

به نام خداوند بخشنده مهربان



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی

زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانسار زغال‌سنگ طزره، شمال دامغان

نگارنده:

عافیه تاتار

استاد راهنما:

دکتر مسعود علی‌پور اصل

تیر ۱۳۹۶

به نام پروردگار بخشنده و مهربان

شکر خدای را که هر چه طلب کردم از خدا، بر نتهای خود کامران شدم. سپاسگذار کسانی، هستم که سر آغاز تولد من، هستند. از یکی زاده شوم و از دیگری جاودانه. استادانی که سپیدی را بر تخته سیاه زندگیم گذاشتند و مادری که تار مویی از او پایی من سیاه نماند.

از قبیله‌ی سبز نجابت بوده است و بازبان مردم بهشت سخن می‌گوید، جاده‌ای از ابریشم ایمان بر سردارد و قلبش به عرش خدای ماند که به اندازه حقیقت خدا بزرگ است. بی آنکه کسی بداند خدا دانه‌ی مابوده است بی آنکه کسی بداند آفتاب از مشرق صدای او در من طلوع می‌کرد. من صدای خدا را از صدای قلب او می‌شنوم، مادرم سپاسگذارم... پدر و برادر عزیزم به خاطر وجودتان خدا را شاکرم.

جناب آقای دکتر علی پور استاد راهنمای کرامی: شما روشنیایی، بخش تاریکی جان، هستی و ظلمت اندیشه را نور می‌بخشی. چگونه سپاس گویم مهربانی و لطف شما را که سرشار از معرفت و اخلاق است. چگونه سپاس گویم تأثیر علم آموزی شما را که چراغ روشن هدایت را بر کلبه‌ی محقر وجودم فروزان ساخته است. آری در مقابل این همه عظمت و شکوه شما رانه‌توان سپاس است و نه کلام و صف.

از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر فردوست که در کمال سه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ گلی در این عرصه بر من دریغ ننمودند. کمال شکر و قدردانی را دارم باشد که این پایان نامه بخشی از زحمات ایشان را سپاس گوید. از همکلاسی ها و دوستانم به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند قدردانی می‌کنم.

تعهد نامه

اینجانب **عافیه تاتار** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **زمین شناسی اقتصادی** دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده زمین شناسی، **کانی شناسی و ژئوشیمی کانسار زغال سنگ طزره، شمال دامغان** به راهنمایی جناب آقای **دکتر مسعود علی پور اصل** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (با بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ:

امضای دانشجو:

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

مقالات بر گرفته از پایان نامه:

۱- زمین‌شناسی و سنگ‌نگاری نهشته‌های زغال‌سنگی طزره، البرز خاوری، سومین کنگره ملی زغال-

سنگ ایران، شهریور ۹۵.

۲- سنگ‌نگاری و ژئوشیمی نهشته‌های آواری سازند طزره در البرز شرقی، با نگرش ویژه به

منشأ و موقعیت زمین ساختی آن‌ها، بیست و چهارمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی

ایران، بهمن ۹۵.

چکیده

محدوده معدنی طزره در ۴۰ کیلومتری شمال دامغان، در زون زمین ساختی البرز شرقی واقع گردیده، و متعلق به یک ناودیس بزرگ با امتداد شرقی - غربی، تحت عنوان ناودیس میاناب می‌باشد. رسوبات زغال دار این منطقه بخشی از سازند شمشک به سن تریاس بالایی - ژوراسیک زیرین هستند که از پایین به سنگ آهک‌های دولومیتی الیکا و از بالا به سنگ‌های آهکی سازند دلیچای محدود می‌شوند. در منطقه طزره سازند شمشک به سه زیربخش به نام‌های پشکلات، آسیاب و کلاریز تقسیم می‌شود که از نظر چینه‌شناسی رسوبات زغال دار متعلق به زیر بخش‌های کلاریز و پشکلات می‌باشند. ماسه‌سنگ‌های در برگیرنده لایه‌های زغال‌سنگی دارای کوارتز، پلاژیوکلاز، میکروکلین، مسکوویت، زیرکن، تورمالین و آناتاز و شیل‌ها دارای کوارتز، پلاژیوکلاز و کانی‌های رسی هستند که بر اساس نام‌گذاری فولک، ماسه‌سنگ‌ها در محدوده ساب لیت آرنایت تا لیت آرنایت و شیل‌های منطقه تحت عنوان شیل‌های سیلتی و شیل‌های ماسه‌ای نام‌گذاری شده‌اند. پیریت، کالکوپیریت، کائولینیت و کوارتز کانی‌های موجود در زغال‌سنگ طزره هستند که در این میان کوارتز و کانی‌های رسی فراوانی بیشتری دارند. بر اساس مطالعات پتروگرافی بر روی زغال‌سنگ‌ها، گروه‌های ویتروکسیت، اینترتینیت و لیپتینیت به ترتیب دارای بیشترین، متوسط و کمترین فراوانی در این زغال‌سنگ‌ها می‌باشند. بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های در بردارنده زغال‌سنگ در حوضه‌های کششی پشت کمان و در محیط زمین ساختی فعال تشکیل شده‌اند. مقدار متوسط $\sum REE$ در نمونه‌های ماسه‌سنگی ppm ۱۶۵ و شیل ppm ۱۸۷ می‌باشد که بیشتر از ترکیب شیل آمریکای شمالی (۱۷۳ ppm) و پوسته قاره‌ای (۱۴۶ ppm) می‌باشد. این سنگ‌ها دارای غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE هستند و عناصر Eu و Ce در آن‌ها دارای آنومالی مثبت هستند. زغال‌سنگ‌های طزره در مقایسه با زغال‌سنگ‌های جهان به دلیل حضور کانی‌های ایلیت، مسکوویت و کلریت غنی از MgO و K_2O می‌باشند. ضریب غنی‌شدگی عناصر کمیاب زغال‌سنگ طزره نسبت به زغال‌سنگ‌های جهان و چین به ترتیب ۴/۶ و ۷/۱۹ می‌باشد. مقدار متوسط $\sum REE$ در زغال‌سنگ طزره ppm ۴۰۴ است که بیشتر از $\sum REE$ در کندریت (۲/۲۵ ppm)، کلارک زغال‌سنگ‌های جهان (۶۸ ppm)، زغال‌سنگ‌های چین (۱۳۸ ppm) و زغال‌سنگ آمریکا (۶۲ ppm) می‌باشد. تحلیل خوشه‌ای داده‌های ژئوشیمی زغال‌سنگ طزره همبستگی مثبت قوی REE با عناصر Be, Se, U, Y و همبستگی منفی بالای آن را با عناصر Cs, K, Mg, Mn, Rb, Ti و Al نشان می‌دهند. خاکستر کنسانتره زغال‌سنگ طزره دارای بالاترین میزان REE است که در مقایسه با خاکستر زغال‌سنگ‌های جهان در حدود ۱/۴ برابر می‌باشد که این غنی‌شدگی در مورد عناصر Eu, Er, Y و Ce برجسته است. بر پایه نتایج تحقیق لایه‌های زغال‌سنگ زیر بخش کلاریز مستعد اکتشاف عناصر کمیاب و نادر خاکی می‌باشد.

کلمات کلیدی: ژئوشیمی، عناصر نادر خاکی، زغال‌سنگ، خاکستر زغال‌سنگ، طزره.

فهرست مطالب

عنوان	فصل اول: کلیات	صفحه
۱-۱- مقدمه		۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به معدن طزره		۲
۱-۲-۱- اقلیم‌شناسی		۳
۳-۱- طبقه‌بندی انواع زغال سنگ		۴
۴-۱- پتروگرافی زغال سنگ		۷
۱-۴-۱- اجزای ماکروسکوپی زغال سنگ		۸
- لیتوتایپ‌ها		۸
۱-۴-۲- اجزای میکروسکوپی زغال سنگ		۹
- ماسرال‌ها یا اجزای میکروسکوپی زغال سنگ		۱۰
الف- هومونیت / ویترینیت		۱۰
ب- اینرتینیت		۱۳
ج- لیپتینیت		۱۴
۱-۵- کانی‌ها یا سازندگان معدنی زغال سنگ		۱۶
۱-۶- ذخایر زغال سنگ در جهان		۱۷
۱-۶-۱- تولید، صادرات و واردات زغال سنگ در جهان		۱۸
۱-۷- گسترش زمانی و مکانی نهشته‌های زغال‌سنگی در جهان		۱۸

- ۸-۱- وضعیت و جایگاه زغال سنگ در ایران..... ۱۹
- ۹-۱- گسترش زمانی و مکانی نهشته‌های زغال سنگ در ایران..... ۲۰
- ۱۰-۱- حوضه‌های زغال سنگی در ایران..... ۲۱
- الف- حوضه‌های زغال سنگی ایران مرکزی..... ۲۱
- ب- حوضه‌های زغال سنگی البرز..... ۲۱
- ۱۱-۱- تکتونیک نهشته‌های زغال سنگی در ایران..... ۲۳
- ۱۲-۱- طبقه‌بندی زغال سنگ‌های ایران..... ۲۴
- ۱۳-۱- طرح مسئله و ضرورت تحقیق..... ۲۶
- ۱۴-۱- مطالعات پیشین..... ۲۷
- ۱۵-۱- روش انجام تحقیق و گردآوری اطلاعات..... ۲۸
- ۱۶-۱- برداشت‌های صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی و دفتری..... ۲۸
- الف- نمونه‌برداری..... ۲۸
- ب- تهیه مقاطع نازک و صیقلی..... ۲۹
- ت- مطالعه پراش اشعه ایکس یا XRD..... ۳۰
- ث- تجزیه شیمیایی نمونه‌های سنگ و کانسنگ زغال..... ۳۱

فصل دوم: زمین شناسی

- ۱-۲- زمین شناسی ناحیه‌ای..... ۳۴
- ۱-۱-۲- زمین شناسی البرز..... ۳۴

- ۳۶-۲-۱-۲- تکتونیک البرز.....
- ۳۷- تکتونیک منطقه طزره.....
- ۳۸-۳-۱-۲- رسوبات زغال دار در البرز شرقی.....
- ۴۰-۲-۲- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده معدنی.....
- ۴۱-۱-۲-۲- واحدهای سنگی موجود در محدوده معدنی طزره.....
- ۴۲- بخش رزمجا (T_{3rz}).....
- ۴۴- زیر بخش کلاریز (T_{3kl}).....
- ۴۹- زیر بخش پشکلات (J_{1psh}).....
- ۵۲- بخش روازه (J_{1rv}).....
- ۵۲-۲-۲- ویژگی‌های پتروگرافی زغالسنگ.....
- ۵۳-۳-۲-۲- ویژگی‌های پتروگرافی لایه‌های زغال سنگی منطقه طزره.....
- ۵۶-۴-۲-۲- محیط رسوبی دیرینه.....

فصل سوم: ژئوشیمی سنگ منیریان

- ۶۰-۱-۳- مقدمه.....
- ۶۱-۲-۳- ژئوشیمی عناصر اصلی.....
- ۶۵-۱-۲-۳- طبقه بندی شیمیایی سنگ های رسوبی بر اساس اکسیدهای اصلی.....
- ۶۶-۲-۲-۳- تمایز موقعیت زمین ساختی با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی.....
- ۶۷- نمودار روزر و کرش، ۱۹۹۸.....

- ۳-۲-۳- نمودار متمایزکننده ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از عناصر اصلی ۶۸
- ۳-۳- ژئوشیمی عناصر کمیاب ۶۹
- ۳-۳-۱- ترکیب سنگ مادر اولیه و موقعیت تکتونیکی ۷۰
- ۳-۳-۲- نمودار متمایزکننده ماسه‌سنگ‌ها بر اساس عناصر کمیاب ۷۲
- ۳-۳-۳- نمودارهای متمایزکننده سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از عناصر کمیاب ۷۳
- ۳-۴- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی ۷۴

فصل چهارم: ژئوشیمی زغال‌سنگ طزره

- ۴-۱- ژئوشیمی زغال‌سنگ ۸۰
- ۴-۲- ژئوشیمی عناصر اصلی ۸۳
- ۴-۲-۱- اکسیدهای عناصر اصلی در لایه‌های زغال‌سنگی منطقه طزره ۸۳
- ۴-۳- ژئوشیمی عناصر کمیاب ۸۶
- ۴-۴- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی ۹۱
- ۴-۵- پارامترهای ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی ۹۸
- ۴-۶- مطالعه تغییرات عناصر در مقاطع چینه‌شناسی ۱۰۲
- ۴-۷- مقایسه ترکیب شیمیایی زغال‌سنگ خام، کنسانتره و باطله زغال‌سنگ طزره ۱۰۴
- ۴-۸- ضریب همبستگی عناصر ۱۰۵
- ۴-۹- خاکستر و باطله‌های حاصل از احتراق زغال‌سنگ ۱۰۷
- ۴-۱۰- ارزیابی عناصر نادر خاکی در خاکستر زغال‌سنگ طزره ۱۱۱

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

- ۵-۱- نتیجه گیری ۱۱۴
- ۵-۲- زمین شناسی و سنگ شناسی ۱۱۴
- ۵-۳- ژئوشیمی سنگ های میزبان ۱۱۶
- ۵-۴- ژئوشیمی زغال سنگ ۱۱۷
- ۵-۵- پیشنهادها ۱۲۰
- منابع ۱۲۲

فهرست شکل؛

- شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به معدن طزره. ۳
- شکل (۱-۲) انواع زغال‌سنگ بر اساس درجه زغالی شدن. ۵
- شکل (۱-۳) انواع زغال‌سنگ و کاربرد آن‌ها بر اساس طبقه‌بندی کمیسیون اقتصادی اروپا. ۷
- شکل (۱-۴) ذخایر کشورهای برتر تولیدکننده زغال‌سنگ. ۱۸
- شکل (۱-۵) گسترش و پراکندگی ذخایر زغال‌سنگ در جهان. ۱۹
- شکل (۱-۶) گسترش سازندهای تریاس بالایی - ژوراسیک میانی مستعد زغال در ایران. ۲۱
- شکل (۱-۷) دوران‌های زمین‌شناسی، دوره‌های زغالی و فازهای تکتونیکی زغال ساز ایران. ۲۴
- شکل (۲-۱) نقشه ساختاری ایران و موقعیت منطقه مورد مطالعه. ۳۶
- شکل (۲-۲) نقشه توزیع سازند شمشک در البرز مرکزی و شرقی که منطقه مورد مطالعه. ۴۰
- شکل (۲-۳) الف) سازند کربناته دلیچای که با ناپیوستگی فرسایشی بر روی سازند شیلی. ۴۲
- شکل (۲-۴) نقشه زمین‌شناسی بازنگری شده محدوده معدن زغال طزره که مجموعه‌های رزمجا. ۴۳
- شکل (۲-۵) الف) نمایی از افق کوارتزیتی قاعده زیر بخش کلاریز؛ ب) توالی شیلی. ۴۶
- شکل (۲-۶) الف) الگوی نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه شیل زیر بخش کلاریز. ۴۶
- شکل (۲-۷) تصاویر میکروسکوپی از مقاطع نازک لیت آرنایت، سیلتستون و شیل کلاریز. ۴۷
- شکل (۲-۸) نمایی از مرز میان زیربخش آسیاب و کلاریز؛ ب) مقطع کاملی از زیربخش آسیاب. ۴۸
- شکل (۲-۹) الف) تصویر میکروسکوپی ماسه سنگ (لیت آرنایت) زیربخش آسیاب. ۴۹
- شکل (۲-۱۰) الف) نمایی از مرز میان زیر بخش پشکلات با زیر بخش آسیاب. ۵۰

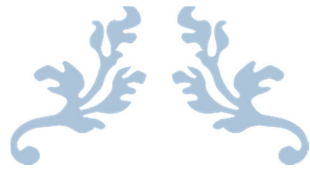
- شکل (۲-۱۱) تصاویر میکروسکوپی (نور پلاریزان) از مقاطع نازک لیت آرنایت و شیل ۵۱
- شکل (۲-۱۲) الگوی نتایج پراش پرتو ایکس نمونه‌های شیل ۵۲
- شکل (۲-۱۳) تصویر میکروسکوپی ماسرال‌های دیده‌شده در زغال‌سنگ‌های منطقه طزره ۵۶
- شکل (۳-۱) نمودار مقایسه‌ای میانگین عناصر اصلی ماسه‌سنگ و شیل‌های طزره ۶۴
- شکل (۳-۲) الگوی توزیع بهنجار شده عناصر اصلی نسبت به مقادیر زمینه مرجع (NASC) ۶۴
- شکل (۳-۳) طبقه‌بندی چند متغیره ماسه‌سنگ‌های محدوده معدنی طزره ۶۶
- شکل (۳-۴) نمودار متمایزکننده ویژگی‌های خاستگاه مجموعه‌های ماسه‌سنگی ۶۸
- شکل (۳-۵) نمودار سه‌تایی (Kroonenberg (1994)، داده‌های اکسیدهای اصلی ۶۹
- شکل (۳-۶) الگوی توزیع بهنجار شده عناصر کمیاب نسبت به مقادیر زمینه مرجع (UC) ۷۰
- شکل (۳-۷) نمودار متمایزکننده ماسه‌سنگ‌ها بر اساس La-Th-Sc ۷۲
- شکل (۳-۸) الف و ب- نمودارهای دوتایی تعیین‌کننده سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌ها ۷۳
- شکل (۳-۹) نمودار مقایسه‌ای عناصر نادر خاکی در نمونه‌های ماسه سنگ و شیل ۷۶
- شکل (۳-۱۰) الگوی توزیع بهنجار شده نسبت به UC و NASC برای عناصر نادر ۷۷
- شکل (۴-۱) نمودار مقایسه‌ای عناصر اصلی نمونه‌های مورد مطالعه در معدن طزره ۸۴
- شکل (۴-۲) نمودار مقایسه‌ای میانگین نمونه‌های زغال‌سنگی طزره با زغال‌سنگ‌های جهان ۸۵
- شکل (۴-۳) مقایسه اکسیدهای اصلی لایه‌های زغال‌سنگی کلاریز و پشکلات در معدن طزره ۸۵
- شکل (۴-۴) ضریب غنی‌شدگی (CC)، عناصر کمیاب در نمونه‌های زغالی (الف)، شیل زغالی ۹۰
- شکل (۴-۵) جدول تناوبی عناصر که گروه لانتانیدها بر روی آن مشخص شده است ۹۱
- شکل (۴-۶) نمودار مقایسه‌ای مقادیر عناصر نادر خاکی (ppm) موجود در نمونه‌ها ۹۵

- شکل (۷-۴) نمودار مقایسه‌ای مقادیر REY در نمونه‌های شیل زغالی، شیل آرژیلی ۹۵
- شکل (۸-۴) مقایسه مقادیر LREE, MREE, HREE موجود در نمونه‌های معدن طزره ۹۷
- شکل (۹-۴) مقدار متوسط مجموع LREE, MREE, HREE در نمونه‌های معدن طزره ۹۷
- شکل (۱۰-۴) الگوی توزیع بهنجار شده نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی (UCC) ۹۹
- شکل (۱۱-۴) الگوی توزیع بهنجار شده نسبت به کندریت ها برای عناصر نادر خاکی ۱۰۰
- شکل (۱۲-۴) مقدار متوسط LREE/HREE در نمونه‌های شیل زغالی ۱۰۱
- شکل (۱۳-۴) نمودار تغییرات عناصر نادر خاکی (LREE, MREE, HREE) ۱۰۳
- شکل (۱۴-۴) نمودار تغییرات عناصر نادر خاکی (LREE, MREE, HREE) ۱۰۳
- شکل (۱۵-۴) نمودار مقایسه ای میانگین فراوانی عناصر نادر خاکی (ppm) ۱۰۴
- شکل (۱۶-۴) دیاگرام خوشه‌ای عناصر اصلی، عناصر کمیاب و نادر خاکی ۱۰۷
- شکل (۱۷-۴) نمودار مقایسه‌ای مقادیر عناصر نادر خاکی (ppm) موجود در نمونه‌ها ۱۱۰
- شکل (۱۸-۴) نمودار مقایسه ای LREE, MREE, HREE در خاکستر زغال سنگ‌های ۱۱۰
- شکل (۱۹-۴) نمودار توزیع مقادیر عناصر نادر خاکی و ایتريوم در نمونه‌ها ۱۱۰
- شکل (۲۰-۴) نمودار مقایسه ای میانگین فراوانی REY در نمونه‌های زغال سنگی ۱۱۱
- شکل (۲۱-۴) ارزیابی REY در لایه‌های زغال سنگی، خاکستر زغال سنگ و سنگ‌های ۱۱۲

فهرست جدول؛

- جدول (۱-۱) زیرگروه‌های ماسرالی گروه هومونیت به همراه ویژگی‌های پتروگرافی ماسرال‌های..... ۱۱
- جدول (۱-۲) زیرگروه ماسرالی گروه ویتترینیت به همراه ویژگی‌های پتروگرافی ماسرال‌های..... ۱۲
- جدول (۱-۳) ویژگی‌های پتروگرافی ماسرال‌های گروه اینرتینیت..... ۱۴
- جدول (۱-۴) ویژگی‌های پتروگرافی ماسرال‌های لیپتینیت..... ۱۵
- جدول (۱-۵) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زغال‌سنگ‌های منطقه طزره..... ۲۳
- جدول (۱-۶) طبقه‌بندی زغال‌سنگ‌های ایران به روش روسی..... ۲۵
- جدول (۳-۱) نمونه‌های ماسه‌سنگی انتخاب‌شده برای آنالیز به روش شیمیایی..... ۶۳
- جدول (۳-۲) فراوانی اکسیدهای اندازه‌گیری شده (برحسب درصد وزنی) در ماسه‌سنگ‌ها..... ۶۳
- جدول (۳-۳) فراوانی عناصر کمیاب اندازه‌گیری شده (برحسب PPM)..... ۷۱
- جدول (۳-۴) نسبت‌های عناصر کمیاب در نمونه‌های مورد مطالعه با مقادیر زمینه مرجع..... ۷۱
- جدول (۳-۵) عناصر نادر خاکی نمونه‌های ماسه‌سنگ و شیل طزره..... ۷۵
- جدول (۳-۶) پارامترهای ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی در نمونه‌های ماسه سنگ و شیل طزره..... ۷۶
- جدول (۴-۱) نمونه‌های زغال‌سنگی معدن طزره برای آنالیز به روش شیمیایی..... ۸۲
- جدول (۴-۲) مقدار اکسیدهای اصلی (wt%) لایه‌های زغال‌سنگی شیل زغالی منطقه طزره..... ۸۴
- جدول (۴-۳) مقدار عناصر کمیاب (ppm) موجود در لایه‌های زغال‌سنگی و شیل زغالی..... ۸۸
- جدول (۴-۴) مقایسه مقادیر عناصر کمیاب (ppm) موجود در نمونه‌های زغال‌سنگ..... ۸۹
- جدول (۴-۵) تیپ‌های اصلی تمرکز عناصر نادر در زغال سنگ‌ها..... ۹۲

- جدول (۴-۶) مقادیر عناصر نادر خاکی (ppm) موجود در نمونه‌های معدن طزره. ۹۳
- جدول (۴-۷) مقایسه مقادیر عناصر نادر خاکی (ppm) موجود در لایه‌های زغال سنگی. ۹۴
- جدول (۴-۸) مقایسه مقادیر عناصر نادر خاکی (ppm) موجود در نمونه‌های زغال سنگ. ۹۶
- جدول (۴-۹) پارامترهای ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی در لایه‌های زغال سنگی معدن طزره. ۱۰۲
- جدول (۴-۱۰) مقایسه میانگین فراوانی عناصر نادر خاکی (ppm) در نمونه‌های زغال خام. ۱۰۴
- جدول (۴-۱۱) ضرایب همبستگی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی لایه‌های زغال سنگی. ۱۰۶
- جدول (۴-۱۲) مقایسه مقادیر عناصر نادر خاکی و ایتیریم (ppm) موجود در نمونه. ۱۰۸
- جدول (۴-۱۳) فراوانی REY در ۶ نمونه خاکستر زغال سنگ صنعتی اروپا. ۱۰۹



فصل اول کلیات



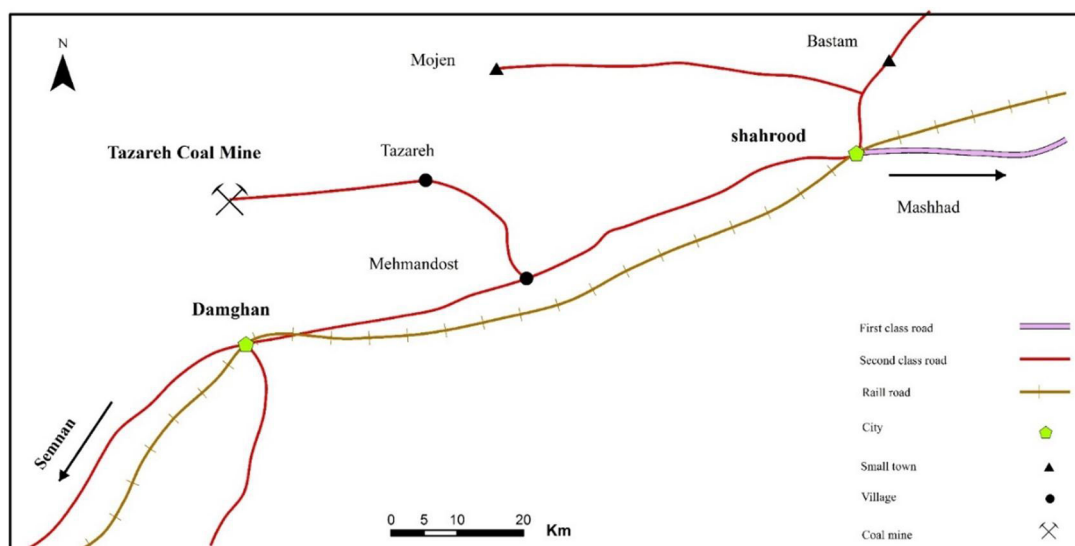
۱-۱- مقدمه

بشر از آغاز پیدایش پیوسته برای ادامه زندگی به زمین و مواد تشکیل دهنده آن متکی بوده است. بنابراین کانی‌های موجود در پوسته زمین به نسبت اهمیت، همیشه مورد توجه انسان بوده و تلاش برای یافتن کانسارهای جدید و یا گسترش و استفاده هر چه بیشتر از کانسارهای موجود همچنان ادامه دارد. به طور ساده می‌توان گفت که ادامه زندگی بدون وجود مواد معدنی امکان‌پذیر نیست و با توجه به پیشرفت روزافزون در استفاده از این مواد در صنایع مختلف هم‌اکنون عناصر کمیاب و نادر خاکی یکی از ارکان اصلی در اقتصاد هر مملکت محسوب می‌شود. عناصر کمیاب و نادر خاکی از جایگاه ویژه‌ای در میان مواد معدنی برخوردار می‌باشند، هرچند این عناصر از کانسنگ‌های مختلفی بهره‌برداری و استحصال می‌شوند ولی در این بین زغال‌سنگ‌ها نیز به عنوان منابع معدنی غیرمتعارف این عناصر مطرح هستند. در ایران زون‌های زمین ساختی البرز و ایران مرکزی معادن و کانسارهای بزرگی از زغال‌سنگ را دارا می‌باشند، ولی تابه‌حال اهمیت چندانی برای پی‌جویی عناصر کمیاب و نادر خاکی داده نشده است. بنابراین مطالعه زمین‌شناسی و ژئوشیمی عناصر کمیاب در کانسارهای زغال‌سنگ ایران توجیه‌پذیر می‌باشد. معدن زغال‌سنگ طزره یکی از معادن فعال در استان سمنان و پهنه البرز شرقی می‌باشد و به عنوان یک مطالعه موردی برای بررسی ژئوشیمی عناصر کمیاب و نادر خاکی برای موضوع تحقیق حاضر انتخاب گردید است. در چارچوب این مطالعه زغال‌سنگ‌های طزره از جهات مختلف زمین‌شناسی، سنگ‌نگاری، کانی‌شناسی و ژئوشیمی بررسی شده که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به معدن طزره

منطقه معدنی طزره در طول‌های جغرافیایی $54^{\circ} 18'$ تا $54^{\circ} 30'$ شرقی و در عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ} 23'$ تا $36^{\circ} 27'$ شمالی و در بخش مرکزی شهرستان دامغان و در ۴۰ کیلومتری شمال دامغان با ارتفاع ۱۷۵۰ متری از سطح آب‌های آزاد قرار گرفته که دسترسی به منطقه موردنظر

از طریق جاده انحرافی که در ۳۵ کیلومتری جاده شاهرود _ دامغان به طول ۳۵ کیلومتر به طرف شمال کشیده شده، امکان پذیر می باشد (شکل ۱-۱).



شکل (۱-۱) موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به معدن طزره.

معدن زغال سنگ طزره یکی از مجموعه های معدنی تحت پوشش شرکت زغال سنگ البرز شرقی بوده که محدوده وسیعی با مساحت حدود ۲۷۰ کیلومترمربع را در برمی گیرد و سابقه معدنکاری منطقه به ۳۰ سال و میزان استخراج روزانه زغال سنگ به ۲۰۰۰ تن در روز می رسد.

۱-۲-۱- اقلیم شناسی

آب و هوای منطقه مورد مطالعه کوهستانی بوده و در فصل تابستان دارای تغییرات دمایی بین ۱۰+ تا ۳۵+ درجه سانتی گراد در هر شبانه روز می باشد، در حالی که در زمستان دمای هوا عموماً از ۱۰+ تا ۲۰- سانتی گراد تغییر می کند. بارش حدود ۱۵۰ میلی متر برف به همراه وزش بادهایی با جهت غالباً غرب به شرق تا شمال غرب به جنوب شرق، از دیگر ویژگی های منطقه می باشد.

۱-۳- طبقه‌بندی انواع زغال سنگ

زغال سنگ ماده‌ای غیر همگن و ترکیبی از مواد آلی و معدنی است که طبقه‌بندی آن تا حدودی به منشأ مواد اولیه زغال سنگ، زمان تشکیل، تغییرات انجام گرفته در مرحله زغالی شدن و بسیاری از عوامل دیگر همچون میزان مواد فرار، خواص کک دهی و غیره وابسته است. با توجه به این عوامل، زغال سنگ‌ها را به شیوه‌های گوناگونی طبقه‌بندی می‌کنند که از این میان طبقه‌بندی بر اساس درجه زغال شدن رایج‌ترین شیوه طبقه‌بندی برای زغال سنگ‌ها می‌باشد. از آنجاکه با این طبقه‌بندی می‌توان به بسیاری از پارامترهای مهم زغال سنگ مانند ارزش حرارتی، خواص کک دهی و مواد فرار پی برد، لذا از دیدگاه مسائل کاربردی و علمی این طبقه‌بندی از اهمیت و جایگاه خاصی برخوردار است [۱].

بر اساس درجه زغالی شدن، زغال سنگ‌ها را به ۵ نوع متفاوت تقسیم می‌کنند، که به ترتیب افزایش درجه زغالی شدن عبارت‌اند از:

۱- تورب^۱: یا زغال سنگ نارس، جسمی قهوه‌ای رنگ و متخلخل که ضمن لمس، دست را به رنگ قهوه‌ای درمی‌آورد.

۲- لیگنیت^۲: این زغال سنگ با نام زغال سنگ قهوه‌ای نرم نیز شناخته می‌شود و در مرحله پس از تورب زایی به وجود می‌آید. اصولاً لیگنیت‌ها درجه زغال شدگی پایینی دارند و هنوز مقداری از بقایای چوبی، برگ و پوست گیاهان را در آن‌ها می‌توان مشاهده نمود. رنگ لیگنیت سیاه متمایل به قهوه‌ای تا سیاه و متخلخل است.

۳- نیمه بیتومینه^۳: این زغال سنگ‌ها حفاصل زغال سنگ‌های لیگنیت و بیتومینه هستند و به این دلیل به آن‌ها زغال سنگ شبه بیتومینه می‌گویند. این زغال سنگ‌ها به آسانی می‌سوزند و دارای شعله‌ای روشن همراه با دود هستند و گاز زیادی تولید می‌کنند. فضاهای خالی زیاد

^۱ : Peat

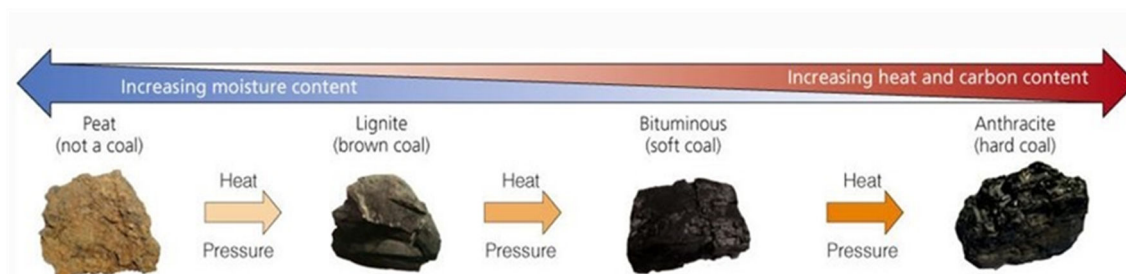
^۲ : Lignite

^۳ : Sub-bituminus

موجود در بافت این زغال سنگ‌ها معمولاً از مواد ژله‌ای پر شده است و رنگ آن‌ها قهوه‌ای تا قهوه‌ای متمایل به سیاه می‌باشد.

۴- بیتومینه^۱: زغال سنگ‌های بیتومینه از تجزیه جلبک‌ها و مواد آلی جانوری میکروسکوپی به وجود آمده‌اند که دارای ۸۵-۸۰٪ کربن و ۵٪ اکسیژن و هیدروژن هستند. این زغال سنگ‌ها معمولاً دارای بافت متراکم، سخت و نواری بوده و دارای تناوبی از لایه‌های براق و مات می‌باشند. زغال سنگ‌های بیتومینه به هنگام سوختن مقدار قابل ملاحظه‌ای گاز قابل اشتعال آزاد می‌کنند. این زغال سنگ‌ها به خوبی شعله‌ور می‌شوند و رنگ شعله آن‌ها زرد است.

۵- آنتراسیت^۲: زغال سنگ‌های آنتراسیت در آخرین مرحله فرآیند زغالی شدن تشکیل می‌شوند و دگرگونی بیشتری نسبت به سایر انواع زغال سنگ‌ها دارند. در این زغال سنگ‌ها مقدار کربن حدود ۹۵٪، مواد فرار کم، مقدار اکسیژن حدود ۳٪، مقدار هیدروژن حدود ۳٪ و مقدار رطوبت حدود ۵٪ است. زغال سنگ‌های آنتراسیت معمولاً رنگ سیاه، حالت توده‌ای و جلای نیمه فلزی با شکست صدفی دارند و سخت و شکننده‌اند. این زغال سنگ‌ها دست را سیاه نمی‌کنند زیرا فاقد ماسرال فوزینیت هستند. به سختی و در دمای بالا مشتعل می‌شوند و در صورت سوختن، شعله آبی‌رنگ و بدون دودی ایجاد می‌کنند (شکل ۱-۲).



شکل (۱-۲) انواع زغال سنگ بر اساس درجه زغالی شدن.

^۱: Bituminus

^۲: Anthracite

بر اساس طبقه‌بندی بین‌المللی زغال‌سنگ که توسط کمیسیون اقتصادی اروپا^۱ (UNECE) ارائه شده است، انواع زغال‌سنگ به شرح زیر می‌باشند؛ که در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.

۱- زغال‌سنگ سخت^۲: زغال‌سنگی که ارزش حرارتی آن بیش از ۲۳۸۶۵ کیلوژول بر کیلوگرم (۵۷۰۰ کیلوکالری بر گرم) می‌باشد و متوسط میزان درخشندگی شیشه‌ای آن ۰/۶ است. زغال سخت شامل زغال‌سنگ حرارتی و کک شو می‌باشد.

- زغال‌سنگ کک‌شو^۳: زغال‌سنگی است که امکان تولید کک برای استفاده در کوره‌های بلند را فراهم می‌سازد.

- زغال‌سنگ حرارتی^۴: این زغال‌سنگ برای تولید حرارت و گرمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد. زغال‌سنگ حرارتی شامل تمام زغال‌سنگ‌های نوع آنتراسیت و بیتومینه به غیر از زغال‌سنگ کک‌شو می‌گردد. این زغال‌سنگ به صورت غیر متراکم می‌باشد.

۲- زغال‌سنگ قهوه‌ای^۵ (درجه پایین): شامل زغال‌سنگ‌های ساب بیتومینه و لیگنیت می‌باشد. زغال‌سنگ ساب بیتومینه: زغال‌سنگی غیر متراکم با ارزش حرارتی بین ۱۷۴۳۵ تا ۲۳۸۶۵ کیلوژول بر کیلوگرم (۴۱۶۵ تا ۵۷۰۰ کیلوکالری بر کیلوگرم) است که حاوی بیش از ۳۱ درصد مواد فرار می‌باشد. زغال‌سنگ‌های ساب بیتومینه در ۱۱ کشور جهان به علت ارزش حرارتی بالای آن جزء گروه زغال‌سنگ‌های حرارتی لحاظ می‌گردند. این کشورها عبارت‌اند از: استرالیا، بلژیک، فرانسه، ایسلند، ژاپن، مکزیک، زلاندنو، پرتغال، کره جنوبی و ایالات متحده آمریکا.

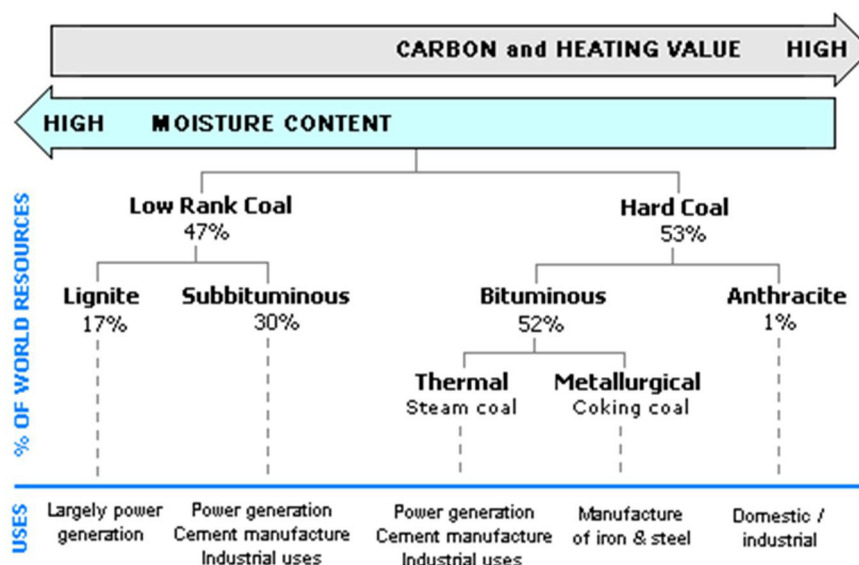
^۱ : United Nations Commission for Europe

^۲ : Hard Coal

^۳ : Coking Coal

^۴ : Thermal Coal

^۵ : Low Rank Coal



شکل (۱-۳) انواع زغال سنگ و کاربرد آن‌ها بر اساس طبقه‌بندی کمیسیون اقتصادی اروپا (برگرفته از سایت [www. Worldcoal.com](http://www.Worldcoal.com)).

- لیگنیت : زغال سنگی غیرمتراکم با ارزش حرارتی کمتر از ۱۷۴۳۵ کیلوژول بر کیلوگرم (۴۱۶۵ کیلوکالری بر کیلوگرم) است که حاوی بیش از ۳۱ درصد مواد فرار می‌باشد. شیل‌ها و شن‌های قیر داری که در فرآیند تبدیلات مورد استفاده هستند نیز در این گروه قرار می‌گیرند.

۳- زغال سنگ نارس (تورب) : یک ماده نرم متخلخل یا فشرده و قابل احتراق به رنگ قهوه‌ای روشن یا تیره که حاوی مقادیر زیادی آب (تا ۹۰ درصد در حالت خام) است که به راحتی برش می‌خورد و منشأ آن رسوبات فسیلی گیاهی می‌باشد.

۴-۱- پتروگرافی زغال سنگ

زغال سنگ ماده‌ای غیرمتجانس است که ارزیابی نوع آن به دو شیوه ماکروسکوپی و میکروسکوپی انجام می‌شود. مطالعات ماکروسکوپی مربوط به اجزاء بزرگ مقیاس زغال سنگ می‌باشد که با چشم غیرمسلح قابل مشاهده هستند و مطالعات میکروسکوپی مربوط به اجزاء ریزی است که تنها با چشم مسلح قابل مشاهده می‌باشند.

۱-۴-۱- اجزای ماکروسکوپی زغال سنگ

از دیدگاه ماکروسکوپی زغال سنگ‌ها به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند [۲] :

- زغال سنگ‌های هومیک^۱ یا باند دار که در طبیعت معمول‌تر هستند و از ترکیب غیر همگن خرده‌های گیاهی به وجود آمده‌اند.
- زغال سنگ‌های ساپروپلیک^۲ یا توده‌ای که در ظاهر متجانس هستند و نیازمند شرایط خاصی برای انباشتگی و حفظ مواد آلی اولیه هستند [۳].
- زغال سنگ‌های هومیک از تجمع مواد غیرچوبی مانند جلبک‌ها و اسپورها به صورت توده‌ای به وجود آمده‌اند و فاقد لایه‌بندی، ریزدانه، غیرهموژن، تیره‌رنگ، دارای شکستگی صدفی و جلای مات تا چرب هستند.

- لیتوتایپ‌ها^۳

مشاهده دقیق ماکروسکوپی زغال سنگ‌های بیتومینه نوع هومیک نشان می‌دهد که این گونه از زغال سنگ‌ها شامل باندهای نازک و عدسی‌هایی با اختصاصات خاص خود می‌باشند که نتیجه رشد گیاه و شرایط فیزیکوشیمیایی موجود در مرداب‌های توربی هستند که باقیمانده‌های آلی در آن تجمع یافته‌اند. این باندها ضخامتی در حدود ۳ تا ۱۰ میلی‌متر دارند و بر اساس خواص فیزیکی از قبیل جلاء، الگوی شکستگی، رنگ و غیره از یکدیگر قابل تشخیص خواهند بود [۴].

این باندهای ماکروسکوپی را اصطلاحاً لیتوتایپ می‌نامند که بر اساس تعریف ICCP^۴ در سال ۱۹۶۳ شامل چهار نوع ویتترین، کلارین، دورین و فورین به شرح زیر می‌باشند:

- ویتترین^۵ : بخش اعظم زغال سنگ‌های بیتومینه را تشکیل می‌دهد و شامل باندهای نازک

^۱ : Humic Coals

^۲ : Sapropelic Coals

^۳ : Lithotypes

^۴ : International Committee for Coal Petrology and organic petrology

^۵ : Vitrain

براق، سیاه و درخشنده‌ای است که ترکیب یکنواخت، جلای شیشه‌ای و شکستگی صدفی دارند. این باندها شکننده و دارای درز و شکاف هستند. ویتزینیت سازنده اصلی این نوارها می‌باشد.

- کلارن^۱: باندهای نیمه براق، سیاه‌رنگ، دارای بافت نواری و لایه‌بندی ریز با جلای ابریشمی هستند که معمولاً نوارهای روشن از ویتزینیت و نوارهای تیره از فوزینیت تشکیل شده‌اند.
- دورین^۲: باندهای خاکستری تا سیاه با جلای مات تا روغنی و بافت فشرده دانه‌ای فاقد ساختی هستند که نسبت به دیگر لیتوتایپ‌ها سخت‌ترند و در موقع شکستن به قطعات بزرگ خرد می‌شوند. دورین اغلب از اینترتینیت و به مقدار کمتر از ویتزینیت تشکیل شده است.
- فوزین^۳: بسیار نرم و شکننده و شبیه زغال چوب است و به‌صورت عدسی‌های نازک در زغال سنگ یافت می‌شود که ضخامت این عدسی‌ها از چند میلی‌متر بیشتر نیست. فوزین‌ها جلای ابریشمی و رنگ سیاه دارند که ماسرال غالب آن‌ها فوزینیت است. فوزین‌ها درصد کمی از زغال سنگ‌های بیتومینه را در برمی‌گیرند.

۱-۴-۲- اجزای میکروسکوپی زغال سنگ

اگرچه نامتجانس بودن ساختمان زغال سنگ با چشم غیرقابل مسلح قابل رؤیت است، ولی دستیابی به اطلاعات لازم در خصوص جزئیات ترکیبی زغال سنگ، مطالعات میکروسکوپی را طلب می‌کند. معمولاً مطالعات میکروسکوپی زغال سنگ به دو روش مقطع نازک و با استفاده از نور عبوری و یا به روش مقطع صیقلی و با استفاده از نور انعکاسی صورت می‌پذیرد.

امروزه با توجه به مات بودن اکثر ترکیبات زغال سنگ، بیشتر مطالعات میکروسکوپی زغال سنگ با استفاده از مقاطع صیقلی انجام می‌شود. سطح زغال سنگ در زیر میکروسکوپ از ذرات بسیار ریز

^۱ : Clarain

^۲ : Durain

^۳ : Fusain

(ماسرال)^۱ و باندهای گوناگون (میکرولیتوتایپها) و کانی‌های معدنی تشکیل شده است که ظاهر و ویژگی‌های نوری متفاوتی دارند.

– ماسرال‌ها یا اجزای میکروسکوپی زغال‌سنگ

ماسرال اصطلاحی است که اولین بار توسط استاپ^۲ (۱۹۳۵) برای معرفی اجزای آلی قابل مشاهده زغال‌سنگ با میکروسکوپ ارائه گردید. ماسرال‌ها را می‌توان معادل کانی‌ها در مواد معدنی دانست با این تفاوت که کانی‌ها دارای خواص فیزیکی و ترکیب شیمیایی مشخصی هستند، در حالی که ماسرال‌ها ماهیت بلورین ندارند و از لحاظ خواص فیزیکی و ترکیب شیمیایی متغیرند [۵].

در مطالعه میکروسکوپی مقاطع صیقلی با استفاده از نور تابشی می‌توان ماسرال‌ها را بر اساس مشخصات نوری از یکدیگر تشخیص داد. بر این اساس ماسرال‌ها را به سه گروه عمده شامل هومونیت / ویتترینیت^۳، اینترتینیت^۴ و لیپتینیت^۵ تقسیم می‌کنند [۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰].

هر کدام از این گروه‌ها شامل ماسرال‌ها و زیر ماسرال‌هایی می‌باشند که از نظر بازتاب، درجه تخریب‌شدگی و حفظ‌شدگی مواد اولیه، حضور ساختمان سلولی، ژله‌ای شدن و خصوصیات مورفولوژیکی از یکدیگر قابل تشخیص هستند. این سه گروه ماسرالی ترکیب شیمیایی و خواص نوری متفاوتی دارند و به‌طور قراردادی نام آن‌ها به «اینیت» ختم می‌گردد.

الف – هومونیت / ویتترینیت

ماسرال‌های این گروه اساساً از لیگنین و سلولز و بخشی از تانن‌ها و ژل‌های هومیک کلوئیدی به وجود آمده‌اند که ممکن است مواد پروتئینی و لیپیدی نیز در تشکیل ماسرال‌های این گروه سهمیم بوده باشند [۸، ۹، ۱۰]. مجموعه‌ای از فرایندهای پیوسته شامل هومونیتی شدن، ژله‌ای شدن و

^۱ : Maceral

^۲ : Stopes, 1935

^۳ : Humonite / Vitrinite

^۴ : Inertinite

^۵ : Liptinite

ویترینیتی شدن باعث تغییر بافت‌های گیاهی به هومونیت و پس از آن به ویترینیت می‌شود [۱۱]. رنگ ماسرال‌های هومونیت و ویترینیت در مقاطع صیقلی خاکستری متوسط است و بازتاب این ماسرال‌ها مابین دو گروه ماسرالی دیگر می‌باشد. گروه‌های هومونیت و ویترینیت اکسیژن نسبتاً بالایی نسبت به دیگر گروه‌های ماسرالی دارند [۱۲].

