

بررسی شیل‌های سازند گرو در منطقه لرستان به عنوان منابع نامتعارف هیدروکربنی

امینه لطفی یار^{۱*}، علی چهارزی^۲، محمدرضا کمالی^۳، نادر ثابتی^۴

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف نفت، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه سمنان

۲ سرپرست اداره ژئوفیزیک شرکت نفت فلات قاره ایران

۳ رئیس پردیس بالادستی پژوهشگاه صنعت نفت

۴ رئیس بخش پتروفیزیک مدیریت اکتشاف شرکت نفت

*Lotfiyara@yahoo.com

دریافت آذر ۱۳۹۳، پذیرش بهمن ۱۳۹۳

چکیده

امروزه منابع نامتعارف، با توجه به افزایش قیمت و تقاضای جهانی برای سوخت‌های فسیلی مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته است. شیل‌های گازی یکی از مهمترین منابع نامتعارف محسوب می‌شوند. شیل گازی سنگ دانه‌ریز غنی از مواد آلی و دارای ذخیره اقتصادی گازی است. سازند شیل گازی دارای تخلخل پایین بوده و برای داشتن تولید اقتصادی از آن ایجاد شکستگی ضروری است. در این پژوهش، شیل‌های سازند گرو در منطقه لرستان (مطالعه موردی نمونه‌های خرده‌های حفاری چاه باباقیر^۱) به عنوان پتانسیل منابع نامتعارف بررسی شده است. سازند گرو شامل تناوب آهک رسی سیاه رادیولردار، شیل‌های سیاه‌رنگ بیتومن‌دار پیریتی و چرتی آمونیت و بلمنیت‌دار است. پلانکتون و رادیولارها نشان دهنده حوضه عمیق دریایی هستند، و ریز سنگواره‌ها نشان می‌دهد که سازند گرو دارای سن نئوکومین تا کنیاسین است. بررسی داده‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهد، سازند گرو از لحاظ محتوای کربن آلی، دارای کیفیت خوب (محدوده مناسب TOC) است. همچنین کروژن موجود در سازند گرو از نوع کروژن III بوده و لذا سنگ منشأ گاززا را نشان می‌دهد. این داده‌ها رخساره عمیق برای منطقه را پیشنهاد می‌کند. پراش پرتو ایکس و مطالعات کانی‌شناسی نشان می‌دهد که سازند گرو دارای محتوای کانی رسی کمتر از ۴ درصد (۳-۴ درصد)، و شکنندگی متوسط به بالاست و برای اهداف حفاری مناسب خواهد بود. بررسی مجموعه مطالعات صورت گرفته نشان داده است که سازند گرو در منطقه لرستان را می‌توان به عنوان شیل گازی در نظر گرفت.

کلمات کلیدی: شیل گازی، منابع نامتعارف، پراش سنجی پرتو ایکس، پیرولیز راک-اول، ژئوشیمی، لرستان

۱. مقدمه

مخازن نامتعارف مخازنی هستند که سنگ مخزن آنها نه تنها دارای تخلخل و تراوایی معمول مخازن متعارف نمی‌باشد، بلکه بسیار سخت و محکم بوده و منشأ مواد هیدروکربوری آن نیز خود سنگ مخزن است. برخلاف مخازن متعارف که نیروی پتانسیل سیال و مکانیزم‌های طبیعی رانش، عامل تولید اولیه از سنگ مخزن آن‌ها است، توسعه و تولید اقتصادی از مخازن نامتعارف، نیازمند نیروهای کمکی و تکنولوژی پیشرفته مانند چاه‌های افقی یا تحریک مصنوعی و هزینه‌های نسبتاً بالایی می‌باشد. با توجه به کاهش تولید از منابع متعارف نفتی و گازی و افزایش تقاضا و قیمت سوخت‌های فسیلی، منابع نامتعارف توجه زیادی از صنایع نفتی را به خود جلب کرده است. منابع نامتعارف شامل منابع نامتعارف گازی (هیدرات‌های گازی، مخازن گازی فشرده، متان موجود در بسترهای زغالی، شیل‌های گازی) و منابع نامتعارف نفتی (مایع تراوش شده از بیومس، سیال بدست آمده از متان و شیل نفتی) است. شیل بر اساس مقدار و نوع مواد آلی و میزان بلوغ آنها می‌تواند هم منبع نفتی و هم گازی باشد. شیل نامتعارف سنگ رسوبی دانه ریز، لایه دار، و غیرکلاستیکی است، که دارای بیش از ۲ درصد کربن آلی بوده و مقدار رس آنها کمتر از ۳۵ درصد باشد، که بسته به میزان بلوغ آن به عنوان شیل گازی یا نفتی محسوب می‌شود. ذرات سازنده شیل اغلب رس، کوارتز و مواد آلی است. شیل‌های گازی دارای گسترش زیاد و ناهمگنی بالایی هستند. در سال ۱۸۲۱ برای اولین بار گاز از شیل دونین *Dunkirk*، در نیویورک تولید شد. در ابتدا چاه‌های کم فشار کم عمق در نیویورک و اوهایو متمرکز بوده و در سال ۱۹۳۵ به تاثیر ماتریکس و شکستگی‌ها در سیستم‌های شیلی پی برده‌اند [۱، ۲]. از سال ۱۹۲۷ تا ۱۹۶۲ گروه بررسی شیل گازی کلمبیا، سالانه ۱۰ تا ۱۰۰ چاه را در شیل‌های گازی حفر کرده و بررسی‌های شیل گازی را بهبود بخشیدند [۳]. علاقه به توصیف سیستم‌های شیلی زمانی ایجاد شد که مدیریت تحقیق و توسعه انرژی (ERDA) پروژه شیل‌های گازی شرقی را در سال ۱۹۷۱ به انجام رساند [۴، ۵، ۶، ۷]. در ایران نیز در سال ۱۳۹۰ مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، پیجویی‌های مقدماتی منابع شیل گازی را در حوضه‌های رسوبی زاگرس، کپه داغ و ایران مرکزی انجام داده است [۸]. نتایج این مطالعات نشان داد که سازندهای گرو و سرگلو در بخش مرکزی ناحیه زمین‌شناسی لرستان به عنوان مناطق امید بخش برای بررسی‌های تفصیلی اکتشاف شیل گازی هستند [۹]. هدف از این مقاله مطالعات ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی سازند شیلی گرو در منطقه لرستان و بررسی آن به عنوان منبع دارای پتانسیل نامتعارف گازی است. در این پژوهش در ابتدا نمونه‌های مربوط به چاه باباقیر ۱، تحت پیرولیز راک-اول قرار گرفته و از لحاظ بلوغ و کیفیت مواد آلی بررسی شده‌اند. سپس تعدادی از نمونه‌ها را جهت تعیین کانی‌شناسی و در نهایت بررسی میزان شکنندگی تحت پراش پرتو ایکس، مطالعات میکروسکوپ الکترونی SEM و نیز مطالعات میکروسکوپی قرار داده شده است.

۲. زمین‌شناسی منطقه

سازند شیلی گرو: نام سازند گرو از تنگ گرو در کبیرکوه لرستان گرفته شده و بُرش الگوی آن در ۱۰ کیلومتری شمال شرق روستای قلعه دره مطالعه شده است [۱۰]. در محل بُرش الگو، سازند گرو با ۸۲۵ متر ضخامت به ۵ عضو تقسیم شده، ولی به طور کلی، سازند گرو از تناوب آهک‌های بسیار رُسی سیاه رادیولردار با شیل‌های سیاه‌رنگ بیتومین‌دار پیریتی و چرتی آمونیت و بلمنیت‌دار تشکیل شده است. در لرستان مرکزی این سازند بیشتر شیلی است. ولی در فروافنادگی دزفول سنگ‌آهک بیشتر است. مرز پایینی سازند گرو بیشتر به رسوبات تبخیری هیث و گوتنیا است. مرز بالایی آن بسیار متغیر است. گرو می‌تواند در زیر سازندهای مختلفی مانند ایلام و حتی سازند فُهلین قرار گیرد (شکل ۱) [۱۱]. این موضوع نتیجه پیشروی رسوبات ساحلی به حوضه رسوبی گرو است. پلانکتون‌ها و رادیولرها نشانگر محیط کم انرژی و بی‌اکسیژن (حوضه

ژرف دریایی) است. ریزسنگواره رادیولر، سن سازند گرو را نئوکومین تا کنیاسین نشان می‌دهد. با توجه به اینکه آثار حیاتی مانند پلانکتون‌ها و بخصوص رادیولاریا در این سازند توسعه دارد و اثری از سنگواره‌های متعلق به محیط‌های کم عمق در آن یافت نمی‌شود و از طرف دیگر اغلب رسوبات این سازند بسیار دانه ریز بوده و لایه‌بندی ظریف دارند، لذا نشان می‌دهد که این سازند، اولاً فاقد بهم ریختگی بوده و ثانیاً از مواد حیاتی و پیریت غنی هستند و بالاخره در اغلب ردیف‌های آن، ارگانسیم‌های کفزی Benthonic دیده نمی‌شود. می‌توان چنین نتیجه گرفت که شرایط محیط رسوبی بسیار کم انرژی و فاقد اکسیژن بوده که تماماً معرف حوضه اقیانوسی می‌باشد [۱۲، ۱۳].

