



ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی و خاکی نادر در معدن زغال سنگ کوچک - علی جنوبی، طبس

مرضیه علی‌ملایی و بالنده امین‌زاده*

بخش زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۰۸، پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۲۲

چکیده

معدن زغال سنگ کوچک - علی جنوبی در سازند هجدک با سن ژوراسیک میانی در حوزه زغالی ایران مرکزی، ۶۵ کیلومتری جنوب غرب شهر طبس واقع شده است. غلظت عناصر اصلی و خاکی نادر در نمونه‌های زغال سنگ و شیل‌های زغالی توسط روش طیف‌نگاری فلئوئورسانس پرتو ایکس^۱ و طیف‌سنجی پلاسما جفت شده القایی^۲ بررسی شد. همبستگی مثبت بین عناصر خاکی نادر^۳ با SiO_2 ، K_2O ، Al_2O_3 ، TiO_2 ، همبستگی بسیار ضعیف عناصر خاکی نادر با SO_3 و همبستگی منفی عناصر خاکی نادر با CaO و پایین بودن غلظت P_2O_5 ($\text{P}_2\text{O}_5 \leq 0.001\%$) در نمونه‌های مورد بررسی، بیانگر منشأ آواری (کائولینیت و ایلیت) برای عناصر خاکی نادر است. مقادیر عناصر خاکی نادر در نمونه‌های مورد بررسی بین ۶۹/۵۴ - ۱۱۳/۰۶ ppm با میانگین ۱۲۷/۹۴ ppm بیشتر از میانگین جهانی زغال سنگ‌هاست. در نمونه‌های مورد بررسی، مقادیر عناصر خاکی نادر سبک بیش از عناصر خاکی نادر سنگین است. این ویژگی متأثر از بیشتر بودن غلظت عناصر خاکی نادر سبک در کانی‌های اولیه است. نتایج داده‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که تمرکز عناصر خاکی نادر در زغال سنگ تحت تأثیر ورود ذرات تخریبی حاصل از فرسایش به حوزه زغالی بوده است.

واژه‌های کلیدی: زغال سنگ، عناصر خاکی نادر، عناصر اصلی، کوچک - علی، حوزه زغالی طبس

مقدمه

and Y) و سنگین^۶ (Ho, Er, Tm, Yb and Lu) تقسیم می‌شوند (Seredin and Dai, 2012). یکی از ویژگی‌های عناصر خاکی نادر، بالابودن نسبت وزن مخصوص آنها به شعاع یونی است؛ لذا این عناصر در طی هوازدگی و فرسایش نامحلول هستند. از این ویژگی برای تشخیص منشأ رسوبات حاوی عناصر خاکی نادر استفاده می‌شود (Schatzel and Stewart, 2012). گلداسمیت (Goldschmidt, 1933a)، اولین بررسی

مهم‌ترین معادن زغال سنگ این پهنه در حوالی شهر طبس در وسعتی حدود ۴۵ هزار کیلومتر مربع رخنمون دارد. در حال حاضر، پهنه زغال دار طبس، بزرگ‌ترین پهنه زغال دار کشور از نظر میزان ذخیره محسوب می‌شود. ناحیه زغال دار کوچک - علی جنوبی یکی از مناطق عناصر خاکی نادر به سه دسته سبک^۴ (La, Ce, Pr, Nd and Sm)، متوسط^۵ (Eu, Gd, Tb, Py)

1. XRF 2. ICP-MS 3. REE 4. LREE 5. MREE 6. HREE

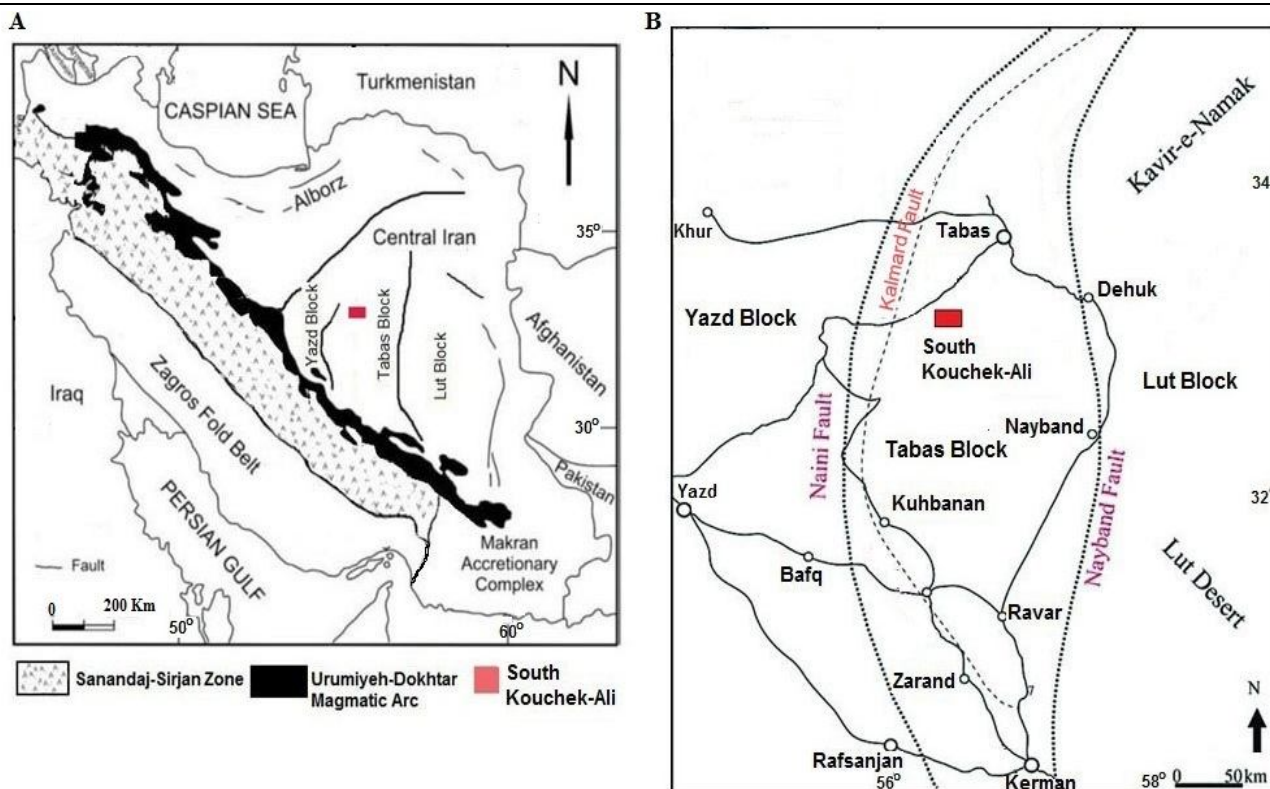
۱۳۵۰ هکتار در فاصله تقریبی ۶۵ کیلومتری جنوب غرب شهرستان طبس، در رسوبات زغال‌دار ایران مرکزی (شکل ۱- A) و در فاصله تقریبی ۶۵ کیلومتری جنوب غرب شهرستان طبس واقع شده است (شکل ۱- B). با توجه به بالابودن ذخایر زغال‌سنگ در ایران، تاکنون پژوهش‌های نسبتاً کمی پیرامون ژئوشیمی و بررسی عناصر خاکی نادر در زغال‌سنگ‌های ایران انجام شده است. هدف از این پژوهش، بررسی توزیع عناصر اصلی و خاکی نادر در معدن زغال‌سنگ کوچک - علی جنوبی است.

زمین‌شناسی منطقه کوچک - علی جنوبی

حوزه زغال‌دار طبس با وسعت ۴۵ هزار کیلومتر مربع در فاصله ۸۰ تا ۲۰۰ کیلومتری جنوب و جنوب غربی طبس واقع شده است. در شمال این حوزه، توده نفوذی ازبک کوه و غرب آن توده‌های نفوذی زیرگان، ناریگان، چادرملو و ساغند قرار دارند. بخش عمده‌ای از رسوبات آواری در این حوزه از فرسایش توده‌های نفوذی یاد شده به دست آمده است (Pazand, 2015). این حوزه از شرق توسط گسل نای بند و از غرب با گسل‌های کلمرد و نائین محصور شده است (شکل ۱- B). حوزه طبس از توالی‌های رسوبی ضخیم شامل رسوبات تریاس بالایی - ژوراسیک تشکیل شده است. با توجه به شواهد زمین‌شناسی و رسوب‌شناسی (وجود سنگ‌های شیل، ماسه‌سنگ، سیلت و کربنات) به نظر می‌رسد این واحدهای سنگی در محیطی دلتایی تشکیل شده‌اند. زغال‌سنگ‌های این پهنه از نظر سنگ‌شناسی از نوع التراکلارن، کلارن و دورو کلارن هستند (Yazdi, 2009). ذخیره زغال‌سنگ اکتشاف شده در پهنه زغال‌دار طبس حدود ۳ میلیارد تن برآورد شده است (جدول ۱). بخش شمالی این حوزه بر اساس مؤلفه‌های زمین‌شناسی - زمین‌ساختی به سه ناحیه زغال‌دار به نام‌های پروده، نای‌بند و مزینو تقسیم می‌شود. ۱۰ منطقه زغالی به اسامی مزینو، کوچک - علی (شمالی و جنوبی)، کمر مهدی، کالشور، کلمرد، کالشانه، دستگردان، پیر حاجات، جعفران و بهاباد در حوزه زغال‌دار طبس شناسایی شده‌اند.

