رابطه‌ی معنی‌داری دیده می‌شود. عامل اول به اکسیدهای SiO_2 ، Al_2O_3 ، Na_2O ، K_2O و TiO_2 و عناصر جزئی Co ، Cr ، Nb ، Ni ، Th ، Ce ، Rb ، V و Zr وابسته‌اند. کریستائیس و همکاران [۲۵] در بررسی‌هایشان دریافتند که V با Al و Si همبستگی شدیدی داشته و به کانی‌های رسی وابسته‌اند. الکساندرا و پاول [۲۸] نیز در بررسی مشابه دیگری، حضور V و Rb را به کانی‌های آلومینوسیلیکاتی نسبت داده‌اند. این در حالی است که یزدی و اسماعیل‌نیا [۱۲] V موجود در زغال‌سنگ‌های لوشان را به بخش آلی زغال‌سنگ نسبت داده است.

عامل دوم در برگرفته‌ی عناصر جزئی Sr ، Ba ، W و P_2O_5 است. احتمالاً این عناصر از کانی‌های کربناتی، کانی‌های آلومینوسیلیکاتی و کانی‌های فسفات‌دار مانند آپاتیت ریشه گرفته‌اند. البته به دلیل عدم وجود همبستگی مشخص بین P_2O_5 با اکسیدهای اصلی دیگر در مورد خاستگاه این عنصر ابهام وجود دارد.

عامل سوم شامل اکسیدهای اصلی CaO ، MgO ، MnO ، Fe_2O_3 و SO_3 و عنصر جزئی Cl است. زو^۴ و همکاران [۳۷] در زغال سنگ وچایوان^۵ چین اکسیدهای Ca و Mn را در ارتباط با کربنات‌ها و Fe و S را وابسته به کانی‌های سولفیدها می‌داند. در حالی که براساس نتایج حاصل از این بررسی در زغال‌سنگ معدن زیشان^۶ Fe ، Mn و Mg بیشتر به کربنات‌ها (سیدریت) و Ni ، Co ، B و S در ارتباط با بخش‌های آلی وابسته بوده‌اند. همبستگی منفی بین Cl و Na و Cl با SiO_2 و Al_2O_3 احتمالاً به خاستگاه آلی کلر مربوط است. با توجه به همبستگی مثبت بین Cl با MgO ، MnO ، Fe_2O_3 و SO_3 احتمالاً علاوه بر بخش آلی زغال‌سنگ عوامل دیگری مانند کانی‌های کربناتی و سولفیدی نیز در تأمین این عناصر در معدن زغال سنگ گلندرد مؤثر بوده است. این در حالی است که یودوویچ و کتریس [۳۸] کلر موجود در زغال‌سنگ را بیشتر در ارتباط با بخش آلی و به مقدار کمتری به بخش‌های غیر آلی زغال‌سنگ نسبت می‌دهند.

4 - Zhou

5 - Wuchaiwan

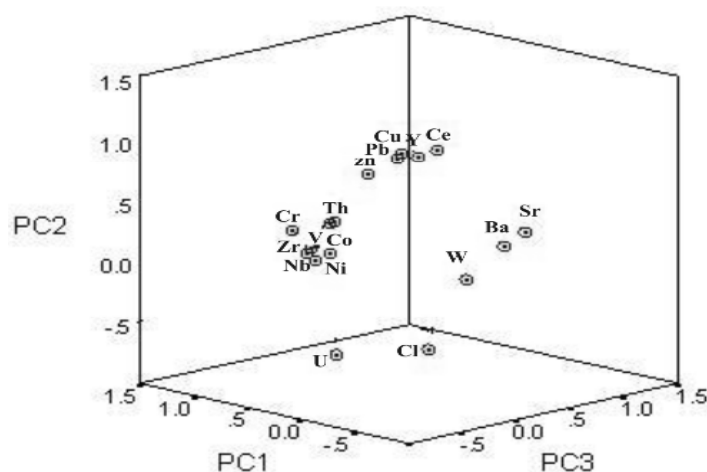
6 - Xiheishan

جدول ۴ مقادیر ویژه و درصد واریانس هر یک از فاکتورهای اصلی و دوران یافته استخراج شده عناصر جزئی.

