

# ارزیابی ژئوشیمیایی عناصر کمیاب شیل‌های نفتی قالی کوه (جنوب باختر الیگودرز) با استفاده از روش‌های تجزیه عنصری و پیرو لیز راک‌اول

مریم فریدونی<sup>۱\*</sup>، محمد لطفی<sup>۲</sup>، نعمت‌اله رشیدنژاد عمران<sup>۳</sup> و مهرباب رشیدی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۴</sup> کارشناسی ارشد، مدیریت اکتشاف، شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۶

## چکیده

منطقه قالی کوه در ۳۵ کیلومتری شهرستان الیگودرز، دارای بخش عظیمی از رسوبات شیل نفتی در دو سازند سرگلو و گرو (سن ژوراسیک و کرتاسه) است. به منظور مطالعه متغیرهای آلی و معدنی شیل‌های نفتی قالی کوه (تعیین نوع ماده آلی و کروژن‌های موجود، کل کربن آلی (TOC)، بلوغ گرمایی، غلظت و رده‌بندی عناصر و کانی‌های موجود در نمونه‌ها) و ارائه الگو و چگونگی ارتباط میان این متغیرها، ۲۰ نمونه شیل نفتی از دو برش مجزا (ده به قالی ۳ و چرون ۳) انتخاب شد و مورد تجزیه‌های ژئوشیمیایی همچون پیرولیز راک‌اول، XRF، ICP OES و XRD قرار گرفت. بر پایه نتایج به دست آمده از نمونه‌های تجزیه‌ای، شیل‌های نفتی قالی کوه دارای پتانسیل خوب تا عالی برای تولید نفت با میزان بالایی از TOC (۱۳/۵ میانگین درصد وزنی)، کروژن نوع II (دریایی و نفت‌زا) و عدم بلوغ کافی (ابتدای پنجره نفتی) هستند. از سوی دیگر، این شیل‌ها بی‌هنجاری‌های مختلفی از عناصر فلزی و غیرفلزی و غلظت بالایی از عناصر استراتژیک نسبت به میزان کلارک پوسته‌ای از خود نشان می‌دهند. نمودارهای دندریتی رسم شده برای عناصر موجود در نمونه‌ها (نتایج به دست از SPSS)، منشأهای متفاوتی را برای هر گروه نشان می‌دهد. برخی در ارتباط و همبستگی مثبت بالا با شکل‌گیری مواد آلی، متغیر TOC، رزین و آسفالتن نمونه‌ها و برخی در رابطه با مواد آواری، آلومینوسیلیکاتی و همچنین هوازدگی سنگ منشأ هستند.

**کلیدواژه‌ها:** شیل نفتی، کل کربن آلی، پیرولیز راک‌اول، کروژن، بی‌هنجاری، عناصر استراتژیک.

\*نویسنده مسئول: مریم فریدونی

E-mail: Maryam.f\_geologist@yahoo.com

## ۱- پیش‌نوشتار

شیل‌های نفتی، منابع غیرمتعارف نفتی با مقادیر بالایی مواد آلی (قهوه‌ای تا سیاه) هستند، که می‌توان مقدار فراوانی نفت به وسیله فرایند تقطیر از آنها بهره‌برداری کرد (Ots, 2007). وجود بخش سترگی از منابع شیل نفتی ایران در منطقه قالی کوه در جنوب باختری شهرستان الیگودرز، در دو سازند سرگلو و گرو گزارش شده است (شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۹۲). در واقع رسوبات ژوراسیک میانی این حوضه بیشتر از نوع شیل و سنگ‌آهک رسی متعلق به محیط‌های رسوبی با ژرفای متوسط (سازند سرگلو) هستند. سترهای شیل‌های نفتی این سازند به بیش از ۳۰ متر می‌رسد. مطالعات ژئوشیمیایی انجام شده روی بسیاری از شیل‌های نفتی دنیا از جمله حوضه شیل نفتی گرین‌ریور در کانادا نشان داده است که این شیل‌ها افزون بر توان هیدروکربن‌زایی بالا، بی‌هنجاری‌هایی از برخی عناصر فلزی و غیرفلزی نشان می‌دهند (Wilkerson, 1982). بر این اساس می‌توان شیل‌های نفتی را همچون یک سد ژئوشیمیایی با ماهیت آلی در نظر گرفت که ظرفیت خوبی از عناصر استراتژیک مانند مولیبدن، وانادیم، نیکل و... دارند. هدف از این مطالعه، انجام مطالعات ژئوشیمیایی روی دو برش سطح‌الارضی منطقه قالی کوه (برش ده‌به قالی ۳ و چرون ۳)، از جمله پیرولیز راک‌اول به منظور تعیین پتانسیل، تحول گرمایی، نوع کروژن و متغیرهای آلی شیل‌های نفتی و انجام آزمایش‌های تجزیه عنصری (XRF، ICP OES و XRD) به منظور تعیین غلظت و رده‌بندی عناصر و کانی‌های موجود در نمونه‌ها برای تشخیص منشأ و رخداد هر گروه به‌طور مجزا و در نهایت، ارائه الگو و تعیین چگونگی ارتباط میان متغیرهای آلی و معدنی در ارتباط با نقش مواد آلی در افزایش و کاهش غلظت عناصر است.