را بر روی توزیع عناصر خاکی نادر در نمونه‌های زغال‌سنگ انجام داده است. از آن زمان به بعد ذخایر زغال‌سنگ به عنوان یکی از منابع مهم جهت تمرکز عناصر خاکی نادر مورد توجه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر، ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر خاکی نادر در زغال‌سنگ و توانایی اقتصادی آنها مورد توجه قرار گرفته است (Seredin, 1996; Rantitsch et al., 2003; Fu et al., 2010; Seredin and Dai, 2012). تقاضا برای عناصر خاکی نادر به دلیل استفاده آنها در ساخت کاتالیست‌های فلزی، دیود، باتری‌ها، آهن رباهای دائمی و ... رو به افزایش است (Hower et al., 2016). آنومالی این عناصر به عنوان یکی از شاخص‌های ژئوشیمیایی محیط رسوبی و تاریخچه انباشته شدن نهشته‌های زغال‌سنگ دارای اهمیت است (Eskenazy, 1987; Kortenski and Bakardjiev, 1993; Van der Flier-Keller, 1993; Hower et al., 1999; Dai et al., 2015).

در ایران نهشته‌های زغال‌سنگ در شرق، شمال و شمال غرب به صورت کم و زیاد با وسعتی معادل ۱۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع توزیع شده‌اند. کاوش‌های زمین‌شناسی برای اکتشاف زغال‌سنگ در پهنه طبس از سال ۱۳۴۵ آغاز و موجب کشف ذخایر زغال‌سنگ نسبتاً بزرگی در این پهنه شده است. پهنه زغال‌دار طبس که گاهی از آن به عنوان حوزه‌ای زغالی نیز نام برده می‌شود، در ایران مرکزی و شرق آن قرار گرفته است. مهم‌ترین معادن زغال‌سنگ این پهنه در حوالی شهر طبس در وسعتی حدود ۴۵ هزار کیلومتر مربع رخنمون دارد. در حال حاضر پهنه زغال‌دار طبس، بزرگ‌ترین پهنه زغال‌دار کشور از نظر میزان ذخیره محسوب می‌شود. ناحیه زغال‌دار کوچک - علی جنوبی یکی از مناطق زغال‌دار این پهنه است. اولین بررسی‌های انجام شده در این منطقه توسط شرکت ملی فولاد ایران در سال ۱۳۴۶ صورت گرفته است. با توجه به اکتشافات انجام شده، منطقه کوچک - علی جنوبی دارای ذخیره زغال‌سنگ ۳۶۰ میلیون تن است (Golzar, 2007). این منطقه با طول جغرافیایی $38^{\circ} 22' 56''$ تا $34^{\circ} 24' 56''$ و عرض جغرافیایی $17^{\circ} 13' 33''$ تا $15^{\circ} 43' 33''$ و با وسعتی معادل



شکل ۱. A: نقشه عمومی ساختاری ایران پس از تغییرات از اشتوکلین (Stöcklin, 1968) و علوی و همکاران (Alavi et al., 1997) و موقعیت معدن زغال‌سنگ کوچک- علی جنوبی و B: موقعیت جغرافیایی معدن زغال‌سنگ کوچک- علی جنوبی پس از تغییرات از ویلمسن و همکاران (Wilmsen et al., 2010)

Fig. 1. A: General tectonic map of Iran (modified after Stöcklin, 1968; Alavi et al., 1997) and location of the South Kouchek-Ali coal mine, and B: Geographic location of the South Kouchek-Ali coal mine (modified after Wilmsen et al., 2010)

جدول ۱. میزان ذخیره زغال‌سنگ در پهنه زغال‌دار طبس (Golzar, 2007)

Table 1. The amount of coal reserves in the Tabas Coal field (Golzar, 2007)

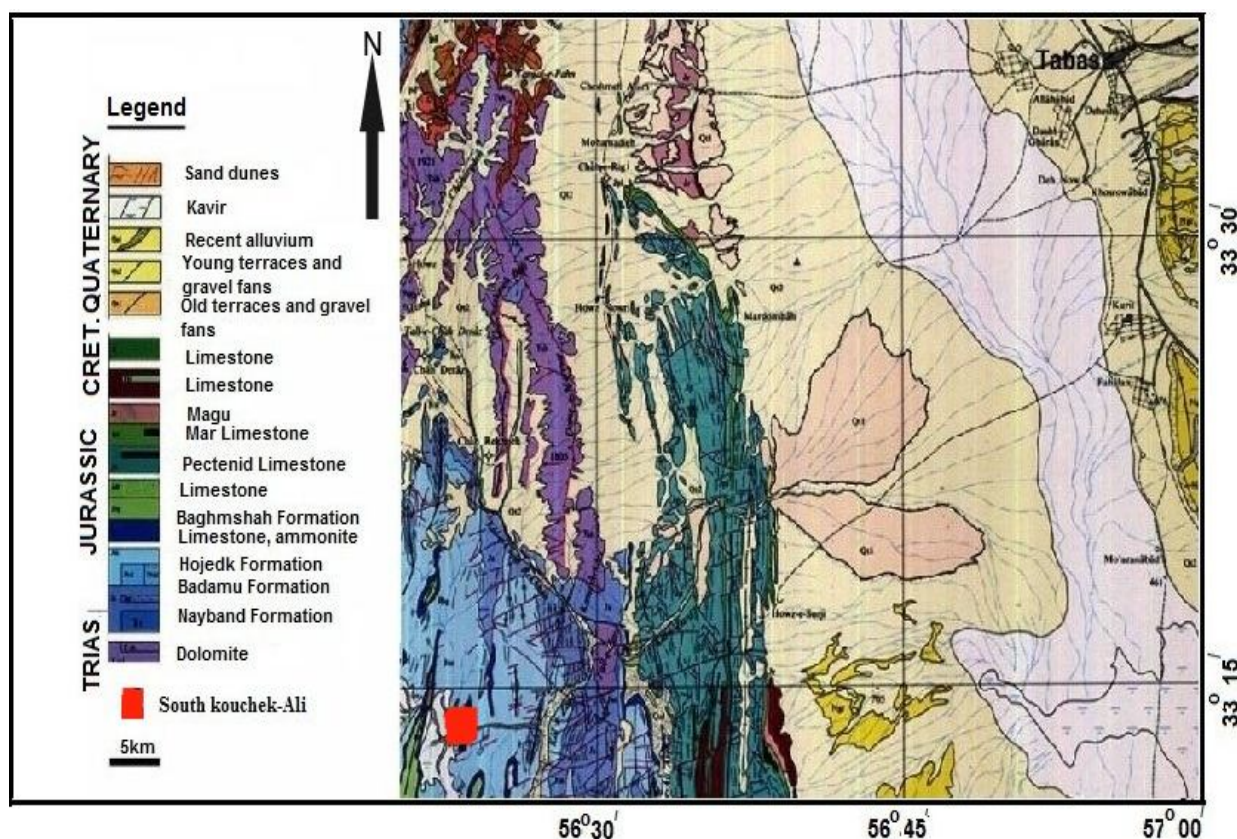
Coal reserve (in million tonnes)	type of coal	Mine
1100	Coke	Parvadeh
250	Coke	Nayband
650	Thermal	Mazino
400	Thermal	Kamar Mahdi
360	Thermal	South Kouchek-Ali

در ۷۰ کیلومتری غرب معدن پروده و در ۲۳ کیلومتری شمال غرب کوه‌های کمر مهدی واقع شده است. منطقه مورد بررسی از شمال به منطقه مزینو، از شرق به گسل پنهان (پوشیده

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده مناطق مزینو، کوچک- علی (شمالی و جنوبی)، کمر مهدی و کال شور نسبت به سایر مناطق از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. منطقه کوچک- علی جنوبی

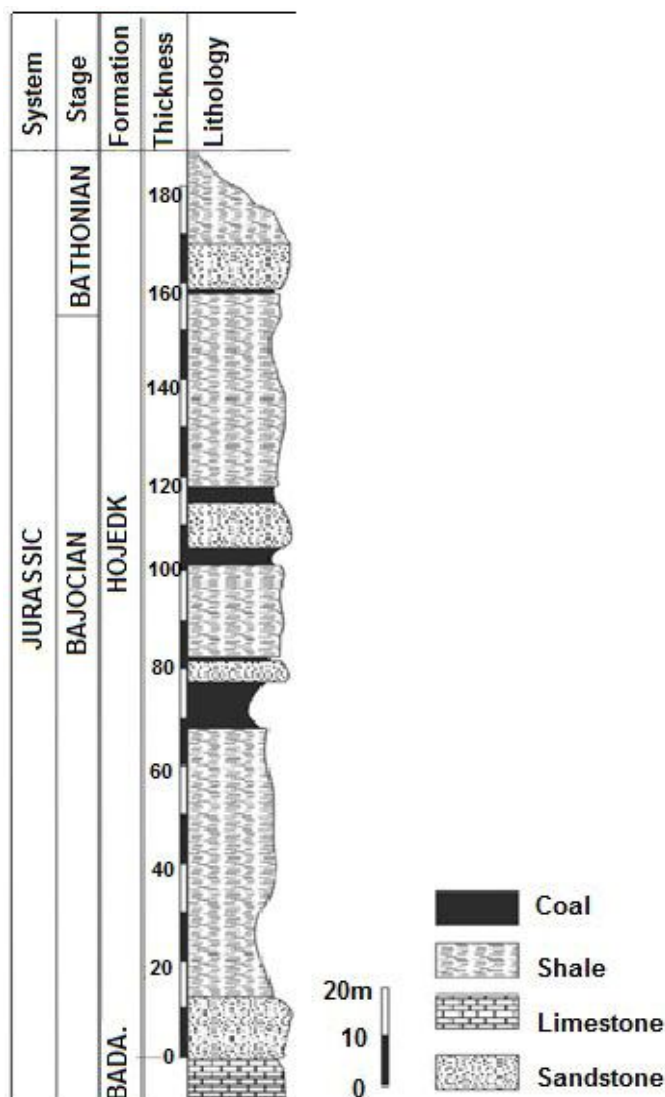
روی هر پروفیل، گمانه‌هایی با عمق ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر حفر می‌شود. شیب متوسط منطقه در زون زیرین ۱۵ تا ۲۰ درجه است که به تدریج شیب لایه‌ها کم و در محور منطقه تقریباً به صفر می‌رسد. کیفیت زغال‌سنگ‌های منطقه مرغوب و از نوع حرارتی و نیمه آنتراسیت است (Mohamadi, 2014). آهک فسیل‌دار بادامو (توراسین- باژوسین) با ضخامت متوسط ۳۰ متر (دارای فسیل‌های بلمنیت، مرجان، دوکفه‌ای و تری‌گونیا (Seyed-Emami et al., 2000) در مرز پایینی سازند هجدک قرارداد. مرز بالایی سازند هجدک در پهنه طیس توسط سازند پروده با سن ژوراسیک میانی تا بالایی (باتونین) با ضخامت متوسط ۲۰ متر پوشیده شده است. این واحد به صورت هم‌شیب بر روی سازند هجدک قرار گرفته است. نام‌های دیگر آن آهک بیدو و آهک کوچک-علی (سازند پروده) است.

