



مطالعه کانی‌شناسی زغال‌سنگ معدن غزنوی، البرز شرقی

مرضیه یوسفی، هادی عمرانی^{*}، غلامحسین شمعانیان، بهنام شفیعی بافتی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

(دریافت مقاله: ۹۶/۸/۱۰، نسخه نهایی: ۹۶/۱۱/۲۴)

چکیده: معدن زغال‌سنگ غزنوی در ۴۵ کیلومتری جنوب شهرستان آزادشهر واقع شده و یکی از معادن فعال استان گلستان است. استخراج زغال از لایه‌های زغال‌دار اول و سوم معدن غزنوی صورت می‌پذیرد. بررسی‌های کانی‌شناسی به وسیله روش پراش پرتو X (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف پراش انرژی پرتو X (SEM/EDS) بیانگر حضور کوارتز و کانی‌های رسی به عنوان کانی‌های اصلی و کانی‌های پیریت ($\pm$ پیریت آرسنیک‌دار)، ژپس، ژاروسیت (ناتروژاروسیت)، گوتیت، همتایت، پلاژیوکلاز، فلدسپات قلیایی، $\pm$ روتیل، $\pm$ کروندوم و $\pm$ برلینیت کانی‌های فرعی در زغال‌سنگ غزنوی هستند. پس از تشکیل زغال‌سنگ، بر اثر هوازدگی کانی‌های آهن‌دار اولیه مانند پیریت، کانی‌های ژاروسیت، ناتروژاروسیت، همتایت و گوتیت با خاستگاه ثانویه تشکیل شده‌اند. کانی‌های برلینیت، روتیل، کروندوم، پلاژیوکلاز و میکروکلین در زغال‌سنگ معدن غزنوی خاستگاه اولیه (درونزاد) نداشته و طی رسوبگذاری مواد آلی به صورت ثانویه (برونزاد) از بیرون وارد حوضه رسوبی شده‌اند. وجود کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپات قلیایی، روتیل و کروندوم نشان می‌دهد که این کانی‌ها برآمده از فرسایش واحدهای آذرین قدیمتر مثل بازالت سلطان میدان و گرانیتهای قلیایی منطقه خوش‌یلاق هستند که به محیط‌های باتلاقی حمل شده‌اند. در زغال‌سنگ‌های مورد بررسی دو نسل پیریت وجود دارد. پیریت‌های درونزاد نسل اول، خودشکل بوده و در زمینه زغال‌سنگ پراکنده هستند. پیریت‌های درونزاد نسل دوم، دانه ریز و بی‌شکل هستند و پس از تشکیل زغال‌سنگ‌ها به صورت پراکنده درز و شکافها دیده می‌شوند. بررسی یک نمونه زغال‌سنگ معدن غزنوی با روش طیف‌سنجی تبدیل فوریه فروسرخ (FT-IR) نشان می‌دهد که در آن علاوه بر کانی‌های سیلیکاته و رسی، گروه‌های عاملی و همچنین ارتعاشات کششی C=C آروماتیک در رابطه با بخش آلی و گروه عاملی OH مربوط به حضور کانی‌های آبدار در این زغال‌سنگ‌ها وجود دارند.

واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی؛ معدن غزنوی؛ زغال‌سنگ؛ البرز شرقی.

مقدمه

زغال‌سنگ یکی از پیچیده‌ترین و چالش‌برانگیزترین مواد طبیعی به شمار می‌رود که شامل مخلوطی از مواد آلی و معدنی با خاستگاه متفاوت بوده که در محیط‌های رسوبی مختلف تشکیل شده است [۱]. زغال‌سنگ، یک سنگ کربن‌دار جامد، شکننده و قابل احتراق است که به وسیله تجزیه گیاهان در اثر تراکم، دما و فشار تشکیل می‌شود [۲]. کانی‌های موجود در زغال‌سنگ، دارای ماهیت بلورین و خواص شیمیایی و فیزیکی

متفاوتی هستند [۳]. ماسرال‌ها، اجزای آلی زغال‌سنگ‌ها بوده که دارای خواص شیمیایی و فیزیکی متغیر هستند ولی بر خلاف کانی‌ها، ماهیت بلورین در آنها دیده نمی‌شود [۳]. اصطلاح مواد معدنی به کانی‌های موجود در زغال‌سنگ و همچنین تمام عناصر شیمیایی (C, H, O, N و S) [۴] که معمولاً به صورت غیر آلی هستند، اشاره می‌کند [۵]. بیشتر مواد معدنی در زغال‌سنگ‌ها به صورت کانی‌های سیلیکاتی، سولفیدی و کربناتی دیده می‌شوند [۵]. شناسایی کانی‌ها

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۲۷۲۳۹۵۰، نمابر: ۰۳۲۲۴۵۹۶۴-۰۱۷، پست الکترونیکی: h.omrani@gu.ac.ir

می‌تواند در شناخت نوع و مقدار عناصر موجود در زغال‌سنگ‌ها [۶، ۷]، خطرات زیست‌محیطی در رابطه با آلودگی ناشی از عناصر سمی طی فرآیند احتراق و استفاده از زغال‌سنگ [۸، ۹] و همچنین شناخت نوع، خاستگاه و چگونگی توزیع کانی‌ها و چگونگی تحلیل شرایط محیطی دیرینه [۹] کمک شایانی نمایند. شواهد زمین‌شناسی و زمین‌ساختی ایران در اواخر تریاس تا ژوراسیک نشان می‌دهند که با رخداد فازهای کوهزایی آلپی پیشین، سیمین پیشین و سیمین پسین و پیدایش شرایط مختلف زمین‌شناسی، کنسارهای متنوع زغال‌دار ایران در دو بخش البرز و ایران مرکزی تشکیل شده‌اند [۱۰]. حوضه زغال‌سنگ البرز در شمال ایران شامل سه میدان زغال‌سنگ البرز شرقی (مانند معادن زغال‌سنگ طَـزَـره، زمستان یورت و تخت)، البرز مرکزی (مثل معدن زغال‌سنگ زیرآب) و البرز غربی (مثل معدن زغال‌سنگ لوشان) است [۱۱]. سازند شمشک و سازندهای معادل آن در ایران مرکزی تقریباً همه زغال‌سنگ‌های ایران را در خود جای داده‌اند و از این رو از اهمیت اقتصادی زیادی برخوردارند [۱۲]. بررسی‌های کانی‌شناسی زغال‌سنگ‌های حوضه البرز نشان می‌دهد که کانی‌های پیریت سین‌ژنتیک، مارکاسیت، کوارتز آواری، سیدریت، کلسیت، ایلیت و کائولینیت فراوان‌ترین ماده معدنی آنها هستند که در برخی از آنها بقایای گیاهی مانند سرخس کلادوفلیس، ماراتیا و *Pachypteris* دیده می‌شود [۱۱]. در این مقاله به بررسی کانی‌شناسی زغال‌سنگ‌های معدن غزنوی با استفاده از آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف سنج پراش انرژی پرتو x (SEM/EDS) و پراش سنج پرتوی ایکس (XRD) و تعیین گروه‌های عاملی در ساختار زغال‌سنگ با استفاده از تکنیک طیف سنجی تبدیل فوریه فروسرخ FT-IR پرداخته می‌شود و بر اساس نتایج به دست‌آمده چگونگی رخداد و شرایط تشکیل مواد معدنی در زغال‌سنگ‌های معدن غزنوی بررسی می‌شوند.

جایگاه زمین‌شناسی

رویدادهای تشکیل زغال‌سنگ در حوضه البرز

میدان اصلی زغال‌سنگ ایران در طبس، کرمان (ایران مرکزی) و البرز (شمال ایران) واقع‌اند [۱]. بررسی‌های زمین‌شناسی رسوبات زغال‌دار و معادن زغال‌سنگ ایران نشان می‌دهند که سازند شمشک در البرز و سازندهای نایبند و آق‌دربند در ایران مرکزی با سن تریاس پسین و ژوراسیک میانی دربرگیرنده