## ۲- زمین‌شناسی

منطقه قالی کوه در ۳۵ کیلومتری جنوب باختری شهرستان الیگودرز در استان لرستان قرار گرفته است. واحدهای سنگ‌چینه‌ای این منطقه سنی از کامبرین تا تریسیری را

دارند، ولی بیشتر سازندهای دارای شیل نفتی در این منطقه در دو سازند سرگلو و گرو با سن ژوراسیک و کرتاسه است (شکل ۱). سازند سرگلو شامل مجموعه‌ای از نهشته‌های شیلی و سنگ‌آهک‌های رسی و سازند گرو متشکل از افق شیل نفتی با سترهای گسترده‌ای از نهشته‌های آهک نازک تا متوسط لایه و شیل‌های آمونیت‌دار و گرهرک‌های لایه‌ای چرتی سیاه‌رنگ هستند. سترهای واحدهای شیل نفتی در سازند سرگلو ۳۰ متر و در سازند گرو حدود ۳ متر در نظر گرفته شده است (شکل ۲).

سنگ‌های قدیمی پالئوزویک زیرین در این منطقه، در اثر عملکرد گسل‌های راندگی (نوعی گسل وارون با شیب کمتر از ۱۵ درجه که می‌تواند جابه‌جایی قابل توجهی داشته باشد و بیشتر در چینه‌های قدیمی که روی چینه‌های جدید قرار گرفته‌اند رخ می‌دهد) از ژرفا به سطح آمده‌اند و در امتداد پهنه‌های شکستگی رخنمون پیدا کرده‌اند (شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۹۲). جوان‌ترین واحدهای رسوبی منطقه یادگانه‌ها و مخروط‌افکنه‌های جوان، آبرفت‌های عهد حاضر، رسوبات منفصل بستر آبراهه‌ها و رودخانه‌ها و واریزه‌ها و گسترده‌ترین واحدهای سنگی منطقه سازندهای گرو و کنگلو‌مرای بختیاری هستند.

محدوده اصلی مورد مطالعه در منطقه قالی کوه، از دو سازند شیلی گرو و سرگلو شامل ۲ برش ده‌به قالی ۳ و چرون ۳ است. طول مقطع برش ده‌به قالی ۳، ۹۹ متر است و از بخش میانی سازند سرگلو شروع می‌شود و در شیل نفتی سازند گرو به پایان می‌رسد. از سوی دیگر طول مقطع برش چرون ۳، ۸۰ متر است و از اواسط سازند سرگلو شروع و به ابتدای سازند گرو ختم می‌شود (شکل ۳).

منطقه قالی کوه لرستان، از دید تقسیمات زمین‌شناسی ایران و از دیدگاه ساختاری، بر پایه تقسیم‌بندی Stocklin (1968) در پهنه زاگرس مرتفع (High Zagros) و یا پهنه رانده/خردشده (Crushed Zone) جای گرفته است که در آن، گسلش بر چین‌خوردگی چیرگی دارد و واحدهای رسوبی متعلق به پالئوزویک و مزوزویک

به دست می‌آید، با افزایش میزان بلوغ ماده آلی و شکست گرمایی کروژن افزایش می‌یابد. به‌طور کلی با افزایش سطح بلوغ کروژن، میزان  $S_1$  افزایش و میزان  $S_2$  کاهش می‌یابد.

### ۳-۲. آنالیز طیف‌سنجی نشر اتمی - پلاسما جفت‌شده القایی (ICP)

روش ICP می‌تواند ۱۰ عنصر اصلی و بیش از ۲۰ عنصر کمیاب را در نمونه تعیین کند (میرزاد و لنگرانی، ۱۳۹۲). بدین منظور از ۲۰ نمونه برداشت شده، پودر ۲۰۰ مش تهیه و سپس ۰/۵ گرم از نمونه با ۱۰ سی‌سی هیدروژن فلورید، ۶ سی‌سی هیدروکلریک اسید و ۱۰ سی‌سی اسید نیتریک مخلوط و روی گرمکن گذاشته می‌شود تا سیاهی ناشی از حضور مواد آلی از میان برود. سپس نمونه با ۱۰ سی‌سی اسید نیتریک یک مولار مخلوط می‌شود، تحت تأثیر گرما قرار می‌گیرد و در بالن ۵۰ سی‌سی به حجم رسانده می‌شود. در پایان نمونه در دستگاه ICP خوانش می‌شود. در این روش (تفلونی) همه عناصر به جز نقره، اورانیم و تنگستن تعیین مقدار می‌شوند. ولی در روش لوله این ۳ عنصر نیز قابل اندازه‌گیری هستند. در این روش ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه در لوله آزمایشگاهی ریخته و سپس ۵ سی‌سی اسید کلریدریک و ۲ سی‌سی نیتریک اسید به آن افزوده می‌شود. این مخلوط در حمام بخار با دمای ۶۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱/۳۰ تا ۲ ساعت گذاشته می‌شود. در ادامه لوله‌ها به حجم ۲۰ سی‌سی رسانده و به هم زده می‌شوند و سپس از کاغذ صافی واتمن ۴۰ عبور داده و در پایان محلول شفاف خوانش می‌شود (جدول ۲). همه مراحل آزمایش، اعم از آماده‌سازی نمونه‌ها و خوانش، در آزمایشگاه ICP سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی تهران صورت گرفته است.