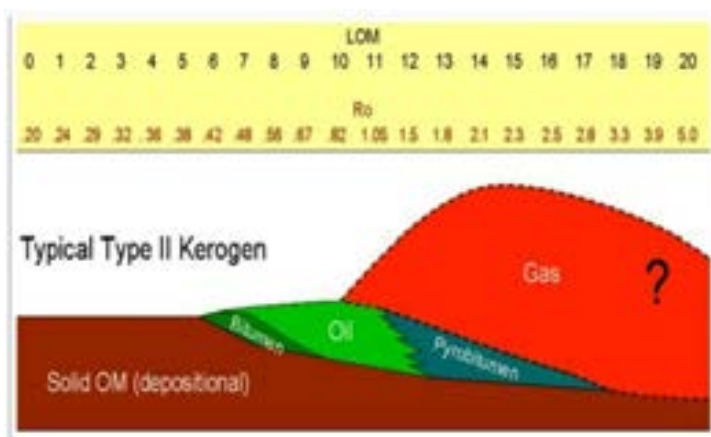


شکل ۱. چینه شناسی کرتاسه در زاگرس_سازند گرو [۱۱].

در ناحیه لرستان شیل‌های رادیولردار خاکستری تیره تا سیاه و آهک‌های رُسی عمیق سازند گرو و در ناحیه فارس و جنوب فروافتادگی دزفول، سه سازند فهلپان، گدوان و داریان به سن نئوکومین-آپتین است [۱۴]. منطقه لرستان با استفاده از نمونه‌های خرده حفاری مربوط به چاه باباقیر ۱ مورد بررسی قرار گرفته است. چاه باباقیر ۱ در ایالت زمین‌شناسی لرستان از کمرند چین خوردگی و راندگی زاگرس واقع شده است. کمرند چین خورده و راندگی زاگرس در ایران بخش خارجی کوهزایی فعال زاگرس را تشکیل می‌دهد. در چاه باباقیر ۱ سازند گرو بر روی سازند تبخیری گوتنیا قرار داشته و از عمق ۱۸۶۰/۸ شروع شده و تا عمق ۲۵۹۴ متری ادامه دارد. وضعیت حد بالایی سازند گرو بسیار متفاوت است. در برش نمونه این حد از طریق یک ناهمسازی فرسایشی با سنگ‌آهک‌های بنگستان (آلبین-کامپانین) مشخص می‌شود که وجود گلوکونیت و ماسه‌ای بودن سر سازند گرو معرف آن است. در نواحی مرکزی استان لرستان سازند گرو در زیر سازند سورگاه (کنیاسین) قرار می‌گیرد. به این ترتیب سازند گرو می‌تواند در زیر سازندهای مختلفی واقع شود و این موضوع خود معلول پیشرفت رسوبات ساحلی محاط به حوضه رسوبی گرو تفسیر می‌گردد [۱۱]. در مقطع مورد مطالعه سنگ‌آهک‌های سازند سروک بر روی سازند گرو قرار می‌گیرد.

۳. اصول و تئوری

شیل‌های گازی یکی از منابع نامتعارف بوده که متداولترین و فراوانترین سنگ‌های رسوبی هستند. شیل‌های گازی حدود ۹۵٪ مواد آلی موجود در سنگهای رسوبی را به خود اختصاص داده‌اند. به همین دلیل لایه‌های شیلی بطورخاص مورد توجه قرار گرفته است [۱۵]. شیل‌ها بر مبنای میزان پختگی می‌توانند هم به عنوان شیل نفتی و هم گازی عمل کنند (شکل ۲).



شکل ۲. شیل‌های نفتی و گازی: اگر مقدار (سطح دگرریختی ماده آلی، در واحد درصد) $LOM=0-5.7$ و $Ro=0.2-0.4$ (سطح بلوغ، در واحد درصد) باشد نابالغ است و اگر $LOM=5.7-10.9$ و $Ro=5.7-10.9$ باشد در پنجره نفتزایی بوده و در صورتی که $LOM=10.9$ و $Ro=1.02-5$ باشد در پنجره شیل‌گازی خواهد بود.

شیل‌گازی را می‌توان به عنوان سنگ‌دانه ریز غنی از مواد آلی که دارای ذخیره اقتصادی گازی باشد، تعریف نمود. سازندهای شیل‌گازی معمولاً نازک و دارای گسترش زیادی هستند، که دارای تخلخل بسیار پایین بوده و برای داشتن تولید اقتصادی از آن، ایجاد شکستگی ضروری است. در حال حاضر بیشتر تولیدات مخازن شیل‌گازی از سنگ منشأ فوق‌بالغ حاوی کروژن نوع I و II می‌باشند. مخازن شیل‌گازی دارای حداقل کل کربن آلی ۰/۵-۲ درصد است. مخازن شیل‌گازی دارای دوره تولید طولانی با افت کم می‌باشد که حدود ۲۵-۸۰ سال به طول می‌انجامد. پارامترها و خصوصیات کلیدی برای بررسی کیفیت شیل‌گازی شامل کربن آلی کل (TOC)، سطح بلوغ (Ro)، کانی‌شناسی (کانی‌های رسی و کوارتز)، ضخامت و گسترش محیطی، تخلخل و میزان اشباع گاز (فاز آزاد و جذب شده)، نوع مواد آلی (OMT) است. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که اغلب سازندهای شیل‌گازی غنی از مواد آلی دارای ضخامت ناخالص در حدود صدها متر می‌باشد که تنوع عمودی آنها از نظر غنای مواد آلی و کانی‌شناسی حتی در لایه‌های عمودی کوچک هم می‌تواند تغییر کند. ناهمگنی‌های عمودی مشاهده شده را می‌توان به شرایط زمین‌شناسی زمان رسوبگذاری آنها ارتباط داد. پاسی و همکاران [۱۶] عنوان کرده‌اند که تجمع سنگ‌های غنی از مواد آلی تابع فرایندهای کنترل‌کننده مهم نرخ تولید، میزان انحلال‌پذیری و نرخ تخریب مواد آلی است. معمولاً سنگ‌های غنی از مواد آلی در سه بخش فیزیوگرافی حاشیه قاره، فلات قاره و شیب قاره در قلمرو دریاییتجمع می‌یابند. بسیاری از تکنیک‌های ژئوشیمیایی و پتروفیزیکی برای توصیف سنگ منشأ در پنجره نفتی ($Ro=0.5-1$) توسعه یافته است و گاهی با انجام برخی اصلاحات برای مخازن شیل‌گازی که بلوغ حرارتی بالاتری را نشان می‌دهند نیز به کار می‌رود ($Ro=1.1-4$). گاز در شیل می‌تواند در شکستگی‌ها، منافذ و یا به صورت جذب شده در رس یا کروژن حضور داشته باشد. هر چه منافذ بزرگتر باشند میزان گاز جذب شده بیشتر است. کوچک بودن ذرات شیل به مفهوم کوچک بودن منافذ است. از لحاظ ترکیب شیمیایی، شیل‌گازی عمدتاً مولد گاز خشک است که ترکیب اصلی آن متان است [۱۵].

جدول ۱ مهمترین ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ژئوتکنیکی موثر برای توصیف شیل‌گازی بر مبنای شیل‌های گازی آمریکا را نشان می‌دهد [۱۷].