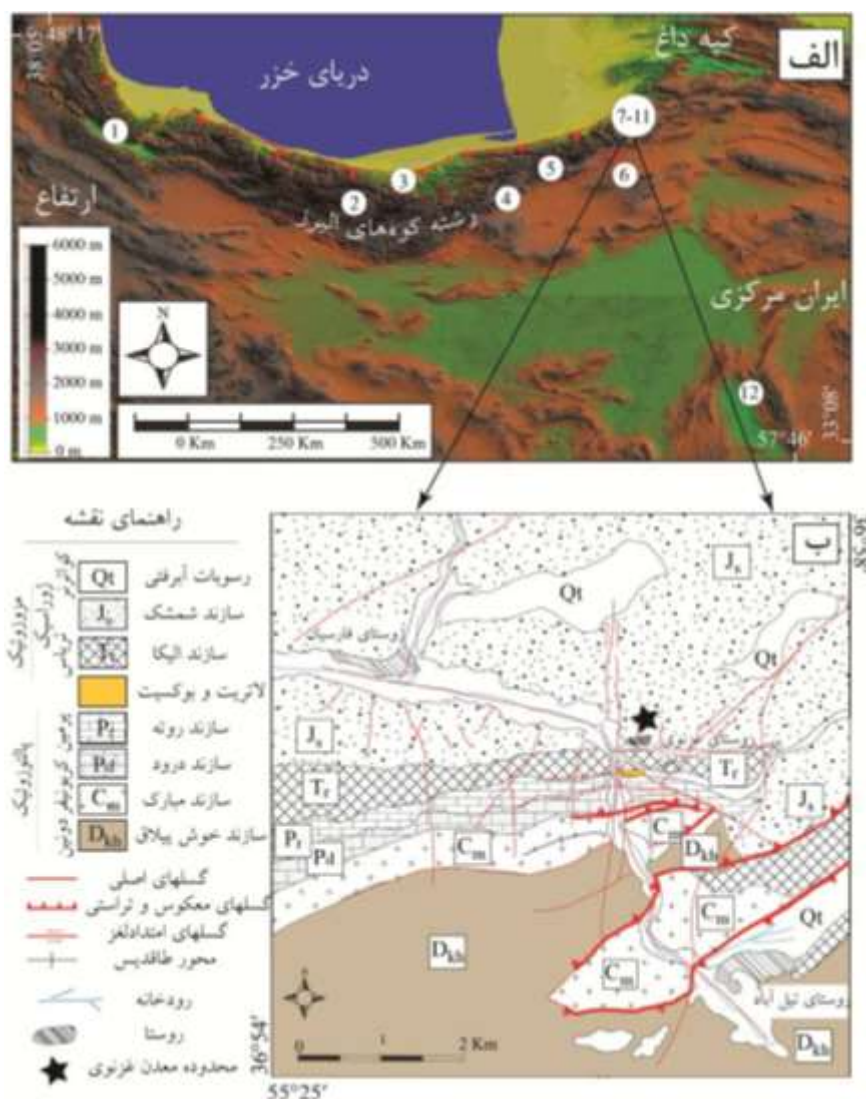
توالی‌های اصلی زغال‌دار در این دو حوضه هستند [۱۰]. در اواخر تریاس پسین رخداد فاز کوهزایی سیمین پیشین منجر به خارج شدن بخش‌هایی از فلات ایران از زیر آب شده و اقلیم گرم و مرطوب مشابه با اقلیم استوایی در برخی نواحی ایران و افغانستان حاکم شده است [۱۲]. این امر باعث رشد و گسترش انواع گونه‌های گیاهی (بیشتر خزها) و جنگل‌های عظیم در سرزمین‌های نام برده شده و با گذشت زمان گسترش رسوبات دوره ژوراسیک این آثار گیاهی را پوشش داده است [۱۲]. سازند شمشک با سنگ‌شناسی ماسه‌سنگ، سیلت، شیل و سنگ رس در تناوب با رگه‌های زغال‌سنگ (معمولاً در بخش آواری و کربن‌دار سازند شمشک) از توالی‌های اصلی زغال‌دار در حوضه البرز بوده که طی دوران تریاس-ژوراسیک در این حوضه تشکیل شده است [۱۱]. بزرگ سنگواره‌های گیاهی گرمادوست جنس‌های دیکتوفیلوم، *Otozamites*، پتروفیلوم، زامتیس و گونه‌های آنها، شرایط اقلیمی نیمه استوایی و مرطوب را در زمان تهنشینی سازند شمشک پیش‌بینی می‌کنند [۱۳]. بررسی‌های انجام شده بر بزرگ سنگواره‌های گیاهی سازند شمشک [۱۴] و همخوانی مجموعه فسیل‌های گیاهی چینه‌های رتین سازند کلاریز از گروه شمشک با مجموعه‌های گیاهی نرگس چال، اشتر، نوده، معدن تخت مینودشت، جاجرم (البرز)، معادن منطقه پروده (طبس) و داربیدخون (حوضه کرمان) بیانگر شرایط اقلیمی گرم و مرطوب این مناطق و یکنواختی آن در زمان رتین (تریاس پسین) است. رخداد فازهای کوهزایی سیمین میانی و پسین در اواخر ژوراسیک/اوایل کرتاسه و رخداد فازهای لارامید و پیرنه در دیرینه‌زا سبب رخداد چین‌خوردگی در البرز و ایران مرکزی و پیدایش شرایط مناسب برای تشکیل زغال‌سنگ‌های ایران شده‌اند [۱۰]. زغال‌سنگ‌های حوضه البرز بیشتر در گروه بیتومن‌ها (قیری) جای دارند و ویژگی‌های آنها عبارتند از: ۱- ماسرال‌های از نوع ویتیرینیت و مقادیر کمی از نوع اکسینیت و فوزینیت، ۲- مقدار خاکستر کم تا متوسط (۳-۲۶٪)، ۳- مقدار متغیر گوگرد (۰.۴-۵٪)، ۴- ارزش گرمادهی متوسط تا بالا (۲۷-۲۹ MJ/Kg) و ۵- متوسط رطوبت حدود ۲٪ (۲۰-۳۵٪) [۱۱، ۱۵]. نتایج بررسی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌نگاری زغال‌سنگ‌های شاهرود، زیرآب و لوشان نشان می‌دهند که زغال‌سنگ‌های حوضه البرز در محیط‌های مردابی، باتلاق‌های توربی، دشت سیلابی رودخانه‌ای تا سیستم‌های نهشتی دریاچه‌ای تشکیل شده‌اند که بیانگر

بازالتی با میان لایه‌های نازک رسوبی طی مراحل کافت‌زایی پالئوتتیس تشکیل شده است [۱۷]. واحدهای ریزگرانیته که در جنوب روستای خوش‌یلاق پروند دارند بر اساس بررسی‌های سن‌سنجی U-Pb بر زیرکن، سنی حدود ۴۲۷ تا ۴۳۹ میلیون سال را نشان می‌دهند [۱۸]. برپایه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه خوش‌یلاق [۱۹]، لایه‌های زغال‌دار منطقه مورد بررسی جزئی از سازند شمشک هستند (شکل ۱ ب). بر اساس پژوهش عباسی و همکارش [۲۰] گروه شمشک بیشتر از لایه‌هایی با ضخامت‌های متفاوت (۱۰۰۰-۳۰۰۰ متر) شامل ماسه‌سنگ، سیلت، شیل و رس‌سنگ و لایه‌های زغال‌دار به سن تریاس پسین تا ژوراسیک میانی تشکیل شده است.

شرایط گرمسیری تا نیمه گرمسیری آنها در زمان نهشته شدن است [۱۱].

زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی

معدن زغال‌سنگ غزنوی (بین روستای فارسیان و روستای غزنوی) در ۴۵ کیلومتری جنوب شهرستان آزادشهر به مختصات $36^{\circ} 56'$ عرض شمالی و $55^{\circ} 27'$ طول شرقی، در پهنه البرز شرقی واقع است [۱۶] (شکل ۱ الف). سازندهای جبرود، خوش‌یلاق، مبارک، درود، روته، الیکا و شمشک به ترتیب از قدیم به جدید واحدهای چینه‌شناسی این بخش از البرز را تشکیل می‌دهند. مجموعه بازالتی سلطان میدان در گستره شمال غرب تا شمال شرق شاهرود شامل گدازه‌های



شکل ۱ الف- موقعیت معادن زغال‌سنگ البرز و طیس. ۱- سنگرود (گیلان) ۲- فیل زمین (تهران) ۳- گلیران (مازندران) ۴- گانو (سمنان) ۵- طزره (سمنان) ۶- قشلاق (گلستان)، ۷ تا ۱۱- معادن رضی، جوزچال، زمستان یورت، تخت و غزنوی (گلستان) و ۱۲- پروده (طیس)، ب- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی (بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ خوش‌یلاق [۱۹]).

سری‌های زغال‌دار سازند شمشک عبارتند از: ۱- سری زغال‌دار پایینی با ضخامت ۲۵۰ تا ۳۰۰ متر که شامل شیل و آرژیلیت در تناوب با لایه‌های زغال‌دار بوده و برآمده از نهشت مقادیر زیادی از رسوبات دانه‌ریز به همراه بقایای گیاهی در یک محیط دلتایی است. ۲- سری زغال‌دار بالایی که در بخش پایینی آن رسوبات زغال‌دار و در بخش بالایی لایه‌های ماری و شیل‌ها وجود دارد و بیانگر چیرگی دوباره رسوبات رسی و لایه‌های زغال‌دار است (جدول ۱) [۲۱]. بر اساس بررسی‌های باشم و همکاران [۲۲] به نظر می‌رسد که گسل خوش‌بیلاق با سازوکار امتدادلغز چپگرد با روند شمالی- جنوبی به عنوان مهم‌ترین گسل منطقه مورد بررسی می‌باشد که به طور عمود سازند الیکا را قطع کرده است.