از آبرفت)، از جنوب به منطقه زغالی آبدوخی و از غرب به گسل کلرد محدود می‌شود. رسوبات زغال‌دار منطقه کوچک-علی در سازند هجدک (ژوراسیک میانی) قرار گرفته است (شکل‌های ۲ و ۳). ضخامت متوسط سازند هجدک در این منطقه بین ۸۵۰ تا ۹۵۰ متر است. این سازند دارای رخساره دلتایی شامل تناوبی از رسوبات ماسه‌سنگی، شیل‌های سبزرنگ، شیل‌های زغال‌دار و لایه‌های زغالی است (Mohamadi, 2014). ضخامت نرمال زون زغال‌دار منطقه کوچک-علی جنوبی حدود ۵۰۰ تا ۵۵۰ متر است که در سه زون بالایی، میانی و زیرین واقع شده است. زون بالایی حدوداً ۱۵۰ متر، زون میانی ۱۸۰ متر و زون زیرین ۱۷۰ متر است که در مجموع حدود ۶۰ لایه زغالی را در خود جای داده است که ۲۰ لایه قابل برداشت است (Mohamadi, 2014). در منطقه مورد بررسی پروفیل‌های گمانه‌ای به فاصله ۲۵۰ تا ۳۰۰ متر انتخاب، سپس



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی کوچک-علی جنوبی پس از تغییرات از آقاناتی و حقی‌پور (Aghanabati and Haghypour, 1978)

Fig. 2. Geological map of the South Kouchek-Ali (modified after Aghanabati and Haghypour, 1978)



شکل ۳. توالی ستون چینه‌شناسی سازند هجدک و موقعیت افق‌های زغال‌سنگ در منطقه کوچک-علی (Ameri et al., 2013)

Fig. 3. Stratigraphic column of Hojedk Formation and location of their coal bearing horizons in Kouchek-Ali region (Ameri et al., 2013)

روش مطالعه

مواد فرار، گوگرد و اکسیدهای اصلی (TiO_2 , K_2O , SiO_2) و Fe_2O_3)، آنالیز شیمیایی به روش طیف‌نگاری فلورسانس پرتو ایکس بر روی هریک از نمونه‌های اصل و خام برداشت شده در آزمایشگاه پروده طبس انجام شد. حدود ۵۰۰ گرم از هریک از نمونه‌ها برای تهیه خاکستر به آزمایشگاه پروده طبس ارسال شد. برای اندازه‌گیری عناصر خاکی نادر و فرعی، آنالیز شیمیایی به روش ICP-MS بر روی نمونه‌های اصل و خام در آزمایشگاه ALS Chmex کانادا انجام شد.

با استفاده از روش نمونه‌برداری شیاری، ۸ نمونه از معدن زغال‌سنگ کوچک-علی جنوبی برداشت شد. نمونه‌های برداشت شده شامل ۳ نمونه زغال‌سنگ و ۵ نمونه شیل زغالی است. نمونه‌های انتخابی به وزن ۲ کیلوگرم است. برای جلوگیری از آلودگی و هوازگی در کیسه‌های پلاستیکی نگهداری شدند. سپس نمونه‌ها را پودر کرده و با عبور از الک ۲۰۰ مش همگن‌سازی شدند. برای اندازه‌گیری درصد رطوبت،

بحث

نتایج اندازه‌گیری اکسیدهای اصلی از ۳ نمونه زغال‌سنگ و ۵ نمونه شیل زغالی در جدول ۲ خلاصه شده است. همبستگی مثبت بین اکسیدهای SiO_2 و K_2O (۰/۹۹)، SiO_2 و TiO_2 (۰/۹۲)، SiO_2 و Al_2O_3 (۰/۹۹)، Al_2O_3 و K_2O (۰/۹۸)، TiO_2 و Al_2O_3 (۰/۹۲) در نمونه‌های مورد بررسی (جدول ۳ و شکل ۴) احتمالاً نشان‌دهنده تمرکز اکسیدهای یادشده در کانی‌های غیرآلی و آواری (کانی‌های رسی: ایلیت و کائولینیت) است (Wang et al., 2007). نوع و غلظت اکسیدهای اصلی متأثر از منشأ رسوبات در نمونه‌های مورد بررسی است. میزان رطوبت و ترکیبات آلی فرار^۱ در نمونه‌های زغال‌سنگ منطقه مورد بررسی به ترتیب ۰/۹ تا ۱/۸ درصد و ۷/۱ تا ۱۲/۴ درصد و میزان رطوبت و ترکیبات آلی فرار در شیل‌های زغالی به ترتیب ۰/۲ تا ۱/۸ درصد و ۷/۱ تا ۱۲ درصد به دست آمد (جدول ۲). میانگین غلظت گوگرد در نمونه‌های زغال‌سنگ ۱/۹۷ درصد و در شیل‌های زغالی ۱/۸۱ درصد محاسبه شد. میزان خاکستر در نمونه‌های زغال‌سنگ از ۲۱/۶۸ تا ۴۴/۵۲ درصد و در نمونه‌های شیل زغالی از ۱۳/۷۴ تا ۵۰/۰۹ درصد متغیر است. بیشترین درصد خاکستر (۵۰/۰۹) مربوط به نمونه K7 (شیل زغالی) گزارش شد. نمونه K7 در مقایسه با سایر نمونه‌ها، بالاترین میزان SiO_2 ، K_2O و Al_2O_3 را داراست. همبستگی بالایی بین درصد خاکستر حاصل از نمونه‌های مورد بررسی و مقادیر SiO_2 ، Al_2O_3 ، K_2O و TiO_2 در نمونه‌های خام مورد بررسی مشاهده می‌شود (جدول ۳). با توجه به ضریب همبستگی ضعیف محاسبه شده بین عمق با خاکستر (۰/۲) و همبستگی منفی عمق با کربن (۰/۳) نتیجه‌گیری می‌شود که عمق، تأثیری بر روی درصد خاکستر و کربن موجود در نمونه‌ها نداشته است.

عناصر خاکی نادر

نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی عناصر خاکی نادر بر روی اصل نمونه‌های برداشت شده از معدن زغال‌سنگ کوچک - علی جنوبی در جدول ۴ خلاصه شده است. عناصر خاکی نادر در

نمونه‌های مورد بررسی ppm ۶۹/۵۴-۱۶۸/۱۹ متغیر است. میانگین غلظت عناصر خاکی نادر در نمونه‌های زغال‌سنگ ppm ۱۱۶/۹۳ و در شیل‌های زغالی ppm ۱۳۵/۹۱ محاسبه شد. عناصر خاکی نادر در نمونه‌های زغال‌سنگ اغلب مربوط به کانی‌های رسی و کانی‌های اتوزنیک دانه‌ریز (مانند: سولفات و فسفات‌های آلومینیم‌دار، فسفات‌های آب‌دار و کربنات) است (Dai et al., 2012; Wang et al., 2008). در منطقه مورد بررسی ضریب همبستگی عناصر خاکی نادر با SiO_2 (۰/۶۵)، Al_2O_3 (۰/۶۶)، K_2O (۰/۶۵)، TiO_2 (۰/۷۶)، SO_3 (۰/۰۰۱)، CaO همبستگی منفی (۰/۳۸-) محاسبه شد (جدول ۳ و شکل ۵). با توجه به اینکه در نمونه‌های زغال‌سنگ Si و Al در کانی کائولینیت (Wang et al., 2007)، K اغلب در ایلیت (Palmer et al., 1990) و Ti در کانی‌های آواری (Murray and Leinen, 1996) متمرکز می‌شود؛ لذا از همبستگی مثبت بین عناصر REE با SiO_2 ، Al_2O_3 ، K_2O و TiO_2 و همبستگی بسیار ضعیف عناصر REE با SO_3 و همبستگی منفی این عناصر با CaO و پایین بودن غلظت P_2O_5 ($\text{P}_2\text{O}_5 \leq 0.001\%$) در نتایج آنالیز شیمیایی، نتیجه‌گیری می‌شود که عناصر REE اغلب دارای منشأ آواری و در کانی‌های کائولینیت و ایلیت رخ داده‌اند. کانی‌های آواری در نمونه‌های زغال‌سنگ منطقه مورد بررسی اغلب کائولینیت و ایلیت هستند (Mohamadi, 2014). پایین بودن غلظت P_2O_5 در نتایج آنالیز شیمیایی (جدول ۲) نشان‌دهنده نبود آپاتیت در نمونه‌های مورد بررسی است.