جدول (۱-۱) زیر گروه‌های ماسرالی گروه هومونیت به همراه ویژگی‌های پتروگرافی ماسرال‌های این گروه [۱۰].

زیر گروه ماسرالی	ماسرال	ویژگی‌های پتروگرافی
تلوهومونیت ^۱	تکستینیت ^۲	ساختار اولیه دیواره سلولی هنوز قابل تشخیص است، حفرات سلولی باز، ایزوتوپ، فلورسانس متغیر.
	آلمینیت ^۳	درجه بالایی از هومینیتی شدن، ساختمان دیواره سلولی هنوز قابل مشاهده است یا آشکار نیست، حفرات سلولی بسته شده- اند، فلورسانس به شدت با افزایش درجه دگرگونی تغییر می‌کند.
دتروهومونیت ^۴	آترینیت ^۵	محصول از هم پاشیدگی ساختاری، اندازه کوچکتر از ۱۰ میکرون، بافت اسفنجی، فلورسانس پایین در طول موج‌های بالا که به ترکیب آن‌ها وابسته است.
	دنزینیت ^۶	فشرده‌تر از آترینیت، زمینه هومونیتی بیشتر یا کمتر هموژن، فاقد فلورسانس یا دارای فلورسانس تیره بسیار ضعیف.
ژلوهومونیت ^۷	کورپوهومونیت ^۸	مورفولوژی کروی تا صفحه‌ای، فاقد ساختمان، فشرده یا اندازه متغیر غار مانند، بدون فلورسانس. در دو نوع ماسرال متمایز می‌شود: فلوبافینیت و فلوبافینیت دروغین
	ژلینیت ^۹	فاقد ساختمان هموژن یا متخلخل، می‌تواند حفره‌های دیگر ماسرال‌ها را پر کند، فاقد فلورسانس، در دو نوع ماسرال متمایز می‌شود: لویژلینیت و پوریژلینیت

^۱ : Telohuminite

^۲ : Textinite

^۳ : Ulminite

^۴ : Detrohuminite

^۵ : Attrinite

^۶ : Densinite

^۷ : Gelohumonite

^۸ : Corpohumonite

^۹ : Gelinite

جدول (۱-۲) زیرگروه ماسرالی گروه ویتترینیت به همراه ویژگی‌های پتروگرافی ماسرال‌های این گروه [۱۳].

زیرگروه ماسرالی	ماسرال	ویژگی‌های پتروگرافی
تلوویتترینیت ^۱	تلینیت ^۲	دیواره‌های سلولی خوب حفظ شده، اندازه، شکل و میزان باز بودن حفرات سلولی متغیر، حفرات سلولی خالی هستند یا توسط ماسرال‌های دیگر یا کانی‌ها پر شده‌اند. در یک زغال سنگ فلورسانس مشابه با کالوتلینیت همراه دارد.
	کالوتلینیت ^۳	نسبتاً هموژنیزه، فاقد ساختمان آشکار، بازتاب آن شاخصی برای درجه دگرگونی زغال شمرده می‌شود. فلورسانس آن محدوده وسیعی از رنج درجه زغالی شدن را پوشش می‌دهد
دتروویتترینیت ^۴	ویترودتترینیت ^۵	قطعاً ویتترینیت کوچک از ۱۰ میکرون، اشکال متغیر، با افزایش درجه دگرگونی زغال شمرده می‌شود. فلورسانس آن محدوده وسیعی از رنج درجه زغالی شدن را پوشش می‌دهد.
	کالودترینیت ^۶	زمینه ویتترینیتی فشرده و خالدار در اتصال با سایر سازنده‌های زغال سنگ، شدت فلورسانس و رنگ متغیر.
ژلوویتترینیت ^۷	کورپوژیلینیت ^۸	اجسام فاقد ساختمان، همگن، اشکال متغیر، پرکننده‌های سلولی هومیک درجا یا مجزا. بازتاب بالاتر از دیگر ماسرال‌های ویتترینیتی. دارای فلورسانس ضعیف یا فاقد فلورسانس
	ژلینیت	ژل‌های کلونیدی خالص، ظاهری همگن، فاقد ساختمان، پرکننده شکاف‌ها و حفرات، شکل و اندازه متغیر و بازتاب بالا، فاقد فلورسانس یا فلورسانس بسیار ضعیف، ماسرالی کمتر رایج می‌باشد.

- گروه هومینیت: این اصطلاح جهت سازندگان زغال سنگ‌های قهوه‌ای معرفی شده است و از

۱۹۷۰ توسط کمیته بین‌المللی زغال سنگ و سنگ‌شناسی آلی^۹ برای یک گروه ماسرالی

^۱: Telovitrinite

^۲: Telinite

^۳: Collotelinite

^۴: Detrovitrinite

^۵: Vitrodetrinite

^۶: Collodetrinite

^۷: Gelovitrinite

^۸: Corpogelinite

^۹: International Committee for Coal Petrology and Organic Petrology (ICCP)

درباره لیگنیت‌ها استفاده گردید. در کل هومینیت‌ها گروهی از ماسرال‌های خاکستری متوسط دارای انعکاس کلی بین لیپتینیت‌های تیره‌تر و اینرتینیت‌های روشن‌تر همراه می‌باشند و به سه زیرگروه و شش ماسرال تقسیم می‌گردند [۱۰]. زیرگروه‌های ماسرالی به همراه ماسرال‌ها و ویژگی‌های پتروگرافی آن‌ها مربوط به گروه هومونیت در جدول ۱-۱ ارائه می‌گردد.

- گروه ویتترینیت: این اصطلاح توسط استاپ (۱۹۳۵) جهت مشخص نمودن ساختارهای میکروسکوپی قابل تشخیص زغال‌سنگ‌های درجه متوسط پیشنهاد گردید [۱۳]. زیر گروه‌های ماسرالی گروه ویتترینیت در جدول ۱-۲ ارائه گردیده است.

ویتترینیت‌ها گروهی از ماسرال‌های خاکستری رنگ با انعکاس کلی بین لیپتینیت‌های تیره‌تر و اینرتینیت‌های روشن‌تر همراه می‌باشند و فلورسانس ماسرال‌های ویتترینیت در ارتباط با نوع ماسرال، درجه زغال شدگی و درجه بیتومینه شدن می‌باشد [۸].

ب- اینرتینیت

گروه ماسرالی اینرتینیت از مواد گیاهی مشتق شده‌اند که به‌وسیله فرایندهای آلتراسیون رسوبی قبل یا بعد نظیر اکسیداسیون و حمله قارچ‌ها تحت تأثیر قرار گرفته‌اند [۱۴]. این گروه دارای بالاترین مقدار کربن و کمترین مقدار اکسیژن و هیدروژن در میان گروه‌های ماسرالی می‌باشند [۱۵]. شکل و درجه حفظ‌شدگی ساختارهای سلولی ماسرال‌های اینرتینیتی مختلف با منشأ و تاریخچه پیش از نهشت تغییر می‌کند و به‌طور کلی رنگ آن‌ها در نور بازتابی خاکستری یا سفید متمایل به خاکستری است و در مقاطع صیقلی تمامی آن‌ها به‌استثنای میکرینیت دارای برجستگی مثبت هستند. بازتاب بالاتری نسبت به دیگر گروه‌های ماسرالی دارند که در ارتباط با ترکیب شیمیایی ماسرال‌های مختلف این گروه می‌باشد. در آخرین تقسیم‌بندی توسط ICCP دو ماسرال اسکرتینیت و فانگینیت به‌جای اسکروتینیت^۱ جایگزین گردید و تعداد ماسرال‌های گروه اینرتینیت به ۷ ماسرال تغییر یافت [۹].

^۱ : Sclerotinite

ماسرال‌های گروه اینرتینیت به همراه ویژگی‌های پتروگرافی آن‌ها در جدول ۱-۳ ارائه گردیده است.

جدول (۱-۳) ویژگی‌های پتروگرافی ماسرال‌های گروه اینرتینیت [۸].

ماسرال	ویژگی‌های پتروگرافی
فوزینیت ^۱	دیواره‌های سلولی خوب حفظ شده، حفره‌های سلولی باز، دارای دو ساختار غربالی یا ساختار کمّانی شکل، بازتاب بالا، رنگ سفید متمایل به زرد.
سمی فوزینیت ^۲	دیواره‌های سلولی خوب تا نیمه حفظ شده، حفره‌های سلولی اغلب بسته شده، رنگ و بازتاب آن مابین ویتزینیت و فوزینیت، حفرات سلولی ناقص. آنیزوتروپ
فانگینیت ^۳	اجسام تخم‌مرغی شکل از باقیمانده‌های قارچ‌ها، به دو صورت تک‌سلولی و چند سلولی در اشکال مدور چند سلولی (اسکلروتیا)، تیوپی شکل نازک (میکلیا) و لوله‌ای شکل (هیپا)، دارای ساختمان سلولی با بازتاب بالا.
اسکرتینیت ^۴	اجسام گرد، تخم‌مرغی، چندضلعی و کیسه‌ای شکل، بدون ساختمان، گاهی حفره‌دار، بازتاب بالا و در مواردی نیز دارای بریدگی‌های درونی
ماکرنیت ^۵	اجسام بی‌شکل، قطعات گرد شده فاقد ساختمان با اندازه کمتر از ۱۰ میکرون، ظاهر فشرده شده، بازتاب بالا
میکرنیت ^۶	مواد بسیار ریزدانه با اندازه کمتر از ۲ میکرون، بازتاب بالا.
اینرتودترینیت ^۷	ذرات منفرد، زاویه‌دار و پراکنده، فاقد ساختمان، اندازه ذرات کمتر از ۱۰ میکرون

ج - لیپتینیت

گروه ماسرالی لیپتینیت از شبه چربی‌های مقاوم قسمتی از ارگانوسم‌هایی نظیر هاگ، گرده، پوست، انواع گوناگونی از ترشحات گیاهی (موم‌های گیاهی، چربی‌ها، روغن‌ها و رزین‌ها)، مشتقات جلبکی، تعدادی محصولات تجزیه‌ای و محصولاتی از تولیدات ثانویه در طول فرایندهای کامل مشتق گردیده‌اند [۱۴]. ماسرال‌های گروه لیپتینیت همراه با ویژگی‌های پتروگرافی آن‌ها در جدول ۱-۴ ارائه

^۱ : Fusinite

^۲ : Semifusinite

^۳ : Funginite

^۴ : Scertinite

^۵ : Macrinite

^۶ : Micrinite

^۷ : Inertodetrinite

گردیده است.

جدول (۱-۴) ویژگی‌های پتروگرافی ماسرال‌های لیپتینیت [۷].

ماسرال	ویژگی‌های پتروگرافی
اسپورنیت	اجسام منفرد، معمولاً متراکم، حفظ‌شدگی خوب، اشکال گیاهی متمایز، برجستگی بالا، اندازه و ضخامت دیواره‌ای متغیر، فراوان‌ترین ماسرال این گروه.
کوتینیت	اجسام کشیده، لبه‌های دنداندار، حفظ‌شدگی خوب، برجستگی بالا
رزینیت	تخم‌مرغی شکل مجزا، اجسام کروی و نامنظم، پرکننده‌های سلولی، پیش ماده ویتیرینیت، بازتاب داخلی قرمز.
آلژینیت	در زغال سنگ هومیک نادر است، سازنده اصلی زغال سنگ ساپروپلیک می‌باشد، دارای دو نوع تلاژینیت و لاماژلینیت است.
سابرنیت	نادر، دارای ساختمان سلولی، آنیزوتروپ، فلورسانس شدید، تنها در لیگنیت‌ها یافت می‌شود.
کلوروفیلینیت	نادر، مورفولوژی متفاوت، فلورسانس قرمز شدی، فقط در مرحله لیگنیت که در شرایط شدیداً بی‌هوازی حفظ‌شده قابل شناخت است.
لیپتودترینیت	قطعات آواری کوچک، ویژگی‌های متفاوت
فلورینیت	فلورسانس شدید (زرد)، رنگ درخشان، تغییر فلورسانس ضعیف، حتی منفی، لنزی شکل یا فاقد شکل مشخص، در نور سفید، سیاه‌رنگ است.
بیتومینیت	بی‌شکل، زمینه‌ای برای دیگر ماسرال‌ها، فلورسانس نارنجی-قهوه‌ای
اگزوداتینیت	ماسرال ثانویه، پرکننده منافذ و حفرات سلولی، فلورسانس شدید با رنگ‌های متنوع، در نتیجه آلتراسیون فلورسانس متغیر می‌باشد، در نور سفید معمولی، سیاه‌رنگ است.

رنگ ماسرال‌های این خانواده در نور بازتابی تیره است و کمترین بازتاب را در میان گروه‌های ماسرالی دارند. در پراکنش نور آبی _ بنفش تا سبز اغلب ماسرال‌های این گروه خاصیت فلورسانس با شدت‌های متغیر را نشان می‌دهند. این خاصیت با افزایش درجه زغال سنگ از بین می‌رود [۱۲]. ماسرال‌های گروه لیپتینیت به وسیله ویژگی‌های فلورسانس خود بهتر طبقه‌بندی می‌شوند و بنابراین با رویداد ماورای بنفش یا نور آبی مشاهده می‌شوند [۱۴]. ماسرال‌های لیپتینیتی بالاترین مقدار هیدروژن را نشان می‌دهند و به واسطه تکامل حرارتی، آن‌ها منبعی از هیدروکربن می‌باشند [۴، ۱۶].

۱-۵- کانی‌ها یا سازندگان معدنی زغال‌سنگ

زغال‌سنگ‌ها علاوه بر بخش آلی دارای بخش معدنی نیز می‌باشند که بعد از سوختن زغال‌سنگ در بخش اعظم خاکستر به‌جای مانده دیده می‌شود. این بخش معدنی شامل کانی‌هایی است که برخلاف ماسرال‌ها ماهیت بلورین و خواص فیزیکی و شیمیایی مشخصی دارند. شناسایی این کانی‌ها با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی ماسرال‌ها در درجه اول منجر به شناسایی نوع و مقدار ناخالصی‌های موجود در زغال‌سنگ و بعد از آن به طراحی روش مناسبی برای زغال شویی و کاربرد زغال‌سنگ می‌گردد. شناسایی کانی‌ها در زغال‌سنگ شبیه به سایر انواع سنگ‌ها می‌تواند توسط میکروسکوپ یا توسط روش‌های آنالیزی و دستگاهی مانند دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) صورت گیرد. مهم‌ترین کانی‌های موجود در زغال‌سنگ‌ها را می‌توان به‌صورت زیر دسته‌بندی کرد:

- کانی‌های سیلیکاته: در زغال‌سنگ‌ها شامل انواع کوارتز، زیرکن، بیوتیت، گارنت، اپیدوت، آمفیبول، کلریت، ارتوکلاز، سانیدین، اوژیت، ناکریت و کیانیت است که از این میان کوارتز فراوان‌ترین کانی موجود در زغال‌سنگ‌ها می‌باشد.
- کانی‌های رسی: به هر دو صورت اولیه و ثانویه در زغال‌سنگ‌ها دیده می‌شوند. کانی‌های کائولینیت، سرسیت، اسمکتیت، مونت مورینیت، هالوئیزیت، گلوکونیت و دیکیت مهم‌ترین کانی‌های رسی حاضر در زغال‌سنگ‌ها هستند. از این گروه کانی‌های ایلیت و مونت مورینیت بیشتر از سایر کانی‌های رسی در زغال‌سنگ‌ها یافت می‌شوند.
- کانی‌های کربناته: کلسیت، آزاگونیت، دولومیت، آنکریت، مکنزیت، سیدریت، رودوکروزیت، ویتريت و استرونتیانیت مهم‌ترین کانی‌های کربناته در زغال‌سنگ‌ها هستند. کلسیت و سیدریت فراوان‌ترین کانی‌های کربناته حاضر در زغال‌سنگ‌ها هستند.
- سولفیدها: به دو صورت اولیه و ثانویه در داخل ماسرال‌های زغال‌سنگ‌ها حضور دارند و به‌صورت ذرات بلوری گوشه‌دار تا کروی یا به‌صورت پرکننده درز و شکاف‌ها دیده می‌شوند.

پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، مارکازیت، میلریت و آرسنوپیریت مهمترین کانی‌های سولفیدی در زغال‌سنگ‌ها هستند که از این میان پیریت دارای بیشترین فراوانی است. پیریت در زغال‌سنگ‌ها به دو صورت سین ژنتیک یا اولیه که محل تشکیل آن تورب زارهاست و اپی ژنتیک یا ثانویه که محل تشکیل آن لایه‌های زغال‌سنگی است، دیده می‌شود.

- سولفات‌ها: ژیپس، انیدریت، باریت، بازانیت، تناردیت و هگزا هیدریت مهمترین کانی‌های سولفات در زغال‌سنگ‌ها هستند ژیپس و انیدریت فراوان‌ترین کانی‌های سولفاتی زغال‌سنگ می‌باشند.

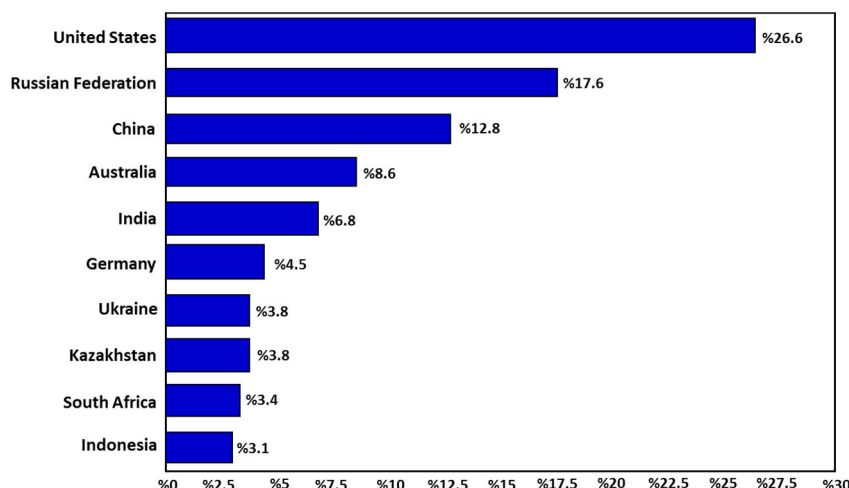
- هیدروکسیدهای آهن (لیمونیت و گوتیت)، اکسیدهای آهن (هماتیت و مگنتیت)، فسفات‌ها و نمک‌ها دیگر کانی‌های حاضر در زغال‌سنگ‌ها می‌باشند.

به‌طور کلی کوارتز، کلسیت، پیریت و کانی‌های رسی مهمترین کانی‌های موجود در زغال‌سنگ‌ها هستند.

۱-۶- ذخایر زغال‌سنگ در جهان

بر مبنای گزارشات انجمن جهانی انرژی و آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)^۱ در دسامبر ۲۰۱۲، بیش از ۸۰٪ کل ذخایر اثبات شده زغال‌سنگ در جهان فقط در ۱۰ کشور واقع شده است. ایالات متحده آمریکا با بیش از یک‌چهارم از ذخایر زغال‌سنگ، در حدود ۲۳۷.۲۹۵ میلیارد تن در صدر لیست قرار گرفته در حالیکه چین، با رتبه سوم دارای حدود ۱۳ درصد از کل ذخایر اثبات شده زغال‌سنگ در جهان، بزرگترین تولیدکننده و مصرف‌کننده زغال‌سنگ در جهان می‌باشد (شکل ۱-۴).

^۱ : International Energy Agency



شکل (۴-۱) ذخایر کشورهای برتر تولیدکننده زغال سنگ تا دسامبر ۲۰۱۲ (Mining-technology.com)

۱-۶-۱- تولید، صادرات و واردات زغال سنگ در جهان

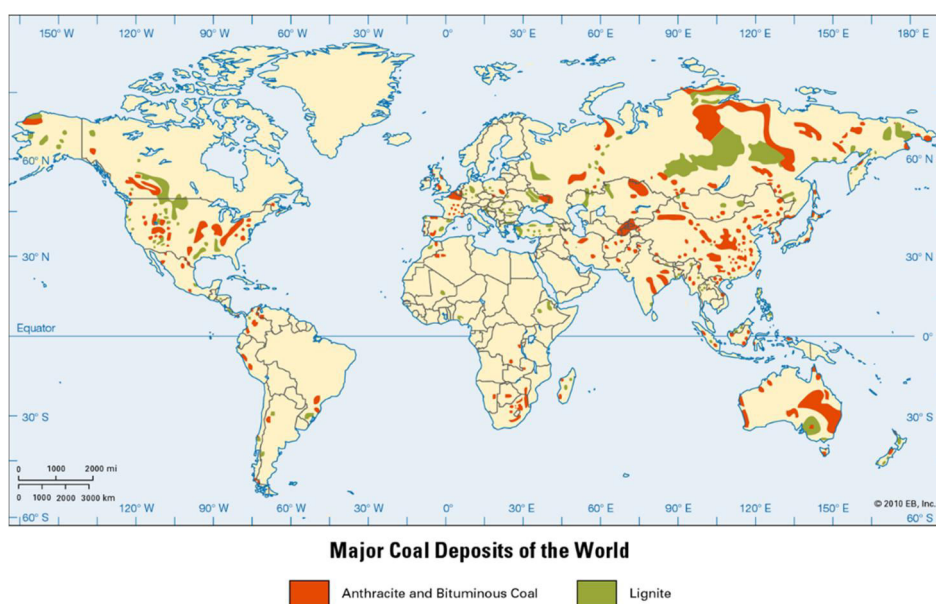
در حال حاضر چین، آمریکا، هند، استرالیا، اندونزی، روسیه و آفریقای جنوبی بزرگترین کشورهای تولیدکننده زغال سنگ در جهان به شمار می‌روند. چین با بیش از ۴۷ درصد از کل تولید جهانی زغال سنگ بزرگترین کشور تولیدکننده زغال سنگ در سه دهه گذشته تاکنون بوده است. آمریکا با تولید ۹۲۲ میلیون تن زغال سنگ در سال ۲۰۱۲ دومین کشور تولیدکننده زغال سنگ در جهان محسوب می‌شود. اندونزی با صادرات ۳۰۹ میلیون تن بزرگترین کشور صادرکننده زغال سنگ و ژاپن با واردات ۱۶۵ میلیون تن بزرگترین کشور واردکننده زغال سنگ به شمار می‌رود.

۱-۷- گسترش زمانی و مکانی نهشته‌های زغال سنگی در جهان

از نظر مکانی گیاهان در طول دوران‌های زمین‌شناسی مختلف در تمام در تمام دنیا گسترش یافته‌اند، در نتیجه امروزه آثار زغال سنگ در سراسر جهان از ژاپن در شرق تا آمریکا در غرب و از سیبری در شمال تا استرالیا در جنوب دیده می‌شود (شکل ۱-۵). ولی دوسوم زغال سنگ جهان در آمریکا، روسیه و چین تشکیل شده‌اند. از نظر زمین‌شناسی بیشترین منابع زغال سنگ اکتشاف شده

جهان در دوره کربونیفر تا تریاس قرار دارد که به عنوان نخستین عصر زغالی شناخته می شود. سایر منابع زغال سنگی در سازندهای متعلق به دوره های ژوراسیک، کرتاسه و ترشیری یافت می شوند که مربوط به دومین عصر زغال سنگی شناخته می شوند. زغال سنگ های دوره ترشیری عمدتاً از نوع لیگنیت و نیمه قیری بوده و از نظر کاربرد مهم نمی باشند [۱۷]. به طور کلی سه گستره اصلی تشکیل زغال سنگ در تاریخ زمین شناسی تشخیص داده شده است [۱۸].

- از دوره کربونیفر تا دوره پرمین که ۲۲ درصد زغال سنگ های جهان را تشکیل می دهد.
- از دوره تریاس تا نیمه دوم کرتاسه که ۲۷ درصد زغال سنگ های جهان را تشکیل می دهد.
- از نیمه دوم دوره کرتاسه تا دوره ترشیری که ۵۰ درصد زغال سنگ های جهان را تشکیل می دهد.



شکل (۱-۵) گسترش و پراکندگی ذخایر زغال سنگ در جهان (CoalDeposits.comWWW.WORLD).

۸-۱- وضعیت و جایگاه زغال سنگ در ایران

سابقه اکتشاف کانسارهای زغال سنگ در ایران به دوران پهلوی می رسد که این کار توسط آلمانی ها در سال ۱۳۱۰ در منطقه البرز غربی و مرکز آغاز شد ولی با آغاز جنگ جهانی دوم این

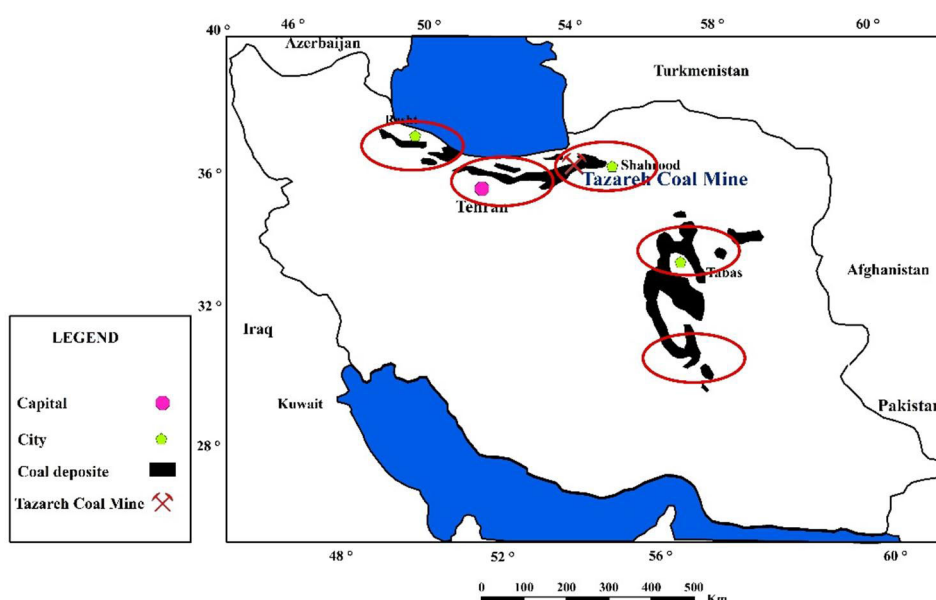
عملیات متوقف شد. در سال ۱۳۴۶ و پس از امضای قرارداد ساخت ذوب‌آهن اصفهان با شوروی سابق اکتشاف سیستماتیک زغال‌سنگ توسط زمین‌شناسان روسی در همان سال آغاز شد و زمین‌شناسان ایرانی تحت نظر این متخصصان هم‌زمان آموزش دیدند [۱۹]. ایران از نظر ذخایر زغال‌سنگ مقام سی و پنجم و از دیدگاه تولید، رتبه سی و هفتم را دارا می‌باشد و یکی از واردکنندگان زغال‌سنگ کک شو از کشورهایی مانند آلمان و استرالیا می‌باشد [۱]. طبق آمار ارائه شده در مجموع حدود ۱۱ تا ۱۴ میلیارد تن از ذخایر زغال‌سنگ ایران شناخته شده که بنا بر بررسی‌های صورت گرفته ذخایر قطعی زغال‌سنگ کشور ۱/۲ میلیارد تن برآورد گردیده است.

۹-۱- گسترش زمانی و مکانی نهشته‌های زغال‌سنگ در ایران

رسوبات زغال دار ایران با نام گروه شمشک از دیدگاه زمانی از تریاس بالایی آغاز و تا ژوراسیک میانی ادامه دارد و به مقدار کمی هم متعلق به پالئوژن می‌باشد. حوضه‌های زغال دار ایران در دو بخش بزرگ زمین‌شناسی ایران یعنی البرز و ایران مرکزی گسترش دارند. این حوضه‌های زغالی اغلب در محیط‌های زمین ساختی فعال تشکیل شده‌اند. سنگ‌های دربرگیرنده زغال‌سنگ‌های این حوضه‌ها، ماسه‌سنگ، شیل، سیلتستون و ماسه‌سنگ آهکی می‌باشند. زغال‌سنگ‌های البرز عموماً در گروه شمشک و زغال‌سنگ‌های ایران مرکزی عموماً در سازند نای بند با سن تریاس فوقانی تا ژوراسیک میانی تشکیل شده‌اند. رسوبات زغال دار حوضه البرز، اغلب از نوع تخریبی و رسوبات حوضه ایران مرکزی بیشتر تحت تأثیر رسوبات دریایی قرار گرفته‌اند [۲۰]. ویژگی عمومی زغال‌سنگ‌های این حوضه‌ها آن است که این زغال‌سنگ‌ها اغلب از نوع گازدار، گازدار چرب تا چرب هستند. این زغال‌سنگ‌ها از نظر تجاری اغلب از نوع کک‌شو و کمتر از نوع حرارتی هستند [۲۱]. در مجموع حدود ۱۱ تا ۱۴ میلیارد تن از ذخایر زغال‌سنگ ایران شناخته شده که طبق بررسی‌های انجام شده ذخایر قطعی زغال‌سنگ کشور ۱/۲ میلیارد تن برآورد گردیده است.

۱-۱۰- حوضه‌های زغال‌سنگی در ایران

حوضه‌های زغال‌سنگی در ایران محدود به ایران مرکزی و البرز می‌باشد که در شکل ۱-۶ نقشه پراکندگی حوضه‌های رسوبی زغال دار ایران نمایش داده شده است.



شکل (۱-۶) گسترش سازندهای تریاس بالایی - ژوراسیک میانی مستعد زغال در ایران [۲۰].

الف - حوضه‌های زغال‌سنگی ایران مرکزی

معادن زغال‌سنگ حوضه زغالی ایران مرکزی در گستره رسوبات تریاس بالایی از سازند نای بند تشکیل شده‌اند و دارای ویژگی‌های رسوبات محیط دریایی هستند. این حوضه زغال‌سنگی شامل چهار پهنه اصفهان - کاشان، پهنه لوت، پهنه کرمان و پهنه طبس است. زغال‌سنگ‌های پهنه اصفهان - کاشان و پهنه لوت از نظر معدنی از اهمیت چندانی برخوردار نیستند. بخش اعظم رسوبات زغال‌سنگ-دار این حوضه در پهنه‌های طبس و کرمان گسترش دارند [۱۷].

ب - حوضه‌های زغال‌سنگی البرز

حوضه زغال‌سنگی البرز از حوضه‌های مهم زغالی ایران است. اولین مطالعات برنامه ریزی شده که درباره زغال‌سنگ‌های حوضه زغال‌سنگی البرز گزارش شده، مربوط به سال‌های ۱۹۶۰-۱۹۷۰ میلادی

است که توسط کارشناسان شرکت ملی فولاد ایران، با کمک کارشناسان روسی انجام شده است که در حدود ۵۰ معدن زغال سنگ در حوضه زغال سنگی البرز معرفی شده است. معادن زغال سنگی البرز اغلب در گستره رسوبات سازند شمشک بر روی سطوح فرسایش یافته دولومیت های سازند الیکا قرار گرفته اند که توسط آهک های سازند لار پوشانده می شوند. رسوبات زغال سنگ دار سازند شمشک در گستره البرز بیشتر دارای ویژگی های قاره ای اند و زغال سنگ های آن ها در شرایط دریاچه ای آب شیرین تشکیل شده اند.

سنگ های دربرگیرنده زغال سنگ ها در این معادن اغلب شامل ماسه سنگ، شیل و ماسه سنگ آهکی است. حوضه زغال سنگ دار البرز به دلیل قرار گرفتن در محدوده زمین ساختی البرز دارای پیچیدگی می باشد. به این دلیل لایه های زغال سنگ دار این حوضه توسط گسل های متعدد جا به جا شده اند که به هنگام اکتشاف و استخراج مشکلات زیادی را به وجود می آورند.

به طور کلی حوضه زغال سنگی البرز شامل سه پهنه جداگانه خراسان شمالی _ البرز شرقی، البرز مرکزی و البرز غربی است. این پهنه زغال دار از کوه های منطقه بجنورد در شمال غربی استان خراسان شروع می شود و تا نواحی غرب استان گلستان در راستای رشته کوه های البرز شرقی (جاده ساری به سمنان) امتداد می یابد. منطقه طزره جزئی از پهنه خراسان شمالی _ البرز شرقی می باشد. مهمترین معادن این بخش شامل معادن زغال سنگ طزره، (پشکلات، رزمجا و کلاریز) در شمال دامغان _ شاهرود و معادن تخت در شهرستان مینودشت، قشلاق در شهرستان آزادشهر و معدن رضی در حوالی شهر رامیان است، که به جز معدن مینودشت از سایر معادن در حال حاضر بهره برداری انجام می شود. معادن زغال سنگی طزره با ذخیره احتمالی ۴۳۵ میلیون تن از نظر جغرافیایی در شمال شرق شهرستان دامغان از استان سمنان قرار دارد. زغال سنگ های این معدن بیشتر از نوع گازی چرب، چرب و به مقدار کمتر زغال سنگ گازدار شعله بلند هستند و از نظر دگرگونی زغال سنگ های این منطقه در مرحله متوسط تشکیل شده اند. مقدار خاکستر و خاصیت پلاستوسیمتری زغال سنگ های

این معادن متغیرند و گوگرد و فسفر آن‌ها کم است. ویژگی‌های مهم زغال‌سنگ‌های منطقه طزره در جدول ۵-۱ به صورت خلاصه ارائه گردیده است.

جدول (۵-۱) ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زغال‌سنگ‌های منطقه طزره [۲۲].

نوع ویژگی	میزان متوسط (%)	نوع ویژگی	میزان متوسط (%)
درصد مواد فرار	۳۷-۴۱	مارک	KG- KF- G
خاکستر	۳/۶-۹/۲	قابلیت بازتاب نوری	۸۰-۸۶
رطوبت	۰/۹-۱	فسفر	۰/۰۰۲
گوگرد	۱/۳-۶/۷	پلاستوسیمتری	۱۸-۲۲
کربن	۸۱-۹۲	هیدروژن	۳/۷-۶/۴

۱۱-۱- تکتونیک نهشته‌های زغال‌سنگی در ایران

در محدوده زمانی تریاس بالایی تا ژوراسیک فوقانی، ایران زمین متحمل فازهای کوهزایی سیمیرین پیشین، میانی، پسین و همچنین فازهای لارامید و پیرنه در پالئوژن بوده است. بررسی شواهد زمین-شناسی و ژئوتکتونیکی ذخایر زغالی ایران در اواخر تریاس تا ژوراسیک بیانگر آن است که فازهای کوهزایی سیمیرین پیشین و پسین در پیدایش حوضه‌های زغال‌سنگی ایران نقش اساس داشته‌اند. وقوع سیمیرین پیشین در اواخر تریاس فوقانی شرایط مناسب را برای گسترش گیاهان انبوه در ژوراسیک زیرین و میانی فراهم نموده است. سپس وقوع فازهای سیمیرین میانی و پسین در اواخر ژوراسیک فوقانی، اوایل کرتاسه و همچنین فازهای لارامید و پیرنه در پالئوژن موجب چین‌خوردگی و ماگماتیسم در اغلب این مناطق شده و باعث فراهم شدن شرایط لازم برای تشکیل ذخایر زغال‌سنگ در ایران گردیده است [۲۱]. شکل ۷-۱ دوره‌های زغالی ایران و فازهای تکتونیکی زغال ساز ایران را نشان می‌دهد.

Eon	ERA	Period		Epoch	Coal	Orogeny	MY	MY	
دوران حیات فلور و فونیک Phanerozoic	سنوزوئیک (دوران جدید) Cenozoic	کواترناری Quaternary		Holocen Pleistocen			2	2m/y	
		ترشیاری Tertiary	سنوزن Neogen	Pelucen Miocen			23	68m/y	
			پالئوژن Paleogen	Oligocen					
				Eocen		Pyriuse	45		
				Paleocen		Laramid			
		مزوزوئیک (دوران میانه) Mesozoic	کرتاسه Cretaceous		Upper Middle Lower			Late Cimerian	65
	ژوراسیک Jurassic		U M L			M.Cimerian	45		
	تریاس Triassic		U M L			Early Cimerian	45		

شکل (۱-۷) دوران‌های زمین‌شناسی، دوره‌های زغالی و فازهای تکتونیکی زغال ساز ایران [۲۱].

۱۲-۱- طبقه‌بندی زغال‌سنگ‌های ایران

حوضه‌های زغال‌سنگی ایران اولین بار توسط کارشناسان شرکت فولاد و کارشناسان روسی از سال ۱۳۴۵ به بعد مورد مطالعه اصولی قرار گرفته است. کارشناسان روسی این زغال‌سنگ‌ها را بر مبنای مدل ارائه شده جهت مطالعه معادن بزرگ زغال‌سنگ شوروی سابق رده‌بندی کرده‌اند [۲۰]. آن‌ها برای رده‌بندی ژنتیکی، میزان درصد ماسرال‌های تشکیل‌دهنده زغال‌سنگ‌ها و برای رده‌بندی تجاری و صنعتی میزان درصد کک دهی و درصد ضریب انعکاس نوری در هوا یا روغن غوطه‌ور کننده زغال‌سنگ‌ها را مبنای رده‌بندی خود قرار دادند (جدول ۱-۶).

جدول (۶-۱) طبقه‌بندی زغال‌سنگ‌های ایران به روش روسی [۲۲].

نوع مارک	شعله بلند (D)	گازدار (G)	گازدار چرب (GF)	چرب (F)	کک شو چرب (KF)
زیرگروه	-	گ ۱۹ گ ۱۴ گ ۱۰ گ ۶	گ ۱۹ گ ۱۴ گ ۱۰ گ ۶	۱ ژ ۲۶ ۲ ژ ۲۶	۱۹ ک ژ ۱۴ ک ژ ۱۰ ک ژ ۶ ک ژ
درصد مواد فرار	۳۷-۵۱	۳۷-۴۶	۳۱-۳۷	۲۶-۳۳	۲۵-۳۱
ضریب کک شوندگی	۰-۰	۶-۲۵	۶-۲۵	> ۲۶	۶-۲۵
درجه دگرگونی	I	II	II-III	III-IV	III
قابلیت بازتاب نوری	۷۵-۸۰	۸۰-۸۵	۸۳-۸۹	۸۶-۹۷	۸۹-۹۳
درصد C	-	۸۰-۸۵	۸۳-۸۷	۸۰-۹۰	۸۶-۹۰
درصد H	-	۴-۶	۵-۶	۵-۶	۴-۵
درصد O+N	-	۹-۱۶	۷-۱۲	۵-۱۵	۵-۱۰
ارزش حرارتی	۷۴۳۰-۷۷۷۰	۸۰۳۳-۸۴۸۵	۸۲۰۰-۸۷۰۰	۸۴۰۰-۸۸۰۰	۸۳۰۰-۸۸۰۰
نوع مارک	کک شو	غیرقابل پخت	لاغر قابل پخت	لاغر	نیمه آنتراسیت
زیرگروه	۱۹ ک ۱۴ ک ۱۰ ک ۶ ک	1HC 2HC	10 OC 8 OC 6 Oc	-	-
درصد مواد فرار (%VM)	۱۷-۲۵	۱۷-۳۱	۱۳-۱۷	۱۰-۱۷	۷-۱۰
ضریب کک شوندگی	۶-۲۵	۰-۶	۶-۱۰	۰	۰
درجه دگرگونی	IV	II-IV	V	VI	VI-VII
قابلیت بازتاب نوری	۲۴-۱۰۲	۸۳-۱۰۲	۱۰۳-۱۰۶	۱۰۶-۱۱۶	۱۱۴-۱۲۰
درصد C	-	۸۸-۹۱	۷۰-۸۵	۸۹-۹۲	۹۱-۹۳
درصد H	۴	۲-۴	۴	<۴	-
درصد O+N	۵-۸	۱۱-۲۸	۴-۷	۳-۵	-
ارزش حرارتی	۸۵۰۰-۸۹۰۰	۵۰۰۰-۸۰۰۰	۸۵۰۰-۸۷۵۰	۸۶۰۰-۸۷۰۰	-

۱-۱۳- طرح مسئله و ضرورت تحقیق

عناصر کمیاب و نادر خاکی از جایگاه ویژه‌ای در میان مواد معدنی برخوردار می‌باشند، هرچند این عناصر از کانسنگ‌های مختلفی بهره‌برداری و استحصال می‌شوند ولی در این بین زغال‌سنگ‌ها از منابع معدنی این عناصر به حساب می‌آیند. اگرچه کانسارهای زغال‌سنگ مستعد پی‌جویی و اکتشاف عناصر کمیاب و خاکی کمیاب هستند ولی در کشور ما اهمیت چندانی به این مسئله داده نشده است. از این‌رو مطالعه زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی عناصر کمیاب کانسارهای زغال‌سنگ توجیه‌پذیر می‌باشد. برای نیل به این هدف، معادن زغال‌سنگ طزره در البرز شرقی انتخاب شده است. در مطالعه عناصر کمیاب و نادر خاکی بر روی زغال‌سنگ‌های کانسار طزره، سؤالات بنیادی زیر مطرح می‌گردد که در چهارچوب این تحقیق سعی خواهد شد که به این سؤالات پاسخ علمی و منطقی ارائه شود :

- I. ترکیب کانی‌شناسی زغال‌سنگ طزره چیست ؟
- II. معادن زغال‌سنگ طزره برای چه عناصر کمیابی و نادر خاکی غنی‌شدگی دارد ؟
- III. میزان غلظت این عناصر چه مقدار است ؟
- IV. مقایسه مقادیر عناصر کمیاب و نادر خاکی طزره با معادن زغال‌سنگ ایران و جهان.
- V. بررسی خاکسترها و باطله‌های زغال‌سنگ از نظر میزان غنی‌شدگی عناصر کمیاب و نادر خاکی.
- VI. ارزیابی اقتصادی عناصر کمیاب و نادر خاکی در معادن زغال‌سنگ طزره.
- VII. ارائه کلیدهای اکتشافی برای پی‌جویی و اکتشاف عناصر کمیاب و نادر خاکی در دیگر معادن زغال‌سنگ پهنه ساختاری البرز و پهنه‌های زمین‌ساختی دیگر ایران.
- VIII. ارائه پیشنهادات برای ادامه و یا توقف پژوهش عناصر کمیاب و نادر خاکی در معادن طزره.

پس از پاسخگویی به سؤالات بالا و شناخت سازوکار کانه زایی عناصر کمیاب و نادر خاکی امید می‌رود با ارائه کلیدهای اکتشافی شرایط برای اکتشاف آسان‌تر، اقتصادی‌تر و ایجاد زمینه برای اشتغال‌زایی در کشور و منطقه فراهم گردد.

۱-۱۴- مطالعات پیشین

تاکنون مطالعات محدودی بر روی پتروگرافی و ژئوشیمی زغال‌سنگ‌های ایران انجام شده است که در زیر به نتایج مختصر این مطالعات اکتفا گردیده است. بررسی پتروگرافی یک نمونه زغال‌سنگی از زراب توسط استاچ و همکاران در سال ۱۹۸۲ و مطالعه میکروسکوپی زغال‌سنگ‌های برخی از معادن کرمان توسط شایسته فر و همکاران در سال ۱۳۸۵ تنها منابعی هستند که می‌توان به آن‌ها در زمینه بررسی پتروگرافی زغال‌سنگ‌های ایران اشاره نمود. بررسی ترکیب آلی و معدنی زغال‌سنگ‌های معدن پرورده یک طبس توسط رفیعی و همکاران (۱۳۸۹) و ترکیب و کیفیت زغال‌سنگ‌های لایچ توسط ناوی و همکاران (۱۳۸۹) اشاره نمود. در زمینه ژئوشیمی و کانی‌شناسی زغال‌سنگ‌های ایران نیز مطالعه چندانی صورت نگرفته است به طوری که از این میان می‌توان بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی حوضه زغالی لوشان توسط یزدی و شیروانی (۲۰۰۴)، بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی زغال‌سنگ‌های حوضه زغال‌سنگی کارمزد توسط قلی پور و همکاران (۱۳۸۸)، بررسی بلوغ حرارتی گروه شمشک بر پایه پتروگرافی و ژئوشیمی مواد آلی توسط شکاری فرد و همکاران (۲۰۱۲)، اشاره نمود. تمامی موارد ذکرشده نشانگر مطالعات اندک پیرامون پتروگرافی آلی و معدنی و ژئوشیمی زغال‌سنگ‌های ایران است. در این مطالعه ما به بررسی پتروگرافی زغال‌سنگ‌ها و ژئوشیمی لایه‌های زغال‌سنگی معدن طزره در البرز شرقی پرداخته‌ایم.

۱-۱۵- روش انجام تحقیق و گردآوری اطلاعات

الف) مطالعه کتب، مقالات و جمع‌آوری اطلاعات در ارتباط با موضوع و منطقه مورد مطالعه از طریق کتابخانه‌ها و اینترنت.

ب) گردآوری اطلاعات مربوط به محدوده‌های مورد مطالعه از جمله فراهم آوردن نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و گزارش‌های زمین‌شناسی و جمع‌آوری اطلاعات پیرامون موضوع.

پ) مطالعه منابع لازم جهت پژوهش از جمله گردآوری و مطالعه مقالات خارجی.

ت) برقراری ارتباط با متخصصین و استفاده از تجربیات و اطلاعات افراد مجرب در این زمینه.

۱-۱۶- برداشت‌های صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی و دفتری

الف - نمونه‌برداری

بعد از انجام مطالعات کتابخانه‌ای و تهیه اطلاعات لازم از منطقه (نقشه‌های زمین‌شناسی و مطالعه گزارش‌های زمین‌شناسی)، بازدید از منطقه صورت پذیرفت.

برداشت‌های زمین‌شناسی صحرایی برای تهیه نقشه زمین‌شناسی - معدنی بزرگ مقیاس (۱:۵۰۰۰) از محدوده معدنی طزره. (لازم به ذکر است که نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ معدن زغال‌سنگ طزره و معادن هم‌جوار توسط کارشناسان کشور روسیه در سال ۱۳۴۶ تهیه گردید. بخش معدن طزره این نقشه در چارچوب مطالعه حاضر بازنگری و به‌روز شده است و سپس در محیط نرم‌افزار Arc GIS رقومی گردید.

- نمونه‌برداری از لایه‌های زغال‌سنگ، سنگ‌های کمربالا و کمرپایین لایه‌های زغال‌سنگ. در

برداشت نمونه‌ها سعی شد که :

- از سطوح در معرض هوای لایه‌های زغالی نمونه برداشت نشود.

- نمونه برداری در جهت عمود بر لایه بندی انجام گیرد.
- برداشت نمونه در طول رگه های زغال سنگ صورت گیرد.
- در کل از لایه های زغال سنگ و سنگ های کربالا و کمرپایین آن تعداد ۲۰ نمونه برای مطالعات سنگ نگاری، ۳۵ نمونه برای تجزیه های ژئوشیمیایی و ۶ نمونه برای کانی شناسی به روش پراش اشعه ایکس (XRD) انتخاب شده است.
- نمونه برداری از خروجی تونل های استخراجی معدن (دپوی معدن طزره)، کنسانتره، باطله و خاکستر زغال معدن طزره.
- بعد از اتمام نمونه برداری، نمونه ها سریال شده و در کیسه های مخصوصی بسته بندی شده اند تا از معرض هوا و آلودگی دور نگه داشته شوند.