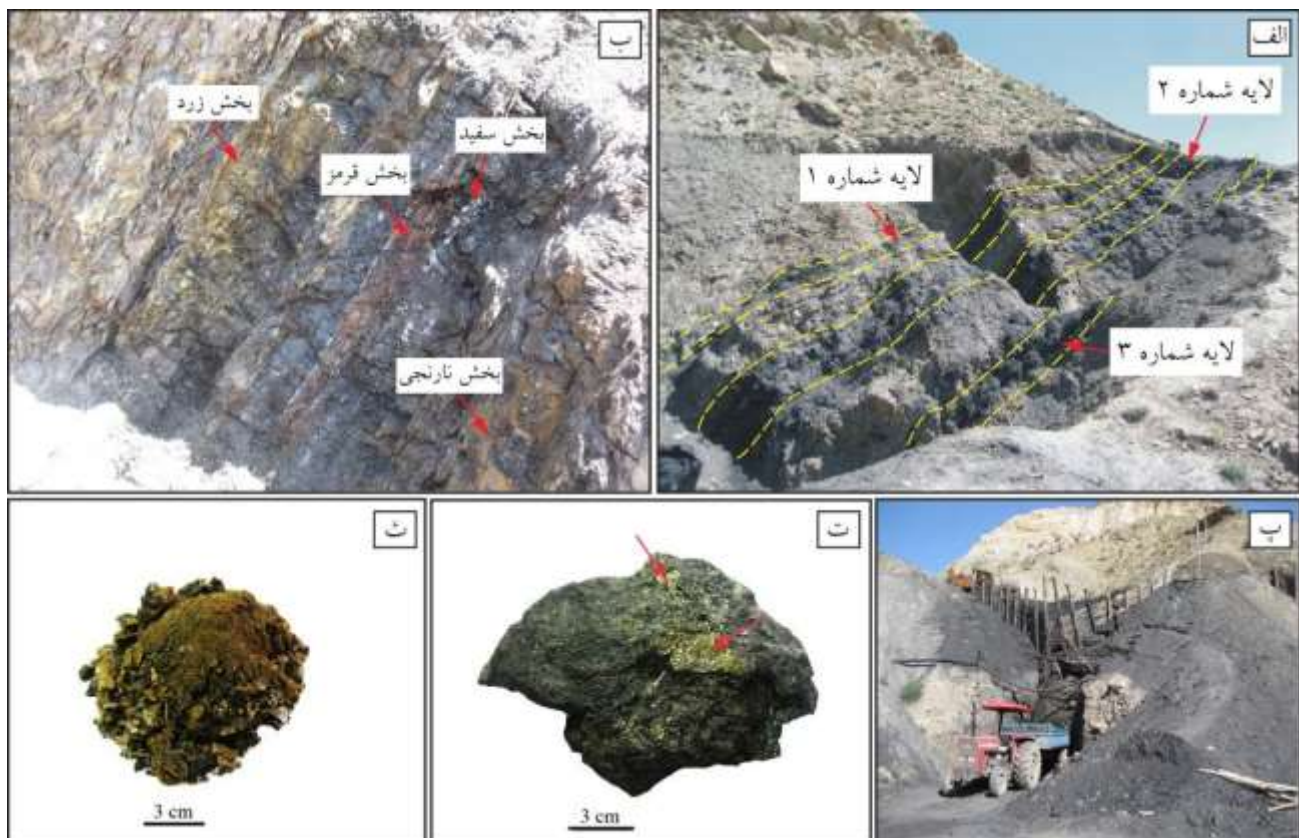
روش بررسی

بررسی‌های انجام‌شده در این پژوهش شامل دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی است. زغال‌سنگ‌ها در منطقه مورد بررسی در سه لایه برونزد دارند (شکل ۲ الف). ضخامت زغال‌سنگ در لایه اول (I) و لایه سوم (III) نیم متر است. لایه دوم (II) شامل چهار بخش رنگی (زرد- قرمز- سفید و نارنجی) بوده و ضخامت زغال‌سنگ در آن کمتر از نیم متر است (شکل ۲ ب). در بررسی‌های صحرایی، از لایه اول (I) ۶ نمونه، از لایه دوم (II) ۴ نمونه، از لایه سوم (III) ۴ نمونه و از باطله زغال‌سنگ ۱ نمونه، به صورت تصادفی از واگن‌های استخراج شده از لایه اول و سوم، در مجموع ۱۵ نمونه، برداشت شد. باطله‌ها مربوط به لایه‌های دربرگیرنده واحدهای زغال‌سنگ بوده که بیشتر مربوط

به لایه‌های ماسه‌سنگ‌های ماری با ناخالصی زغالی سازند شمشک هستند. بررسی تقریبی زغال‌سنگ شامل تعیین درصد رطوبت، درصد خاکستر، تعیین درصد مواد فرار و درصد کربن ثابت است که تعیین آنها بر اساس استانداردهای جهانی صورت می‌گیرد [۲]. بررسی مجموعه ویژگی‌های یاد شده در رده‌بندی زغال‌سنگ‌ها نقش به سزایی دارد و در این پژوهش به تعیین درصد رطوبت و درصد خاکستر نیز پرداخته شده است. شناسایی کانی‌های مجهول در زغال‌سنگ‌ها بر اساس نتایج دو بررسی XRD و SEM/EDS صورت گرفته است. الگوهای پراش اشعه ایکس (XRD) برای شناسایی کانی‌های مجهول در ۴ نمونه برداشت شده از لایه دوم (II) و یک نمونه باطله زغال‌سنگ با استفاده از پراش سنج پرتوی ایکس فیلیپس مدل PW1800 در کانساران بینالود و الگوهای XRD از ۱۰ نمونه متعلق به لایه اول (I) و لایه سوم (III) توسط دستگاه پراش- سنج پرتوی ایکس زیمنس مدل D5005 X-ray در دانشگاه پتسدام آلمان تهیه شد. برای شناسایی کانی‌ها نتایج به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار X'pert HighScore بررسی شدند. طیف‌سنجی FT-IR به منظور تعیین گروه‌های عاملی بر روی یک نمونه زغال‌سنگ از لایه اول (I) انجام شد. برای این منظور، ابتدا نمونه مورد بررسی به صورت ذره‌ای با قطر کمتر از ۲ میکرومتر پودر شد و همراه با KBr فشرده و به صورت یک قرص آماده شد. این نمونه با استفاده از دستگاه FT-IR دانشگاه آزاد اسلامی- واحد گرگان بررسی شده است.

جدول ۱ واحدهای زیست چینه‌شناسی سازند شمشک [۲۱].

زمان		البرز شمالی	البرز مرکزی		البرز جنوبی	سمنان	رویداد زمین‌ساختی
مردودین	کالوین	گروه مگو	سازند دلیچای				سیمرین میانی
			دنسريت	بالایی	دیکتاش		
				پایینی			
			آن	بالایی (دیکتاش)	شهمیرزاد		
				پایینی			
	پیشین		آلاشت	بالایی (پشکلات)		آسیاب	
				پایینی (آسیاب)			
			کلاریز		سیمرین پیشین		
			لله‌بند				
			اکراسر				
تریاس	پسین	نورین	رتین				



شکل ۲ الف- نمای کلی از لایه‌های زغال‌دار، ب- بخش‌های رنگی از لایه دوم، پ- نمای کلی از معدن غزنوی، ت و ث- تصاویر برخی از نمونه‌های دستی از زغال‌سنگ معدن غزنوی (پیکان روی نمونه زغال‌سنگ شکل ت کانی‌های پیریت را نشان می‌دهد).

ابتدا ۱ گرم از پودر زغال‌سنگ (مش ۶۰) در یک بوتله سرامیکی ریخته و به مدت ۱ ساعت در دمای ۱۰۷ درجه سانتیگراد در کوره گرمادهی شد. پس از خنک شدن بوتله و وزن کردن نمونه، درصد رطوبت با استفاده از رابطه (۱) درصد رطوبت محاسبه شد. برای دو نمونه زغال‌سنگ برداشت شده از لایه اول ۰/۱۸٪ و ۰/۱۵٪ و برای یک نمونه زغال‌سنگ برداشت شده از لایه سوم ۰/۲۸٪ است.

$$\text{درصد رطوبت} = \left(\frac{A - B}{A} \right) \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه، A وزن نمونه پیش از گرمادهی و B وزن آن پس از گرمادهی است.

درصد خاکستر

سوختن زغال‌سنگ می‌تواند طیف وسیعی از بقایا شامل خاکستر بادی و خاکستر زیرین تولید کند [۲۴]. خاکستر زغال‌سنگ شامل مقدار زیادی از عناصر سمی قابل شستشو است که می‌تواند خاک، آب‌های زیرزمینی و سطحی را آلوده

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از یک نمونه از لایه اول (I)، چهار نمونه از لایه دوم (II)، یک نمونه از لایه سوم (III) و یک نمونه از باطله زغال‌سنگ با استفاده از دستگاه JEOL JSM-G510 در دانشگاه پاتسدام تهیه شد. در این روش ابتدا نمونه‌ها خرد شده و بخشی از آن در دستگاه خلأ قرار گرفته و سطح آن با کربن پوشیده شده است. یک آشکارساز الکترونی پس پراکنشی تنوع ترکیبی از عناصر سبک و سنگین در سراسر منطقه عکسبرداری را نمایش می‌دهد. طیف‌سنج پرتوی ایکس انرژی پاشنده (EDS) همراه میکروسکوپ بررسی کمی عناصر از نقاط منفرد، روبش‌های خطی، روبش‌های منطقه و همچنین نقشه‌های توزیع عناصر را امکان‌پذیر می‌کند.

