

# ارزیابی اولیه حجم گاز متان تولید و ذخیره شده در رگه‌های زغالی سازند کلارینز (گروه شمشک) در منطقه گلندرود، البرز مرکزی

زیبا زمانی<sup>\*</sup>، محمدرضا کمالی، پوران نظریان سامانی و مریم میرشاهانی

پژوهشکده علوم زمین، پردیس پژوهش و توسعه صنایع بالادستی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۱۹

## چکیده

با افزایش جمعیت جهان و سطح استانداردهای زندگی و همچنین توسعه صنایع مختلف محلی، تقاضای جهانی استفاده از سوخت‌های فسیلی، به خصوص گاز، افزایش یافته است. لذا، با رو به کاهش نهادن ذخیره مخازن هیدروکربنی متعارف، اکتشاف و تولید از مخازن غیرمتعارف، نظیر، گاز زغال‌سنگ از نظر اقتصادی مقرون به صرفه شده است. با توجه به وجود منابع عظیم زغال‌سنگ در رسوبات تریاس بالایی-ژوراسیک میانی (گروه شمشک) در ایران که گستره عظیمی از شمال تا مرکز و شرق کشور را پوشش می‌دهد، مطالعه و ارزیابی این ذخایر از نظر گاززایی ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور در این مطالعه ذخایر زغال‌سنگ منطقه گلندرود در البرز مرکزی جهت ارزیابی اولیه حجم گاز تولید شده و ذخیره گاز درجا در نظر گرفته شد. جهت انجام این مطالعه آنالیزهای دقیق پیرولیز، آنالیز مستقیم و پتروگرافی آلی بر روی نمونه‌های زغالی منطقه، انجام شده و بر اساس نتایج به‌دست آمده و با استفاده از فرمول‌های تجربی، حجم گاز تولید شده و ذخیره شده در لایه‌های زغالی منطقه به‌دست آمد. آنالیزهای انجام شده نشان می‌دهد زغال‌سنگ موجود در منطقه از نظر ترکیب نوع هومیک (کروژن نوع III) بوده و ماسرال غالب تشکیل دهنده آن ویتترینیت می‌باشد که درجه بلوغ حرارتی مرحله کاتاژنز را نشان می‌دهد (انعکاس ویتترینیت بین ۰/۶ تا ۰/۸ درصد). بر این اساس زغال‌سنگ منطقه از نوع زغال‌سنگ بیتومینه با مواد فرار زیاد است که هیدروکربن اصلی تولید شده از آن گاز متان می‌باشد. همچنین محاسبات انجام شده بر اساس فرمول‌های تجربی نشان داد که مقدار گاز تولید شده از هر تن زغال‌سنگ بطور متوسط ۵/۲۲ متر مکعب و مقدار حجم ذخیره گاز در حدود ۰/۸۹ متر مکعب بر تن است و با توجه به حجم کل ذخیره زغال‌سنگ در منطقه گلندرود، مقدار حجم گاز متان تولید شده در حدود ۳۱۹ میلیون متر مکعب و گاز درجای لایه‌های ذغالی این ناحیه به بیش از ۵۴ میلیون متر مکعب می‌رسد.

کلمات کلیدی: زغال‌سنگ، گاز متان، گاز درجا، پتروگرافی آلی، ماسرال، بلوغ حرارتی

## مقدمه

مدت زمان طولانی است که لایه‌های زغالی به عنوان سنگ منشاء مهمی برای گاز طبیعی و گاهی هیدروکربن مایع شناخته شده‌اند. در سال‌های اخیر از یک طرف با کاهش حجم ذخایر هیدروکربنی متعارف و افزایش تقاضا و از طرفی افزایش قیمت گاز، تولید گاز از لایه‌های زغالی در جهان مقرون به صرفه شده و مورد توجه قرار گرفته است [۱].

متان تولید شده از لایه‌های زغالی<sup>۱</sup> یکی از منابع مهم هیدروکربنی غیرمتعارف در دنیا است. لایه‌های زغالی می‌توانند به عنوان یک سیستم نفتی کامل عمل نمایند، یعنی به عنوان سنگ منشاء، مخزن و پوش سنگ به حساب می‌آیند. از دهه ۱۷۰۰ میلادی که در انگلستان معدن‌کاری زغال‌سنگ در اعماق زمین صورت گرفت، انفجار این گاز به عنوان یکی از مخاطرات مهم معدن‌کاری زیرسطحی زغالسنگ مطرح گردید. در دهه ۱۸۰۰ برای اولین بار تولید و مصرف مستقیم از این گاز به منظور روشنایی خیابان‌های لندن در انگلستان صورت گرفت. در سال ۱۹۷۸، دولت آمریکا با وضع قانون جدید، پول بیشتری در اختیار شرکت‌هایی که در مورد مخازن گازی غیرمتعارف فعالیت داشتند قرار داد. همچنین در بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۲ به این شرکت‌ها اعتبار مالیاتی تعلق گرفت که همین امر سبب تولید و توسعه بیشتر این منابع و تکنولوژی‌های مرتبط با آنها شد، به طوری که در حال حاضر افزایش قیمت گاز و پیشرفت‌های فناوری در این زمینه، تولید از این مخازن را از نظر اقتصادی بسیار با صرفه کرده است [۲]. در حال حاضر کشورهایی نظیر آمریکا، روسیه، کانادا، چین، انگلستان، استرالیا، هند و اندونزی بطور گسترده از متان تولید شده از لایه‌های زغالی بهره‌برداری می‌کنند [۳].

با توجه به وجود مخازن متعارف هیدروکربن فراوان در کشورمان، تاکنون توجه خاصی جهت اکتشاف، ارزیابی و تولید گاز متان از لایه‌های زغال‌سنگ نشده است. لایه‌های زغال‌سنگ در ایران در

رسوبات تریاس و ژوراسیک زیرین تا میانی قرار دارند. این رسوبات زغالدار در برگیرنده واحدهای چینه‌شناسی محلی و ناحیه‌ای گسترده‌ای هستند که معمولاً با نام گروه شمشک شناخته می‌شوند. گروه شمشک در شمال، مرکز و شرق ایران گسترش داشته و در زون البرز و ایران مرکزی مورد بررسی قرار می‌گیرد. حجم ذخایر زغال‌سنگ در ایران بین ۱/۱ تا ۱۷ میلیارد تن تخمین زده شده است و از نظر بلوغ از درجه نیمه بیتومینه تا آنتراسیت و از نظر ترکیب از نوع هومیک است [۴]. در این میان زغال‌های بیتومینه غنی از ماسرال ویتروینیت، مخازن ایده‌آلی جهت تولید و تجمع گاز متان هستند [۳ و ۵]. با توجه به حجم ذخایر قابل توجه این منبع انرژی در کشور و شرایط مناسب آن جهت تولید گاز متان، مد نظر قرار دادن این منبع جدید انرژی و اکتشاف و ارزیابی آن می‌تواند مورد اهمیت باشد. لذا، این مطالعه به منظور ارزیابی اولیه حجم گاز متان تولید و ذخیره شده در بخش زغالدار گروه شمشک (سازند کلاریز) در منطقه گلندرود واقع در بخش شمالی البرز مرکزی که طبیعتاً زغال‌هایی گاززا می‌باشند [۶، ۷ و ۸] انجام شد.

## وضعیت زمین‌شناسی منطقه

رسوبات گروه شمشک با سن تریاس بالایی-ژوراسیک میانی یک واحد تخریبی با ضخامت بیش از ۴۰۰۰ m می‌باشد که در سراسر فلات ایران از شمال تا مرکز ایران گسترده شده است و به‌عنوان گروه زغالدار ایران شناخته می‌شود. این گروه بین دو ناپیوستگی اصلی قرار دارد که در زیر با پلاتفرم کربناته سازندهای الیکا و شتری و با کارستی شدن و رسوبات بوکسیتی مشخص می‌شود و در بالا با تغییر ناگهانی و مشخص رسوبات آواری به رسوبات سیستم پلاتفرم-حوضه کربناته ژوراسیک میانی-بالایی متمایز می‌گردد.