مؤلفه	مقدار ویژه اولیه		مجموع مربعات بارهای عاملی استخراج شده		مربعات بارهای عاملی چرخش یافته	
	درصد تجمعی واریانس	درصد واریانس	درصد تجمعی واریانس	درصد واریانس	درصد تجمعی واریانس	درصد واریانس
۱	۴۴٫۳۲	۴۴٫۳۲	۴۴٫۳۲	۴۴٫۳۲	۳۶٫۱	۳۶٫۱
۲	۶۸٫۶	۲۴٫۲۹	۶۸٫۶	۲۴٫۲۹	۶۱٫۳۱	۲۵٫۲۱
۳	۸۶٫۵۱	۱۷٫۹۱	۸۶٫۵۱	۱۷٫۹۱	۸۱٫۷۰	۲۰٫۳۹
۴	۹۲٫۴۱	۵٫۸۹	۹۲٫۴۱	۵٫۸۹	۹۲٫۴۱	۱۰٫۷
۵	۹۷٫۴۷	۵٫۰۷				
۶	۹۹٫۱۲	۱٫۶۵				
۷	۱۰۰	۰٫۸۸				
۸	۱۰۰	۰				
۹	۱۰۰	۰				

جدول ۵ ماتریس مؤلفه‌های دوران یافته برای عناصر جزئی.

	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄
Ba	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۰٫۹۳	-۰٫۱۰
Co	۰٫۵۴	۰٫۰۹	-۰٫۱۹	۰٫۸۰
Cr	۰٫۹۱	۰٫۲۰	۰٫۱۷	۰٫۲۹
Cu	-۰٫۰۲	۰٫۹۴	-۰٫۱۲	۰٫۰۲
Nb	۰٫۹۸	-۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۹
Ni	۰٫۶۲	۰٫۰۳	-۰٫۲۴	۰٫۵۸
U	-۰٫۱۷	-۰٫۴۸	-۰٫۸۵	-۰٫۱۷
Th	۰٫۹۵	۰٫۱۸	-۰٫۱۳	۰٫۱۰
Ce	۰٫۱۴	۰٫۸۸	۰٫۴۰	۰٫۰۷
Cl	-۰٫۵۷	-۰٫۴۵	-۰٫۳۸	۰٫۰۸
Pb	۰٫۰۴	۰٫۹۷	-۰٫۰۳	۰٫۲۱
Rb	۰٫۹۷	-۰٫۰۱	۰٫۰۷	-۰٫۱۵
Sr	-۰٫۱۲	۰٫۱۶	۰٫۹۶	-۰٫۰۷
V	۰٫۹۱	۰٫۲۰	۰٫۲۱	۰٫۲۵
W	۰٫۲۰	-۰٫۲۴	۰٫۷۴	-۰٫۲۴
Y	۰٫۱۸	۰٫۸۵	۰٫۲۷	-۰٫۳۸
Zr	۰٫۹۰	۰٫۰۴	۰٫۱	۰٫۳۹
Zn	۰٫۲۹	۰٫۷۶	-۰٫۰۹	۰٫۵۶



شکل ۵ نقشه مؤلفه‌های عناصر جزئی در فضایی دورانی.

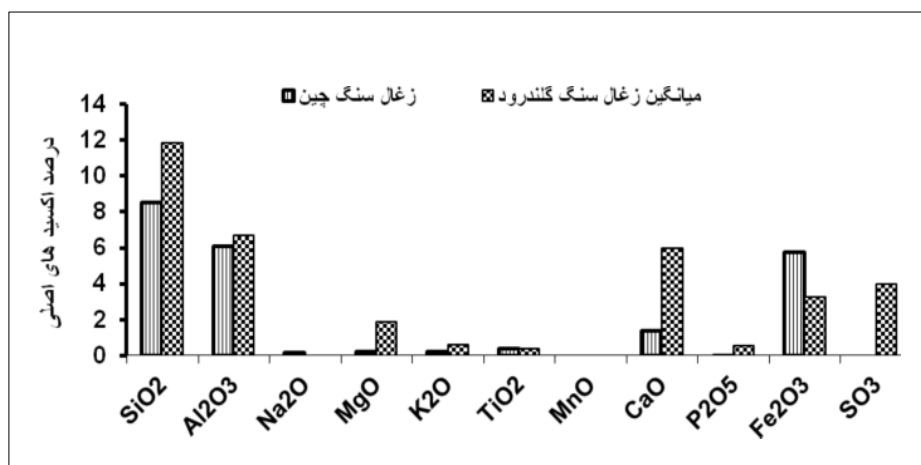
مقایسه‌ی ژئوشیمی زغال‌سنگ گلندرود با زغال‌سنگ‌های جهان، چین و آمریکا

