

## بررسی تأثیر ماسرال‌ها در نفوذپذیری زغال‌سنگ‌های معادن پروده و طزره

فرهنگ سرشکی، دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران\*

احمد واعظیان، دکتری اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

امیر صفاری، دانشجوی دکتری استخراج معدن، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی

شاهرود، ایران

### چکیده

در دهه‌های اخیر موضوع انتشار گاز در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ در بسیاری از کشورها موضوع بسیار مهمی است. عوامل متعددی در انتشار گاز موجود در لایه‌های زغال‌سنگ تأثیر دارند. از جمله این عوامل می‌توان به ساختار فیزیکی و زمین‌شناسی زغال‌سنگ اشاره کرد. همچنین ترکیبات مینرالوژیکی زغال بر نفوذپذیری آن برای انواع مختلف گازها مؤثر است. در این تحقیق به بررسی ارتباط بین ترکیبات ماسرال زغال و نفوذپذیری آن در رسوبات زغال‌سنگ‌دار منطقه طزره و پروده پرداخته شده است. بر این اساس مطالعه آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های برداشت شده برای بررسی رابطه بین ترکیب و نفوذپذیری زغال‌سنگ انجام شد. بر روی نمونه‌های زغال‌سنگ، آزمون نفوذپذیری با دستگاه MFORR انجام شد. با آنالیز میکروسکوپی، میزان ماسرال‌های اصلی محتوی زغال از جمله ویتربینایت و اینرتینایت تعیین شدند. بر این اساس بسیاری از زغال‌سنگ‌های منطقه پروده و طزره، پیریت را به‌عنوان ماده معدنی غالب در برداشتند. زغال‌سنگ منطقه پروده در حوضه طبس دارای درصد متوسط ویتربینایت برابر ۸۱/۳۴٪ و اینرتینایت برابر ۱۰/۵۲٪ و زغال‌سنگ منطقه طزره در حوضه البرز شرقی دارای درصد متوسط ۶۹/۳۱٪ ویتربینایت و ۲۲/۴۷٪ اینرتینایت هستند. همچنین میزان ماده معدنی پیریت در نمونه‌های زغالی پروده طبس ۲/۳۸٪ و در نمونه‌های زغالی طزره در حوضه زغالی البرز شرقی ۲/۶۲٪ است. آزمون نفوذپذیری حاکی از آن است که با افزایش محتوای ویتربینایت، نفوذپذیری زغال‌سنگ افزایش می‌یابد همچنین با افزایش مواد معدنی و کربنات محتوی، نفوذپذیری کاهش می‌یابد، لذا نفوذپذیری نمونه‌های زغال‌سنگ حوضه طبس بیش‌تر از حوضه البرز شرقی است.

کلیدواژه‌ها: ماسرال، نفوذپذیری، اینرتینایت، ویتربینایت، معدن زغال‌سنگ پروده، معدن زغال‌سنگ طزره.

## مقدمه

زغال‌سنگ، سنگی است مرطوب که از نظر وزنی پنجاه درصد و از نظر حجمی هفتاد درصد آن از مواد کربنی تشکیل شده است (Rice 1993). این سنگ از پیت<sup>۱</sup>، یعنی تجمع رسوبات آلی منشأ گرفته از گیاهان، در طی تدفین و سپری کردن مراحل به نام مراحل زغالی شدن<sup>۲</sup> تشکیل می‌شود. زغالی شدن با نرخ‌ها و در محیط‌های مختلف رخ می‌دهد. آغازکننده مرحله زغالی شدن، تجزیه بیوشیمیایی مواد آلی است (Hessley et al. 1986). با افزایش عمق تدفین، دما و فشار زیاد شده و باعث ادامه تغییرات فیزیکوشیمیایی در زغال می‌شود و در نهایت، زغال با درجات بلوغ مختلف را به وجود می‌آورد که عبارت‌اند از: لیگنیت<sup>۳</sup> (زغال قهوه‌ای)، ساب بیتومینه<sup>۴</sup> (زغال نیمه‌قیری)، بیتومینه<sup>۵</sup> (زغال قیری) و در نهایت آنتراسیت<sup>۶</sup>. این تغییرات با زمان زمین‌شناسی نیز در ارتباط است (Rice 1993; Dalla Torre et al. 1997).

زغال‌سنگ‌های نام‌برده شده از اجزای آلی زیر میکروسکوپی به نام ماسرال<sup>۷</sup> تشکیل شده است. ماسرال‌ها بخش با ارزش تشکیل‌دهنده زغال هستند که شامل سه گروه لیپتینایت<sup>۸</sup>، اینرتینایت<sup>۹</sup> و ویتترینایت<sup>۱۰</sup> هستند. خواص زغال‌سنگ از جمله کک شونده‌گی و نفوذپذیری تابعی از نوع و میزان ماسرال‌های تشکیل‌دهنده زغال‌سنگ است (Cui & Busten 2006). هدف از این مطالعه، شناسایی و بررسی ماسرال‌های تشکیل‌دهنده زغال‌سنگ ناحیه پروده (حوضه طبس) و ناحیه طزره (حوضه البرز شرقی) جهت تأثیر آن‌ها در نفوذپذیری و انتشار گاز موجود در لایه‌های زغال‌سنگ است.