نتایج

درصد رطوبت

نمونه‌ها برای تعیین درصد رطوبت بر اساس استاندارد تعیین درصد رطوبت آمریکا (کد ۱۲-M-۲۳۳۰۲/D۳۳۰۲) [۲۳]،

کند و تهدیدی برای محیط زیست به شمار رود [۲۴]. بر اساس استاندارد تعیین درصد خاکستر آمریکا (کد ۰۴-۳۶۸۳D) [۲۵]، مقدار ۶ گرم از نمونه پودر شده زغال سنگ با اندازه ذرات $250\text{ }\mu\text{m}$ (مش ۶۰) در یک بوته ۵۰ ml روباز از جنس کوارتز ریخته شد. بوته را در یک کوره با دمای محیط قرار داده و دمای آن را به تدریج افزایش می دهیم به طوری که دمای آن در مدت ۱ ساعت به ۳۰۰ درجه سانتیگراد برسد. سپس افزایش دما ادامه می یابد تا دما در پایان ساعت دوم به ۵۰۰ درجه سانتیگراد برسد. فرآیند تولید خاکستر در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد برای مدت ۲ ساعت دیگر ادامه می یابد. گفتنی است که نمونه در پایان هر بخش مخلوط شد تا هیچ ماده آلی باقی نماند. پس از سرد شدن و وزن کردن نمونه، اگر دانه های ریز دیده شد، نمونه را در داخل هاون ریخته و کاملاً پودر می نماییم و به مدت ۱ ساعت دیگر در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد در کوره قرار می دهیم. سرانجام پس از سرد شدن بوته، نمونه وزن شده و درصد خاکستر برپایه رابطه (۲) محاسبه می شود. درصد خاکستر برای سه نمونه محاسبه شد که دو نمونه از لایه اول دارای ۲۳/۶۶٪ و ۲۵/۱۶٪ خاکستر بوده و یک نمونه دیگر با مقدار خاکستر ۲۶/۵٪ از لایه سوم برداشت شده است.

درصد خاکستر $100(B/A) =$

در این رابطه A و B به ترتیب وزن نمونه پیش و پس از گرمادهی است.

نتایج XRD

پژوهش پیرامون مواد معدنی به درک بهتر فرآیند تشکیل زغال سنگ کمک می کند. شناسایی کانی های مجهول نمونه های زغال سنگ معدن غزنوی به روش XRD بیانگر حضور کانی های کوارتز و کائولینیت به عنوان کانی های اصلی و مقادیر کمتری از سنگ گچ، ژاروسیت (ناتروژاروسیت)، گوتیت، میکروکلین، پیریت، برلینیت، آرسنوپیریت، آل بیت، هماتیت، ایلیت، $\pm$ مونتموریلونیت، $\pm$ روتیل و $\pm$ کروندوم به عنوان کانی های فرعی در زغال سنگ های معدن غزنوی است. مقایسه نتایج XRD برای نمونه های زغال سنگ لایه اول (I) نشان می دهد که آنها از نظر کانی شناسی و همخوانی قله ها و فراوانی آنها شباهت دارند [۲۶] (شکل ۳ الف). بررسی های کانی شناسی به روش XRD برای نمونه های زغال سنگ لایه دوم (II) نشان می دهد که همخوانی و فراوانی قله ها برای نمونه های L۲-۱ و L۲-۳ روند مشابهی نشان می دهند و این امر برای دو نمونه L۲-۴ و L۲-۲

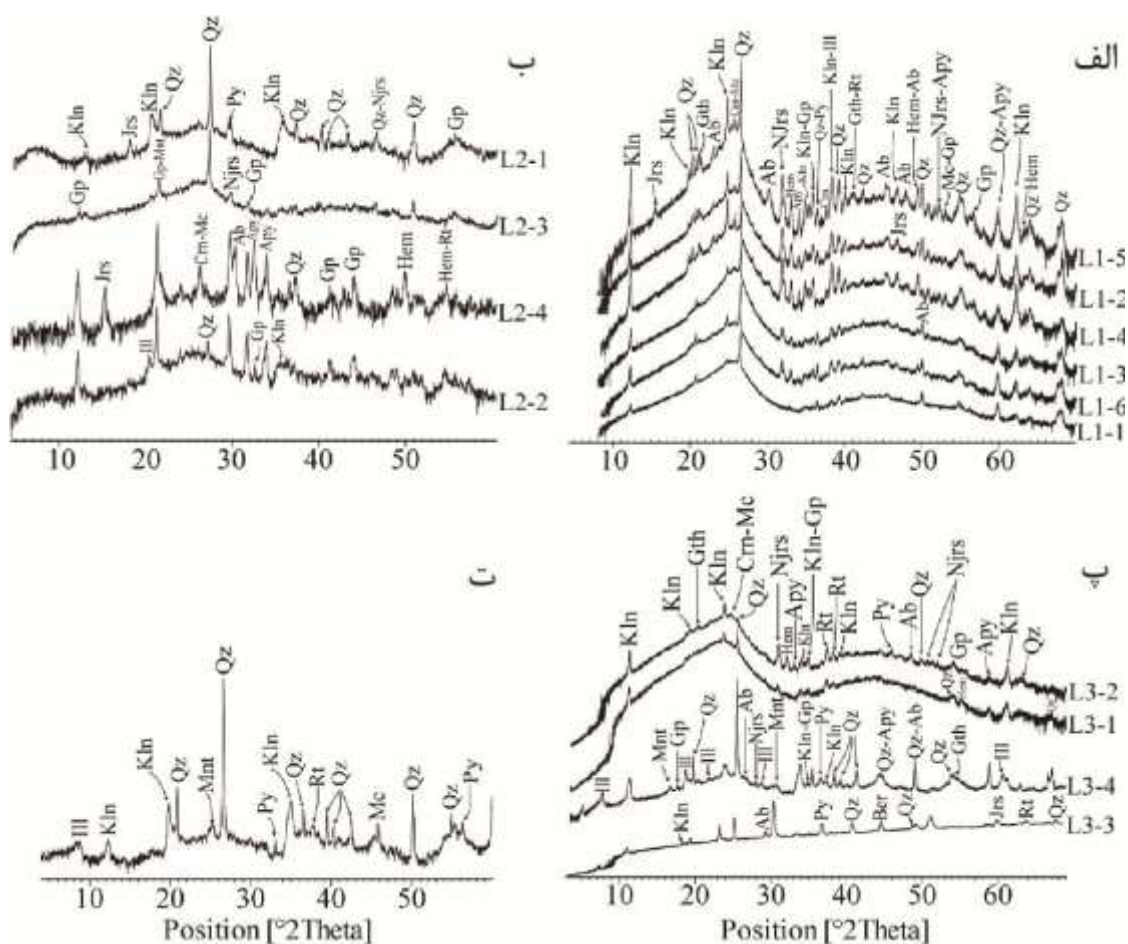
نیز صدق می کند، در حالی که این روند برای دو نمونه اول در مقایسه با دو نمونه دوم اندکی متفاوت است (شکل ۳ ب). این امر می تواند در ارتباط با تکرار لایه های رسوبی باشد. بررسی های کانی شناسی بر اساس نتایج XRD لایه سوم (III) نشان دهنده وجود کانی های متعدد ولی با فراوانی متفاوت در نمونه های برداشت شده از لایه سوم (III) است. (شکل ۳ پ). کوارتز و کانی های رسی (کائولینیت، ایلیت و مونتموریلونیت) فازهای اصلی تشکیل دهنده باطله زغال سنگ، هستند (شکل ۳ ت). بررسی های انجام شده بر زغال سنگ های میدان زغالی یمین در مغولستان [۲۷] نشان می دهد که مقدار بالای کائولینیت با مقادیر نسبتاً کم کوارتز در رسوبات سفید رنگ موجود در شکستگی ها به علت کائولینیتی شدن روزادی است که همراه با کانی سازی پیریت های روزاد رخ می دهد. از این رو هنگامی که باطله زغال سنگ مدت زیادی در معرض هوازدگی و دیگر عوامل محیطی قرار گیرد، پیریت های موجود در آن دچار اکسایش می شوند؛ به طوری که این کانی در نمونه های سطحی مخزن باطله ها حذف خواهد شد [۲۸]. همچنین کانی های پلاژیوکلاز و فلدسپات قلیایی در زغال سنگ های غزنوی پتانسیل تشکیل کانی های رسی بر اثر هوازدگی را دارند.