مقادیر عناصر خاکی نادر در زغال‌سنگ متأثر از ترکیب ژئوشیمیایی سنگ‌های منشأ تأمین‌کننده رسوبات در حوزه زغالی، ورود محلول‌های گرمابی به حوزه، تأثیر محیط‌های دریایی و محیط رسوبی تشکیل زغال‌سنگ است (Dai et al., 2016). در نمونه‌های مورد بررسی غلظت عناصر خاکی نادر سبک (La، Ce، Pr، Nd، Sm) بیش از عناصر خاکی نادر سنگین (Er، Ho، Tm، Lu و Yb) است (جدول ۴). از جمله

عواملی که موجب چین رخدادی شده است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Dai et al., 2012):
 (۱) تحرک بیشتر عناصر خاکی نادر سنگین نسبت به عناصر خاکی نادر سبک و
 (۲) میزان بالاتر بودن عناصر خاکی نادر سبک در کانی‌های اولیه.
 به‌طور کلی مقادیر عناصر خاکی نادر سبک در نمونه‌های مورد بررسی بیش از عناصر خاکی نادر سنگین است. نسبت غلظت عناصر خاکی نادر سبک به عناصر خاکی نادر سنگین^۱ در ۳ نمونه زغال‌سنگ از ۱۵/۴۹ تا ۲۴/۳۶ و در ۵ نمونه شیل زغالی از ۱۸/۳۵ تا ۲۱/۹۲ متغیر است.

جدول ۲. میزان خاکستر، ارزش حرارتی، رطوبت، ترکیبات آلی فرار و اکسیدهای اصلی در نمونه‌های معدن زغال‌سنگ کوچک-علی جنوبی (درصد)

Table 2. Concentrations of ash, convection, moisture, volatile organic compounds and major element oxides in samples from the South Kouchek-Ali Coal Mine (%)

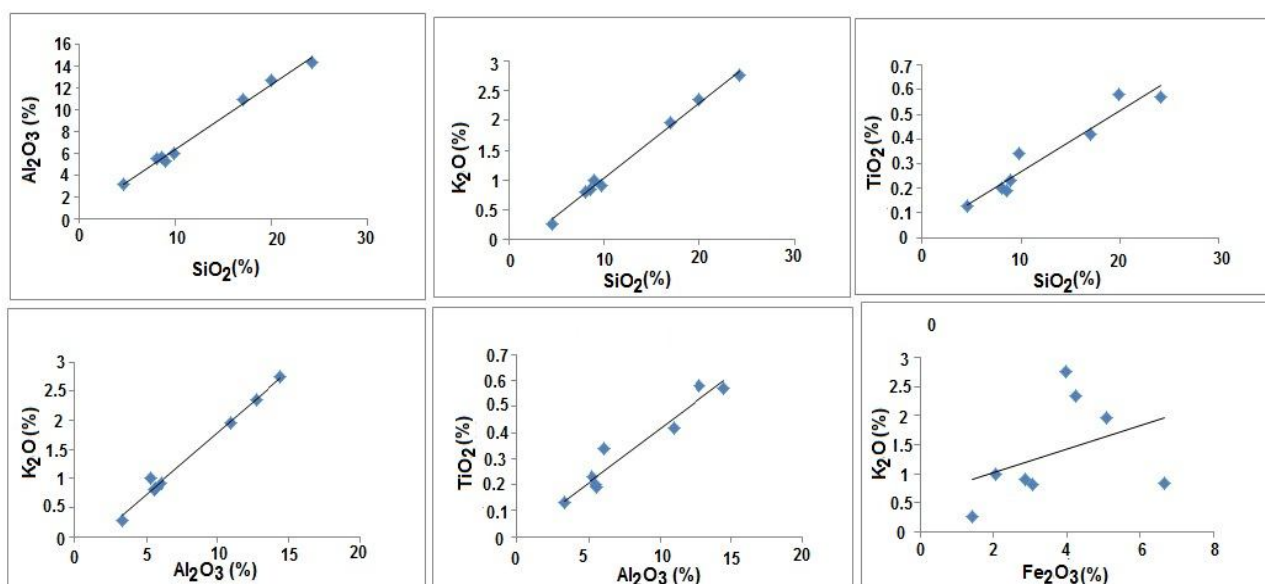
Sample	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈
Lithology	Coaly shale	Coal	Coal	Coaly shale	Coaly shale	Coal	Coaly shale	Coaly shale
Depth(m)	196.5	285	321.5	337	188.5	61	374.5	245
Ash	13.74	28.58	44.52	22.65	40.5	21.68	50.09	24.87
Convection (Cal/g)	5870	5762	4244	6435	4417	5555	3474	6037
Moisture	1.8	0.9	0.9	0.4	1.2	1.8	0.2	0.6
VOCs (%)	12	8.8	7.1	7.1	9.3	12.4	7.5	8.3
S	1.36	1.37	3.43	2.27	1.36	1.11	2.39	1.68
N	0.9	n.d	0.5	0.8	0.2	0.9	0.6	0.7
C	53	51	41	58	44.5	65.5	43	59
H	3.4	3.1	2.5	3.2	2.5	3.4	2.2	3.2
Cl	0.53	0.36	0.14	0.15	0.48	0.85	0.42	0.36
SiO₂	4.62	8.56	19.94	8.02	17	8.96	24.17	9.8
TiO₂	0.13	0.19	0.58	0.2	0.42	0.23	0.57	0.34
Al₂O₃	3.28	5.64	12.74	5.54	10.93	5.29	14.43	6.08
Fe₂O₃	1.42	6.65	4.23	3.08	5.09	2.07	3.96	2.85
CaO	0.35	1.01	0.2	0.26	0.4	0.11	0.36	0.26
K₂O	0.27	0.84	2.35	0.81	1.96	1	2.75	0.91
P₂O₅	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001
SO₃	3.13	5.16	4.61	4.59	4.23	3.18	4.25	4.27

۱. LREE/HREE

جدول ۳. ضریب همبستگی بین اکسیدها، عناصر خاکی نادر و خاکستر در نمونه‌های معدن کوچک- علی جنوبی

Table 3. Correlation coefficient between Oxides, REE and ash in samples from the South Kouчек-Ali Mine

Oxide	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	SO ₃	Ash	REE
SiO ₂	1								
TiO ₂	0.92	1							
Al ₂ O ₃	0.99	0.92	1						
Fe ₂ O ₃	0.14	0.08	-0.16	1					
CaO	0.02	0.06-	0.01	0.57-	1				
K ₂ O	0.99	0.91	0.98	0.14	0.02	1			
SO ₃	-0.09	0.08	0.11-	0.69	0.33	0.08-	1		
Ash	0.95	0.87	0.96	0.30	0.0006	0.95	0.21	1	
REE	0.65	0.76	0.66	0.01	-0.38	0.6	0.001	0.51	1



شکل ۴. نمودارهای همبستگی بین اکسیدهای SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, K₂O, Fe₂O₃ در نمونه‌های معدن کوچک- علی جنوبی

Fig. 4. Correlation diagrams between SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, K₂O, Fe₂O₃ in samples from the South Kouчек-Ali Mine

سه گروه به شرح زیر تقسیم شده‌اند (Dai et al., 2017):

(۱) زغال‌سنگ‌های غیراقتصادی ($C_{total} < 0.7$),

(۲) زغال‌سنگ‌های نسبتاً اقتصادی ($0.7 \leq C_{total} \leq 2/4$) و

(۳) زغال‌سنگ‌های با ارزش اقتصادی بالا ($C_{total} > 2/4$).

با توجه به اینکه میانگین C_{total} در نمونه‌های مورد بررسی منطقه

کوچک- علی جنوبی ۰/۸۲ محاسبه شد، از لحاظ ارزش صنعتی

در زغال‌سنگ‌ها، شاخصی به نام دورنمایی (C_{total}) توصیف شده

است که هرچه این ضریب بالاتر باشد، احتمال با ارزش بودن

کانی‌های محتوی عناصر خاکی نادر از نظر ارزش صنعتی بالاتر

است (Seredin and Dai, 2012).

$$C_{total} = (Nd + Eu + Tb + Dy + Er + Y / \Sigma REE) / (Ce + Ho + Tm + Yb + Lu / \Sigma REE)$$

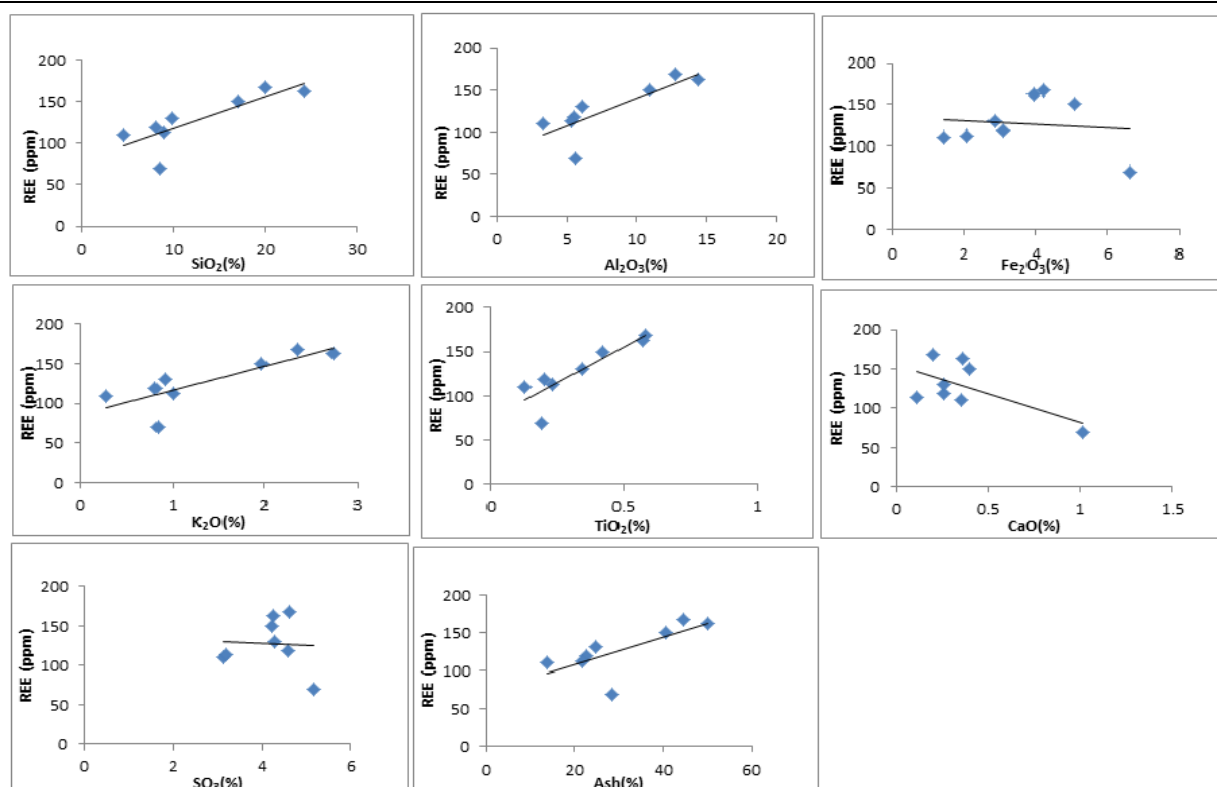
زغال‌سنگ‌ها از لحاظ ارزش صنعتی با توجه به مقادیر C_{total} به