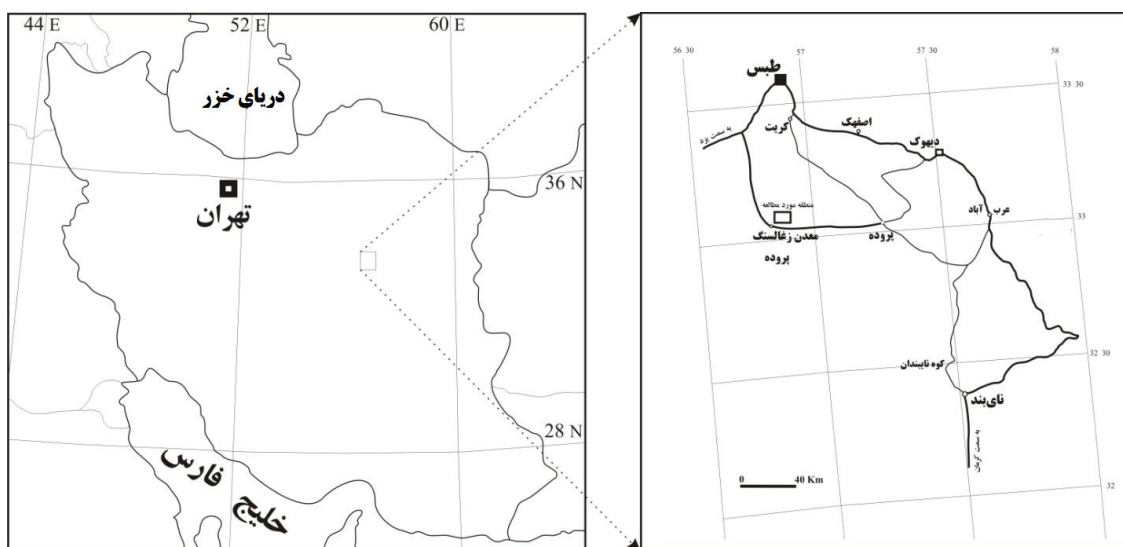
## موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه

مجموعه مناطق مورد مطالعه در این تحقیق شامل معدن زغال‌سنگ پروده و معدن زغال‌سنگ طزره است.

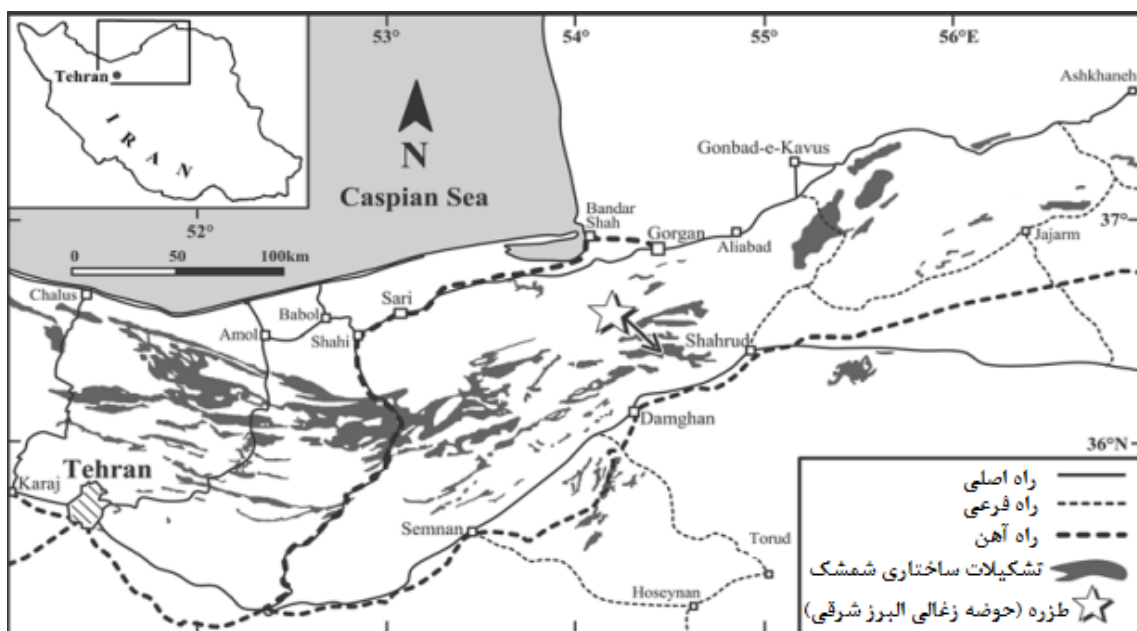
ناحیه زغالی حوضه طبس با وسعتی در حدود ۱۲۰۰ کیلومتر مربع در ۷۵ کیلومتری جنوب شهرستان طبس قرار گرفته است. منطقه پروده یکی از مناطق حوضه زغال‌دار طبس است که در قسمت شرقی ایران مرکزی، جنوب غربی استان خراسان، حاشیه شمال غربی کویر لوت و در جنوب شرق شهرستان طبس واقع شده است. مناسب‌ترین راه دسترسی به برش پروده، جاده طبس- یزد است. پس از طی حدود ۳۰ کیلومتر، در سمت راست، جاده فرعی به طول ۶۰ کیلومتر دیده می‌شود که جاده اختصاصی معادن زغال‌سنگ است. راه‌های دیگری نیز از مسیر روستاهای پروده و کریت وجود دارد که کوتاه‌تر از مسیر معرفی شده هستند اما به علت خاکی و نامناسب بودن استفاده از آن‌ها توصیه نمی‌شود (شکل ۱-الف).

حوضه زغالی البرز شرقی در رشته کوه‌های البرز واقع شده است. ارتفاع این منطقه از سطح دریا حدود ۲۰۰۰ تا ۲۸۰۰ متر متغیر است. آب و هوای منطقه کوهستانی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های ملایم و معتدل است. این حوضه شامل دو منطقه عمده زغالی طزره (که دربرگیرنده معادن پشکلات، کلاریز، رزمجا و ممدویه است) و منطقه قشلاق و اولنگ (که دربرگیرنده معادن متعددی از جمله رضی، ملج‌آرام، جوزچال، کشکک و غیره است) است. منطقه طزره با وسعت ۳۴ کیلومتر مربع بخشی از دامنه جنوبی رشته کوه البرز را تشکیل می‌دهد که در فاصله ۷۰ کیلومتری شمال غرب شاهرود و در حد فاصل جاده اصلی شاهرود - تهران واقع شده است (شکل ۱-ب).

<sup>1</sup> Peat<sup>2</sup> Coalification<sup>3</sup> Lignite<sup>4</sup> Sub- Bituminous<sup>5</sup> Bituminous<sup>6</sup> Antracite<sup>7</sup> Maceral<sup>8</sup> Liptinite<sup>9</sup> Inertinite<sup>10</sup> Vitrinite



(الف)



(ب)

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به (الف) برش چینه‌شناسی ناحیه پروده (آقاناتی و حقی‌پور ۱۹۷۸) (ب) برش چینه‌شناسی ناحیه طزره که در آن گسترش سازند شمشک در البرز مرکزی و شرقی مشخص شده است (Fursich et al. 2005 [Modified]).