نتایج تجزیه‌ی شیمیایی اکسیدهای اصلی و عناصر جزئی در زغال‌سنگ گلندرود و کلارک زغال‌سنگ و میانگین زغال‌سنگ-های چین و آمریکا در جدول ۶ ارائه شده است. در مقایسه با زغال‌سنگ‌های چین [۲۰] در معدن زغال‌سنگ گلندرود SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , P_2O_5 و TiO_2 غنی‌شدگی و Fe_2O_3 و Na_2O تهی‌شدگی دارد (شکل ۶). غنی‌شدگی اکسیدهای یاد شده احتمالاً به دلیل حضور کانی‌های آلومینوسیلیکاتی و کربناتی در این زغال‌سنگ است. همچنین

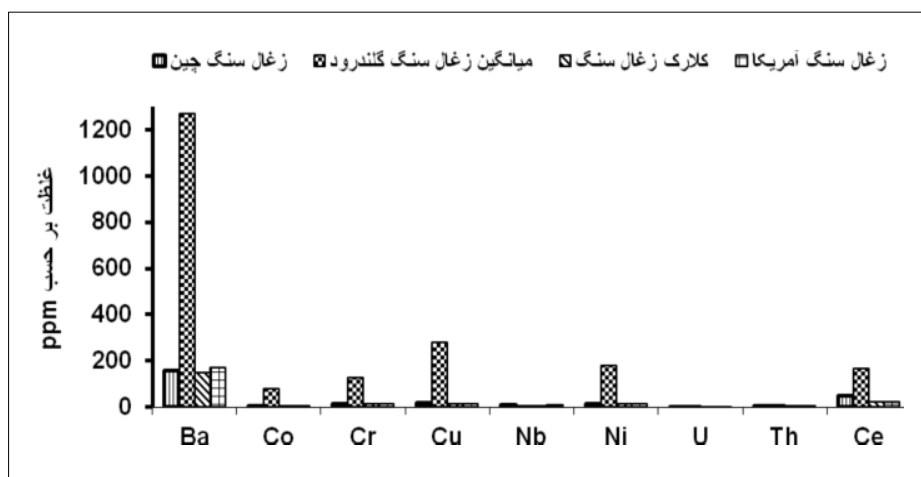
مقایسه‌ی غلظت‌های عناصر جزئی موجود در زغال‌سنگ گلندرود با زغال‌سنگ‌های چین [۲۰]، آمریکا [۳۰] و کلارک زغال‌سنگ [۳۹] نشان داد که Ba , Sr , Co , Cr , Cu , Ni , Zn , Pb , Ce و V به شدت در زغال‌سنگ گلندرود غنی‌شدگی و U , Th و Cl و کمی غنی شده است (شکل ۷ و ۸). این در حالی است که Nb در زغال‌سنگ‌های چین، آمریکا و کلارک زغال‌سنگ غنی‌شدگی بیشتری از زغال‌سنگ گلندرود دارد. همچنین مقدار کلر در زغال‌سنگ گلندرود در مقایسه با زغال-سنگ‌های آمریکا و کلارک زغال‌سنگ تهی‌شدگی نشان می‌دهد (جدول ۶).