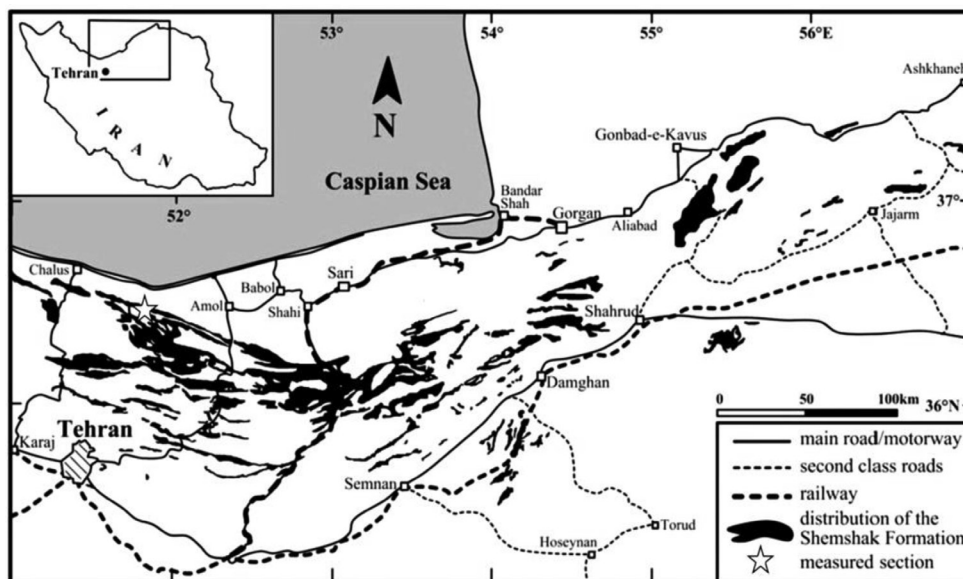
بر اساس مطالعات انجام شده دو کمربند رخساره‌ای اصلی شمالی و جنوبی که تقریباً در امتداد رشته کوه البرز قرار دارند، در گروه شمشک قابل تشخیص است [۱۲]. در کمربند شمالی که منطقه مورد مطالعه را در بر می‌گیرد، بخش تریاس گروه شمشک شامل سازندهای اکراسر دریایی نسبتاً عمیق در زیر است که با سازند لاله‌بند که محیط‌های قسمت انتهایی و جلویی دلتا<sup>۱</sup> را نشان می‌دهد پوشیده شده است (شکل ۲). بخش بالایی این مقطع توسط رسوبات زغالدار سازند کلاریز که مربوط به محیط رودخانه‌ای-دریاچه‌ای است پوشیده شده است (شکل ۲). رسوبات ژوراسیک گروه شمشک در کمربند رخساره‌ای بخش شمالی منحصرأ شامل سازند جواهرده می‌شود و حاوی رسوبات کنگلومرای درشت دانه مخروط افکنه و رودخانه‌ای بریده بریده است که به سمت جنوب به سازند آلاشت که شامل رسوبات رودخانه‌ای-دریاچه‌ای حاوی زغال است، تبدیل می‌گردد.

در توالی فوق‌الذکر، سازند کلاریز که به‌عنوان واحد اصلی مورد مطالعه در نظر گرفته شده است شامل ۳۵۰ m تناوب آرژیلیت، سیلتستون و ماسه‌سنگ با آثار گیاهی کربونیزه شده، لایه‌های نودول سیدریتی، افق‌های نازک ریشه گیاهان و رگه‌های زغالی در محدوده آرژیلیت‌های زغالی تا زغال خالص می‌باشد. ماسه‌سنگ‌های این سازند شامل ماسه‌هایی با دانه‌بندی ریز تا متوسط از نوع گریوک و چرت آرنایت می‌باشند و ساختمان‌های رسوبی مانند چینه‌بندی متقاطع، دانه‌بندی تدرجی، ریپل مارک‌های فلاسر و لایه‌بندی مورب در آن‌ها دیده می‌شود. این لایه‌ها نیز حاوی مقادیر قابل توجهی آثار گیاهی کربونیزه هستند. مطالعات رسوب‌شناسی انجام شده، حاکی از محیط رسوبی رودخانه‌ای-دلتایی برای سازند کلاریز در منطقه مورد مطالعه است [۶، ۱۲ و ۱۳].

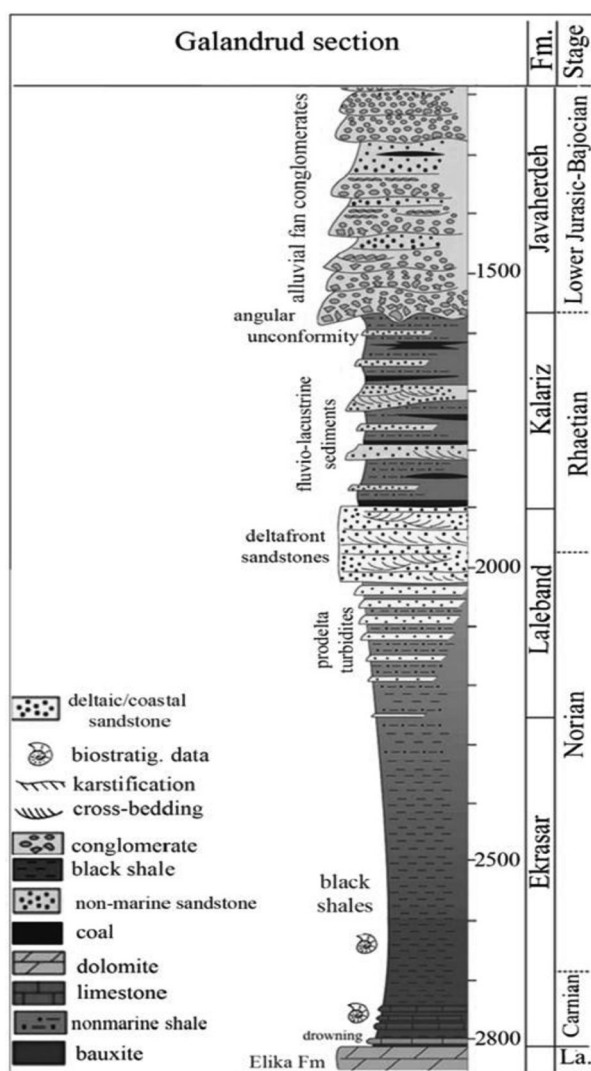
منطقه مورد مطالعه، ناحیه زغالدار گلندرود می‌باشد که در دامنه شمالی سلسله جبال البرز بین مدارات "۳۰"، "۳۶"، "۳۶"- "۳۰"، "۳۴"، "۳۶" عرض شمالی "۳۰"، "۵۶"، "۵۱"- "۳۰"، "۱۹"، "۵۱" طول شرقی، در ۲۰ کیلومتری جنوب شهر رویان (علمده سابق) قرار دارد (شکل ۱) و گسترش طولی رسوبات زغالدار آن حدود ۱۰۰ km می‌باشد [۹]. از لحاظ موقعیت زمین‌شناسی، منطقه گلندرود متعلق به بخش ایرانی-افغانی کمربند چین‌خورده تراستی آلپ-همالیاست و در واحد زمین‌شناسی-ساختمانی البرز، منطقه البرز مرکزی و زون گرگان-رشت قرار دارد. این زون حاشیه دریای خزر را در ساحل ایران محدود کرده و در شمال گسل البرز واقع شده است [۱۰].

رسوبات منطقه زغالدار گلندرود اکثراً شامل رسوبات کربناته تریاس (سازند الیکا) و کرتاسه (سازند تیز کوه) و رسوبات تخریبی گروه شمشک که حاوی زغال است، می‌باشد. به‌طور کلی مطالعات رسوب‌شناسی و چینه‌شناسی نشان می‌دهد که دریای تریاس با عمق نسبتاً کم بر روی رسوبات پرمین پیشروی داشته و رسوبات کربناته سازند الیکا (آهک و آهک دولومیتی) را برجای گذاشته است. در تریاس بالایی در اثر فاز کوهزایی کیمیرین قدیمی دریا پسروی کرد و یک دوره خشکی‌زایی حادث و باعث شد که قسمت اعظم ایران از آب خارج گردد و به‌صورت محیط مردابی-رودخانه‌ای درآید که نتیجه آن گسترش جنگل‌های انبوه در تریاس پایانی و اوایل ژوراسیک است [۱۱]. در ژوراسیک میانی دریا دوباره پیشروی کرد و رسوبات دریایی (رسوبات آمونیت‌دار) تدریجاً رسوبات زغالدار مردابی-رودخانه‌ای لیاس را پوشاند. پیشروی دریای ژوراسیک، تا ژوراسیک بالایی در اغلب نقاط ایران ادامه داشت و رسوبات کربناته نسبتاً عمیق دریایی را برجا گذاشته است (سازند دلیچای و لار) [۱۰].

1. Prodelta-delta Front



شکل ۱- نقشه پراکندگی رخنمون‌های گروه شمشک در منطقه البرز مرکزی و شرقی (Fürsich, ۲۰۰۹).