معدن‌کاری می‌شوند (Bragin et al. 1981). توالی زغال‌سنگ‌دار معدن پروده شامل سازند نای‌بند است.

ضخامت سازند نای‌بند در برش چینه‌شناسی پروده ۱۴۱۰ متر اندازه‌گیری شد. سازند نای‌بند در این برش از نظر سنگ‌شناسی یکنواخت بوده و در مقایسه با برش الگو از اختلاف سنگ‌شناسی کمتری برخوردار است. همین امر

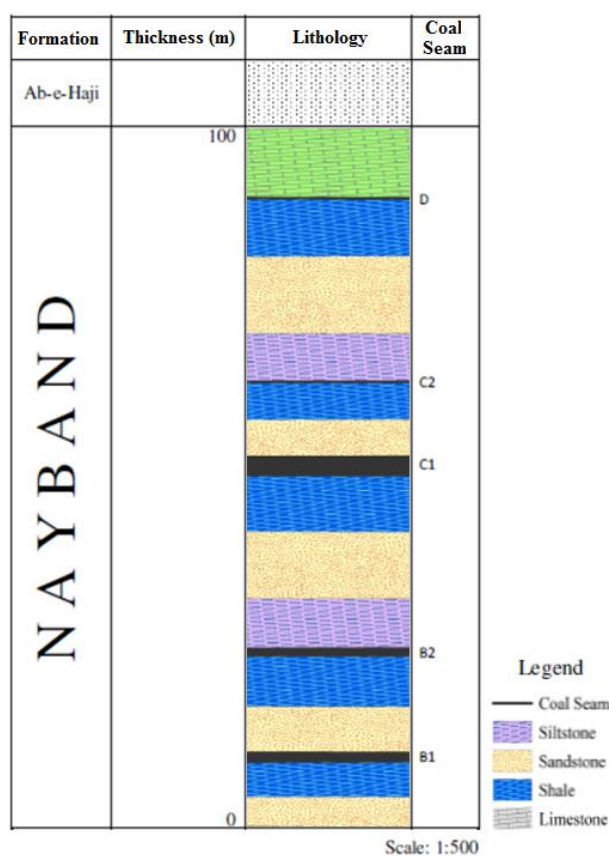
### زمین‌شناسی و چینه‌شناسی معدن زغال‌سنگ پروده

حوضه زغال‌دار ایران در دو ناحیه ساختاری عمده، یعنی البرز و ایران مرکزی گسترش دارد. نمونه‌های مورد مطالعه در منطقه پروده از معدن اصلی پروده انتخاب شدند. این معدن دربردارنده ۲۰ لایه زغال‌دار است که از میان آن‌ها ۵ لایه اصلی  $D, C_2, C_1, B_2$  و  $B_1$  دارای ضخامت قابل کار بوده و

برونیمین و همکاران در منطقه پروده چندان کاربردی نیست. زون زغال‌دار اصلی متعلق به بخش قدیر سازند نای‌بند است (شیبانی صفت و زارع مطلق ۱۳۹۱).

ضخامت زون زغال اصلی حدود ۱۰۰ متر است و شامل ماسه‌سنگ، سنگ آهک، سیلت، شیل و زغال است (شکل ۲). لایه‌های این زون دارای امتداد جنوب شرقی - شمال غربی و شیب جنوب غربی هستند و لایه‌های زغال‌دار حدود ۶/۵ کیلومتر رخنمون دارند. لایه‌های زغالی اکثراً دارای شیب کم (۷-۹ درجه) هستند، اما لایه‌ها در حوالی بیرون‌زدگی‌ها، حاشیه گسل‌ها و رخنمون‌ها پرشیب بوده و شیبی حدود ۲۵-۲۰ درجه دارند. لایه C<sub>1</sub> مهم‌ترین لایه قابل کار منطقه پروده است و ۵۰ درصد کل ذخیره بالانس را شامل می‌شود. حداقل ضخامت لایه C<sub>1</sub>، ۰/۲ متر و حداکثر آن ۳/۹۵ متر است و از نظر خواص شیمیایی و مشخصات تکنولوژیکی قابلیت پخت، دارای زغال مناسب است (شیبانی صفت و زارع مطلق ۱۳۹۱).

شناسایی و تفکیک بخش‌های برش الگو را مشکل ساخته است. از سوی دیگر مرز میان دولومیت‌های تریاس میانی (سازند شتری) و قاعده سازند نای‌بند دیده نمی‌شود. این مسأله به نوبه خود هم ارزی برش‌های پروده و نای‌بند را دشوارتر ساخته و سبب گردیده تا در مورد آن نظر کارشناسان شرکت ملی فولاد ایران با نظر کارشناسان سازمان زمین‌شناسی کشور به کلی متفاوت است. کارشناسان روس شرکت فولاد معتقدند که پاره سازند حوض‌خان در ناحیه پروده وجود دارد و نهشته‌های موجود در زیر رخساره سیلتی حوض‌خان را با دو واحد حوض شیخ و بیدستان قابل مقایسه دانسته‌اند و وجود بخش گلکن را محرز نمی‌دانند (آقاباتی ۱۳۸۸). با توجه به بازدیدهای صحرائی نگارنده از نواحی پروده و نای‌بند، به نظر می‌رسد بخش عمده‌ای از پاره سازند گلکن در منطقه پروده بر اثر فعالیت‌های گسل رستم وجود ندارد و به طور کلی با توجه به یکسانی رخساره‌ها، تقسیم‌بندی چهارگانه