### ۳-۳. روش فلورسانس پرتو ایکس (XRF)

در روش فلورسانس پرتو ایکس، پس از آماده‌سازی نمونه‌های شیل نفتی در آزمایشگاه XRF سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات و معدنی تهران، پرتو ایکس به نمونه‌ها تابیده و با برانگیختن اتم‌ها سبب پدید آمدن پرتو ایکس ثانویه می‌شود. با تعیین طول موج یا انرژی پرتو ایکس ثانویه، عنصرهای مورد نظر قابل شناسایی هستند (جدول ۳).

### ۳-۴. روش طیف‌سنج پراش پرتو ایکس (XRD)

اگر یک دسته الکترون سریع و پراثری به یک هدف فلزی در یک لوله تخلیه برخورد کند، الکترون‌ها در این برخورد سرعت خود را ازدست می‌دهند و بخشی از انرژی جنبشی آنها به پرتو X تبدیل می‌شود. پرتو حاصل که به‌صورت یک طیف پیوسته ظاهر می‌شود، دارای کمترین طول موج و یا بیشترین بسامد است که به بیشترین انرژی الکترون‌ها وابسته است (Christian & O'Reilly, 1986).

به‌منظور تعیین نوع کانی‌های تشکیل‌دهنده شیل‌های نفتی قالی‌کوه، ۴ نمونه از دو برش مورد مطالعه و بر پایه میزان TOC (۲ نمونه از برش دهه قالی ۳ و ۲ نمونه از برش چرون ۳) انتخاب شد و در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی تهران مورد آزمایش قرار گرفت (شکل ۴).

## ۴- بحث

### ۴-۱. پیرولیز راک‌اول

به منظور تعیین میزان فراوانی کربن آلی در نمونه‌های سطحی شیل نفتی منطقه مورد مطالعه، نمودار فراوانی TOC (Total Organic Carbon) برای دو برش دهه قالی ۳ و چرون ۳ رسم شد. میانگین TOC در برش دهه قالی ۳، ۱۳/۸۰۸ درصد و در برش چرون ۳، ۱۳/۷۸۵ درصد است (شکل ۵).

میزان TOC بالای ۲ درصد وزنی، نشان‌دهنده یک سنگ منشأ بسیار خوب برای نمونه‌هاست (Peters, 1986). در نتیجه، درصد وزنی TOC نمونه‌های شیل نفتی قالی‌کوه (۱۳/۷۹ درصد)، یک سنگ منشأ خوب تا عالی را برای دو برش مورد مطالعه نشان می‌دهد.

با سطح تماس گسل بیرون‌زدگی دارند. روند تاقدیس‌ها و ناودیس‌های شکل گرفته نیز به پیروی از روند چیره رشته‌کوه زاگرس، شمال‌باختری - جنوب‌خاوری است.

## ۳- مواد و روش‌ها

به‌منظور تعیین غلظت عناصر فلزی و غیرفلزی و کانی‌های موجود در شیل‌های نفتی قالی‌کوه، ۲۰ نمونه شیل نفتی از دو برش سطح‌الارضی (۵ نمونه از سازند سرگلو و ۵ نمونه از سازند گرو برش دهه قالی ۳ و ۶ نمونه از سازند سرگلو و ۴ نمونه از سازند گرو برش چرون ۳) انتخاب (شکل ۱) و مورد تجزیه‌های ICP OES، XRF و XRD قرار گرفت. همچنین برای تعیین پتانسیل آلی، تحول گرمایی، نوع کروژن و متغیرهای آلی شیل‌های نفتی، نمونه‌ها مورد تجزیه پیرولیز راک‌اول (Rock Eval) قرار گرفتند. در پایان برای ارائه الگو و تعیین چگونگی ارتباط میان متغیرهای آلی و معدنی به دست آمده و همچنین نقش مواد آلی در افزایش و کاهش غلظت عناصر، از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

### ۳-۱. پیرولیز راک‌اول

از پیرولیز راک‌اول می‌توان به‌عنوان یک روش استاندارد پیرولیز، به گستردگی در صنعت نفت استفاده کرد (Lafargue et al., 1998). این روش اطلاعات با ارزشی در زمینه میزان کل کربن آلی (TOC)، نوع ماده آلی، پتانسیل بالقوه و بالفعل، بلوغ گرمایی ماده آلی و همچنین مهاجرت هیدروکربن از سنگ منشأ ارائه می‌کند (Kotorba et al., 2003) که به کمک آنها می‌توان ۳ مرحله اصلی ارزیابی سنگ منشأ (تعیین مقدار، نوع و بلوغ گرمایی ماده آلی) را تعیین کرد (Behar et al., 2001). متغیرهای به دست آمده از این پیرولیز شامل:  $S_1$ ،  $S_2$ ،  $S_3$  شاخص هیدروژن (HI)، شاخص اکسیژن (OI)، شاخص تولید (PI) و Tmax است.