ب- تهیه مقاطع نازک و صیقلی

معمولاً برای بررسی های پتروگرافی و نیز کانی شناسی از زغال سنگ مقطع نازک، مقطع نازک - صیقلی و یا مقطع صیقلی تهیه می گردد. تهیه مقطع نازک از زغال سنگ به دلیل مشکل بودن مقطع گیری و همچنین اکسایش سریع زغال سنگ در معرض هوا مدت ها است که منسوخ شده است و زمین شناسان بیشتر به مطالعه و بررسی مقاطع صیقلی که تهیه و نگهداری آن آسان تر است، می پردازند. در بررسی حاضر نیز به منظور بررسی پتروگرافی زغال سنگ و شناسایی ماسرال ها، از نمونه های زغال سنگی سه مقطع صیقلی تهیه گردید که یک عدد از این مقاطع صیقلی از ذرات خرد شده زغال سنگ (اندازه دانه ها کمتر از ۱ میلی متر) تهیه شد. برای تهیه مقطع از نمونه دستی، زغال سنگ را با استفاده از دستگاه های برش نرم به اندازه ۱/۵ در ۱/۵ سانتی متر برش داده و آن را درون قالب مخصوص قرار دادیم و سپس چسب مخصوص (اپوکسی رزین) را که آماده کرده بودیم بر روی آن ریختیم. از آنجایی که برای آماده سازی چسب مواد اولیه آن را حرارت داده بودیم چند ساعتی صبر کردیم تا چسب سرد و سفت شود و زغال سنگ را در برگیرد، پس از آن مخلوط زغال سنگ و چسب

را از قالب درآورده و به روشی که در ادامه توضیح داده خواهد شد صیقل دادیم تا برای انجام مطالعات پتروگرافی آماده گردد.

برای تهیه مقطع از پودر زغال سنگ، نمونه‌های زغال سنگ را پودر کردیم به نحوی که ذرات زغال سنگ دارای دانه‌بندی کمتر از ۱ میلی‌متر گردیدند. نمونه زغال سنگ با دانه‌بندی تقریباً ۱ میلی‌متر را در داخل ظرفی خوب هم زده، سپس مقداری از آن را روی یک سطح صاف به شکل مستطیل پهن کرده و به ۱۶ قسمت تقسیم نمودیم و از هر قسمت مقداری برداشته در داخل کپسول چیتی تمیز می‌ریزیم. سپس چسب رزین به آن افزوده و مخلوط نمودیم. پس از چند ساعت که مخلوط کاملاً سرد شد، نمونه را از قالب خارج نموده و سطح آن را به روش زیر صیقل دادیم تا برای مطالعات میکروسکوپی آماده شود. برای صیقل دادن ابتدا نمونه را بر روی شیشه و به ترتیب با استفاده از پودرهای کَرندوم ۲۲۰، ۳۲۰، ۵۴۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ میکرون صیقل دادیم تا تمامی برجستگی‌ها و در نهایت خراش‌های ریز سطحی از بین بروند. پس از اتمام این مرحله مقطع با استفاده از پودرهای آلومینا صیقل داده شدند، مدت زمانی که مقاطع بر روی هر کدام از پودرها صیقل داده شدند، ۲۰ دقیقه بود.

تعداد ۱۷ مقطع نازک نیز از نمونه‌های سنگی برداشت شده از سنگ دیواره لایه‌های زغال سنگی جهت بررسی جنس سنگ دیواره لایه‌هایی زغال سنگی تهیه نمودیم.

ت - مطالعه پراش اشعه ایکس یا XRD

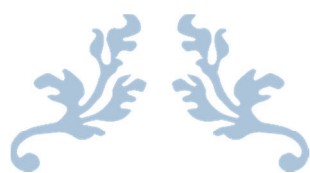
برای انجام بررسی‌های کانی‌شناسی دو نمونه از لایه‌های زغالی کلاریز و پشکلات (G-17, G-25) و یک نمونه شیل آرژیلی (G-23) از واحد پشکلات به وسیله دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) متعلق به شرکت معدنی زرآزما، مورد مطالعه قرار گرفتند. علاوه بر این تعداد سه نمونه از شیل (G-3) و شیل - های آرژیلیتی (G-23, G-26) در آزمایشگاه XRD سازمان زمین شناسی کشور مطالعه شدند.

ث - تجزیه شیمیایی نمونه‌های سنگ و کانسنگ زغال

تعداد ۱۱ نمونه از سنگ‌های کمربالا و کمرپایین لایه‌های زغال‌سنگ با ترکیب شیل و ماسه‌سنگ در آزمایشگاه مرکز تحقیقات کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور واقع در کرج به روش‌های ICP-OES و ICP-MS برای عناصر اصلی (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O), کمیاب (K_2O , TiO_2 , MnO , P_2O_5 , Ag , Ba , Co , Cs , Cu , Ga , Hf , Mo , Nb , Ni , Pb , Rb , Sn), و نادر خاکی (Sr , Ta , Th , Tl , U , V , W , Zn , Zr , La , Ce , Pm , Pr , Nd , Sm , Eu , Gd , Tb , Dy), تجزیه شده‌اند. (Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y)

تعداد ۲۰ نمونه از زغال‌سنگ، شیل زغالی، شیل آرژیلیتی، کنسانتره، باطله و خاکستر زغال‌سنگ طزره در آزمایشگاه شرکت معدنی زراآرما برای عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی به روش‌های ICP-OES و ICP-MS تجزیه شده‌اند. لازم به ذکر است که روش آماده‌سازی نمونه‌ها برای تجزیه شیمیایی اکسیدهای اصلی در نمونه‌ها ذوب قلیایی بوده است.

پس از اخذ داده‌های ژئوشیمیایی و مطالعه مقاطع نازک و صیقلی به پردازش و تحلیل نتایج پرداخته شده است و در نهایت به جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات اقدام شده است.



فصل دوم زمین شناسی



۲-۱- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

ناحیه زغال دار طزره در محدوده استان سمنان و در پهنه ساختاری - رسوبی البرز شرقی واقع گردیده و متعلق به یک ناودیس بزرگ با امتداد شرقی - غربی، تحت عنوان ناودیس میاناب می‌باشد. رسوبات زغال‌سنگی این منطقه بخشی از گروه شمشک به سن تریاس بالایی - ژوراسیک میانی هستند که رسوبات این گروه از پایین به آهک‌های دولومیتی سازند الیکا و از بالا به سنگ‌های کربناته سازند دلیچای (ژوراسیک زیرین - میانی) محدود می‌شوند. آسرتو، سازند شمشک را به ۴ واحد سنگی تقسیم کرده است که از پایین به بالا در بر دارنده ماسه‌سنگ پایینی، سری زغال دار پایینی، ماسه‌سنگ بالایی و سری زغال دار بالایی است. سازند شمشک در البرز مرکزی و خاوری آثار زغالی فراوانی دارد و معادن مهم زغال‌سنگ ایران در این سازند گسترش دارند. با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی، زیستی و گسترده‌گی سازند شمشک در البرز و ایران مرکزی، این سازند را تا مرتبه گروه بالا برده‌اند و در مناطق مختلف با عنوان چرخه رسوبی تریاس پسین - ژوراسیک میانی و با نام گروه شمشک از آن یاد می‌کنند. گروه شمشک شامل رسوبات سیلیکاتی ریز تا درشت‌دانه است که این رسوبات همراه با لایه‌های زغال‌سنگی و شیل‌های کربناته با سطوح چینه‌شناسی متفاوت هستند. محیط دیرینه رسوب‌گذاری این گروه در بر دارنده سامانه‌های آبرفتی، باتلاقی و دریاچه‌ای و نیز محیط‌های دریایی کم‌عمق تا عمیق با نسبت اکسیژن محلی است که به نهشته شدن رسوبات غنی از کربن آلی انجامیده است.

۲-۱-۱- زمین‌شناسی البرز

وجود تعدادی پوسته اقیانوسی در ایران سبب گردیده تا گروهی از زمین‌شناسان، جایگاه زمین‌شناسی ایران را در چارچوب زمین‌ساخت ورقه‌ای مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند و بر این باورند که در محل کنونی راندگی اصلی زاگرس اقیانوس گسترده‌ای به نام نئوتتیس وجود داشته که دو قاره گندوانا و اوراسیا را از یکدیگر جدا می‌کرده است. بر پایه این نگاره، کوه‌های البرز و ایران مرکزی،

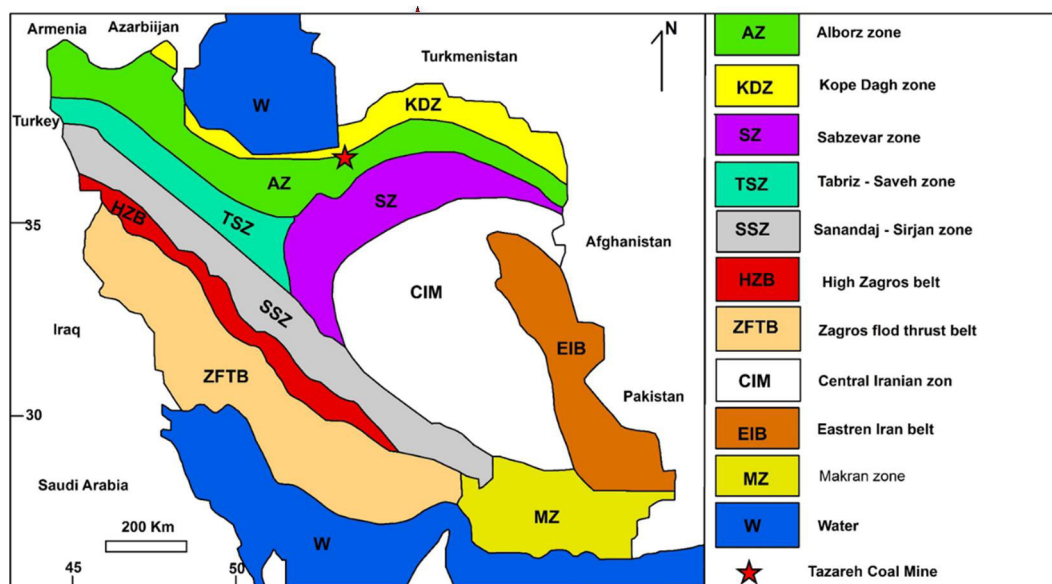
بخشی از قاره اوراسیا و زاگرس لبه شمالی سپر آفریقا - عربستان هستند [۲۳]. اشتوکلین^۱ بر اساس امتداد ساختارها و ویژگی‌های رسوبی در بخش‌های مختلف ایران، کشور را به ۹ واحد ساختاری - رسوبی که دارای وضعیت تکتونیکی و تاریخچه رسوبی متفاوت‌اند، تقسیم نموده است که هر کدام از این زون‌ها دارای چند زیر زون هستند و منطقه مورد مطالعه بر اساس تقسیم‌بندی ایشان در زون البرز قرار گرفته است (شکل ۲-۱).

- زون البرز
- زون ایران مرکزی
- زون سنندج - سیرجان
- زون رو رانده زاگرس
- زون چین‌خورده زاگرس
- دشت خوزستان
- کوه‌های مکران و شرق ایران
- بلوک لوت

رشته کوه‌های البرز خود متعلق به سلسله جبال آلپ - هیمالیا بوده که از شمال به بلوک فروافتاده خزر و از جنوب به فلات ایران مرکزی محدود می‌شود، منطقه مورد مطالعه درواقع به حاشیه جنوبی البرز شرقی تعلق دارد. به همین جهت، ارتفاعات منطقه، بخشی از البرز شرقی را تشکیل داده و از نظر لیتولوژیکی - چینه‌شناسی مشابه با سایر قسمت‌های البرز، شامل رسوباتی از محدوده سنی پرکامبرین تا عهد حاضر می‌باشند. با حاکم شدن حوضه فورلندی در البرز پس از تصادم دو خردقاره ایران و توران در طی تریاس پسین، مکان‌های مناسبی جهت تشکیل مخازن نفتی، انباشت و غنی‌سازی عنصری فراهم آمده است که رسوبات آواری سازند شمشک با ضخامت زیاد و همراهی شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های ضخیم لایه و همچنین لایه‌ها و عدسی‌های زغال‌سنگ

^۱ : Stocklin, 1986

یکی از پتانسیل‌های اقتصادی و مهم این حادثه عظیم تکتونیکی به شمار می‌آید.



شکل (۱-۲) نقشه ساختاری ایران و موقعیت منطقه مورد مطالعه () در پهنه‌های زمین‌ساختی ایران [۲۴].

۲-۱-۲- تکتونیک البرز

رشته کوه‌های البرز خود قسمتی از بخش‌های شمالی کوهزایی آلپ _ هیمالیا، در آسیای غربی به شمار می‌رود که از شمال به بلوک فروافتاده کاسپین و از جنوب به فلات مرکزی ایران محدود می‌شود. منطقه مورد مطالعه در حاشیه جنوبی البرز واقع شده است که جزئی از ناودیس بزرگ میاناب بوده که این ناودیس مربوط به یال شمالی چین‌خوردگی بزرگ البرز بوده که در اواخر مزوزوئیک و در دوران سوم زمین‌شناسی اتفاق افتاده است. چین‌خوردگی آلپ که البرز قسمتی از آن است از دوران دوم شروع شده و تاکنون ادامه دارد. رشته کوه‌های البرز در شرق و قسمت مرکزی طاق‌دیس مرکب ساده‌ای را در حاشیه شمالی ایران تشکیل می‌دهد. این رشته کوه‌ها در حاشیه جنوبی خود نه تنها از نظر ساختمانی بلکه از نظر چین‌های با ایران مرکزی شباهت زیادی دارند. ولی در حاشیه شمالی البرز تفاوت آشکاری با ایران مرکزی مشاهده می‌شود [۲۴].

مبتنی بر نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ دامغان [۲۶] و گسل‌های فعال ایران، شاید بتوان این منطقه را یکی از مناطق فعال تکتونیزه البرز به حساب آورد، دلیل آن وجود گسل‌های رانده و امتداد لغز فراوان به همراه چین‌ها و خمش‌های ناشی از عملکرد فازهای کوهزایی سیمرین و هرسی نین در منطقه می‌باشد.

-تکتونیک منطقه طزره

ورقه‌ی البرز شرقی به دلیل برخوردی که با ورقه توران داشته است به شدت تحت تأثیر این برخورد قرار گرفته است. این تأثیر را به وضوح می‌توان در واحدهای چین‌شناسی این مناطق مشاهده کرد. گسل‌های شاهرود و طزره، دو گسل راستا لغز چپ‌گرد واقع در البرز خاوری هستند که به سیستم گسلی شاهرود تعلق دارند. تغییرات تکتونیکی سطح زمین از قبیل پادگانه‌های گسلی و آبراهه‌ها و کانال‌های خمش یافته در امتداد گسل‌های نامبرده شواهدی از عملکرد فعال این گسل‌ها هستند [۲۸]. رسوبات منطقه طزره، یال جنوبی یک ناودیس بزرگ به نم میاناب را تشکیل می‌دهند. این ناودیس، خود جزئی از چین‌خوردگی البرز بوده که در اواخر مزوزوئیک اتفاق افتاده است. محور این ناودیس در ناحیه طزره تقریباً افقی و امتداد آن حدوداً شرقی - غربی می‌باشد. شیب متوسط این ناودیس در شرق (منطقه پشکلات) ۳۵ درجه بوده و با حرکت به سمت غرب به شیب آن افزوده می‌شود به طوری که در کلاریز به حدود ۸۰ درجه می‌رسد.

به دلیل وجود تشکیلات سخت کربناته پرموتریاس در زیر تشکیلات متناوب نرم و سخت شمشک و همچنین وجود تشکیلات سخت کربناته ژوراسیک میانی و فوقانی در قسمت فوقانی آن عملکرد فازهای تکتونیکی به صورت نیروی کوپل بوده است به طوری که در اثر لغزش طبقات بر روی هم در یال‌های ناودیس، ریز چین‌ها همراه با گسل‌های متعدد از نوع نرمال و معکوس ایجاد شده‌اند. آهک‌های سخت دوگر و مالم که روی طبقات زغالی واقع شده‌اند به دلیل مقاومت زیاد، گسل‌ها و

چین‌خوردگی‌های بسیار کمتری را تحمل نموده و به همین دلیل پیش‌بینی می‌شود که طبقات زغال دار دانسريت که زیر این طبقات آهکی قرار دارد تغییرات تکتونیکی کمتری را نسبت به تشکیلات زغال دار زیر بخش آلاشت و کلاریز کرده باشد. به طور مسلم، تشکیلات زغال دار تریاس فوقانی تا دوگر با سنگ‌های نرم خود بسیار آسیب‌پذیرتر از طبقات بالا و زیرین خویش است و بی‌شک تعداد زیادی از گسل‌های فرعی و شاید اصلی در برخورد با طبقات سخت، متوقف می‌شوند که افزایش یا کاهش کیفیت زغال‌سنگ‌ها را در بخش‌هایی از منطقه به دنبال داشته‌اند. به دلیل زیاد بودن گسل‌های معکوس و نرمال موجود در منطقه که اکثراً به صورت هم‌شیب با لایه‌بندی عمل نموده‌اند، کارشناسان شرکت ملی فولاد آن‌ها را با شماره و نامه‌ای لاتین نام‌گذاری کرده و بر روی نقشه پیاده نموده‌اند. گسل F1 بزرگ‌ترین و مهم‌ترین گسل منطقه پشکلات بوده که در مرز جنوبی این واحد قرار گرفته است. این گسل که در تمامی منطقه از غرب به شرق کشیده شده است، طولی در حدود ۷ کیلومتر را دارا بوده و جابجایی به اندازه ۳۰۰ تا ۶۰۰ متر را نشان می‌دهد که سازوکار این گسل معکوس و شیب آن به سمت شمال می‌باشد. گسل‌های شماره ۱۴۴ و ۲۰۹ نیز که از نوع نرمال هستند و جابجایی در حدود ۸۰ تا ۱۱۰ متر را نشان می‌دهند نیز از گسل‌های مهم منطقه بوده و به ترتیب حد غربی (مرز پشکلات و کلاریز) و شرقی (مرز پشکلات و رزمجا) را مشخص می‌نماید [۲۹].

۲-۱-۳- رسوبات زغال دار در البرز شرقی

بر اساس تحقیقاتی که بر روی رسوبات زغال دار مربوط به دوران مزوزوئیک پایینی در منطقه البرز شرقی انجام شده سن رسوبات زغال دار، تریاس بالائی تا ژوراسیک میانی می‌باشد. سنگ‌های ژوراسیک ایران به دلیلی دارا بودن ذخایر غنی زغال‌سنگ، هیدروکربن و نشانه‌های از بوکسیت و لاتریت، از لحاظ اقتصادی برای کشور ما اهمیت خاصی دارد. سازند شمشک در البرز مرکزی و شرقی دارای آثار زغالی است و معادن مهم زغال‌سنگ ایران در این سازند گسترش دارند. مهمترین معادن در البرز عبارت‌اند از:

معدن زغال سنگ قشلاق در شاهرود

معدن زغال سنگ زیر آب در قائم شهر

معدن زغال سنگ طزره در مهمان دوست دامغان

معدن زغال سنگ شمشک در شمال شرق تهران

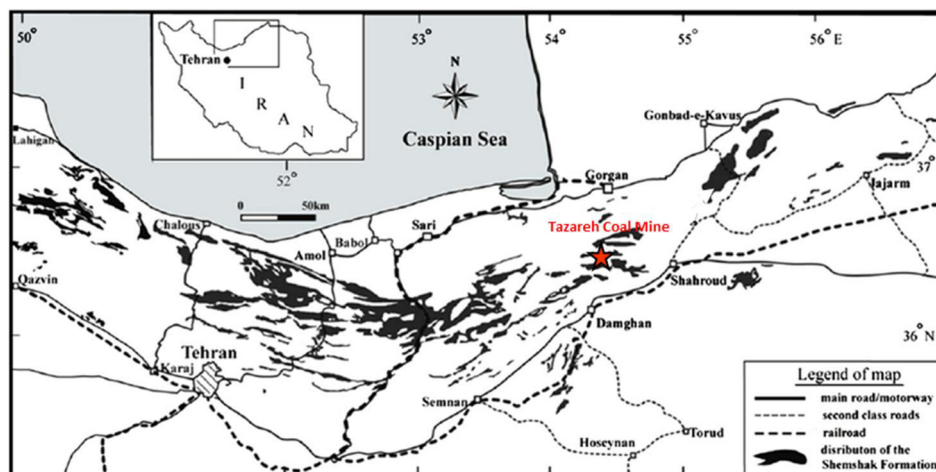
معدن زغال سنگ سنگرود در شمال لوشان

به طور کلی عملیات اکتشافی و بهره برداری از معادن زغال سنگ در منطقه البرز شرقی در دو ناحیه بزرگ متمرکز می باشد:

- حوضه زغالخیز طزره که شامل سه منطقه زغال سنگی تحت عنوان کلاریز، پشکلات و رزمجا می باشد.

- حوضه زغال خیز ناودیس اولنگ - قشلاق که خود به سه منطقه زغالدار تحت عنوان اولنگ، قشلاق و تخت تقسیم میشود [۲۹].

سنگ های دربرگیرنده زغال سنگ در منطقه طزره شامل ماسه سنگ های دانه ریز و گاهی دانه درشت، سیلتستون و آرژیلیت می باشند. رگه های زغال سنگ دار این منطقه به دلیل قرار گرفتن در محدوده زمین ساختی البرز که دارای زمین ساخت پیچیده ای است، توسط گسل های متعدد جابه جا شده اند.



شکل (۲-۲) نقشه توزیع سازند شمشک در البرز مرکزی و شرقی که منطقه مورد مطالعه بر روی آن مشخص شده است [۳۰].

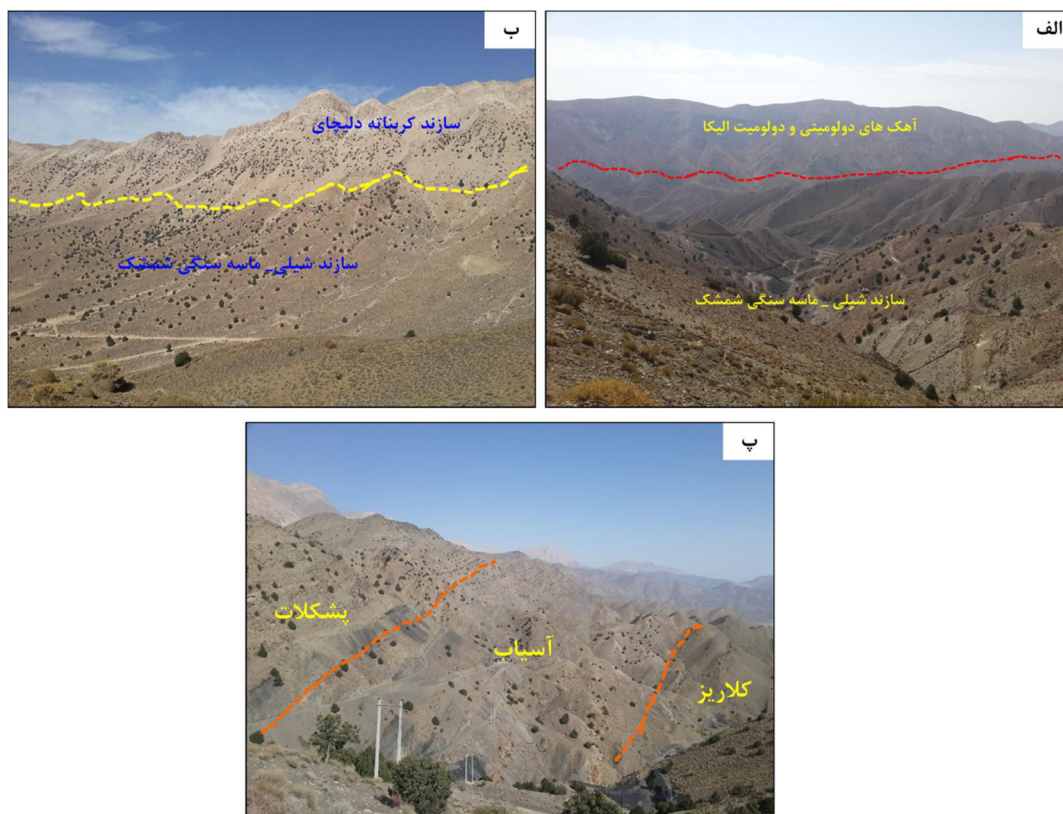
۲-۲- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده معدنی

محدوده معدنی طزره، در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دامغان [۲۶] واقع می‌باشد. بر پایه اطلاعات زمین‌شناسی این نقشه، در محدوده طزره سازند شیلی - ماسه‌سنگی شمشک به سن تریاس بالایی و ژوراسیک زیرین گزارش شده است. مرز پایینی این سازند با سنگ‌های آهکی دولومیتی و دولومیتی سازند الیکا گسله است (شکل ۲-۳، الف) و خود نیز با دگرشیبی فرسایشی به وسیله سنگ‌های کربناته سازند دلیچای پوشیده می‌شود (شکل ۲-۳، ب). به طوریکه سازند کربناته دلیچای با یک افق لاتریتی و به طور همساز بر روی سازند شمشک قرار می‌گیرد. سازند شمشک افق‌هایی از زغال سنگ را در بردارد. بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی کوچک مقیاس هم، زغال سنگ بصورت اثرات معدنی و معادن فعال گزارش شده است. با توجه به اهمیت معدنی البرز شرقی از نظر زغال سنگ نقشه‌های زمین‌شناسی بزرگ مقیاس ۱:۵۰۰۰ توسط شرکت ملی فولاد ایران و با همکاری کارشناسان کشور روسیه در سال ۱۳۴۶ برای مناطق زغال خیز البرز شرقی و از جمله طزره تهیه گردیده است. در چارچوب این تحقیق نیز به موازات نمونه‌برداری‌های مختلف، به برداشت‌های زمین‌شناسی در محدوده معدن طزره اقدام شده است. بر پایه مشاهدات صحرایی سطحی و تونل‌های اکتشافی و استخراجی نقشه زمین‌شناسی تهیه شده توسط کارشناسان روسیه بازنگری شده و نقشه بزرگ مقیاس (۱:۵۰۰۰)

به روزتری تهیه شده است (شکل ۲-۴). در ادامه به توصیف جزئیات این نقشه زمین‌شناسی پرداخته می‌شود.

۲-۲-۱- واحدهای سنگی موجود در محدوده معدنی طزره

بر اساس نقشه محدوده معدنی طزره [۳۲، ۳۳، ۳۴]، واحدهای سنگ چینه‌ای رخنمون یافته در محدوده کانسار که بخشی از سازند شمشک می‌باشند محدوده سنی تریاس بالایی _ ژوراسیک زیرین را در برمی‌گیرند که شامل رسوبات سیلیکاته ریز تا درشت‌دانه است که این رسوبات همراه با لایه‌های زغالی و شیل‌های کربناته می‌باشند و در همه‌جا حد پایینی آن‌ها با افق‌های لاتریتی و بوکسیتی و گدازه‌های آتشفشانی مشخص می‌شوند [۲۷]. محیط رسوب‌گذاری این گروه شامل سیستم‌های آبرفتی، باتلاقی و دریاچه‌ای و دریایی کم‌عمق تا نسبتاً عمیق که منجر به نهشته شدن رسوبات غنی از کربن آلی شده است، می‌باشد [۳۵]. رسوبات زغالی از نظر تغییرات رخساره‌های سنگ‌شناسی و وجود لایه-های زغالی به پنج بخش، رزمجا، طزره، روزه، کوانسار و دانسریت تقسیم گردیده است، که بخش زغال‌دار اصلی، یعنی بخش طزره خود به سه زیر بخش پشکلات، آسیاب و کلاریز تقسیم می‌گردد (شکل ۲-۳، پ). در ذیل به ویژگی‌های هر یک از این واحدها به اختصار اشاره می‌شود [۲۹].

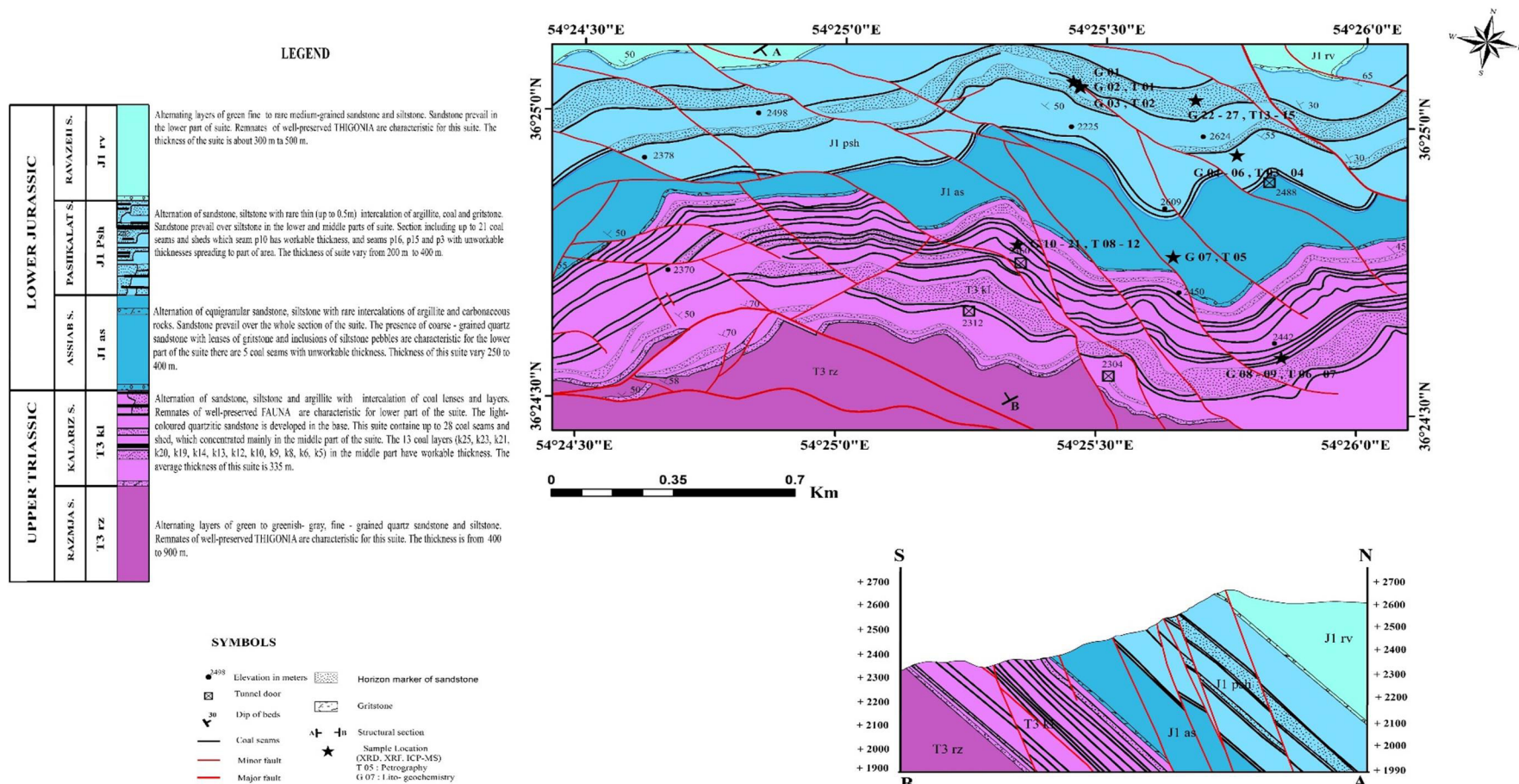


شکل (۲-۳) الف) سازند کربناته دلیچای که با ناپیوستگی فرسایشی بر روی سازند شیلی - ماسه سنگی شمشک قرار می‌گیرد، دید رو به شمال - شمال غرب؛ ب) مرز گسلی میان سازند شیلی - ماسه سنگی شمشک با سنگ های آهکی دولومیتی و دولومیت الیکا (تریاس)، دید رو به شرق؛ پ) همبری ریربخش های پشکلات، آسیاب و کلاریز، دید رو به شرق.

--بخش رزمجا (T_3RZ)

با ضخامت ۴۰۰ تا ۹۰۰ متر، لیتولوژی شامل تناوبی از سیلتستون و آرژیلیت‌های متمایل به سبز و ماسه‌سنگ‌های دانه‌ریز و دانه‌درشت با لایه‌بندی کاملاً مشخص که در قسمت‌های میانی سوئیت لایه‌ها و عدسی‌های کوچک زغالی و آثار ریپل مارک دیده می‌شود. این بخش دارای رخساره مردابی - دلتایی و مردابی بوده و سن این بخش رنین تریاس بالایی می‌باشد.

Geological map of TAZAREH Coal mine



شکل (۲-۴) نقشه زمین‌شناسی بازنگری شده محدوده معدن زغال طزره که مجموعه‌های رزمجا، طزره (کلاریز، آسیاب، پشکلات) و روازه را نشان می‌دهد.

-زیر بخش کلاریز (T3K1)

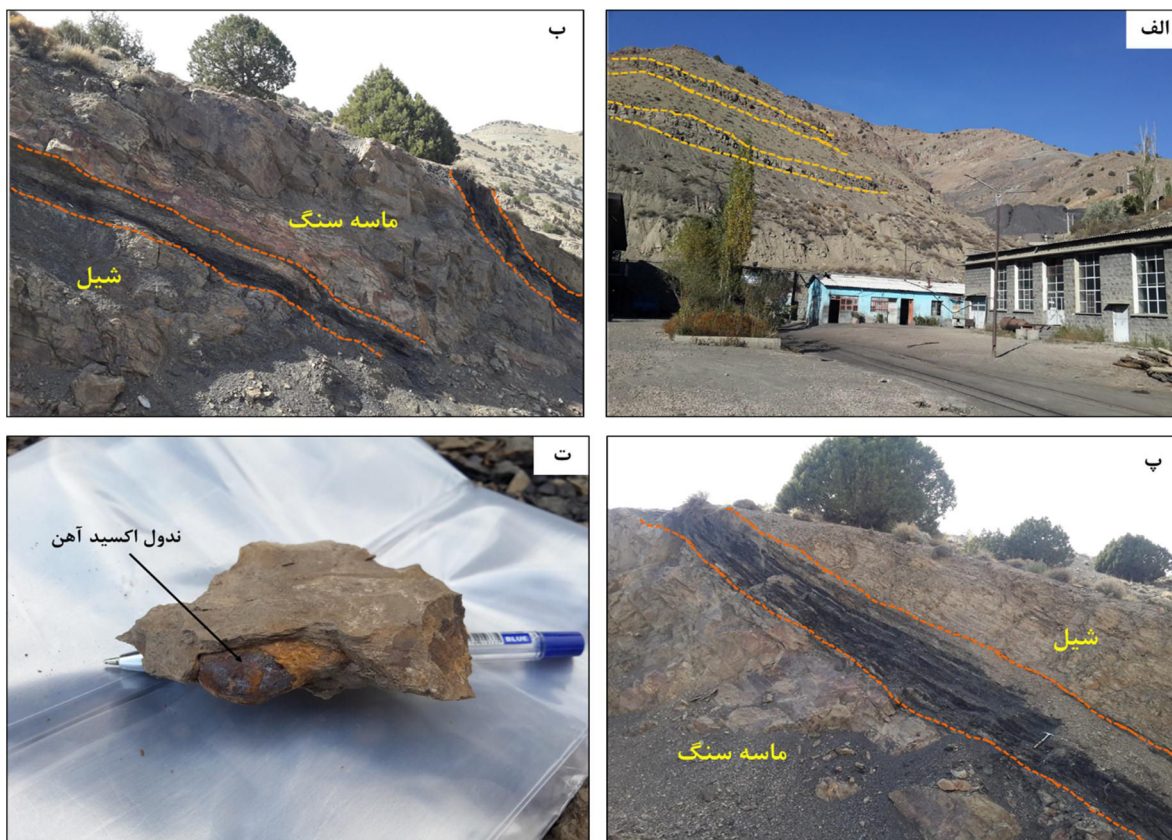
ضخامت ۳۳۵ متر، لیتولوژی شامل لایه‌های متعدد ماسه‌سنگ دانه‌ریز و گاهی دانه‌درشت، شیل و تعدادی لایه‌های زغال‌سنگی که از نظر اقتصادی به علت ضخامت قابل ملاحظه اغلب قابل بهره‌برداری می‌باشند. رسوبات این بخش از تناوب رخساره‌های مردابی _ دریاچه‌ای و دلتایی تشکیل شده است. حد پایینی این زیر بخش به وسیله یک باند ماسه‌سنگ کوارتزیته قابل تشخیص می‌باشد (شکل ۲-۵، الف). به منظور مطالعات کانی‌شناسی و ساختارهای رسوبی به‌طور سیستماتیک تعداد ۶ نمونه ماسه‌سنگی و ۳ نمونه شیل از واحد کلاریز برداشت شد. برای شناسایی سازنده‌هایی نظیر کانی‌های رسی که به سختی توسط سایر روش‌ها تشخیص داده می‌شود یک نمونه از شیل کلاریز به روش آنالیز پراش اشعه ایکس تجزیه شد.

یکی از مهمترین واحدهای قابل مشاهده که گستردگی زیادی دارد واحد ماسه‌سنگی می‌باشد. نمونه‌های ماسه‌سنگی در نمونه‌های دستی به رنگ خاکستری تیره و سیاه (به دلیل حضور مواد آلی) مشاهده می‌شود. از این رو برای مطالعات بیشتر تعداد ۶ نمونه ماسه‌سنگی از لایه‌های کمربالا و کمرپایین لایه‌های زغال‌سنگی کلاریز برداشت شد. رخساره‌های ماسه‌سنگی این واحد ویژگی‌های میکروسکوپی بسیار مشابهی را دارا هستند. ماسه‌سنگ‌های واحد کلاریز از نظر اندازه دانه‌ریز تا دانه‌درشت بوده و بر پایه تصاویر مقایسه‌ای مربوط با برآورد جور شدگی [۳۶] و گرد شدگی [۳۷، ۳۸] در مقطع نازک میکروسکوپی، جور شدگی آنها متوسط تا خوب بوده و بیشتر دانه‌ها نیمه زاویه‌دار تا نیمه گرد شده با کرویت متوسط هستند. کوارتز فراوانترین دانه در ماسه‌سنگ‌های کلاریز می‌باشد که از انواع تک‌بلوری و چند بلوری تشکیل شده است (شکل ۲-۷، ب و پ). کوارتزهای چند بلوری برخی تا ۳ بلور و برخی دیگر بیش از ۳ بلور را دارند. دانه‌های کوارتز دارای تبلور مجدد هستند (شکل ۲-۷) که در حاشیه حالت مضرسی دارند و معمولاً در یک جهت کشیدگی را نشان می‌دهند که نشان دهنده تحمل فشار تکتونیکی و دگرگونی درجه پایین است. بعد از کوارتز، کانی‌های غالب در منطقه

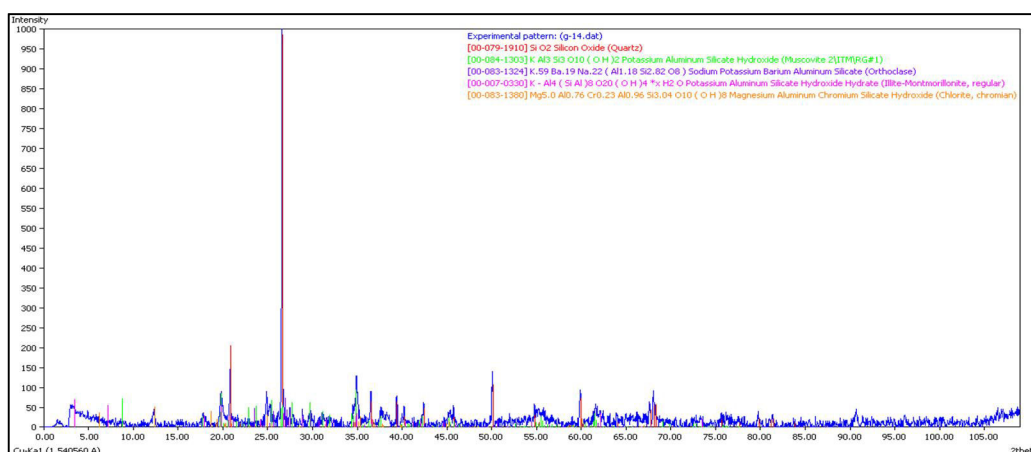
شامل؛ مسکوویت، بیوتیت، کلریت، آثاری از اکسیدهای آهن، هماتیت، پیریت هماتیتی شده و کانی سنگین همانند زیرکن، ترمالین و آناتاز می‌باشد (شکل ۷-۲، ت). اکثراً فازهای میکایی، فضای بین دانه‌های کوارتز را پر کرده است. میکاها از نوع موسکوویت و بیوتیت می‌باشد که ورقه‌های مسکوویت بصورت کشیده و در حالیکه بیوتیت در حال تجزیه شدن می‌باشد (شکل ۷-۲، ث و ج). مقاطع نازک در زیر میکروسکوپ وجود فلدسپات‌ها به خصوص فلدسپات‌های پلاژیوکلاز با ماکل پلی سنتتیک را مشخص می‌کنند که اکثراً سریسیتی شده‌اند. اغلب قطعات سنگی موجود در این ماسه‌سنگ‌ها از نوع رسوبی (چرت و شیل) بوده و قطعات سنگی دگرگونی (اسلیت) به مقدار کمتر دیده می‌شود. یکی از خصوصیات این واحد وجود ندول کربنات آهن و اکسید آهن می‌باشد که در کمربالای لایه زغالی K12 دیده می‌شود (شکل ۵-۲، ت). طبق تقسیم‌بندی فولک [۳۹]، این واحد سنگی در محدوده ساب لیت آرنایت تا لیت آرنایت قرار می‌گیرند.

حضور عدسی‌های شیلی در میان ماسه‌سنگ‌ها حاکی از یک فاز پایین آمدن سطح آب دریا است که در نتیجه بخش‌های مربوط به فلات قاره یا از آب بیرون مانده و یا در درون آب دچار فرسایش و کندگی و بریدگی می‌شوند و مواد حاصل از آن در درون حوضه با ماسه‌سنگ‌های در حال تشکیل، مخلوط می‌شوند. در واحد کلاریز رخساره‌های شیلی به صورت طبقات و یا بخش‌های متناوب با ماسه‌سنگ و زغال‌سنگ قرار گرفته‌اند (شکل ۵-۲، ب و پ). به دلیل هوازدگی و پوشش سطحی، آثار و علائم ساختمان‌های رسوبی در آن‌ها مشاهده نمی‌شود اما در برخی قسمت‌ها لامیناسیون افقی نازک و ظریفی دیده می‌شود. شیل‌ها در نمونه دستی به رنگ آجری و خاکستری مشاهده می‌شود. شیل‌های مورد مطالعه در نام‌گذاری مقاطع میکروسکوپی تحت عنوان شیل‌های سیلتی و شیل‌های ماسه‌ای نام‌گذاری شده‌اند. طبق نتایج حاصل از آنالیز پراش اشعه ایکس، کانی‌های تشکیل دهنده شیل‌های کلاریز شامل؛ کوارتز، مسکوویت، اورتوکلاز، ایلیت، مونتموریونیت، رگولار، کلریت و کرومین می‌باشد (شکل ۷-۲) و بافت آن‌ها بیشتر کریپتوکریستال تا میکروکریستال است. تحلیل و بررسی برخی مسائل در شیل‌ها به ویژه توصیف بافت، به دلیل دانه‌ریز بودن و همچنین سخت و حساس بودن

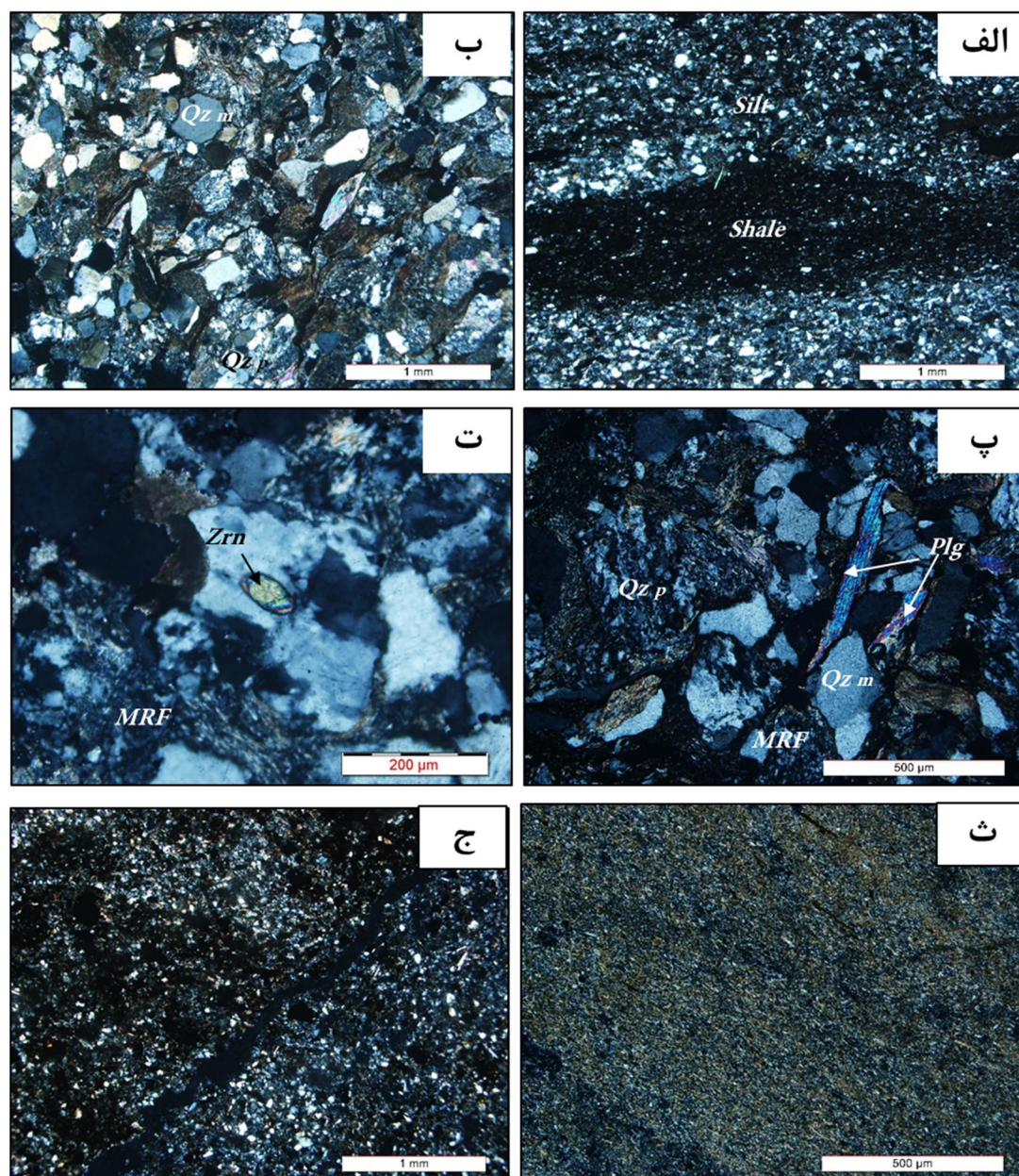
جنبه‌های تحقیقاتی و دستگاه‌های آنالیزور بسیار مشکل است.



شکل (۲-۵) الف) نمایی از افق کوارتزیتی قاعده زیر بخش کلاریز؛ ب) توالی شیلی - ماسه‌سنگی زغال دار زیر بخش کلاریز (لایه K11)؛ پ) توالی شیل، زغال سنگ و ماسه‌سنگ زیر بخش کلاریز (لایه K12)؛ ت) کربنات آهن و اکسید آهن ماسه‌سنگ‌های کمربالای لایه زغال‌سنگی K12.