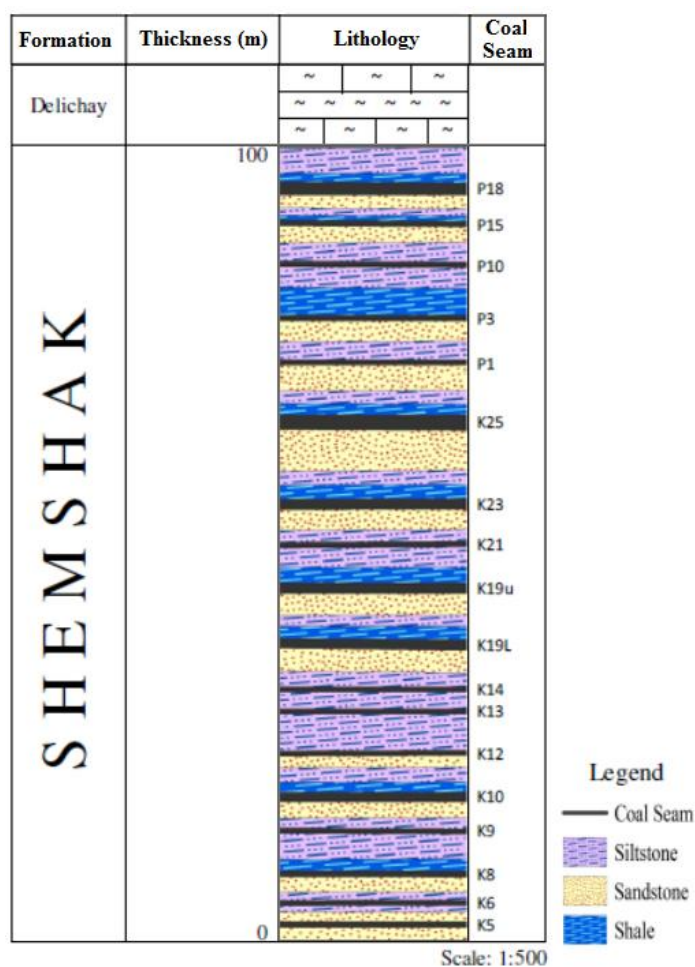
شکل ۲- ستون چینه‌شناسی بخش بالایی سازند نای‌بند در حوضه طبس و انتشار لایه‌های زغالی در معدن پروده (رضوی ارمغانی و معین السادات ۱۳۷۲)

## زمین‌شناسی و چینه‌شناسی منطقه زغال‌سنگ طزره

رسوبات زغال‌دار ایران در حوضه البرز به نام سازند شمشک معروف است. سازند شمشک به سن تریاس بالایی - ژوراسیک زیرین با بیش از ۴۰۰۰ متر ضخامت متشکل از سنگ‌های رسوبی تخریبی در بخش‌های وسیعی از زون البرز رخنمون دارد و حاوی لایه‌های زغالی متعددی است. حوضه زغالی البرز شرقی در رشته کوه‌های البرز واقع شده است و شامل کلیه رسوبات زغال‌داری است که در محدوده بین جاده فیروزکوه و جاده بجنورد-اسفراین قرار دارد. از مناطق زغال‌دار این منطقه می‌توان به منطقه پشکلات در قسمت مرکزی معدن طزره اشاره کرد. این منطقه با ۱۸ لایه زغالی قابل استخراج و ذخیره ۲۰/۹۴۵ میلیون تن یکی از بهترین

منطقه‌های واحد شاهرود است (محمودی و همکاران ۱۳۸۹).

زغال‌خیزی منطقه پشکلات از شمال به آهک‌های لار و رسوبات بخش زغالی دانسیریت محدود می‌شود. در این منطقه کمربالایی اصلی لایه در بیش‌تر نقاط از ماسه‌سنگ، سیلتستون، شیل و زغال و کمربالایی اصلی از ماسه‌سنگ و سیلتستون تشکیل شده است (محمودی و همکاران ۱۳۸۹). شکل (۳) لایه‌های زغالی مورد مطالعه مربوط به بخش کلاریز و پشکلات از منطقه زغالی طزره را نشان می‌دهد (رضوی ارمغانی و معین‌السادات ۱۳۷۲). برش تیپ بخش کلاریز در منطقه زغال‌سنگ دار طزره قرار گرفته و در آن آثار و بقایای گیاهی فراوان است. بخش پشکلات با لایه‌های زغالی گسترده بیش‌تر از سیلت و آرژیلیت و کمتر از ماسه‌سنگ تشکیل شده است.



شکل ۳- ستون چینه‌شناسی بخش بالایی سازند شمشک در حوضه البرز شرقی و انتشار لایه‌های زغالی در معدن طزره (رضوی ارمغانی و معین‌السادات

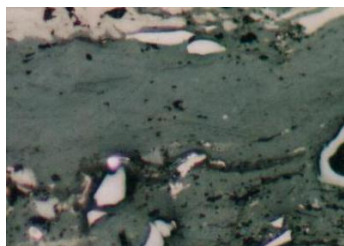
## نتایج آزمایش‌های پتروگرافی

ترکیبات ماسرالی هر یک از نمونه‌ها طبق استاندارد AS2856.2-1998 تعیین شدند. این نمونه‌ها از دو منطقه پروده و طزره جمع‌آوری شدند. جدول ۱ محتوای ۱۰ نمونه آزمایش شده منطقه پروده (حوضه طبس) و ۱۰ نمونه آزمایش شده منطقه طزره (حوضه البرز شرقی) را نشان می‌دهد. در این جدول میزان پیریت و کربنات به دلیل نقشی که در رفتار جذب زغال‌سنگ ایفا می‌کنند آورده شده‌اند. میانگین درصد مقادیر پیریت و کربنات منطقه پروده کمتر از منطقه طزره است. همچنین یک ستون هم به میزان شکستگی‌ها اختصاص داده شده است که نقش مهمی در جذب زغال‌سنگ دارند و درصد مقادیر شکستگی در منطقه پروده بیشتر از منطقه طزره

است. همان‌طور که از این جدول مشاهده می‌شود، نمونه‌های زغال‌سنگ پروده و طزره غنی از ویتترینایت است. میانگین تعداد نقاط ویتترینایت منطقه پروده (۸۱/۳۴٪) از کل است و میانگین تعداد نقاط ویتترینایت منطقه طزره (۶۹/۳۱٪) است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود ترکیبات ماسرالی زغال‌دو معدن به هم نزدیک بوده و می‌توان دریافت که پوشش گیاهی ابتدایی منتج به زغال در هر دو حوضه تقریباً یکسان بوده است. شکل‌های ۴ و ۵ محتوای نمونه‌های زغال‌سنگ منطقه‌های پروده و طزره را نشان می‌دهند. شکل ۶ میزان متوسط فراوانی ترکیبات نمونه زغال‌سنگ را در دو منطقه پروده و طزره نشان می‌دهد.