در گروه دوم قرار گرفته است؛ اما باید به این نکته توجه داشت سینیت‌ها و گرانیت‌های قلیایی هستند. که ذخایر اقتصادی اصلی عناصر خاکی نادر، کربناتیت‌ها،

جدول ۴. نتایج آنالیز عناصر خاکی نادر در معدن زغال‌سنگ کوچک- علی جنوبی (گرم در تن)

Table 4. Rare earth elements in the South Kouchek-Ali Coal Mine (ppm)

Sample	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈
Lithology	Coaly shale	Coal	Coal	Coaly shale	Coaly shale	Coal	Coaly shale	Coaly shale
Ash	13.74	28.58	44.52	22.65	40.5	21.68	50.09	24.87
La	19.9	10.8	31.7	22.1	29	21.8	30.4	24.5
Ce	39	22.9	63.3	42.4	56.02	43.5	61.2	47.7
Pr	4.40	2.73	7.17	4.86	6.18	4.89	6.49	5.35
Nd	17.8	10.7	26.1	18.1	22.7	17.4	25.2	19.9
Sm	3.31	2.91	4.68	3.57	4.75	3.05	5.14	3.89
Eu	0.74	0.66	0.59	0.71	0.97	0.64	1.09	0.85
Gd	2.95	2.42	3.95	2.91	3.29	2.65	3.43	3.43
Tb	0.50	0.42	0.65	0.54	0.54	0.35	0.57	0.54
Dy	2.65	2.07	3.80	2.96	3.27	2.16	3.36	2.98
Ho	0.58	0.45	0.77	0.64	0.70	0.47	0.78	0.71
Er	1.52	1.26	2.38	1.74	2.09	1.41	2.13	2.03
Tm	0.30	0.17	0.39	0.30	0.29	0.23	0.36	0.28
Yb	1.68	1.19	2.28	1.99	1.98	1.41	2.38	1.86
Lu	0.29	0.16	0.37	0.29	0.36	0.20	0.35	0.29
Y	14.5	10.7	19.7	15.7	17.8	12.9	19.9	16.6
ΣREE	110.12	69.54	168.19	118.81	150.12	113.06	162.78	130.91
ΣLREE	84.41	50.04	132.95	91.03	118.83	90.64	128.43	101.34
ΣMREE	21.34	16.27	29.05	22.82	25.87	18.7	28.35	24.4
ΣHREE	4.37	3.23	6.19	4.96	5.42	3.72	6	5.17



شکل ۵. نمودارهای همبستگی بین مقادیر عناصر خاکی نادر با اکسیدهای اصلی و خاکستر در معدن زغال‌سنگ کوچک- علی جنوبی

Fig. 5. Correlation diagrams between REE contents with major element oxides and ash in the South Kouchek-Ali Coal Mine

Anders) و کندریت (Taylor and McClennan, 1985) و کندریت (and Grevasse, 1989) به‌نجار شده است. نتایج حاصل از به‌نجار کردن نمونه‌های مورد بررسی نسبت به شیل‌های شمال آمریکا، غنی‌شدگی ضعیفی را در عناصر خاکی نادر سبک و آنومالی مثبت عناصر Dy، Pr و Tm نشان می‌دهد (شکل ۶-A و B). نتایج حاصل از به‌نجار کردن نمونه‌های مورد بررسی نسبت به کندریت، غنی‌شدگی نسبتاً بالایی از عناصر خاکی نادر سبک، آنومالی منفی Ce در نمونه K₂ (زغال‌سنگ) و الگوی نسبتاً مسطح عناصر خاکی نادر سنگین را نشان می‌دهد (شکل ۷-۷-A و B). الگوی توزیع نسبتاً یکسان عناصر خاکی نادر در نمونه‌های زغال‌سنگ و شیل‌های زغالی منطقه مورد بررسی نشان‌دهنده منشأ مشابه برای عناصر خاکی نادر است. منشأ اکثر عناصر خاکی نادر در منطقه مورد بررسی، رس‌های مربوط به محیط‌های دریایی-باتلاقی ژوراسیک میانی است.

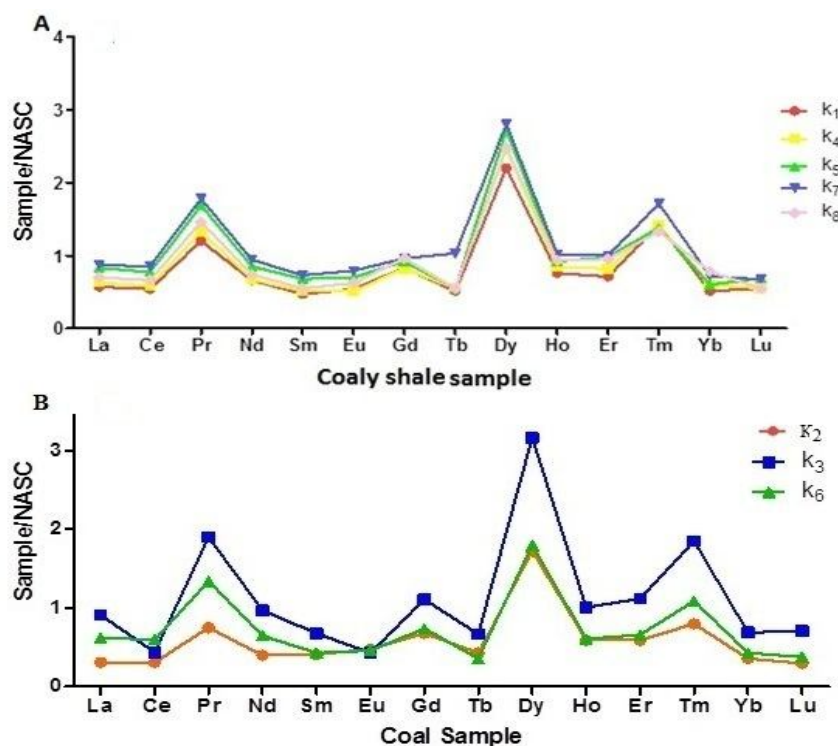
میانگین مقادیر عناصر خاکی نادر در نمونه‌های زغال‌سنگ منطقه مورد بررسی (۱۱۶/۹۳ ppm) نسبت به مقدار آن در سطح جهانی بیشتر است (میانگین جهانی: ۶۸ ppm (Yudovich and Ketris, 2006)). میانگین مقدار عناصر خاکی نادر در زغال‌سنگ‌های چین ۱۶۲/۵۱ ppm (Dai et al., 2008)، زغال‌سنگ‌های آمریکا ۵۳/۵۹ ppm (Finkelman, 1993)، معدن زغال‌سنگ حوزه البرز در معدن زغال آبیگ ۱۶۹ ppm (Pazand, 2014)، معدن کیاسر ۹۸/۲۸ ppm و معدن کارمزد ۸۱/۸۴ ppm (More and Esmaeili, 2012) گزارش شده است. در جدول ۵، میانگین غلظت عناصر خاکی نادر در نمونه‌های زغال‌سنگ منطقه کوچک- علی جنوبی با زغال‌سنگ‌های جهانی، آمریکا و چین مقایسه شده است. الگوی عناصر خاکی نادر در نمونه‌های مورد بررسی منطقه کوچک- علی جنوبی نسبت به شیل‌های شمال آمریکا^۱

1. (NASC): North American Shale Composite

جدول ۵. مقایسه میانگین غلظت عناصر خاکی نادر در نمونه‌های زغال سنگ معدن کوچک- علی جنوبی با زغال سنگ‌های جهانی، امریکا، چین و Redang Island (داده‌های زغال سنگ‌های جهانی، امریکا و چین از کتريز و یودویچ (Ketris and Yudovich, 2009) و داده‌های زغال سنگ‌های Redang Island از آنتونینا و همکاران (Antonina et al., 2013) (گرم در تن)