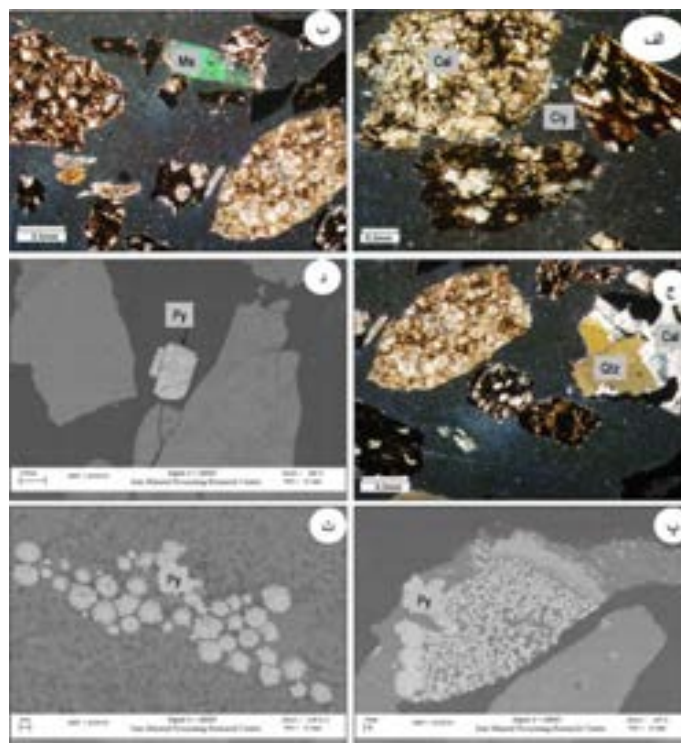
۴. ابزار و داده‌ها

در این پژوهش شیل‌های سازند گرو در منطقه لرستان و در چاه باباقیر ۱ مورد ارزیابی قرار گرفته است. در طی این مطالعات تعداد ۸ نمونه از خرده‌های حفاری جهت بررسی کانی‌شناسی با روش پراش پرتو ایکس (XRD) در مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران مورد مطالعه قرار داده شده است. همچنین تعداد ۱۵ مقطع نازک و صیقلی برای مطالعات کانی‌شناسی تهیه و توسط میکروسکوپ نوری پلاریزان با نور عبوری مورد مطالعه قرار گرفته و تعداد ۲ مقطع صیقلی برای مطالعات تکمیلی توسط میکروسکوپ الکترونی در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران مورد بررسی قرار گرفت. تعداد ۳۰ نمونه برای بررسی‌های ژئوشیمیایی مورد تجزیه پیرولیز راک اول (تعداد ۱۴ نمونه در دانشگاه ناسی فرانسه با دستگاه پیرولیز راک-اول ۶ و تعداد ۱۶ نمونه در پژوهشگاه صنعت نفت شرکت ملی نفت ایران با دستگاه راک-اول ۲) قرار گرفته است. در این روش ابتدا نمونه تحت پیرولیز و سپس مورد اکسیداسیون قرار می‌گیرد. برای ثبت نتایج بدست آمده از پیرولیز و آون اکسیداسیون به ترتیب از آشکارسازهای شعله یونی (FID) و آشکارساز هدایت حرارتی (TCD) استفاده شده است. مقدار کمی از نمونه سنگی (حدود ۱۰۰ میلی گرم) را در شرایط اتمسفری هلیوم در ۳۰۰ درجه سانتی گراد به مدت سه دقیقه حرارت داده و سپس درجه حرارت به ازای ۲۵ درجه سانتی گراد در هر دقیقه تا ۶۰۰ درجه افزایش یافته است. ارزان و سریع بودن این روش از مزایای آن محسوب می‌شود.

۵. تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات

۵-۱. کانی‌شناسی

مطالعات میکروسکوپی نشان داد که حجم بیشتر نمونه‌ها از کانی کربناته کلسیت تشکیل شده است. کوارتز، موسکوویت، کانی‌های رسی، مواد آلی و پیریت، دیگر کانی‌های تشکیل دهنده نمونه می‌باشند. کلسیت با ابعاد بلوری ۰/۲ تا ۱/۲ میلی‌متر در نمونه دیده می‌شود. همراه با کلسیت لایه‌هایی از مواد آلی نیز در مقاطع میکروسکوپی دیده شد. پیریت به دو شکل در نمونه تشکیل شده است. شکل غالب پیریت به صورت بلورهای فرامبوئیدال و ادخال در کانی‌های کربناته و مواد آلی دیده می‌شود (شکل ۳). ابعاد بلورهای فرامبوئیدالی پیریت در حد ۵ تا ۴۰ میکرون است. فراوانی پیریت در سه نمونه با عمق‌های ۸۴۰۰، ۸۱۵۰ و ۸۵۱۰ فوتی بیشتر از سایر نمونه‌ها بوده و در حد ۲ درصد است. شکل دیگر پیریت به صورت بلورهای خود شکل کوبیک و ابعاد ۱۰۰ میکرون و به صورت پراکنده در نمونه تشکیل شده است (شکل ۳). مواد آلی به صورت بین لایه‌ای با کانی‌های رسی و کلسیت دیده می‌شود و همچنین به صورت کامل جانشین کانی کربناته شده است (شکل ۳). بلورهای موسکوویت نیز با فراوانی ۲ تا ۳ درصد و ابعاد بلوری ۰/۴ تا ۱/۲ میلی‌متر در نمونه دیده شده است (شکل ۳).



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی (الف، ب و ج) و میکروسکوپ الکترونی (SEM) (د، پ و ت) از نمونه‌های مورد مطالعه. الف) کلسیت (Cal) و کانی‌های رسی همراه با میان لایه‌هایی از مواد آلی (مواد آلی کروژن) به رنگ سیاه دیده می‌شوند. ب) حضور کانی‌های موسکوویت (MS)، کلسیت و مواد آلی در نمونه، ج) حضور کوارتز (Qtz) همراه با کلسیت، د) کانه فلزی سولفیدی پیریت (Py) به صورت خود شکل و منفرد در نمونه تشکیل شده است و پ و ت) حضور پیریت‌های فرامبوئیدال به صورت ادخال در کلسیت.

جدول ۱. ویژگی‌هایی که برای توصیف یک شیل گازی موثر استفاده می‌شود [۱۷].

ویژگی‌ها	محدوده داده و توصیفات
کل کربن آلی (TOC)	شیلها باید غنی از مواد آلی با TOC > ۲٪ باشند [۲۶، ۲۷، ۲۸] و با TOC < ۴٪ [۲۹] و [۳۰] این مقدار را در محدوده ۱۱ دانسته است.
مقدار پروتوگاما	بالا بودن میزان نیش انچه گاما معمولاً شاخصی برای محتوای کربن آلی بالاست. پاسخ نگر گاما ترجیحاً باید بالا باشد [۲۷].
نوع کروژن	نوع کروژن از نوع I و II و III باشد [۲۷]. اطلاعات در مورد نوع کروژن کامل نیست. [۳۲، ۳۱]. کروژن‌های نوع II و III را در حوضه‌های مختلف یافته‌اند.
محتوای کانی شناسی/ رسی	محتوای کانی رسی باید برای تسهیل شکستن و در نتیجه استخراج گاز کم (< ۳۵٪) باشد. [۳۰] نیز به وجود مقدار قابل توجهی از یک محتوای سیلیکاتی و مقداری کربنات و نبود کانی رسی یادکننده تأکید کرده است.
ضخامت شیل موثر	ضخامت‌های متوسط شیل ایده‌آل در نظر گرفته شده‌اند: < ۱۵ متر [۲۷]، < ۲۰ متر [۲۶] و < ۲۵.۷۲ متر [۳۰]. دانش متعارف این است که هر چه ضخامت بیشتر باشد بهتر است [۲۸].
بلوغ حرارتی	شیل برای تولید گاز باید بالغ باشد. ۳.۴-۱.۱۰Ro عموماً بعنوان پنجره نفتبرای پذیرفته شده است [۲۷]. محدوده‌های مختلفی توسط افراد مختلف استفاده شده است.
محتوای گاز اشباع شدگی	گاز باید به صورت گاز آزاد و جذب شده حضور داشته باشد. محتوای گازی باید $\text{bcf/section} > 0.00060$ باشد [۲۲] یا $\text{bcf/section} > 0.0001$ باشد [۳۰].
خداقل عمق	عمق < ۱۵۰۰ متر [۲۷].
تخلخل شیل	معمولاً ۷-۲ درصد است و باید کمتر از ۱۵ درصد باشد [۳۰].
تاریخچه تدهیسی و تکنونیک	ترجیحاً در حوضه‌های پایای بزرگ بدون تکنونیک پیچیده است [۲۷]. چنانچه باید دیر از جایی که احتمال وجود گسل وجود دارد حفر شوند.

همانطور که در جدول ۱ می توان دید آنچه برای کانی شناسی یک شیل جهت شناخت آن به عنوان شیل گازی مهم است، مقدار محتوای کانی رسی است. درک مقدار و نحوه توزیع کانی های رسی در سیستم های تولید هیدروکربن به چند دلیل مهم است. اول اینکه رس ها تخلخل و نفوذپذیری را کاهش می دهند و در نتیجه باعث می شوند که شکنندگی سنگ کاهش یابد. در شیل های گازی توان شکنندگی سنگ برای تولید ضروری است و اینتروال های شکننده برای اهداف تکمیلی ترجیح داده می شود. سه هدف برای تعیین مقدار کانی رسی در یک شیل گازی می تواند مد نظر باشد: (۱) شناسایی اینتروال های غنی از رس در چینه شناسی شیل، (۲) رسم نمودارهای دوتایی اینتروال های غنی از رس نسبت به نگارهای چاه پیمایی به عنوان نماینده شیل و (۳) ایجاد ارتباط بین مقدار رس و توان تولید گاز [۱۸]. در نمونه هایی که تحت پراش سنجی پرتو ایکس قرار گرفته شده اند کانی های کلسیت، کوارتز، پیریت و مقادیری اسمکتیت، ایلیت و مسکوویت دیده شده است، مقدار کانی های رسی بسیار کم و در حدود ۲-۳ درصد است که با افزایش عمق در مقدار آن افزایش دیده می شود. بنابراین از لحاظ کانی شناسی می توان آن را تحت عنوان شیل گازی در نظر گرفت. در نمونه های مورد مطالعه مقادیری دولومیت نیز در بعضی از عمق ها تشخیص داده شد که نشان از فرایند دولومیتی شدن در نمونه است. دولومیتی شدن در نمونه ها خود باعث افزایش تخلخل می شود.