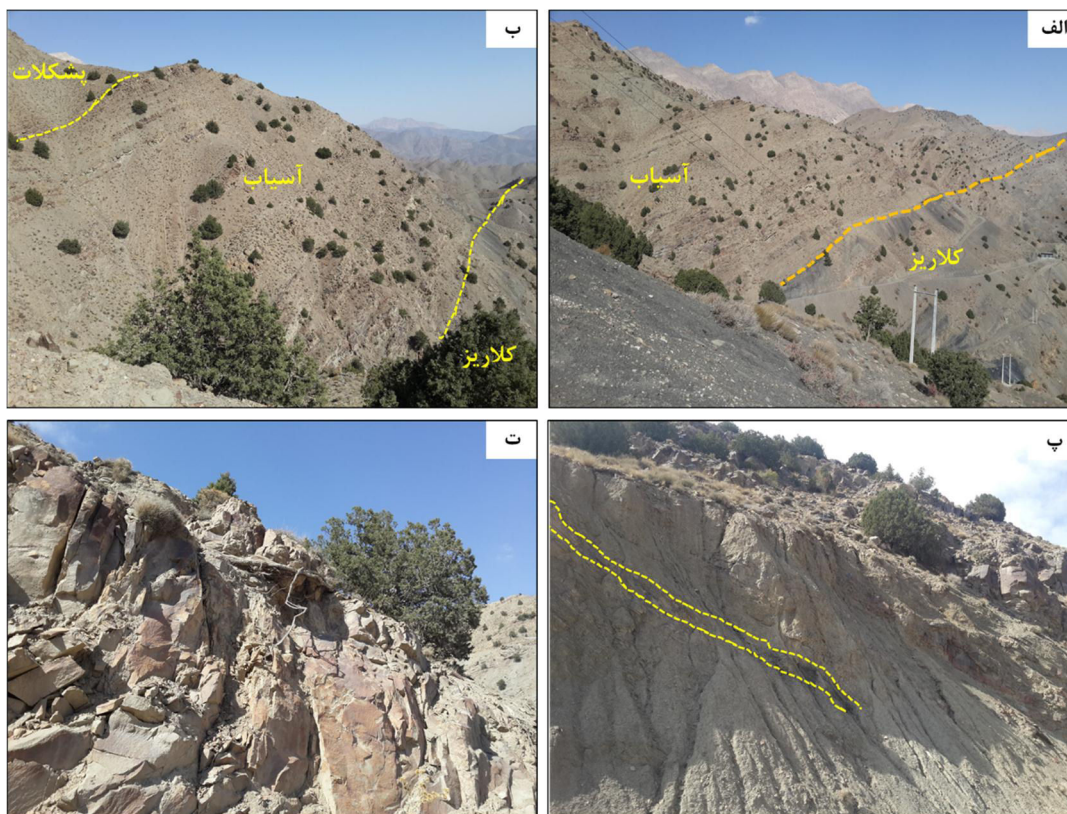
شکل (۲-۶) الگوی نتایج پراش پرتو ایکس حاصل از نمونه شیل زیر بخش کلاریز.



شکل (۲-۷) تصاویر میکروسکوپی از مقاطع نازک لیت آرنایت، سیلتستون و شیل کلاریز. الف) لامیناسیون شیل و سیلتستون؛ ب) لیت آرنایت درشت‌دانه با خرده‌سنگ دگرگونی (MRF)؛ پ) فلدسپار پلاژیوکلاز با ماکل پلی سنتتیک، خرده‌سنگ دگرگونی (MRF)، کوارتز تک‌بلور (Qz m)، کوارتز چند بلور (Qz p)؛ ت) کانی زیرکن (Zrn) با بیرفرنژانس بالا و به صورت دانه‌های نیمه گرد شده؛ ث) شیل ریزدانه با سیمانی از اکسید آهن؛ ج) سیلتستون.

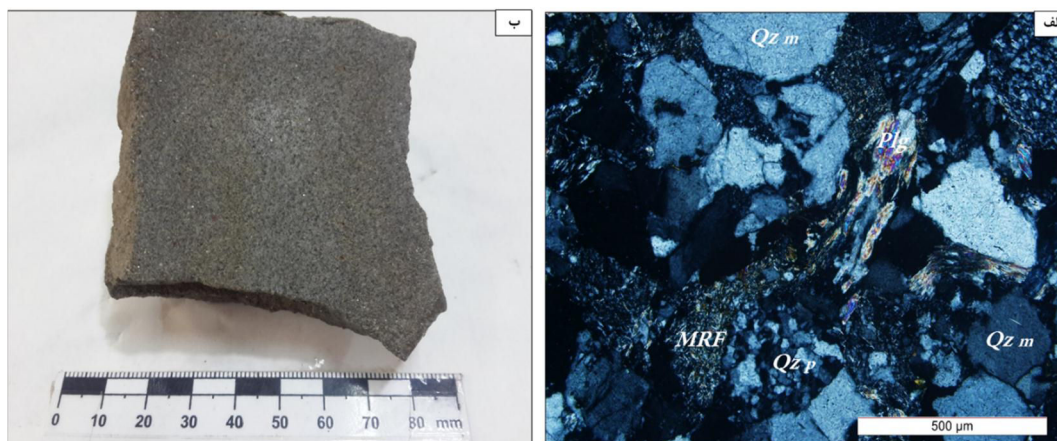
-زیر بخش آسیاب (J_{1as})

با ضخامت ۲۵۰ تا ۴۰۰ متر، این زیر بخش بر روی کلاریز قرار داشته و شامل طبقات ماسه‌سنگی کوارتزیتی دانه متوسط تا دانه درشت همراه با کنگلومرای دانه ریز، سیلتستون و به ندرت لایه‌های زغال-سنگی با ضخامت در حد چند سانتیمتر، می‌باشد.



شکل (۲-۸) نمایی از مرز میان زیر بخش آسیاب و کلاریز؛ (ب) مقطع کاملی از زیر بخش آسیاب، بین کلاریز در پایین و آسیاب در بالا؛ (پ) عدسی‌های کم ضخامت زغال در قسمت شیلی زیر بخش آسیاب؛ (ت) نمایی از ماسه‌سنگ‌های زیر بخش آسیاب.

ماسه‌سنگ این واحد در نمونه دستی به رنگ خاکستری دیده می‌شود. ماسه سنگ آسیاب در مقطع میکروسکوپی از نظر بافتی دانه متوسط می‌باشد. دانه‌های کوارتز دچار خوردگی شکستگی شده اند و حاشیه های مضرس دارند. مقدار قطعه سنگ در این ماسه سنگ‌ها بیشتر از ماسه سنگ‌های کلاریز می‌باشد.



شکل (۲- ۹) الف) تصویر میکروسکوپی ماسه سنگ (لیت آرنایت) زیربخش آسیاب، کوارتز تک بلور (Qz_m)، چندبلور (Qz_p)، همراه با پلاژیوکلاز (Plg) در زمینه رسی؛ ب) نمونه دستی ماسه سنگ زیربخش آسیاب

زیر بخش پشکلات (JlpsH)

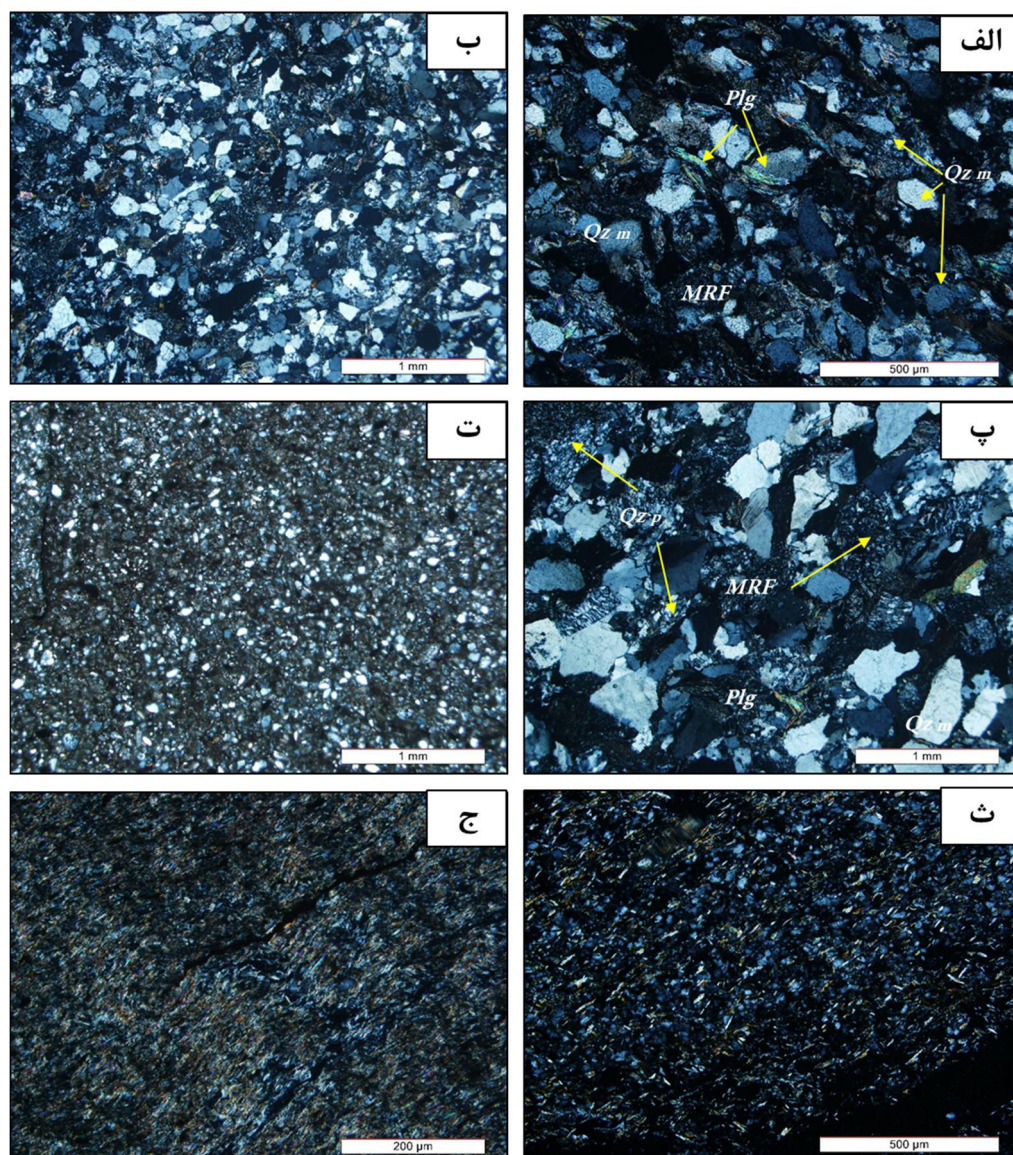
با ضخامت ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر، برروی ماسه‌سنگ‌های آسیاب قرار گرفته و لیتولوژی آن شامل تناوبی از ماسه سنگ دانه درشت و دانه ریز، سیلتستون، آرژیلیت و حاوی ۳۰ لایه زغال سنگی می‌باشد که ۵ لایه آن قابل استخراج است. رسوبات زغال سنگی این بخش با رخساره آبرفتی شروع می‌گردد و به تدریج به سمت بالا به صورت متناوب به رخساره مردابی _ دریاچه‌ای و مردابی تغییر می‌کند. به منظور مطالعات کانی‌شناسی و بلوغ بافتی از این واحد تعداد ۴ نمونه ماسه‌سنگ، ۲ نمونه شیل و یک نمونه شیل زغالی برداشت نمودیم.

این واحد متشکل از ماسه‌سنگ ریز تا درشت‌دانه به رنگ خاکستری روشن و تیره می‌باشد. این ماسه‌سنگ‌ها از نظر جور شدگی متوسط تا خوب با کروییت ضعیف می‌باشند. از جمله اجزای تخریبی در ماسه‌سنگ‌های پشکلات می‌توان به کوارتز تک‌بلوری و چند بلوری با خاموشی موجی، میکا، پلاژیوکلاز (سدیک)، مسکوویت و به میزان کمتر بیوتیت سریسیتی شده، کلریت و مقداری آغشتگی به اکسید آهن هم در مقاطع دیده می‌شوند. سیمان ماسه‌سنگ‌ها مختلف بوده و اغلب دارای سیمان آرژیلی (کائولینیتی و ایلیت)، کربناتی و بندرت سیمان کلریتی به صورت پرکننده فضاهای خالی و

پوشاننده سطح خارجی ذرات دیده می‌شود (شکل ۲-۱۱) و گاهی تکه‌های کوچک زغالی در داخل ماسه‌سنگ‌ها با وضوح بخصوصی قرار می‌گیرند. مسکوویت به‌صورت ورقه‌های کشیده شده و بیوتیت با جهت یافتگی خاص به‌صورت فراوان در مقاطع نازک دیده می‌شود که می‌تواند ناشی از عملکرد نیروهای زمین‌ساختی فشارشی در منطقه باشد (شکل ۲-۱۱، ث و ج).



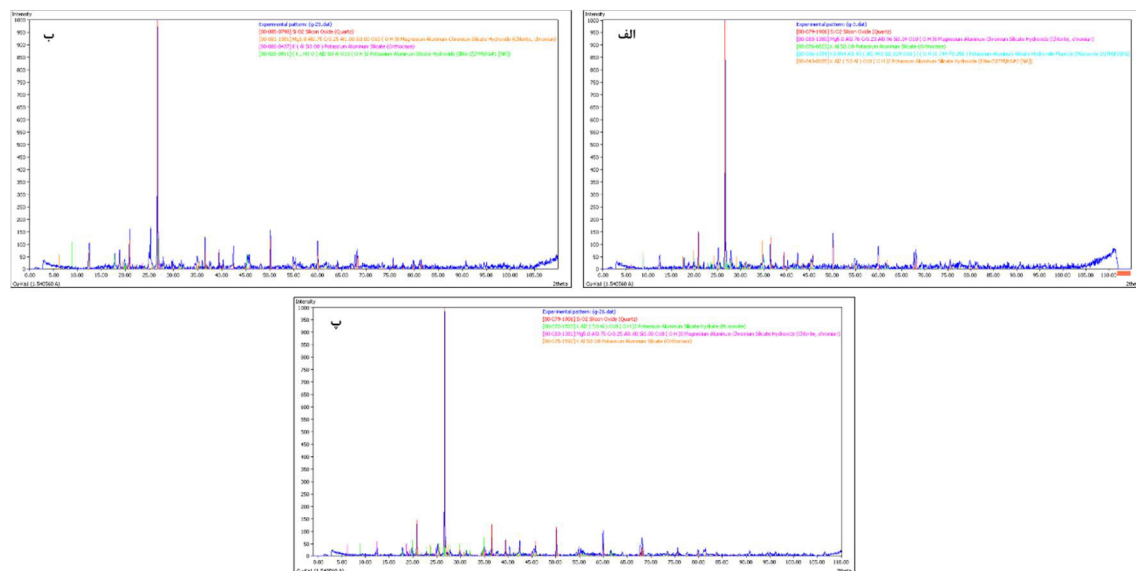
شکل (۲-۱۱) الف) نمای از مرز میان زیر بخش پشکلات با زیر بخش آسیاب؛ ب) مقطع کاملی از زیر بخش پشکلات، دید رو به شمال؛ پ) تصویری از توالی شیل، ماسه‌سنگ و شیل از زیر بخش پشکلات (لایه P17)؛ ت) توالی از شیل، ماسه‌سنگ و لایه‌های زغال‌سنگ در قسمتی از زیر بخش پشکلات (لایه P10)؛ ث) آثار فسیلی از ریشه و برگ درختان در ماسه‌سنگ‌های زیر بخش پشکلات؛ ج) نمایی از توالی شیل و ماسه‌سنگ زغال‌دار از زیر بخش پشکلات (لایه P1).



شکل (۲-۱۳) تصاویر میکروسکوپی (نور پلاریزان) از مقاطع نازک لیت آرنایت و شیل زیر بخش پشکلات در نور XPL. الف) کوارتز تک‌بلور (Qz_m)، کوارتز چند بلور (Qz_p)، پلاژیوکلاز (Plg) و خرده سنگ دگرگونی (MRF) در زمینه سیلیسی؛ ب) لیت آرنایت متوسط دانه که دانه‌های کوارتز از حاشیه دچار شکستگی و خوردگی شده‌اند؛ پ) لیت آرنایت درشت دانه با خرده سنگ دگرگونی و رسوبی؛ ت) لیت آرنایت دانه‌ریز با سیمان هماتیستی؛ ث) سیلتستون با بافت میکروکریستال همراه با دانه‌های تیغه‌ای مسکوویت (نقاط روشن کوارتز و نقاط تیره احتمالاً مواد آلی و یا اکسید آهن هستند)؛ ج) شیل با بافت کریپتوکریستال همراه با تیغه‌های مسکوویت و بیوتیت در زمینه.

شیل‌های واحد پشکلات به دلیل حضور مواد آلی به رنگ خاکستری تیره و متمایل به سیاه دیده می‌شوند. تناوبی از شیل و سیلتستون در این واحد دیده می‌شود که دگرگونی درجه پایین را متحمل شده‌اند و دچار جهت یافتگی هستند. نتایج حاصل از آنالیز پراش اشعه ایکس نشان می‌دهد که کانی-

های تشکیل دهنده شامل؛ کوارتز، کلریت، کرمین، ارتوکلاز، مسکوویت و ایلیت می‌باشد (شکل ۲-۱۲).



شکل (۲-۲۴) الگوی نتایج پراش پرتو ایکس نمونه‌های شیل (الف) و شیل آرژیلی (ب و پ) در زیر بخش کلاریز.

بخش روازه (Jlrv)

ضخامت در حدود ۵۰۰ متر، سن ژوراسیک زیرین تا میانی و لیتولوژی آن شامل ماسه‌سنگ‌های دانه‌ریز و به ندرت دانه متوسط به رنگ سبز با فسیل‌های فراوان آمونیت، بلمنیت، گاستروپو است که در زیر این طبقات ماسه‌سنگی یک لایه آهکی به ضخامت کم با فسیل پلی سیپودا دیده می‌شود. این بخش فاقد لایه‌های زغال‌سنگی می‌باشد و رخساره رسوبات آن دریایی است.

۲-۲-۲- ویژگی‌های پتروگرافی زغال‌سنگ

آنالیزهای پتروگرافی زغال‌سنگ، جهت تعیین کیفیت زغال‌سنگ، درجه زغال شدگی، ترکیب و ویژگی‌های کک حاصل از زغال‌سنگ و محیط ته‌نشست دیرینه استفاده می‌گردند [۴۱]. ماسرال‌ها در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نظیر ترکیبات عنصری، مقدار رطوبت، سختی، چگالی و خصوصیات

پتروگرافی دارای اختلافات زیادی می‌باشند. این اختلافات در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و در رفتار صنعتی ماسرال‌ها منعکس می‌گردند [۴۲]. مقادیر ماسرالی در زغال‌سنگ منعکس‌کننده منبع آلی مواد سهیم در تورب تجمع یافته و شرایط در طول ته‌نشست نظیر ارتفاع سطح آب، PH، تجزیه توسط باکتری‌های هوازی و غیر هوازی و تفکیک مکانیکی مواد آلی وابسته به حمل‌ونقل پیش از رسوب‌گذاری نهایی می‌باشند [۴۳]. نامتجانس بودن ساختمان زغال‌سنگ با چشم غیرمسلح قابل رؤیت است ولی دستیابی به اطلاعات لازم در خصوص جزئیات ترکیبی زغال‌سنگ، مطالعات میکروسکوپی را طلب می‌کند. معمولاً مطالعات میکروسکوپی زغال‌سنگ به دو روش، مقطع نازک و یا با نور عبوری و دیگری روش مقطع صیقلی و یا با نور منعکسه صورت می‌گیرد. روش اول جهت بررسی مورفولوژی و روش دوم برای تعیین کمی ترکیب ماسرالی زغال‌سنگ به کار می‌رود [۱]. در این مطالعه ارزیابی اجزای آلی زغال‌سنگ (ماسرال) و کانی‌های همراه توسط میکروسکوپ پلاریزان Olympus و با عدسی‌هایی با بزرگ‌نمایی ۱۰ و ۲۰ در نور سفید انجام شده است.

۲-۲-۳- ویژگی‌های پتروگرافی لایه‌های زغال‌سنگی منطقه طزره

یکی از شیوه‌های بررسی کانی‌شناسی زغال‌سنگ‌های طزره توسط مطالعات میکروسکوپی و ماکروسکوپی بوده است. در حالت ماکروسکوپی به بررسی نمونه‌های دستی زغال‌سنگ پرداخته شده است. در حالت میکروسکوپی نیز مقاطع صیقلی تهیه شده از نمونه دستی و پودر زغال‌سنگ مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بررسی‌های کانی‌شناسی زغال‌سنگ‌های منطقه طزره نشان می‌دهد که بخش اعظم مواد معدنی موجود در این زغال‌سنگ‌ها از کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، کانی‌های رسی و کوارتز تشکیل گردیده است (شکل ۲-۱۳، ب و پ). کانی‌های رسی در نمونه‌های مورد مطالعه غالب و رایج هستند. پیریت دارای مقدار قابل توجه بوده و کوارتز و کالکوپیریت نیز در مقادیر کمتر در این نمونه‌ها حضور دارند.

پژوهشگران معتقدند که کانی‌های رسی و کوارتز، کانی‌های تخریبی رایج در زغال‌سنگ‌ها می‌باشند و در بعضی موارد تقریباً می‌توانند علتی برای حضور همه مواد کانیایی باشند. در نمونه‌های مورد مطالعه فراوانی نسبی کانی‌های رسی تقریباً یکسان می‌باشد. در مقاطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌های مورد مطالعه، کانی‌های رسی حضور دارند. این کانی‌ها بصورت پرکننده حفرات و شکستگی‌ها و در مواردی نیز در کنار پیریت قابل مشاهده هستند (شکل ۲-۱۳، ب و پ).

پیریت کانی سولفیدی رایج در بسیاری از زغال‌سنگ‌ها می‌باشد. در زغال‌سنگ‌های طزره نیز پیریت رایج‌ترین کانی سولفیدی می‌باشد که در هر دو حالت همزمان و غیرهمزمان با رسوبگذاری در زغال‌سنگ‌ها حضور دارد.

مطالعه مقاطع میکروسکوپی حضور هر سه گروه ماسرالی ویتترینیت، اینرتینیت و لیپتینیت با درصدهای حجمی متفاوت را در تمام نمونه‌های زغال‌سنگی مورد مطالعه به اثبات رساند (شکل ۲-۱۳).

- گروه ویتترینیت دارای بیشترین درصد حجمی در میان دو گروه ماسرالی دیگر بوده و شامل ماسرال‌های کالودترینیت، کالتلینیت و کورپوژلینیت است. خانواده اینرتینیت از مقادیر کم تا متوسط در این زغال‌سنگ‌ها حضور دارند و شامل ماسرال‌های فوزینیت، سمی فوزینیت، ماکرینیت، اسکرتینیت، فانگینیت، اینرتودترینیت و میکرینیت می‌باشند. کمترین مقادیر درصد حجمی متعلق به خانواده لیپتینیت است که شامل ماسرال‌های اسپورنیت، کوتینیت، رزینیت و لیپتودترینیت می‌باشد.

- گروه ماسرالی ویتترینیت، فراوان‌ترین گروه بر اساس درصد حجمی در بین سایر گروه‌های ماسرالی در همه لایه‌های زغال‌سنگی منطقه طزره می‌باشد. کالودترینیت فراوان‌ترین ماسرال گروه ویتترینیت به صورت یک زمینه ویتترینیت خال‌دار در اتصال با دیگر اجزای زغال‌سنگ مشاهده گردید. کالتلینیت به صورت زمینه ویتترینیت یکنواخت و باندهای خاکستری رنگ با

بازتاب نوری بیشتر در این زغال‌سنگ‌ها حضور دارند.

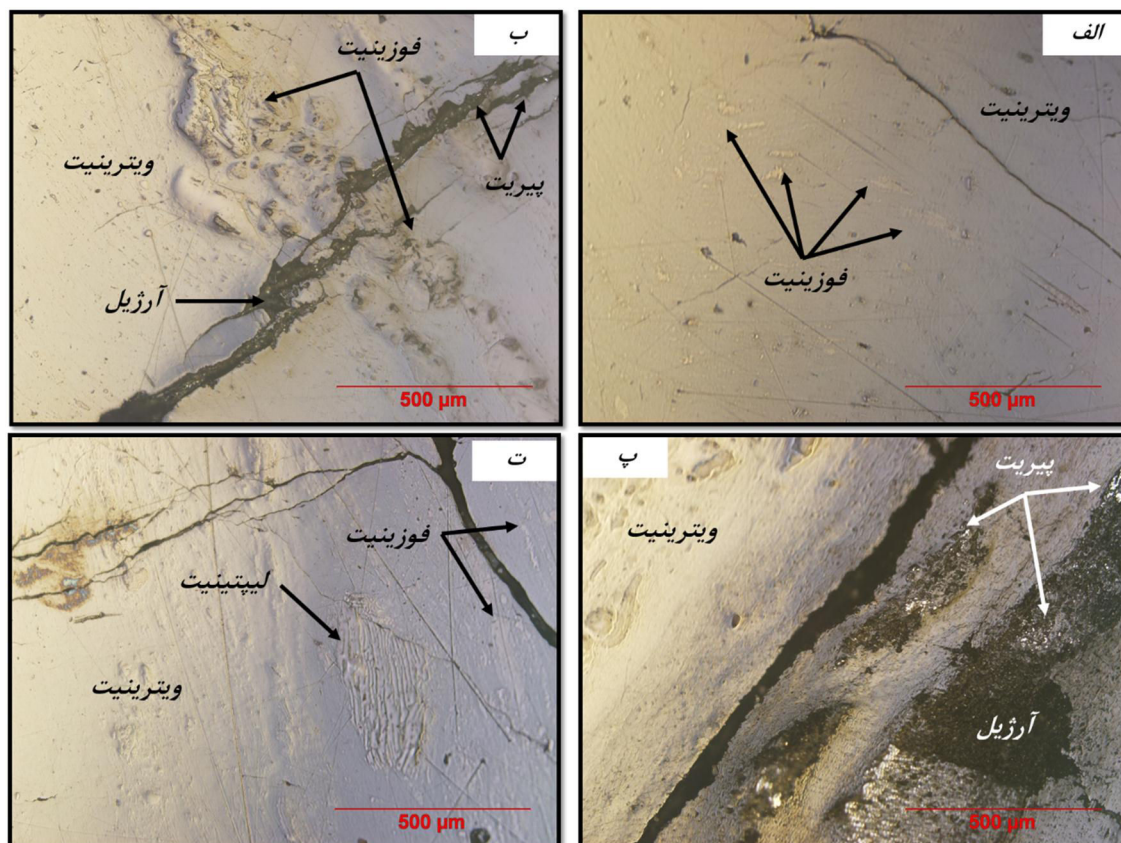
- ماسرال‌های خانواده اینرتینیت، با رنگ خاکستری یا سفید متمایل به خاکستری و برجستگی مثبت در مقاطع صیقلی لایه‌های زغال‌سنگی منطقه طزره قابل مشاهده هستند. از ماسرال‌های این خانواده، سمی فوزینیت و فوزینیت به ترتیب فراوان‌ترین ماسرال‌های اینرتینیتی در لایه‌های زغال‌سنگی منطقه طزره هستند و بیشتر به صورت لنزها و نوارهای دوکی شکل دیده می‌شوند. فوزینیت به صورت دیواره‌هایی با ساختار سلولی خوب حفظ شده و حفرات سلولی اغلب باز در این لایه‌ها قابل مشاهده است. سمی فوزینیت نیز به میزان قابل توجهی در این لایه‌ها مشاهده می‌شود. این ماسرال‌ها به صورت دیواره‌های سلولی خوب تا نیمه حفظ شده و حفرات سلولی اغلب بسته دیده می‌شود. پرکننده‌های رایج حفرات سمی فوزینیت‌ها در نمونه‌های مورد مطالعه، احتمالاً ماسرال‌های رزینیت به همراه پیریت و کانی‌های رسی می‌باشند.

- گروه ماسرالی لیپتینیت دارای کمترین فراوانی در میان سه گروه ماسرالی است. ماسرال‌های اسپورنیت، کوتینیت، لیپتودترینیت و رزینیت از این گروه ماسرالی در لایه‌های زغال‌سنگی منطقه طزره قابل مشاهده هستند. فراوانی این ماسرال‌ها در تمامی لایه‌های زغال‌سنگی بسیار کم یا در بعضی لایه‌ها به کلی فاقد ماسرال‌های این گروه می‌باشند.

همان‌طور که میدانیم ارتباط نزدیکی بین اطلاعات پتروگرافی زغال‌سنگ یا مقدار و ترکیب کانیایی آن و همچنین محیط ته نشست آن با تغییر پوش گیاهی شرایط آبی نهشت تورب و نرخ فرونشست حوضه وجود دارد، بر همین اساس و با توجه به حضور پیریت، فراوانی کانی‌های رسی و کوارتز در درون شیل‌های در بردارنده لایه‌های زغال‌سنگ و همچنین حضور مقادیر بالای ویتترینیت در ترکیب پتروگرافی زغال‌سنگ‌های این ناحیه، احتمالاً شرایط بی‌هوازی در طول تشکیل زغال‌سنگ و متغیر بودن سطح ایستابی حکم‌فرما بوده است.

زغال‌سنگ‌های منطقه از نظر کیفیت به دو دسته، حاوی بیشتر از ۳۳ درصد مواد فرار، باکیفیت

پایین و کم‌ارزش و حاوی کمتر از ۳۳ درصد مواد فرار، کیفیت خوب تقسیم‌بندی شده‌اند که نوع مرغوب آن به کارخانه فولاد اصفهان ارسال می‌گردد [۲۹].



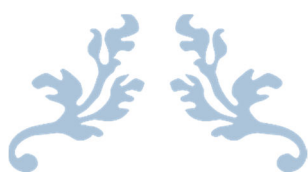
شکل (۲-۱۳) تصویر میکروسکوپی ماسرال‌های دیده‌شده در زغال‌سنگ‌های منطقه طزره در نور سفید؛ الف) فوزینیت‌های نوع I در زمینه‌ای از ویتترینیت خاکستری؛ ب) فوزینیت نوع III در زمینه ویتترینیت خاکستری، رگه آرژیلی همراه با دانه‌های ریز پیریت؛ پ) زمینه‌ای از ویتترینیت خاکستری همراه با آرژیل و دانه‌های ریز پیریت؛ ت) لیپتینیت و فوزینیت‌های نوع I در زمینه‌ای از ویتترینیت خاکستری.

۲-۲-۴- محیط رسوبی دیرینه

زغال‌سنگ، سنگی نرم، شکننده، قابل احتراق و حاوی کربنی است که در نتیجه تجزیه و دگرسانی پوشش گیاهی به وسیله تراکم، دما و فشار تشکیل شده است [۴۵]. اصطلاح رخساره زغال‌سنگ اشاره دارد به پیدایش اصلی انواع زغال‌سنگ که وابسته است به شرایط محیط دیرینه‌ای که تحت آن ماده متشکله تورب تجمع یافته است [۴۶]. عواملی نظیر اقلیم، فراورده‌های مغذی، رطوبت و pH بر روی نوع پوشش گیاهی که در باتلاق رشد می‌کند، تأثیر می‌گذارند [۴۷]. بررسی‌ها نشان داده است که

ارتباط نزدیکی بین اطلاعات پتروگرافی زغال‌سنگ و محیط ته‌نشست آن و تغییرات پوشش گیاهی باتلاق تورب‌زا وجود دارد [۴۸]. مقدار و ترکیب مواد کانیایی نیز راهنمای مهمی در تفسیر محیط بوده [۴۹] و مستقیماً شرایط آبی نهشت تورب و نرخ فرونشست حوضه را شرح می‌دهند [۵۰]. به بیان دیگر می‌توان گفت با استفاده از پتروگرافی زغال‌سنگ‌ها، تا اندازه‌ای به شرایط دیرینه نهشت زغال‌سنگ‌ها پی برد.

مواد کانیایی زغال‌سنگ‌های مورد مطالعه اصولاً شامل کانی‌های رسی و پیریت می‌باشند، این امر می‌تواند بیانگر این نکته باشد که تجزیه گیاهان تحت شرایط بی‌اکسیژن یا به‌طور کلی یک سطح ایستابی بالا اما متغیر رخ داده است [۴۳]. که این امر توسط فراوانی و پیریت‌ها نسبت به اینترتینیت‌ها به همراه مقادیر متغیر این ماسرال‌ها به عنوان دلایلی بر شرایط بی‌هوازی تا کم اکسیژن و همین‌طور تغییرات سطح ایستابی نیز، مورد تأیید قرار گرفت. از طرفی شواهد کانی‌شناسی مربوط به فراوانی کانی‌های سولفیدی پیریت و کالکوپیریت بیانگر مقادیر نسبتاً بالای سولفور در زغال‌سنگ‌های مورد مطالعه است. با توجه به آنکه مقادیر بالای سولفور به محیط‌های لب‌شور و دریایی در طول نهشت زغال وابسته است [۵۱]. سووارنا و هرمانتو [۴۸] نیز در مطالعات خود اعلام می‌دارند که وجود مقادیر کم تا متوسط پیریت دلالت بر تأثیر یک محیط دریایی یا لب‌شور دارد، می‌توان گفت که به احتمال زیاد این زغال‌سنگ‌ها در شرایطی نظیر مجاورت نسبی به سوی محیط‌های دریایی یا دست‌کم تحت نفوذ آب‌های شور دریا نظیر محیط‌های دلتایی و ساحلی کم‌عمق تشکیل شده‌اند. بر همین اساس و با توجه به حضور پیریت، فراوانی کانی‌های رسی و کوارتز در درون شیل‌های در بردارنده لایه‌های زغال‌سنگ و همچنین حضور مقادیر بالای ویتترینیت در ترکیب پتروگرافی زغال‌سنگ‌های این ناحیه، احتمالاً شرایط بی‌هوازی در طول تشکیل زغال‌سنگ و متغیر بودن سطح ایستابی حکم‌فرما بوده است. زیرا حضور پیریت نشان‌دهنده فعالیت باکتری‌های احیاکننده سولفور و شرایط بی‌هوازی می‌باشد [۵۲].



فصل سوم ژئوشیمی سنگ منیربان



۳-۱- مقدمه

پس از تحلیل روابط صحرایی و پتروگرافی ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌ها، مطالعه ویژگی‌های ژئوشیمیایی آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. امروزه بررسی دقیق و همه جانبه سنگ‌ها از جمله تفسیر منشأ و پتروژنز آن‌ها، همچنین تجزیه و تحلیل داده‌ها بدون مطالعات ژئوشیمیایی، امکان‌پذیر نیست. ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی رسوبات سیلیسی آواری بستگی به عامل‌هایی نظیر ترکیب رسوبات منشأ، پستی و بلندی، آب‌وهوای دیرین، حمل‌ونقل، جورشدگی و دیاژنز دارد [۵۳]. اگرچه در رسوبات آواری اثرات دیاژنزی همچون تبلور دوباره، آلبیتی شدن فلدسپارها و شستشوی کانی‌های فرعی می‌تواند موجب اختلالاتی در تفسیر برخاستگاهی شود [۵۴، ۵۵] اما بررسی و تفسیر ژئوشیمیایی در ماسه‌سنگ‌ها به‌عنوان ابزار قوی در بررسی موقعیت زمین‌ساختی محیط رسوبی ماسه‌سنگ‌ها و شناسایی خاستگاه آن‌ها استفاده می‌شود [۵۶، ۵۷، ۵۸]. از آن جایی که نهشته‌های شیلی دانه ریز بوده و نفوذپذیری بسیار کمی دارند می‌توانند ترکیب کانیایی سنگ منشأ را در خود حفظ کرده که بدین سبب در بررسی‌های برخاستگاهی از اهمیت زیادی برخوردار هستند [۵۹] موقعیت تکتونیک حوضه رسوبی و منطقه منشأ، عامل اصلی در کنترل ترکیب رسوبات آواری محسوب می‌شود [۶۰]. فرایندهای تکتونیک صفحه‌ای از دو طریق متفاوت ویژگی‌های ژئوشیمیایی خاصی را به رسوبات منتقل می‌نمایند. محیط‌های مختلف تکتونیکی که دارای خصوصیات سنگ منشأ متفاوتی هستند و محیط‌هایی که توسط فرایندهای رسوبی خاصی مشخص می‌گردند [۶۰]. استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی نیز می‌تواند افزون بر روش‌های سنگ‌نگاری در طبقه‌بندی سنگ‌های رسوبی و همچنین تفکیک میان رسوبات بالغ و نابالغ، مؤثر واقع شود [۶۱] به‌منظور مطالعات ژئوشیمیایی سنگ در برگیرنده لایه‌های زغال‌سنگی و بررسی سیر تحول عناصر، پس از مطالعات صحرایی و پتروگرافی، تعداد ۵ نمونه از ماسه‌سنگ‌ها و ۶ نمونه شیلی جهت انجام مطالعات شیمیایی انتخاب گردیدند، نمونه‌ها از بخش‌های شیلی و ماسه‌سنگی زیر بخش‌های کلاریز و پشکلات برداشت شده‌اند. روش‌های تجزیه این نمونه‌ها برای عناصر مختلف در بخش کلیات به تفسیر آورده شده است. در این فصل به نام‌گذاری سنگ میزبان، تعیین سنگ منشأ و

جایگاه زمین ساختی ماسه سنگ و شیل با استفاده از نمودارهای ژئوشیمی پرداخته شده است.

۳-۲- ژئوشیمی عناصر اصلی

مطالعه عناصر اصلی به ۱۰ عنصری محدود می شود که به طور مرسوم در تجزیه های شیمیایی به صورت اکسید بیان می شوند مانند SiO_2 , CaO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , TiO_2 , MnO_2 و $[\text{MgO}]^{[۶۲]}$. توزیع عناصر اصلی، منعکس کننده کانی شناسی نمونه های مورد مطالعه می باشد. در این میان اکسیدهای CaO , MgO , Na_2O و K_2O متحرک^۱ و اکسیدهای Al_2O_3 و TiO_2 غیرمتحرک^۲ می باشند [۶۳]. به این دلیل که Al_2O_3 در طی هوازدگی، دیاژنز و متامورفیسم، نسبتاً بدون تغییر است، معمولاً به عنوان فاکتوری جهت مقایسه بین لیتولوژی های مختلف به کار می رود. فرایندهای کنترل کننده ترکیب عناصر موجود در سنگ های رسوبی را می توان با استفاده از نمودارهای بهنجار سازی شبیه به نمودارهای عنکبوتی بررسی کرد. این نمودارها در سنگ های رسوبی می توانند غنی شدگی و تهی شدگی نامحسوس برخی از عناصر خاص را نشان دهند [۶۲]. مطالعات نشان داده است که غلظت بسیاری از عناصر در سنگ های رسوبی ریزدانه فلات قاره سراسر جهان به دلیل آمیختگی ناشی از چرخه های مکرر فرسایشی شبیه به یکدیگرند. از این رو پر استفاده ترین مقادیر به هنجار سازی در سنگ های رسوبی ترکیب بالایی پوخته قاره ای^۳ و ترکیب شیل آمریکای شمالی^۴ است که می توان با بهنجار سازی عناصر میزان رسیدگی رسوب، موقعیت زمین ساختی و همچنین اطلاعاتی در مورد منشأ رسوبات را نیز به دست آورد [۵۸]. در این بین نسبت عناصر $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ و $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ برای بررسی موقعیت زمین ساختی و منشأ رسوبات، بیشترین کاربرد را دارند [۶۴، ۶۵]. در جدول ۳-۱ نمونه های ماسه سنگی و شیلی انتخاب شده برای آنالیز شیمیایی و در جدول های ۳-۲ و ۳-۳ نتایج حاصل از آنالیز نمونه های سنگ میزبان که برای

^۱ : Mobile

^۲ : Im Mobile

^۳ : Upper Crust – Taylor & McLennan, 1985

^۴ : North American Shale Composite – Gromet et. Al., 1984

ترسیم نمودارهای مربوط به طبقه‌بندی، منشأ و جایگاه زمین‌ساختی این واحدهای سنگی به کار گرفته شده است به روش‌های ICP-OES و ICP-MS نشان داده شده است. Fe_2O_3 و Al_2O_3 , SiO_2 به ترتیب فراوان‌ترین اکسیدهای اصلی در شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشند (شکل ۱-۳) که ارتباط و همبستگی Al_2O_3 و SiO_2 و همچنین مقادیر بالای آن‌ها نشان دهنده حضور بالای عوامل تخریبی در ترکیب سنگ مادر اولیه است. مقادیر پایین CaO و Na_2O نشان دهنده غلظت‌های پایین آن‌ها در سنگ منشأ می‌باشد. تخلیه شدید CaO در نمونه‌ها را به تحرک زیاد این عنصر در طی هوازگی شیمیایی، فرایندهای دیاژنزی و دگرسانی ثانویه نسبت می‌دهند [۶۷، ۶۶، ۶۱]. افزون بر آن در طی مراحل اولیه هوازگی و دیاژنز، Ca و Na از پلاژیوکلاز حذف می‌شوند [۶۸]، به‌طوری که کم بودن این دو اکسید در نمونه‌ها را می‌توان به بلوغ رسوبی بالای آن نسبت داد.

به‌نجار سازی نمونه‌ها نسبت به NASC، برای نمونه‌های مورد بررسی نشان داده شده است ترکیب اکسیدهای اصلی نمونه‌های این منطقه در TiO_2 غنی‌شدگی و در CaO تهی‌شدگی شدید و بقیه عناصر مقادیری مشابه در SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , MnO و MgO را نسبت به غلظت مرجع NASC نشان داده و نسبت به Na_2O , CaO و P_2O_5 مقادیر پایین‌تری را به نمایش می‌گذارند (شکل ۲-۳).

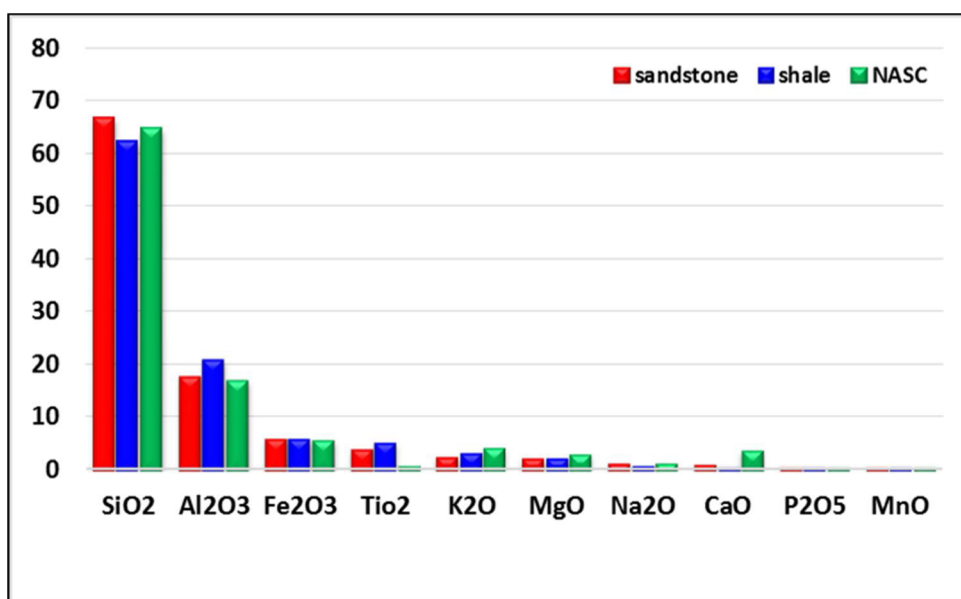
جدول (۳-۱) نمونه‌های ماسه‌سنگی انتخاب‌شده برای آنالیز به روش شیمیایی.

Sample	UTM		Lithology
	latitude	Longitude	
G-3	4033375	269039	Shale
G-8	4032485	269635	Shale
G-14	4032850	268877	Shale
G-18	4032850	268877	Shale
G-23	4033315	269390	Shale
G-26	4033315	269390	Shale
G-2	4033357	269059	Sandstone
G-6	4033138	269508	Sandstone
G-9	4032485	269635	Sandstone
G-15	4032850	268877	Sandstone
G-29	4031869	268851	Sandstone

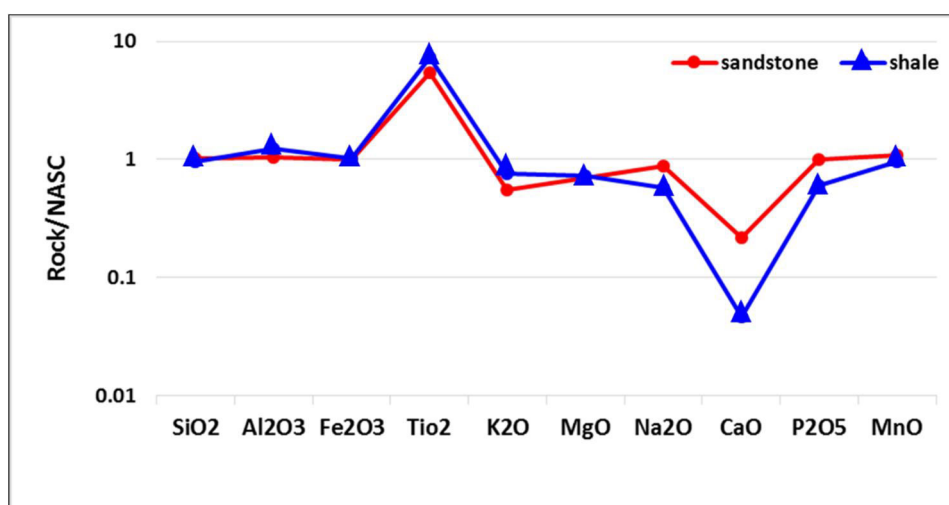
جدول (۳-۲) فراوانی اکسیدهای اندازه‌گیری شده (برحسب درصد وزنی) در ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های منطقه مورد مطالعه به روش ICP-OES و

ICP-MS

sample	Sandstone							Shale				NASC[]
	G-2	G-6	G-9	G-15	G-29	G-3	G-8	G-14	G-18	G-23	G-26	
SiO ₂	72.84	64.58	69.55	54.48	71.98	59.87	64.17	56.89	68.34	59.47	65.19	64.80
Al ₂ O ₃	13.40	13.95	18.97	27.11	14.71	19.27	18.58	27.92	19.44	21.09	18.39	16.90
Fe ₂ O ₃	5.67	8.13	3.04	6.07	5.52	9.31	7.75	3.76	2.77	6.90	3.92	5.65
TiO ₂	2.99	3.99	3.86	5.22	2.89	3.96	3.75	5.51	4.91	5.88	6.59	0.70
K ₂ O	1.59	1.68	2.26	4.03	1.53	2.94	2.45	3.27	2.86	3.25	3.36	3.97
MgO	1.83	2.99	1.21	2.44	1.49	2.79	1.63	1.93	1.22	2.75	2.05	2.86
Na ₂ O	1.25	1.53	0.38	0.50	1.37	1.17	0.90	0.55	0.35	0.55	0.43	1.14
CaO	0.26	2.80	0.54	0.03	0.32	0.40	0.46	0.08	0.04	0.02	0.03	3.63
P ₂ O ₅	0.12	0.17	0.17	0.06	0.12	0.18	0.13	0.06	0.05	0.02	0.02	0.13
MnO	0.05	0.15	0.009	0.04	0.06	0.09	0.15	0.01	0.008	0.05	0.02	0.06



شکل (۳-۱) نمودار مقایسه‌ای میانگین عناصر اصلی ماسه سنگ و شیل‌های طرز با مقادیر زمینه مرجع (NASC).