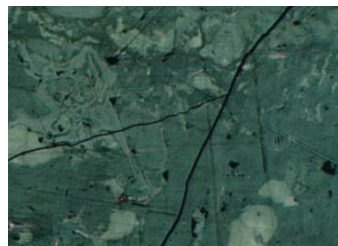
جدول ۱- نتایج حاصل از آزمایش‌های ماسرالی نمونه‌ها

شماره نمونه	ویتترینایت (%)	اینرتینایت (%)	پیریت (%)	کربنات (%)	شکستگی‌ها (%)	جمع (%)
منطقه پروده (حوضه طبس)						
۱	۸۲/۱	۷/۴	۳/۵	۲/۳	۴/۷	۱۰۰
۲	۷۸/۹	۱۱/۷	۲/۸	۲/۲	۴/۴	۱۰۰
۳	۷۵/۶	۱۶	۲/۹	۲/۲	۳/۳	۱۰۰
۴	۷۹/۴	۱۰/۸	۲/۷	۲/۸	۴/۳	۱۰۰
۵	۷۹/۸	۱۰/۲	۲/۲	۳	۴/۸	۱۰۰
۶	۸۱/۳	۱۱	۲/۶	۲/۱	۳	۱۰۰
۷	۸۳/۴	۱۱/۲	۲/۴	۱/۴	۱/۶	۱۰۰
۸	۸۲/۸	۹/۴	۱/۷	۳/۲	۲/۹	۱۰۰
۹	۸۵/۸	۸/۵	۱/۴	۳/۱	۱/۲	۱۰۰
۱۰	۸۵/۸	۹	۱/۶	۲/۵	۲/۶	۱۰۰
میانگین	۸۱/۳۴	۱۰/۵۲	۲/۳۸	۲/۴۸	۳/۲۸	۱۰۰
منطقه طزره (حوضه البرز شرقی)						
۱	۷۲/۴	۱۸	۲/۸	۳/۲	۳/۶	۱۰۰
۲	۷۲/۲	۱۹	۲/۶	۳	۳/۲	۱۰۰
۳	۷۶	۱۳	۲/۳	۵/۷	۳	۱۰۰
۴	۷۰/۷	۲۱/۹	۲/۳	۲	۳/۱	۱۰۰
۵	۶۵/۵	۲۸/۳	۲/۲	۱/۱	۲/۹	۱۰۰
۶	۶۷/۸	۲۴/۷	۳	۱/۵	۳	۱۰۰
۷	۷۰	۲۳/۱	۲/۸	۱	۳/۱	۱۰۰
۸	۷۲/۲	۲۰/۳	۲/۵	۲	۳	۱۰۰
۹	۶۶/۵	۲۴/۲	۳/۲	۲/۹	۳/۲	۱۰۰
۱۰	۵۹/۸	۳۲/۲	۲/۵	۲/۵	۳	۱۰۰
میانگین	۶۹/۳۱	۲۲/۴۷	۲/۶۲	۲/۴۹	۳/۱۱	۱۰۰



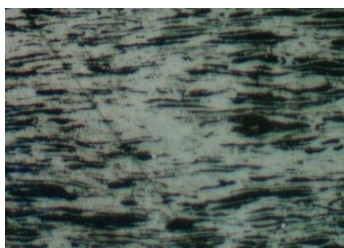
الف: ویتربینایت در زمینه همراه با اینرتینایت

مقیاس: طول عکس (بعد بزرگ‌تر) برابر ۰,۵۴ میلی‌متر



الف: ویتربینایت

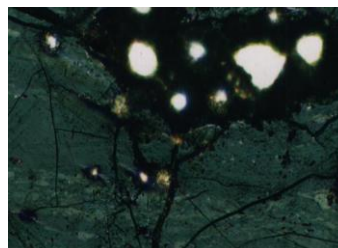
مقیاس: طول عکس (بعد بزرگ‌تر) برابر ۰,۵۴ میلی‌متر



ب: اینرتینایت

مقیاس: طول عکس (بعد بزرگ‌تر) برابر ۰,۵۴ میلی‌متر

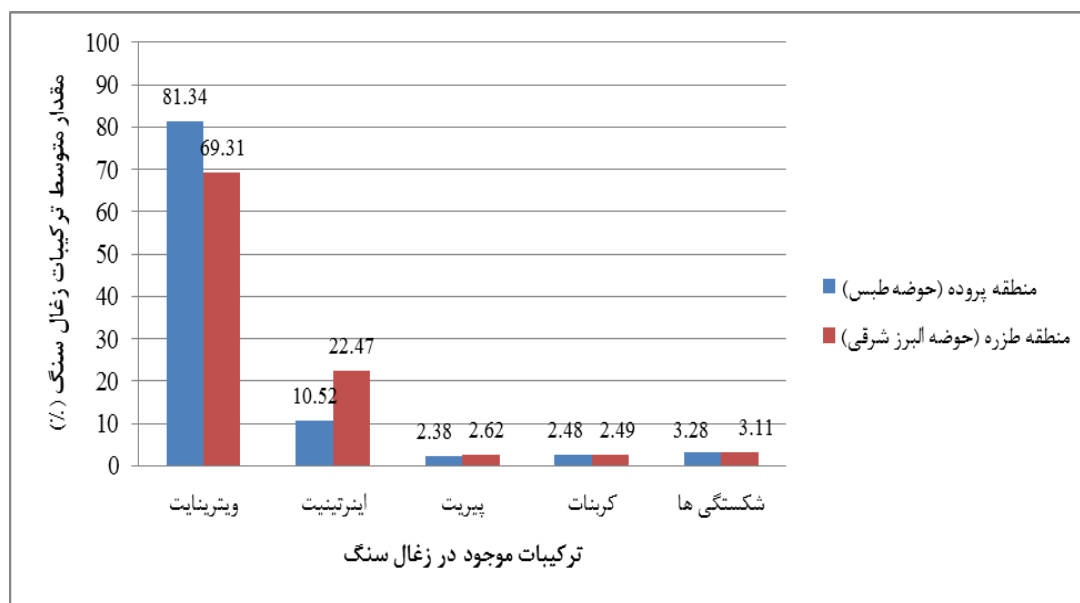
شکل ۵- ماسرال‌ها و مواد معدنی موجود در یک نمونه زغال‌سنگ طزره



ب: ویتربینایت همراه با ذرات پیریت

مقیاس: طول عکس (بعد بزرگ‌تر) برابر ۰,۵۴ میلی‌متر

شکل ۴- ماسرال‌ها و مواد معدنی موجود در یک نمونه زغال‌سنگ پروده



شکل ۶- هیستوگرام فراوانی مقدار متوسط ترکیبات نمونه‌های زغال‌سنگ در دو منطقه پروده (حوضه طبس) و طزره (حوضه البرز شرقی)

### نفوذپذیری زغال‌سنگ

همزمان با تشکیل زغال‌سنگ مواد فرار مختلفی تولید می‌شوند. در مراحل اولیه تشکیل، تولید آب شروع می‌شود.