روابط کانی شناسی شکنندگی محاسبه شده در شیل های بارنت توسط [۱۹، ۲۰] مورد بازبینی قرار گرفته است. نسبت های کوارتز-کربنات-رس نشان می دهد که بخش دارای بیشترین شکنندگی شیل بارنت دارای کوارتز فراوان، و بخش دارای کمترین شکنندگی دارای بیشترین رس و بخشی که شکنندگی متوسط دارد دارای کربنات فراوان است که بر این مبنای توجه به اینکه بیشتر نمونه های ما دارای ۷۰ درصد کربنات و ۲۵ درصد کوارتز بوده است، لذا با توجه به کم بودن مقدار رس (حدود ۳/۵ درصد) و بالا بودن مقدار کربنات، شکنندگی متوسط به بالا است.

همچنین شکنندگی بر روی عملیات تحریک شیل موثر است و با توجه به استانداردهای موجود می توان بر اساس ضریب شکنندگی سیال مناسب برای تحریک چاه را نیز پیشنهاد کرد (۷).

۵-۲. ژئوشیمی

در ارزیابی سنگ مادر از نقطه نظر اکتشافی، سه فاکتور اصلی شامل کمیت (مقدار TOC)، کیفیت (نوع مواد آلی یا نوع کروژن) و میزان بلوغ مواد آلی را باید در نظر گرفت. امروزه مهمترین ابزار مورد استفاده در تجزیه و تفسیر ژئوشیمیایی، روش پیرولیز راک-اول (Rock-Eval) یا دستگاه ارزیاب سنگ منشأ است. این ابزار اطلاعات مفیدی رادر مورد مقدار ماده آلی، نوع آن و میزان بلوغ به ما می دهد [۲۲، ۲۱]. در این روش تجزیه نمونه به طور خودکار انجام شده و نتایج حاصل به صورت نمودارهای ژئوشیمیایی ارائه می شود.

تعداد ۳۰ نمونه از خرده های حفاری سازند گرو در چاه باباقیر ۱، مورد تجزیه راک اول قرار گرفت که نتایج حاصل از آن در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به اینکه تعداد داده های ژئوشیمیایی در دسترس در مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت کم بوده (تعداد ۱۴ نمونه با راک-اول ۶ در فرانسه انجام شده است)، برای افزایش دقت بررسی های در دسترس تعداد ۱۶ نمونه دیگر با راک-اول ۲ در پژوهشگاه صنعت نفت آنالیز شده است. با توجه به اینکه یک سری از نتایج روند کاهشی Tmax را در مقابل عمق نشان داده است (در حالیکه، در نمونه های مربوط به اعماق بیشتر، با توجه به اینکه کروژن دما و فشار بیشتری را تحمل کرده و مقدار هیدروژن آن افزایش و کربن آن کاهش میابد، زمانی که نمونه را برای پیرولیز وارد راک-اول می کنیم باید مقدار Tmax بیشتری را در پیک S2 نشان دهد) و یا اینکه $S1 < S2$ بود، تصحیحاتی که در ادامه به آن اشاره شده، بر روی داده ها انجام شده است. تصحیحات (کنترل کیفی) زیادی در این زمینه وجود دارد که بر مبنای این تصحیحات

(جدول ۳ و جدول ۴)، داده‌های قابل قبول تعیین شده است (جدول ۵). تصحیحات انجام شده در این پژوهش شامل موارد زیر است.

جدول ۲. نتایج تجزیه راک اول-سازند گرو-چاه باباقیر ۱ (تجزیه‌ها در دو زمان متفاوت انجام شده است). اعداد عمقی کامل (بدون اعشار) با راک-اول ۶ و عمق‌های دیگر با راک-اول ۲ مورد تجزیه قرار گرفته است.

D (m)	s1	s2	s3	Tmax	HI	OI	TPI	TOC	PI	RI
1862	0.11	0.11	NA	508	4	10	0.5	2.84	0.1012	2.7388
1877.452	0.64	0.39	0.25	481	64	27	0.52	0.92	0.1	0.82
1889.76	1.42	1.35	0.58	450	50	27	0.48	2.72	0.21	1.97
1917	0.82	0.9	0.32	460	66	21	0.49	1.37	0.14	1.23
1935.48	0.14	0.19	NA	450	45	18	0.42	0.42	0.1338	0.7662
1997	0.68	0.68	0.35	465	57	29	0.5	1.19	0.11	1.08
1978	0.29	0.22	NA	449	96	132	0.37	0.23	0.2548	-0.0248
1995.2	0.31	0.42	NA	446	82	28	0.42	0.51	0.2962	0.2138
1996.44	0.78	1.04	0.32	454	72	22	0.43	1.44	0.13	1.29
2009	1.34	1.93	0.36	472	78	13	0.41	2.43	0.27	2.16
2011.68	0.29	0.35	NA	446	83	41	0.45	0.42	0.2728	0.1472
2024	0.78	0.76	0.34	463	68	31	0.51	1.11	0.13	0.98
2026.92	0.49	0.39	NA	449	103	43	0.56	0.38	0.4408	-0.0608
2045	0.57	0.6	0.36	471	73	44	0.49	0.82	0.1	0.72
2073	0.35	0.25	NA	447	47	52	0.58	0.33	0.312	0.218
2094	0.51	0.38	NA	444	78	41	0.57	0.49	0.4562	0.0138
2094	0.42	0.65	NA	446	282	26	0.39	0.23	0.4094	-0.1794
2112	0.22	0.46	NA	443	103	32	0.32	0.45	0.2264	0.2236
2145	0.75	0.49	NA	454	49	18	0.6	1	0.864	0.336
2164	1.05	0.75	NA	446	68	21	0.58	1.11	0.936	0.174
2178	2.25	1.81	NA	441	52	45	0.55	3.45	2.026	1.424
2194	27.8	01.64	NA	437	58.7	58	0.31	10.5	28.96	-18.48
2484.12	0.75	0.31	0.31	483	22	9	0.39	2.38	0.11	2.27
2499.36	0.7	0.5	0.4	475	25	26	0.58	2.02	0.1	1.92
2529.84	1.15	0.68	0.63	490	29	28	0.63	2.56	0.13	2.21
2860.32	0.82	0.5	0.29	474	23	12	0.62	2.33	0.13	2.21
2584.784	1.09	0.5	0.3	482	13	8	0.77	3.71	0.18	3.53
2587.192	1.82	0.9	0.47	472	18	9	0.67	4.96	0.21	4.73
2996.8	2.33	0.88	0.6	480	12	8	0.73	7.43	0.27	7.16
2991.848	2.03	0.9	0.57	474	30	7	0.69	8.66	0.24	8.42

جدول ۳. داده‌های تصحیح شده مربوط به تجزیه‌های انجام شده با راک-اول ۶.

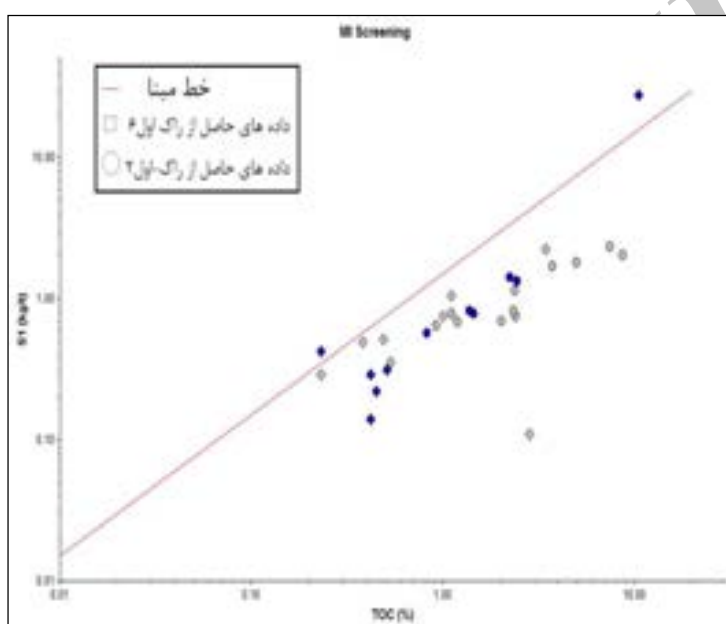
Depth(m)	S1	S2	S3	Tmax	HI	OI	TPI	TOC	PI	RI	SI/TOC	SI/S3	TOC wt%	PI	Reliable Data
1862	0.11	0.11	0.1736	508	4	10	0.5	2.84	0.1012	2.7388	0.03732	0.96231	TRLS	0.00224	Unreliable
1917	0.14	0.19	0.189	450	45	18	0.42	0.42	0.1338	0.2962	0.533333	1.00291	TRLS	0.00842	Unreliable
1957	0.29	0.22	0.2398	449	96	132	0.37	0.23	0.2548	-0.0248	1.2687	0.996777	FALSE	0.000492	Unreliable
1978	0.31	0.42	0.4302	446	82	28	0.42	0.51	0.2962	0.2138	0.807943	1.004304	FALSE	0.000917	Reliable
2009	0.29	0.31	0.3406	446	83	41	0.45	0.42	0.2728	0.1472	0.89476	1.004016	FALSE	0.000781	Reliable
2024	0.49	0.39	0.3914	449	103	43	0.56	0.38	0.4408	-0.0608	1.20474	0.996423	FALSE	0.000871	Unreliable
2045	0.57	0.6	0.2491	447	47	52	0.58	0.33	0.312	0.218	0.680777	1.003613	TRLS	0.00057	Unreliable
2073	0.51	0.38	0.3822	444	78	41	0.57	0.49	0.4562	0.0138	1.04016	0.954244	FALSE	0.0006	Unreliable
2094	0.42	0.65	0.6486	446	282	26	0.39	0.23	0.4094	-0.1794	1.32687	1.002159	FALSE	0.001452	Unreliable
2112	0.22	0.46	0.439	443	103	32	0.32	0.45	0.2264	0.2236	0.800889	1.002179	FALSE	0.001033	Reliable
2145	0.75	0.49	0.49	454	49	18	0.6	1	0.864	0.336	1	1	TRLS	0.001079	Unreliable
2164	1.05	0.75	0.7548	446	68	21	0.58	1.11	0.936	0.174	0.92946	0.993641	FALSE	0.00109	Unreliable
2178	2.25	1.81	1.794	441	52	45	0.55	3.45	2.026	1.424	0.85274	1.000919	TRLS	0.004052	Unreliable
2194	27.8	01.64	0.1035	437	58.7	58	0.31	10.5	28.96	-18.48	2.647019	10.00001	FALSE	0.017408	Unreliable