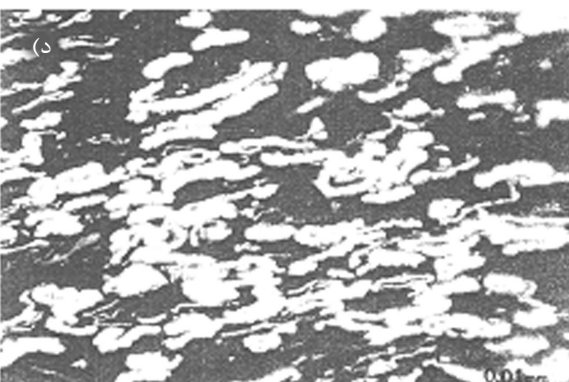


شکل ۲- ستون سنگ-چینه‌شناسی گروه شمشک و سازندهای تشکیل دهنده آن (اکراسر، لله‌بند، کلاریز و جواهرده) در منطقه گلندرود، واقع در البرز شمالی (Fürsich, ۲۰۰۹).

این سازند حداقل دارای ۳۰ رگه زغالی می‌باشد که اکثر رگه‌ها مرکب بوده و ضخامت متوسط آن‌ها ۰/۸ m و حداکثر ضخامت آن‌ها به ۷/۵ m می‌رسد (شکل ۳ الف). اکثر رگه‌های زغالی برجی می‌باشند که دلیل آن وجود افق‌های ریشه در کمر پایین و افق‌های رسوبی حاوی آثار برگ در کمر بالای رگه‌های زغالی می‌باشد. بعضی از رگه‌های شیلی یا ماسه‌سنگ‌های زغالی حاوی ۲۰-۴۰ درصد مواد کربونیزه شده گیاهی نابرجی می‌باشد [۶ و ۷]. آثار گیاهی موجود در رسوبات این بخش سن تریاس فوقانی (رسین)<sup>۱</sup> را مشخص می‌نماید [۱۳].

اولین مطالعات اکتشافی اصولی بر روی رسوبات زغالدار گلندرود در سال ۱۹۳۶ با ترانشه‌ها و تونل‌های کوتاه آغاز شد و بر این اساس ذخیره

احتمالی زغال حدود ۱۷۵ میلیون تن برآورد گردید [۹]. این مطالعات پس از انفجار معدن در سال ۱۹۴۶ متوقف شد. در سال ۱۹۶۹ مطالعات اکتشافی شرکت ملی فولاد ایران با همکاری شرکت تکنواسپرت روسیه آغاز و بر این اساس ذخیره احتمالی زغال حدود ۷۵ میلیون تن برآورد گردید که بعدها در سال ۱۹۹۳ به ۴۵/۳ میلیون تن رسید [۱۳]. جهت انجام این مطالعه نه تنها از رگه‌های زغالی (۱۳ رگه زغالی مختلف در طول سازند)، بلکه از رسوبات دانه‌ریز تیره رنگ غنی از ماده آلی نیز نمونه‌برداری شد و با به‌کارگیری آزمایش‌های مختلف از نظر کمی و کیفی مورد ارزیابی قرار گرفتند.



شکل ۳- تصویر نمونه‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی نمونه‌های زغالی منطقه گلندرود، (الف) رخنمون لایه‌های زغال‌سنگ با ضخامت بیش از یک متر که در بین لایه‌های ماسه‌سنگی-آرژیلی قرار دارد، (ب) نمونه دستی زغال‌سنگ براق از نوع لیتوتیپ کلارن، غنی از ماسرال ویتترینیت و دارای شکستگی<sup>۲</sup>، (ج) انواع ماسرال‌های مختلف موجود در زغال‌سنگ که در نور انعکاسی مطالعه شده‌اند که شامل ماسرال‌های گروه ویتترینیت (TV<sup>۳</sup>، GV<sup>۴</sup>)، اینرتینیت (F<sup>۵</sup>)، و لپتینیت (R<sup>۶</sup>) می‌باشند، (د) ماسرال‌های گروه لپتینیت (اسپورینیت) در نور ماوراءبنفش که از خود خاصیت فلئورسنس‌زایی به رنگ زرد نشان داده‌اند.

1. Rhaetian
2. Cleats
3. Tellovitrinite
4. Gelovitrinite
5. Fusinite
6. Resinite



## روش مطالعه

سنگ نیز در نور انعکاسی و فرا بنفش مطالعه و نوع ماده آلی (گروه‌های ماسرالی)، مقدار و درجه بلوغ آنها (درصد انعکاس ویتترینیت) مشخص شد. میکروسکوپ مورد استفاده در این مطالعه میکروسکوپ مدل Leitz-MPV SP است که انعکاس ویتترینیت را در روغن امرسیون و با استفاده از سیستم کامپیوتری و نرم‌افزار MPV GEOR به‌طور خودکار محاسبه و مقادیر انعکاس را اندازه‌گیری کرده و با دقت ۰/۰۰۱ درصد ثبت می‌کند. همچنین بر روی ۱۳ نمونه زغالسنگ علاوه بر مطالعات پتروگرافی فوق‌الذکر، آنالیزهای عنصری جهت تعیین درصد وزنی عناصر کربن، هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن و آنالیز مستقیم<sup>۳</sup> جهت تعیین درصد وزنی رطوبت<sup>۴</sup>، خاکستر<sup>۵</sup>، مواد فرار<sup>۶</sup> و کربن ثابت<sup>۷</sup> انجام شده است (جدول ۱) [۱۳].

به منظور تخمین مقدار گاز متان تولید شده و جذب شده در رگه‌های زغالی منطقه بر اساس نتایج به‌دست آمده از آنالیزهای فوق‌الذکر به ترتیب از فرمول‌های تجربی Meisner (۱۹۸۴) و Kim (۱۹۷۷) استفاده شد.

به منظور ارزیابی مواد آلی سنگ‌ها و لایه‌های زغالی سازند کلاریز در منطقه گلندرد در حدود ۹۳ نمونه از مغزه‌های حفاری‌های کم عمق (گمانه‌های شماره ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۲۰ و ۲۹)، تونل‌های معدن (تونل‌های شماره ۶، ۷ و ۸) و نمونه‌های تازه مقاطع سطح‌الارضی تیره (ترانسه‌های شماره ۱۰۸ و ۱۱۰) نمونه‌برداری گردید. این نمونه‌ها شامل ۱۳ نمونه زغال‌سنگ و ۸۰ نمونه سنگ دانه‌ریز تیره رنگ (شیل و رس سنگ) بودند که حاوی مقادیر بالای ماده آلی است.

جهت تعیین کیفیت و بلوغ حرارتی رسوبات، ۸۰ نمونه دانه ریز توسط دستگاه پیرولیز راک-اول<sup>۱</sup> نوع III مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس، بر اساس نتایج حاصل از پیرولیز، ۲۰ نمونه که دارای خصوصیات هیدروکربن‌زایی بهتری بودند جهت مطالعه پتروگرافی آلی انتخاب و پس از تخلیص، از کروژن آنها قرص صیقلی و اسلاید تهیه گردید. بر اساس مطالعه اسلایدها در نور عبوری، نوع، مقدار و درجه بلوغ ماده آلی<sup>۲</sup> آن‌ها مشخص شد. قرص‌های صیقلی تهیه شده از کروژن تخلیص شده و کل