در ادامه روند زغالی شدن (Coalification) با کاهش تولید آب، دی اکسید کربن تولید شده و در مراحل پایانی گاز متان در زمان تشکیل زغال ظاهر می‌شود. گاز متان گازی است

بسته‌های پلاستیکی از قرار گرفتن آن‌ها در معرض هوا جلوگیری شده است. همچنین نمونه‌های تهیه‌شده در آزمایشگاه برای جلوگیری از اکسیداسیون در داخل آب قرار داده شدند. برای انجام تست‌های آزمایشگاهی هر نمونه توسط رزین پلی‌استری پوشیده شدند.

### شرح دستگاه و روش آزمایش

روش‌های مختلفی برای تعیین نفوذپذیری زغال‌سنگ وجود دارد. در این تحقیق، آزمایش نفوذپذیری به وسیله دستگاه MFORR<sup>۱</sup> انجام شد. مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده دستگاه شامل محفظه فشار، جریان‌سنج و نیروسنج است. مراحل انجام آزمایش شامل قرار گرفتن نمونه داخل محفظه فشار، اجازه ورود گاز به داخل محفظه و خروج آن از سوراخ میانی تعبیه شده بر روی نمونه زغال است (Zhang et al. 2012).

در طی این مراحل میزان گاز خروجی از منفذ مزبور به وسیله جریان‌سنج اندازه‌گیری می‌شود. لازم به ذکر است در حین این آزمایش بارهای تک‌محوره بر روی نمونه‌ها اعمال می‌شود (Zhang et al. 2012). شکل ۷ اجزای دستگاه اندازه‌گیری نفوذپذیری MFORR را نشان می‌دهد.

اجزای MFORR با توجه به نوع آزمون قابل تعویض است. تمام اجزای این دستگاه در یک قاب اصلی شامل یک ساختار فولادی محکم است که محفظه فشار و یک اتصال‌دهنده محوری در آن قرار دارد. محفظه فشار گاز یک منشور مستطیل توخالی است (Lingard et al. 1984).

برای انجام آزمون نفوذپذیری از نمونه‌هایی با قطر ۵۰ میلی‌متر استفاده شد که این نمونه‌ها بین صفحات بارگذاری قرار گرفتند. بار محوری از طریق یک دستگاه گشتاور به نمونه‌های زغال‌سنگ اعمال شد. تغییرات در ابعاد محوری و جانبی نمونه‌ها با توجه به میزان جذب گاز به وسیله فشارسنج مورد بررسی قرار گرفتند.

اشتعال‌زا که از لایه‌های زغال متصاعد می‌شود و تمرکز اصلی آن در کارگاه‌های استخراج و جبهه‌کارهای پیشروی است. با عمیق‌تر شدن لایه‌ها میزان متان به ویژه در حین عملیات معدن‌کاری مشکلات عدیده‌ای را سبب می‌شود. گاززدایی متان از لایه‌های زغال‌سنگ مهم‌ترین و جدیدترین روش عملی برای مقابله با خطر انفجار ناشی از حضور گاز متان است. از طرفی به دلیل روند رو به رشد و افزایش نیاز کشور به انرژی و اهمیت یافتن منابع جایگزین برای نفت و گاز متعارف، ضروری است که به امکان‌سنجی و اولویت‌بندی استحصال این منبع بالقوه انرژی در کشور پرداخته شود. تحقیق و اولویت‌بندی مناطق مستعد گاززدایی، برای استفاده از این فناوری نوین در حوضه‌های زغالی کشور، موضوع جدیدی بوده که در ابتدا باید یکی از اصلی‌ترین پارامترهای زغال که نفوذپذیری آن نسبت به گازهای مختلف است را به درستی شناخت.

سهولت عبور جریان سیال از داخل حفره‌های سنگ‌ها (زغال‌سنگ) را نفوذپذیری می‌نامند. مقدار نفوذپذیری به اندازه حفره‌ها، ویسکوزیته سیال و نیروی کششی که با کاهش اندازه دانه‌ها کم می‌شود، بستگی دارد. در واقع عواملی که بر تخلخل اولیه مؤثرند، در میزان نفوذپذیری نیز مؤثر هستند. نفوذپذیری را معمولاً با واحد داریسی بیان می‌کنند. یک داریسی عبارت است از نفوذپذیری که در آن یک مایع با غلظت یک سانتی‌متر در ثانیه تحت فشار یک اتمسفر بر سانتی‌متر عبور کند. کمترین میزان تراوایی لازم برای عمل گاززدایی لایه‌های زغال ۵ میلی داریسی است (Robert 2002).

### آزمایش نفوذپذیری

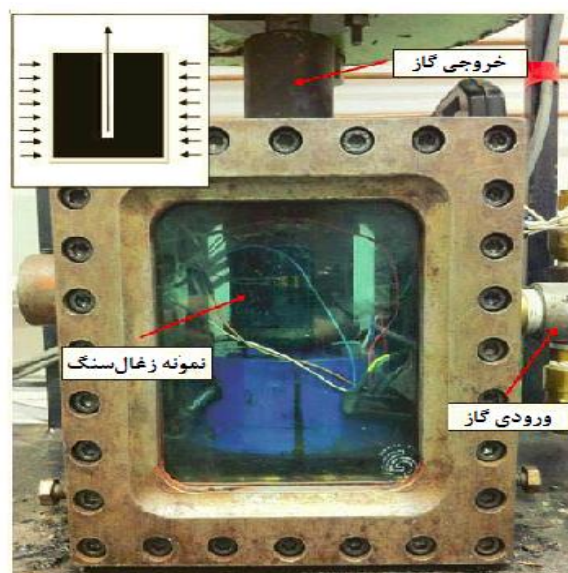
نمونه‌های مورد مطالعه در این تحقیق از مناطق پروده و طزره که شامل مجموعاً ۲۰ نمونه که تعداد ۱۰ نمونه از منطقه پروده و ۱۰ نمونه از منطقه طزره است جمع‌آوری و مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های جمع‌آوری شده از مناطق بکر و دست‌نخورده جمع‌آوری شدند و با قرار دادن نمونه‌ها در

<sup>1</sup> Multi Function Outburst Research Rig



نفوذ کند. جریان گاز آزاد شده از زغال‌سنگ، به وسیله یک سیستم اندازه‌گیری متشکل از یک حس‌گر فشار خلأ و جریان‌سنج اندازه‌گیری می‌شود.