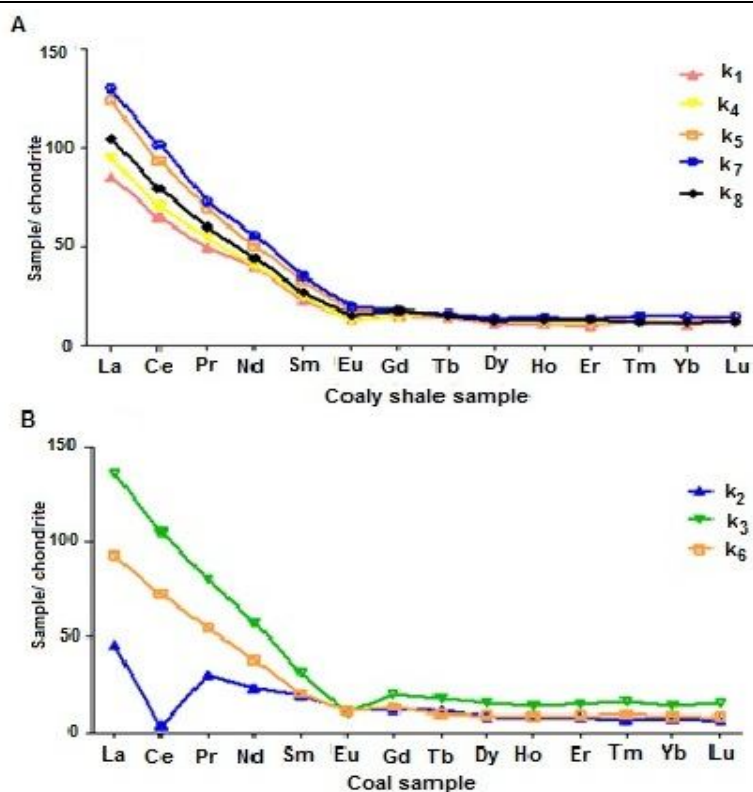
Table 5. Comparison of the average concentration of rare earth elements in coals from South Kouchek-Ali mine with world, US, Redang Island and Chinese coals (Data of world, US, and Chinese coals are from Ketris and Yudovich, 2009)(Data of Redang Island coals is from Antonina et al., 2013) (ppm)

element	World coal	USA coal	Redang Island	China	Coals from study area
La	11	12	16.30	26	21.4
Ce	23	21	24.50	49	43.2
Pr	3.5	2.4	4.30	5.5	4.93
Nd	12	9.5	12.80	22	18.06
Sm	2	1.7	4.20	4.3	3.54
Eu	0.47	0.4	3.39	0.9	0.63
Gd	2.7	1.8	2.47	3.7	3
Tb	0.32	0.3	0.65	0.7	0.47
Dy	2.1	1.9	1.54	3.1	2.67
Ho	0.54	0.35	0.59	0.7	0.56
Er	0.93	1	1.04	1.9	1.6
Tm	0.31	0.15	0.42	0.27	0.26
Yb	1	0.95	1.20	2.1	1.6
Lu	0.2	0.14	0.66	0.3	0.24



شکل ۶. نمودار الگوی عناصر خاکی نادر بهنجار شده از نمونه‌های معدن زغال سنگ کوچک- علی جنوبی نسبت به شیل‌های شمال امریکا، A: شیل‌های زغالی و B: زغال سنگ

Fig. 6. NASC (North American Shale Composite)-normalized REE patterns of the South kouchek-Ali Coal Mine samples. A: Coaly shales, and B: Coal



شکل ۷. نمودار الگوی عناصر خاکه نادر بهنجار شده از نمونه‌های معدن زغال‌سنگ کوچک- علی جنوبی نسبت به کندریت A: شیل‌های زغالی و B: زغال‌سنگ

Fig. 7. Chondrite -normalized REE patterns of the South Koucheh-Ali Coal Mine samples A: Coaly shales, and B: Coal

نمونه‌های برداشت شده از معدن زغال‌سنگ کوچک- علی

عناصر فرعی و کمیاب

جنوبی در جدول ۶ خلاصه شده است.

نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی عناصر فرعی و کمیاب بر روی

جدول ۶. مقادیر عناصر فرعی و کمیاب در نمونه‌های معدن زغال‌سنگ کوچک- علی جنوبی (گرم در تن)

Table 6. Concentrations of minor and trace elements in samples from the South Koucheh-Ali Coal Mine (ppm)

Sample	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈
Lithology	Coaly shale	Coal	Coal	Coaly shale	Coaly shale	Coal	Coaly shale	Coaly shale
Sr	112.5	52.2	103.5	81.9	72	51	71.8	81
Ba	131	88.9	298	153	231	222	259	193
Nb	5.8	2.7	10	5.9	8.1	8.1	9.2	8.1
Ce	39	22.9	63.3	42.4	56.2	43.5	61.2	47.7
Zr	79	44	118	98	109	78	111	94
Rb	60.5	32.3	120.5	69.9	123.5	89.3	110.5	85.1
V	74	53	119	84	109	93	111	101
Cr	50	30	70	60	80	70	80	70
W	1	12	1	1	1	1	2	2
Th	8.16	5.05	12.85	10.6	11.95	8.14	12.4	9.96
U	1.63	0.85	2.49	2.35	2.27	1.51	2.17	1.98
Y	14.5	10.7	19.7	15.7	17.8	12.9	19.9	16.6

نادر و فرعی در زغال سنگ‌های منطقه مورد بررسی متأثر از ترکیب ژئوشیمیایی منابع تأمین کننده رسوبات در این حوزه است. میانگین غلظت عنصر وانادیوم (V) در منطقه کوچک- علی جنوبی در نمونه‌های زغال سنگ ۸۸/۳۳ ppm و در نمونه‌های شیل زغالی ۹۵/۵ ppm محاسبه شد. این مقادیر بیش از مقدار کلارک (۲۵ ppm) و زغال سنگ‌های امریکا (۲۲ ppm) (Ren et al., 1999) است (جدول ۷)؛ لذا باید از لحاظ آلودگی‌های زیست محیطی مورد توجه قرار گیرد.

میانگین غلظت عناصر باریوم، روییدیم، کروم، تنگستن، توریم و ایتیریم (Ba: ۲۰۲/۹۶ ppm، Rb: ۸۰/۷ ppm، Cr: ۴/۶۶ ppm، W: ۸/۶۸ ppm، Th: ۱۴/۴۳ ppm) در نمونه‌های زغال سنگ مورد بررسی، بیش از میانگین زغال سنگ‌های چین و امریکاست (جدول ۷). رس‌های محیط‌های دریایی نسبت به رسوبات آب شیرین حاوی مقادیر بیشتری از عناصر V، Cr، Rb، Sr و Ba هستند (Bouska, 1981). کانی‌های رسی تشکیل شده در محیط‌های دریایی دارای قدرت جذب سطحی قوی هستند. میزان آنومالی عناصر خاکی

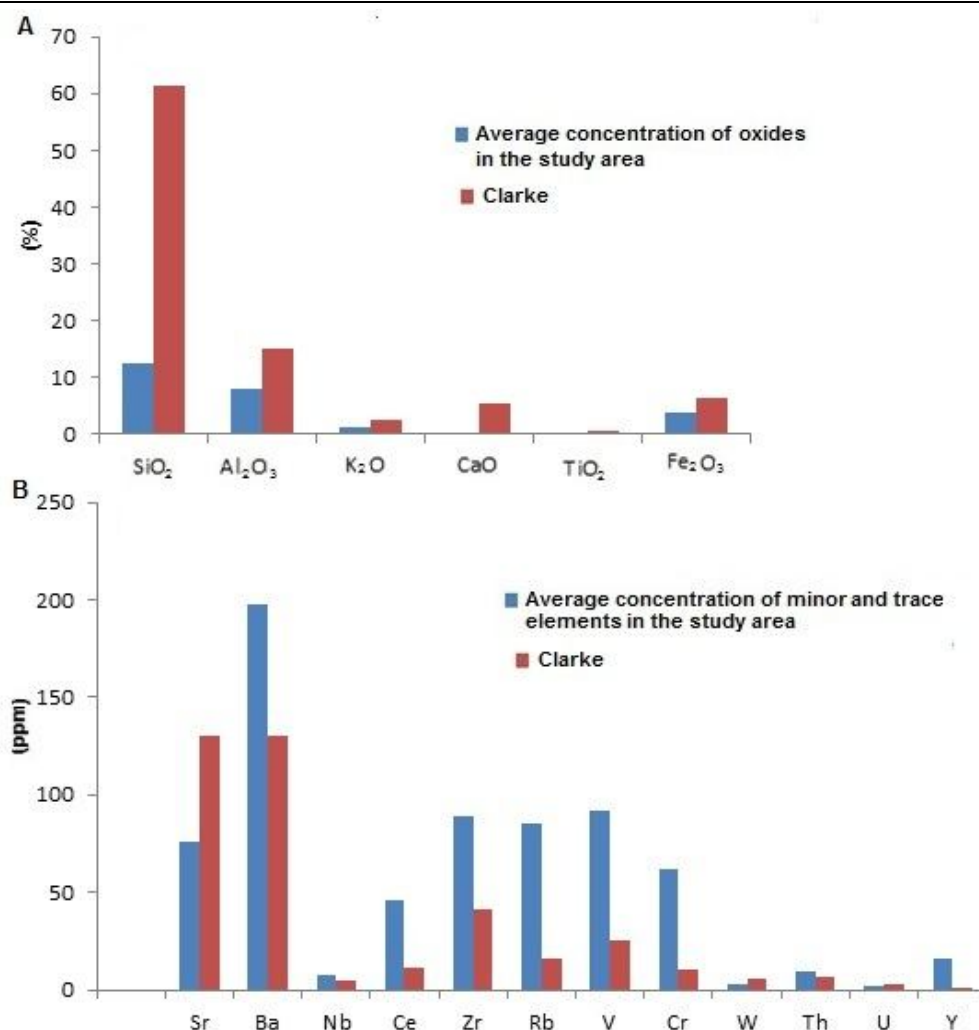
جدول ۷. مقایسه میانگین غلظت برخی از عناصر کمیاب و خاکی نادر در زغال سنگ و شیل‌های زغالی معدن کوچک- علی جنوبی با زغال سنگ‌های امریکا، چین و کلارک (گرم در تن)، (داده‌های زغال سنگ‌های امریکا و چین از رن و همکاران (Ren et al., 1999))