شکل (۳-۲) الگوی توزیع بهنجار شده عناصر اصلی نسبت به مقادیر زمینه مرجع (NASC).

۳-۲-۱- طبقه بندی شیمیایی سنگ های رسوبی بر اساس اکسیدهای اصلی

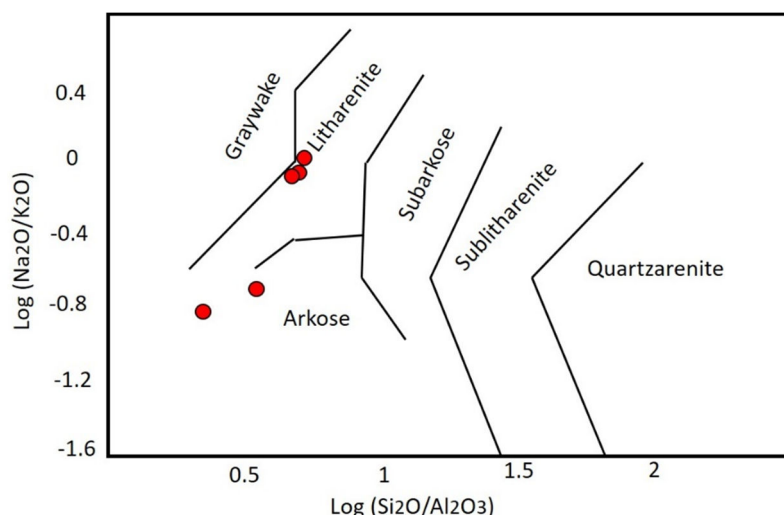
طبقه بندی سنگ های رسوبی آواری به گستردگی آذرین نبوده و اکثر سیستم های طبقه بندی سنگ های رسوبی، ویژگی هایی را که در نمونه دستی یا مقاطع نازک قابل رؤیت هستند مانند اندازه دانه ها و کانی شناسی اجزا و ماتریکس به کار می برند. برخلاف سنگ های آذرین، یافتن رابطه ساده بین کانی شناسی ماسه سنگ ها و ترکیب شیمیایی آن ها مشکل است. معیار خیلی معمول ژئوشیمیایی برای بلوغ رسوبات، مقدار SiO_2 و نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ است [۶۹]، که فراوانی کوارتز، رس و فلدسپات ها را منعکس می کند. پتی جان^۱ و همکاران [۳۷]، با استفاده از این نمایه بلوغ شیمیایی و نسبت $\text{Log} (\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ یک طبقه بندی برای ماسه سنگ ها پیشنهاد کردند که با ترسیم $\text{Log} (\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ در مقابل $\text{Log} (\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ صورت می گیرد. آن ها اذعان داشتند که این نمودار برای نام گذاری مفید نبوده اما به سادگی برخی از روابط میان ترکیب عنصری، کانی شناسی و تیپ سنگی را نشان می دهد. این روش به طور وسیع کاربرد دارد.

طبقه بندی شیمیایی نمونه های ماسه سنگ آنالیز شده محدوده معدنی طرز به روش پتی جان و همکاران (۱۹۷۲)، در شکل ۳-۳ نشان داده شده است.

نمادهای استفاده شده در ترسیم نمودارهای این بخش جهت تفکیک ماسه سنگ و شیل عبارتند از:

	ماسه سنگ
	شیل

^۱: Pettijohn (1987)



شکل (۳-۳) طبقه‌بندی چند متغیره ماسه‌سنگ‌های محدوده معدنی طزره با استفاده از $\text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ در مقابل $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ ، اقتباس از پتی جان و همکاران (۱۹۷۲). مرزها توسط هرون (۱۹۸۸) مجدداً ترسیم شده‌اند، بر اساس این نمودار نمونه‌های ماسه‌سنگی محدوده معدنی طزره، عمدتاً در محدوده لیت آرنایت قرار می‌گیرند.

داده‌های حاصل از آنالیزهای ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های محدوده معدنی طزره بر روی نمودارهای هرون و پتی جان در محدوده لیت آرنایت قرار می‌گیرند که این نتایج با نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی همخوانی دارد. بر اساس شواهد پتروگرافی ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس نام‌گذاری فولک [۳۹]، در محدوده لیت آرنایت (به دلیل حجم بالای خرده‌سنگ‌های متشکله) قرار می‌گیرند.

۳-۲-۲- تمایز موقعیت زمین ساختی با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی

بررسی‌های تفسیر برخاستگاه سنگ‌های رسوبی در گذشته بر اساس تجزیه‌های سنگ‌نگاری ذرات دانه درشت بوده است اما امروزه روش‌های ژئوشیمیایی به بررسی توالی‌های ریزدانه برای تعیین برخاستگاه سنگ‌های رسوبی تاکید دارد. در این بخش با استفاده از داده‌های ژئوشیمی عناصر اصلی به تفسیر برخاستگاه پرداخته خواهد شد.

- نمودار روزر^۱ و کرش^۲، ۱۹۹۸

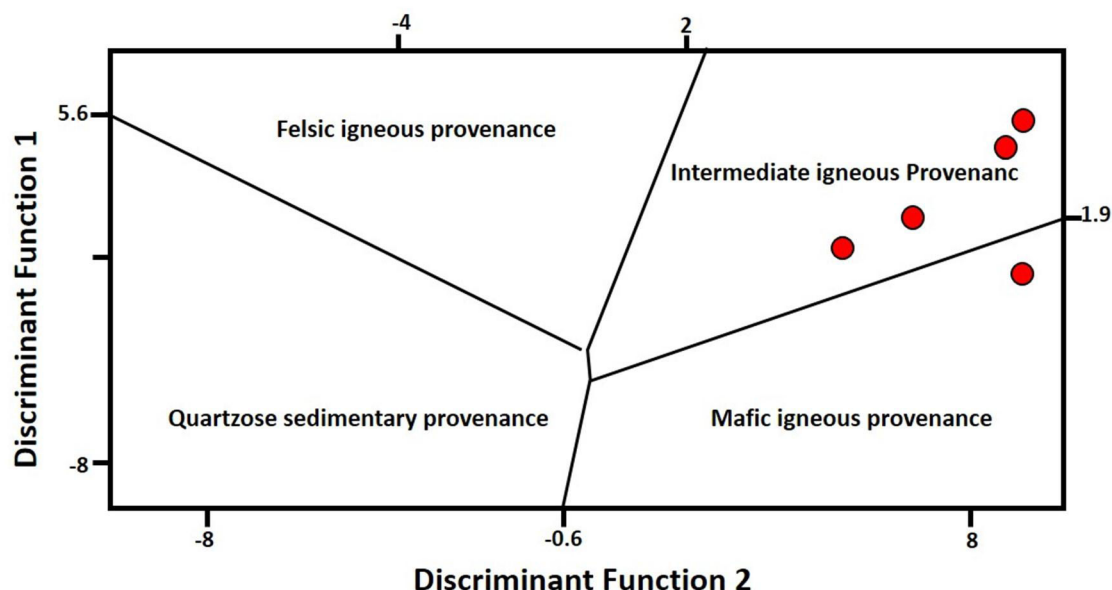
نمودار متمایزکننده تابعی روزر و کرش [۶۴]، برای تمایز بین رسوباتی که منشأ اولیه آنها سنگ‌های آذرین مافیک، حد واسط یا فلسیک و یا دارای کوارتز است، پیشنهاد شده است. این نمودار بر اساس اکسیدهای Na, Ti, Al, Fe, Mg, Ca و K چهار منشأ مذکور را از یکدیگر جدا می‌کند. در این تابع اکسیدها به صورت خام در محاسبه استفاده می‌شوند. تحلیل آنها بر اساس ۲۴۸ تجزیه شیمیایی است که در آنها $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ، $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ و $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ ، مشخصه‌های خیلی با ارزشی محسوب می‌شوند. در این نمودار دو تابع تشخیص ۱ و ۲ در محورهای X و Y قرار می‌گیرند. روش محاسبه این توابع در زیر آورده شده است.

Discrimination Function 1: $-(1.773 * \text{TiO}_2) + (0.607 * \text{Al}_2\text{O}_3) + (0.76 * \text{Fe}_2\text{O}_3) - (1.5 * \text{MgO}) + (0.616 * \text{CaO}) + (0.509 * \text{Na}_2\text{O}) - (1.224 * \text{K}_2\text{O}) - 9.09$

Discrimination Function 2: $(0.445 * \text{TiO}_2) + (0.07 * \text{Al}_2\text{O}_3) - (0.25 * \text{Fe}_2\text{O}_3) - (1.142 * \text{MgO}) + (0.438 * \text{CaO}) + (1.457 * \text{Na}_2\text{O}) + (1.426 * \text{K}_2\text{O}) - 6.861$

داده‌های اکسیدی نمونه‌های ماسه‌سنگی منطقه مورد مطالعه در این نمودار تابعی در محدوده آذرین حد واسط قرار می‌گیرند (شکل ۳-۴).

^۱ : Roser
^۲ : Korsch

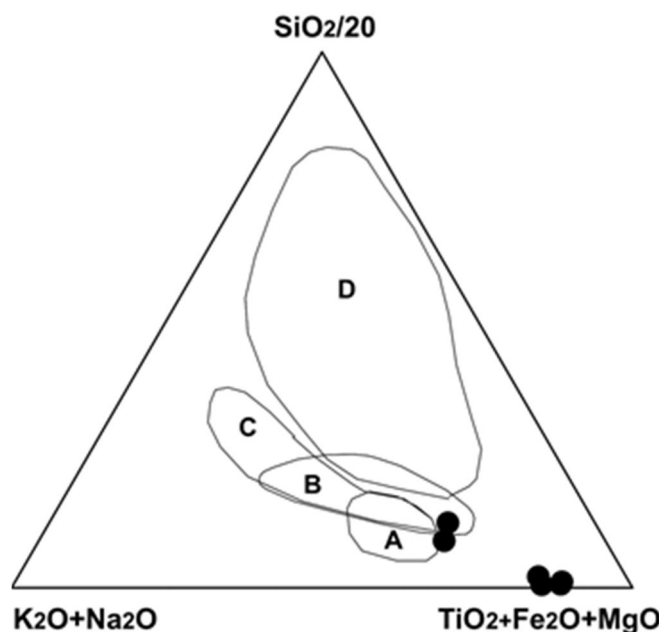


شکل (۳-۴) نمودار متمایزکننده ویژگی‌های خاستگاه مجموعه‌های ماسه‌سنگی و گلسنگی با استفاده از اکسید عناصر اصلی (اقتباس از روزر و کرش، ۱۹۸۸)، داده‌های اکسید ماسه‌سنگ‌های طزره در محدوده آذرین حد واسط قرار گرفته‌اند.

۳-۲-۳- نمودار متمایزکننده ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از عناصر اصلی

بر اساس مطالعات جمشیدی [۷۰]، سازند شمشک در حوضه‌های کشی درون قاره‌ای مرتبط با قوس‌های قاره‌ای و در یک محیط تکتونیکی فعال نهشته شده‌اند. وجود سنگ‌های آذرین آلکان بازیک (الیون گابرو تا مونزونیت و الیون بازالت) در قاعده سازند شمشک در البرز شرقی موید این گفته می‌باشد. در دیاگرام مثلثی ارائه‌شده توسط کرونببرگ^۱ [۷۱]، بر اساس مقادیر اکسید عناصر اصلی نمونه‌های ماسه‌سنگی، محدوده‌هایی برای ۴ جایگاه تکتونیکی (جزایر قوسی اقیانوسی، جزایر قوسی قاره‌ای، حواشی فعال قاره‌ای و حواشی غیرفعال قاره‌ای) تعیین شده است. با ترسیم داده‌های حاصل از آنالیزهای ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های طزره در این دیاگرام سه‌تایی، نمونه‌ها در منطقه مشترک جزایر قوسی اقیانوسی و جزایر قوسی قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۳-۵).

^۱ : Kroonenberg



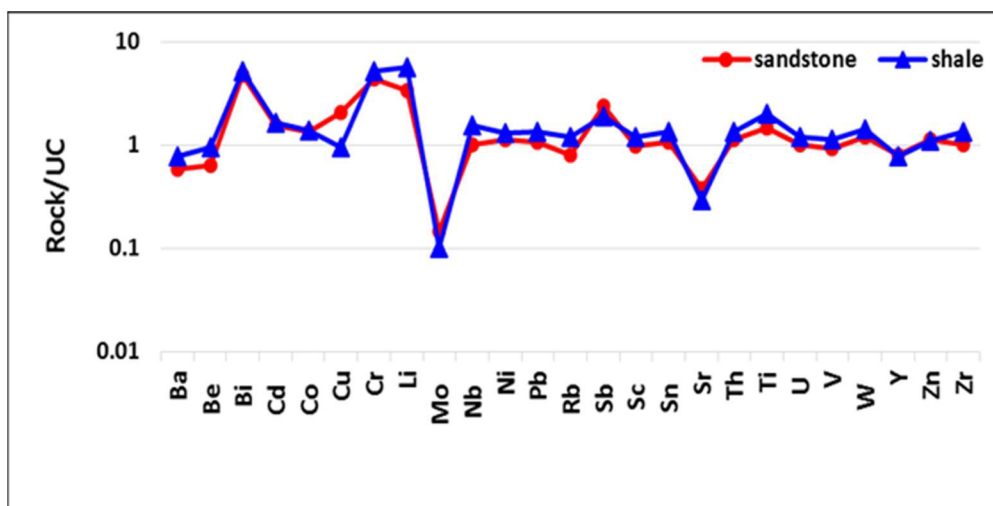
شکل (۳-۵) نمودار سه تایی (Kroonenberg (1994)، داده‌های اکسیدهای اصلی ماسه‌سنگ‌های سازند طزره در منطقه مشترک جزایر قوسی اقیانوسی و جزایر قوسی قاره‌ای قرار گرفته‌اند. جزایر قوسی اقیانوسی (A)، جزایر قوسی قاره‌ای (B)، حاشیه قاره‌ای فعال (C)، حاشیه غیرفعال قاره‌ای (D).

۳-۳- ژئوشیمی عناصر کمیاب

ژئوشیمی عناصر کمیاب و به ویژه عناصر نادر خاکی به علت آنکه از تحرک و ضریب تفکیک پایینی تحت شرایط مختلف زمین‌شناسی و رسوب شناسی برخوردار هستند، بهترین معرف و نشانگر ترکیب منشأ، موقعیت تکتونیکی و ایزاری قابل اعتماد در زمینه بررسی تکامل منشأ رسوبات هستند [۷۲]. فراوانی عناصر کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه معدن طزره در جدول ۳-۳ آورده شده است. بهنجار سازی عناصر کمیاب نمونه‌های منطقه مورد مطالعه با مقادیر ^{1}UC غلظت‌های مشابهی را در بسیاری از عناصر همانند Be, Co, Sc, V, Cd و ...، همچنین بهنجاری‌های مثبتی را در مقادیر عنصری Bi, Cu, Sb, Cr, Ti و Li را نشان می‌دهند (شکل ۳-۶). کاتیون‌های کوچکی همانند Sr, Ca و Na و ... در پروفیل‌های هوازدگی به طور انتخابی شسته و از محیط خارج می‌شوند، در حالیکه

¹ : Upper Crust

کاتیون‌های بزرگ مانند: K, Rb و Ba ممکن است توسط فرایندهایی همانند جذب سطحی و تبادلات یونی در رس و مواد آلی تثبیت شوند. نمونه‌های مورد مطالعه تهی شدگی بارزی از باریوم و استرانسیوم و مولیبدن را نشان می‌دهند، که احتمالاً به بلور زایی مجدد^۱ رس و تخریب پیش‌رونده فلدسپار مرتبط شود.



شکل (۳-۶) الگوی توزیع بهنجار شده عناصر کمیاب نسبت به مقادیر زمینه مرجع (UC).

۳-۳-۱- ترکیب سنگ مادر اولیه و موقعیت تکتونیکی

بر اساس جدول ۳-۴، که از نسبت های عنصری رایج همانند Cr/Th ، Th/Cr ، Th/Co ، Th/Sc و La/Sc ... در تعیین ترکیب سنگ منشا نمونه های شیل استفاده شده است، سنگ منشا فلسیک برای نمونه های شیلی طزره، استنتاج می شود [۷۳].

^۱ : Recrystallization

جدول (۳-۳) فراوانی عناصر کمیاب اندازه گیری شده (برحسب PPM) در نمونه های منطقه مورد مطالعه به روش ICP-OES و ICP-MS

Sample	sandstone					Shale						UC ¹
	G-2	G-6	G-9	G-15	G-29	G-3	G-8	G-14	G-18	G-23	G-26	
Ba	244	247	376	588	201	448	387	460	379	475	516	570
Be	1.08	1.29	2.31	3.85	1.49	2.16	2.17	4.15	3.95	2.78	2.83	3.20
Bi	0.08	0.08	0.40	0.45	0.26	0.21	0.22	0.60	0.12	0.24	0.26	0.05
Cd	0.08	0.13	0.15	0.28	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.10	0.19	0.10
Co	8.89	16.9	5.81	18.8	17.3	20.6	15.9	16.8	7.78	13.0	8.29	10
Cu	70.6	147	70.7	66.2	45.8	46.2	45.2	57.6	11.9	35.2	23.6	39
Cr	145	228	130	178	86.6	220	114	176	104	262	215	35
Li	41.1	30.9	149	133	34.2	74.1	42.6	373	117	94.1	68.7	23
Mo	0.08	0.08	0.69	0.24	0.08	0.08	0.08	0.58	0.08	0.08	0.08	1.60
Nb	9.90	15.5	15.5	22.2	12.9	14.3	14.5	24.9	22.1	27.6	33.8	15
Ni	52.8	103	33.2	78.0	43.5	124	51.5	72.0	41.4	87.7	47.3	55
Pb	7.52	10.5	29.3	23.3	20.9	18.7	27.2	32.6	17.8	17.8	22.2	17
Rb	46.0	49.8	108	167	64.5	91.8	95.7	181	139	133	140	110
Sb	0.18	0.25	0.60	0.55	0.82	0.21	0.25	0.70	0.39	0.39	0.35	0.20
Sc	7.17	8.98	21.3	20.6	9.76	13.8	12.3	25.6	14.9	17.0	16.9	14
Sn	2.09	2.60	3.95	5.09	3.70	3.04	3.57	5.98	4.43	4.18	5.31	3.30
Sr	84.4	109	259	120	92.4	112	129	118	114	70.5	66.5	350
Th	8.16	10.1	14.6	17.0	11.6	13.0	13.6	18.5	14.4	14.3	14.0	11
Ti	4204	5610	5428	7334	4056	5566	5267	7736	6901	8261	9251	3600
U	1.37	2.19	3.91	4.17	2.29	2.48	2.67	5.02	3.20	3.11	3.50	2.80
V	91.1	104	169	185	97.2	156	131	202	139	164	165	140
W	1.09	1.61	1.10	2.10	1.87	1.15	1.65	2.13	1.80	1.81	2.44	1.30
Y	9.42	15.5	20.9	23.5	18.4	14.6	17.6	25.0	18.8	11.8	15.0	22
Zn	83.5	85.9	31.4	108	65.4	131	91.9	56.7	28.2	78.2	51.3	67
Zr	169	177	276	361	223	276	264	453	264	320	340	240

جدول (۳-۴) نسبت های عناصر کمیاب در نمونه های مورد مطالعه با مقادیر زمینه مرجع.

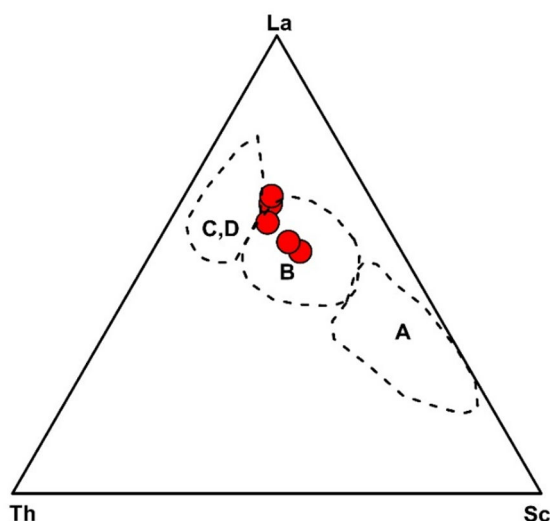
Element ratio	rang of sedimentary (cullers, 1994)				
	Shale	felsic rock	mafic rock	UCC	NASC[74] ¹
Th/Sc	0.87	0.84-20.5	0.05-0.22	0.79	0.79
Th/Co	1.07	0.67-19.4	0.04-1	0.63	1.10
La/Sc	2.46	2.5-16.3	0.43-0.86	2.21	2.29
Th/Cr	0.08	0.13-2.7	0.018-0.046	0.13	0.31
Cr/Th	12.39	4-15.0	25-500	7.76	3.18
La/Co	3.01	1.8-13.8	0.14-0.38	1.76	3.20

¹ : Taylor and McLennan, 1985

² : Gromet, 1984

۳-۳-۲- نمودار متمایزکننده ماسه‌سنگ‌ها بر اساس عناصر کمیاب

بهاتیا و کروک^۱ [۷۱]، عناصر La, Th, Zr, Nb, Y, Sc, Co و Ti را به‌عنوان مفیدترین عناصر جهت تمایز محیط‌های تکتونیکی گری وک‌های مختلف شناسایی کردند. بر روی نمودارهای سه متغیره La-Th-Sc محدوده‌های مشخصی برای ۴ محیط (جزایر قوسی اقیانوسی، جزایر قوسی قاره‌ای، حواشی فعال قاره‌ای و حواشی غیرفعال) شناسایی شده‌اند. با ترسیم داده‌های حاصل از آنالیز ماسه‌سنگ‌های سازند طزره بر روی دیاگرام سه‌تایی بهاتیا و کروک [۷۱]، نمونه‌ها در محدوده جزایر قوسی قاره‌ای قرار می‌گیرند. بر اساس نمودارهای سه‌تایی کرونینرگ و باتیا و کروک می‌توان بیان کرد جایگاه زمین ساختی منشأ ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، جزایر قوسی قاره‌ای می‌باشد (شکل ۳-۷).



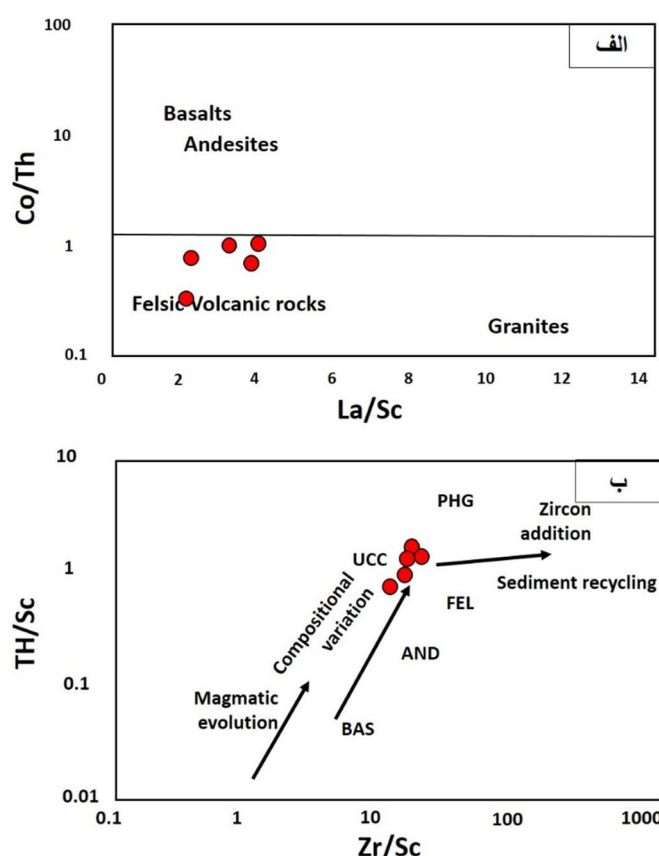
شکل (۳-۷) نمودار متمایزکننده ماسه‌سنگ‌ها بر اساس La-Th-Sc (اقتباس از باتیا و کروک، ۱۹۸۶)، داده‌های عناصر کمیاب نمونه‌های ماسه‌سنگی طزره در محدوده جزایر قوسی قاره‌ای (B) قرار می‌گیرند (محدوده‌ها عبارت‌اند از: A، جزایر قوسی اقیانوسی؛ B، جزایر قوسی قاره‌ای؛ C، حواشی فعال قاره‌ای و D، حواشی غیرفعال).

^۱ : Crook

۳-۳-۳- نمودارهای متمایز کننده سنگ منشأ ماسه سنگ ها با استفاده از عناصر

کمیاب

در این بخش جهت مشخص نمودن سنگ منشأ ماسه سنگ ها از ژئوشیمی عناصر کمیاب نیز استفاده شده است. با ترسیم داده های حاصل از آنالیز ژئوشیمیایی نمونه های ماسه سنگی بر روی نمودارهای دوتایی $La/Sc - Co/Th$ [۷۵] و $Th/Sc - Zr/Sc$ [۷۲]، نمونه های آنالیز شده در محدوده سنگ های فلسیک قرار می گیرند (شکل ۳-۸). بدین ترتیب این نمودارها تأییدی بر نتایج حاصل از نمودارهای روزر و کرش [۶۴] می باشد.



شکل (۳-۸) الف و ب- نمودارهای دوتایی تعیین کننده سنگ منشأ ماسه سنگ ها $Co/Th - La/Sc$ و $Th/Sc - Zr/Sc$ که نشان دهنده منشأ فلسیک ماسه سنگ های منطقه طزره می باشد. PHG: گرانیت فانروزوئیک، UCC: پوسته قاره ای فوقانی، FEL: سنگ های آتش فشانی فلسیک، AND: آندزیت و BAS: بازالت).

۳-۴- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی^۱

رفتارهای ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی به علت مفید بودن این عناصر در پاسخگویی به بسیاری از مسائل سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی، موضوع مطالعات وسیعی در طی چند دهه گذشته بوده است. نامتحرک بودن نسبی آن‌ها در طول دگرسانی سنگ، رفتار اکسایش-کاهش متفاوت، توزیع نسبی در سیستم‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی، ایزوتوپ‌های پایدار - ناپایدار، قابلیت انحلال پایین و ... از جمله موارد کاربردی ژئوشیمی این عناصر در حل مسائل کانی‌شناسی و پترولوژیک است [۶۲].

مقادیر عناصر نادر خاکی در ماسه‌سنگ و شیل معدن طزره در جدول ۳-۵ ارائه شده است. فراوانی این عناصر در شکل ۳-۹ نشان داده شده است. مجموع عناصر نادر خاکی (ΣREE) موجود در نمونه‌های شیلی از ۱۶۵/۶ ppm و ۲۲۷/۸ ppm تغییر می‌کند. مقدار متوسط مجموع عناصر نادر خاکی در شیل‌های معدن طزره ۱۸۷/۵ ppm می‌باشد که این مقدار بیشتر از مجموع فراوانی عناصر نادر خاکی در شیل آمریکای شمالی (۱۷۳/۲۱ ppm) و پوسته قاره‌ای (۱۴۶/۴ ppm) می‌باشد. که نمونه‌های G-14 و G-26 به ترتیب بالاترین و کمترین رنج غلظت REE را در شیل‌ها دارند. نمونه‌های ماسه‌سنگی با میانگین فراوانی ۱۶۵ ppm، نسبت به نمونه‌های شیل از میزان REE کمتری برخوردارند (شکل ۳-۹). غلظت‌های عناصر نادر خاکی ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های طزره توسط الگوی NASC و UC نرمالیزه شدند. نمودار بهنجار شده شیل و ماسه‌سنگ معدن طزره مقادیری مشابه و کمی بالاتر از عناصر نادر خاکی سبک و همچنین مقادیر متناوبی از عناصر نادر خاکی سنگین را نسبت به مقادیر زمینه NASC, UC و همچنین تهی شدگی در عناصر نادر خاکی متوسط را نشان می‌دهند (شکل ۳-۱۰) و به‌طور کلی الگوی منحنی‌ها برای تمامی نمونه‌های مورد مطالعه تقریباً یکسان می‌باشد. نسبت مجموع عناصر نادر خاکی سبک به مجموع عناصر نادر خاکی سنگین ($\Sigma LREE / \Sigma HREE$) در نمونه‌های شیل و ماسه‌سنگ مورد مطالعه به ترتیب از ۴/۴ تا ۷/۳ و ۳/۹ تا ۶/۲ تغییر می‌کند. این مقدار بیانگر بالاتر بودن شدت تفریق عناصر نادر خاکی سبک نسبت به سنگین بوده و شاهدهی بر غنی‌شدگی

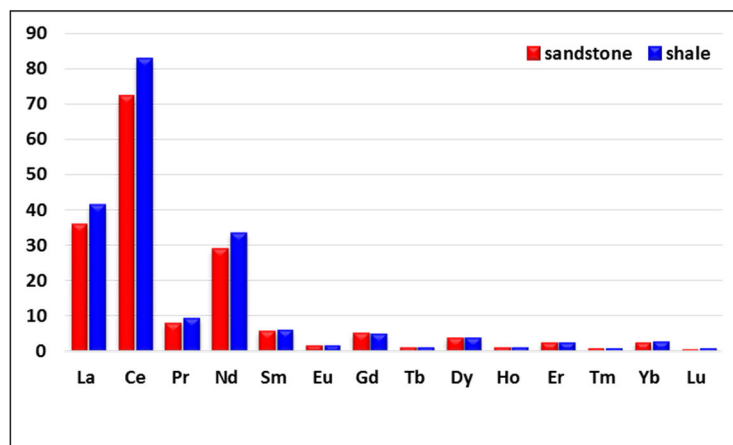
¹ REEs Elements

عناصر نادر خاکی سبک به سنگین در نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشد و میانگین سایر پارامترهای محاسبه شده برای ماسه‌سنگ و شیل، نظیر $(La/Yb)_N$ ، $(La/Sm)_N$ و $(Gd/Yb)_N$ که به ترتیب دارای مقادیر ۱/۴۶، ۱/۰۲، ۱/۵۰ و ۱/۳۳، ۱/۱۰، ۱/۲۰ می‌باشند نیز غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک را نسبت به سنگین در نمونه‌های مورد مطالعه تأیید می‌نماید (جدول ۳-۶). بر اساس تقسیم‌بندی [۷۷]، سه نوع غنی‌شدگی L-type، M-type، H-type برای REE قابل پیش‌بینی می‌باشد. در همه نمونه‌ها $Lu/Lu > 1$ بودند که نشانگر L-type بودن REE در نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشد. برای به دست آوردن نابهنجاری‌های Eu و Ce می‌توان از فرمول‌های Eu_N/Eu_N^* و Ce_N/Ce_N^* استفاده نمود. شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های طرز به ترتیب دارای نابهنجاری ۱/۸۳ تا ۲/۰۴ و ۱/۸۱ تا ۲/۰۴ می‌باشند که نشان‌دهنده نابهنجاری مثبت برای Eu می‌باشد. میانگین نابهنجاری مثبت Ce برای نمونه‌های شیل و ماسه‌سنگ به ترتیب برابر با ۲/۴۲ و ۲/۴۹ می‌باشد.

جدول (۳-۵) عناصر نادر خاکی نمونه‌های ماسه‌سنگ و شیل طرز

Sample	Sandstone					Shale						UCC
	G-2	G-6	G-9	G-15	G-29	G-3	G-8	G-14	G-18	G-23	G-26	
La	26.4	35.4	40.2	45.9	31.0	37.6	39.9	47.6	43.4	41.5	37.7	30.0
Ce	51.9	67.0	79.7	99.0	62.0	74.4	80.5	98.8	86.0	82.3	72.7	64.0
Pr	5.83	7.13	8.21	10.6	6.88	7.94	8.78	10.8	9.18	8.88	7.78	7.1
Nd	19.5	27.1	30.8	40.8	25.9	29.8	32.6	40.5	34.1	33.7	29.1	26.0
Sm	3.52	4.98	5.63	7.58	4.89	5.60	6.08	7.20	5.25	5.26	4.74	4.5
Eu	0.82	1.11	1.24	1.70	0.93	1.21	1.25	1.49	1.07	1.14	0.98	0.9
Gd	2.98	4.57	5.01	6.79	4.67	4.68	5.27	6.29	4.27	4.03	3.74	3.8
Tb	0.39	0.63	0.71	0.89	0.68	0.62	0.70	0.90	0.55	0.53	0.49	0.6
Dy	1.95	3.06	3.86	4.87	3.79	3.07	3.56	5.04	3.22	2.69	2.89	3.5
Ho	0.36	0.58	0.84	0.99	0.75	0.62	0.71	1.18	0.75	0.56	0.58	0.8
Er	0.99	1.50	2.36	2.93	2.16	1.80	1.96	3.33	2.20	1.58	1.79	2.3
Tm	0.17	0.27	0.41	0.49	0.36	0.28	0.35	0.59	0.40	0.27	0.33	0.3
Yb	1.02	1.48	2.53	3.13	2.22	1.82	2.12	3.69	2.63	1.91	2.37	2.2
Lu	0.14	0.20	0.34	0.44	0.30	0.25	0.29	0.49	0.38	0.30	0.36	0.3
LREE	107.2	141.6	164.6	203.9	130.7	155.3	167.9	204.8	178.0	171.6	152.0	131.6
HREE	8.8	13.4	17.3	22.2	15.9	14.4	16.2	23.0	15.5	13.0	13.5	14.8
REE	116.0	155.0	181.9	226.1	146.5	169.7	184.1	227.8	193.5	184.7	165.6	146.4

LREE(La-Eu): عناصر نادر خاکی سبک HREE(Gd-Lu): عناصر نادر خاکی سنگین

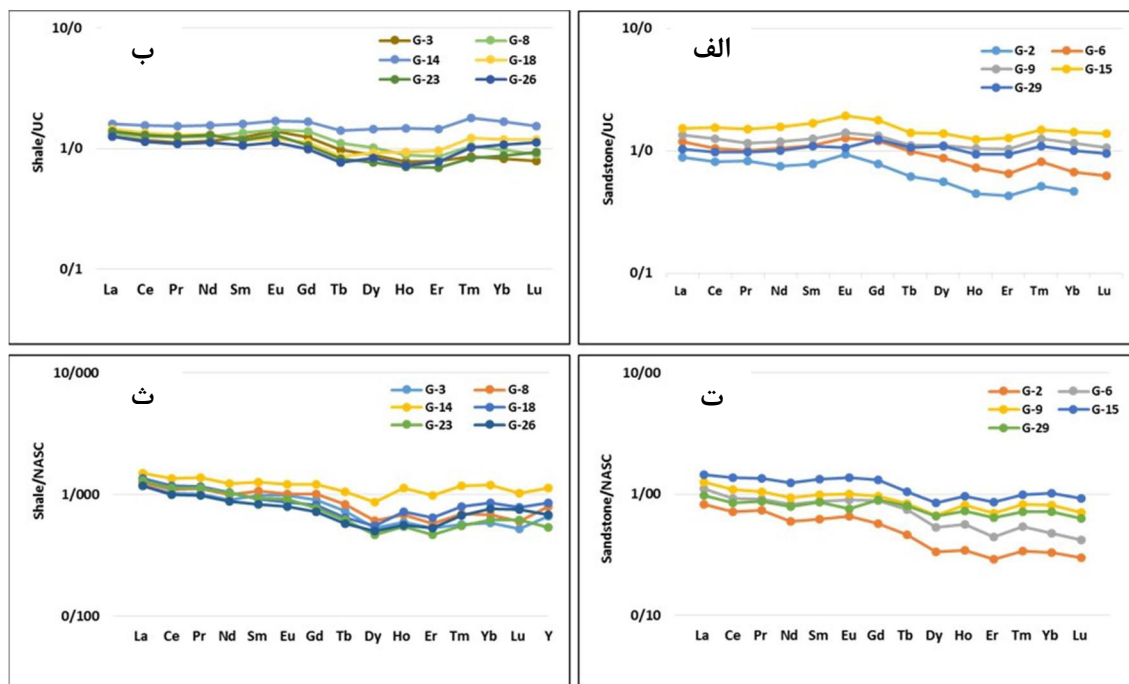


شکل (۳-۹) نمودار مقایسه‌ای عناصر نادر خاکی در نمونه‌های ماسه‌سنگ و شیل معدن زغال‌سنگ طزره.

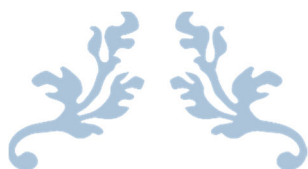
جدول (۳-۶) پارامترهای ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی در نمونه‌های ماسه‌سنگ و شیل طزره.

sample	(La/Lu) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Lu) _N	Eu/Eu*	Ce/Ce*
G-2	1.96	1.13	1.75	1.98	2.25
G-6	1.89	1.07	1.92	2.03	2.28
G-9	1.26	1.07	1.24	2.04	2.44
G-15	1.11	0.91	1.30	2.17	2.77
G29	1.10	0.95	1.30	1.81	2.36
G-3	1.60	1.01	1.57	1.98	2.41
G-8	1.49	0.99	1.55	1.93	2.51
G-14	1.04	0.99	1.08	2.04	2.71
G-18	1.22	1.24	0.95	1.83	2.50
G-23	1.50	1.18	1.14	1.93	2.48
G-26	1.12	1.19	0.88	1.83	2.35

LREE(La-Eu): عناصر نادر خاکی سبک HREE(Gd-Lu): عناصر نادر خاکی سنگین
 $EuN/EuN^* = EuN / (0.067SmN + 0.33 TbN)$ $CeN/CeN^* = CeN / (0.5LaN + 0.5PrN)$
 $GdN/GdN^* = GdN / (0.33SmN + 0.67TbN)$ N = sample/UCC



شکل (۳-۰۴) الگوی توزیع بهنجار شده نسبت به UC و NASC برای عناصر نادر خاکی نمونه‌های ماسه-سنگ و شیل معدن طزره. الف، ت) نمونه‌های ماسه‌سنگ معدن طزره؛ ب، ث) نمونه‌های شیل معدن طزره.



فصل چهارم ژئوشیمی زغال سنگ طزره



۴-۱- ژئوشیمی زغال سنگ

زغال سنگ ماده‌ای ناهمگن و با ترکیبی پیچیده می‌باشد که بسیاری از عناصر و ترکیبات را در زمان رسوب گذاری و یا در هنگام دیاژنز در خود جای داده است [۷۸]. حضور عناصر در زغال سنگ هم می‌توانند به شکل آلی همراه با آب منفذی زغال سنگ یا ماسرال‌های آن بوده و یا به صورت غیر آلی محدود به کانی‌های مجزای موجود باشد [۷۹]. به طور کلی بر اساس غلظت، عناصر موجود در زغال سنگ می‌توانند در سه گروه طبقه‌بندی گردند [۸۰، ۸۱]:

- ۱- عناصر اصلی با غلظت‌هایی بیش از ۱۰۰۰ پی پی‌ام مانند؛ C, H, O, N.
 - ۲- عناصر فرعی با غلظت‌هایی بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ پی پی‌ام شامل عناصر سازنده مواد کانیایی مانند؛ Si, Al, Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Ti و هالوژن‌ها (F, Cl, Br, I).
 - ۳- عناصر جزئی با غلظت‌هایی زیر ۱۰۰ پی پی‌ام مانند؛ As, Au, Co, Cr, Ga, Ge, Nb, Ni, PGE, Re, REE, Sc, Se, Th, U, V, Zr.
- به طور کلی تنوع در ترکیب زغال سنگ و پیچیده بودن شرایط تشکیل آن، باعث تمرکز عناصر بسیاری از قبیل عناصر سبک، عناصر غیرفلزی، فلزات سنگین و عناصر نادر خاکی شده است که هر کدام می‌توانند در حین عملیات استخراج، آماده‌ساز، شستشو و فرآوری، حمل و نقل و احتراق از مواد دربرگیرنده خود جدا شده و با ورود به محیط، تولید آلودگی نمایند [۸۲]. در حالت کلی زغال سنگ نیز همانند مواد بسیاری که در طبیعت یافت می‌شوند به طور ذاتی و طبیعی حاوی عناصر پرتوزا می‌باشد. بنابراین مصارف گوناگون زغال سنگ در صنعت موجب می‌گردد تا عناصر پرتوزای موجود در آن وارد چرخه محیط زیست گردیده و به گونه‌ای آلودگی زیست محیطی ایجاد نمایند [۸۳]. این خاصیت رادیواکتیویته بیشتر به دلیل وجود عناصر اورانیوم و توریم در شبکه ساختاری زغال سنگ حائز اهمیت می‌باشد [۸۴].

علاوه بر بحث آلودگی‌های زیست‌محیطی زغال‌سنگ، بررسی میزان تمرکز عناصر کمیاب و استراتژیک و چگونگی استحصال آن‌ها از دیدگاه اقتصادی نیز حائز اهمیت است، زیرا تعدادی عناصر فرعی با ارزش (Au, Ge, Ga, Nb, Zr, U, Re) به همراه عناصر نادر خاکی و عناصر گروه پلاتین در بعضی زغال‌سنگ‌ها یا واحدهای حاوی زغال‌سنگ غنی شده‌اند و می‌توانند از خاکستر زغال‌سنگ بازیابی بالقوه گردند [۸۵، ۸۶، ۸۷، ۸۸]. برای مثال غنی‌شدگی Ge در خاکستر زغال‌سنگ حدود ۱۰ برابر بیشتر از خود زغال‌سنگ می‌باشد [۱۷]. همچنین با گذشت میلیون‌ها سال از فرایند رسوب‌گذاری، میزان مواد پرتوزا در زغال‌سنگ به صورت قابل توجهی سیر افزایشی داشته است. بر این اساس استخراج صنعتی اورانیوم از خاکستر زغال‌سنگ نیز امری امکان‌پذیر است [۸۴]. همین‌طور بررسی‌ها نشان داده است که میزان مواد رادیواکتیو موجود در خاکستر زغال‌سنگ‌ها پس از سوختن در نیروگاه‌های حرارتی در حدود ۱۰ برابر این میزان در زغال‌سنگ معمولی است [۸۹، ۹۰]. مقدار عناصر نادر خاکی نیز در برخی از زغال‌سنگ‌ها غنی‌شدگی نشان می‌دهند و دارای کاربرد اقتصادی می‌باشند [۹۱، ۹۲]. علاوه بر مباحث اقتصادی و زیست‌محیطی زغال‌سنگ‌ها در مواردی نیز می‌توان از مطالعات ژئوشیمی در جهت بررسی‌های محیط دیرینه نهشت استفاده نمود، به عنوان مثال مقدار سولفور زغال‌سنگ در بسیاری موارد به عنوان بازتابی از شرایط محیط دیرینه‌ای که پیش ماده تورب در آن تجمع یافته است، مورد توجه می‌باشد [۹۳]. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که باوجود داشتن منابع عظیم زغال‌سنگ در ایران، ما می‌توانیم به شرط انجام مطالعات مهمی نظیر آنالیزهای ژئوشیمیایی پیرامون حضور عناصری با ارزش اقتصادی در زغال‌سنگ به همراه بررسی‌های زیست‌محیطی استفاده از آن، این منبع ارزشمند را در صنایع مختلف بکار بگیریم. به همین دلیل در این بخش سعی گردیده است که میزان تمرکز، شیوه رخداد به همراه همبستگی‌های موجود مربوط به عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی زغال‌سنگ‌های ناحیه زغال دار طزره در بخش‌های جداگانه و مرتبط به هم مورد بررسی قرار گیرد. نمونه‌های زغال‌سنگی انتخاب شده برای آنالیز به روش شیمیایی در جدول ۴-۱ ارائه گردیده است.

جدول (۴-۱) نمونه‌های زغال سنگی معدن طزره برای آنالیز به روش شیمیایی.

Sample	UTM		Lithology	Sample Location
	Longitude	latitude		
G-1	269056	4033360	Coal bearing shale	Pashkelat
G-4	269508	4033138	Coal bearing shale	Pashkelat
G-11	268877	4032850	Coal bearing shale	Kelariz
G-16	268877	4032850	Coal bearing shale	Kelariz
G-23	269390	4033315	Argillaceous shale	Pashkelat
G-26	269390	4033315	Argillaceous shale	Pashkelat
G-13	268877	4032850	Coal	Kelariz
G-17	268877	4032850	Coal	Kelariz
G-24	269390	4033315	Coal	Pashkelat
G-25	269390	4033315	Coal	Pashkelat
G-30	-	-	Coal concentrate	Coal leaching factory
G-31	-	-	Coal concentrate	-
G-32	-	-	Coal concentrate	-
G-33	-	-	Raw Coal	-
G-34	-	-	Raw Coal	-
G-35	-	-	Coal gangue	-
G-36	-	-	Raw Coal Ash	-
G-37	-	-	Coal concentrate Ash	-
G-38	-	-	Coal gangue Ash	-

۴-۲- ژئوشیمی عناصر اصلی

عناصر اصلی عناصری هستند که معمولاً مقدارشان در زغال سنگ‌ها به صورت اکسید گزارش می گردد و مقداری بیش از یک درصد دارند. عناصر اصلی در داخل زغال سنگ اساساً Al , Ca , Si , Mg , Fe و Na , K می باشند که در طول تکامل زغال سنگ از بقایای گیاهی ترجیحاً بیشتر در ترکیبات معدنی زغال سنگ نسبت به ترکیبات آلی متمرکز شده اند. این عناصر که عمدتاً به شکل اکسید در ترکیبات معدنی زغال سنگ تشکیل می گردند، بر اساس نوع منشأ زغال سنگ و نوع رسوبات اطراف دارای تراکم و ترکیبات مختلف می باشند [۹۴]. عناصر اصلی معمولاً مقدارشان در زغال سنگ‌ها به صورت اکسید گزارش می گردد [۹۵] و در کانی‌های موجود در زغال سنگ‌ها با میل بیشتری نسبت به مواد ارگانیک حضور دارند [۹۶]. از ژئوشیمی این عناصر به عنوان مدرکی برای تغییرات کانی شناسی و بنا نهادن تجمعات کانیایی - عنصری استفاده می شود [۹۷، ۹۸].