در این روش ابتدا نمونه در محفظه فشار نصب می‌شود. پس از این که محفظه مهر و موم شد، هوای داخل محفظه از طریق سیستم تخلیه خارج می‌شود، سپس به جریان گاز از طریق یک سوراخ مرکزی اجازه داده می‌شود که در زغال‌سنگ



شکل ۷- اجزای دستگاه MFORR (Koenig and Schraufnagel 1987)

می‌آید. همچنین با افزایش عمر زغال‌سنگ، ریز درزه و کلیت‌های آن‌ها تحت تأثیر تنش‌های موجود بازتر شده نتیجتاً نفوذپذیری افزایش می‌یابد که با توجه به سن بالای زغال‌سنگ‌های ویتربنایت دار که بیشتر تحت تنش قرار گرفته‌اند نفوذپذیری آن‌ها نیز بیشتر است. انتشار گاز در زغال‌سنگ‌های با نفوذپذیری بالاتر، نرخ رهایش بالاتری دارد (Gamson and Beamish 1992).

برای بررسی نفوذپذیری نمونه‌های زغالی این دو منطقه، نفوذپذیری نمونه‌ها تحت بارگذاری تک‌محوره ثابت طبق جدول‌های ۲ و ۳ مورد بررسی قرار گرفت.

### نتایج آزمایش نفوذپذیری

در پدیده‌هایی همچون انفجار گاز و گاززدایی، نفوذپذیری نقش بسیار مهمی در تخمین فشار، توزیع تنش‌های کششی و میزان گازخیزی دارد. نفوذپذیری یکی از خواص مواد است که به صورت جریان سیال در نتیجه گرادیان فشار وارد بر جسم در امتداد سطح آن تعریف می‌شود. نفوذپذیری به طور معمول به توانایی لایه زغالی در انتقال گاز تحت تأثیر فشار آن اطلاق می‌شود (Lama et al. 1996). زغال‌سنگ به طور طبیعی دارای ناپیوستگی‌هایی است که این ناپیوستگی‌ها تأثیر زیادی بر نفوذپذیری آن دارد. از طرفی تنش‌های موجود در منطقه نیز، مؤثرترین فاکتور بر نفوذپذیری زغال‌سنگ به شمار

جدول ۲- نفوذپذیری (دارسی) نمونه‌های زغال‌سنگ پروده برای گاز زغال (متان) تحت بارگذاری محوری ثابت

فشار گاز (مگا پاسکال)	0.5	1.0	2.0	3.0
نمونه ۱	1.24E-04	1.03E-04	5.93E-05	4.97E-05
نمونه ۲	1.25E-04	1.03E-04	6.09E-05	4.91E-05
نمونه ۳	1.26E-04	1.03E-04	6.24E-05	4.88E-05
نمونه ۴	1.26E-04	8.99E-05	3.05E-04	4.26E-05
نمونه ۵	1.27E-04	7.68E-05	5.54E-04	3.62E-05
نمونه ۶	1.25E-04	9.64E-05	1.79E-04	3.72E-05
نمونه ۷	1.23E-04	1.03E-04	5.38E-05	3.17E-05
نمونه ۸	1.25E-04	8.99E-05	3.09E-04	4.22E-05
نمونه ۹	1.26E-04	1.03E-04	6.42E-05	4.82E-05
نمونه ۱۰	1.25E-04	9.65E-05	1.87E-04	4.52E-05
میانگین	1.252E-04	9.650E-05	1.835E-04	4.310E-05

جدول ۳- نفوذپذیری نمونه‌های زغال‌سنگ طزره برای گاز زغال (متان) تحت بارگذاری محوری ثابت

فشار گاز (مگا پاسکال)	0.5	1.0	2.0	3.0
نمونه ۱	1.27E-04	1.01E-04	1.89E-04	4.83E-05
نمونه ۲	1.26E-04	9.25E-05	6.45E-05	4.83E-05
نمونه ۳	1.25E-04	9.61E-05	1.89E-04	4.79E-05
نمونه ۴	1.23E-04	1.02E-04	5.35E-05	3.06E-05
نمونه ۵	1.27E-04	8.98E-05	3.07E-04	3.27E-05
نمونه ۶	1.21E-04	1.01E-04	6.15E-05	3.45E-05
نمونه ۷	1.15E-04	8.21E-05	5.98E-05	4.28E-05
نمونه ۸	1.20E-04	1.01E-04	6.13E-05	4.11E-05
نمونه ۹	9.65E-05	9.65E-05	5.44E-05	4.12E-05
نمونه ۱۰	1.10E-04	8.81E-05	5.65E-05	3.70E-05
میانگین	1.191E-04	9.500E-05	1.097E-04	4.040E-05

پروده است؛ لذا با توجه به وجود ویتربینایت و شکستگی‌های بیشتر در نمونه‌های زغال‌سنگ پروده میزان نفوذپذیری زغال‌سنگ‌های پروده بیشتر از زغال‌سنگ‌های طزره است.

#### نتیجه

انتشار گاز زغال‌سنگ پدیده‌ای است که به تدریج با افزایش عمق معادن استخراجی افزایش یافته است؛ لذا برنامه‌ریزی مؤثر در سیستم‌های گاززدایی زغال می‌تواند انتشار گاز

طبق نتایج به دست آمده مندرج در جداول بالا مشاهده می‌شود که در فشارهای مختلف گاز در محفظه فشار، نفوذپذیری نمونه زغال‌سنگ‌های پروده از نفوذپذیری نمونه زغال‌سنگ‌های طزره بیشتر است؛ که با توجه به نتایج پتروگرافی، نمونه زغال‌سنگ‌های پروده دارای پیریت و اینترینایت کم‌تر و ویتربینایت بیشتری نسبت به نمونه زغال‌سنگ‌های طزره هستند. همچنین میزان حفره‌ها و شکستگی‌ها در نمونه‌های زغال‌سنگ طزره کم‌تر از نمونه‌های

شاهرود، ص ۹-۱.