نمودار TOC در مقابل S1 رسم شده است. در این نمودار نتایجی که در بالای خط قرار گرفته قابل قبول نبوده و حذف شده است (شکل ۵).

همچنین Tmax در مقابل عمق (شکل ۶) رسم شده که Tmax با افزایش بلوغ و عمق باید افزایش نشان دهد. همانگونه که در شکل دیده می‌شود نتایج مربوط به جدول ۳ روند کاهشی را نشان داده است و بنابراین احتمال خطا در آنها بیشتر است. داده‌هایی که شاخص تولید (PI) آنها بیشتر از ۰/۵ است را در این پژوهش حذف کرده و نتایج غیر قابل قبول به شمار آمده است.

جدول ۴. داده های تصحیح شده مربوط به تجزیه های انجام شده با راک-اول-۲.

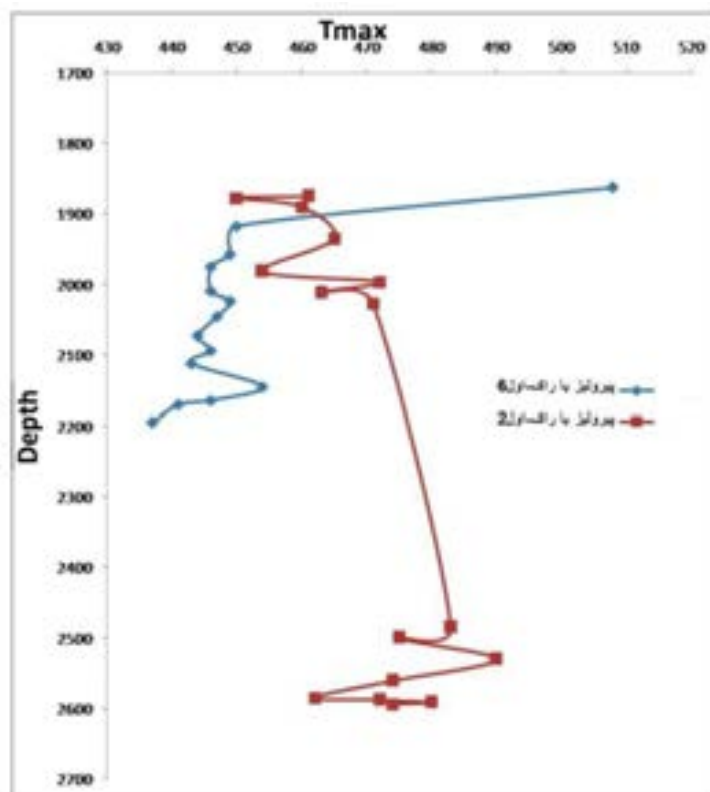
Depth (m)	SI	SI	SI	Time	HI	OH	TPH	TOC	PI	BC	SI/TOC	SI/SI	TOC vs SI	PI	Reliable Data
1074.32	0.64	0.29	0.25	461	64	27	0.32	0.92	0.1	0.02	0.69602	2.36	TR.L	0.00542	Unreliable
1077.568	1.42	1.55	0.59	458	76	27	0.48	2.22	0.25	1.97	0.67864	2.627119	TR.L	0.001309	Reliable
1089.76	0.82	0.9	0.32	460	66	23	0.48	1.57	0.14	1.23	0.98024	2.9125	TR.L	0.000095	Reliable
1093.48	0.68	0.68	0.31	463	57	29	0.5	1.18	0.11	1.08	0.571429	1.942817	TR.L	0.000752	Reliable
1091.2	0.78	1.04	0.32	454	72	22	0.43	1.44	0.15	1.29	0.54067	3.25	TR.L	0.000704	Reliable
1096.44	1.34	1.93	0.36	472	79	15	0.40	2.40	0.27	2.16	0.55044	5.361111	TR.L	0.000762	Reliable
2011.68	0.79	0.76	0.34	463	68	31	0.51	1.11	0.13	0.96	0.792703	2.219294	TR.L	0.000734	Reliable
2026.92	0.57	0.6	0.36	471	73	44	0.49	0.82	0.1	0.72	0.699322	1.666667	TR.L	0.000794	Reliable
2484.12	0.75	0.73	0.21	483	22	9	0.89	2.18	0.11	2.27	0.19326	2.52381	TR.L	0.000433	Unreliable
2499.36	0.7	0.5	0.4	475	25	20	0.58	2.02	0.1	1.92	0.348525	1.25	TR.L	0.000841	Unreliable
2529.84	1.15	0.68	0.63	498	29	28	0.63	2.36	0.15	2.21	0.487281	1.046154	TR.L	0.001325	Unreliable
2566.32	0.82	0.5	0.29	474	21	12	0.62	2.13	0.11	2.22	0.319931	1.724138	TR.L	0.000611	Unreliable
2584.704	1.69	0.5	0.3	462	13	8	0.77	3.71	0.18	3.53	0.493226	1.666667	TR.L	0.000649	Unreliable
2587.792	1.82	0.9	0.47	472	18	9	0.67	4.96	0.23	4.73	0.368933	1.914894	TR.L	0.000995	Unreliable



شکل ۵. دیاگرام TOC در مقابل SI، برای تصحیح داده های ژئوشیمیایی.

۵-۲-۱. نوع کروژن

کروژن، ماده آلی رسوبی تولید کننده پترولیوم و گاز طبیعی است، که تحت عنوان مواد آلی پراکنده در رسوبات قدیمی و غیر قابل حل در حلال های آلی، تعریف می شود. این تعریف توسط [۲۳] به صورت بخشی از مواد آلی رسوبی غیر قابل حل در حلال های آلی معمول، تغییر داده شده است.

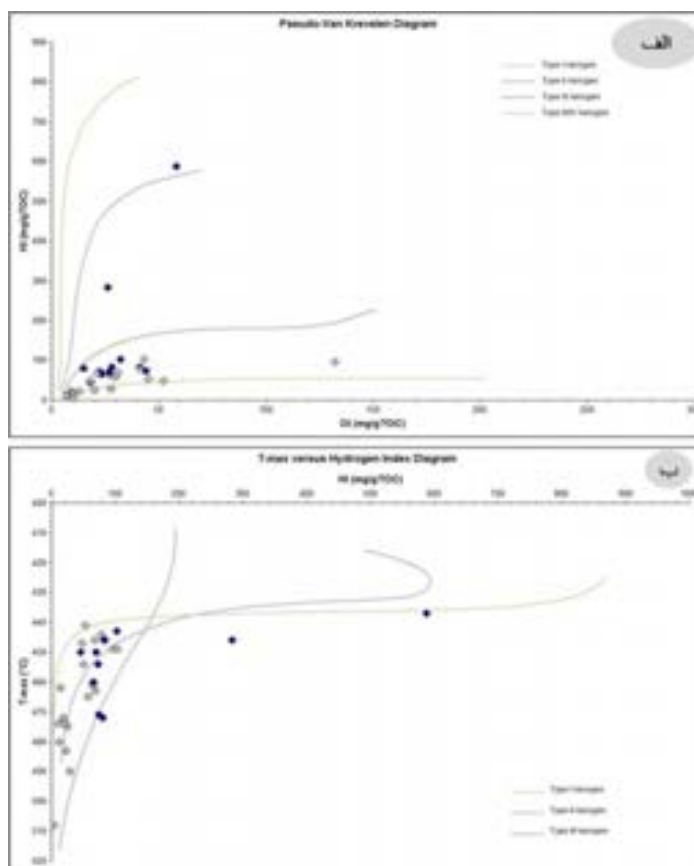


شکل ۶. دیاگرام Tmax در مقابل عمق، جهت تصحیح داده‌های ژئوشیمیایی. انتظار می‌رود که میزان بلوغ با افزایش عمق، افزایش یابد. در داده‌هایی که چنین روندی مشاهده نشود باید با تردید نگاه کرده و در صورتی که سایر روش‌های کنترل کیفیت نیز آن را نایید کنند، داده مورد نظر حذف می‌گردد.