۴-۲-۱- اکسیدهای عناصر اصلی در لایه‌های زغال سنگی منطقه طزره

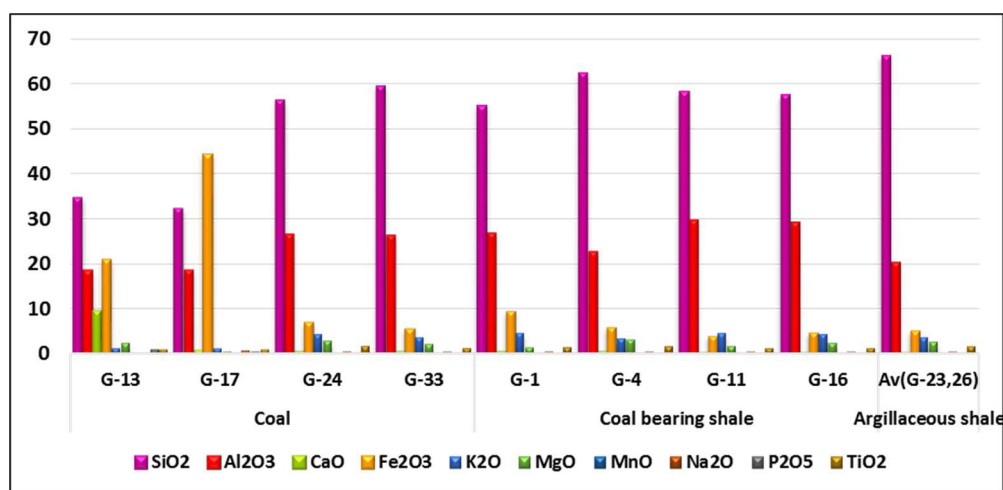
مقادیر عناصر اصلی لایه‌های زغال سنگی، شیل زغالی و شیل آرژیلی منطقه طزره برحسب درصد و کلارک زغال سنگ‌های جهان [۹۹] در جدول ۴-۲ ارائه گردیده است. آنالیز نمونه‌های زغال سنگ بیانگر میزان بالای عناصر SiO_2 , Al_2O_3 و Fe_2O_3 نسبت به سایر اکسیدهای اصلی در لایه‌های زغال سنگی منطقه طزره می باشد. SiO_2 و Al_2O_3 اکسیدهای غالب تمامی لایه‌های زغال سنگی این منطقه به استثنای لایه G-17 هستند که به طور متوسط ۴۵/۶۷ و ۲۲/۵۱ درصد عناصر اصلی را شامل می شوند. مقدار Fe_2O_3 (۴۴/۳۴) در لایه G-17 غالب می باشد و مقدار آن در این لایه بسیار بیشتر از مقدار متوسط این اکسید در تمامی لایه‌هاست. نمونه G-33 (دپوی معدن)، در بین سایر نمونه‌های زغال سنگی دارای بیشترین غلظت SiO_2 می باشد (شکل ۴-۱). میانگین ترکیب اکسیدهای اصلی در مقایسه با زغال سنگ‌های جهان [۹۹]، اکسیدهای K_2O , MgO و SiO_2 دارای غنی شدگی بالایی در نمونه‌های زغال سنگ و بقیه اکسیدها از جمله Na_2O , MnO , CaO , Fe_2O_3 و P_2O_5 غنی شدگی

کمتری نسبت به سه اکسید ذکر شده دارند (شکل ۴-۲). نمونه‌های زغال‌سنگی لایه کلاریز نسبت به لایه پشکلات در اکسیدهای CaO , Na_2O , Fe_2O_3 و P_2O_5 دارای ضریب غنی‌شدگی بیشتر از یک و در بقیه اکسیدهای اصلی تهی‌شدگی را نشان می‌دهند (شکل ۴-۳).

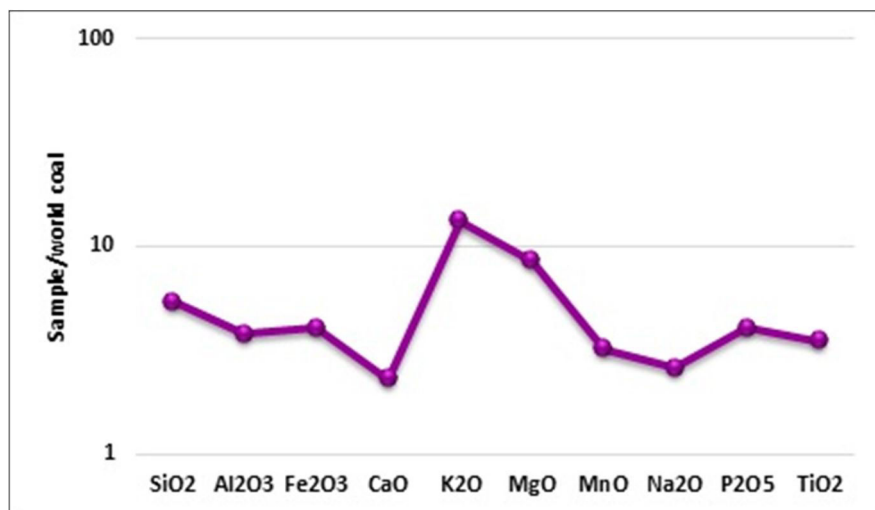
جدول (۴-۲) مقدار اکسیدهای اصلی (wt%) لایه‌های زغال‌سنگی شیل زغالی منطقه طزره.

sample	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	P_2O_5	TiO_2
G-13	34.58	18.67	9.41	21.04	1.22	2.26	0.08	0.21	0.96	0.83
G-17	32.36	18.60	0.86	44.34	1.01	0.43	0.01	0.65	0.44	0.84
G-24	56.37	26.41	0.50	7.01	4.16	2.79	0.07	0.43	0.05	1.72
G-33	59.38	26.38	0.56	5.62	3.64	2.03	0.03	0.36	0.09	1.24
G-1	55.07	26.63	0.51	9.52	4.59	1.31	0.00	0.45	0.14	1.45
G-4	62.30	22.62	0.43	5.92	3.24	3.07	0.04	0.37	0.08	1.55
G-11	58.28	29.59	0.18	3.92	4.44	1.64	0.00	0.40	0.08	1.17
G-16	57.47	29.21	0.12	4.65	4.33	2.22	0.03	0.38	0.08	1.16
Av(G-23, 26)	66.23	20.29	0.08	5.17	3.54	2.56	0.05	0.39	0.03	1.49
Av coal	45.67	22.51	2.83	19.50	2.51	1.88	0.05	0.41	0.39	1.16
Av Coal bearing shale	58.28	27.01	0.31	6.00	4.15	2.06	0.04	0.40	0.10	1.33
world coal*	8.47	5.98	1.23	4.85	0.19	0.22	0.02	0.16	0.10	0.33
cc	5.39	3.76	2.30	4.02	13.20	8.54	3.20	2.59	4.06	3.51

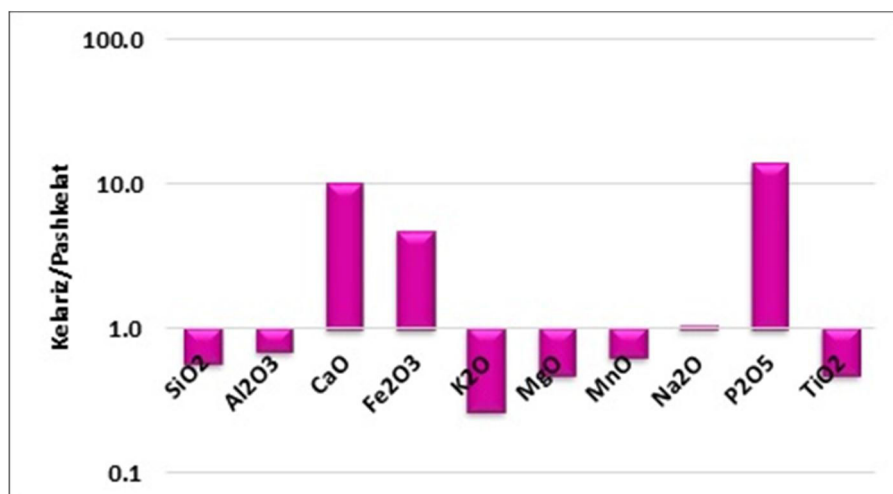
*Ketriss and Yadovich, 2009[۹۹].



شکل (۴-۱) نمودار مقایسه‌ای عناصر اصلی نمونه‌های مورد مطالعه در معدن طزره.



شکل (۴-۲) نمودار مقایسه ای میانگین نمونه های زغال سنگی طزره با زغال سنگ های جهان.



شکل (۴-۳) مقایسه اکسیدهای اصلی لایه های زغال سنگی کلاریز و پشکلات در معدن طزره

دلیل اصلی غنی شدگی K_2O و MgO در میانگین زغال سنگ طزره نسبت به کلارک زغال سنگ جهان، وجود کانی هایی چون ایلیت، مسکوویت و کلریت می باشد. در نمونه های مطالعه شده به روش پراش اشعه ایکس هم وجود کانی های مذکور در زغال سنگ و شیل های زغال دار در معدن طزره گزارش شده است.

دلیل غنی‌شدگی CaO و P_2O_5 در واحد کلاریز نسبت به واحد پشکلات می‌تواند وجود فسفات‌های رسوبی (فسفوریت) باشد برای اینکه شیل‌های زغال دار ژوراسیک در نواحی از پهنه البرز دارای کانی‌سازی غیراقتصادی از افق‌های فسفات می‌باشد.

غنی‌شدگی Fe_2O_3 در واحد کلاریز نسبت به پشکلات بیان از وجود پیریت و پیریت‌های هماتیته شده دیاژنتیکی می‌باشد. لازم به ذکر است که ارتباط مستقیمی میان مقادیر P_2O_5 و Fe_2O_3 با REE در محیط‌های رسوبی وجود دارد. برای اینکه این عناصر قرابت ژئوشیمیایی تنگاتنگی در فرایندهای رسوب‌گذاری و سنگ‌شدگی رسوبات نشان می‌دهند.

۴-۳- ژئوشیمی عناصر کمیاب

شناخت و توزیع و تمرکز عناصر کمیاب در زغال سنگ از دیدگاه زیست‌محیطی و اقتصادی بسیار مهم است [۹۷]. از نقطه نظر ژنتیکی عناصر کمیاب در زغال سنگ اطلاعات زمین‌شناسی را در مورد شرایط نهشت، تشکیل بخش‌های حاوی زغال سنگ و تاریخچه تکتونیکی ناحیه‌ای فراهم می‌نماید [۱۰۰]. این موارد به این دلیل مهم می‌باشند که توزیع این عناصر از فرایندهای همراه با تجمع تورب و تکامل درجه، برهم‌کنش بین مواد آلی و سیالات حوضه‌ای، دیاژنز رسوبات و تولیدات آتشفشانی همزمان با رسوب‌گذاری حاصل شده‌اند [۷۹، ۱۰۱]. به‌طور کلی پژوهشگران زیادی تمرکز، منشأ، غنی‌سازی و اثرات زیست‌محیطی عناصر کمیاب را در زغال سنگ‌های مختلف مورد مطالعه قرار داده‌اند [۱۰۲، ۱۰۳، ۱۰۴، ۱۰۵]. عناصر کمیاب در زغال سنگ‌ها به هر دو شکل آلی و غیر آلی حضور دارند و بیشتر این عناصر به‌طور همزمان در هر دو شکل رخ می‌دهند [۱۰۶، ۱۰۷]. معمولاً عناصر کمیاب در زغال سنگ‌ها همراه با سه گروه کانیایی اصلی آلومینوسیلیکات‌ها، کربنات‌ها و سولفیدها می‌باشند [۱۰۸]. گلاسکوتر [۱۰۹] قرابت عناصر کمیاب را مطابق با تجمع آن‌ها با مواد غیر آلی و آلی در زغال سنگ شرح می‌دهد. فینکلن [۱۱۰] نشان داد که در زغال سنگ‌های درجه پایین نظیر

لیگنیت و زغال سنگ ساب بیتومینه، عناصری از قبیل Na, Mg, Ca, Sr و Ba معمولاً همراه با اجزای آلی زغال سنگ می‌باشند. پاریک و باردهان [۱۰۶] نیز همراهی عناصر کمیاب را با ماسرال‌ها بررسی نموده و بیان نموده‌اند که عناصر Cu, Ni, Co, V, Ga و B معمولاً با ویتترینت همراه می‌باشند، اگرچه دو عنصر Ni و Cu می‌توانند دارای هر دو منشأ آلی و غیر آلی باشند. مقادیر عناصر کمیاب خاکستر لایه‌های زغال سنگی و شیل زغالی و شیل آرژیلی منطقه طزره برحسب پی پی ام در جدول ۴-۳ و ضریب غنی‌شدگی این عناصر در نمونه‌های زغال سنگ طزره نسبت به مقادیر زغال سنگ‌های جهان [۹۹]، زغال سنگ‌های چین [۱۱۱] و مقادیر پوسته بالایی [۷۲] در جدول ۴-۴ ارائه گردیده است. بر اساس نظریه دای و همکاران [۱۱۲] غنی‌شدگی عناصر کمیاب در زغال سنگ‌ها به ۶ قسمت طبقه بندی می‌شود. غنی‌شدگی غیرمعمول ($cc > 100$)، غنی‌شدگی مهم ($10 < cc < 100$)، غنی‌شدگی ($5 < cc < 10$)، کمی غنی‌شدگی ($2 < cc < 5$)، نرمال ($0.5 < cc < 2$) و تهی‌شدگی ($cc < 0.5$)، نسبت غلظت عناصر کمیاب در نمونه‌های زغال سنگی در مقایسه با میانگین زغال سنگ‌های جهان با CC مشخص می‌شود.

در نمونه‌های زغال سنگی، عناصر کمیاب Cr ($216/8$)، Cs ($9/9$)، Pb ($101/3$) و Li ($162/8$) دارای غنی‌شدگی مهم ($10 < cc < 100$)، عناصر کمیاب V, Sc, Ni, Nb, Cu و In دارای غنی‌شدگی ($5 < cc < 10$)، بقیه عناصر باقیمانده کمی غنی‌شدگی ($2 < cc < 5$) و یا نزدیک ($0.5 < cc < 2$) به میانگین زغال سنگ‌های جهان [۹۹] دارند (شکل ۴-۴ الف).

ضریب غنی‌شدگی نمونه‌های شیل زغالی نسبت به پوسته بالایی در شکل ۴-۴ نشان داده شده است، به استثنای عناصر کمیاب Bi, Sb, Se و As که غنی‌شدگی مهم ($10 < cc < 100$) و Li با غنی‌شدگی ($5 < cc < 10$)، بقیه عناصر نزدیک به پوسته قاره‌ای بالایی یا تهی شده هستند (شکل ۴-۴ ب). در نمونه‌های شیل آرژیلی به جز عناصر کمیاب Bi, Sb, Se و AS ($5 < cc < 10$)، بقیه عناصر غنی‌شدگی مهمی را نشان نمی‌دهند (شکل ۴-۴ پ).

جدول (۴-۳) مقدار عناصر کمیاب (ppm) موجود در لایه‌های زغال‌سنگی و شیل زغالی منطقه طزره.

sample	Coal				Coal bearing shale				Argillaceous shale Av(G-23,26)
	G-13	G-17	G-24	G-33	G-1	G-4	G-11	G-16	
As	133.3	133.3	19.8	26.2	33	46.1	17.1	9.8	11.55
Ba	486	701	681	573	594	536	625	554	523
Be	22.8	86.6	20.2	9.6	11.7	9	12.3	9.1	5.65
Bi	0.7	0.6	0.9	0.7	0.8	0.5	0.7	0.8	0.45
Co	34.7	80.8	50	26.9	13.3	31.8	13.2	24.6	18.2
Cr	188	199	357	123	236	254	102	113	170.5
Cs	6.5	4.5	16.3	12.1	14.7	11	18.1	16.4	10.95
Cu	178	176	151	82	113	73	94	86	49.5
Hf	7.81	7.79	4.16	2.55	2.49	2.69	2.87	1.92	1.815
Li	227	109	115	200	50	114	281	196	92.5
Mo	12.6	10.2	5.1	2.8	2.5	0.6	2.4	0.6	0.0875
Nb	34.8	39.5	32.6	24	26.4	27.2	20.6	12	17.05
Ni	131	560	197	85	171	161	79	86	97
Pb	108	209	47	41	42	31	36	24	22
Rb	59	49	187	148	181	138	205	197	139
Sb	19.8	14.1	9	2.9	3.1	3.9	5.9	4	1.85
Sc	46.6	236.6	39.4	21.7	24	23	19.9	19.2	17.85
Se	4.46	11.69	4.77	2.42	2.69	1.9	2.06	1.33	1.37
Sn	3.6	3.2	4.9	4.2	4.4	4	4.4	3.7	3.1
Sr	638.7	645.9	338.6	162.5	175.9	119	136	157.2	74.8
Ta	1.01	1.14	2.17	1.57	1.66	1.61	1.47	0.71	1.03
Th	13.48	19.91	18.23	13.66	14.69	12.28	12.07	14.44	10.88
Tl	3.59	11.06	0.82	1.32	1.15	0.97	1.53	1.29	0.74
U	8.2	10.1	10.6	3.5	4.9	4.4	2.4	2.6	1.95
V	351	261	232	177	201	182	207	159	130.5
W	4.9	7.5	3.9	2.9	2.9	2.3	2.2	1.3	1.65
Zn	133	114	130	134	99	124	93	139	77.5
Zr	290	314	87	71	67	69	93	51	38.5
Cd	1	1.6	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.3	0.15
In	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
P	3662	1575	150	296	340	226	211	272	68

فصل چهارم - ژئوشیمی زغال سنگ طزره

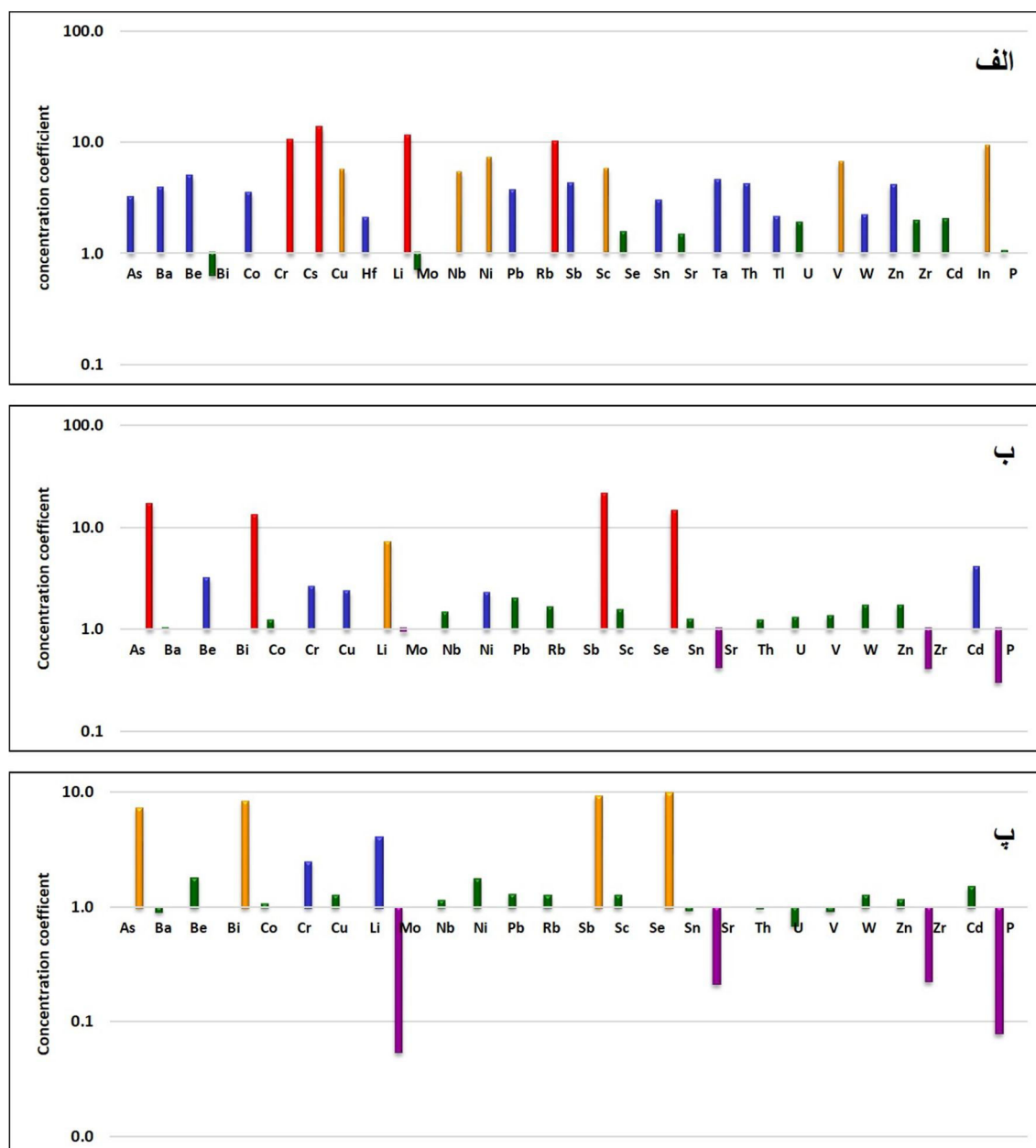
جدول (۴-۴) مقایسه مقادیر عناصر کمیاب (ppm) موجود در نمونه‌های زغال سنگ منطقه طزره با کلارک زغال سنگ های جهان و زغال سنگ های

چین.

Element	Tazareh Coal Av	World coal*	CC	Chinese coals**	CC	UC***	CC
As	78.2	8.3	3.2	3.8	20.62	1.60	48.84
Ba	610.3	150.0	3.8	159.0	3.84	570.00	1.07
Be	34.8	2.0	5.3	2.1	16.49	3.20	10.88
Bi	0.7	1.1	0.6	0.8	0.92	0.05	13.43
Co	48.1	6.0	3.5	7.1	6.79	17.00	2.83
Cr	216.8	17.0	10.4	15.4	14.07	69.00	3.14
Cs	9.9	1.1	13.7	1.1	8.72	nd	nd
Cu	146.8	16.0	5.7	17.5	8.39	39.00	3.76
Hf	5.6	1.2	2.1	3.7	1.50	nd	nd
Li	162.8	14.0	11.4	31.8	5.12	23.00	7.08
Mo	7.7	2.1	0.7	3.08	2.49	1.60	4.80
Nb	32.7	4.0	5.4	9.4	3.47	15.00	2.18
Ni	243.3	17.0	7.3	13.7	17.76	55.00	4.42
Pb	101.3	9.0	3.7	15.1	6.71	17.00	5.96
Rb	110.8	18.0	10.0	9.3	11.97	110.00	1.01
Sb	11.5	1.0	4.2	0.8	13.63	0.20	57.25
Sc	86.1	3.7	5.8	4.38	19.65	14.00	6.15
Se	5.8	1.3	1.5	2.1	2.77	0.14	41.68
Sn	4.0	1.4	2.9	2.11	1.88	3.30	1.20
Sr	446.4	100.0	1.5	140.0	3.19	350.00	1.28
Ta	1.5	0.3	4.5	0.6	2.38	nd	nd
Th	16.3	3.2	4.2	5.8	2.79	11.00	1.48
Tl	4.2	0.6	2.1	0.47	8.93	nd	nd
U	8.1	1.9	1.9	2.4	3.33	2.80	2.89
V	255.3	28.0	6.7	35.1	7.27	140.00	1.82
W	4.8	1.0	2.2	1.1	4.44	1.30	3.69
Zn	127.8	28.0	4.1	41.4	3.09	67.00	1.91
Zr	190.5	36.0	1.9	89.5	2.13	170.00	1.12
Cd	0.8	0.2	2.0	0.3	3.30	0.10	8.25
In	0.4	0.0	9.4	0.047	7.98	nd	nd
P	1420.8	250.0	1.0	nd	nd	860.00	1.65

*Ketriss and Yadovich, 2009 [99]. **Dai et al, 2012 [111]. *** McDonough and Sun, 1985 [72].

CC: concentrationcoff



■ $cc < 0.5$ ■ $0.5 < cc < 2$ ■ $2 < cc < 5$ ■ $5 < cc < 10$ ■ $10 < cc < 100$

شکل (۴-۴) ضریب غنی‌شدگی (cc)، عناصر کمیاب در نمونه‌های زغالی (الف)، شیل زغالی (ب) و شیل آرژیلی (پ). در نمودار الف) میانگین غلظت عناصر کمیاب زغال سنگ طزره به زغال سنگ جهان تقسیم شده است. در نمودارهای ب و پ) میانگین غلظت عناصر کمیاب شیل زغالی و شیل آرژیلی طزره به پوسته قاره‌ای بالایی تقسیم شده است.

۴-۴ ژئوشیمی عناصر نادر خاکی

عناصر نادر خاکی (REE) دسته‌ای از عناصر می‌باشند که معمولاً دارای فراوانی کمتر از یک درصد هستند و در جدول تناوبی به گروه لانتانیدها معروف می‌باشند. این گروه ۱۵ عنصر را شامل می‌شود که این عناصر نیز خود به دو دسته عناصر دو ظرفیتی یا عناصر نادر خاکی سبک (LREE) و عناصر سه ظرفیتی یا عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) تقسیم می‌گردند. عناصر نادر خاکی سبک شامل عناصر Gd, Tb, Dy, Ho, La, Ce, Pm, Pr, Nd, Sm, Eu و عناصر نادر خاکی سنگین شامل عناصر Er, Tm, Yb و Lu می‌باشند. عنصر Y نیز به واسطه رفتار ژئوشیمی مشابه با این عناصر در گروه لانتانیدها قرار می‌گیرد (شکل ۴-۵). سردین و دای [۷۷]، عناصر نادر خاکی و ایتروم را به سه دسته (LREY) شامل عناصر La, Ce, Pm, Pr, Nd, Sm و عناصر نادر خاکی (MREY) که شامل عناصر Lu, Gd, Tb, Dy و Y و عناصر نادر خاکی سنگین (HREY) شامل عناصر Er, Tm, Yb و Ho تقسیم بندی نمود که برای توصیف توزیع عناصر نادر خاکی در زغال سنگ این تقسیم بندی مناسب تر

21 Sc		Critical		Uncritical		Excessive								
39 Y														
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Light REE							Heavy REE							
Light REE					Medium REE (includes Y)				Heavy REE					

Note: Se not included with REY grouping; Pm has no natural occurrences.

می باشد.

شکل (۴-۵) جدول تناوبی عناصر که گروه لانتانیدها بر روی آن مشخص شده است.

عناصر نادر خاکی در زغال سنگ‌ها به دو دلیل حائز اهمیت می‌باشند: ۱- الگوهای عناصر نادر خاکی می‌تواند به عنوان نشانگری از نوع سنگ منبع مواد معدنی و همچنین محیط‌های رسوب‌گذاری زغال سنگ‌ها به کار گرفته شوند. ۲- فراوانی عناصر نادر خاکی در زغال سنگ ممکن است دارای اهمیت صنعتی و اقتصادی باشد. به عقیده ولادیمیر سردین و دای [۷۷] ذخایر REY در شرایط زمین شناسی مختلف و مراحل مختلف شکل‌گیری و تکامل حوزه زغال و در اثر روندهای مختلف شکل دهنده کانه، تشکیل می‌شوند. ۴ نوع مختلف ژنتیکی از انباشت REE در زغال سنگ وجود دارد. (۱) نوع آبرفتی که ورود REE به وسیله آب‌های سطحی بوده است. (۲) نوع توفی که مرتبط با سقوط و لیچ شدگی خاکسترهای آتشفشانی اسیدی و قلیایی وابسته است. (۳) نوع نفوذی یا جریان یافته با آب زیرزمینی که به خصوص در زمین‌شناسی اورانیوم شناخته شده است. (۴) نوع گرمابی که مرتبط با صعود آب‌های گرم حاوی کانی و شاره‌های عمیق وابسته است. دو نوع کانه زایی اول در مرحله باتلاق توربی تشکیل می‌شوند. نوع نفوذی اصولاً اپی ژنتیک است و نوع گرمابی به احتمال زیاد در هر یک از فازهای گسترش و تکامل حوزه زغالی تشکیل شده است. در برخی از موارد زغال‌های با مقدار بالای REE ممکن است خاستگاه چندزایی و چند فازی داشته باشند (جدول ۴-۵).

جدول (۴-۵) تیپ‌های اصلی تمرکز عناصر نادر در زغال سنگ‌ها [۷۷]

تیپ	درصد REO در خاکستر	درصد REO در زغال سنگ	عناصر مرتبط	مثال شاخص
آبرفتی	۰/۴-۰/۱	Ga ۰/۰۵-۰/۰۱ LiO ₂ ۰/۰۵-۰/۲	Al, Ga, Ba, Sr	جانگار چین
توفی	۰/۵-۰/۱	۰/۰۵-۰/۰۳ Ga REO ۰/۱-۰/۶	Zr, Hf, Nb, Ta, Ga	دین آمریکا
نفوذی	۱/۲-۰/۱	Se ۰/۰۳-۰/۳	U, Mo, Se, Re	آدونچولان مغولستان
هیدروترمال	۱/۵-۰/۱	۰/۰۴-۰/۱ Ge REO ۰/۱-۱۳	As, Sb, Hg, Ag, Au,...	رتیخووکا روسیه

مقادیر عناصر نادر خاکی موجود در نمونه‌های زغال سنگی، شیل زغالی و شیل آرژیلی ناحیه زغال دار طزره در جدول ۴-۶ ارائه شده است. برای مطالعات ژئوشیمیایی از لایه‌های زغال سنگی تعداد ۴ نمونه زغال خام، از واحد کلاریز (G-13-14)، واحد پشکلات، لایه P10 (G-24) و همچنین یک نمونه (G-33) از دیوی زغال سنگ‌های معدن طزره برداشت شده است.

جدول (۴-۶) مقادیر عناصر نادر خاکی (ppm) موجود در نمونه‌های معدن طزره.

sample	coal				Coal bearing shale				Argillaceous shale
	G-13	G-17	G-24	G-33	G-1	G-4	G-11	G-16	
La	95	168	59	42	41	44	35	47	41.5
Ce	171	317	124	97	92	96	87	106	86.5
Pr	12.52	29.02	8.68	5.9	4.97	5.47	4.1	6.48	4.505
Nd	56.2	114	46.2	34.7	32.4	33	27.7	36.4	28.05
Sm	10.36	22.82	9.75	6.32	6.29	6.15	4.83	6.79	4.5
Eu	2.79	6.56	2.66	1.54	1.73	1.53	1.18	1.65	1.035
Gd	11.13	27.14	9.43	5.6	6.18	5.34	4.28	5.97	3.755
Tb	1.84	4.64	1.52	0.71	0.92	0.74	0.55	0.76	0.455
Dy	10.33	26.89	8.97	4.23	5.35	4.33	3.24	4.27	2.735
Er	4.71	15.65	5.38	1.95	2.51	1.81	1.24	1.71	0.905
Tm	0.72	1.91	0.79	0.4	0.48	0.41	0.37	0.39	0.3
Yb	4.3	14.4	5.4	1.6	2.4	1.7	1	1.5	0.8
Lu	0.48	1.39	0.6	0.26	0.33	0.27	0.21	0.23	0.175
REE	381.38	749.42	282.38	202.21	196.56	200.75	170.7	219.15	175.215
Y	49.4	160.3	50.5	15.9	22.7	16.7	10.5	16.4	7.7

ضرایب غنی‌شدگی این عناصر نسبت به معادن زغال سنگ آب یک و کارمزد در البرز مرکزی در جدول ۴-۷ و نسبت به کندریت‌ها [۱۱۳]، کلارک زغال سنگ‌های جهان [۹۹]، زغال سنگ‌های چین [۱۱۱] و زغال سنگ‌های آمریکا [۹۱] در جدول ۴-۸ ارائه گردیده است. بر اساس مقادیر ضریب غنی‌شدگی ذکر شده مقادیر عناصر نادر خاکی در لایه‌های زغال سنگی طزره نسبت به لایه‌های زغال سنگی آب یک دارای ضریب غنی‌شدگی دو برابر می‌باشند مخصوصاً در عناصر Y, Er, Dy که غنی‌شدگی بالایی را نشان می‌دهند و نسبت به معدن کارمزد به جز عناصر Ce, Pr که غنی‌شدگی کمتر از یک دارند بقیه عناصر نادر خاکی غنی‌شدگی بالای یک دارند. بر اساس مقادیر ضریب غنی‌شدگی ذکر شده

مقادیر عناصر نادر خاکی در لایه‌های زغال‌سنگی طزره نسبت به کندریت‌ها، زغال‌سنگ‌های جهان، چین و آمریکا به شدت غنی‌شدگی نشان می‌دهند که بالاترین ضریب غنی‌شدگی به جز زغال‌سنگ‌های آمریکا که در Eu غنی‌شدگی دارد، مربوط به عنصر La می‌باشد.

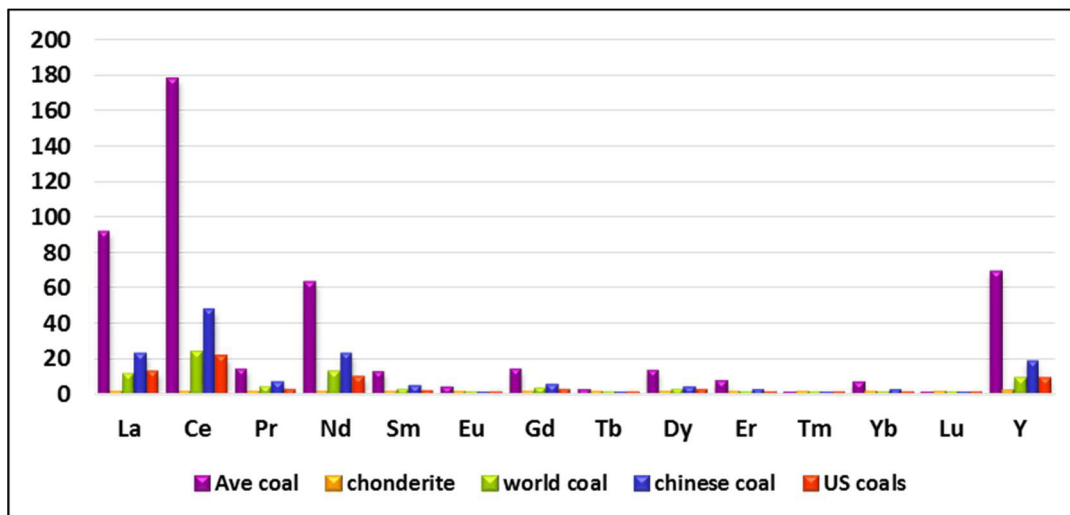
جدول (۴-۷) مقایسه مقادیر عناصر نادر خاکی (ppm) موجود در لایه‌های زغال‌سنگی منطقه طزره با زغال‌سنگ‌های معادن آب یک و کارمزد در البرز مرکزی

Element	Tazareh Coal Av	Abyek	CC*	Karmozd	CC**
La	91.00	40.14	2.27	65.35	1.39
Ce	177.25	81.07	2.19	188.28	0.94
Pr	14.03	9.29	1.51	16.39	0.86
Nd	62.78	34.31	1.83	59.15	1.06
Sm	12.31	6.73	1.83	10.16	1.21
Eu	3.38	1.39	2.44	2.12	1.59
Gd	13.32	5.20	2.56	7.23	1.84
Tb	2.17	0.77	2.82	1.34	1.62
Dy	12.60	4.13	3.05	6.07	2.08
Er	6.92	2.54	2.72	3.28	2.11
Tm	0.95	0.41	2.30	0.43	2.20
Yb	6.42	2.75	2.33	2.79	2.31
Lu	0.68	0.44	1.56	0.48	1.43
Y	69.02	21.05	3.28	23.67	2.92

* Tazareh Coal / Abyek Coal **Tazareh Coal / Karmozd Coal

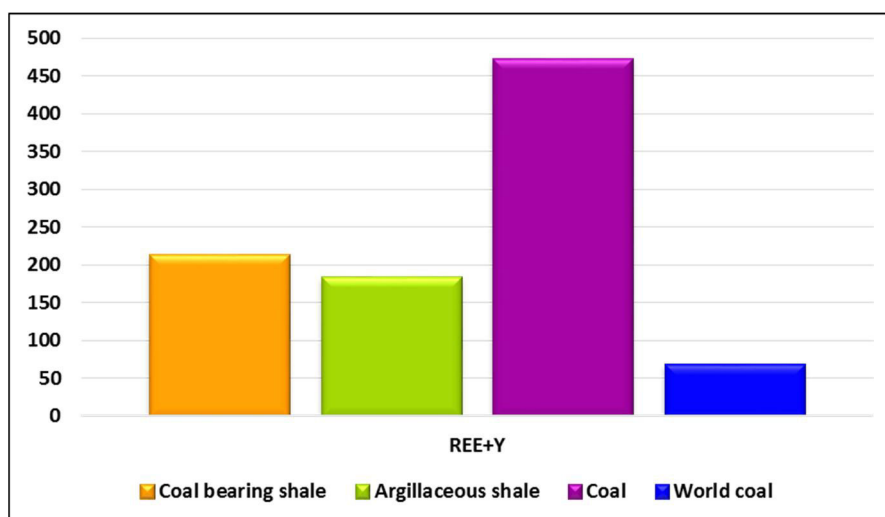
مجموع عناصر نادر خاکی ($\sum REE$) موجود در نمونه‌های زغال‌سنگی معدن طزره از ppm ۲۰۲/۲۱ تا ppm ۷۴۹/۴۲، نمونه‌های شیل زغالی ppm ۱۷۰/۷ تا ppm ۲۱۹/۱۵ و در شیل آرژیلی ppm ۱۷۵/۲۱ تغییر می‌کند (جدول ۴-۶). مقدار متوسط مجموع عناصر نادر خاکی در معدن طزره ppm ۴۰۳/۸۴ می‌باشد که نسبت به کندریت‌ها (۲/۲۵ ppm) و کلارک زغال‌سنگ‌های جهان (ppm ۵۹/۶) [۹۹]، زغال‌سنگ‌های چین (۱۲۰ ppm) [۱۱۱] و زغال‌سنگ‌های آمریکا (۵۳/۵ ppm) [۹۱] غنی‌شدگی بالایی را نشان می‌دهد (شکل ۴-۶ و جدول ۴-۸). عنصر Y در نمونه‌های مورد مطالعه دارای گستره فراوانی ppm ۱۵/۹ تا ppm ۱۶۰/۳ و مقدار متوسط ppm ۶۹/۰۲ می‌باشد. این عنصر دارای ضریب غنی‌شدگی بالایی نسبت به زغال‌سنگ‌های جهان (۸/۲۲) می‌باشد. مجموع مقادیر متوسط عناصر نادر خاکی با عنصر Y (REY) در شکل ۴-۷ نشان داده شده است که مقدار آن برای

نمونه‌های زغال سنگی مورد مطالعه ۴۷۲/۸۷ ppm می‌باشد که این مقدار نسبت به مقدار (REY) زغال سنگ‌های جهان (۶۷/۹۳) و زغال سنگ‌های چین (۱۳۷/۹) به ترتیب ۶/۹ و ۳/۴ برابر بیشتر می‌باشد.



باشد.

شکل (۴-۶) نمودار مقایسه‌ای مقادیر عناصر نادر خاکی (ppm) موجود در نمونه‌های زغال سنگ طزره با کندریت، کلارک زغال سنگ‌های جهان، زغال سنگ‌های چین و زغال سنگ‌های آمریکا.



شکل (۴-۷) نمودار مقایسه‌ای مقادیر REY در نمونه‌های شیل زغالی، شیل آرژیلی، زغال معدن طزره با کلارک زغال سنگ‌های جهان.

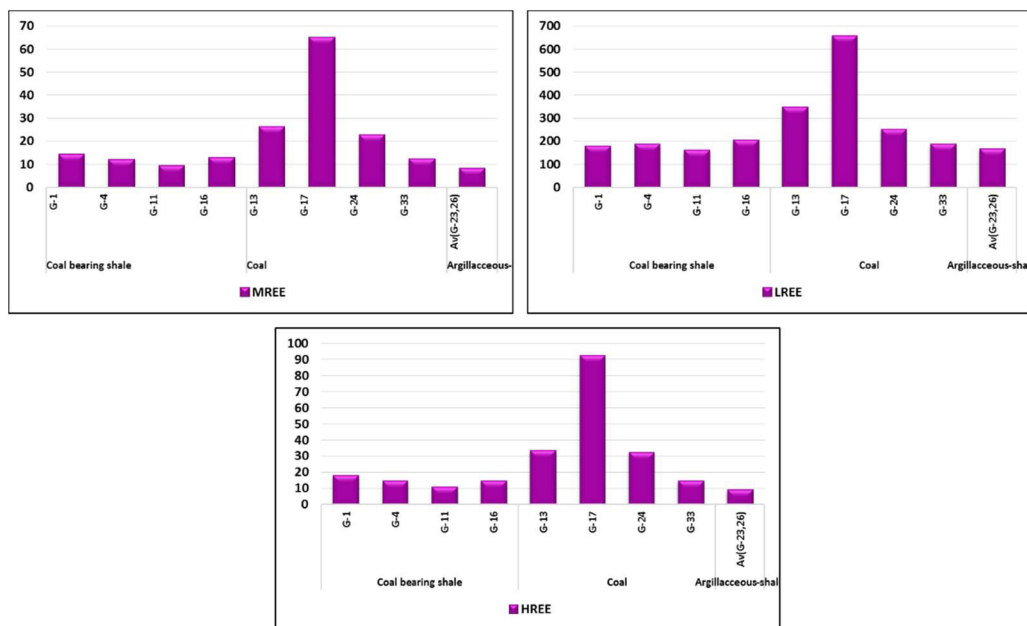
جدول (۴-۸) مقایسه مقادیر عناصر نادر خاکی (ppm) موجود در نمونه‌های زغال سنگ طزره با کندریت، کلارک زغال سنگ‌های جهان، زغال سنگ‌های چین و زغال سنگ‌های آمریکا.

sample	Av coal	Chondrit *	cc	world coal**	cc	China***	cc	US coal****	cc
La	91	0.24	379. 17	11	8.27	22.5	4.04	12.00	7.58
Ce	177.2 5	0.61	290. 57	23	7.71	46.7	3.80	21.00	8.44
Pr	14.03	0.09	155. 89	3.5	4.01	6.42	2.19	2.40	5.85
Nd	62.77 5	0.46	136. 47	12	5.23	22.3	2.82	9.50	6.61
Sm	12.31	0.15	82.0 7	2	6.16	4.07	3.02	1.70	7.24
Eu	3.38	0.06	56.3 3	0.47	7.19	0.84	4.02	0.40	8.45
Gd	13.32	0.2	66.6 0	2.7	4.93	4.65	2.86	1.80	7.40
Tb	2.17	0.04	54.2 5	0.32	6.78	0.62	3.50	0.30	7.23
Dy	12.6	0.25	50.4 0	2.1	6.00	3.74	3.37	1.90	6.63
Er	6.92	0.16	43.2 5	0.93	7.44	1.79	3.87	1.00	6.92
Tm	0.95	0.02	47.5 0	0.31	3.06	0.64	1.48	0.15	6.33
Yb	6.42	0.17	37.7 6	1	6.42	2.08	3.09	0.95	6.76
Lu	0.68	0.02	34.0 0	0.2	3.40	0.38	1.79	0.14	4.86
Y	69.02	1.57	43.9 6	8.4	8.22	18.2	3.79	8.50	8.12

*McDonough and Sun, 1995 [113]. ** Ketris and Yadovich, 2009[99]. *** Dai et al, 2012[111]. **** Finkelman, 1993

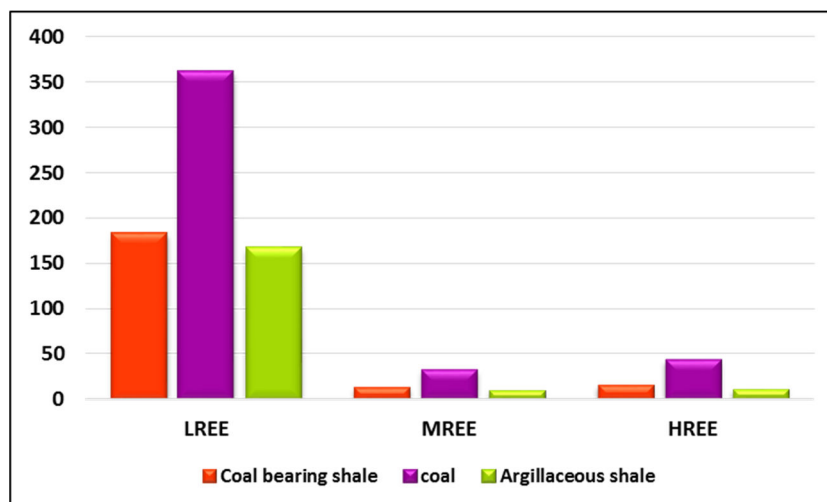
Cc: Concentration coefficient

در لایه‌های زغال سنگی، میزان LREE, MREE, HREE برای نمونه‌های مورد مطالعه نشان دهنده غلظت بالای LREE می‌باشند. LREE دارای گستره فراوانی ۴۶ ppm / ۱۸۷ تا ۴۶۷/۴ ppm می‌باشد که نمونه مربوط به لایه کلاریز (G-17) با غلظت ۴۶۷/۴ ppm دارای بالاترین میزان LREE است (شکل ۴-۸).



شکل (۴-۸) مقایسه مقادیر LREE, MREE, HREE موجود در نمونه های معدن طزره.

مقدار متوسط مجموع LREE, MREE, HREE در نمونه های زغال سنگی، شیل زغالی و شیل آرژیلی به ترتیب برابر با (۴۳/۰۹، ۳۱/۴۹، ۳۶۰/۷۵)، (۱۴/۶۲، ۱۲، ۱۸۲/۱۶) و (۱۶۶/۰۹، ۷/۹۸، ۹/۱۲) می باشد که در شکل ۴-۹ نشان داده شده است.



شکل (۴-۹) مقدار متوسط مجموع LREE, MREE, HREE در نمونه های معدن طزره.

۴-۵- پارامترهای ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی

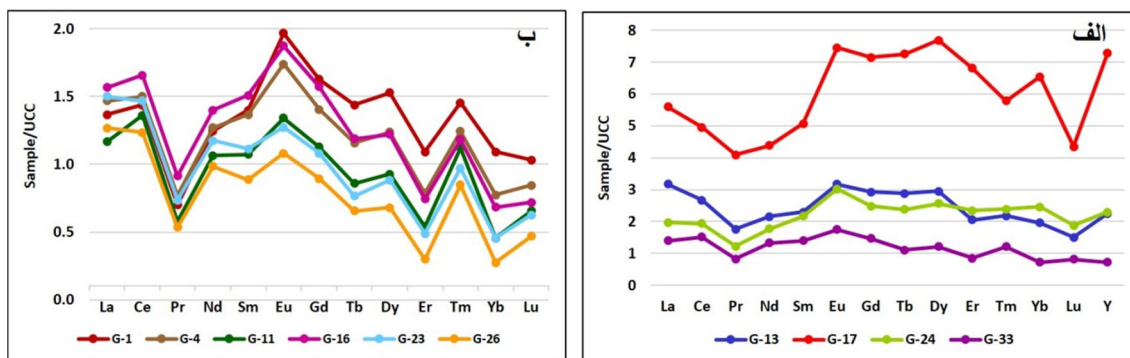
پارامترهای ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی نمونه‌های مورد مطالعه در جدول ۴-۱۰ ارائه گردیده است. در محاسبه این پارامترها از مقادیر بهنجار شده عناصر نسبت به مقادیر پوسته قاره‌ای فوقانی (UC) که توسط تیلور و مک کلین [۷۲] گزارش شده، استفاده گردیده است. الگوی توزیع عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به UC [۷۲] و کندریت‌ها [۱۱۳] برای نمونه‌های مورد مطالعه در شکل ۴-۱۰ و ۴-۱۱ نشان داده شده است.

سه الگوی غنی‌شدگی توسط سردین و دای [۷۷]، پیشنهاد شده که با نرمالیزه کردن مقدار عناصر به پوسته قاره‌ای بالایی (UC) [۷۲]، می‌توان برای جداسازی Eu, Ce و Gd از دیگر الگوهای توزیع عناصر نادر خاکی استفاده کرد، که شامل:

- 1- L-type ($La_N/Lu_N > 1$)
- 2- M-type ($La_N/Sm_N < 1$; $Gd_N/Lu_N > 1$)
- 3- H-type ($La_N/Lu_N < 1$)

نسبت‌های Eu_N/Eu_N^* ، Ce_N/Ce_N^* و Gd_N/Gd_N^* به ترتیب برای مشخص کردن آنومالی‌های Eu، Ce و Gd از دیگر عناصر REY استفاده می‌شوند.