محمودی، خ.، س. ض.، شفایی، م. کارآموزیان، و م. ضیایی،  
۱۳۸۹، طبقه‌بندی زغال‌سنگ‌های البرز شرقی بر  
اساس ماسرال‌های موجود توسط روش آنالیز  
تصویری: چهاردهمین همایش انجمن  
زمین‌شناسی ایران، دانشگاه ارومیه، ص. ۶-۱

Bragin, N., S.A. Golubev, and B.V. Polianski, 1981,  
Paleogeography of main stage of Lower  
Mesozoic coal measures accumulations in  
Iran: *Litol. Polens. Iskop*, v. 1, p. 69-80.

Cui, X. and R. Busten, 2006, Controls of coal fabric on  
coalbed gas production and compositional  
shift in both field production and canister  
desorption tests: *SPE Journal*, v. 11, p. 111-  
119.

Dalla Torre, M., R.F. Mahlmann, and W.G. Ernst,  
1997, Experimental study on the pressure  
dependence of vitrinite maturation:  
*Geochimica Cosmochimica Acta*, v. 11, p.  
2921-2928.

Fursich, F. T., M. Wilmsen, K. Seyed-Emami, F.  
Cecca, and M. R. Majidifard, 2005, The  
upper Shemshak Formation (Toarcian-  
Aalenian) of the Eastern Alborz (Iran):  
Biota and palaeoenvironments during a  
transgressive-regressive cycle: *Facies*, v.  
51, p. 365-384.

Gamson, P. D. and B. B. Beamish, 1992, Coal type,  
microstructure and gas flow behaviour of  
Bowen Basin coals: Symposium on  
Coalbed Methane Research and  
Development in Australia, Coalseam Gas  
Research Institute - James Cook  
University, Townsville, 19-21 November,  
v. 4, p 43-64.

Hessley, R.K., J.W. Reasonerand, and J.T. Riley, 1986,  
*Coal Science: John Wiley and Sons, New  
York, 269 P.*

Koenig, R. A. and R. A. Schraufnagel, 1987,  
Application of the slug test in coalbed  
methane testing: International coalbed  
methane symposium, University of  
Alabama, Alabama, USA, p. 16-19.

Lama, R. D. and J. Bodziony, 1996, Outburst of Gas,  
Coal and Rock in Underground Coal Mines:  
Westonprint Pub., Kiama, NSW, Australia,  
499 P.

Lingard, P. S., H. R. Phillips, and I. D. Doig, 1984,  
Laboratory studies of the sorption  
characteristics and permeability of triaxially  
stressed coal samples: Proceeding 3rd Int,  
congress on mine ventilation, Harrogate, p.

زغال‌سنگ را کنترل نماید. بررسی نفوذپذیری زغال‌سنگ در  
برنامه‌ریزی یک سیستم گاززدایی یکی از مؤثرترین پارامترها  
است. ترکیب زغال‌سنگ یکی از عواملی است که نقش به  
سزایی در نفوذپذیری زغال‌سنگ دارد؛ بنابراین در این تحقیق،  
یک مطالعه آزمایشگاهی مبنی بر بررسی تأثیر ترکیب  
زغال‌سنگ در نفوذپذیری زغال‌سنگ انجام شد. طبق نتایج  
به‌دست آمده از این مطالعه و آزمون سنگ‌شناسی، نفوذپذیری  
زغال‌سنگ با افزایش ویترینیت افزایش می‌یابد، همچنین با  
افزایش مواد معدنی از قبیل پیریت و کربنات‌ها نفوذپذیری  
زغال‌سنگ کاهش می‌یابد زیرا حفره‌ها و درزه و شکاف‌ها با  
مواد معدنی پر می‌شود. طبق نتایج به‌دست آمده در این مقاله  
میزان ویترینیت در نمونه‌های زغال منطقه پروده بیش‌تر از  
منطقه طزره است، همچنین میزان ماده معدنی پیریت در  
نمونه‌های منطقه طزره بیش‌تر از منطقه پروده است؛ لذا  
نفوذپذیری نمونه‌های زغال‌سنگ منطقه پروده بیش‌تر از منطقه  
طزره است. از طرفی با توجه به نمودارهای نفوذپذیری، میزان  
نفوذپذیری زغال‌سنگ با افزایش تنش اعمال‌شده و فشار گاز،  
صرف‌نظر از نوع گاز کاهش می‌یابد.

## منابع

آقا نباتی، س.ع. و ع. حقی‌پور، ۱۹۷۸، نقشه زمین‌شناسی  
۱:۲۵۰۰۰۰۰ طبس، نقشه شماره ۱۷: سازمان

زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

آقا نباتی، ع.، ۱۳۸۸، فرهنگ چینه‌شناسی ایران، جلد دوم:

انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی

کشور.

رضوی ارمغانی، م. ب. و ح. معین‌السادات، ۱۳۷۲، زغال

سنگ: انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور

شیبانی صفت، م. و س. زارع مطلق، ۱۳۹۱، بررسی وضعیت

طراحی و بازیابی لنگه‌های زغالی در روش

استخراج اتاق و پایه معدن مرکزی پرورده طبس:

اولین کنگره ملی زغال‌سنگ، دانشگاه صنعتی

- and why": Norwest Mine Services, (www.ipec.utulsa.edu).
- Zhang, L., N. Aziz, T. Ren, J. Nemick, and Z. Wang, 2012, Permibility testing of coal under different triaxial conditions: Coal Operators Conference, University of Wollongong, Australia, p. 277-287.
- 143-150.
- Rice, D.D., 1993, Composition and origins of coalbed gas, chapter 7 of book: Hydrocarbon from coal, Study in Geology, v. 38, p. 159-184.
- Robert, M., 2002, "Coal bed methane (CBM) and mine methane (CMM) in North America where