Table 7. Comparison of the average concentration of some trace and rare earth elements in coal and coaly Shale from South Kouchek-Ali Mine with USA and Chinese coals and Clarke (Composition of the Continental Crust) (ppm), (Data of USA, and Chinese coals are from Ren et al., 1999)

Element	(Clarke)	USA	China	South Kouchek- Ali Mine	
		Coal		Coaly shale	Coal
Sr	130	130	175.96	83.84	68.9
Ba	130	170	169.1	193.4	202.96
Nb	4.7	9.5	22.06	7.42	6.93
Ce	11.5	21	49.8	49.3	43.23
Zr	41	27	246.75	98.2	80
Rb	16	21	20.68	89.9	80.7
V	25	22	94.11	95.5	88.33
Cr	10	15	34.87	68	56.66
W	6	1	2.35	1.4	4.66
Th	6.3	3.2	6.9	10.61	8.68
U	3	2.1	7.52	2.08	1.61
Y	0.3	0.95	1.78	16.9	14.43

نمونه‌های مورد بررسی نسبتاً مشابه و نزدیک به مقدار کلارک است (جدول ۸ و شکل ۸).

میانگین اکسیدهای K_2O و CaO ، Fe_2O_3 ، Al_2O_3 ، SiO_2 در مجموع نمونه‌های مورد بررسی (زغال سنگ و شیل‌های زغالی) نسبت به کلارک کمتر است. میانگین مقادیر TiO_2 در



شکل ۸. نمودار ستونی نشان‌دهنده A: میانگین اکسیدهای اصلی و B: عناصر فرعی و کمیاب نسبت به پوسته قاره‌ای از نمونه‌های معدن زغال‌سنگ کوچک-علی جنوبی

Fig. 8. Histograms showing the mean of the A: Major oxides, and B: Minor and trace elements of the South Kochek-Ali Coal Mine samples relative to Clarke (Composition of the Continental Crust)

جدول ۸. مقایسه میانگین غلظت اکسیدها در معدن کوچک-علی جنوبی با کلارک (Goldschmidt, 1933b) (درصد)

Table 8. Comparison of the average concentration of oxides in South Kouchek-Ali Mine with Clarke (Composition of the Continental Crust) (Goldschmidt, 1933b) (%)

Major oxides	study area	Clarke
SiO ₂	12.63	62.22
TiO ₂	0.33	0.83
Al ₂ O ₃	7.99	16.63
Fe ₂ O ₃	3.66	6.99
CaO	0.36	3.23
K ₂ O	1.36	4.13

کوچک - علی جنوبی نشان‌دهنده همراهی عناصر خاکی نادر با کانی‌های رسی (حاصل از فرسایش) است. تمرکز و پراکندگی عناصر خاکی نادر در منطقه مورد بررسی، تحت تأثیر سنگ‌ها و نهشته‌های این حوزه است. غلظت عنصر V در نمونه‌های زغال‌سنگ (۸۸/۳۳ ppm) و شیل‌های زغالی (۹۵/۵ ppm) منطقه کوچک - علی جنوبی بیش از ۳ برابر مقدار کلارک پوسته زمین (۲۵ ppm) است که باید از لحاظ زیست‌محیطی مورد توجه قرار گیرد.

قدردانی

از آقای مهندس فرزانه رفیعا مدیر محترم شرکت کاوشگران شهرستان طبس، آقای مهندس مسعود زاهدی و آقای مهندس محمد غلامی که در عملیات صحرایی و نمونه‌برداری مساعدت نموده‌اند، تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

در شکل ۸، میانگین اکسیدهای اصلی (شکل ۸-۸A)، عناصر فرعی و کمیاب (شکل ۸-۸B) در نمونه‌های معدن زغال‌سنگ کوچک - علی جنوبی نسبت به پوسته قاره‌ای مقایسه شده است.

نتیجه‌گیری

مجموع کل عناصر خاکی نادر در کل نمونه‌های مورد بررسی معدن زغال‌سنگ کوچک - علی جنوبی بین ۶۹/۵۴ ppm - ۱۱۳/۰۶ ppm متغیر است. میانگین غلظت این عناصر ۱۲۷/۹۴ ppm محاسبه شد که در مقایسه با غلظت این عناصر در سطح جهانی (۶۸ ppm) بسیار بالاتر است. به‌طور میانگین غلظت عناصر خاکی نادر در نمونه‌های زغال‌سنگ مورد بررسی ppm ۱۱۶/۹۳ و در نمونه‌های شیل زغالی ۱۳۵/۹۱ است. غلظت عناصر خاکی نادر در نمونه‌های شیل زغالی بیشتر از نمونه‌های زغال‌سنگ است. همبستگی قوی بین عناصر خاکی نادر با اکسیدهای K_2O و TiO_2 ، SiO_2 ، Al_2O_3 در معدن زغال‌سنگ

References

- Aghanabati, S.A. and Haghypour, A.S., 1978. Geological map of Tabas, scale 1:250,000. Geological Survey of Iran.
- Alavi, M., Vaziri, H., Seyed-Emami, K. and Lasemi, Y., 1997. The Triassic and associated rocks of the Nakhlak and Aghdarband areas in central and northeastern Iran as remnants of the southern Turonian active continental margin. Geological Society of America Bulletin, 109(12): 1563-1575.
- Ameri, H., Dastanpour, M., Khalilizade, H. and Zamani, F., 2013. Plant fossil remains from the Bajocian-Bathonian of Hojedk Formation, Babhutk area, Kerman, Iran. Arabian Journal of Geosciences, 7(6): 2293-2302.
- Anders, E. and Grevasse, N., 1989. Abundance of the elements: meteoritic and solar. Geochimica et Cosmochimica Acta, 53(1): 197-214.
- Antonina, A., Shazili, N.A.M., Kamaruzzaman, B.Y., Ong, M.C., Rosnan, Y. and Sharifah, F.N., 2013. Geochemistry of the Rare Earth Elements (REE) Distribution in Terengganu Coastal Waters: A Study Case from Redang Island Marine Sediment. Open Journal of Marine Science, 3(3): 154-159.
- Bouska, V., 1981. Geochemistry of Coal. Academia, Prague, 284 pp.
- Dai, S., Graham, I.T. and Ward, C.R., 2016. A review of anomalous rare earth elements and yttrium in coal. International Journal of Coal Geology, 159(1): 82-95.
- Dai, S., Jiang, Y., Ward, C.R., Gu, L., Seredin, V.V., Liu, H., Zhou, D., Wang, X., Sun, Y., Zou, J. and Ren, D., 2012. Mineralogical and geochemical compositions of the coal in the Guanbanwusu Mine, Inner Mongolia, China": further evidence for the existence of an Al (Ga and REE) ore deposit in the Jungar Coalfield. International Journal of Coal Geology, 98(1): 10-40.
- Dai, S.F., Li, D., Chou, C.L., Zhao, L., Zhang, Y., Ren, D.Y., Ma, Y.W. and Sun, Y.Y., 2008. Mineralogy and geochemistry of boehmite-rich coals: new insights from the Haerwusu Surface Mine, Jungar Coalfield, Inner Mongolia,

- China. *International Journal of Coal Geology*, 74(3–4): 185–202.
- Dai, S., Seredin, V.V., Ward, C.R., Hower, J.C., Xing, Y., Zhang, W., Song, W. and Wang, P., 2015. Enrichment of U–Se–Mo–Re–V in coals preserved within marine carbonate successions: geochemical and mineralogical data from the Late Permian Guiding Coalfield, Guizhou, China. *Mineralium Deposita*, 50(2): 159–186.
- Dai, S., Xie, P., Jia, S., Ward, C.R., Hower, J.C., Yan, X. and French, D., 2017. Enrichment of U–Re–V–Cr–Se and rare earth elements in the Late Permian coals of the Moxinpo Coalfield, Chongqing, China: Genetic implications from geochemical and mineralogical data. *Ore Geology Reviews*, 80(1): 1–17.
- Eskenazy, G.M., 1987. Rare earth elements and yttrium in lithotypes of Bulgarian coals. *Organic Geochemistry*, 11(2): 83–89.
- Finkelman, R.B., 1993. Trace and minor elements in coal. Plenum, New York, 607 pp.
- Fu, X., Wang, J., Zeng, Y., Tan, F. and Feng, X., 2010. REE geochemistry of marine oil shale from the Changshe Mountain area, northern Tibet, China. *International Journal of Coal Geology*, 81(4):191–199.
- Goldschmidt, V.N., 1933a. Rare elements in coal ashes. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 27(6): 1100–1105.
- Goldschmidt, V.M., 1933b. Grundlagen der quantitativen Geochemie. *Fortschritte der Mineralogie*, 17(2): 112–156
- Golzar, H., 2007. Mineralogy and geochemistry of coals in Mazino, Tabas. M.Sc. thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 121 pp.
- Hower, J.C., Granite, E.J., Mayfield, D.B., Lewis, A.S. and Finkelman, R.B., 2016. Notes on contributions to the science of rare earth element enrichment in coal and coal combustion by-products. *Minerals* 6(2): 32–41.
- Hower, J.C., Ruppert, L.F. and Eble, C.F., 1999. Lanthanide, yttrium, and zirconium anomalies in the fire clay coal bed, Eastern Kentucky. *International Journal of Coal Geology*, 39(2): 141–153.
- Ketris, M.P. and Yudovich, Y.E., 2009. Estimations of Clarkes for carbonaceous biolithes: world average for trace element contents in black shales and coals. *International Journal of Coal Geology*, 78(2): 135–148.
- Mohamadi, A., 2014. Thermal Coal Project-Exploration in the South Kouchek-Ali Coal Mine, Tabas. Kavesh Kansar Engineering Company, Tehran, 230 pp.
- More, F. and Esmaili, A., 2012. Mineralogy and geochemistry of the coals from the Karmozd and Kiasar coal mines, Mazandaran province, Iran. *International Journal of Coal Geology*, 97(1): 9–21.
- Murray, R.W. and Leinen, M., 1996. Scavenged excess aluminum and its relationship to bulk titanium in biogenic sediment from the central equatorial Pacific Ocean. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60(20): 3869–3878.
- Palmer, C.A., Lyons, P.C., Brown, Z.A. and Mee, J.S., 1990. The use of trace element concentrations in vitrinite concentrates and companion whole coals (hvA bituminous) to determine organic and inorganic associations. *Geological Society of America Special Papers*, 248(1): 55–62.
- Pazand, K., 2014. Geochemical properties of rare earth elements (REE) in coals of Abyek coalfield, North Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(8): 4855–4862.
- Pazand, K., 2015. Rare earth element geochemistry of coals from the Mazino Coal Mine, Tabas Coalfield, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(12): 10859–10869.
- Rantitsch, G., Melcher, F., Meisel, T. and Rainer, T., 2003. Rare earth, major and trace elements in Jurassic manganese shales of the Northern Calcareous Alps: hydrothermal versus hydrogenous origin of stratiform manganese deposits. *Mineralogy and Petrology*, 77(1–2): 109–127.
- Ren, D., Zhao, F., Wang, Y. and Yang, S., 1999. Distribution of minor and trace element in Chinese Coal. *International Journal of Coal Geology*, 40(2–3): 109–118.
- Schatzel, S.J. and Stewart, B.W., 2012. A provenance study of mineral matter in coal from Appalachian Basin coal mining regions and implications regarding the respirable health of underground coal workers: a geochemical and Nd isotope investigation. *International Journal of Coal Geology*, 94(1): 123–136.
- Seredin, V.V., 1996. Rare earth element-bearing