- 1- $Eu_N/Eu_N^* = Eu_N / (0.067Sm_N + 0.33 Tb_N)$
- 2- $Ce_N/Ce_N^* = Ce_N / (0.5La_N + 0.5Pr_N)$
- 3- $Gd_N/Gd_N^* = Gd_N / (0.33Sm_N + 0.67Tb_N)$



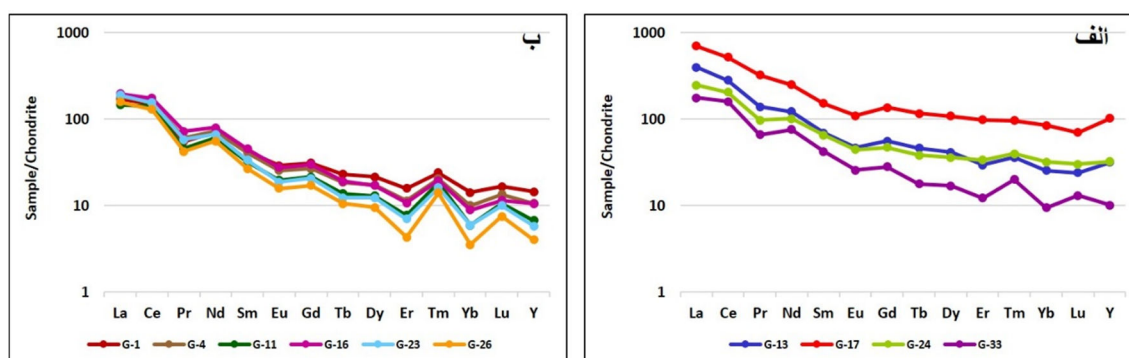
شکل (۴-۱۰) الگوی توزیع بهنجار شده نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی (UCC) برای عناصر نادر خاکی که نشان دهنده غنی‌شدگی M-type برای نمونه‌های مورد مطالعه معدن طزره می‌باشد. الف) الگوی مربوط به لایه‌های زغال سنگی؛ ب) فقط لایه‌های شیل زغالی و شیل آرژیلی.

الگوهای بهنجار شده برای عناصر نادر خاکی لایه‌های زغال سنگی، شیل زغالی و شیل آرژیلی نشان دهنده غنی‌شدگی M-type می‌باشند (شکل ۴-۱۰). غنی‌شدگی نوع M-type در زغال سنگ‌ها عمدتاً توسط سه عامل ایجاد می‌شوند: ۱) آب‌های اسیدی [۱۱۴] که در حوضه زغالی در گردش هستند مانند محلول‌های هیدروترمال که دارای محتوای بالای REY می‌باشند [۱۱۵، ۱۱۶]. ۲) جذب سطحی بالای MREE توسط مواد آلی، نسبت به LREE و HREE [۱۱۷]. ۳) رسوبات منشا، حاوی تیتانیوم بالا و بازالت‌های آلکالن با تیتانیوم پایین.

سردین و دای [۷۷] بر اساس احتمال و پیش بینی عرضه و تقاضا در طول چند سال آینده عناصر نادر خاکی را به سه دسته بحرانی (Nd, Eu, Tb, Dy, Y, Er)، غیربحرانی (La, Pr, Sm, Gd) و عناصری که با مازاد عرضه همراه اند (Ce, Ho, Tm, Yb, Lu) تقسیم بندی نمودند. با توجه به اینکه زغال سنگ‌های معدن طزره به MREE (Eu, Gd, Tb, Dy, Y) غنی‌شدگی دارند و از این میان این عناصر Tb, Dy و Eu طبق دسته بندی سردین و دای [۷۷] در گروه بحرانی قرار می‌گیرند، این مسئله اهمیت زغال سنگ‌های طزره را بیشتر می‌کند.

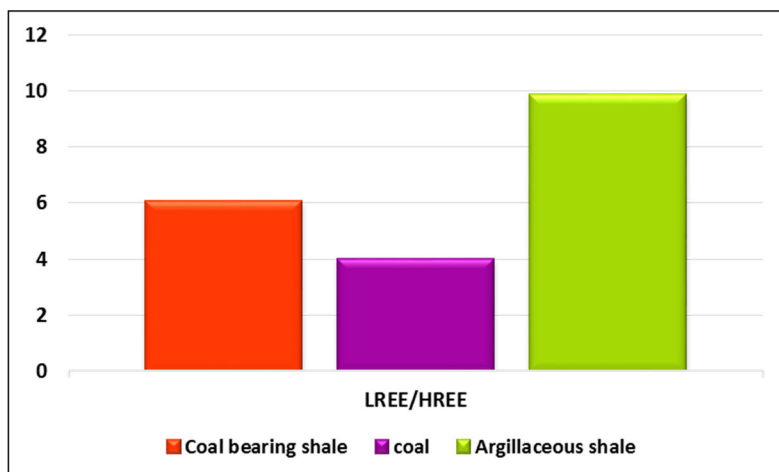
الگوی توزیع عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت‌ها [۱۱۳] برای نمونه‌های مورد مطالعه نیز در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است. این الگوی توزیع نشان می‌دهد که شیب منحنی‌ها از

عناصر نادر خاکی سبک به سمت عناصر نادر خاکی سنگین کاهش می‌یابد. سمت چپ این منحنی به صورت خطی با شیب زیاد و سمت راست آن به شکل خطی با شیب بسیار کم می‌باشد که تقریباً به صورت یک خط راست در آمده است این امر بیانگر غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین در نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشد و به طور کلی الگوی منحنی‌ها برای تمامی نمونه‌های مورد مطالعه تقریباً یکسان می‌باشند.



شکل (۴-۱۱) الگوی توزیع بهنجار شده نسبت به کندریت ها برای عناصر نادر خاکی نمونه‌های مورد مطالعه معدن طزره. الف) الگوی مربوط به لایه های زغال سنگ؛ ب) الگوی مربوط به لایه های شیل زغالی و شیل آریلی.

مقدار متوسط LREE/HREE در نمونه‌های زغال سنگی مورد مطالعه ۳/۹۹ ppm می‌باشد که این مقدار بیانگر بالاتر بودن شدت تفریق عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین بوده و شاهدی بر غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک به سنگین در نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۴-۱۲). عناصر نادر خاکی سنگین (HREE)، احتمال دارد که تحرک بیشتری نسبت به LREE دارند و مطالعات بسیاری نشان می‌دهد که HREE ها غنی‌شدگی کمتری در زغال سنگ‌ها نشان می‌دهند.



شکل (۴-۱۲) مقدار متوسط LREE/HREE در نمونه‌های شیل زغالی، زغال و شیل آرژیلی در معدن طزره.

سایر پارامترهای محاسبه شده نظیر $(La/Yb)_N$ ، $(La/Sm)_N$ و $(Gd/Lu)_N$ که به ترتیب دارای مقادیر ۰/۰۸ تا ۱/۹۳، ۰/۹۱ تا ۱/۳۸ و ۱/۳۲ تا ۱/۹۵ می‌باشند، نیز غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک را نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین در نمونه‌های مورد مطالعه تأیید می‌نماید. مقادیر میانگین برای پارامترهای $(La/Yb)_N$ ، $(La/Sm)_N$ و $(Gd/Lu)_N$ کمتر از مقدار آن‌ها برای کلارک زغال سنگ‌های جهان [۹۹] و زغال سنگ‌های چین [۱۱۱] می‌باشد (جدول ۴-۱۰).

مقادیر Eu_N/Eu_N^* ، Ce_N/Ce_N^* و Gd_N/Gd_N^* برای تمامی نمونه‌های زغال سنگی مورد مطالعه، بالای یک می‌باشد که این امر موید آنومالی مثبت Eu در منطقه مطالعاتی می‌باشد. این رخداد در منحنی‌های بهنجار شده عناصر نادر خاکی در برابر کندریت‌ها [۱۱۳] نیز قابل مشاهده است. مقدار میانگین پارامترهای Eu_N/Eu_N^* و Ce_N/Ce_N^* در نمونه‌های زغال سنگی مورد مطالعه به ترتیب بیشتر و کمتر از مقدار آن‌ها برای کلارک زغال سنگ‌های جهان [۹۹] و زغال سنگ‌های چین [۱۱۱] می‌باشد.

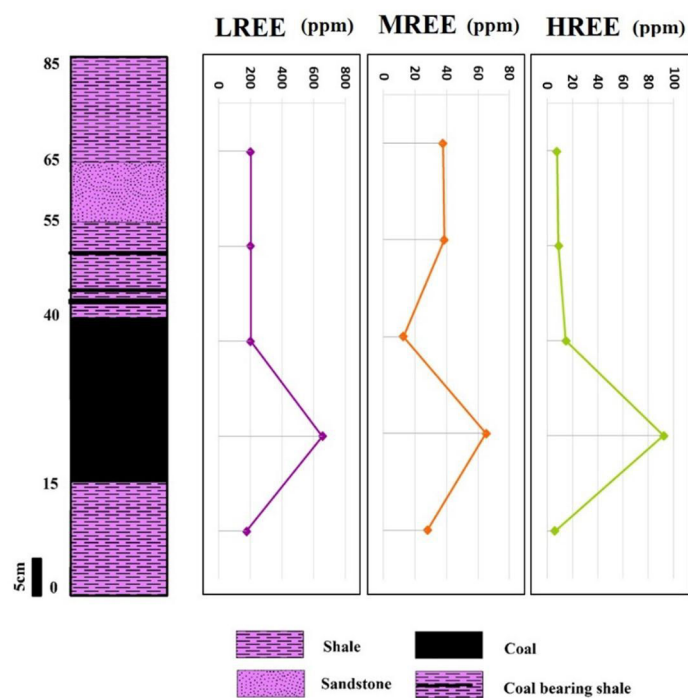
جدول (۴-۹) پارامترهای ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی در لایه‌های زغال سنگی معدن طزره و مقایسه آن‌ها با پارامترهای ژئوشیمیایی کلارک زغال سنگ‌های جهان و زغال سنگ‌های چین.

Sample	REE	REY	LREE	HREE	L/H	(La/Lu) _N	(La/Sm) _N	(Gd/Lu) _N	Eu _N /Eu _N *	Ce _N /Ce _N *	Gd _N /Gd _N *
G-13	381.38	430.78	347.87	82.91	4.20	2.11	1.38	1.95	3.00	1.69	5.78
G-17	749.42	909.72	657.4	252.32	2.61	1.29	1.10	1.64	4.59	1.77	9.13
G-24	282.38	332.88	250.29	82.59	3.03	1.05	0.91	1.32	2.87	1.97	5.06
G-33	202.21	218.11	187.46	30.65	6.12	1.72	1.00	1.81	2.23	2.17	3.92
Ave	403.85	472.87	360.76	112.12	3.99	1.54	1.10	1.68	3.17	1.90	5.97
world	59.53	67.93	51.97	15.96	3.26	0.59	0.83	1.14	1.96	1.96	5.18
china	116.73	134.93	102.83	32.1	3.20	0.63	0.83	1.03	1.89	1.95	4.75

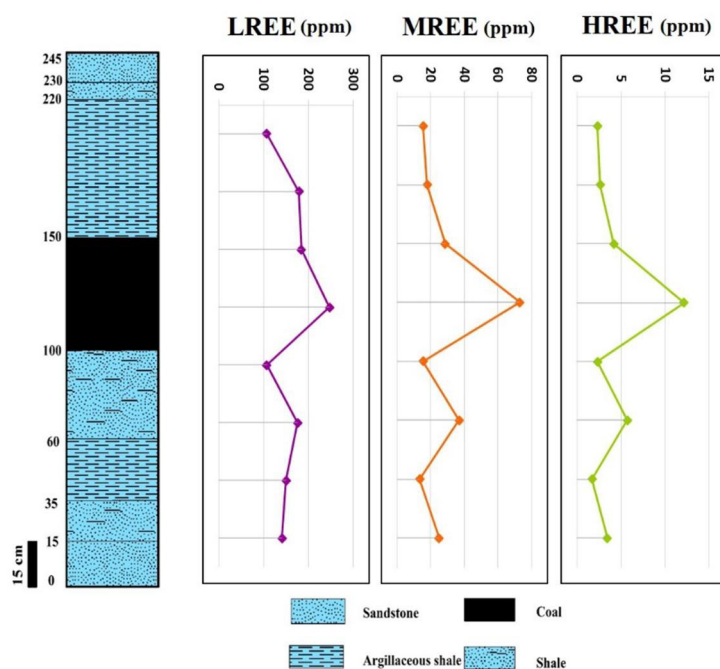
LREE(La-Eu): عناصر نادر خاکی سبک HREE(Gd-Lu): عناصر نادر خاکی سنگین N= sample/UCC
 Eu_N/Eu_N*= Eu_N/(0.067Sm_N+0.33 Tb_N). Ce_N/Ce_N*= Ce_N/(0.5La_N+0.5Pr_N). Gd_N/Gd_N*= Gd_N/(0.33Sm_N+0.67Tb_N).

۴-۶- مطالعه تغییرات عناصر در مقاطع چینه‌شناسی

یکی از مناسب‌ترین روش‌های مطالعات ژئوشیمیایی در کانسارهای تشکیل شده در محیط‌های رسوبی، بررسی تغییرات و مقدار عناصر معدنی و رابطه آن‌ها در توالی رسوبی در برگیرنده آن‌ها می‌باشد. به همین دلیل بخشی از مطالعات ژئوشیمیایی به بررسی مقاطع چینه‌شناسی عناصر نادر خاکی در منطقه مورد مطالعه ۲ مقطع چینه‌شناسی از داخل تونل‌ها در زیر بخش کلاریز (شکل ۴-۱۳) و پشکلات (۴-۱۴) تهیه گردید. برای این منظور نمونه برداری به صورت سیستماتیک و عمود بر روند لایه‌بندی از بخش‌های مختلف صورت گرفت. هدف از این کار بررسی تغییرات عناصر نادر خاکی (LREE, MREE, HREE) در افق‌های زغالی و سنگ‌های میزبان آن‌ها می‌باشد. با استفاده از نتایج حاصل از آنالیز ICP-MS (جدول ۳-۵ و ۴-۶) تغییرات عناصر نادر خاکی در طول ستون مورد نظر در زیر بخش‌های کلاریز و پشکلات ترسیم گردیده است. ترسیم و مطالعه این ستون‌ها تکمیل کننده و تایید کننده نتایج پیشین این فصل می‌باشد. همانطور که در شکل‌های ۴-۱۳ و ۴-۱۴ مشاهده می‌گردد عناصر نادر خاکی بترتیب در لایه‌های زغالی، شیل زغالی دارای بیشترین فراوانی می‌باشد و تغییرات این عناصر در بخش‌های مختلف مقاطع چینه‌شناسی مشابه می‌باشد.



شکل (۴-۱۳) نمودار تغییرات عناصر نادر خاکی (LREE, MREE, HREE) در زیر بخش کلاریز.



شکل (۴-۱۴) نمودار تغییرات عناصر نادر خاکی (LREE, MREE, HREE) در زیر بخش پشکلات.

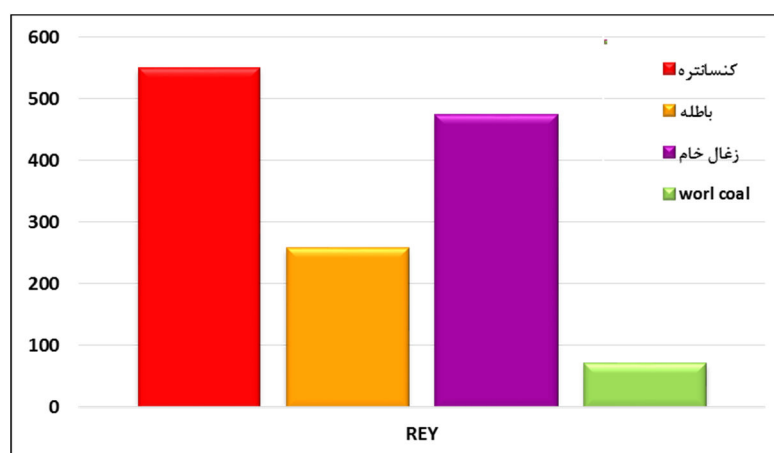
۷-۴ - مقایسه ترکیب شیمیایی زغال سنگ خام، کنسانتره و باطله زغال سنگ

طزره با زغال سنگ های جهان

در جدول ۱۱-۴ میانگین فراوانی عناصر نادر خاکی در نمونه های زغال خام، زغال کنسانتره و باطله زغال سنگ با میزان کلارک زغال سنگ های جهان مقایسه شده اند. میانگین فراوانی REY در زغال خام، کنسانتره و باطله به ترتیب برابر با ۴۷۲/۸۷ ppm، ۵۴۷/۵۰ ppm و ۲۵۶/۶۸ ppm می باشد که هر سه نمونه نسبت به کلارک زغال سنگ های جهان [۹۹] غنی شدگی نشان میدهند (شکل ۴-۱۵).

جدول (۴-۱۰) مقایسه میانگین فراوانی عناصر نادر خاکی (ppm) در نمونه های زغال خام، زغال کنسانتره و باطله

Sample	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Er	Tm	Yb	Lu	Y	REY
کنسانتره زغال سنگ	93.67	197.33	15.97	71.13	15.06	4.05	15.60	2.68	16.26	9.64	1.23	9.60	0.91	94.37	547.50
باطله زغال سنگ	52	116	7.67	40.2	7.25	1.68	6.09	0.77	4.32	1.84	0.41	1.7	0.25	16.5	256.68
زغال سنگ خام	91	177.25	14.03	62.77	12.31	3.38	13.32	2.17	12.60	6.92	0.95	6.42	0.68	69.02	472.87
world coal	11	23	3.4	12	2.2	0.43	2.7	0.31	2.1	1.89	0.31	1	0.2	8.4	68.94



شکل (۴-۱۵) نمودار مقایسه ای میانگین فراوانی عناصر نادر خاکی (ppm) در نمونه های زغال خام، زغال کنسانتره و باطله زغال سنگ با میزان کلارک زغال سنگ های جهان.

۸-۴- ضریب همبستگی عناصر

شناخت ارتباط و همبستگی ژنتیکی متقابل موجود بین عناصر مختلف می‌تواند در تفسیر صحیح یافته‌های ژئوشیمیایی و شناخت دقیق‌تر تغییرات موجود در محیط‌های ژئوشیمیایی مختلف به کار گرفته شود. برای اینکه مشخص شود ارتباط معناداری بین تغییرات متغیرهای آواری وجود دارد یا نه، ضرایب همبستگی بین آن‌ها محاسبه می‌شود. برای به دست آوردن ضرایب همبستگی از دو روش ضریب همبستگی پیرسون (داده‌های نرمال) و ضریب همبستگی اسپیرمن (داده‌های خام) استفاده می‌شود. نزدیک بودن این ضرایب به هم و اختلاف کم ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن حاکی از توزیع نرمال عناصر و عدم تأثیر نمونه‌های دور افتاده است. در محاسبه ضریب همبستگی همانند بسیاری از پارامترهای آماری دیگر فرض نرمال بودن داده‌ها الزامی است. ضریب همبستگی بین دو عدد ۱- و ۱+ متغیر است. وجود همبستگی مثبت بیشتر از $0/5$ + نشان‌دهنده خروج یا ورود همزمان دو عنصر از یک محیط و یا معرف منشأ یکسان دو عنصر است. همبستگی منفی بیشتر از $0/5$ - نشان‌دهنده ارتباط معکوس این دو عنصر با یکدیگر است. به این معنی که ورود یک عنصر به یک محیط، همزمان با خروج دیگری صورت می‌پذیرد و یا دو عنصر از دو منبع جدا از یکدیگر مشتق شده‌اند. اعداد $0/5$ + تا صفر و $0/5$ - تا صفر نشان از همبستگی‌های ضعیف یا عدم همبستگی بین زوج عناصر دارد. مطالعات توزیع و پراکندگی و محاسبه ضرایب همبستگی عناصر با استفاده از نرم‌افزار SPSS بر روی نمونه‌های زغال سنگ معدن طزره صورت گرفت. در جدول ۴-۱۱ ضرایب همبستگی پیرسون برای عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی محاسبه و به صورت ماتریس همبستگی نشان داده شده است. عناصر نادر خاکی در زغال سنگ‌ها غالباً از مناطق منبع منشأ گرفته و به مرداب‌های تشکیل‌دهنده زغال سنگ انتقال می‌یابند و تنها مقدار کمی از این عناصر می‌توانند از گیاهان تشکیل‌دهنده زغال سنگ منشأ گرفته باشند [۱۱۸]. در زغال سنگ‌های دارای مقادیر طبیعی از عناصر نادر خاکی، این عناصر عمدتاً در کانی‌های آواری چون مونازیت و زنونیم، یا در کانی‌هایی که عناصر نادر خاکی وارد ترکیب آن‌ها گردیده مانند آپاتیت و زیرکن و همچنین کانی‌های رسی که این عناصر

را جذب کرده‌اند، حضور دارند [۱۱۰]. سهم اجزای آلی دارای عناصر نادر خاکی معمولاً در زغال سنگ‌ها پایین است. فینکلن [۹۱]، دای و همکاران [۱۱۹] معتقدند که عناصر نادر خاکی فقط در زغال سنگ‌های غنی از REE، می‌توانند تا اندازه‌ای با مواد آلی همراه باشند. این مطلب در مورد زغال سنگ‌هایی که در آن‌ها عناصر نادر خاکی سنگین دارای غنی‌شدگی کمتری نسبت به عناصر نادر خاکی سبک هستند، بیشتر صدق می‌کند [۱۲۰]. اسکانزی [۱۲۱] بیان می‌کند که کاتیون‌هایی مانند Na, K, Ca در پیوند با گروه‌های COOH و OH مواد آلی می‌توانند به وسیله تبادل کاتیونی توسط عناصر نادر خاکی جایگزین شوند، که همبستگی ضعیف عناصر نادر خاکی با این عناصر در زغال سنگ طزره این مسئله را تأیید نمی‌کند. در شکل ۴-۱۶ ضرایب همبستگی عناصر نادر خاکی، عناصر اصلی و عناصر فرعی منتخب به صورت نمودار خوشه‌ای ارائه شده است. بر اساس تحلیل ضرایب همبستگی، این عناصر در دو گروه تجمعی مجزا A و B قرار می‌گیرند که گروه B خود به سه زیرگروه تقسیم می‌شود.

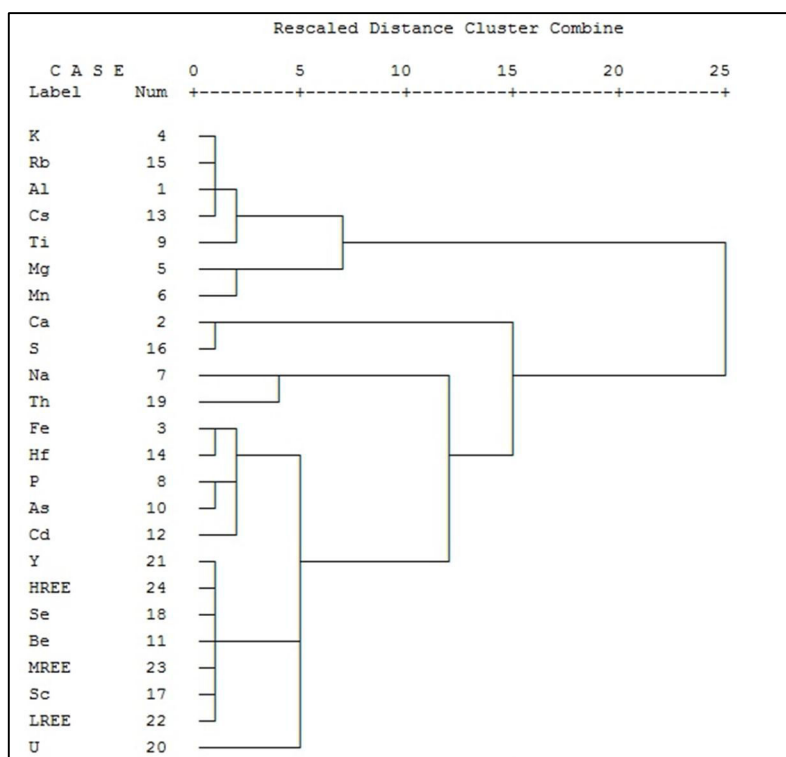
گروه A: این گروه شامل عناصر K, Rb, Cs, Ti, Mg, Mn می‌باشد که عناصر نادر خاکی با آن‌ها دارای رابطه منفی بالایی می‌باشد به نحوی که می‌توان گفت هیچ رابطه‌ای میان آن‌ها وجود ندارد. عنصر Mn با Mg همبستگی (۰/۹) و با Ca (۰/۵) دارد که نشان‌دهنده رخداد احتمالی منگنز در سیدریت و آنکریت می‌باشد [۱۰۸]. آلومینیوم در زغال سنگ‌ها نشان‌دهنده فراوانی کانی‌های رسی مانند کائولینیت و ایلیت است هر چند کانی‌های حاوی آلومینیوم مانند بوهمیت نیز در برخی از زغال سنگ‌های چین گزارش شده‌اند [۱۲۲، ۱۲۳].

گروه B1: عناصر Na, S, Ca و Th در این گروه قرار گرفته‌اند. عناصر نادر خاکی با Na, S, Ca (۰/۳) دارای ضریب همبستگی مثبت ضعیف است و با Th (۰/۷۲) همبستگی مثبت متوسط دارد. گروه B2: عناصر این گروه As, P, Hf, Fe و Cd هستند. عناصر نادر خاکی با همه این عناصر رابطه مثبت قوی (۰/۸-۰/۹) و با P (۰/۵) رابطه مثبت متوسطی را دارد. این عناصر معمولاً تمایل به مواد آلی

دارند و همبستگی مثبت Cd با Fe احتمالاً به این دلیل است که در بیشتر زغال سنگ‌ها کادمیوم در اسفالریت رخ می‌دهد [۱۲۴].

گروه B3: این گروه شامل مجموع عناصر نادر خاکی (LREE, MREE, HREE) به همراه عناصر Be, Se, U, Y می‌باشد که عناصر نادر خاکی با این عناصر دارای ضریب همبستگی قوی (۰/۸-۰/۹) است. سلنیوم (Se) در بیشتر زغال سنگ‌ها با مواد آلی و به میزان کمتر با پیریت و گالن مرتبط می‌باشد [۱۲۴، ۱۲۵].

موارد فوق نقش مواد آلی و اکسید و هیدروکسیدهای آهن-منگنز و کمپلکس‌های فسفاتی را در تمرکز عناصر نادر خاکی در زغال سنگ‌های طزره برجسته می‌سازد.



شکل (۴-۱۶) دیاگرام خوشه‌ای عناصر اصلی، عناصر کمیاب و نادر خاکی (LREE, MREE, HREE) در لایه-های زغال سنگی طزره.

Al	1																					
Ca	-0.6	1																				
Fe	-0.9	0.5	1																			
K	0.9	-0.6	-0.9	1																		
Mg	0.7	0.1	-0.7	0.7	1																	
Mn	0.4	0.5	-0.4	0.4	0.9	1																
Na	0.2	-0.9	-0.1	0.2	-0.5	-0.7	1															
P	-0.9	0.8	0.9	-0.9	-0.4	-0.1	-0.6	1														
Ti	0.9	-0.7	-0.8	0.9	0.6	0.4	0.4	-0.9	1													
As	-0.9	0.7	0.9	-0.9	-0.6	-0.3	-0.3	0.9	-0.9	1												
Be	-0.8	0.1	0.9	-0.8	-0.9	-0.6	0.3	0.5	-0.5	0.7	1											
Cd	-0.9	0.5	0.9	-0.9	-0.8	-0.5	-0.1	0.9	-0.9	0.9	0.8	1										
Cs	0.9	-0.5	-0.9	0.9	0.8	0.6	0.1	-0.9	0.9	-0.9	-0.8	-0.9	1									
Hf	-0.9	0.6	0.9	-0.9	-0.5	-0.1	-0.3	0.8	-0.7	0.9	0.8	0.8	-0.8	1								
Rb	0.9	-0.6	-0.9	0.9	0.7	0.4	0.2	-0.9	0.9	-0.9	-0.7	-0.9	0.9	-0.9	1							
Se	-0.7	0.1	0.8	-0.7	-0.8	-0.6	0.4	0.4	-0.4	0.6	0.9	0.7	-0.7	0.8	-0.7	1						
Th	-0.2	-0.5	0.3	-0.2	-0.6	-0.5	0.8	-0.2	0.2	0.1	0.8	0.2	-0.2	0.3	-0.1	0.8	1					
U	-0.5	0.2	0.6	-0.4	-0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3	0.7	0.3	-0.3	0.7	-0.3	0.8	0.7	1				
Y	-0.7	0.1	0.9	-0.7	-0.7	-0.5	0.3	0.5	-0.4	0.6	0.9	0.7	-0.7	0.8	-0.7	0.9	0.8	0.8	1			
LREE	-0.9	0.2	0.9	-0.9	-0.9	-0.6	0.2	0.7	-0.7	0.8	0.9	0.9	-0.9	0.9	-0.9	0.9	0.6	0.7	0.9	1		
MREE	-0.8	0.1	0.9	-0.8	-0.8	-0.6	0.3	0.5	-0.5	0.7	0.9	0.8	-0.8	0.8	-0.8	0.9	0.7	0.8	0.9	0.9	1	
HREE	-0.7	0.1	0.8	-0.7	-0.8	-0.5	0.4	0.4	-0.3	0.6	0.9	0.7	-0.6	0.8	-0.6	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	Ti	As	Be	Cd	Cs	Hf	Rb	Se	Th	U	Y	LREE	MREE	HREE

جدول (۴-۱۱) ضرایب همبستگی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی لایه‌های زغال‌سنگی معدن طزره.

۴-۹- خاکستر و باطله‌های حاصل از احتراق زغال سنگ

زغال سنگ قدیمی‌ترین سوخت هیدروکربنی است که انسان برای تولید انرژی استفاده نموده است و سوخت غالب بسیاری از کشورهایی که دارای انرژی محدودی‌اند، می‌باشد. اما کاربرد زغال سنگ برای تولید انرژی اثرهای جدی بر محیط‌زیست در اثر معدنکاری زغال سنگ و احتراق زغال در نیروگاه‌های حرارتی ایجاد کرده است و تلاش بشر برای حرکت به سوی آینده پاک و پایدار را محدود نموده است. دانشمندان بسیاری در حال تلاش برای حل این موضوع به روش‌های مختلف برای کاهش اثرهای منفی سوخت زغال بر محیط‌زیست هستند راهی که مبتنی بر استفاده از انرژی‌های نو و جایگزین و فناوری‌های انرژی بهینه است و آن عبارت است از استخراج فلزات کمیاب و نادر خاکی از نهشته‌های زغالی و باطله‌های احتراق زغال سنگ و خاکستر زغال سنگ [۱۲۶]. علاوه بر ذخایر معمول این فلزات نظیر کربناتیت‌ها، گرانیت‌های قلیایی و پوسته هوازه [۱۲۶]، زغال سنگ و محصولات حاصل از احتراق زغال سنگ نیز می‌توانند یک منبع قابل دسترس و امیدبخش برای عناصر نادر خاکی و ایتريوم باشند [۱۲۹]. عناصر نادر خاکی به همراه ایتريوم توسط اتحادیه اروپا در سال ۲۰۱۰ در لیست مواد خام بحرانی از نظر کمبود عرضه و تأثیر بر اقتصاد، قرار گرفتند [۱۳۰] که با کاهش ذخیره اقتصادی عناصر نادر و افزایش نیاز به این عناصر در صنایع گوناگون، استحصال بیشتر عناصر نادر خاکی از منابع گوناگون و نامتعارف اهمیت بسیاری دارد. بازیابی این عناصر به عنوان یک محصول جانبی از ذخایر زغال و معادن فعال در بسیاری از کشورها می‌تواند بحران مواد خام اولیه را کاهش دهد و نیز از نظر زیست‌محیطی زغال را به منابع REY برای دستیابی به انرژی پاک تبدیل کند. بنابراین مطالعات زیادی بر روی محتوای REY در خاکستر زغال سنگ‌ها صورت گرفته است [۱۳۱، ۱۳۲، ۱۳۳].

مقادیر عناصر کمیاب نمونه‌های خاکستر زغال خام، خاکستر کنسانتره زغال و خاکستر باطله زغال سنگ به همراه مقدار کلارک خاکستر زغال سنگ‌های جهان در جدول ۴-۱۲ آورده شده است و در شکل ۴-۱۷ نشان داده شده است. خاکستر کنسانتره زغال سنگ بالاترین میزان عناصر کمیاب خاکی (۵۴۳/۶۷ ppm)، را نسبت به خاکستر زغال خام (۲۵۹/۱۶ ppm) و خاکستر باطله حاصل از احتراق (۲۵۴/۶۷ ppm) را دارا می‌باشد. بر

اساس شکل ۴-۱۸ LREE نسبت به MREE و HREE از فراوانی بیشتری برخوردار می باشد. نمونه خاکستر کنسانتره در مقایسه با خاکستر زغال سنگ های جهان از نظر LREE، در حدود ۱/۴۱ برابر فراوانی بیشتری دارد و دو نمونه دیگر خاکستر زغال سنگ ورودی و باطله حاصل از احتراق کمتر از مقدار خاکستر زغال سنگ های جهانی هستند. بر اساس الگوی توزیع عناصر نادر خاکی به همراه ایتیریم، خاکستر کنسانتره زغال سنگ نسبت به مقدار پوسته قاره ای بالایی در عناصر Dy, Tb, Gd, Eu و Y غنی شدگی دیده می-شود که نشان دهنده M-type بودن این نمونه ها است و این روند در نمونه های خاکستر زغال ورودی و باطله حاصل از احتراق نیز دیده می شود (شکل ۴-۱۹).

جدول (۴-۱۲) مقایسه مقادیر عناصر نادر خاکی و ایتیریم (ppm) موجود در نمونه های زغال خام ورودی، کنسانتره و باطله حاصل از احتراق با مقدار خاکستر زغال سنگ های جهان.

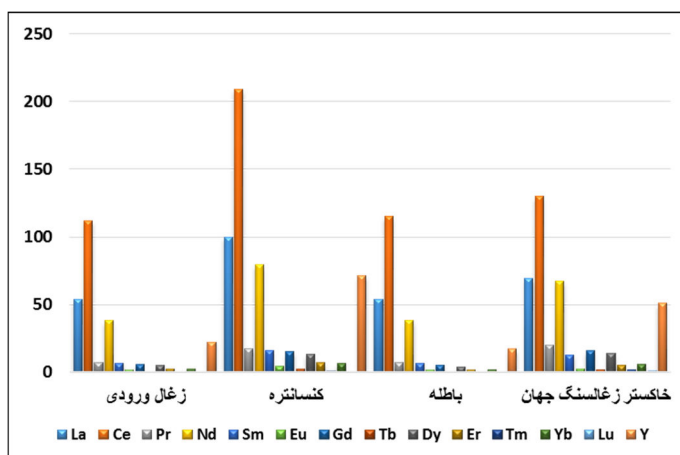
Sample	زغال ورودی	کنسانتره	باطله	world coal* Ash
	G-36	G-37	G-38	
La	54	100	54	69
Ce	112	209	115	130
Pr	7	17.71	7.21	20
Nd	38.2	79.3	38	67
Sm	6.81	16.3	6.66	13
Eu	1.62	4.34	1.59	2.5
Gd	5.8	15.05	5.53	16
Tb	0.84	2.38	0.73	2.1
Dy	5.08	13.07	4.21	14
Er	2.42	7	1.76	5.5
Tm	0.48	0.94	0.42	2
Yb	2.3	6.6	2	6.2
Lu	0.31	0.68	0.25	1.2
Y	22.3	71.3	17.1	51
LREE	218.01	422.31	220.87	299
MREE	13.34	34.84	12.06	34.6
HREE	27.81	86.52	21.53	65.9
REY	259.16	543.67	254.46	399.5
critical	70.46	177.39	63.39	142.1
uncritical	73.61	149.06	73.4	118
excessive	115.09	217.22	117.67	139.4
out look	0.61	0.82	0.54	1.02
REO	383.56	804.63	376.60	591.26

*Ketriss and Yadovich, 2009. REO: REY Oxides

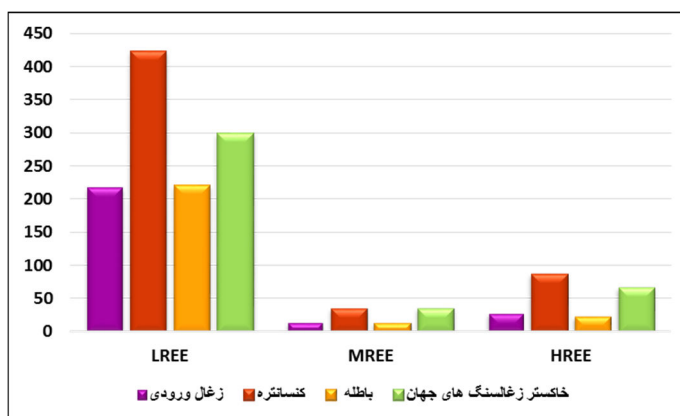
جدول (۴-۳۱) فراوانی REY در ۶ نمونه خاکستر زغالسنگ صنعتی اروپا (۱۳۱).

Element	P-1	P-2	P-3	UK-1	UK-2	UK-3
La	61.4	52.6	60.7	85.7	51	41.9
Ce	124.5	107.5	125.5	176.5	104	86.6
Pr	13.9	12.2	13.7	19.3	11.8	9.4
Nd	56.6	48.6	56.6	77.6	45.6	37.2
Sm	11.6	10	10.1	15.4	9.2	7.1
Eu	2.6	2.5	2.6	3.2	2	1.7
Gd	11.3	9.1	10.4	13.4	7.9	7.4
Tb	1.5	1.6	1.8	1.9	1.4	1.2
Dy	9.7	8.1	9.5	11.1	7.5	6.9
Y	51.4	44	53.8	60.7	42.5	37.3
Ho	1.9	1.7	2	2.2	1.7	1.4
Er	5.7	5	5.2	6.1	4.1	3.7
Tm	0.7	0.7	0.7	0.9	0.6	0.5
Yb	4.7	4.1	5.4	5.8	3.8	3.4
Lu	0.7	0.7	0.7	0.8	0.6	0.5
REY	358	308	359	481	294	246
LREY	74.8	74.9	74.3	77.9	75.5	74
MREY	21.4	21.2	21.8	18.8	20.9	22.1
HREY	3.8	3.9	3.9	3.3	3.6	3.9
Critical	127	110	130	161	103	88
Uncritical	98	84	95	134	80	66
Excessive	133	115	134	186	111	92
Outlook	0.96	0.96	0.96	0.86	0.93	0.95
REO	431	371	432	579	354	297

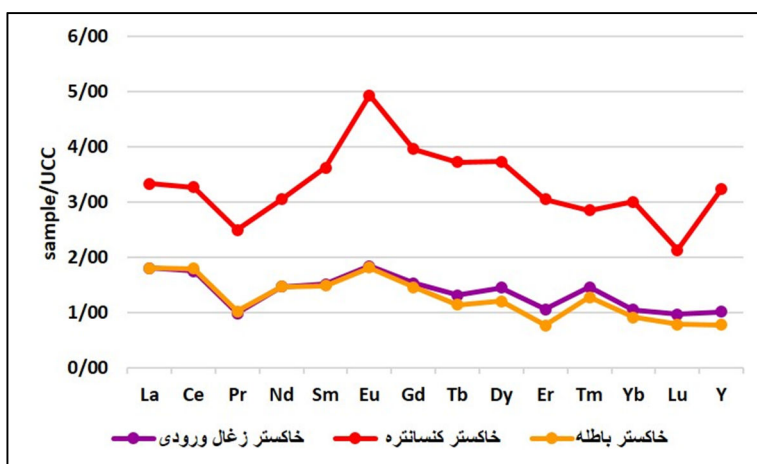
بر اساس داده‌های جداول ۴-۱۰ و ۴-۱۲ میان مقادیر REE در زغال‌سنگ با مقادیر این عناصر در خاکستر نشان می‌دهد که برای بسیاری از عناصر، میزان این عناصر در خاکسترهای ایجاد شده از زغال خام و باطله زغال تا حدودی یکسان می‌باشد ولی میزان عیار عناصر در خاکسترهای ایجاد شده توسط کنسانتره زغال، بیشتر از خاکستر ایجاد شده از زغال خام و باطله زغال‌سنگ می‌باشد. کنسانتره‌های زغال‌سنگ که مقادیر بالایی از REE نسبت به زغال خام و باطله زغال دارا هستند، خاکسترهایی با مقادیر بالایی از REE ایجاد می‌نمایند. بر اساس جدول ۴-۱۳ فراوانی REY در کنسانتره زغال‌سنگ طزره (۵۴۳/۶۷ ppm) نسبت به میانگین ۶ نمونه خاکستر زغال‌سنگ اروپا (۳۴۱ ppm)، بیشتر می‌باشد.



شکل (۴-۱۷) نمودار مقایسه‌ای مقادیر عناصر نادر خاکی (ppm) موجود در نمونه‌های خاکستر زغال ورودی، کنسانتره زغال سنگ و باطله حاصل از احتراق زغال سنگ و مقایسه آن‌ها با میزان REY موجود در خاکستر زغال سنگ‌های جهان.

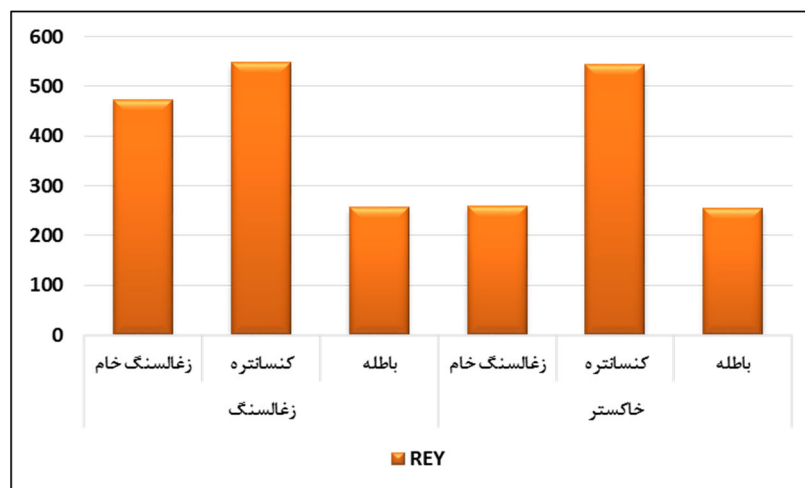


شکل (۴-۱۸) نمودار مقایسه‌ای LREE, MREE, HREE در خاکستر زغال سنگ‌های طزره و خاکستر زغال سنگ‌های جهان.



شکل (۴-۱۹) نمودار توزیع مقادیر عناصر نادر خاکی و ایتريوم در نمونه‌های خاکستر زغال سنگ طزره.

در شکل ۴-۲۰ میانگین فراوانی نمونه‌های زغال سنگ با خاکستر آن‌ها مقایسه شده است که نشان می‌دهد در هر دو حالت زغال خام و زغال دستکاری شده در کارخانه زغالشویی، میزان فراوانی عناصر نادر خاکی در کنسانتره بیشتر از حالت زغال سنگ خام و باطله حاصل از احتراق می‌باشد.



شکل (۴-۲۰) نمودار مقایسه ای میانگین فراوانی REY در نمونه‌های زغال سنگی و خاکستر آن‌ها.

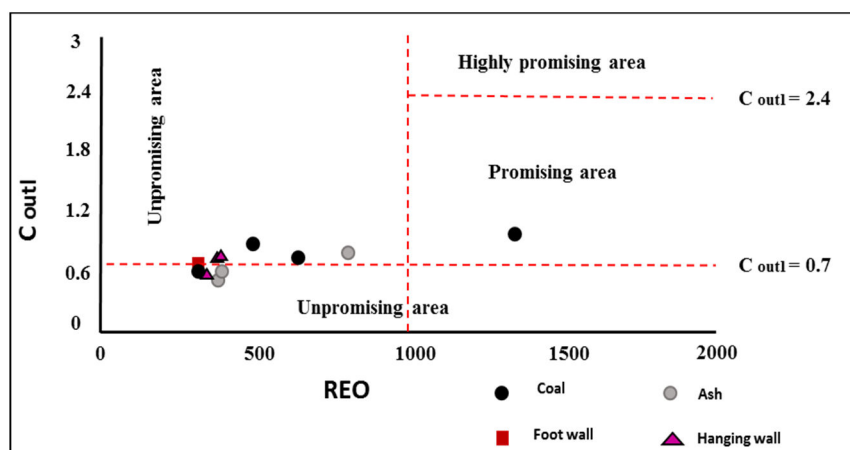
۴-۱۰- ارزیابی عناصر نادر خاکی در خاکستر زغال سنگ طزره

معیارهای سردین و دای [۷۷]، برای ارزیابی مقدماتی میزان عناصر نادر خاکی موجود در خاکستر زغال سنگ‌ها به عنوان مواد خام اولیه اقتصادی شامل غلظت REY و ترکیب کلی عناصر می‌باشد. گرچه ارزیابی کامل شامل تعدادی از فاکتورها مانند؛ منابع فلزات نادر، تناژ قابل استخراج از زغال سنگ، نحوه رخدادهای عناصر کمیاب در زغال سنگ‌ها و محصولات حاصل از احتراق آن‌ها، روش استخراج، مسائل زیست‌محیطی و رابطه بین عرضه و تقاضای فلزات کمیاب می‌باشد. محتوای $REO > 1000 \text{ ppm}$ در خاکستر زغال سنگ به عنوان عیار حد برای ارزیابی اقتصادی در نظر گرفته شده است [۷۷]. پارامتر دیگری که برای ارزیابی خاکستر زغال سنگ در نظر گرفته می‌شود، ترکیبات این فلزات است. این نتایج بر اساس تقسیمات مرسوم

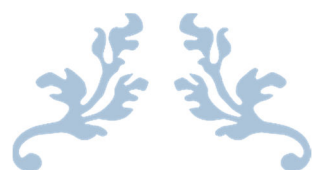
عناصر نادر خاکی سبک و سنگین نبوده‌اند بلکه بر اساس روند کنونی بازار است. بر پایه این نتایج یک ترکیب ایده آل کانه‌های عناصر نادر در زغال بایستی تا حد امکان شامل تعداد زیادی ترکیبات عناصر که کاربرد گسترده‌تری در صنعت دارند و مورد نیاز هستند و نیز تعدادی عناصر با کاربرد کمتر و فراوانی بیشتر در طبیعت باشد. والادیمر سردین [۷۷]، شاخصی به نام دورنمایی تعریف کرد که از رابطه زیر محاسبه می‌شود. هر چه این ضریب بالاتر باشد احتمال با ارزش بودن کانه‌های محتوی عناصر نادر خاکی از نظر ارزش صنعتی بالاتر است.

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

منابعی با محتوای $0.7 < C_{outl} < 2.4$ و $C_{outl} > 2.4$ به‌عنوان منابع امیدبخش و بسیار امیدبخش در نظر گرفته می‌شوند. بر اساس شکل ۴-۲۱ در میان نمونه‌های لایه‌های زغال‌سنگی و خاکستر زغال‌سنگ و سنگ میزبان آن‌ها تنها نمونه G-17 از لایه زغال‌سنگی کلاریز با شاخص دورنمایی ۰/۹۸ در محدوده امیدبخش و خاکستر کنسانتره زغال ۰/۸۱ نزدیک به مناطق امیدبخش قرار می‌گیرد و بقیه نمونه‌ها همگی در محدوده ناامیدکننده قرار می‌گیرند. بر اساس پارامترهای حاضر لایه‌های زغال‌سنگ زیر بخش کلاریز مستعد اکتشاف عناصر کمیاب و نادر خاکی می‌باشند،



شکل (۴-۲۱) ارزیابی REY در لایه‌های زغال‌سنگی، خاکستر زغال‌سنگ و سنگ‌های میزبان آن‌ها در معدن طزره.



فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادها



۵-۱- نتیجه گیری

تحقیقات زمین شناسی، سنگ شناسی، کانی شناسی و ژئوشیمی در معدن زغال سنگ طزره و مقایسه نتایج با زغال سنگ های ایران و جهان منجر به نتایجی شده است، که به طور جداگانه برای هر بخش به صورت فهرست وار بیان شده است:

۵-۲- زمین شناسی و سنگ شناسی

- منابع زغال سنگی ایران متعلق به دو حوضه زغال سنگی اصلی در شمال و مرکز ایران می باشد که حوضه زغالی شمالی به سه ناحیه البرز شرقی، البرز مرکزی و البرز غربی تقسیم شده که منطقه طزره در ناحیه زغال دار البرز شرقی واقع شده است.

- رسوبات زغال دار طزره که از پایین به سنگ آهک دولومیتی سازند الیکا و از بالا به سنگ آهک های ضخیم لایه دلیچای و لار محدود می گردد، به سازند شمشک منسوب می باشند. سازند شمشک در گستره البرز بیشتر دارای ویژگی قاره ای هستند. سن این واحدهای سنگی تریاس بالایی تا ژوراسیک زیرین می باشد.

- سنگ های در برگیرنده لایه های زغال سنگی در منطقه طزره شامل تناوبی از ماسه سنگ های ریزدانه تا درشت دانه، شیل، سیلتستون و آرژیلیت است. لایه های زغال سنگی این منطقه به دلیل قرار گرفتن در محدوده زمین ساختی البرز که دارای زمین ساخت پیچیده ای است، توسط گسل های متعدد جابه جا شده است.

- بر اساس تقسیم بندی منطقه ای، سازند شمشک در البرز شرقی از قدیم به جدید به ۵ بخش رزمجا، طزره، رواجه، کوانسار و دانسريت تقسیم شده است، که بخش طزره به نوبه خود از پایین به بالا به سه زیربخش کلاریز، آسیاب و پشکلات تفکیک می گردد. از نظر چینه شناسی، رسوبات زغال سنگی منطقه طزره متعلق به زیربخش های کلاریز و پشکلات می باشند.

- زیربخش کلاریز با ضخامت ۳۳۵ متر، قسمت اعظم لایه‌های زغالی منطقه را در بر گرفته که ضخامت متوسط لایه‌های زغالی قابل استخراج آن در حدود ۰/۶۳ متر می‌باشد. در زیر بخش آسیاب بندرت لایه‌های کوچک زغال و زغال آرژیلیتی مشاهده می‌گردد که فاقد ارزش اقتصادی هستند، این در حالی است که رسوبات زیربخش پشکلات حاوی لایه‌های زغالی کوچک و بزرگ بوده و لایه زغالی P10 یکی از گسترده‌ترین لایه‌های زغالی قابل استخراج آن می‌باشد. بطور کلی در زیربخش پشکلات ۲۸ لایه زغال اقتصادی و غیراقتصادی وجود دارد که ضخامت کل آن‌ها به ۱۵/۲ متر می‌رسد.

- مطالعه پتروگرافی ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های در برگیرنده لایه‌های زغالی، طیف گسترده‌ای از کانی‌ها را مشخص می‌نماید. ماسه‌سنگ‌ها حاوی پلاژیوکلاز، میکروکلین، کوارتز تک‌بلوری و چند بلوری و مسکوویت و کانی‌های سنگین مانند زیرکن، تورمالین و آناتاز و همچنین دارای سیمانی متغیر (رسی، اکسید و هیدروکسیدهای آهنی، کلسیتی و سیلیسی) هستند. سیلتستون و لایه‌های شیلی به‌صورت متناوب قرار گرفته‌اند و حاوی کوارتز، پلاژیوکلاز و کانی‌های رسی می‌باشند و دیاژنز تدفینی را نشان می‌دهند. شیل‌های زغالی که رگه‌های کوچک زغال و فراوانی مسکوویت، کوارتز و اکسید آهن را نشان می‌دهند نیز به‌صورت میان لایه همراه با شیل و ماسه‌سنگ در منطقه مشاهده می‌شوند.

- در مطالعات کانی‌شناسی پیریت با فراوانی متغیر و کانی کالکوپیریت نیز با فراوانی کمتر به‌صورت پرکننده شکستگی‌ها و منافذ زغال مشاهده شد. در طیف‌های حاصل از آنالیز XRD بر روی زغال‌سنگ‌های منطقه طزره نیز کانی‌های کائولینیت، کوارتز، پیریت مشاهده گردید. بیشترین حضور در طیف‌های XRD متعلق به کوارتز و کانی‌های رسی می‌باشد.

- بر اساس مطالعات پتروگرافی آلی، حضور هر سه گروه ماسرالی در لایه‌های زغال‌سنگی به اثبات رسیده که گروه ویتترینیت دارای بیشترین، اینترتینیت در حد متوسط و لیپتینیت دارای کمترین فراوانی در این زغال‌سنگ‌ها می‌باشند. گروه ماسرالی ویتترینیت با تمرکزی در حدود (۶۴ تا ۸۴ درصد)

گروه ماسرالی غالب در میان سایر گروه‌ها بوده و شامل ماسرال‌های کالودترینیت، کالوتلینیت و کورپوژلینیت می‌باشد. گروه اینرتینیت از لحاظ مقدار دارای گستره (۵/۰ تا ۴۴ درصد) بوده و شامل ماسرال‌های فوزینیت، سمی فوزینیت، ماکرینیت، اسکرتینیت، فانگینیت، اینرتودترینیت و میکرینیت است. ماسرال‌های فوزینیت و سمی فوزینیت فراوان ترین ماسرال‌های این گروه هستند. کمترین درصد حجمی متعلق به گروه ماسرالی لیپتینیت (۲/۰ تا ۳ درصد) بوده که شامل ماسرال‌های اسپورنیت، کوتینیت، رزینیت و لیپتودترینیت می‌باشد که در مقاطع مورد مطالعه مشاهده نشدند.

- میزان خاکستر لایه‌های زغال‌سنگی دارای بازده خاکستر کم تا زیاد می‌باشند که نمونه‌های برداشت شده از لایه‌های زغال‌سنگی طزره در محدوده خاکستر زیاد قرار می‌گیرند.

۵-۳- ژئوشیمی سنگ‌های میزبان

- بر اساس طبقه‌بندی ارائه شده توسط پتی جان و همکاران (۱۹۷۲)، نمونه‌های ماسه‌سنگی طزره در محدوده لیتارنایت قرار می‌گیرند.

- در نمودارهای بهنجار شده مقادیر غلظت عناصر نمونه‌های شیل و ماسه‌سنگی طزره به نمونه‌های مرجع (NASC و UC)، اکسیدهای SiO_2 , Al_2O_3 و Fe_2O_3 به ترتیب بیشترین فراوانی را دارا می‌باشند. نمودار بهنجار شده نمونه‌ها نسبت به NASC نشان دهنده غنی‌شدگی TiO_2 و تهی‌شدگی بالای CaO می‌باشد و بقیه اکسیدهای اصلی مقادیری مشابه با نمونه مرجع را دارند.

- نمونه‌های ماسه‌سنگی و شیلی طزره بر اساس نمودار کرومببرگ (۱۹۹۴) و نسبت‌های عنصری مانند Th/Cr , Th/Co , Th/Sc , ... منشأ سنگ‌های آذرین فلسیک دارند و در حوضه‌های کششی درون قاره‌ای مرتبط با قوس‌های قاره‌ای و در یک محیط تکتونیکی فعال نهشته شده‌اند. وجود سنگ‌های آذرین آکالن بازیک در قاعده سازند شمشک در البرز شرقی مؤید این گفته می‌باشد.

- بهنجارسازی مقادیر عناصر کمیاب نمونه‌های ماسه‌سنگ و شیل طزره به مقدار پوسته قاره‌ای

بالایی، غلظت‌های مشابهی را در عناصر Be , Cd , Co , V , Sc ... و همچنین بهنجاری مثبتی را در عناصر Bi , Cr , Cu , Ti , Li نشان می‌دهد.

- مقدار متوسط مجموع عناصر نادر خاکی $\sum REE$ در نمونه‌های ماسه‌سنگی 165 ppm و در نمونه‌های شیل $187/5 \text{ ppm}$ می‌باشد که این مقدار بیشتر از مجموع فراوانی عناصر نادر خاکی در شیل آمریکای شمالی ($173/21 \text{ ppm}$) و پوسته قاره‌ای ($146/4 \text{ ppm}$) می‌باشد.

- نمودار بهنجار شده شیل و ماسه‌سنگ طزره مقادیری مشابه و کمی بالاتر از $LREE$ و همچنین مقادیر متناوبی از $HREE$ را نسبت به مقادیر مرجع UC و $NASC$ را نشان می‌دهند.

- پارامترهای محاسبه شده $LREE/HREE$, $(La/Lu)_N$, $(La/Sm)_N$ و $(Gd/Lu)_N$ نشانگر بالا بودن شدت تفریق عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین است که نشان‌دهنده غنی‌شدگی $LREE$ نسبت به $HREE$ می‌باشد. عناصر Ce و Eu نیز در نمونه‌های مورد مطالعه دارای آنومالی مثبت می‌باشند.

۵-۴- ژئوشیمی زغال‌سنگ

- آنالیز نمونه‌های زغال‌سنگ طزره بیانگر میزان بالای اکسیدهای اصلی SiO_2 و Al_2O_3 , Fe_2O_3 نسبت به سایر اکسیدهای اصلی در لایه‌های زغال‌سنگی می‌باشد. عناصر TiO_2 و MgO , K_2O , CaO از فراوانی متوسطی در زغال‌سنگ‌ها برخوردار هستند و کمترین فراوانی نیز متعلق به عناصر Na_2O , MnO و P_2O_5 می‌باشد.

- زغال‌سنگ‌های طزره در مقایسه با زغال‌سنگ‌های جهان، به دلیل حضور کانی‌های ایلیت، مسکویت و کلریت در ترکیب کانیایی خود، در عناصر MgO و K_2O غنی‌شدگی نشان می‌دهند.

- ضریب غنی‌شدگی عناصر کمیاب موجود در زغال‌سنگ‌های معدن طزره نسبت به کلارک

زغال سنگ های جهان از ۰/۶ تا ۱۳/۷ و نسبت به زغال سنگ های چین از ۰/۹۲ تا ۱۹/۶۵ تغییر می کند.

- بر اساس تقسیم بندی دای و همکاران [۱۱۲]، عناصر کمیاب Li و Pb, Cs, Cr در لایه های زغال سنگی غنی شدگی مهم و عناصر کمیاب V, Sc, Ni, Nb, Cu و In دارای غنی شدگی نرمال هستند.

- عناصر دارای پتانسیل محیطی خطرناک شامل Sb و As, V, Se, Pb, Ni, Cu, Cr, Co, Ba در لایه های زغال سنگی معدن طزره نسبت به کلارک زغال سنگ های جهان و زغال سنگ های چین دارای غنی شدگی بالا می باشند.

- مقدار متوسط مجموع عناصر نادر خاکی $\sum REE$ در معدن طزره ۴۰۳/۸۳ ppm است که این مقدار خیلی بیشتر از مجموع فراوانی عناصر نادر خاکی در کندریت ها (۲/۲۵ ppm)، کلارک زغال سنگ های جهان (۶۸/۵ ppm)، زغال سنگ های چین (۱۳۷/۹ ppm) و زغال سنگ های آمریکا (۶۲/۱ ppm) می باشد.

- مقدار متوسط مجموع عناصر نادر خاکی $\sum REE$ در معدن طزره نسبت به لایه های زغال سنگی آب یک دارای غنی شدگی دو برابر خصوصاً در عناصر Er, Dy و Y است و همچنین نسبت به لایه های زغال سنگی معدن کارمزد به جز عناصر Pr و Ce که غنی شدگی کمتر از یک دارند، بقیه عناصر نادر خاکی دارای غنی شدگی بیشتر از یک می باشند.

- الگوی توزیع عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت ها برای نمونه های زغال سنگی مورد مطالعه بیانگر غنی شدگی عناصر نادر خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) می باشد.

- پارامترهای محاسبه شده $(La/Lu)_N$, $(La/Sm)_N$ و $(Gd/Lu)_N$ غنی شدگی

عناصر نادر خاکی سبک را نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین در نمونه‌های مورد مطالعه تأیید می‌نماید. عناصر Eu و Ce دارای آنومالی مثبت در منطقه مطالعاتی می‌باشند.

- تحلیل خوشه‌ای داده‌های ژئوشیمیایی زغال‌سنگ‌های طزره، همبستگی مثبت قوی REE را با عناصر U, Y, Be, Se و همبستگی مثبت متوسط REE را با عناصر Th, S, Na, Ca, P, Hf, Fe, Cd و As، و همبستگی منفی بالای REE را با عناصر Ti, Rb, Mn, Mg, K, Cs و Al نشان می‌دهد.

- تجزیه نمونه‌های خاکستر زغال‌سنگ خام، خاکستر کنسانتره و خاکستر باطله نشان می‌دهد که خاکستر کنسانتره بالاترین میزان REE را دارا می‌باشد که در مقایسه با خاکستر زغال‌سنگ‌های جهان در حدود ۱/۴۱ برابر فراوانی بیشتری دارد.

- بر اساس الگوی توزیع عناصر نادر خاکی نسبت به خاکستر زغال‌سنگ‌های جهان، عناصر Ce, Er, Eu, Y غنی‌شدگی و عناصر Gd, Lu, Pr, Tm تهی‌شدگی را در نمونه‌های معدن طزره نشان می‌دهند.

- با توجه به شاخص دورنمایی تعریف شده توسط سردین [۷۷]، در میان نمونه‌های لایه‌های زغال‌سنگی، خاکستر زغال‌سنگ و سنگ میزبان، نمونه G-17 از حدود ۱۰ متری لایه زغال‌سنگی K12 کلاریز در امتداد تونل مادر، در محدوده امیدبخش و خاکستر کنسانتره زغال‌سنگ نزدیک به محدوده امیدبخش قرار می‌گیرند.

- بر پایه نتایج تحقیق حاضر لایه‌های زغال‌سنگ زیر بخش کلاریز مستعد پتانسیل عناصر کمیاب و نادر خاکی می‌باشد، با وجود این اظهار نظر قطعی منوط به انجام مطالعات تکمیلی است که در پیشنهادات به آن‌ها اشاره می‌گردد.

۵-۵- پیشنهادها

برای توسعه دانش زمین‌شناسی و معدنی و مطالعه تکمیلی عناصر کمیاب و نادر خاکی در معدن زغال‌سنگ طزره و دیگر نواحی زغال‌خیز ایران پیشنهادهای تحقیقاتی و اکتشافی زیر ارائه می‌شود:

- بر اساس نتایج تحقیق حاضر لایه‌های زغال‌سنگ زیر بخش کلاریز (به ویژه لایه‌های زغال‌سنگ تونل مادر) و خاکستر کنسانتره زغال‌سنگ دارای بیشترین مقدار عناصر نادر خاکی در معدن طزره هستند، و مستعد ادامه عملیات اکتشافی می‌باشند. از این‌رو نمونه‌برداری سیستماتیک از لایه‌های زغال‌سنگ کلاریز، سنگ‌های کمربالا و کمرپایین آن و نیز خاکستر کنسانتره زغال‌سنگ توصیه می‌گردد. نمونه‌ها در یک آزمایشگاه مطمئن برای عناصر کمیاب و نادر خاکی تجزیه شوند. لازم به ذکر است که در تحقیق حاضر به دلیل محدودیت‌های آزمایشگاهی عناصر Ga و Ge تجزیه نشده‌اند، در پژوهش‌های آتی حتماً این عناصر در نمونه‌های زغال‌سنگ و خاکستر زغال‌سنگ مدنظر قرار گیرند.

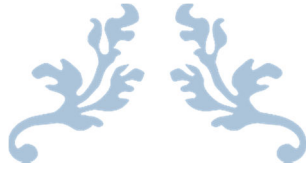
- به منظور تعیین نوع، ترکیب شیمیایی و مورفولوژی کانی‌های موجود در زغال‌سنگ مطالعات پیشرفته از قبیل تهیه تصاویر پس پراکنش الکترونی (SEM) و تجزیه شیمیایی به روش ریزکاو الکترونی (EPMA) توصیه می‌گردد.

- پتروگرافی آلی و معدنی نمونه‌های زغال‌سنگ طزره برای ارزیابی قابلیت کک‌سازی آن‌ها.

- برای شناسایی و مطالعه دقیق ماسرال‌ها از میکروسکوپ‌های مجهز به نور فلورسانس، عدسی‌های روغن امرسیون و فتومتر استفاده گردد.

- برای شناسایی محیط نهشت زغال‌سنگ‌های معدن طزره، مطالعات ایزوتوپی کربن و گوگرد بر روی نمونه‌های زغال‌سنگی منطقه صورت گیرد.

بر پایه نتایج حاصل از مطالعات تکمیلی کلیدهای اکتشافی برای پی‌جویی لایه‌های زغال‌سنگ مستعد عناصر کمیاب و نادر خاکی در البرز شرقی و سایر پهنه‌های زغال‌دار ایران ارائه گردد.



منابع



- ۱- رضایی، ب. (۱۳۸۰). تکنولوژی زغال شویی. چاپ اول. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- 2- International Committee for Coal Petrology (ICCP), (1963). *International handbook of coal petrology*, 2nd ed., CNRS (Paris).
- 3- Stach, E., Mackowsky, M. Th., Teichmuller, M., Taylor, G. H., Chandra, D. and Teichmuller, R. (1982). *Stachs textbook of coal petrology*. Gebruder Borntraeger, Berlin, 535 P.
- 4- Taylor, G. H., Teichmuller, M., Davis, A., Diessel, C. F. K., Littke, R. and Robert, P. (1998). *Organic Petrology*. Gebruder Borntraeger, Berlin.
- 5- Merritt, R. D. (1986). *Coal Exploration; Mine Planning, and Development*. Noyes Publications, 464 P.
- 6- International Committee for Coal Petrology (ICCP), (1971). *International handbook of coal petrology*, 1st supplement to 2nd ed., CNRS (Paris).
- 7- International Committee for Coal Petrology (ICCP), (1975). *International handbook of coal petrology*, 2nd supplement to 2nd ed., CNRS (Paris).
- 8- International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP), (1998). The new vitrinite classification (ICCP System 1994), *Fuel*, Vol. 7, pp. 349-358.
- 9- International Committee for Coal and Organic Petrology (ICCP), (2001). The new inertinite classification (ICCP System 1994), *Fuel*, Vol. 80, pp. 459-471.
- 10- Sykorova, I., Pickel, W., Christianis, K., Wolf, M., Taylor, G. H. and Flores, D. (2005). Classification of huminite (ICCP System 1994). *International Journal of Coal Geology*, Vol. 62, pp. 85-105.
- 11- Teichmuller, M. (1989). The genesis of Coal from the viewpoint of coal petrology. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 12, pp. 1-87.
- 12- Suarez-Ruiz, I. and Crelling, J. (2008). Applied Coal Petrology, The Role of Petrology in Coal Utilization, *Academic Press*, 28p.
- 13- Stopes, M. C. (1935). On the petrology of banded bituminous coals. *Fuel*, Vol. 14, pp. 4-13.
- 14- Suarez-Ruiz, I., Flores, D., Filho, J. G. M., and Hackley, P. C. (2012). Review and update of the applications of organic petrology: Part 1, geological applications. *International Journal of Coal*, Vol 99, pp. 54-112.
- 15- Van Krevelen, D. (1993). *Coal*. Elsevier, Amsterdam, 979 P.
- 16- Tissot, B. and Welte, D. H. (1984). Petroleum Formation and Occurrence, 2nd ed. *Springer-Verlag*, Heidelberg. 669 pp.
- ۱۷- یزدی، محمد. (۱۳۸۸). زغال سنگ (از منشأ تا اثرات زیست محیطی). چاپ دوم. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد دانشگاه شهید بهشتی.
- ۱۸- جامعی، ج (۱۳۷۱). مقایسه روش استخراج لایه های پرشیب زغال سنگ در ایران و فرانسه، نخستین سمینار زغال سنگ، دانشکده فنی دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- ۱۹- افضل، پیمان. الوان دارستانی، رضا. کاوه آهنگران، داریوش (۱۳۹۱). مدل سازی سه بعدی و ارزیابی ذخیره لایه های C1 و B2 در بلوک شماره ۲ کانسار زغال سنگ پروده شرقی طبس، اولین کنگره ملی زغال سنگ ایران. دانشگاه صنعتی شاهرود.

- ۲۰- شریعت نیا، م. ح. (۱۳۷۴). ویژگی‌های زمین‌شناسی گستره پروده از حوضه زغال دار طبس - ایران مرکزی، فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۶-۱۵، ص ۶۰-۵۰.
- ۲۱- حیدری، حسین (۱۳۹۱). تکتونیک زغال‌سنگ ایران، اولین کنگره ملی زغال‌سنگ ایران. دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۱ ص.
- ۲۲- معین السادات س. ح. رضوی ارمغانی م. ب (۱۳۷۲). زمین‌شناسی ایران - زغال‌سنگ. انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۲۸۶ص.
- ۲۳- آقا نباتی، سید علی (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران. چاپ اول. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۲۴- خسرو تهرانی، خ. (۱۳۶۷). کلیاتی درباره چینه‌شناسی ایران و مقاطع تیپ تشکیلات. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۴۲ص.
- ۲۵- فتوحی، زهره (۱۳۵۷). گزارش زمین‌شناسی دره وطن در منطقه قشلاق، شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی، گروه اکتشافی قشلاق. شاهرود.
- ۲۶- علوی، م؛ صالحی راد، ر (۱۹۷۵)، نقشه زمین‌شناسی دامغان، سری ۱۰۰۰۰۰ : ۱، سازمان زمین‌شناسی کشور شماره ۶۸۶۲.
- ۲۷- درویش زاده، علی (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران _ چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسم، شورای عالی برنامه‌ریزی وزارت علوم. انتشارات امیرکبیر.
- ۲۸- جاوید فخر، بیتا؛ الیویه، بلیه؛ شبانیان، اسماعیل و احمدیان، سیران (۱۳۹۰). تحلیل تکتونیک فعال در منطقه شاهرود (شمال خاور ایران). پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. تهران. انجمن زمین‌شناسی ایران. دانشگاه تربیت‌معلم.
- ۲۹- گزارش اکتشافات تفصیلی منطقه پشکلات (۱۳۵۹). شرکت سهامی خاص البرز شرقی.
- 30- Seyed-Emami, K., Fursich, F. T., Wilmsen, M., Cecca, F., Majidfard, M. R., Schairer, G. and Shekarifard, A. (2006). Stratigraphy and ammonite fauna of the upper Shemshak Formation (Toarcian-Aalenian) at Tazareh, eastern Alborz, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 2, p
- ۳۱- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۶). گزارش توان اقتصادی استان سمنان.
- ۳۲- شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی، (۱۳۵۱). نقشه زمین‌شناسی ۱ : ۵۰۰۰ کلاریز. شاهرود.
- ۳۳- شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی، (۱۳۵۴). نقشه زمین‌شناسی ۱ : ۵۰۰۰ پشکلات. شاهرود.
- ۳۴- شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی، (۱۳۶۰). نقشه زمین‌شناسی ۱ : ۵۰۰۰ رزمجا.

شاهرود.

- 35- Stampfli, G. M., 1978. Etud geoloique de Albourz oriental au sud de Gonbad-e-Qabus, (Iran NE). Unpublished Ph.D thesis, *University Geneve.*, 329 p.
- 36- Stow, D. A. V., 2005. Sedimentary Rocks in the Field, A Colour Guide, *Manson Publishing Ltd*, 320 p.
- 37- Pettijohn, F. J., Potter, P. E. and Siever, R., 1987. Sand and Sandstones, *Springer- Verlag*, New York, 553 p.
- 38- Tucker M.E., 2001. *Sedimentary petrology, an introduction to the origin of Sedimentary rocks*, v. 78, p. 353-368.
- 39- Folk R.L., 1974. Petrology of sedimentary rocks, Hemphill, Austin, Texas, 159 p. 33- Gablina I.F., 1981. New data on formation conditions of the Dzhezkazgan copper deposit: *International Geology Review*, v. 23, no. 11 p. 1303-1311.
- ۴۰- حمیدی. م.، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: بررسی توان هیدروکربن زایی شیل‌های سازند شمشک منطقه دهملا، شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- 41- Taylor, G.H., Teichmuller, M., Davis, A., Diessel, C. F. K., Littke, R. and Robert, P. (1998). *Organic Petrology*. Gebruder Borntraeger, Berlin.
- 42- Parkash, S. (1985). Petrographic studies of coals from Alberta plains. *Coal research department*, Alberta research, Edmonton, Alberta, Canada.
- 43- Gurdal, G. and Bozcu, M. (2011). Petrographic characteristics and depositional environment of Miocene Can coals, Canakkale – Turkey. *International Jornal of coal Geology*, Vol. 85, pp. 143-160.
- 44- Ward, C. R., Taylor, J. C., Matulis, C. E., and Dale, L. S (2001). Quantification of mineral matter in the Argonne Premium Coals using interactive Rietveld-based X-ray diffraction. *International Journal of Coal Geology*, No. 46, pp. 67-82.
- 45- Speight, J. G. (2005). *Handbook of coal analysis*. John Wiley and Sons, Inc., 238 p.
- 46- Teichmuller, M. (1982). Origin of the petrographic constituents of coal, In: Stach, E., Mackowsky, M. Th., Teichmuller, M., Taylor , G. H., Chandra, D., Teichmuller, R. (Eds) , *Stachs Textbook of Coal Petrology*, 3 rd ed. Gebruder-Borntraeger, Berlin, Germany.
- 47- Gruber, W., and Sachsenhofer, R. F. (2001). Coal deposition in the Noric Depression (Eastern Alps): raised and low-lying mires in Miocene pull-apart basins. *International Jornal of Coal Geology*, VOL. 48, pp. 89-114.
- 48- Suwarna, N. and Hermanto, B. (2007). Berau coal in East Kalimantan ; Its petrographics characteristics and depositional environment. *Journal Geology Indonesia*, VOL. 2, pp. 191-206.
- 49- Amijaya, H. and Littke, R. (2005). Microfacies and depositional environment of Tertiary Tanjung Enim Low rank coal, South Sumantra Basin, *Indonesia. Int. J. Coal Geo*, VOL. 6, pp. 197-221.
- 50- Singh, P. K., Singh, M. P., Prachiti, P. K., Kalpana, M. S., Manikyamba, C., Lakshminarayana, G., Sigh, Alok K., and Naik, A. S. (2012). Petrographic characteristics and carbon isotopic composition of Permian coal: Implications on depositional environment of Sattupalli coalfield, Godavari Valley, India.

- International Journal of coal geology*, VOI, 90-91, pp. 34-42.
- 51-Sachsenhofer , R. F., Bechtel, A., Reischenbacher, D., and Weiss, A. 2003. Evolution of Lacustrine systems along the Miocene Mur-Murztal fault system (Eastern Alps, Austria) and implications on source rocks in pull-apart basins. *Marine and Petroleum Geology*, No. 20, VOI. 2, pp. 83-110.
 - 52-Erik, N. Y. and Sancar, S. (2010). Relationships between coal-quality and organic-geochemical parameters: A case study of the Hafik coal deposits (Sivas Basin, Turkey). *International Journal of Coal Geology*, VOI, 83, pp. 396-414.
 - 53-Yan, Z., Wang, Z., Chen, J., Yan, Q. and Wang, T., 2010- Detrital record of Neoproterozoic arc-magmatism along the NW margin of the Yangtze Block, China: U-Pb geochronology and petrography of sandstones, *Journal of Asian Earth Sciences*, 37, pp. 322-334.
 - 54-Blatt, H., 1985. Provenance studies and mudrocks. *Journal of Sedimentary Petrology*, VOL 55, pp. 69-75.
 - 55-McBride, E. F., 1985. Diagenetic processes that affect provenance determination in sandstone. In Zuffa G. G. (Ed), Provenance in Arenites. *Reidel Publishing Company*.p 407, pp. 95-113.
 - 56-Armstrong-Altrin, J. S., Lee, Y., Verma, S. and Ramasamy, S., 2004. Geochemistry of sandstones from the Upper Miocene Kudanul Formation, southern India: Implications for provenance, weathering and tectonic setting. *Journal of Sedimentary Research* 74, pp. 167-179.
 - 57-Cullers, R.L., 2000. The geochemistry of Shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: Implication for provenance and metamorphic studies. *Lithos*, 51, pp. 181-203.
 - 58-Zimmermann, U. and Bahlburg, H., 2003. Provenance analysis and tectonic setting of the Ordovician clastic deposits in the Southern Puna Basin, NW Argentina. *Sedimentology*, 50, pp. 1079-1104.
 - 59-Hessler, A. M. and Lowe, D. M., 2006. Weathering and sediment generation in the Archean: An integrated study of the evolution of siliciclastic sedimentary rocks of the 3.2 Ga Moodies Group, Barberton Greenstone Belt, South Africa. *Precambrian Research* 151, pp. 185-210.
 - 60-Dickinson, W.R., 1985. Interpreting provenance relation from detrital modes of sandstones. In: Zuffa, G.G. (Ed), Provenance of Arenites. *Reidel Publishing Company*. 407, pp. 333-363.
 - 61-Das, B. K., Al-Mikhalafi, A. S. and Kaur, P., 2006. Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, Provenance, and tectonic setting, *Journal of Asian Earth Science* 26, pp. 649-668.
 - 62-Rollinson, H. R., 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. *Longman Scientific and Technical*, New York. 352 pp.
 - 63-Bauluz, B., Mayayo, M.J., Fernandez-Nieto, C., and Lopez, J.M.G., 2000. Geochemistry of Precambrian Paleozoic siliciclastic rocks from the Iberian range (NE Spain): implications for source-area weathering, sorting, provenance and tectonic setting. *Chemical Geology*. 168, pp. 135-150.
 - 64-Roser, B. P. and Korsch, R. J., 1988. Provenance signature of sandstone-mudstone determined using discriminate function analysis of major element

- data. *Chemical Geology*. 67, pp. 119-139.
- 65- Herron, M. M., 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal. Sedimentary. Petrology*. 58, pp. 820-829.
- 66- McLennan, S.M., 2001, Relationship between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust: Geochemistry, Geophysics, Geosystems, v. 2.
- 67- Varga, A., Szakmany, G., Argyelan, T., and Jozsa, S., 2007. Complex examination of the Upper Paleozoic siliciclastic rocks from southern Transdanubia, SW Hungary-Mineralogical, petrographic and geochemical study, in Arribas, J., Critelli, S., and Johnsson, M.J., eds., Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry: *Geological Society of America Special Paper.*, 420, p. 221-240.
- 68- Nesbitt, H. W., 2003. Petrogenesis of siliciclastic sediments and sedimentary rocks. In: Lenz, D.R. (Ed), Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks, Geotext4. Geological Association of Canada, Newfoundland, pp. 39-51.
- 69- Potter P.E., 1978. Petrology and chemistry of modern big river sands. *Journal of Geology*, 86: 423-449.
- ۷۰- جمشیدی، خ.، ۱۳۹۸. پایان نامه کارشناسی ارشد، مطالعه ماگماتیسیم مافیک قاعده سازند شمشک در زون البرز شرقی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران.
- 71- Kroonenberg S. B., 1994. Effects of provenance, sorting and weathering on the geochemistry of fluvial sands from different tectonic and climatic environments, Proceedings of the 29 th *International Geological Congress*, Part A, pp. 69-81.
- 72- Taylor SR, McLennan SM. 1985. The continental crust: Its composition and evolution. *Blackwell scientific publications*, Oxford, pp 312.
- 73- Cullers R. L., 1994. The controls on the major and trace element variation of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age from uplifted continental blocks in Colorado to plat form sediment in Kansas, USA. *Geochimica et cosmochimica Acta*, 58(22), pp. 4955-4972.
- 74- Gromet LP, Dymek RF, Haskin LA, Korotev RL, 1984. The American shale composite its compilation, major and trace element characteristics. *Geochim Cosmochim Acta* 48, pp. 2469-2882.
- 75- Gu X.X., Liu J.M., Zheng M.H., Tang J.X and Qi L., 2002. Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan, south China: Geochemical evidence. *Journal of Sedimentary Research*, 72: 393-407.
- 76- Hayashi K., Fujisawa H., Holland H.D and Ohmoto H., 1997, Geochemistry of 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61: 4115-4138
- 77- Seredin, V.V., Dai, S., 2012. Coal deposits as a potential alternative source for lanthanides and yttrium. *International. Journal of Coal*. 94, 67-93.
- ۷۸- خرقانی، مهدی. دهر آزما، بهناز. اخیانی، مسعود. رمضانی، الهام (۱۳۹۱)، بررسی ژئوشیمیایی پراکنش عناصر Sb, As, Se در محدوده معدنی زغال سنگ تخت، اولین کنگره ملی زغال سنگ ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۰ ص.
- 79- Ward, C.R. 2002. Analysis and significance of mineral matter in coal seams.

- International Journal of Coal Geology*, No. 50, pp. 135-168.
- 80- Schweinfurth, S. P. 2003. Coal a complex natural resource, an overview of factors affecting coal quality and use in the United States. U.S. *Geological Survey*, Circular 1143, 39 p.
 - 81- Xu, M., Yan, R., Zheng, C., Qiao, Y., Han, J., and Sheng, C. 2003. Status of trace element emission in a coal combustion-process: a review, *Fuel Processing*.
 - 82- Finkelman, R. B., Orem, W., Castranova, V., Tatu, C. A., Belkin, H. B., Zheng, B., Lerch, H. E., Maharaj, S. V., and Bates, A. L. 2002. Health impact of coal and coal use: possible solutions. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 50, pp. 425-443.
 - 83- Konstantin, K. 2011. Legislative aspects of radiation hazards from both gamma emitters and radon exhalation of Concrete containing Coal Fly Ash. *Journal of construction and building materials*, Vol. 25, pp. 3404-3409.
 - 84- Iskhakov, V. A., Schastlirtsev, E. L., Kondratenko, Y. A., and Lesina, M. L. 2009. Radioactivity of Coal and Fly Ash. *Coke and Chemistry*, Vol. 53, No. 5, pp. 198-201.
 - 85- Zhuang, X., Querol, X., Alastuey, A., Juan, R., Plana, F., Lopez-Soler, A., Du, G., and Martynov, V. V. 2006. Geochemistry and mineralogy of the Cretaceous Wulantuga highgermanium coal deposit in Shengli coal field, Inner Mongolia, Northeastern China. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 66, pp. 119-136.
 - 86- Qi, H., Hu, R., and Zhang, Q. 2007. Concentration and distribution of trace elements in lignite from the Shengli Coalfield, Inner Mongolia, China: implications on origin of the associated Wulanuga Germanium Deposit. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 71, pp. 129-152.
 - 87- Huang, W., Wan, H., Du, G., Sun, L., Ma, Y., Tang, X., Wu, W., and Qin, S. 2008. Research on element geochemical characteristics of coal-Ge deposit in Shengli Coalfield, Inner Mongolia, China. *Earth Science Frontiers*, Vol. 15, pp. 56-64.
 - 88- Dai, S., Zhou, Y., Zhang, M., Wang, J., Song, X., Jiang, Y., Luo, Y., Song, Z., Yang, Z., and Ren, D. 2010. A new type of Nb (Ta)-Zr(Hf)-REE-Ga polymetallic deposit in the late Permian coal-Beraing strata, eastern Yunnan, southwestern China: possible economic significance and genetic implications. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 83, pp. 55-63.
 - 89- USGS, Central region energy resources team, 1997. Radioactive Elements in Coal and Fly Ash: Abundance, Forms, and Environmental Significance. *Fact sheet Fs- 163-97*.
 - 90- Constantin. Papstefanou, 2010. Escaping radioactivity from Coal-fired power plants (CCPs) due to Coal burning and the associated hazards: a review. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 101, pp. 191-200.
 - 91- Finkelman, R. B. 1993. Trace and minor elements in Coal. Organic geochemistry (Engel, M. H., Macko, S. A., eds.), *Plenum Press*. New York, pp. 593-607.
 - 92- Serdin, V. V. 1996. Rare earth element-bearing coals from the Russian Far East deposits. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 30, pp. 101-129.
 - 93- Diessel, C. F. K., 1992. Coal-bearing Depositional Systems. *Springer Verlag*,

- Berlin. 721 pp.
- 94- Karayigit A. L., Gayer R.A., Querol X., and Onacak T. 2000. Contents of major and trace elements in feed coals from Turkish coal-fired power plants. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 44, No. 2. Pp. 169-184.
 - 95- Swaine, D. J. 1990. Trace Elements in Coal. Butterworth and Co. *Publ.*, 278 p.
 - 96- Gurdal, G. 2008. Geochemistry of trace elements in can coal (Miocene), Canakkale, Turkey. *International journal Coal Geology*. Vol. 74, pp. 28-40.
 - 97- Spears, D. A. and Zheng, Y. 1999. Geochemistry and origin of elements in some UK Coals. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 38, pp. 161-179.
 - 98- Liu, D., Yang, Q., Tang, D., Kang, X., and Huang, W. 2001. Geochemistry of sulfur and elements in coals from the Antalibao surface mine, Pingshuo, Shanxi Province, China. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 46, pp. 51-64.
 - 99- Ketris, M. P. and Yudovich, Ya. E. 2009. Estimations of Clarks for carbonaceous biolithes: world averages for trace element contents in black shales and coals. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 78, pp. 135-148.
 - 100- Ren, D. Y. 1996. Mineral matters in coal. In: Han, D. X. (Ed.), Coal Petrology of China. Xuzhou, Publishing House of China University of Mining and Technology, pp. 67-77.
 - 101- Ren, D. Y., Zhao, F. H., Dai, S. F., Zhang, J. Y., and Luo, K. L. 2006. Geochemistry of Trace Elements in Coal. Science Press: Beijing, pp. 321-334 (In Chinese with English abstract).
 - 102- Finkelman, R. B. 1995. Modes of occurrence of environmentally sensitive trace elements in coal, Environmental aspect of trace elements in coal (Swaine, D. J., Goodarzi, F., eds.), Kluwer Press, Dordrecht, Chapter 3, 24-50.
 - 103- Finkelman, R. B. 1983. Modes of occurrence of trace elements and minerals in coals: an analytical approach In: Filby, R. H., Carpenter, B.S., Raganin, R.C. Eds. Atomic and Nuclear Methods in Fossil Energy Research. Chem. Div., Vol. 24, pp. 236-241.
 - 104- Wang, Y. 1994. Study on occurrence and distribution of minor and trace elements in coal and its burnt products. PHD thesis, China University of Mining Technology., 88 pp. in Chinese.
 - 105- Dai, S., Ren, D., Chou, C. L., Finkelman, R. B., Seredin, V. V., and Zhou, Y. 2012. Geochemistry of trace elements in chinese coals: A review of abundances, genetic types, impacts on human health and industrial utilization. *International Journal of Coal Geology*. Vol. 94, pp. 3-21.
 - 106- Pareek, H. S. and Bardhan, B. 1985. Trace elements and their variation along seam profiles of certain coal seams of middle and upper Barakar Formations (Lower Permian) in East Bokaro Coalfield, District Hazaribagh, Bihar, India. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 5, pp. 281-314.
 - 107- Radenovic, A., 2006. Inorganic constituents in coal. *Kem. Ind*, Vol. 55, pp. 65-77.
 - 108- Wang, J., Yamada, O., Nakazato, T., Zhang, Z. G., Suzuki, Y., and Sakanishi, K., 2008. Statistical analysis of the concentration of trace elements in a wide diversity of coals and its implications for understanding elemental modes of occurrence. *Fuel*, Vol. 87, pp. 2211-2222.
 - 109- Gluskoter, H. J. 1993. Mineral matter and trace elements in Coal, Illinois State

- Geological Survey, *Urbana*, Vol III.
- 110- Finkelman, R. B. 1981. Modes of occurrence of trace elements in coal. U.S. *Geological Survey Open-File Report*, pp. 81-99.
 - 111- Dai, S., Li, D., Chou, C.L., Zhang, Y., Ren, Y., Ma, Y., and Sun, 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*, Vol. 74, pp. 185-202.
 - 112- Dai, S., Seredin, V.V., Ward, C.R., Hower, J.C., Xing, Y., Zhang, W., Song, W., 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. *Mineral. Deposita* 50, 159-186.
 - 113- McDonough W. F and Sun S. 1995. The composition of the Earth. *Chemical of Asian Earth Sciences*, Vol. 31, pp. 301-314.
 - 114- Johanneson, K.H., Zhou, X., 1997. Geochemistry of the rare earth element in natural terrestrial waters: a review of what is currently known. *Chinese Journal of Geochemistry*. 16, 20-42.
 - 115- McLennan, S.M., 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks; influence of provenance and sedimentary processes. *Rev. Mineral. Geochem.* 21, 169-200.
 - 116- Michard, A., 1989. Rare earth elements systematics in hydrothermal fluids. *Geochim. Cosmochim. Acta* 53, 745-750.
 - 117- Seredin, V.V., Shpirt, M. Ya., 1999. Rare earth elements in the humic substance of metalliferous coals. *Litho. Miner. Resour.* 34, 244-248.
 - 118- Steven, J.S. and Brian, W.S. 2003. Rare earth element sources and modification in the Lower Kittanning coal bed, Pennsylvania: implications for the origin of coal mineral matter and rare earth element exposure in underground mines. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 54, pp. 223-251.
 - 119- Dai, S. F., Ren D. Y. and Li, S. S. 2002. Occurrence and sequential chemical extraction of rare earth element in coals and seam roofs. *Journal of China University of Mining Technology*, Vol. 31, pp. 349-353.
 - 120- Querol, X., Fernandez-Turiel, J. L. and Lopez-Soler, A. 1995. Trace elements in coal and their behavior during combustion in a large power station. *Fuel*, Vol. 74, pp. 331-343.
 - 121- Eskenazy, G. M. 1999. Aspects of the geochemistry of rare elements in coal: an experimental approach. *International Journal of Coal Geology*, Vol. 38, pp. 285-295.
 - 122- Dai, S.F., Ren, D.Y., Li, S.S., 2006. Discovery of the superlarge gallium ore deposit in Junger, Inner Mongolia, North China. *Chinese Science Bulletin* 51, 2243-2252.
 - 123- Dai, F.S., Ren, D.Y., Li, S.S., Zhao, L. Zhang, Y., 2007. Coal facies evolution of the main minable coal-bed in the Heidaigou Mine, Jungar Coalfield, Inner Mongolia, northern China. *Science in China D: Earth Sciences* 50 (Supp. II), 144-152.
 - 124- Finkelman, R.B., 1994. Modes of occurrence of potentially hazardous elements in coal-levels of confidence. *Fuel Processing Technology* 39, 21-34.
 - 125- Dai, S.F., Sun. Y.Z., Zeng, R.S., 2006. Enrichment of arsenic, Antimony, mercury, and thallium in a Late Permian anthracite from Xingren, Guizhou,

- Southwest China. *International Journal of Coal Geology* 66, 217-226.
- 126- Seredin, V.V., Dai, S., Sun, Y., Chekryzhov, I.Y., 2013. Coal deposits as promising sources of rare metals for alternative power and energy-efficient technologies. *Applied Geochemistry*. 31,1-11.
- 127- Folgueras, M.B., Alonso, M., Fernandez, F.J., 2017. Coal and sewage sludge ashes as sources of rare earth elements. *Fuel* 192, 128-139.
- 128- Raw Materials Supply Group of the European Commission. Critical raw materials for the EU; 2010. <http://ec.europa.eu/enterprise/policies/rawmaterials/documents/index-en.htm> [accessed 29.08.13].
- 129- Blissett, R.S., Smalley, N., Rowson, N.A., 2014. An investigation into six coal fly ashes from United Kingdom and Poland to evaluate rare earth element content. *Fuel* 119, 236-9.
- 130- Franus, W., Wiatros-Motyka, M.M., Wdowin, M. 2015. Coal Fly ash as a resource for rare earth elements. *Environ Sci Pollut Res*. 22, 9464-74.
- 131- Vassilev, S.V., Vassileva, C.G. 1997. Geochemistry of coals, coal ashes and combustion wastes from coal-fired power stations. *Fuel Process Technol*, 51, 19-45.
- 132- Dai, S., Zhao, L., Hower, J.C, Johnston, M.N., Song, W., Wang, P, et al.2014. Petrology, mineralogy and chemistry of size-fractioned fly ash from the Jungar power plant, Inner Mongolia, China, with emphasis on the distribution of rare earth elements. *Energy Fuels*. 28, 1502-14.
- 133- Vassilev, S.V., Menendez, R. 2005. Phase-mineral and chemical composition of coal fly ashes as a basis for their multicomponent utilization. 4. Characterization of heavy concentrates and improved fly ash residues. *Fuel*. 84, 973-91.

Abstract

Tazareh mining area is located 40 km N of Shahrood in eastern Alborz structural zone and belonging to a large east-west syncline called Mianab syncline. The coal deposits of this area are part of Shemshak group with upper Triassic- lower Jurassic in age, which are limited to dolomitic limestones of Elika F. from the bottom, and limestone of Delichay F. from the top. The Shemshak group dividing three sub-sections in Tazareh area: Pashkelat, Asiab and Kellariz sub-sections, which coal layers belong to the Kellariz and Pashkelat sub-section stratigraphically. The coal bearing sandstone consist of quartz, plagioclase, microcline, moscovite, zircon, tourmaline and anatase and shales have quartz, plagioclase and clay minerals. Based on Folk nomenclature, sandstones are in the sublitharenite - litharenite range, and shales are named silty shales and sandy shales. Pyrite, chalcopyrite, kaolinite, and quartz are the minerals existent in Tazareh coal, which among quartz and clay minerals are prevail. Based on petrographic studies on coal, Vitrinite, Inertinite and Lipitinite groups have the highest, medium and low abundances in these coals, respectively. The geochemical data display that coal bearing rocks are deposited in the back-arc extensional basins and in the active tectonic environment. The mean value of Σ REE is 165 ppm in sandstone and 187 ppm in shale samples which is more than North American shale Composite (173 ppm) and Continental Crust (146 ppm). These rocks have a LREE enrichment relative to HREE, and Eu and Ce have positive anomalies. Tazareh coals in comparison to the world coals are enriched in K_2O and MgO due to the presence of minerals illite, moscovite and chlorite. The enrichment coefficient of rare elements from Tazareh coal relative to the world and China coals are 4.6 and 7.19, respectively. The mean value of Σ REE in Tazareh coal is 404 ppm, which is more than Σ REE in chondrite (25.2 ppm), world coals clark (68 ppm), China coals (138 ppm) and American coals (62 ppm). The cluster analysis of the geochemical data of Tazareh coal shows a strong positive correlation between REE and Be, Se, U, Y and its high negative correlation with Cs, K, Mg, Mn, Rb, Ti and Al. Tazareh coal concentrate ash contains the highest REE value, which is about 1.4 times as much as world coal ash. This enrichment is highlighted for Eu, Er, Y and Ce elements. According to the results of this research, coal layers from the Kellariz sub-section are capable to trace and rare earth elements prospecting.

Keywords: Geochemistry, rare earth elements, coal, coal ash, Tazareh.



Shahrood University Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc Thesis in Economic Geology

**Geology, Mineralogy and geochemistry of Tazareh coal
deposit, North of Damghan**

By:

Afieh Tatar

Supervisor:

Dr. Masoud Alipour Asl

July 2017