جدول ۱- نتایج آنالیز عنصری و مطالعه پتروگرافی نمونه‌های زغالی منطقه گلندرد

شماره نمونه	عمق (m)	کربن (%wt)	اکسیژن (%wt)	هیدروژن (%wt)	نیتروژن (%wt)	نسبت اتمی		ویتترینیت (%Vol)	اینرتینیت (%Vol)	لیپتینیت (%Vol)	انعکاس ویتترینیت (%)
						H/C	O/C				
TN8-2	۶۰	۸۱/۳۹	۱۱/۳۸	۵/۵۸	۱/۱۷	۰/۸۲	۰/۱	۸۰	۱۶	۴	۰/۶
TN7-2	۴۰	۷۵/۹۶	۱۶/۳۶	۵/۵۵	۱/۴۵	۰/۸۷	۰/۱۶	۸۱	۱۳	۶	۰/۶۸
TN8-1	۱۱۳/۳	۸۰/۹۸	۱۱/۸۱	۵/۲۶	۱/۴۳	۰/۷۷	۰/۱۱	۶۹	۲۶	۵	۰/۶۸
BH17-1	۹۹/۹	۸۰/۷۵	۱۲/۲۱	۵/۳	۱/۲۸	۰/۷۸	۰/۱۱	۶۰	۳۴	۶	۰/۶۹
TN7-1	۹۷/۳	۸۰/۸۹	۱۲/۲۷	۴/۷۵	۱/۳۹	۰/۷	۰/۱۱	۵۳	۴۰	۷	۰/۷۱
IN108-1	۷	۷۵/۴۲	۱۸/۴۲	۴/۳	۱/۳۷	۰/۶۸	۰/۱۸	۷۷	۱۶	۷	۰/۷۳
BH14-1	۴۴/۲	۸۰/۲۵	۱۱/۹۸	۵/۶۵	۱/۵۲	۰/۸۴	۰/۱۱	۸۹	۲	۹	۰/۷۳
TN6-1	۱۳۰	۸۱/۳۱	۱۱/۷	۵/۱۵	۱/۳۴	۰/۷۵	۰/۱۱	۷۳	۲۰	۷	۰/۷۵
BH16-3	۳۱۸/۵۵	۸۲/۲۲	۱۰/۶۲	۵/۲۶	۱/۳۵	۰/۷۶	۰/۱	۵۸	۳۰	۱۲	۰/۷۷
BH12-5	۲۹۰/۴	۸۰/۷۷	۱۱/۸	۵/۲۵	۱/۶۳	۰/۷۷	۰/۱۱	۷۲	۱۵	۱۳	۰/۷۷
BH-17-3	۱۷۲	۸۱/۷۱	۱۱/۱۱	۵/۱۳	۱/۲۷	۰/۷۵	۰/۱	۵۸	۳۴	۸	۰/۷۸
BH18-2	۳۴۷/۸۵	۸۲/۱۱	۱۰/۷	۵/۳	۱/۱۳	۰/۷۷	۰/۱	۹۰	۲	۸	۰/۷۹
IN110-1	۳۰	۸۰/۸۶	۱۲/۴	۴/۸	۱/۳۳	۰/۷۱	۰/۱۲	۸۷	۳	۱۰	۰/۸

1. Rock- eval Pyrolysis
2. Thermal Alteration Index
3. Proximate Analysis
4. Moisture
5. Ash
6. Volatile matter
7. Fixed carbon

مطابق با این فرمول، می‌توان گفت وقتی مقدار کل مواد فرار از ۳۷/۸ درصد وزنی کمتر شود، حجم اصلی ماده فرار را گاز متان به خود اختصاص می‌دهد و از این مرحله به بعد مقدار تولید آن به صورت نمایی<sup>۴</sup> افزایش می‌یابد. حجم گاز تولید شده بر اساس این فرمول تحت شرایط استاندارد دما و فشار یعنی دمای °C ۲۰ و فشار ۱ atm می‌باشد. البته اصول سینتیکی نشان می‌دهد مقداری گاز متان حرارتی در درجات بلوغ کمتر با مواد فرار بیشتر نیز می‌تواند تولید شود [۱۵، ۱۷]. مقدار گاز متان تولید شده از نمونه‌های مختلف در جدول ۲ آورده شده است.

### تخمین مقدار گاز متان جذب شده از رگه‌های زغالی

گاز تولید شده در طی مراحل مختلف زغالی شدن، به سه صورت در لایه‌های زغالی که به عنوان سنگ مخزن نیز عمل می‌نمایند، می‌تواند ذخیره شود؛ ۱- گاز جذب شده در سطح<sup>۵</sup> و داخل ساختمان<sup>۶</sup> زغال سنگ، ۲- گاز آزاد در خلل و فرج و شکستگی‌های زغال سنگ و ۳- گاز حل شده در مایعات موجود در سازند. در بین این گازها، گاز جذب شده سهم بسیار قابل توجهی را به خود اختصاص می‌دهد [۱۸، ۱۹ و ۲۰].

بر اساس مطالعات انجام شده، مقدار گاز جذب شده در زغال سنگ به عوامل مختلفی بستگی دارد که در بین این عوامل مقدار ماده آلی موجود در زغال و ضخامت لایه‌های زغالی، مهمترین عامل بوده و با مقدار جذب گاز رابطه مستقیم دارند. البته نوع ماده آلی نیز مهم می‌باشد، مثلاً در زغال سنگ‌ها با افزایش محتوای ویتترینیت مقدار گاز جذب شده بیشتر و با افزایش مقدار اینترینیت کاهش می‌یابد [۱۶، ۱۹ و ۲۰]. از دیگر عوامل مهم موثر در جذب گاز، عوامل ترمودینامیکی حرارت و فشار است. با افزایش فشار، ظرفیت جذب گاز افزایش ولی با افزایش دما کاهش می‌یابد [۱۵ و ۱۸]. البته به نظر می‌رسد که حساسیت ظرفیت جذب با تغییرات دما و افزایش بلوغ ماده آلی کم می‌شود [۲۰ و ۲۱].

### تخمین مقدار گاز متان تولید شده از رگه‌های زغالی

زغال سنگ از پیت، یعنی تجمع رسوبات آلی منشاء گرفته از گیاهان، در مراحل مختلف تدفین و فرآیندهایی تحت عنوان مراحل زغالی شدن<sup>۱</sup> تشکیل می‌شود. آغاز کننده مرحله زغالی شدن، تجزیه بیوشیمیایی مواد آلی است، اما با افزایش عمق تدفین، دما و فشار زیاد شده و باعث ادامه تغییرات فیزیکوشیمیایی در زغال می‌شود و زغال با درجات بلوغ مختلف را بوجود می‌آورد. این تغییرات شامل افزایش ارزش حرارتی و کربن ثابت و کاهش مواد فرار و رطوبت زغال می‌شود، البته این تغییرات با زمان زمین‌شناسی نیز در ارتباط می‌باشند [۱۴]. همراه با این تغییرات، مواد فراری مانند آب، گاز دی‌اکسید کربن و متان آزاد می‌گردد [۱۵]. بیشترین گاز متان تولیدی، گاز حرارتی مربوط به زغال سنگ بیتومینه می‌باشد [۳، ۵ و ۱۵]. مرحله تولید حرارتی گاز طبیعی که نتیجه تبخیر یا از دست رفتن مواد فرار لایه‌های زغالی<sup>۲</sup> است، از درجه زغال بیتومینه با مواد فرار زیاد شروع شده و با افزایش درجه بلوغ زغال بیشتر می‌گردد [۱۶].

تولید گاز متان به مقدار حرارت، فشار، ضخامت و ترکیب رگه‌های زغالی (مقدار گروه‌های ماسرالی مختلف) بستگی دارد [۷، ۱۵ و ۱۶]. انجام آنالیز مستقیم زغال به تعیین نوع و بلوغ زغال سنگ کمک می‌کند و ارزیابی اولیه گاز تولید شده از زغال سنگ در یک ناحیه بر اساس پارامترهای آن می‌تواند انجام شود. بر اساس این پارامترها افراد مختلف، فرمول‌های متفاوتی جهت ارزیابی گاز تولید شده از رگه‌های زغالی به دست آورده‌اند. Meisner در سال ۱۹۸۴ مشاهده کرد که مقدار گاز متان تولید شده (VCH<sub>4</sub>) از زغال‌های هومیک (بر حسب متر مکعب) به مقدار درصد مواد فرار (VM) (محاسبه شده بر روی نمونه‌های خشک بدون خاکستر<sup>۳</sup>) وابسته است و از طریق فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$VCH_4 = -325.6 \times \log \left( \frac{VM}{37.8} \right) \quad (1)$$

1. Coalification  
2. Devolatilization  
3. Dry Ash Free  
4. Exponentially  
5. Adsorbed  
6. Absorbed

جدول ۲- نتایج آنالیز مستقیم نمونه‌های زغالی و حجم گاز متان تولید شده بر اساس فرمول تجربی (Meisner, 1984) (\*: نمونه خشک و بدون خاکستر).