هیدروکربن‌های آزادی که در زمان رسوب‌گذاری در سنگ وجود داشته و یا در طی تدفین رسوبات از کروژن تولید شده‌اند، در دمای حدود ۳۰۰ درجه تبخیر می‌شوند. این پدیده (گرمای تبخیر؛ Thermal - Vaporization)، در عرض ۳ دقیقه سبب تشکیل پیک  $S_1$  می‌شود، که آن را برحسب میلی‌گرم هیدروکربن بر سنگ و یا نمونه (mg HC/g Rock) بیان می‌کنند. در دمای ۳۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد کروژن و بی‌تومین‌های آزاد سنگین که تا دمای ۳۰۰ درجه تبخیر شده‌اند، شکسته می‌شوند و پیک  $S_2$  را تشکیل می‌دهند که برحسب میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ و یا نمونه (mg HC/g Rock) نشان داده می‌شوند و بیانگر پتانسیل باقیمانده نمونه سنگ هستند. دمایی که پیک  $S_2$  در آن بیشینه است (بیشترین هیدروکربن‌های تولید شده از شکستن گرمایی کروژن) را Tmax می‌نامند و آن را برحسب درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهند. گروه‌های کربوکسیل و دیگر ترکیبات اکسیژن‌دار در دمای ۳۰۰ تا ۳۹۰ درجه شکسته می‌شوند و دی‌اکسید کربن تولید می‌کنند، که در بخشی از دستگاه به تله می‌افتند و جمع می‌شوند و در طی سرد شدن و پس از این که تولید و ثبت هیدروکربن از کروژن به پایان رسید، رها و توسط نمایانگر هدایت گرمایی اندازه‌گیری و برحسب میلی‌گرم دی‌اکسید کربن بر گرم سنگ یا نمونه (mg  $CO_2$ /g Rock) به‌صورت پیک  $S_3$  ثبت می‌شوند. میزان شاخص هیدروژن (HI) بازگوکننده میزان هیدروژن و توان هیدروکربن‌زایی نمونه خواهد بود. برای یک سنگ منشأ نابالغ و یا با بلوغ کم، مقادیر شاخص هیدروژن نشان‌دهنده نوع هیدروکربن‌های تولیدی از یک سنگ منشأ هیدروکربن است. با کاهش میزان  $S_2$  بی‌هنجاری‌های مثبتی در میزان شاخص اکسیژن (OI) ایجاد می‌شود. به‌طور کلی با افزایش میزان حفظ‌شدگی ماده آلی و کاهش عوامل اکسیدکننده، شاخص هیدروژن افزایش می‌یابد؛ در حالی که با تغییر رسوب‌گذاری ماده آلی و ایجاد شرایط اکسیدان‌تر، ماده آلی بیشتر اکسید می‌شود و محتوای هیدروژن و در نتیجه شاخص هیدروژن آن کاهش می‌یابد. شاخص تولید (PI) متغیری است که تحت شرایطی، معرف بلوغ ماده آلی است. این شاخص که از نسبت  $S_1$  به مجموع  $S_1$  و  $S_2$

**– گروه الف)** MgO – K<sub>2</sub>O – Na<sub>2</sub>O – S – Tb – Mn – Ta – Cs – Yb – Sm – Lu – Gd – Er – Cr – Y – La – Hg – Dy – Zn – Cd – Se – B – Nd – Ho – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Be – Sc – Ga – Ti – Nb  
 نمونه‌های شیل نفتی منطقه، در حد فاصل پهنه نابالغ و ابتدای پنجره نفتی قرار دارند و در مجموع روند کاهش شاخص هیدروژن را بدون تغییر چیره در میزان T<sub>max</sub> نشان می‌دهند؛ این تا حدی تأثیر دگرسانی رسوبی یا هوازدگی سنگ را نشان می‌دهد. در نتیجه، حضور عناصر Al، K، Na و Ti در گروه الف و همبستگی مثبت آنها با دیگر عناصر در گروه یاد شده، می‌تواند نشان‌دهنده این مطلب باشد که متغیرهای گروه الف در رابطه با هوازدگی سنگ منشأ و همچنین در رابطه با کانی‌های آلومینوسیلیکاتی و رسی هستند. زیرا آلومینیم یک منشأ آواری دارد و افزایش در مواد آلی عامل کاهش تمرکز Al است (Gulbay, 2007). افزون بر همبستگی برخی عناصر همچون Ga با کانی‌های آلومینوسیلیکاتی که اساساً منشأ کانی رسی دارند، این عنصر همبستگی بالایی با گوگرد نشان می‌دهد. یادآور می‌شود که Ga از دید شعاع و بار یونی با Al رابطه خویشاوندی و میزبانی دارد.

عنصر ایتیم جزو عناصر خاکب کمیاب به شمار می‌آید و به‌طور ذاتی لیتوفیل (سنگ‌دوست) است؛ ولی وجود بخش‌های آلی در برخی سنگ‌ها مانند شیل سبب تمرکز این عنصر در نمونه شده است. همچنین غلظت عنصر ایتیم (Y) موجود در نمونه‌ها می‌تواند در رابطه با مواد جلبکی شناخته شود (Smit, 1991).

**– گروه ب)** Pb – Cu – Zr – Pr  
 کانی‌سازی سولفیدی حتی در حد بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی هستند. حتی اگر کانی‌های مس و روی وجود نداشته باشد، پیریت می‌تواند حضور این عناصر را تأیید کند.