طیف سنجی FT-IR

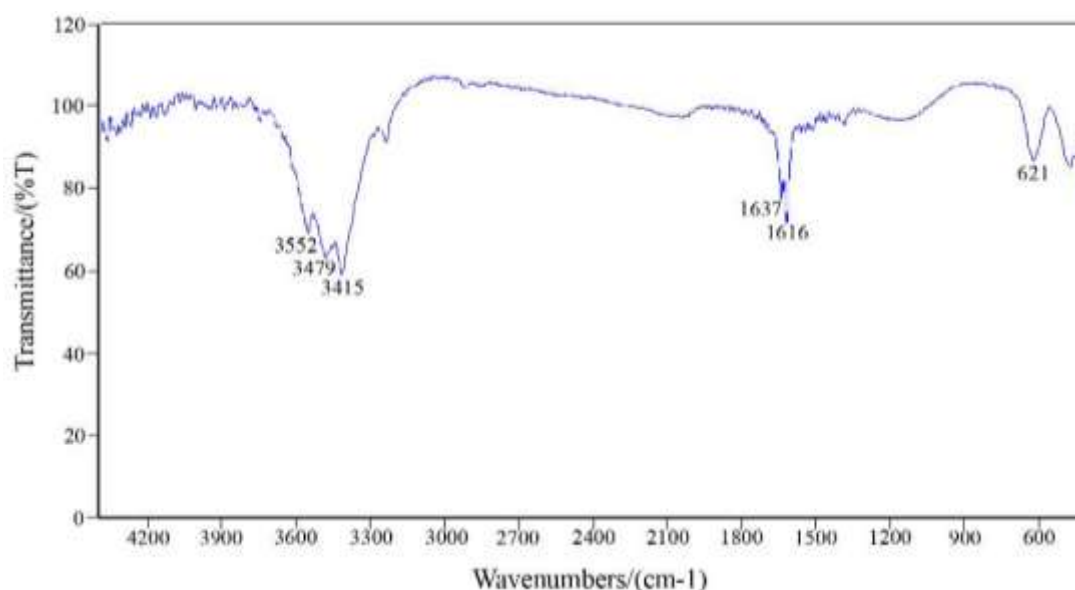
از طیف سنجی تبدیل فوریه فروسرخ (FT-IR) به عنوان یک روش تحلیلی گسترده برای تعیین گروه های عاملی کربوهیدرات ها (حلقوی و زنجیری) و عوامل ناجور (بیشتر اکسیژن) و همچنین تشخیص کلی کانی های موجود در زغال سنگ استفاده می شود [۲۹]. ترکیبات حلقوی به دسته وسیعی از ترکیبات شامل بنزن ها و ترکیباتی که از نظر رفتار شیمیایی مشابه با بنزن ها هستند، گفته می شود. بنزن ها و سایر ترکیبات حلقوی برخلاف آلکین ها و آلکن ها تمایلی برای انجام واکنش های افزایشی از خود نشان نمی دهند، اما در واکنش های جانشینی شرکت می کنند. بخش آلی زغال سنگ شامل گوگرد، اکسیژن و نیتروژن در گروه های عاملی مختلف است که این ساختارهای آلی با افزایش ویژگی حلقوی از زغال سنگ های رتبه کم (نارس) به بالا (بر اساس درجه بلوغ زغال سنگ) همراه هستند. نتایج طیف سنجی FT-IR یک نمونه زغال سنگ معدن غزنوی، ۶ قله برجسته را نشان می دهد (شکل ۴). قله کانی های رسی و سیلیکاته در گستره $400-600\text{ cm}^{-1}$ [۳۰] و 667 cm^{-1} [۳۱] قرار می گیرند. از این رو می توان گفت که قله

H₂O یا فنل نسبت داده شده‌اند [۳۰]. در طیف زغال‌سنگ توربی، یک جذب قوی در 3285 cm^{-1} گزارش شده است که به ارتعاشات گروه هیدروکسیل اختصاص دارد در حالی که عدم وجود جذب در بالاتر از 3600 cm^{-1} در طیف زغال‌سنگ توربی بیانگر حذف گروه‌های هیدروکسیلی آزاد با افزایش درجه زغالی‌شدن است [۳۲]. از این رو می‌توان گفت که قله‌ها در نمونه مورد بررسی در 3415 cm^{-1} ، 3479 cm^{-1} و 3552 cm^{-1} با شدت جذب متوسط بیانگر حضور گروه‌های هیدروکسیل در ساختار زغال‌سنگ است. قله‌هایی با شدت جذب بسیار ضعیف در گستره $3600-3800\text{ cm}^{-1}$ معرف حضور کانی‌های رسی و سیلیکاته در ساختار زغال‌سنگ‌ها هستند [۳۰].

نمونه مورد بررسی در 621 cm^{-1} بیانگر حضور کانی‌های رسی و سیلیکاته در زغال‌سنگ است. همچنین گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار در گستره $1000-1800\text{ cm}^{-1}$ دیده می‌شود [۳۰] به طوری که قله‌های در گستره 1618 cm^{-1} و 1622 cm^{-1} به حلقه‌های کششی حلقوی C=O یا C=C مربوط هستند. قله‌های در گستره $1600-1635\text{ cm}^{-1}$ یک جذب شدید از خود به نمایش می‌گذارند که این بیانگر افزایش مقدار کربن است [۲۹]. بنابراین می‌توان گفت که قله‌های نمونه مورد بررسی در گستره 1616 cm^{-1} و 1637 cm^{-1} معرف ارتعاشات کششی نوار C=C در رابطه با بخش آلی زغال‌سنگ‌ها هستند. در گستره $3400-3600\text{ cm}^{-1}$ گروه‌های هیدروکسیل جای دارند. شدت نوارها در $3416-3402\text{ cm}^{-1}$ به کشش OH- از گروه‌های



شکل ۳ الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه‌های زغال‌سنگ. (الف) لایه اول (I)؛ (ب) لایه دوم (II)؛ (پ) لایه سوم (III) و (ت) باطله زغال‌سنگ. علائم اختصاری کانی‌ها [۲۶] کائولینیت=kln، کوارتز=Qz، ژاروسیت=Jrs، ناتروزاروسیت=Njrs، گوتیت=Gth، آلبیت=Ab، کروندم=Crm، هماتیت=Hem، میکروکلین=Mc، پیریت=Py، سنگ گچ=Gp، آرسنوپیریت=Apy، ایلیت=Ill و روتیل=Rt؛ برلینیت=Ber؛ مونتموریلونیت=Mnt).



شکل ۴ طیف FT-IR از یک نمونه زغال سنگ معدن غزنوی.

نتایج SEM/EDS

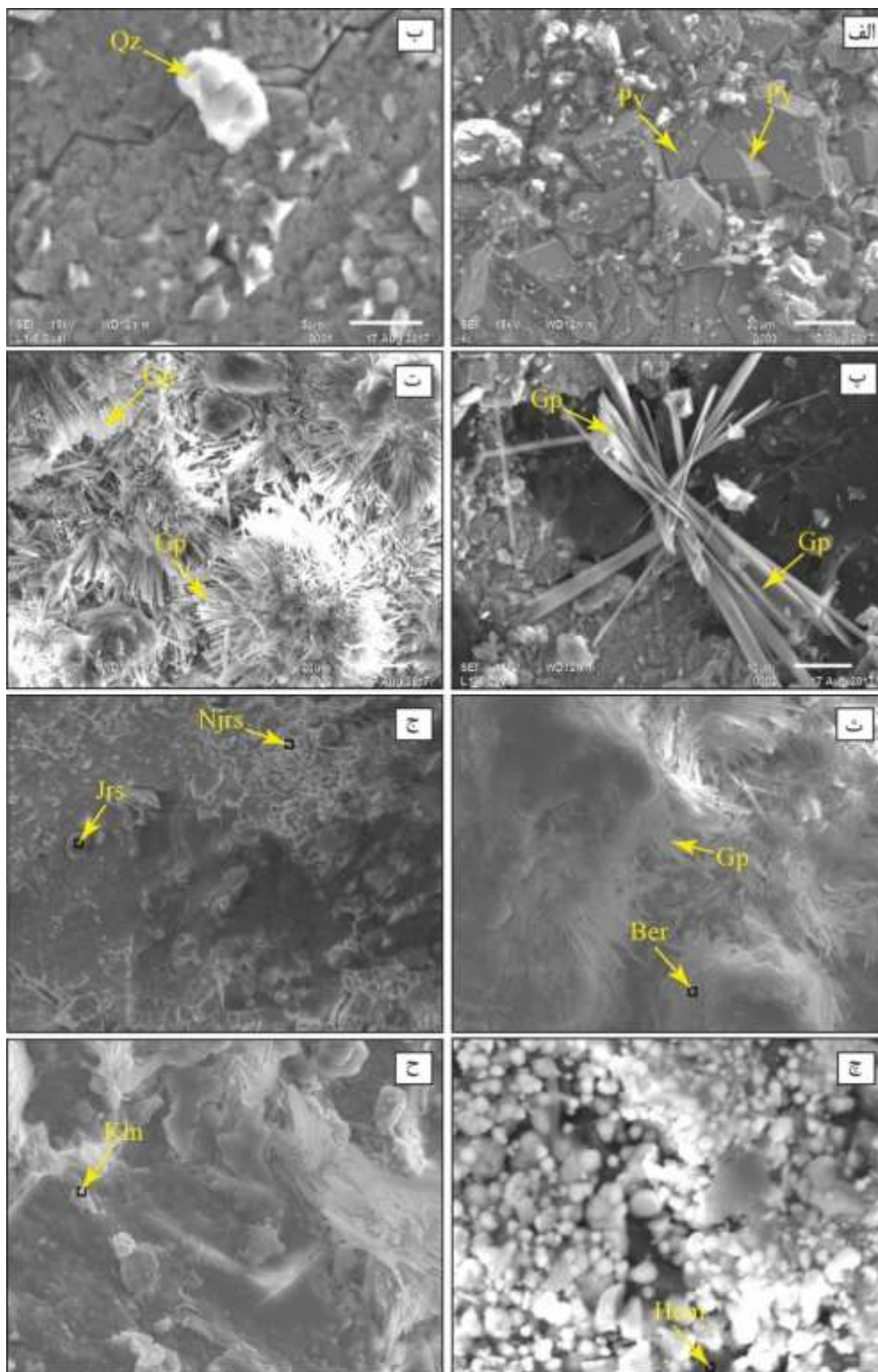
بر اساس نتایج به دست آمده از بررسی نمونه‌های زغال سنگ معدن غزنوی به روش SEM/EDS و مقایسه آنها با شیمی کانی‌های استاندارد می‌توان به حضور یا عدم حضور آن کانی در نمونه‌ها پی برد. بررسی‌های کانی‌شناسی ۷ نمونه از زغال سنگ لایه‌های مختلف معدن غزنوی با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و آشکارساز EDS، حضور پیریت، کانی‌های رسی، سنگ گچ، ژاروسیت و ناتروژاروسیت، برلینیت را به خوبی نشان می‌دهند (شکل ۵). پیریت به صورت کانی شکل‌دار ($20\mu\text{m}$) تا بی‌شکل در کنار کانی‌های رسی قابل تشخیص است (شکل ۵ الف). کوارتز به صورت بلور بی‌شکل در زمینه‌ای از پیریت و کانی‌های رسی دیده می‌شود (شکل ۵ ب). سنگ گچ به صورت بلورهای سوزنی و نوارهای رشته‌ای در میان سایر اجزای زغال سنگ دیده شده است (شکل‌های ۵ پ و ت). یکی دیگر از کانی‌های دیده شده در تصاویر پراکنشی، برلینیت است که به نظر می‌رسد که در لبه یک توده دایره‌ای شکل قرار گرفته و بلورهای سنگ گچ به صورت نوارهای باریک لبه این توده را احاطه نموده‌اند (شکل ۵ ث). همچنین ژاروسیت و ناتروژاروسیت در تصاویر پس پراکنشی در کنار پیریت و کانی‌های رسی (کائولینیت، ایلیت و مونت‌موریلونیت) دیده می‌شوند (شکل ۵ ج). همتایت به صورت بلورهای تیره و بی‌شکل در میان انبوهی از دیگر اجزای زغال سنگ به چشم می‌خورد (شکل ۵ چ). بلورهای روشن کائولینیت در زمینه