شماره نمونه	رطوبت (%wt)	خاکستر (%wt)	مواد فرار* (%wt)	کربن ثابت (%wt)	حجم گاز متان تولید شده (m <sup>3</sup> /t)
TN8-2	۱/۹۶	۲/۲۲	۴۲/۹۸	۵۲/۸۴	-
TN7-2	۱/۹۹	۲۶/۸۶	۴۱/۴۱	۲۹/۷۴	-
TN8-1	۱/۹۸	۵/۶۳	۳۹/۳۲	۵۳/۰۷	-
BH17-1	۱/۵۹	۱۰/۳۱	۴۰/۳۵	۴۷/۷۵	-
TN7-1	۲/۲۳	۹/۶۶	۳۳/۷۶	۵۴/۳۵	۱۵/۹۸
IN108-1	۶/۸۶	۸/۵۵	۳۶/۷۲	۴۷/۸۷	۴/۱۰
BH14-1	۲/۰۷	۱۲/۲۷	۳۷/۴۱	۴۸/۲۵	۱/۴۷
TN6-1	۱/۹۴	۱۲/۵۹	۳۷/۱۸	۴۸/۲۹	۲/۳۴
BH16-3	۱/۸۲	۱۰/۹۱	۳۶/۴۵	۵۰/۸۲	۵/۱۴
BH12-5	۱/۹۹	۷/۸۸	۳۸/۲۹	۵۱/۸۴	-
BH-17-3	۱/۷۷	۷/۳۳	۳۶/۰۳	۵۴/۸۷	۶/۷۸
BH18-2	۱/۵۱	۶/۰۶	۴۰/۱۱	۵۲/۳۲	-
IN110-1	۲/۸۵	۴/۰۷	۳۷/۶	۵۵/۴۸	۰/۷۵

فرمول‌های تجربی و آزمایشگاهی استفاده می‌شود. در این مطالعه از فرمول تجربی Kim (۱۹۷۷) که تقریباً تاثیر کلیه عوامل فوق‌الذکر در جذب گاز متان را در فرمول خود منظور نموده است، استفاده شد. این فرمول که مقدار ارتباط بین حجم گاز جذب شده با فشار و حرارت بر اساس رطوبت و محتوای خاکستر نمونه‌های زغالی را در نظر گرفته است، به صورت زیر می‌باشد:

$$V = \left[ \frac{(100-M-A)}{100} \right] \times \frac{V_w}{V_d} [K(P)^N b \times T] \quad (2)$$

در این فرمول؛

$$V = \text{حجم گاز متان جذب شده (cc/gr)}$$

$$M = \text{محتوای رطوبت زغال سنگ (\%)}$$

$$A = \text{محتوای خاکستر زغال سنگ (\%)}$$

$$\frac{V_w}{V_d} = \frac{1}{(0.25 \times M + 1)} \quad (3)$$

$$V_w = \text{حجم گاز جذب شده بر روی زغال مرطوب (cc/gr)}$$

$$V_d = \text{حجم گاز جذب شده بر روی زغال خشک (cc/gr)}$$

$$K = 0.8 \left( \frac{FC}{VM} \right) + 5.6 \quad (4)$$

به نظر می‌رسد درجه بلوغ ماده آلی تاثیر مهمی بر روی مقدار کل گاز جذب شده ندارد [۱۹]. این مسئله شاید به دلیل افزایش تخلخل‌های ریز (میکرو و مزو تخلخل‌ها) و کاهش رطوبت در درجه بلوغ بالاتر در زغال سنگ باشد [۲۰]. همچنین رطوبت با اشغال سطوح و تخلخل‌های زغال سنگ، پتانسیل جذب گاز زغال سنگ را به طور چشمگیری کاهش می‌دهد. لذا، با افزایش بلوغ مقدار رطوبت زغال سنگ کاهش و در نتیجه مقدار جذب سطحی گاز زیاد می‌شود [۵، ۱۵ و ۱۸]، البته این افزایش به صورت ثابت و خطی نیست [۲۲].

امکان دارد در خاکستر همراه با زغال سنگ (بخش معدنی)، مقدار قابل توجهی کانی رسی موجود باشد. کانی‌های رسی با توجه به سطح قابل توجهی که دارند می‌توانند به عنوان جاذب گاز عمل نمایند ولی هرگز ظرفیت جذب آنها با ظرفیت جذب مواد آلی قابل مقایسه نخواهد بود [۲۳]. به منظور تعیین مقدار گاز جذب شده در لایه‌های زغالی از روش‌های مختلفی مانند استفاده از منحنی‌های هم‌دما<sup>۱</sup> بر اساس تئوری لانگ‌مویر<sup>۲</sup> [۱۹] و یا

1. Isotherm

2. Langmuir Theory



گرادیان حرارتی منطقه مورد مطالعه در حدود  $35^{\circ}\text{C}/\text{km}$  می‌باشد [۲۴]. مقدار گاز جذب شده به‌دست آمده بر اساس فرمول ۲ برای نمونه‌های مختلف، در جدول ۳ ذکر شده است.

### نتایج و بحث

نتایج پیرولیز راک-اول نمونه‌های رسوبی دانه ریز سازند کلاریز در ناحیه گلندرود بیانگر وجود مواد آلی فراوان (بعضاً تا بیش از ۳۸ درصد وزنی کربن آلی) می‌باشد [۶]. این مواد آلی غالباً کروژن نوع III بوده ولی در تعدادی از نمونه‌ها کروژن نوع IV نیز دیده می‌شود (شکل‌های ۴ و ۵).  $T_{\max}$  نمونه‌ها اکثراً بین  $435^{\circ}\text{C}$  تا  $450^{\circ}\text{C}$  را نشان می‌دهند، لذا از نظر بلوغ حرارتی این مواد آلی در اوایل پنجره نفت‌زایی (اوایل مرحله کاتازنز) قرار دارند [۲۴]. نتایج به‌دست آمده از آنالیز عنصری نمونه‌های زغالی نیز این نوع کروژن و درجه بلوغ ماده آلی را تایید می‌نماید (شکل ۶). با توجه به اینکه بیش از ۹۰ درصد نمونه‌ها دارای اندیس هیدروژن<sup>۲</sup> کمتر از ۱۵۰ میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم مواد آلی هستند، بنابراین هیدروکربن اصلی تولید شده از این رسوبات از نوع گازی است [۲۴].

**جدول ۳-** پارامترهای ارزیابی حجم گاز ذخیره شده (جذب شده سطحی) و حجم گاز متان جذب شده بر اساس فرمول تجربی Kim (۱۹۷۷)

شماره نمونه	Vw/Vd	K	N	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	P (atm)	حجم گاز متان جذب شده ( $\text{m}^3/\text{t}$ )
TN8-2	۰/۶۷	۶/۵۸	۰/۳	۱۷/۱	۵/۷۶	۰/۷۲
TN7-2	۰/۶۷	۶/۱۷	۰/۳۱	۱۶/۴	۳/۸۴	۰/۴۴
TN8-1	۰/۶۷	۶/۶۸	۰/۳	۱۸/۹۷	۱۰/۸۸	۰/۹۵
BH17-1	۰/۷۲	۶/۵۵	۰/۳	۱۸/۵	۹/۵۹	۰/۸۳
TN7-1	۰/۶۴	۶/۸۹	۰/۳	۱۸/۴۱	۹/۳۴	۱/۰۲
IN108-1	۰/۳۷	۶/۶۴	۰/۳	۱۵/۲۵	۰/۶۷	۰/۳۱
BH14-1	۰/۶۶	۶/۶۳	۰/۳	۱۶/۵۵	۴/۲۴	۰/۶۶
TN6-1	۰/۶۷	۶/۶۴	۰/۳	۱۹/۵۵	۱۲/۴۸	۰/۹۶
BH16-3	۰/۶۹	۶/۷۲	۰/۳	۲۶/۱۵	۳۰/۵۸	۱/۳۲
BH12-5	۰/۶۷	۶/۶۸	۰/۳	۲۵/۱۶	۲۷/۸۸	۱/۲۶
BH-17-3	۰/۶۹	۶/۸۲	۰/۳	۲۱/۰۲	۱۶/۵۱	۱/۱۷
BH18-2	۰/۷۳	۶/۶۴	۰/۳	۲۷/۱۷	۳۳/۳۹	۱/۳
IN110-1	۰/۵۸	۶/۷۸	۰/۳	۱۶/۰۵	۲/۸۸	۰/۶۳

- Total Organic Carbon
- Hydrogen Index

FC = مقدار کربن ثابت (%)

VM = مقدار مواد فرار (%)