کروژن از بقایای میکروارگانیسم‌ها و گیاهان و جانوران دریایی و دریاچه‌ای، و مقادیر مختلفی از بقایای خشکی تشکیل شده است. بخش قاره‌ای (یا خشکی زاد) کروژن از لحاظ ترکیب عنصری شبیه به زغال است. زمانی که دمای آن به حد خاصی برسد، برخی از کروژن‌ها نفت یا گاز تولید می‌کنند. در صورتی که این نوع از کروژن‌ها به میزان زیادی در سنگی مانند شیل جمع شده باشد، و دمای آن به میزانی که برای تولید هیدروکربن لازم است برسد شیل نفتی تشکیل می‌شود [۲۴]. برای تعیین نوع کروژن از دیاگرام شاخص هیدروژن در مقابل شاخص اکسیژن (دیاگرام ون-کروِلن) [۲۲] و دیاگرام شاخص هیدروژن در مقابل Tmax [۲۲] استفاده شده است. همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده، نمونه‌های مورد مطالعه از نوع کروژن III است.

۲-۲-۵. بلوغ مواد آلی

بلوغ مهمترین شاخص برای تعیین نفت‌زا یا گاززا بودن سنگ منشأ است. ژنز و پیدایش شیل گازی می‌تواند از تخریب زیستی مواد آلی، تخریب حرارتی، شکست حرارتی نفت خام و یا ترکیبی از آنها باشد. بر مبنای مقایسه بین میزان گاززایی شیل و پارامترهای قابلیت تولید، بلوغ کم مواد آلی منجر به میزان گاززایی کم و کاهش بهره‌دهی گازی شده است، در حالی که بلوغ بالای مواد آلی میزان گاززایی و بهره‌دهی را افزایش می‌دهد. این می‌تواند شامل شیل‌هایی باشد که ترموژنز (ژنز حرارتی)، مانند شکست حرارتی نفت خام و تخریب حرارتی کروژن، بر آنها حکمفرما است. میزان قابلیت بازیافت از یک چاه منفرد در شیل، اساساً با بلوغ افزایش می‌یابد [۲۴].



شکل ۷. (الف) نمودار ون-کروتن و (ب) دیاگرام Tmax در مقابل شاخص هیدروژن، جهت تعیین نوع کروژن بوده (داده‌ها قبل از تصحیح) و نشان می‌دهد نمونه‌های مورد مطالعه از نوع کروژن III است.

از جمله فاکتورهایی که با آن می‌توان بلوغ (قرارگیری در مرحله نفت‌زایی یا گاززایی) را تعیین کرد، ضریب انعکاس ویترنیت (Ro) درصد نور انعکاسی از نمونه در زمانی که در روغن غوطه‌ور است، و مقدار آن از کمتر از ۰/۱ تا بیشتر از ۳ تغییر می‌کند، مقدار تا ۱/۱ مربوط به نفت و مقادیر بالاتر از ۱/۱ مربوط به گاز است) و Tmax (دمایی که در آن پیک S2 حداکثر مقدار است) است. در اینجا ما فقط داده‌های حاصل از پیرولیز نمونه‌ها را در اختیار داشته‌ایم و از آن استفاده شده است. با استفاده از فرمول (۱) می‌توان ضریب انعکاس ویترنیت را نیز برای نمونه‌ها تخمین زد [۲۵]. مقادیری که برای ضریب انعکاس به دست آمده به صورت جدول ۶ بوده که محدوده آن تا حدودی پنجره گاززایی را تأیید می‌کند.

$$Ro = 0.018 (T_{max}) - 7.16 \quad (1)$$

جدول ۵. داده های ژئوشیمیایی قابل قبول پس از تصحیح

Depth (m)	s1	s2	s3	Tmax	HI	OI	TPI	TOC	PC	RC
1877.568	1.42	1.55	0.59	450	70	27	0.48	2.22	0.25	1.97
1889.76	0.82	0.9	0.32	460	66	23	0.48	1.37	0.14	1.23
1935.48	0.68	0.68	0.35	465	57	29	0.5	1.19	0.11	1.08
1975	0.31	0.42	0.4182	446	82	28	0.42	0.51	0.2962	0.2138
1981.2	0.78	1.04	0.32	454	72	22	0.43	1.44	0.15	1.29
1996.44	1.34	1.93	0.36	472	79	15	0.41	2.43	0.27	2.16
2009	0.29	0.35	0.3486	446	83	41	0.45	0.42	0.2728	0.1472
2011.68	0.78	0.76	0.34	463	68	31	0.51	1.11	0.13	0.98
2026.92	0.57	0.6	0.36	471	73	44	0.49	0.82	0.1	0.72
2112	0.22	0.46	0.459	443	102	32	0.32	0.45	0.2264	0.2236

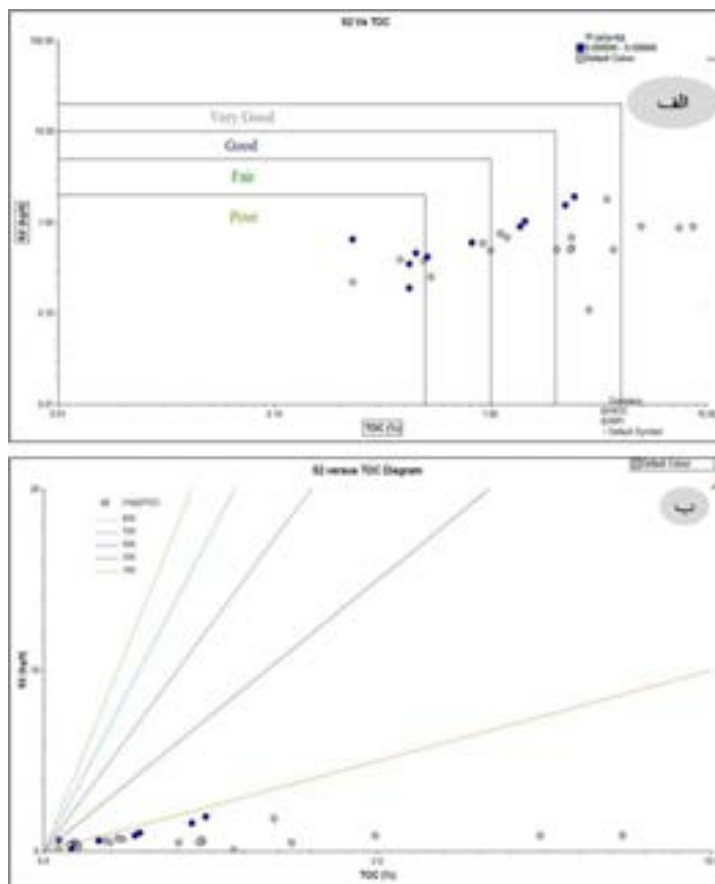
جدول ۶. ضریب انعکاس و یترینیت حاصل از فرمول ذکر شده در متن [۲۵].

Ro	Depth
0.94	1877.568
1.12	1889.76
1.21	1935.48
0.868	1975
1.012	1981.2
1.336	1996.44
0.868	2009
1.174	2011.68
1.318	2026.92
0.814	2112

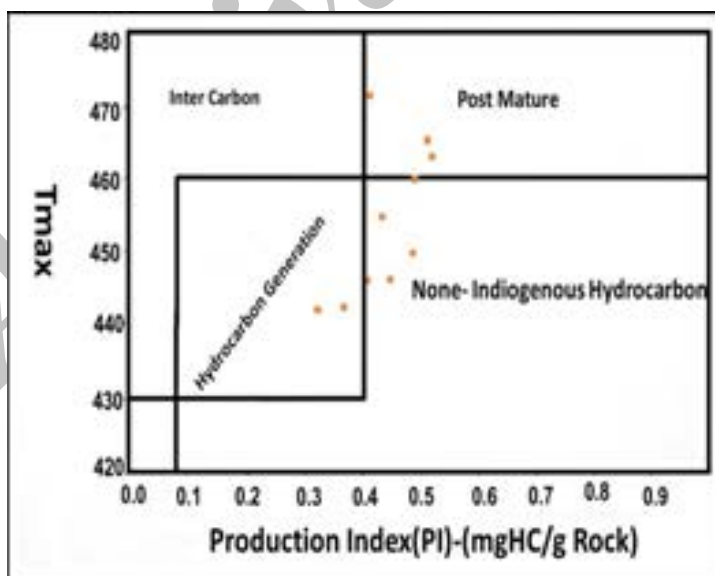
همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است، سنگ منشأ در مرحله نفت‌زایی و گازتر و میعانات گازی است، اما با توجه به اینکه کروژن نوع III بوده و واضح است که این نوع از کروژن قادر به تولید نفت نخواهد بود لذا ممکن است که این فاکتور (Tmax) تحت تأثیر آلودگی نمونه‌ها و یا دیگر شرایط قرار گرفته باشد. در شکل ۹ نشان داده شده است که سنگ منشأ بالغ است. کم بودن مقدار شاخص هیدروژن نیز می‌تواند تأیید کننده (پختگی بالا و تبدیل کروژن به کربن) باشد، لذا احتمالاً مقادیری گاز تولید کرده است.