زغال سنگ خودنمایی می‌کند هر چند که کانی‌های رسی به صورت بی‌شکل، در اندازه‌های کوچک و به مقدار فراوان شناسایی شده‌اند اما تشخیص نوع این کانی‌ها از یکدیگر (کائولینیت، ایلیت یا مونت‌موریلونیت) در تصاویر پس پراکنشی بسیار دشوار است (شکل ۵ ح).

بحث و بررسی

محاسبه درصد رطوبت زغال‌سنگ‌های البرز نشان می‌دهد که مقدار رطوبت در زغال‌سنگ‌های این حوضه پایین است [۱۱]، [۱۵]. مقدار رطوبت زغال‌سنگ‌های معدن غزنوی با میانگین 1.58% [۳۳] و 0.2% معدن کارمزد- البرز مرکزی 1.58% [۳۳] و زغال‌سنگ‌های منطقه شاهرود- البرز شرقی 0.8% [۱۱] است. بررسی زغال سنگ حوضه زغالی پروده- طبس نشان می‌دهد که مقدار رطوبت در زغال‌سنگ‌های این ناحیه نیز پایین (0.9% - 0.7%) است [۱].

مقدار میانگین درصد خاکستر برای نمونه‌های زغال سنگ معدن غزنوی 25.1% تعیین شده است که مقایسه آن با درصد خاکستر زغال‌سنگ‌های معدن اولنگ- 20 کیلومتری جنوب رامیان- البرز شرقی (از کمتر از 10% تا 31% در لایه‌های مختلف) [۳۴]، زغال‌سنگ‌های معدن لوشان- البرز غربی ($3-22\%$) [۱۱] و زغال‌سنگ‌های معدن کارمزد- البرز مرکزی ($1.3-8.3\%$) [۳۵] نشان می‌دهد که زغال‌سنگ‌های البرز از نظر درصد خاکستر در گروه کم تا متوسط [۱۱، ۱۵] رده‌بندی می‌شوند.



شکل ۵ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/EDS) الف- کانی‌های خودشکل پیریت در زمینه‌ای از کانی‌های رسی و دیگر اجزای زغال‌سنگ، ب- کوارتز به صورت بلور بی‌شکل سفید رنگ در زمینه‌ای از پیریت و کانی‌های رسی، پ و ت- سنگ گچ به صورت انباشتی از بلورهای سوزنی‌شکل و نوارهای رشته‌ای (دسته علفی)، ث- برلینیت در کناره توده‌های دایره‌ای‌شکل و سنگ گچ به صورت نوارهای باریک در لبه‌های توده‌های آن، ج- ژاروسیت و ناتروژاروسیت در میان زمینه‌ای از اجزای زغال‌سنگ، چ- کانی هماتیت، ح- کائولینیت در ابعاد مختلف در کنار کانی‌های دیگر از جمله سنگ گچ و کوارتز.

پیریت، به عنوان یک کانی سولفیدی به فراوانی در بسیاری از زغال سنگ ها در شکل های مختلف و در نسل های متفاوت تشکیل می شود [۳۶]. سولفات آب دریا درون تورب نفوذ کرده و پس از آن توسط باکتری ها به هیدروژن سولفید- پلی سولفیدها و گوگرد عنصری احیاء می شود [۳۶]. آهن پس از حمل شدن به محیط باتلاق توربی و قبل از پیشروی آب دریا به صورت اکسید و هیدروکسیدهای آهن سه ظرفیتی به وسیله رس های رودخانه ای جذب می شود [۳۶]. آهن سه ظرفیتی طی درونزایی اولیه در یک محیط احیایی به آهن دو ظرفیتی احیاء می شود و احتمالاً توسط باکتری های احیاکننده سولفات با هیدروژن سولفید به شکل مونوسولفید آهن واکنش نشان می دهد و سرانجام بلورهای خود شکل پیریت تشکیل می شوند [۳۶]. پیریت های خود شکل به صورت بلورهای مکعبی و هشت وجهی [۳۷] در اندازه های کوچک قابل تشخیص بوده و بیشتر همزاد هستند و طی نهشته شدن تورب [۳۸] و یا طی گیاهخاکی شدن تشکیل می شوند و در سراسر زغال سنگ پراکنده هستند [۳۹]. پیریت های بی شکل دسته ای از بلورهای پیریت هستند که شکل آنها به شکل بقایای گیاهی که در آن نهشته می شوند بستگی دارد و به دو نوع تقسیم می شوند:

- ۱- پیریت های بی شکل جانشینی با خاستگاه همزاد و
- ۲- پیریت های بی شکل انباشتی (پر شدگی) با خاستگاه روزاد [۳۹].

نوع دیگر پیریت های روزاد در درزه ها و شکستگی ها وجود دارد که شامل پیریت های نهشته شده در درزه های مسیر عبور محلول های نفوذی به رگه زغالی هستند و به دو نوع تقسیم می شوند: ۱- پیریت روزاد انباشتی شامل انواع پر کننده درزه ها و پر کننده شکستگی ها و ۲- پیریت روزاد جانشین شونده [۳۹]. پیریت های روزاد در درزه ها، ترک ها و شکستگی ها پس از نهشته شدن زغال سنگ (به صورت پسانهشتی) شکل می گیرند و فراهم شدن گوگرد احیایی، کاتیون های حل شده (آهن دوظرفیتی) و مکان مناسب برای تشکیل از شرایط لازم برای تشکیل این نوع پیریت ها در ساختار زغال سنگ هستند [۳۸]. بر اساس پژوهش رجب زاده و همکاران [۱] پیریت های خود شکل به صورت بلورهای شکل دار پیریت با خاستگاه روزاد در معدن پروده قابل تشخیص هستند

و در رگه ها و یا به صورت پرکننده حفره های مواد آلی تشکیل شده اند و با طیف گسترده اندازه ذرات (گستره ۲ تا ۲۰۰ میکرومتر) در سراسر زغال سنگ پراکنده هستند. بر اساس بررسی های SEM/EDS کانی های سولفیدی در زغال سنگ های معدن غزنوی بیشتر به صورت پیریت و کمتر به شکل آرسنو پیریت حضور دارند. پیریت های مشاهده شده در نمونه های مورد بررسی به صورت خود شکل تا بی شکل هستند و بر اساس بررسی های مشابه [۱۵، ۴۰] و همچنین با توجه به محیط نهشته شدن سازند شمشک (دلتایی- مردابی) خاستگاه این نوع کانی های سولفیدی از نوع درونزاد است. کانی های سولفات آهن مانند ژاروسیت و ناتروژاروسیت در زغال سنگ ها به عنوان کانی های ثانویه و فراورده هوازدگی پیریت به شمار می روند [۳۵]. به نظر می رسد که ژاروسیت (ناتروژاروسیت) در نمونه های مورد بررسی در اثر هوازدگی پیریت تشکیل شده است.