فشار رگه‌های زغالی معادل فشار هیدرواستاتیک آن‌ها و بر حسب اتمسفر در نظر گرفته شده و بر اساس فرمول زیر به‌دست می‌آید:

$$P_{\text{hyd}} = 0.096 \times h \quad (5)$$

N، مقدار عددی ثابتی است که بستگی به ترکیب زغال دارد و برای زغال‌های بیتومینه برابر است با؛

$$N = 0.39 - 0.013 \times K \quad (6)$$

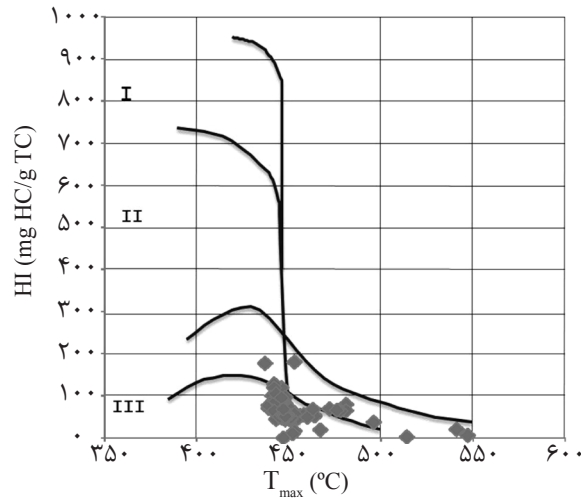
b = ثابت جذب ناشی از تغییرات درجه حرارت ( $\text{cc}/\text{gr}/^{\circ}\text{C}$ ) است و برای زغال‌های ساب بیتومینه تا آنتراسیت به‌طور متوسط مقدار عددی ۰/۱۴ در نظر گرفته می‌شود.

$$T = 2.5 \times \frac{h}{100 + T_0} \quad (7)$$

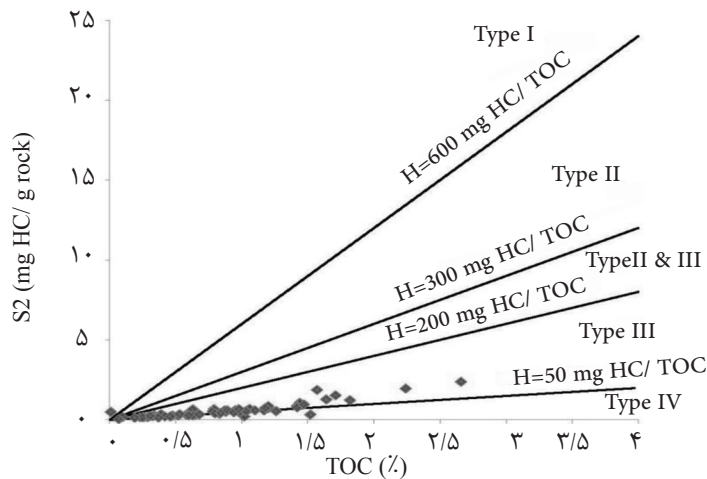
T = درجه حرارت در عمق مربوط ( $^{\circ}\text{C}$ )، عمق نمونه یا رگه (زغالی)

$T_0$  = حرارت سطحی زمین (برای منطقه مورد مطالعه دمای متوسط سطح زمین  $15^{\circ}\text{C}$  است).

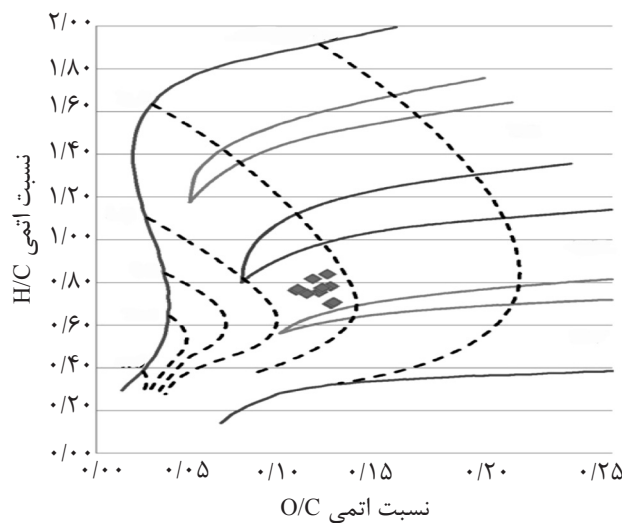
h = عمق (m)



شکل ۴- نمودار HI در مقابل  $T_{max}$  نمونه سنگ‌های دانه ریز سازند کلاریز. بر اساس این نمودار اکثر نمونه‌ها درجه بلوغ حرارتی مرحله کاتائز و کروژن نوع III-IV را مشخص می‌نمایند و بر اساس مقدار HI که در اکثر نمونه‌ها کمتر از ۱۵۰ می‌باشد، نوع هیدروکربن اصلی تولید شده، گاز است.



شکل ۵- نمودار S2 در مقابل TOC نمونه سنگ‌های دانه ریز سازند کلاریز که نشان دهنده کروژن نوع III-IV است.



شکل ۶- نمودار نسبت اتمی H/C در مقابل O/C (Van Krevelen diagram) نمونه‌های زغالی سازند کلاریز در منطقه گلندرود. بر اساس این نمودار اکثر نمونه‌های زغالی کروژن نوع III بوده (زغال سنگ نوع هومیک) و درجه بلوغ حرارتی مرحله کاتائز-اوایل پنجره نفت‌زایی را مشخص می‌نمایند

نتایج حاصل از فرمول ۱ نشان می‌دهد که مقدار حجم متان تولید شده در رگه‌های زغالی منطقه در نمونه‌هایی که دارای مقادیر مواد فرار کمتر از  $37/8$  درصد وزنی هستند از  $0/75$  تا  $15/98$  مترمکعب گاز متان بر هر تن زغال سنگ متغیر است (جدول ۲) و مقدار متوسط آن برابر  $5/2$  واحد می‌باشد. همان‌گونه که قبلاً نیز ذکر شد عوامل مختلفی نظیر درجه بلوغ حرارتی زغال، ترکیب آن و عمق تدفین (حرارت و فشار) در حجم گاز متان تولید شده تاثیر دارند، ولی در این فرمول تغییرات مقدار مواد فرار به‌عنوان نماینده عوامل فوق در نظر گرفته شده است. ولی باید در نظر داشت که شاید مقدار عددی  $37/8$  مواد فرار به‌عنوان آستانه شروع تولید گاز متان حرارتی شاخص مناسبی نباشد، چه بسا اصول سینتیکی نشان می‌دهد مقداری گاز در زغال‌سنگ‌های با مواد فرار بیشتر هم تولید شده است [۱۵]. علاوه‌براین، با توجه به این که انرژی فعال‌سازی<sup>۷</sup> مورد نیاز برای شکستن حرارتی کروژن نوع III اصولاً از کروژن‌های نوع I و II کمتر است، مقدار گاز حرارتی تولید شده در درجه بلوغی معادل  $0/6$  تا  $0/8$  انعکاس ویتترینیت (قبل از رسیدن به زون اصلی تولید گاز حرارتی) بسیار زیاد است و از این لحاظ می‌توان این رسوبات را با سنگ منشاء مخازن عظیم گازی موجود در غرب سیبری مقایسه نمود [۱۷]. از طرفی مقدار گاز متان محاسبه شده از این فرمول در شرایط حرارت و فشار استاندارد می‌باشد، در صورتی که مقدار واقعی آن در زیر سطح زمین که دما و فشار بالاتر است، می‌تواند بیشتر باشد.

بر اساس فرمول شماره ۲ ظرفیت جذب گاز متان زغال‌سنگ‌های منطقه از  $0/31$  تا  $1/32$  متر مکعب گاز بر تن زغال سنگ متغیر است (جدول ۳) و مقدار متوسط عددی  $0/89$  را برای رگه‌های زغالی منطقه نشان می‌دهد. این گاز اکثراً روی سطح میکرو تخلخل‌های