**– گروه ج)** Co – As – U – Mo – Tm – Hf – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Tb – Ni – Eu – V – Ce  
**TOC – P – Sm – Rb**؛ حضور متغیر TOC، می‌تواند دلیلی بر کنترل همه متغیرهای این گروه توسط مواد آلی باشد. شیل‌های نفتی دارای مقادیر بالایی از آسفالتن و رزین هستند. در حالی که مقادیر هیدروکربن‌های آلکانال و آروماتیک در نفت مهاجرت یافته نسبت به گروه آسفالتن و رزین بیشتر است (کمالی و شایسته، ۱۳۸۷)؛ بسیاری از فلزات کمیاب در رابطه با ترکیبات آسفالتن و رزین هستند.

عنصر Mo به‌طور مستقیم در رابطه با شرایط اکسایش و احیاست. در واقع، جزو عنصری به شمار می‌آید که در رسوبات غنی از مواد آلی در شرایط احیایی حضور دارند (Gulbay, 2007). از سوی دیگر، Mo و U در شرایط احیا از راه انتشار آب منفذی به رسوبات افزوده می‌شوند.

Ni افزون بر همبستگی بالا با مواد آلی، همبستگی مثبت بالایی با Al دارد؛ میزان حضور این عناصر می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر هر دو متغیر آلی و کانی‌های رسی باشد. لازم به یادآوری است که ترکیبات نفتی شامل ۲ دسته هیدروکربنی و غیر هیدروکربنی می‌شوند. ترکیب‌های غیر هیدروکربنی نیز درصد بالایی از اتم‌های کربن و هیدروژن دارند، ولی افزون بر این اتم‌ها، اتم‌های دیگری نیز در این ترکیب‌ها شرکت می‌کنند که شامل نپتروژن، گوگرد و اکسیژن هستند و به نام هترو اتم شناخته می‌شوند. غیر هیدروکربن‌ها دربرگیرنده ترکیبات ناهمسان نفتی هستند. عناصر فلزی مانند وانادیم، نیکل، منیزیم و مس نیز در این مولکول‌های ناهمسان دیده می‌شوند. در برخی از مولکول‌های ناهمسان منشأ این عناصر فرایندهای زیستی تشخیص داده شده است (کمالی و شایسته، ۱۳۸۷). با توجه به داده‌های پیرولیز راکا اول (کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم هیدروکربن در هر گرم کربن آلی برای نسبت S<sub>1</sub>/TOC)، همه نمونه‌های انتخابی شیل نفتی در منطقه، نشان‌دهنده هیدروکربن‌های درج‌ازا و بومی هستند. حضور عنصر فسفر می‌تواند به وسیله مواد آلی درج‌ازا و بومی و یا ترجیحاً به وسیله تمرکز مواد آلی طی دیاژنز نشان داده شود (Smit, 1991).

برای تعیین نوع کروژن‌های موجود در نمونه‌های تجزیه‌ای از نمودار S<sub>2</sub>/TOC استفاده می‌شود.

بر پایه تقسیم‌بندی (Hutton 1987)، نمونه‌هایی که در محدوده کروژن نوع I قرار بگیرند، از نوع دریاچه‌ای (جلبک‌های زندگی کننده در آب‌های شیرین و شور)، نمونه‌هایی که در محدوده کروژن نوع II قرار بگیرند، از نوع دریایی (جلبک‌های دریایی) و نمونه‌هایی که در محدوده کروژن نوع III قرار بگیرند، از نوع خشکی (مواد آلی غنی از لیپید مانند صمغ گیاهی، اسپور، موم، ریشه و ساقه گیاهان آوندی خشکی) هستند. همان گونه که در شکل ۶ دیده می‌شود، بخش اعظم نمونه‌های شیل نفتی قالی‌کوه در محدوده نوع ۲ و با منشأ دریایی و نفت‌زا جانمایی شده‌اند. در رابطه با بلوغ نفتی زمانی که متغیر T<sub>max</sub> به دست آمده از پیرولیز راکا اول در محدوده ۴۳۵ تا ۴۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار بگیرد، نشان‌دهنده ابتدای پنجره نفتی است (اشکان، ۱۳۸۳). متغیر T<sub>max</sub> برای دو برش مورد مطالعه، میانگینی در حدود ۴۴۰/۹ نشان می‌دهد که تأیید کننده ابتدای پنجره نفتی نمونه‌های ده‌به قالی است.

#### ۴-۲. آنالیزهای عنصری

نمودارهای به دست آمده از آنالیزهای XRD نشان می‌دهد، که بیشتر کانی‌های موجود در نمونه‌ها، کانی کلسیت است. در نتیجه نتایج تجزیه XRF و XRD سبب شده تا نمونه‌های شیل نفتی منطقه قالی‌کوه در رده شیل‌های نفتی کربناتی قرار گیرند. مقاطع میکروسکوپی نمونه‌های منطقه با توجه به حضور بخش زیادی کانی کلسیت در زمینه‌ای از مواد آلی سیاه‌رنگ، تأیید کننده کربناتی بودن شیل‌های نفتی هستند (شکل ۷).