پژوهش های انجام شده نشان می دهد که کوارتز به عنوان فراوان ترین کانی سیلیکاته موجود در زغال سنگ های جهان می تواند دارای خاستگاه آواری، فرآورده دگرسانی همزاد آلومینیوسیلیکات ها و یا به صورت گوه و پر کننده شکستگی ها با خاستگاه روزاد باشد [۱]. حضور بلورهای بی شکل کوارتز در ابعاد مختلف در زمینه ای از کانی های رسی و سایر اجزای زغال سنگ های معدن غزنوی نشان می دهند که آنها دارای خاستگاه تخریبی هستند.

رایج ترین انواع کانی های رسی در زغال سنگ ها، کائولینیت و ایلیت هستند که ایلیت در درجات دگرگونی بالاتر به کلریت تبدیل می شود [۴۱]. کائولینیت در زغال سنگ ممکن است دارای خاستگاه برجازاد و یا آواری باشد و تشکیل آن در منافذ و حفره های سلولی ماسرال های زغال سنگ نشان دهنده خاستگاه برجازاد آن است [۱]. بر اساس پژوهش زونبرگن و همکاران [۴۲] برخی کانی های رسی در اثر هوازدگی زغال سنگ ها تشکیل می شوند و می توانند عناصر خطرناک موجود در محیط را کنترل کنند. فراوانی کانی های رسی در باطله زغال سنگ (بر پایه نتایج XRD) و حضور آنها در زمینه زغال سنگ در تصاویر پس پراکنشی، نشان می دهد که کانی های

رسی در نمونه‌های مورد بررسی همزمان با تدفین مواد گیاهی وارد حوضه رسوبگذاری شده‌اند.

حضور هماتیت و گوتیت در برخی از نمونه‌های زغال‌سنگ منجر به ایجاد رنگ قرمز تا قهوه‌ای و زرد تا قهوه‌ای در این نمونه‌ها شده است. بر اساس پژوهش یوسف‌فوا و همکاران [۴۳]، حضور اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن در زغال‌سنگ‌های منطقه ولج در بلغارستان نتیجه اکسایش پیریت‌های نسل اول (برجازاد) است. از این رو حضور هماتیت و گوتیت در نمونه‌های مورد بررسی احتمالاً بیانگر اکسیده شدن کانی‌های پیریت در شرایط اکسایش است.

حضور سنگ‌گچ در زغال‌سنگ‌ها می‌تواند بیانگر خاستگاه ثانویه آن (میزان تبخیر بالا در منطقه) یا به عنوان فراورده هوازدگی زغال‌سنگ‌ها باشد [۱]. از آنجا که محیط تشکیل زغال‌سنگ‌های مورد بررسی از نوع دلتایی- مردابی بوده است، بنابراین می‌توان گفت که حضور سنگ‌گچ به صورت بلورهای سوزنی‌شکل در زمینه‌ای از سایر اجزای زغال‌سنگ از نوع همزاد بوده و بر اثر هوازدگی کانی‌های کربناته و سولفیدی تشکیل شده است.

خاستگاه پلاژیوکلاز و میکروکلین‌ها در زغال‌سنگ‌های معدن غزنوی احتمالاً مربوط به بازالت‌های سلطان میدان و گرانیتهای قلیایی خوش ییلاق است که در جنوب منطقه مورد بررسی برونزد دارند و این کانی‌ها به شکل آواری به حوضه رسوبی سازند شمشک وارد شده‌اند.

کانی برلینیت جزو گروه آلومینیوم فسفات و از کانی‌های معرفی شده در زغال‌سنگ‌ها است [۴۴] که از نظر ویژگی‌های شاخص و وابستگی دمایی کاملاً مشابه با کوارتز است [۴۵]. ساختار کانی برلینیت ($AlPO_4$) به وسیله جایگزینی اتم‌های Si توسط اتم‌های Al و P به طور متناوب در ساختار کوارتز مشتق شده است که منجر به دو برابر شدن طول ثابت شبکه C می‌شود. آلومینیوم فسفات‌ها و سولفات‌ها از ابر گروه آلونیت (کانی‌های APS) در گستره وسیعی از محیط‌های تشکیل پوشاننده قلمروهای دگرگونی، آذرین و رسوبی یافت می‌شوند [۴۶]. کانی‌های APS در محیط‌های رسوبگذاری متفاوت: مانند سنگ‌های رسوبی آهکی، فسفریت‌دار، رسی- کربناتی، ماسه‌ای،

محیط‌های زغال‌دار، در خاک‌ها و خاک‌های دیرینه، در ساپرولیت (بوکسیت‌ها، لاتریت‌ها) و در توالی‌های آهکی- رسی میزبان ذخایر SHDG نوع کارلین تشکیل می‌شوند [۴۵]. در کل، بررسی‌های کافی پیرامون دلایل حضور برلینیت در زغال‌سنگ‌ها صورت نگرفته است.

از طیف‌سنجی FT-IR برای هر دو بخش آلی و غیر آلی زغال‌سنگ استفاده می‌شود [۴۷]. بررسی طیف‌های FT-IR بدست آمده، حضور کانی‌های رسی و سیلیکاته در نمونه‌ها را تأیید می‌کند. وجود نوارهای C=C در ساختار زغال‌سنگ با بخش آلی نمونه مورد بررسی ارتباط دارد. گروه‌های هیدروکسیلی معرف حضور آب به واسطه حضور کانی‌های آبدار مانند کانی‌های رسی، سنگ‌گچ و ... در نمونه هستند.

برداشت

زغال‌سنگ‌های مورد بررسی بر اساس شکنندگی و جلای براق بر پایه شواهد ماکروسکوپی، درصد رطوبت پایین و درصد خاکستر کم تا متوسط از نوع آنتراسیت تشخیص داده شده‌اند. بررسی‌های کانی‌شناسی زغال‌سنگ معدن غزنوی به روش XRD و SEM/EDS نشان می‌دهند که کانی‌هایی مثل کوارتز و کائولینیت به عنوانی کانی‌های اصلی و سنگ‌گچ، ژاروسیت (ناتروژاروسیت)، گوتیت، $\pm$ کروندوم، میکروکلین، پیریت، آرسنوپیریت، آلبیت، هماتیت، ایلیت، مونتموریلونیت و $\pm$ روتیل به عنوان کانی‌های فرعی در این زغال‌سنگ‌ها حضور دارند. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته بر زغال‌سنگ‌های نقاط مختلف جهان، پیریت در زغال‌سنگ‌های معدن غزنوی به احتمال زیاد بر اثر انتقال آهن از بیرون به درون حوضه رسوبی- مردابی و ترکیب با گوگرد آزاد شده از احیاء مواد آلی به وسیله ریزاندامگان زنده تشکیل شده است. هوازدگی پیریت منجر به تشکیل کانی‌های سولفات آهن شامل ژاروسیت و ناتروژاروسیت در نمونه‌های مورد بررسی شده است. اکسیده شدن کانی‌های آهن‌دار اولیه به واسطه قرار گرفتن زغال‌سنگ تشکیل شده در شرایط اکسایش سبب رخداد کانی‌های هماتیت و گوتیت با خاستگاه همزاد و ایجاد رنگ قرمز تا زرد در برخی از نمونه‌های مورد بررسی شده است. به نظر می‌رسد که برلینیت به عنوان یک کانی آلومینیوم فسفات در ساختار زغال‌سنگ غزنوی دارای

[8] Aghaie Karigh M., Shamanian Gh.H., Gholipour M., "The effects of acid drainage in formation of environmental minerals (secondary minerals) in Galand-rud coal mines and waste materials of Vatani coal washing, Mazandaran province ", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 19(2) (2011) 325-338.

[9] Shamanian Gh.H., Houssinie Ashlaghie F., "Mineralogy and geochemistry of the Jurassic coals from the Gheshlagh mine, Eastern Alborz ", Iranian Journal of Economic Geology 7(2) (2015-2016) 369-383.

[10] Heydarie H., "Iranian coal tectonic", First National coal congress, Faculty of Mining Engineering, Petroleum, Geophysics (2012) 1-9.

[11] Yazdi M., "Geological and Geochemical Features of Alborz Basin Coal Deposits, Iran", Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran 23 (2) (2012) 163-169.

[12] Darvishzadeh A., "Geology of Iran", DaneshAmoz publisher, Amirkabir publishing house, 1 (1992) 65-67.

[13] Najafie Hajipour D., "Encountered plant macrofossils of Shemshak Formation in Ghoznavi – Fasian area, along Shahrud - Azadshahr road (Eastern Alborz), Northern Iran: Regional stratigraphic implications and Palaeoclimatic condition ", Sedimentary facies 2(1) (2009) 106-114.