مطالعات پتروگرافی زغال‌سنگ‌ها و مواد آلی تخلیص شده از سنگ نشان می‌دهد که ماسرال اصلی تشکیل دهنده مواد آلی، ماسرال‌های گروه ویتترینیت می‌باشند (۵۳ تا ۹۰ درصد حجمی) و ماسرال‌های اینرتینیت (۲ تا ۴۰ درصد حجمی) و لپتینیت (۴ تا ۱۳ درصد حجمی) مقادیر کمتری را به خود اختصاص می‌دهند (جدول ۱ و شکل‌های ۳ ج و ۳ د). لذا، میکرولیتوتیپ نمونه‌های مورد مطالعه اغلب از گروه سه ماسرالی<sup>۱</sup> بوده و نوع دوروکلاریت<sup>۲</sup> را که غنی از ماسرال ویتترینیت است مشخص می‌نمایند. این خصوصیت یعنی غنی بودن از ماسرال‌های ویتترینیت، در لیتوتیپ<sup>۳</sup> زغال‌های نمونه دستی نیز مشخص بوده و اغلب زغال‌های لیتوتیپ نوع کلارن<sup>۴</sup> را مشخص می‌نماید (شکل ۳ ب). این لیتوتیپ در شکل ظاهری دارای جلای درخشان است و دارای نوارهای بین لایه‌ای نازک مات می‌باشد [۲۵ و ۲۶]. درصد انعکاس ویتترینیت نمونه‌ها مقادیر بین  $0/6$  تا  $0/8$  درصد و شاخص بلوغ حرارتی، مقادیر بین  $2+$  تا  $3-$  را مشخص می‌نمایند. ماسرال‌های گروه لپتینیت (اسپورنیت و رزینیت) در نور فرابنفش رنگ کم رنگ تا پر رنگ داشته (شکل ۳ د) و فلورسنس زایی آنها در یک دوره زمانی ۳۰ دقیقه‌ای تحول منفی نشان می‌دهد. نتایج حاصل از شاخص‌های درجه بلوغ به‌دست آمده از پتروگرافی، نتایج به‌دست آمده از پیرولیز را تایید نموده و درجه بلوغ مواد آلی را در حد اوایل مرحله کاتازنز نشان می‌دهد. از طرفی با توجه به اینکه زغال‌سنگ‌های مورد مطالعه از ماسرال‌های گروه ویتترینیت غنی هستند، هیدروکربن اصلی تولید شده از آنها گاز می‌باشد [۲۷]. کلیه نتایج فوق‌الذکر حاکی از این است که زغال‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه از نظر ترکیب در دسته زغال‌سنگ‌های نوع هومیک<sup>۵</sup> قرار داشته و درجه بلوغ آنها زغال سنگ بیتومینه با مواد فرار بالا<sup>۶</sup> را مشخص می‌نماید که در رده بهترین زغال‌ها از نظر تولید و ذخیره گاز متان می‌باشند [۳، ۵، ۱۶، ۱۹ و ۲۰].

1. Trimaceralic  
2. Duroclarite  
3. Lithotype  
4. Clarin  
5. Humic  
6. High Volatile Bituminous  
7. Activation Energy

حجم گاز تولید شده از رگه‌های زغالی در حدود ۳۱۹ میلیون متر مکعب و حجم گاز ذخیره شده در آنها در حدود ۵۴ میلیون متر مکعب خواهد بود.

### نتیجه‌گیری

اهمیت یافتن مخازن هیدروکربنی نامتعارف از جمله گاز متان لایه‌های زغالی در دهه‌های اخیر از یک طرف و وجود ذخایر عظیم و گسترده زغال‌سنگ در کشورمان از طرفی دیگر، دلیلی بر مطالعه اولیه و ارزیابی توان تولید و ذخیره متان در یکی از مناطق زغالدار ایران، یعنی منطقه گلندرود در بخش شمالی البرز مرکزی گردید.

بر اساس مطالعات انجام شده مشخص گردید که زغال‌سنگ این ناحیه از نوع زغال‌سنگ هومیک غنی از ماسرال‌های گروه ویتیرینیت (کروژن نوع III) و از نظر بلوغ حرارتی در اوایل پنجره نفت‌زایی (کاتازنز) قرار دارد و زغال‌سنگ نوع بیتومینه با مواد فرار بالا را مشخص می‌نماید. با این مشخصات، رگه‌های زغالی منطقه جزو زغال‌های مرغوب از نظر تولید و ذخیره گاز متان می‌باشند.

ارزیابی‌های انجام شده از مقدار تولید و ظرفیت جذب گاز متان رگه‌های زغالی بر اساس فرمول‌های تجربی، دید اولیه و کلی از حداقل‌های ذخیره گاز موجود در منطقه به ما می‌دهد. با توجه به اینکه گاز تولید و ذخیره شده در رگه‌های زغال‌سنگ نسبت مستقیم با عمق آنها دارند، و از طرفی در حدود ۹۰٪ منابع زغالی ایران در اعماقی قرار دارند که فعلاً معدن کاری آنها دارای صرفه اقتصادی نیست، باید انتظار حجم بیشتری از گاز متان در رگه‌های زغالی عمیق‌تر در منطقه را داشت. علاوه بر این، رسوبات تخریبی در بر گیرنده لایه‌های زغالی نیز دارای ظرفیت تولید گاز متان بالایی می‌باشند که به کل ذخیره گاز منطقه می‌افزاید. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که مقدار گاز متان

ماسرال ویتیرینیت که مقدار آن در زغال‌های با درجه بلوغ پایین‌تر بیشتر است، جذب شده‌اند [۵ و ۱۶]. البته باید توجه داشت که مقدار ظرفیت گاز متان جذب شده که از منحنی ایزوترم به‌دست می‌آید و به مقدار حقیقی نزدیک‌تر است، از مقدار به‌دست آمده از فرمول ۲ بیشتر می‌باشد [۵ و ۲۷]. لذا، اعداد به‌دست آمده در جدول ۳ حداقل مقدار جذب گاز زغال‌سنگ‌های منطقه را نشان می‌دهد. از طرفی اکثر نمونه‌های مورد مطالعه مربوط به مناطق نزدیک به سطح (کمتر از ۳۵۰ m) می‌باشند که از دما و فشار بالایی برخوردار نیستند. همان‌گونه که قبلاً نیز ذکر شد، از مهمترین عوامل ترمودینامیکی موثر در جذب گاز، حرارت و فشار است [۸ و ۲۰]، لذا باید در اعماق بیشتر ظرفیت جذب بیشتری را از این رگه‌های زغالی انتظار داشت. همچنین در نظر گرفتن این نکته که ۹۰٪ زغال‌سنگ‌های ایران در عمق زیاد (بیش از ۳۰۰ m) که از نظر معدن کاری مقرون به صرفه نیست) قرار دارند نتیجه‌گیری اخیر را تایید می‌نماید [۲۹].

مقایسه نتایج به‌دست آمده از فرمول ۱ و ۲ مویید این مسئله است که مقدار گاز متان تولید شده از رگه‌های زغالی منطقه گلندرود بیش از ظرفیت جذب گاز آن می‌باشد (جدول ۲ و ۳)، بنابراین انتظار می‌رود بخش قابل توجهی از گاز تولیدی پس از اشباع لایه‌های زغالی از آنها خارج شده و به لایه‌های رسوبی مجاور مهاجرت کرده باشد.

در صورتی که حجم توده زغالی منطقه را داشته باشیم (که از حاصل ضرب مساحت ناحیه مورد مطالعه در ضخامت رگه‌های زغالی و دانسیته زغال به‌دست می‌آید)، با ضرب آن در حجم مقدار گاز تولید یا جذب شده در هر تن زغال‌سنگ می‌توان مقدار کل حجم گاز متان تولید و ذخیره شده در منطقه را به‌دست آورد [۱۵ و ۳۰]. بر این اساس اگر حجم ذخیره زغال‌سنگ منطقه ۴۵/۳ میلیون تن باشد [۱۳] و دانسیته زغال بیتومینه با مواد فرار به‌طور متوسط ۱/۳۵ گرم بر میلی‌متر مکعب باشد،

$FC$ : مقدار کربن ثابت (%wt)  
 $h$ : عمق (m)  
 $M$ : محتوی رطوبت زغال سنگ (%wt)  
 $N$ : مقدار عددی ثابت  
 $T$ : درجه حرارت در عمق مربوطه ( $^{\circ}C$ )  
 $T_0$ : حرارت سطحی زمین ( $^{\circ}C$ )  
 $T_{max}$ : درجه حرارتی که در آن حداکثر هیدروکربن از ماده آلی پیرولیز شده تولید می شود ( $^{\circ}C$ )  
 $V$ : حجم گاز متان جذب شده (cc/gr)  
 $VCH_4$ : مقدار گاز متان تولید شده ( $m^3$ )  
 $Vd$ : حجم گاز جذب شده بر روی زغال خشک (cc/gr)  
 $VM$ : مقدار مواد فرار (%wt)  
 $Vw$ : حجم گاز جذب شده بر روی زغال مرطوب (cc/gr)

تولید شده از رگه های زغالی از ظرفیت حجم ذخیره آن بیشتر است، لذا به نظر می رسد رگه های زغالی از گاز متان اشباع بوده و مقادیر قابل توجهی از گاز به لایه های رسوبی و یا سازندهای مجاور مهاجرت کرده باشد. بنابراین شاید انتظار وجود مخازن گازی در ماسه سنگ ها، وجود شیل های گازی و حتی وجود مخازن گازی فشرده در بخش های عمیق تر حوضه دور از ذهن نباشد که همه این احتمالات، مطالعات بیشتر و دقیقتر ژئوشیمیایی، رسوب شناسی و تکوین حوضه رسوبی را می طلبد.