از سوی دیگر، مقایسه غلظت عناصر موجود در نمونه‌های شیل نفتی منطقه قالی‌کوه با کلارک پوسته‌ای (شکل ۸)، تفاوت چشمگیری در میزان عنصر کلسیم نشان می‌دهد؛ که می‌تواند تأیید کننده کربناتی بودن شیل‌های نفتی قالی‌کوه باشد.

پس از کربنات‌ها، دومین فاز کانیایی از دید فراوانی، کانی‌های رسی و مواد آلی هستند. نمونه‌های شیل نفتی منطقه فسیل‌های دوکفه‌ای پزیدینا، سوزن اسفنج، آمونیت، تینتینید، ساکوکوما و رادیولاریا به همراه بلورهای پیریت با رنگ تیره و لایه‌های نازک سبتر دارند. این موارد نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در محیط ژرف است که پس از غرق‌شدگی سکوی کربناتی سازند سورمه (ناشی از افزایش نسبی سطح آب دریا) در ژوراسیک میانی ته‌نشست شده است. بدین ترتیب که روی رخساره‌های سکویی، رخساره‌های پلاژیک قرار می‌گیرند. از سوی دیگر، لایناسیون‌های موجود در آهک‌های نازک‌لایه و سیاه‌رنگ سازند سرگلو، نشان‌دهنده رسوب‌گذاری در شرایط بی‌هوازی و احیایی است.

دیگر کانی‌های موجود در نمونه‌های شیل نفتی شامل کوارتز، فلدسپار، ژاروسیت و ژیبس است. کانی‌های کوارتز و فلدسپار ناشی از هوازدگی و فرسایش دیگر کانی‌ها و سنگ‌های موجود در حوضه رسوب‌گذاری هستند. کانی ژاروسیت، در اثر تجزیه و تخریب پیریت در PH بالای ۲/۵ رسوب کرده است (آقائی کریق و همکاران، ۱۳۹۰). کانی ژیبس که محصول واقعی برونزاد است، ممکن است در اثر اکسایش پیریت (Dill et al., 1997) و یا در اثر تغییر در سطح تراز آب در محیط رسوب‌گذاری به وجود آمده باشد.

#### ۴-۳. تلفیق متغیرهای آلی و معدنی با استفاده از نرم‌افزار SPSS

بسیاری از شیل‌های نفتی افزون بر داشتن پتانسیل نفتی، می‌توانند یک منبع مهم از عناصر مختلف غیر آلی نیز به شمار روند (Xiugen et al., 2011). به‌منظور رده‌بندی عناصر و کانی‌های موجود در نمونه‌ها (بر پایه منشأ و چگونگی رخداد)، ارتباط ژئوشیمیایی میان متغیرهای آلی و معدنی و همچنین نقش مواد آلی در افزایش و کاهش غلظت عناصر از نمودار دندردی نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. همان‌گونه که در نمودار دندردی (شکل ۹) دیده می‌شود، می‌توان همه متغیرها را در نمونه‌های برداشتی به ۴ گروه مجزا تقسیم‌بندی کرد.

– کروژن‌های شناخته شده در این شیل‌های نفتی از نوع ۲ با منشأ دریایی و نفت‌زا هستند.

– بر پایه داده‌های پیرولیز راکت‌اول، نمونه‌های شیل نفتی رخنمون یافته در ناحیه قالی‌کوه از پتانسیل خوب تا عالی برای تولید نفت برخوردارند و به‌عنوان یک سنگ منشأ بسیار خوب تا عالی مورد توجه قرار گرفته‌اند.

– میانگین ۴۴۰/۹ برای متغیر Tmax در نمونه‌ها، نشان‌دهنده عدم بلوغ کافی و ابتدای پنجره نفتی برای نمونه‌های منطقه بوده است.

– شیل‌های نفتی ناحیه قالی‌کوه، بر پایه تجزیه XRD، دارای چند کانی شاخص مانند کلسیت، کانی‌های رسی و همچنین کوآرتز، پیریت، ژاروسیت و ژیس هستند.

– بالا بودن کانی‌های کربناتی با توجه به نتایج تجزیه XRD و همچنین حضور کانی کلسیت در زمینه‌ای از مواد آلی در مقاطع میکروسکوپی، این شیل‌ها را در رده شیل‌های کربناتی قرار داده است.

– شیل‌های قالی‌کوه، بر پایه تجزیه ICP دارای فراوانی متفاوتی از عناصر هستند که بر پایه رسم نمودار دندریتی در SPSS، همه عناصر در ۴ گروه قابل تفکیک هستند.

– عناصر گروه ج بیشترین رابطه را با TOC دارند. در حالی که عناصر گروه الف دارای نزدیک‌ترین رابطه با مواد آواری و آلومینوسیلیکاتی هستند.

– عناصر Ag – Ba – Pr – W – CaO – MgO با مواد آلی همبستگی منفی دارند و در صورت حضور مواد آلی در شیل‌های نفتی دچار کاهش می‌شوند. بر عکس عناصر Ce – Co – Eu – Hf – Hg – Mo – Ni – P – Rb – Tm – U – Yb – V همبستگی را با مواد آلی و متغیر TOC دارند و بر این اساس غنی‌شدگی بالایی این عناصر به غنی‌شدگی مواد آلی وابسته است.