۵-۲-۳. کیفیت سنگ منشأ

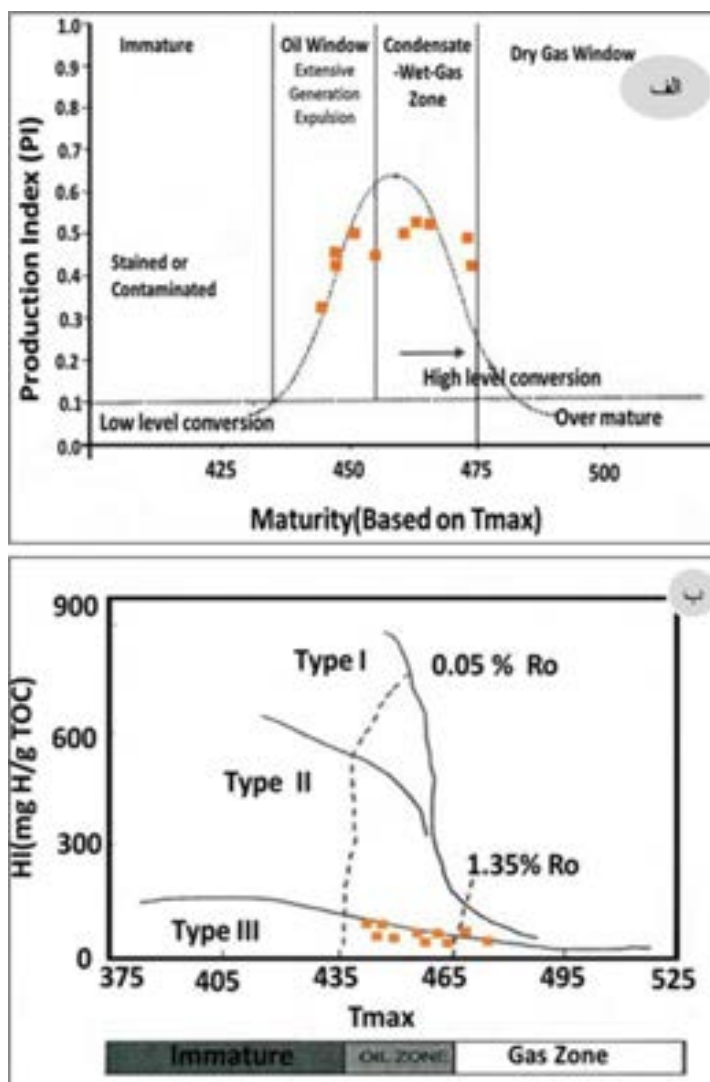
از جمله فاکتورهای موثر بر روی کیفیت سنگ منشأ شامل نوع کروژن، مقدار کربن آلی و میزان شاخص هیدروژن است. همانطور که قبلاً نشان داده شد کروژن در اینجا از نوع III بوده و گاززا است. گاززا بودن سنگ منشأ را می‌توان در نمودار S2 در مقابل TOC (شکل ۱۰ ب) نشان داد [۲۲]. با این وجود که HI نشان دهنده این است که سنگ منشأ دارای کیفیت خوبی نیست اما مقدار کل کربن آلی این تقیصه را خنثی می‌کند. نتایج ژئوشیمی نشان می‌دهد که مقدار کل کربن آلی در عمق‌های مختلف متفاوت است. این تغییرات به دلیل تغییر رخساره سازند گرو بدلیل تغییر در محیط‌های رسوبی است. همانطور که در دیاگرام TOC در مقابل S1+S2 شکل ۱۰ الف نشان داده شده است [۲۲] سنگ منشأ دارای کیفیت تقریباً خوب است.



شکل ۸. (الف) TOC در مقابل S1+S2 جهت بررسی کیفیت منشأ. (ب) TOC در مقابل S1 گاززا بودن سنگ منشأ را تأیید می‌کند.



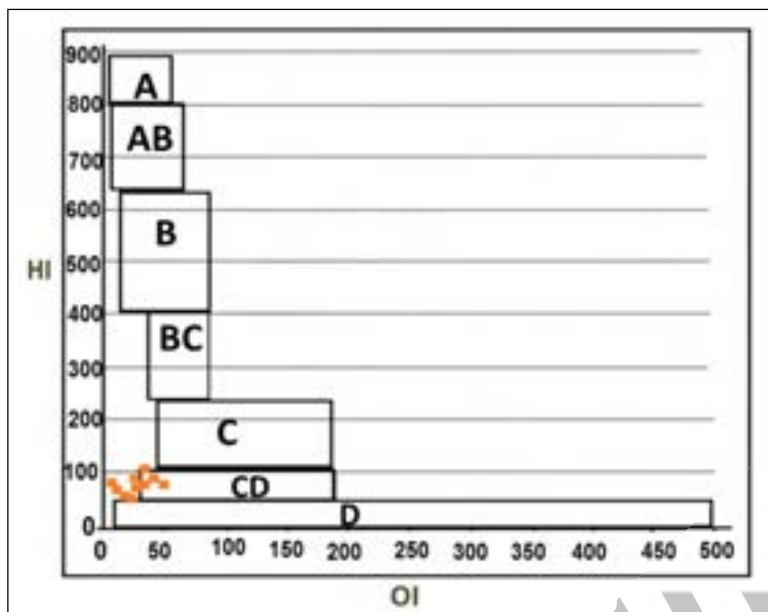
شکل ۹. شاخص تولید در مقابل Tmax برای تعیین بلوغ نشان می‌دهد که نمونه‌های مورد مطالعه بلوغ نسبتاً خوبی دارند.



شکل ۱۰. الف) PI در مقابل بلوغ و ب) HI در مقابل بلوغ جهت تعیین نوع هیدروکربور تولیدی بکار رفته است.

۵-۲-۴. تعیین رخساره

جهت تعیین رخساره آلی نمونه‌های مورد مطالعه از نمودار شکل ۱۱ [۲۲] استفاده شده است. در این نمودار براساس تغییرات مقادیر HI در برابر OI، محدوده رخساره‌ای نمونه‌های مورد مطالعه تعیین شده است (شکل ۱۱). این نمودار شامل محدوده‌های مشخص شده A، محیط دریایی شدیداً احیایی، AB، محیط‌های احیایی دریایی پیشرونده، B، محیط‌های دریایی یا دریاچه‌ای به طور نسبی احیایی، BC، محیط‌های دارای مواد آلی دریایی و قاره‌ای و رسوب‌گذاری سریع در شرایط اکسیدان، C، محیط‌هایی با سرعت رسوب‌گذاری متوسط در شرایط احیایی، CD، محیط‌های عمیق در مجاورت نقاط کوهزایی و D محیط‌های قاره‌ای شدیداً اکسیدان است. همانطور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، نمونه‌های مورد مطالعه در رخساره CD (محیط‌های عمیق در مجاورت نقاط کوهزایی) واقع شده است که این رخساره مطابق با رخساره ذکر شده در کتاب زمین‌شناسی ایران [۱۲، ۱۳] برای منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۱۱. نمودار شاخص هیدروژن در مقابل شاخص اکسیژن جهت تعیین رخساره.

۶. نتیجه‌گیری

در نمونه‌های مورد مطالعه با توجه به اینکه فراوانی حجمی کربنات (کلسیت و دولومیت) ۷۰ درصد، کوارتز ۲۵ درصد و رس ۲/۵ درصد است، ضریب شکنندگی شیل‌های گرو مناسب است. از لحاظ کانی‌شناسی نشان داده شد که مقدار کانی رسی کمتر از ۳ درصد است که این فاکتور برای تولید و استخراج گاز از سنگ منشأ، با توجه به اینکه باعث افزایش امکان شکنندگی سازند می‌شود فاکتوری مناسب است.