[14] Vaezjavadi F., "Plant fossil remains from the Kalariz formation in the East Yurt mine, Azadshahr and its correlation with other florizones in Iran and the world ", Geosciences 25 (2016) 95-110.

[15] Yazdi M., Esmaeilnia A.S., "Geochemical properties of coal in the Lushan coalfield of Iran", Coal Geology 60 (2004) 73-79.

[16] Stocklin, J. "Structural History and Tectonic of Iran: A Review", American Association of Petroleum Geologists Bulletin 52 (1968) 1229-1258.

[17] Derakhshie M., Ghasemi H.A., Koksai F.T., "Mineral chemistry and thermobarometry of Soltan Maidan basalts, north of Shahrood", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 23(2) (2015) 257-268.

[18] Ghavidel-Syooki M., Hassanzadeh J., Vecoli M., "Palynology and isotope geochronology of the

خاستگاه همزاد بوده و از یک حوضه خارج از محیط تشکیل زغال سنگ وارد آن شده است. با استفاده از طیفسنجی FT-IR، گروه‌های عاملی مانند C=C در بخش آلی زغال سنگ و OH (حذف تدریجی گروه‌های هیدروکسیل در زغال سنگ نوع آنتراسیتی) و همچنین کانی‌های رسی و کوارتز در نمونه‌های مورد بررسی شناسایی شدند.

قدردانی

این مقاله بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول مقاله است که با کمک مالی معاونت پژوهشی و معاونت اداری و مالی دانشگاه گلستان انجام شده است. بررسی‌های SEM/EDS و بخشی از آنالیزهای XRD در دانشگاه پتسدام آلمان صورت گرفته است که نویسندگان از زحمات خانم دکتر کریستینا گونتر تشکر می‌کنند. از سردبیر محترم مجله و داوران گرامی نیز که با پیشنهادات سازنده خود به بهبود مقاله کمک نمودند، قدردانی می‌شود.

مراجع

[1] Rajabzadeh M.A., Ghorbani Z., Keshavarzi B., "Chemistry, mineralogy and distribution of selected trace-elements in the Parvadeh coals, Tabas, Iran", Journal of Fuel 174 (2016) 216-224.

[2] Speight J.G., "Hand book of coal analysis", John Wiley & Sons, (2005) p. 238.

[3] Merritt R.D., "Coal Exploration; Mine Planning, and Development", Noyes Publications (1986) P. 464.

[4] Glikson M., Mastalerz M., "Organic Matter and Mineralisation", Kluwer Academic Publishers (2000) 314-326.

[5] Gluskoter H.J., "Mineral Matter and Trace Elements in Coal", Trace Elements in Fuel 141(1975) 1-22.

[6] Yazdi M., "Coal (from origin to environmental effects)", Jahad Daneshghahi publisher of Technology Branch of Amirkabir University (2004) p. 278.

[7] Shahraz S., kohsari A.H., "Study of Trace and Rare Earth Elements in Coal Basins of Iran (Study in Karmozd underground coal mine) ", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 4 (2015) 685-696.

- American Journal of Analytical Chemistry 5 (2014) 367-372.
- [30] Georgakopoulos A., Iordanidis A., Kapina V., "Study of Low Rank Greek Coals Using FTIR Spectroscopy", Energy Sources 25 (2013) 995-1005.
- [31] Uzarowicz L., Skiba S., Skiba M., Segevic B., "Clay Mineral Formation of Soils Developed in the Weathering Zone of Pyrite-Bearing Schists: A Case Study from the Abandoned Pyrite mine in Wiesciszowice, Lower Silesia, SW Poland", Clays and Clay Minerals 59 (2011) 581-594.
- [32] Xie K.C., "Structure and Reactivity of Coal", Springer (2015) p. 46.
- [33] Moore F., Ismaili A., "Mineralogy and geochemistry of the coals from the Karmozd and Kiasar coal mines, Mazandaran province, Iran", International Journal of Coal Geology 96-97 (2012) 9-21.
- [34] Suleimani Marshk Z., Taghipour N., Aharipour R., "Organic petrography of coal deposits of the Olang area, Eastern Alborz", Geosciences 90 (2012) 21-32.
- [35] Gholipour M., Mazaheri A., Raghimi M., Shamanian Gh.H., "Study of geochemistry and mineralogy in Karmozd coal Basin Central Alborz, Mazandran Province", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 17 (2010) 655-670.
- [36] Lin Chou C., "Sulfur in coals: A review of geochemistry and origins", International Journal of Coal Geology 10 (2012) 1-13.
- [37] Xie P., Song H., Wei J., Li Q., "Mineralogical Characteristics of Late Permian Coals from the Yueliangtian Coal Mine, Guizhou, Southwestern China", Minerals (2016) 1-21.
- [38] Demchuk T.D., "Epigenetic pyrite in a low-sulphur, subbituminous coal from the central Alberta Plains", International Journal of Coal Geology 21 (1992) 187-196.
- [39] Win C.T., Surjono S.S., Amijaya D.H., Husein S., Aihara A., Watanabe K., "Distribution of Pyrite and Mineral Matter in Coal Seams from Samarinda Area, Lower Kutai Basin, Indonesia", Clean Coal Technology (2013) 17-24.
- [40] Alexandra N.G., Paul F.C., "Changes in geochemistry and mineralogy of thermally altered Upper Ordovician–Silurian successions (Ghelli and Soltan Maidan Formations) in the Khoshyeilagh area, eastern Alborz Range, northern Iran; stratigraphic and palaeogeographic implications", Review of Palaeobotany and Palynology 164 (2011) 251–271.
- [19] Jafariyan M.B., Jalali A., Eshghi Poor M., Saidi A., Ahangaran A., Ghassemi M.R., "1:100000 geologic map of the Khosh Yeilagh quadrangle", Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (2004) Sheet NO: 7063.
- [20] Abbassi N., Madanipour S., "Dinosaur tracks from the Jurassic Shemshak Group in the Central Alborz Mountains (Northern Iran)", Geologica Carpathica 65 (2014) 99-115.
- [21] Aghanabati A., "Geology of Iran", Geological survey of Iran (2005) p. 586.
- [22] Basham A., Ramezani Omali R., Taherie A., "Geometry and motion analysis of the geological structures in the Till-Abad area- Ghosnavi (Eastern Alborz)", M.Sc. Thesis, Shahrood Industrial University, 2015.
- [23] Zhu, Q., "Coal sampling and analysis standards", IEA Clean Coal Centre, United Kingdom, p. 123.
- [24] Kim Y., kim k., Jeong G.Y., "Study of detailed geochemistry of hazardous elements in weathered coal ashes", Fuel 193 (2017) 343–350.
- [25] ASTM (American Society for Testing and Materials) D-3683-04. *Standard Test Method for Trace Elements in Coal and Coke Ash by Atomic Absorption* (2004) (<https://www.astm.org/>).
- [26] Whitney D.L., Evans B.W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", American Mineralogist 95 (2010) 185-187.
- [27] Li J., Zhuang X., Querol X., Font O., Izquierdo M., Wang Z., "New data on mineralogy and geochemistry of high-Ge coals in the Yimin coalfield, Inner Mongolia, China", International Journal of Coal Geology 125 (2014) 10–21.
- [28] Gholipour M., Mazaheri A., Raghimi M., Shamanian Gh.H., "Investigation of environmental impacts of acid mine drainage (AMD) on coal tailing in Zirab coal cleaning factory, Mazandran Province", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 17(2) (2009) 173-186.
- [29] Balachandran M., "Role of Infrared Spectroscopy in Coal Analysis-An Investigation",

- [44] Jinsheng G., "Coal, Oil Shale, Natural Bitumen, Heavy Oil, and Peat", Eolss (2009) P 466.
- [45] Muraoka Y., Kihara K., "The temperature dependence of the crystal structure of berlinite, a quartz-type form of $AlPO_4$ ", Physics and Chemistry of Minerals 24 (1997) 243–253.
- [46] Dill H.G., "The geology of aluminium phosphates and sulphates of the alunite group minerals: a review", Earth-Science Reviews 53 (2001) 35–93.
- [47] Cooke N.E., Fuller O.M., Gaikwad P., "FT-IR spectroscopic analysis of coals and coal extracts", Fuel 65 (1986) 1254-1260.
- coal, Upper Hunter Vally, Australia", Coal Geology 51 (2004) 197-210.
- [41] Hussain S.A., "Identification of clay minerals in coal and wastes from main coal washery, Zonguldak, Turkey", Applied Clay Science 7 (1993) 471-482.
- [42] Zevenbergen C., Bradley J.P., Van Reeuwijk L.P., Shyam A.K, Hjelmar O., Comans R.N.J., "Clay formation and metal fixation during weathering of coal fly ash", Environmental Science & Technology 33 (1999) 3405–9.
- [43] Yossifova M., Lerouge C., Deschamps Y., "Mineral Matter and Trace Elements in the Vulche Pole Coal, Bulgaria", Geolines 22 (2009) 87-93.