– بیشترین میزان فراوانی عناصر، در مقایسه با کلارک پوسته‌ای، در شیل‌های نفتی مربوط به Mo – Pb – V – Ni است. این عناصر افزون بر اهمیت معدنی خود می‌توانند نقش یک ردیاب ژئوشیمیایی را در سنگ منشأهای نفتی ایفا کنند.

– شرایط احیایی و غیر اکسیدان در لرستان (ژوراسیک میانی)، سبب رسوب‌گذاری شیل‌های نفتی (با میزان بالایی مواد آلی) قالی‌کوه شده که این شرایط احیایی و ماهیت آلی رسوبات خود سبب جذب یک سری عناصر فلزی و غیرفلزی می‌شود. هوازگی و فرسایش سنگ منشأ در طی دوره‌های بعدی زمین‌شناسی، سبب حضور کانی‌های آلومینوسیلیکاتی و عناصر دارای همبستگی بالا با این کانی‌ها شده است.

### سپاسگزاری

با سپاس بیکران از همکاری‌های بی‌شائبه مدیریت اکتشاف (شرکت ملی نفت ایران) که بدون آن تأمین این پژوهش بسیار مشکل می‌شد، از جناب آقای مهندس حاجیان و دیگر مسئولان محترم در مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران که هر یک به‌گونه‌ای ما را در انجام این پژوهش یاری کردند و همچنین از جناب آقای مهندس مهربان رشیدی که با دقت نظر و نظارت خویش بر انجام این پژوهش و همچنین در اختیار گذاشتن اطلاعات لازم نگارندگان را یاری کردند، سپاسگزاری می‌شود.

– **گروه د) CaO – W – Ba – Ag**: این گروه نیز دارای ۴ متغیر (W, Ba, Ag) و Ca) است. شیل‌های منطقه کربنات بالایی دارند و جزو شیل‌های کربناتی تقسیم‌بندی می‌شوند. بالا بودن این متغیر می‌تواند دلیلی بر رسوبات دریاچه‌ای ژرف باشد (Smit, 1991). با توجه به حضور ۳ متغیر دیگر W, Ba, Ag، در این گروه، می‌توان این عناصر را در رابطه با ته‌نشینی CaO در نظر گرفت.

### ۴-۴. تعیین ضریب همبستگی TOC در رابطه با دیگر عناصر

با استفاده از تعیین ضریب همبستگی میان عناصر و متغیر TOC، می‌توان تا حدودی به همزمانی و شرایط یکسان تشکیل میان متغیرهایی با ضریب همبستگی بالا (بالای ۰/۵+) پی برد.

با توجه به جدول ۴، عناصر با ضریب همبستگی منفی با TOC با رنگ زرد و عناصر با ضریب همبستگی مثبت بالا (بالای ۰/۵) با TOC با رنگ نارنجی نمایش داده شده‌اند.

بدین ترتیب نتیجه‌گیری می‌شود که، متغیرهای Ag – Ba – Pr – W – CaO – MgO دارای همبستگی منفی با ماده آلی هستند و از دید تشکیل، شرایطی وارون هم دارند. در واقع، در صورت غنی‌شدگی محیط از ماده آلی این عناصر کاهش خواهند یافت. ولی متغیرهای Ce – Co – Eu – Hf – Hg – Mo – Ni – P – Rb – Tm – U – Yb – V دارای همبستگی مثبت بالایی با ماده آلی هستند. بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که این عناصر در اثر غنی‌شدگی محیط از ماده آلی افزایش غلظت داده‌اند.

### ۴-۵. مقایسه غلظت عناصر استراتژیک شیل‌های نفتی قالی‌کوه با کلارک پوسته‌ای

مقایسه غلظت بسیاری از عناصر موجود در شیل‌های نفتی قالی‌کوه با کلارک پوسته‌ای، مقادیر بالایی از عناصر استراتژیک از جمله مولیبدن، وانادیم، نیکل و ... را در مقایسه با میانگین پوسته‌ای نشان می‌دهد (شکل ۱۰).