همانطور که در جدول ۲ دیده می‌شود، مقدار کل کربن آلی سازند در محدوده خوبی قرار دارد، که با افزایش عمق و افزایش بلوغ نیز افزایش می‌یابد. بر مبنای نمودار ون-کروتن و نمودار HI در مقابل Tmax سازند گرو دارای کروژن نوع III است. نمودار Tmax پنجره نفت‌زایی را نشان می‌دهد، که همانطور که می‌دانیم این نوع کروژن قادر به تولید نفت نخواهد بود، لذا احتمالاً بدلیل آلودگی نمونه این پارامتر فاقد صحت خواهد بود. البته مقادیر انعکاس ویترنیت محاسبه شده (جدول ۲) در بیشتر عمق‌ها بالاتر از ۱/۸ بوده و از لحاظ بلوغ پنجره گاززایی را نشان می‌دهد، که این مسئله با توجه به پائین بودن مقدار شاخص هیدروژن نیز قابل قبول می‌باشد.

این موارد نشان می‌دهد می‌توان شیل‌های گرو را شیل‌گازی در نظر گرفت: مقدار TOC با توجه به محدوده‌های مختلف موجود در محدوده مناسبی قرار گرفته است. سازند گرو دارای کروژن نوع III بوده که این دال برگاززا بودن این سازند است. مقادیر انعکاس ویترنیت نشان دهنده وجود پنجره گاززایی است، که کم بودن مقدار شاخص هیدروژن نیز پختگی بالا و پنجره گاززایی را تأیید می‌کند. همچنین نتایج ژئوشیمیایی وجود رخساره عمیق را در این سازند نشان می‌دهد. با توجه به اینکه امروزه منابع نامتعارف از اهمیت خاصی برخوردارند، لذا می‌توان با انجام بررسی‌های پتروفیزیکی به تعیین میزان تخلخل، اشباع شدگی و در نهایت میزان ذخیره موجود و تعیین ایتروال‌های مناسب پرداخت. بدیهی است که در صورت امکان وجود پیرولیزهای راک-اول بیشتر می‌توان دقت این مطالعات را افزایش داد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از زحمات آقایان دکتر رضایی و دکتر ربانی در داوری مقاله سپاسگزاری می‌نمایند.

۷. منابع

- [1] Browning, I.B.; 1932; *Relation of structure to shale gas accumulation in Devonian shale*, A symposium by the Appalachian Geol. Soc., Charleston, WVA, vol1. 16-20.
- [2] Lafferty, R.C; 1935; *Occurrence of gas in: Devonian shale*, A Symposium by the Appalachian geol. Soc., Charleston, WVA, v (1). 16-20.
- [3] Smith, E.C; 1979; *Gas occurrence in the devonian shale*, SPE 7921, SPE symposium on low-permeability gas reservoir, May20-22, Denver. Co. pp10.
- [4] Foster, J.M; 1975; *A new gas supply- The Devonian shale*, SPE 5451, Eastern regional meeting of SPE of AIME, Charleston, WVA, Nov 6-7.
- [5] Komar, C.A; 1976; *ERDA research in fracturing technology*, SPE6363, Eastern regional meeting of SPE of AIME, Columbus, OH. Nov.18-19. pp13.
- [6] Schrieder, L.A., Komar, C.A., Pasini, J; 1977; *Natural gas for eastern U.S shales*, SPE 6841, ATCE Denver, CO, Oct.9-12. pp 9.
- [7] Sondergeld, C.H., Newsham, K.E., Comisky, J.T., Rice, M., Rai, C.S; 2010; *Petrophysical consideration in evaluating and producing shale gas resources*, SPE Unconventional Gas Conference in Pittsburgh, Pensilvania, USA, pp1-34.
- [۸] کاووسی، م.ع، دریابنده، م، جمالی، ام، باقری تیرتاشی، ر، عبادیان، ح، شرکتی، ش، ۱۳۹۱، "پی جویی مقدماتی منابع هیدروکربوری غیر متعارف در ایران"، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، گزارش شماره TR ۱۹۱۴، ۱۳۳ص.
- [۹] ترازنامه هیدروکربوری کشور، ۱۳۸۷، "بخش هیدروکربوری"، ۱۴-۴۲ص.
- [10] James, G.A., and Wynd, J.G; 1965; *Stratigraphic nomenclature of Iranian oil consortium agreement area*, The American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 49, 2182-2245.
- [۱۱] مطیعی، ه، ۱۳۸۵، "زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس"، ۵۳۶ ص، سازمان زمین‌شناسی ایران.
- [۱۲] آقانباتی، ع، ۱۳۸۳، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران، ۳۸۲-۳۸۵ص.
- [۱۳] درویش‌زاده، ع، ۱۳۷۰، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات نشر دانش امروز، ۹۰۱ ص.
- [۱۴] علایی، س، ضیایی، م، نعمتی، م، ۱۳۹۱، "سازندهای گرو و سرگلو، تشکیلات شاخص شیل گازی درحوضه لرستان - سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، دانشگاه شاهرود، ایران، ۱۳۹۱ص.۹.
- [۱۵] نگهداری، ا، ضیایی، م، نعمتی، م، ۱۳۹۱، "پتانسیل یابی و ارزیابی ژئوشیمیایی سازندهای شیلی حوضه زاگرس با هدف اکتشاف شیل‌های گازی در ایران" دومین همایش نفت، گاز و پتروشیمی، ۱۶-۱۷ اسفند ۱۳۹۱.
- [16] Passey, Q.R., Bohacs, K.M., Esch, W.N., Klimentidis, R., Sinha, S; 2012; *My Source Rock Is Now My Reservoir: Geologic and petophysical characterization of shale gas reservoir*, Adapted from 2011-2012 AAPG Distinguished Lecture for AAPG European Region. Texas. pp47.
- [17] Harvey, T; 2013; *The Carboniferous Bowland shale gas study: geology and resource estimation*, DECC/BGS shale gas studies, Onshore petroleum exploration and development licences, department of energy and climate change, pp34.
- [18] Roberts, D.F; 2013; *Identifying and mapping clay-rich intervals in Fayettevill shale: Influence of clay on natural gas production intervals*, the university of Texas at Austin, sis Th Degree of master of science in geological science.
- [19] Jervie, D.M., Hill, R.J., Ruble, T.E., Pollastro, R.M; 2007; *Unconventional shale-gas systems: The Mississippian Barnett shale on north-central Texas as one model for thermogenic shale gas assessment*, AAPG Bulletin 91(4), 475-499.
- [20] Rickman, R., Mullen, M., Peter, E., Grieser, B., Kundert, D; 2008; *A practical use of shale petrophysics for stimulation design optimization: All shale plays are not clones of the Barnett shale*, Publisher: society of petroleum engineers, SPE115258, Presented at 2008 SPE annual technical conference and exhibition, Denver, Colorado, 21-24. pp11.
- [۲۱] معماربانی، م، ۱۳۹۱، "جزوه درسی ژئوشیمی آلی دانشگاه سمنان"
- [22] Kamali, M.R., Rezaee, M.R; 2012; *Identification and Evaluation of Unconventional Hydrocarbon Reserves: Examples from Zagros and Central Iran Basins*, Geoscience, Tehran university. Article 3, Vol 2, Number 1, Page 27-36 .pp14.
- [23] Durand, B., Monin, J.C; 1980; *Elemental analysis of kerogen(C,H,O,N,S,Fe).B.Durand Ed., Kerogen insoluble organic matter from sedimentary rocks*, Paris, Edition Technip, 113-142.

- [24] Sondhi, N; 2011; *Petrophysical Characterization Of Eagle Ford Shale*, Thesis Degree Of Master Of Science, University Of Oklahoma.
- [25] Dayal, A.M; 2013; *Unconventional Shale Gas as future source of energy*, 3rdPetrocoal Congress, ppt.Copyright@2013 petroleum industry press. Published by Elsevier Inc.
- [26] TNO; 2009; *Inventory non-conventional gas*.TNO-034-UT-2009-00774/B.
- [27] Charpentier, R.R., Cook, T.A.; 2011; *USGS Methodology for Assessing Continuous Petroleum Resources*, U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1167. pp75.
- [28] Gilman, J., Robinson, C; 2011; *Success and failure in shale gas exploration and development: attributes that make the difference*, Oral presentation at AAPG International Conference and Exhibition, Calgary, Alberta, September 12-15, pp31.
- [29] Lewis, R., Ingraham, D., Percy, M., Williamson, J., Sawyer, W., Frantz, J.; 2004; *New evaluation techniques for gas shale reservoirs* .Reservoir Symposium 2004. pp11.
- [30] Jarvie, D. M.; 2012; *Shale resource systems for oil and gas: Part 1 Shale-gas resource systems*, in J. A. Breyer (ed.) *Shale reservoirs—Giant resources for the 21st century*. AAPG Memoir 97: 69–87.
- [31] Ewbank, G., Manning, D.A.C., Abbott, G.D; 1993; *An organic geochemical study of bitumens and their potential source rocks from the South Pennine Orefield, central England*, Organic Geochemistry 20: 579–598.
- [32] Harvey, T; 2013; *The Carboniferous Bowland shale gas study: geology and resource estimation*, DECC/BGS shale gas studies, Onshore petroleum exploration and development licences, department of energy and climate change, pp8-40.

Archive of SID