- coals form the Russian Far East deposits. *International Journal of Coal Geology*, 30(1-2):101-129.
- Seredin, V.V. and Dai, S., 2012. Coal deposits as potential alternative sources for lanthanides and yttrium. *International Journal of Coal Geology*, 94(1): 67-93.
- Seyed-Emami, K., Schairer, G., Fürsich, F.T., Wilmsen, M. and Majidifard, M.R., 2000. First record of ammonites from the Badamu Formation at the Shotori Mountains (Central Iran). *Eclogae Geologiae Helvetiae*, 93(2): 257-263.
- Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: A review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52(7): 1229-1258.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, 312 pp.
- Van der Flier-Keller, E., 1993. Rare earth elements in western Canadian coals. *Energy Sources*, 15(4): 623-638.
- Wang, W., Qin, Y., Sang, S., Zhu, Y., Wang, C. and Weiss, D.J., 2008. Geochemistry of rare earth elements in a marine influenced coal and its organic solvent extracts from the antaibao mining district, Shanxi, China. *International Journal of Coal Geology* 76(4): 309-317.
- Wang, W., Qin, Y., Wei, C., Li, Z., Guo, Y. and Zhu, Y., 2007. Partitioning of elements and macerals during preparation of Antaibao coal. *International Journal of Coal Geology*, 68(3): 223-232.
- Wilmsen, M., Fürsich, F., Seyed-Emami, K., Majidifard, M. and Zamani-Pedram, M., 2010. Facies analysis of a large-scale Jurassic shelflagoon: the Kamar-e-Mehdi Formation of east-central Iran. *Facies*, 56(1): 59-87.
- Yazdi, M., 2009. *Coal (From origin to environmental impacts)*. Jahad Daneshgahi, Tehran, 280 pp.
- Yudovich, Y.E. and Ketris, M.P., 2006. Valuable trace elements in coal. *Academy of Sciences, Ekaterinburg*, 538 pp.



Geochemical properties of major and rare earth elements in the South Kouchek-Ali Coal Mine, Tabas

Marzieh Alimolaei and Balandeh Aminzadeh*

Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Submitted: Oct. 30, 2017

Accepted: May 12, 2018

Keywords: Coal, Rare earth elements, Major elements, Kouchek –Ali, Tabas Coalfield

Introduction

The rare earth elements (REEs) are classified into light (La, Ce, Pr, Nd, and Sm), medium (Eu, Gd, Tb, Dy, and Y), and heavy (Ho, Er, Tm, Yb, and Lu) groups (Seredin and Dai, 2012). Goldschmidt (1933) was the first to study the REEs in coal in some detail. In recent years, REEs in coal have received much more attention owing to their stable geochemical characteristics and potential economic value (Seredin, 1996; Seredin and Dai, 2012; Rantitsch et al., 2003; Fu et al., 2010). Coal deposits have since become an important alternative source for REEs (Seredin and Dai, 2012; Hower et al., 2016). However, unusual REE anomalies in coal basins have not attracted special attention, because it seems that there are sufficient resources of these metals in conventional deposits (e.g., carbonatites, alkaline granites, and weathering crusts) (Seredin and Dai, 2012). The aim of this study is to assess REE content in the South Kouchek -Ali coal mine, located in the Central Iran Coal Basin, about 65 km southwest of the city of Tabas.

Materials and methods

Samples were collected from the South Kouchek-Ali coal mine that includes 3 coal samples, five coaly shales. The samples were analyzed by X-ray fluorescence spectrometry (XRF) for major elements. REEs were analyzed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).

Results

The concentration of rare earth elements of the South Kouchek-Ali coal mine may have resulted

in background rare earth elements in the primary mineral matter. The concentration of rare earth elements of south kouchek -Ali coal mine has been determined, and the range of these elements in representative studied samples is compared with the worldwide, Chinese and USA coals. Rare earth elements show positive correlation with major elements, indicating that these elements are mainly associated with clay mineral. Positive correlations of \sum REEs with Al_2O_3 , SiO_2 , and TiO_2 suggest that the REEs are mainly derived from detrital sources and occur dominantly in kaolinite and illite. The concentrations of \sum REEs in representative samples range from 69.54 to 113.06 ppm with an average value of 127.94 ppm, higher than the average \sum REE content of the USA (53.59 ppm) (Finkelman, 1993) and worldwide coals (68ppm) (Yudovich and Ketris, 2006), but lower than that of average Chinese coals (162.51 ppm) (Dai et al., 2008). The abundance of light rare earth elements is higher relative to heavy rare earth elements. Light rare earth elements may have resulted in high background LREEs in primary mineral matter.

Discussion

The South Kouchek-Ali coal mine occurs in the Middle Jurassic Hojedk Formation, and is located in the western part of the Tabas coalfield. The Hojedk Formation mainly consists of shale, sandstone and carbonate rocks. The concentration of rare earth elements of the South Kouchek-Ali coal mine has been determined, and the range of these elements in coal samples studied is compared with the worldwide types of coal. The

*Corresponding authors Email: aminzadeh85@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.22067/econg.v11i2.68357>

Ozbak-Kuh granites have been identified at the north of the Tabas Coal Basin, and Narigan, Zarigan, Chadormalou, and Saghand granites have been identified in the west of the Tabas Basin. During the accumulation of coal-bearing formations, the supply of terrigenous materials originated from here (Pazand, 2015).

Acknowledgement

We appreciate the help of Mr. Rafia, the director of Tabas Coal mining company, plus Mr. Zahedi and Mr. Gholami for taking samples.

References

- Dai, S.F., Li, D., Chou, C.L., Zhao, L., Zhang, Y., Ren, D.Y., Ma, Y.W. and Sun, Y.Y., 2008. Mineralogy and geochemistry of boehmite-rich coals: new insights from the Haerwusu Surface Mine, Jungar Coalfield, Inner Mongolia, China. *International Journal of Coal Geology*, 74(3–4): 185–202.
- Finkelman, R.B., 1993. Trace and minor elements in coal. Plenum, New York, 607 pp.
- Fu, X., Wang, J., Zeng, Y., Tan, F. and Feng, X., 2010. REE geochemistry of marine oil shale from the Changshe Mountain area, northern Tibet, China. *International Journal of Coal Geology*, 81(4):191–199.
- Goldschmidt, V.N., 1933a. Rare elements in coal ashes. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 27(6): 1100–1105.
- Hower, J.C., Granite, E.J., Mayfield, D.B., Lewis, A.S. and Finkelman, R.B., 2016. Notes on contributions to the science of rare earth element enrichment in coal and coal combustion by-products. *Minerals* 6(2): 32–41.
- Pazand, K., 2015. Rare earth element geochemistry of coals from the Mazino Coal Mine, Tabas Coalfield, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(12): 10859–10869.
- Rantitsch, G., Melcher, F., Meisel, T. and Rainer, T., 2003. Rare earth, major and trace elements in Jurassic manganese shales of the Northern Calcareous Alps: hydrothermal versus hydrogenous origin of stratiform manganese deposits. *Mineralogy and Petrology*, 77(1–2): 109–127.
- Seredin, V.V., 1996. Rare earth element-bearing coals from the Russian Far East deposits. *International Journal of Coal Geology*, 30(1–2):101–129.
- Seredin, V.V. and Dai, S., 2012. Coal deposits as potential alternative sources for lanthanides and yttrium. *International Journal of Coal Geology*, 94(1): 67–93.
- Yudovich, Y.E. and Ketris, M.P., 2006. Valuable trace elements in coal. Academy of Sciences, Ekaterinburg, 538 pp.