#### علائم و نشانه ها

$a$ : محتوای خاکستر زغال سنگ (%wt)  
 $b$ : ثابت جذب ناشی از تغییرات درجه حرارت ( $cc/gr/^{\circ}C$ )

#### مراجع

- [1]. Zou C., Zhu R., Tao S., Hou L., Yuan X., Song Y., Niu J., Dong D., Liu S., Jiyang L., Wang S. and Zhang G., *Unconventional petroleum geology*, Petroleum Industry Press., Published by Elsevier Inc., 2013.
- [2]. Anderson J., Simpson M., Basinski P., Beaton A., Boyer C., Bulat D., Ray S., Reinheimer D., Schlachter G., Colson L., Olsen T., John Z., Khan R., Low N., Ryan B. and Schoderbek D., "Producing natural gas from coal, *Oilfield Review*", pp. 8-31, 2008.
- [3]. Chen K. C., Irawan S., Sum C. W., and Tunio S. Q., "Preliminary study on gas storage capacity and gas-in-place for CBM potential in balingian coalfield", Sarawak Malaysia, *Inter. J. of Applied Science and Technology*, Vol. 1, No. 2, pp. 82-94, 2011.
- [۴] قبادی م، دیباچه ای بر زمین شناسی اقتصادی ایران، ویرایش اول، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۱.
- [5]. Pophare A. M., Mendhe V. A. and Varade A., "Evaluation of coal bed Methane potential of coal seams of *Sawang Colliery*", Jharkhand, India, *J. Earth Syst. Sci.*, Vol. 117, No. 2, pp. 121-132, 2008.
- [۶] زمانی ز، بررسی ژئوشیمیایی و پتروگرافی مواد آلی و سنگ شناسی رسوبات زغال دار بخش کلاریز (سازند شمشک) در منطقه گلندرود (البرز مرکزی)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ایران، ۱۳۷۸.
- [7]. Shekarifard A., Baudin F., Seyed-Emami K., Schnyder J., Laggon-Defarge F., Riboulleau A., Brunet M. and Shahidi A., "Thermal maturity of the upper triassic-middle jurassic shemshak group (Alborz range, northern Iran) based on organic petrography, geochemistry and basin modeling: implication for source rock evaluation and petroleum exploration", *Geological Magazine*, No. 149, pp. 19-38, 2012.
- [8]. Shekarifard A., Baudin F., Schnyder J. and Seyed-Emami, K., "Characterization of organic matter in the fine-grained siliciclastic sediments of the Shemshak Group (Upper-Triassic to Middle Jurassic) in the Alborz Range, northern Iran", in: Brunet M.F., Wilmsen M. and Granath J.W. (Eds.), *South Caspian to Central Iran Basins*, Geological Society London, Special Publication No. 312, pp. 161-174, 2009.



[8]. Shekarifard A., Baudin F., Schnyder J. and Seyed-Emami, K., "Characterization of organic matter in the fine-grained siliciclastic sediments of the Shemshak Group (Upper-Triassic to Middle Jurassic) in the Alborz Range", northern Iran, in: Brunet M.F., Wilmsen M. and Granath J.W. (Eds.), South Caspian to Central Iran Basins, Geological Society London, Special Publication 312, pp. 161-174, 2009.

[۹] زاده کبیر آ.، کیفیت زغالسنگ‌های ایران، جلد چهارم، شرکت ملی فولاد ایران، ۱۳۷۱.

[۱۰] درویش‌زاده ع.، زمین‌شناسی ایران، ویرایش اول، نشر دانش امروز، ۱۳۷۰.

[11]. Vatan A. and Yassini I., "Les grandes lignes de la geologie de Alborz central ands la region de Tehran et la plane de la Caspienne", Revue de Instutyt Francais du Petrole, Vol. 24, pp. 1-25, 1969.

[12]. Fürsich T. F., Wilmsen M., Seyed-Emami K. and Majidifard M. R., "Lithostratigraphy of the upper triassic-middle jurassic Shemshak group of Northern Iran", The Geological Society of London, Special publication 312, pp. 129-160, 2009.

[13]. NISCO, *Preliminary exploration stage of coal deposits in the Galandrud Area*, National Iranian Steel Company (NISCO), 1997.

[14]. Rice D. D., "Composition and origins of coalbed gas", in: Law B.E. and Rice D. D. (Eds.), Hydrocarbon from coal, AAPG Special Publication A180, Study in geology 38, pp. 159-184, 1993.

[15]. Meisner F. F., "Cretaceous and lower tertiary coals as source for gas accumulations in the rocky mountain area", in: Woodward J., Meisner F. F. and Clayton J. L. (Eds.), Hydrocarbon source Rocks of the Greater Rocky Mountain Region, Rocky Mountain Association of Geologists Guide Book, pp. 401-431, 1984.

[16]. García-González M., Surdam R. C. and Lee M. L., "Generation and expulsion of petroleum and gas from Almond Formation Coal", Greater Green River Basin, Wyoming, AAPG Bul., Vol. 81, No. 1, pp. 62-81, 1997.

[17]. Galimove E. M., "Source and mechanisms of formation of gaseous hydrocarbons in sedimentary rocks", in: Schoell M. (Ed.), Origins of methane in the earth, Chemical Geology, Vol. 71, pp. 77-95, 1988.

[18]. Kim A. G., *Estimating methane content of bituminous coalbeds from adsorption data*, U.S. Bureau of Mines, Report of Investigations 8245, 1977.

[19]. Zhang T., Ellis G. S. and Ruppel S. C., *Effect of organic matter type and thermal maturity on gas adsorption in Shale-Gas Systems*, AAPG Search and Discovery Article #90122, Hedberg Conference, Austin, Texas (Abstract), 2012.

[20]. Bustin R. M. and Clarkson C. R., "Geological controls on coalbed methane reservoir capacity and as content", Inter. J. of Coal Geology, Vol. 1-2, No. 38, pp. 3-26, 1998.

[21]. Ojha K., Karmakar B., Mandal A. and Pathak A. K., "Coal bed methane in India: difficulties and prospects", Inter. J. of Chemical Engineering and Applications, Vol. 2, No. 4, pp. 256-260, 2011.

[22]. Ross D. J. K. and Bustin R. M., "Shale gas potential of the lowe jurassic gordondale member", Northeast British Columbia, Canada, The Society of Canada Petroleum Geologists, Vol. 55, No. 1, pp. 51-75, 2007.

[23] Ji L., Zhang T., Milliken K. L., Qu J. and Zhang X., "Experimental investigation of main controls to methane desorption in clay-rich rick", Applied Geochemistry, Issue 12, Vol. 27, pp. 2533-2545, 2012.

[۲۴] شالیکار ه.، رضائیان م.، امیری ع.، پادیار ف.، زمانی ز. و بحرودی ع.، ارزیابی بلوغ و تاریخچه حرارتی رسوبات

حاوی مواد آلی، کاربرد سیالات درگیر در مطالعه موردی گروه شمشک در البرز شمالی، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، شماره ۲، صفحات ۱۴۲-۱۳۳، ۱۳۹۰.

[25]. Peters K. E., "Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis", AAPG Bul., Vol. 70, No. 3, pp. 318-329, 1986.

[26]. Stach E., "The lithotype of humic and saproplic coals", in: Stach E., Mackowsky M.Th. (Eds.), Coal petrography, 2<sup>nd</sup> ed., Berlin, Gebruder, Borutraeger, pp. 132-139, 1975.

[27]. Snowdon L. R. and Powell T. G., "Immature oil and condensate-modification of hydrocarbon generation model for terrestrial organic matter", AAPG Bul., Vol. 66, pp. 775-788, 1982.

[۲۹] مهردادى ن.، وقار ب. و رضایی ب.، نگرشی بر تولید زغالسنگ و اثرات زیست محیطی آن، صفحات ۱۰-۱، ۱۳۷۸.

[30]. [http://iranec.com/conf8/files/site1/pages/articles-2/mabaheese\\_Rahbordi\\_Energy/18.pdf](http://iranec.com/conf8/files/site1/pages/articles-2/mabaheese_Rahbordi_Energy/18.pdf)

[31]. Dallegge T. A. and Barker C. E., "Coal-bed methane gas-in-place resource estimates using sorption sotherms and burial history reconstruction: an example from the ferron sandstone member of the mancos shale", Utah, in: Kirschbaum M.A., Roberts L.N.R. and Biewick L.R.H., Geologic Assessment of Coal in the Colorado Plateau: Arizona, Colorado, New Mexico, and Utah, U.S. Geological Survey Professional Paper 1625-B, pp. 1-26, 1994.