جدول ۶ مقایسه درصد اکسیدهای اصلی و عناصر جزئی (ppm) در زغال‌سنگ گلندرود با میانگین زغال‌سنگ‌های چین [۲۰]، آمریکا [۳۰] و کلارک زغال‌سنگ [۳۹]

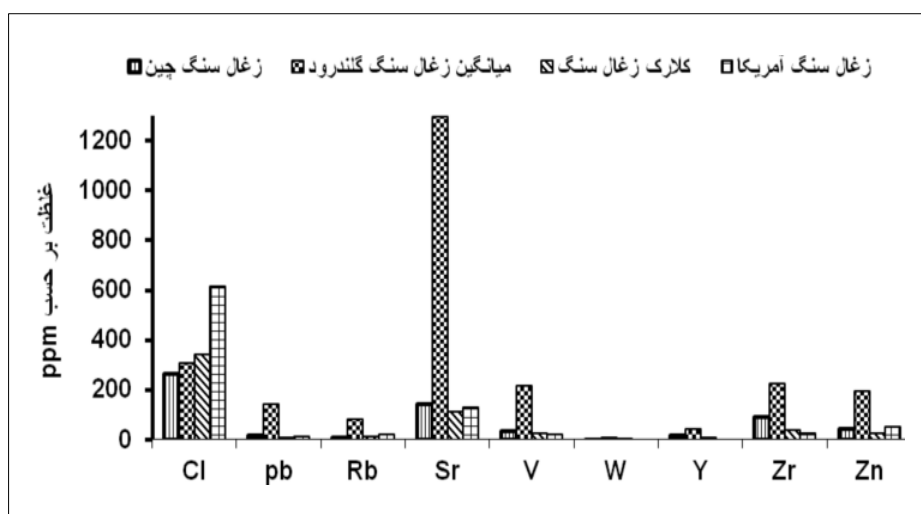
کلارک زغال‌سنگ [۳۹]	میانگین زغال‌سنگ آمریکا [۳۰]	میانگین زغال‌سنگ چین [۲۰]	زغال‌سنگ گلندرود		
			میانگین	دامنه	
-	-	۸۵	۱۱/۸۳	۰/۸۷-۳۲/۰۲	SiO_2
-	-	۶/۱۱	۶/۷۱	۱/۸۸-۱۴/۷۴	Al_2O_3
-	-	۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۰۱-۰/۲۹	Na_2O
-	-	۰/۲۵	۱/۸۹	۰/۱۲-۵/۰۵	MgO
-	-	۰/۲۱	۰/۶۱	۰/۰۱-۲/۴۷	K_2O
-	-	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۱۵-۱/۰۳	TiO_2
-	-	-	۰/۰۹	۰/۰۱-۰/۰۴	MnO
-	-	۱/۴۰	۵/۹۶	۰/۶۶-۱۴/۲۴	CaO
-	-	۰/۰۹	۰/۵۴	۰/۰۳-۱/۲۱	P_2O_5
-	-	۵/۷۸	۳/۲۶	۱/۷۷-۶/۶۸	Fe_2O_3
-	-	-	۴/۰۰	۲/۱۷-۶/۵۸	SO_3
۱۵۰	۱۷۰	۱۵۹	۱۲۶۸/۰۰	۳۱۴-۲۳۵۲	Ba
۵/۱	۶/۱	۷/۱	۷۸/۱۳	۴۰-۱۷۱	Co
۱۶	۱۵	۱۵	۱۲۸/۲۵	۶۰-۲۴۷	Cr
۱۶	۱۵	۱۸	۲۷۸/۶۳	۱۰۵-۷۳۶	Cu
۳/۷	۹/۵	۹/۵	۷/۰۰	nd-۲۷	Nb
۱۳	۱۴	۱۴	۱۷۹/۷۵	۵۵-۳۱۹	Ni
۲/۴	۲/۱	۲/۴۰	۵/۵۰	nd-۱۱	U
۳/۳	۳/۲	۳/۳۰	۱۱/۵۰	۴-۲۳	Th
۲۳	۲۱	۴۹	۱۶۷/۱۳	۲۸-۴۱۳	Ce
۳۴۰	۶۱۴	۲۶۴	۳۰۷/۲۵	۷۳-۸۲۵	Cl
۷/۸	۱۱	۱۵	۱۴۳/۲۵	۶۹-۳۸۵	Pb
۱۴	۲۱	۹/۲۰	۸۳/۱۳	۱۴-۳۰۹	Rb
۱۱۰	۱۳۰	۱۴۱	۱۲۹۵/۵۰	۲۹۸-۳۵۳	Sr
۲۵	۲۲	۳۵	۲۱۷/۶۳	۹۱-۴۴۸	V
۱/۱	۱	۱	۵/۸۸	nd-۲۹	W
۸/۴	۰/۹۵	۱۸	۴۲/۶۳	۲۳-۸۸	Y
۳۶	۲۷	۸۹	۲۲۳/۷۵	۳۷-۶۴۱	Zr
۲۳	۵۳	۴۲	۱۹۳/۶۳	۹۹-۳۷۲	Zn



شکل ۶ مقایسه درصد اکسیدهای اصلی معدن زغال سنگ گلندرد با زغال سنگ چین [۲۰].



شکل ۷ مقایسه‌ی عناصر جزئی معدن زغال سنگ گلندرد با زغال سنگ‌های چین [۲۰]، زغال سنگ آمریکا [۳۰] و کلارک زغال سنگ [۳۹].



شکل ۸ مقایسه‌ی عناصر جزئی معدن زغال سنگ گلندرد با زغال سنگ‌های چین [۲۰]، زغال سنگ آمریکا [۳۰] و کلارک زغال سنگ [۳۹].

برداشت

زغال سنگ گلندرود با مقدار گوگرد کم و خاکستر نسبتاً بالا از جمله معادن زغال سنگ در حوزه‌ی زغالی البرز مرکزی است. بر پایه‌ی بررسی‌های انجام شده مهم‌ترین کانی‌های این معدن شامل کانی‌های کربناتی، کانی‌های سولفیدی، آلومینوسیلیکات‌ها و مقادیر کمتری کانی‌های فسفات‌دار است. براساس بررسی‌های میکروسکوپی پیریت مهم‌ترین کانی سولفیدی موجود در زغال سنگ گلندرود است. این کانی به صورت ذرات بسیار ریز بی شکل و توده‌ای در زمینه‌ی زغالی و نیز به صورت یوهدرال در درز و شکستگی‌های زغال سنگ دیده می‌شود. پیریت‌های موجود در زغال سنگ گلندرود بیشتر دارای خاستگاه اپی ژنتیک است. نتایج ماتریس همبستگی و آنالیز مولفه‌ی اصلی بیانگر ارتباط عناصر Co , TiO_2 , K_2O , Na_2O , Al_2O_3 , SiO_2 , Zr و V , Rb , Ce , Th , Ni , Nb , Cr با TiO_2 , K_2O , Na_2O بیشتر به کانی‌های آلومینوسیلیکاتی وابسته‌اند. براساس نتایج حاصل از بررسی‌های ژئوشیمیایی ارتباط معنی‌داری بین عناصر SO_3 و Fe_2O_3 , MnO , MgO وجود دارد. این گروه از عناصر از کانی‌های کربناتی، سولفیدها و آلومینوسیلیکات‌ها ریشه گرفته‌اند. عناصر Sr و Ba به دلیل تشابه شعاع یونی با کلسیم و فراوانی کانی‌های کربناتی در زغال سنگ گلندرود، بیشتر از کانی‌های کربناتی ریشه گرفته‌اند. همچنین همبستگی بین P_2O_5 با عناصر Sr , Ba , W احتمالاً نشانگر ارتباط بخشی از این عناصر با کانی‌های فسفات کلسیم دار است. همبستگی منفی Cl با K_2O , Na_2O , Al_2O_3 , SiO_2 و TiO_2 بیانگر خاستگاه آلی این عنصر است. زغال سنگ گلندرود در مقایسه با زغال سنگ‌های چین از Al_2O_3 , SiO_2 و CaO , MgO , K_2O و P_2O_5 غنی‌تر و از Na_2O و Fe_2O_3 تهی‌تر است. همچنین مقایسه‌ی غلظت‌های عناصر جزئی موجود در زغال سنگ گلندرود با زغال سنگ‌های چین، آمریکا و کلارک زغال سنگ نشان داد که Ba , Sr , Co , Cr , Cu , Ni , Zn , Pb , Ce , V و Zr به شدت در زغال سنگ گلندرود غنی‌تر و Cl , Th , U و W کمی غنی‌تر است. این در حالی است که Nb در زغال سنگ‌های چین، آمریکا و کلارک زغال سنگ بیشتر از زغال سنگ گلندرود غنی‌تر است.

شده است. همچنین میزان کلر در زغال سنگ‌های آمریکا و کلارک زغال سنگ بیش از زغال سنگ گلندرود است.

مراجع

- [1] Stephen F.G., Cortland F.E., Douglas C.P., Alexander R.P., "Coal and Environment", American Geological Institute (2006) 68 pp.
- [2] Orem W.H., Finkelman R.B., "Coal Formation and Geochemistry", US Geological Survey, Reston (2005) 32pp.
- [3] Ward C. R., "Analysis and significance of mineral matter in coal seams," International Journal of Coal Geology 50 (2002) 135–168.
- [4] Ward C. R., (ed.), "Coal geology and coal technology", Blackwell Scientific Publications, Melbourne (1984) 345 pp.
- [5] Zhang J., Ren D., Zheng C., Zeng R., Chou C. L., Liu J., "Trace element abundances of major minerals of Late Permian coal from southwestern Guizhou province China," International Journal of Coal Geology 53 (2002) 55–64.
- [6] Finkelman R. B., "Modes of occurrence of potentially hazardous elements in coal: levels of confidence", Fuel Processing Technology 39 (1994) 21–34.
- [7] Wang Y. "Study on occurrence and distribution of minor and trace elements in coal and its burnt products", PhD thesis China University. mining Technology, (1994) 88pp. (in Chinese)
- [8] Spears D.A., Zheng Y., "Geochemistry and origin of elements in some UK coals", Int journal of Coal Geology 38 (1999) 161- 179.
- [۹] سعیدی ا.، قاسمی م.ر.، نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی بلده، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۵).
- [۱۰] شرکت مهندسی هریس پی کوه، "طرح تجهیز زغال سنگ گلندرود، زمین شناسی و اکتشافات"، چاپ نشده (۱۳۸۱) ۳۵۰ ص.
- [۱۱] خاکزاد ا.، یاری ی.، "بررسی زمین شناسی منطقه زغال دار گلندرود"، هفتمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، (۱۳۸۲) ۱۳ ص.
- [12] Yazdi M., Esmailnia A. S., "Geochemical properties of Coal in the Lushan Coalfield of Iran", Coal Geology 60 (2004) 73-79.

- central Alaska*", International Journal of Coal Geology 14 (1990) 255-276.
- [25] Christanis K., Georgako Poulos A., Freandez Turiel J.L., Bouzinos A., "Geological factors influencing the concentration of trace element in the Philppi peatland, eastern Macedonia, Greece", Coal Geology 36 (1998) 295-313.
- [26] Burger K., Zhou Y., Ren Y., " Petrography and geochemistry of tansteins from the 4th Member of the Upper Triassic Xujiahe formation in southern Sichuan Province China", Coal Geology 49 (2002) 1-17.
- [27] Shpirt M., Zilberchmidt M., Gorjunova N., "Composition and properties of coal wastes from the Moscow basin", Chemistry of Solid Fuels 3 (2002) 57-72. (in Russian).
- [28] Alexandra N.G., Paul F.C., "Changes in geochemistry and mineralogy of thermally altered coal, Upper Hunter Vally, Australia", Coal Geology 51 (2004) 197-210.
- [۲۹] رضایی ب، مهردادى ن، "مطالعه و بررسی کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از پساب کارخانه زغال‌شویی زیرآب"، مجله محیط‌شناسی شماره ۲۵ (۱۳۷۹) ص ۲۳-۲۸.
- [30] Ren D., Zhao F., Wang Y., Yang S., "istribution of minor and trance element in Chinese Coal", Coal Geology 40 (1999) 109-118.
- [۳۱] صباغی ع، خزایی ع، پاکراه ک، حسینی نسب ر، "بررسی اقتصادی خاکستر و باطله‌های معادن زغال‌سنگ استان گلستان، سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان گلستان، شماره ۱۲۶ (۱۳۸۲) ص ۲۸۰.
- [۳۲] قلی پور م، مظاهری ا، رقیمی م، شمعانیان غ، "بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی زغال‌سنگ‌های حوزه زغالی کارمزد، البرز مرکز، استان مازندران"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران شماره ۴ (۱۳۸۸) ۶۷۰-۶۵۵.
- [۳۳] رضوی ارمغانی م، معین السادات ح، "زمین‌شناسی ایران زغال‌سنگ"، سازمان زمین‌شناسی ایران، (۱۳۷۲) ص ۲۸۰.
- [34] Havlin J. L., Bestor J. D., Tisdale S. L., Nelson W. L., " Soil Fertility and fertilizers: An Introduction to Nutrient Management" , SIXTH Edition, Prentice-Hall, Inc.Simon and Schuster/A Viacom Company Upper Saddle River, New Jerse, (1999) 498.
- [۱۳] منصور فر ک، "روش‌های پیشرفته آماری همراه با برنامه‌های کامپیوتری"، چاپ سوم انتشارات دانشگاه تهران (۱۳۸۸) ۲۵۰.
- [14] Dai S., Chou C.L., "Occurrence and origin of minerals in a chamosite-bearing coal of Late Permian age, Zhaotong, Yunnan, China", American Mineralogist 92 (2007) 1253-1261.
- [15] Grady W.C., "Microscopic varieties of pyrite in West Virginia coals Transactions of Society of Mining Engineers", American Institute of Mining Engineers 262 (1977) 268-274.
- [16] Querol X., Chinchon S., Soler A.L., "Iron sulfide precipitation sequence in Albian coals from the Maestrazgo Basin, southeastern Iberian Range, northeastern Spain", International Journal of Coal Geology 11 (1989) 171-189.
- [17] Goodarzi F., Sanei H., Stasiuk L.D., Bagheri-Sadeghi H., Reyes J., "A preliminary study of mineralogy and geochemistry of four coal samples from northern Iran", International Journal of Coal Geology 65 (2006) 35- 50.
- [۱۸] کبیر زاده ا، "پروژه ملی مطالعه زغال‌سنگ برای توسعه طرح‌های فولاد ایران"، شرکت ملی فولاد ایران، (۱۳۷۰) ۷۴۵.
- [۱۹] یزدی م، اثرات زیست محیطی معدن زغال سنگ مزی‌نو طبس"، مجله علوم محیطی شماره اول (۱۳۸۶) ۱-۱۰ ص.
- [20] Dai S, Deyi R., Yiping Z., Chen-Lin C., Xibo W., Lei Z., Xingwei Z., "Mineralogy and geochemistry of a superhigh-organic-sulfur coal, Yanshan Coalfield, Yunnan, China: Evidence for a volcanic ash component and influence by submarine exhalation", Chemical Geology 255 (2008) 182-194.
- [۲۱] رجب زاده م، مظاهری ا، کریم پور م ح، "بررسی ژئوشیمیایی زغال سنگ طبس و تاثیر معدنکاری بر آلودگی منابع خاکی منطقه" شانزدهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران دانشگاه گیلان (۱۳۸۷) ۷ ص.
- [22] Bohan H. L., Meneal B. L., Oconnor A. G., " Soil Chemistry", John Wiley and Sons (1979) 342.
- [23] Dixon J. B., Weed S. B., "Minerals in soil Environment", Soil Science Society (SSS) Madison WI (1989) 1260.
- [24] Merritt R.D., "Thermal alteration and rank variation of coals in the Matanuska field, South-

the Junggar basin, Xinjiang province, China". International Journal of Coal Geology 82 (2010) 51–67.

[38] Yudovich Y.E., Ketris M.P., "Chlorine in coal A review", International Journal of Coal Geology 67 (2006) 127–144.

[39] Ketris M.P., Yudovich, Y.E., "Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: world averages for trace element contents in black shales and coals", International Journal of Coal Geology 78 (2009) 135–148.

[35] Colin R., Ward J.F., Corcoran J.D., Saxby H.W., "Occurrence of phosphorus minerals in Australian coal seams", International Journal of Coal Geology 30 (1996) 185-210.

[36] Marcal P., Haidi F., Elba C., "Geochemical distribution of trace elements in coal: modeling and environmental aspects", Fuel 76 (1997) 1425-1437.

[37] Zhou J., Zhuang X., Alastuey A., Querol X., Li L., "Geochemistry and mineralogy of coal in the recently explored Zhundong large coal field in