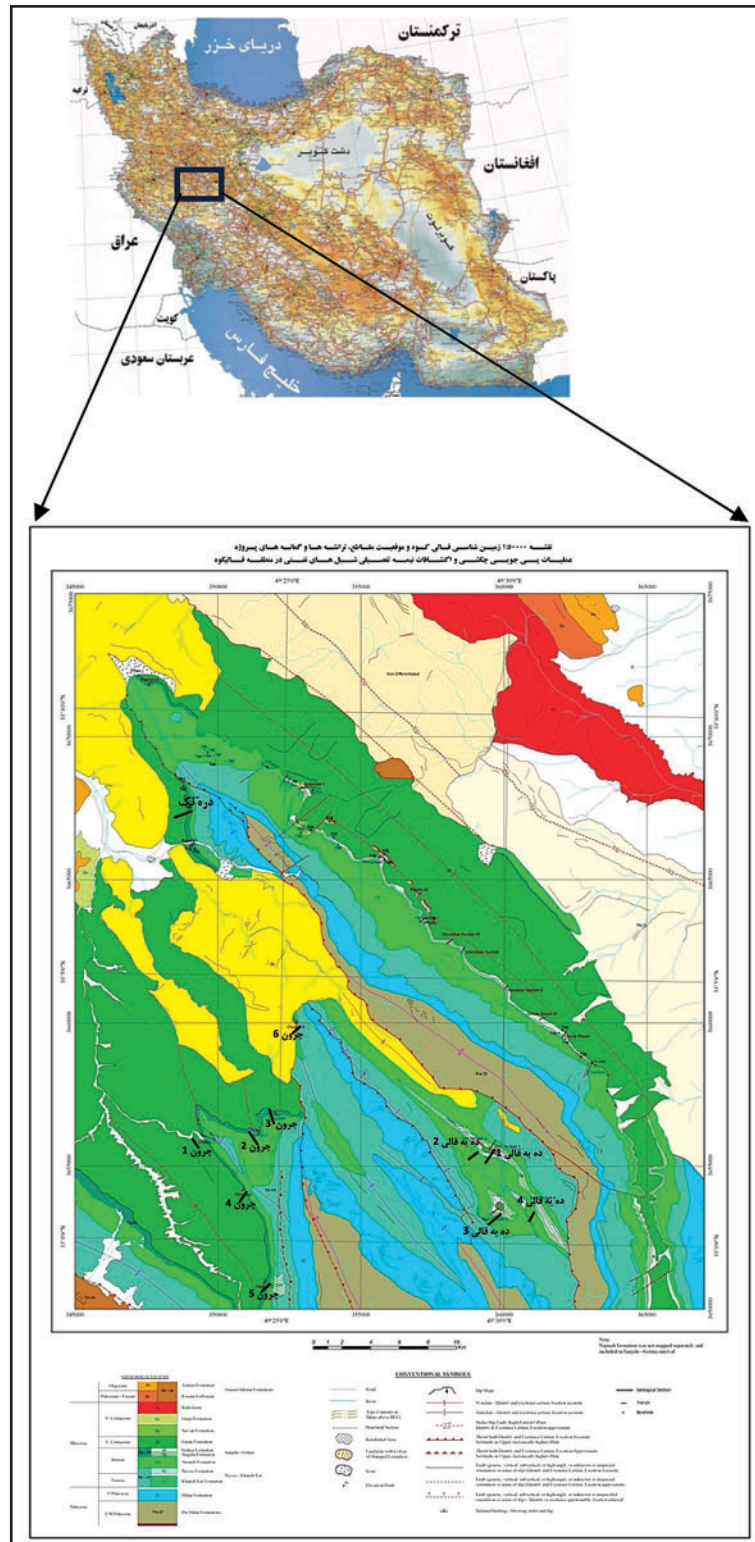
تفاوت غلظت این عناصر در مقایسه با میانگین کلارک پوسته‌ای نه تنها در شیل‌های نفتی قالی‌کوه بلکه در بسیاری نمونه‌های شیلی دنیا مورد توجه است. این موضوع می‌تواند نقش عناصر مولیبدن، وانادیم و نیکل را به‌عنوان یک ردیاب ژئوشیمیایی در سنگ منشأهای نفتی پر رنگ جلوه دهد. همچنین با کاهش روز افزون نفت و منابع هیدروکربوری و همچنین عناصر فلزی و استراتژیک، می‌توان با بهره‌گیری از روش‌های آزمایشگاهی مدرن و به‌صرفه، از پتانسیل نفتی این شیل‌ها و نیز با به‌کارگیری روش‌های فراوری مناسب، از عناصر ارزشمند موجود در شیل‌ها بهره گرفت.

### ۵- نتیجه‌گیری

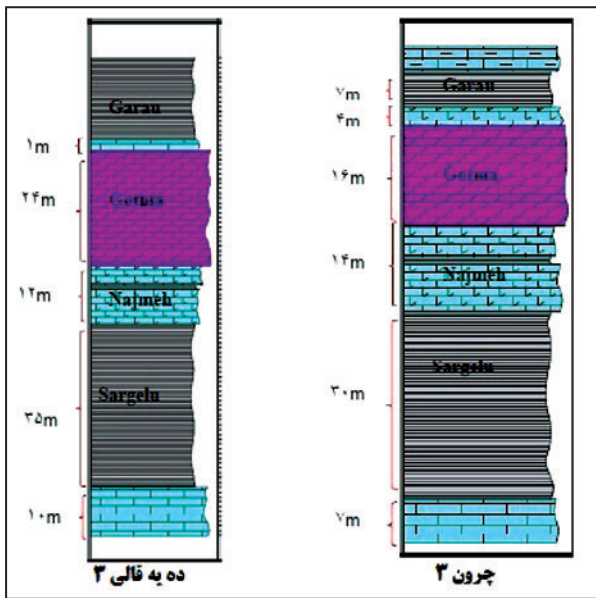
– در ناحیه قالی‌کوه لرستان، بیشتر بخش‌های سازنده‌های سرگلو-گرو (به سن ژوراسیک-کرتاسه) دارای ویژگی شیل نفتی هستند.

– میانگین کل کربن آلی (TOC)، در رخساره‌های آلی مرتبط با سازنده‌های سرگلو-گرو در ناحیه قالی‌کوه در دو برش دهه قالی ۳ و چرون ۳، حدود ۱۳/۵ درصد وزنی است که محتوای بالای آلی را از دید کمی نشان می‌دهد.





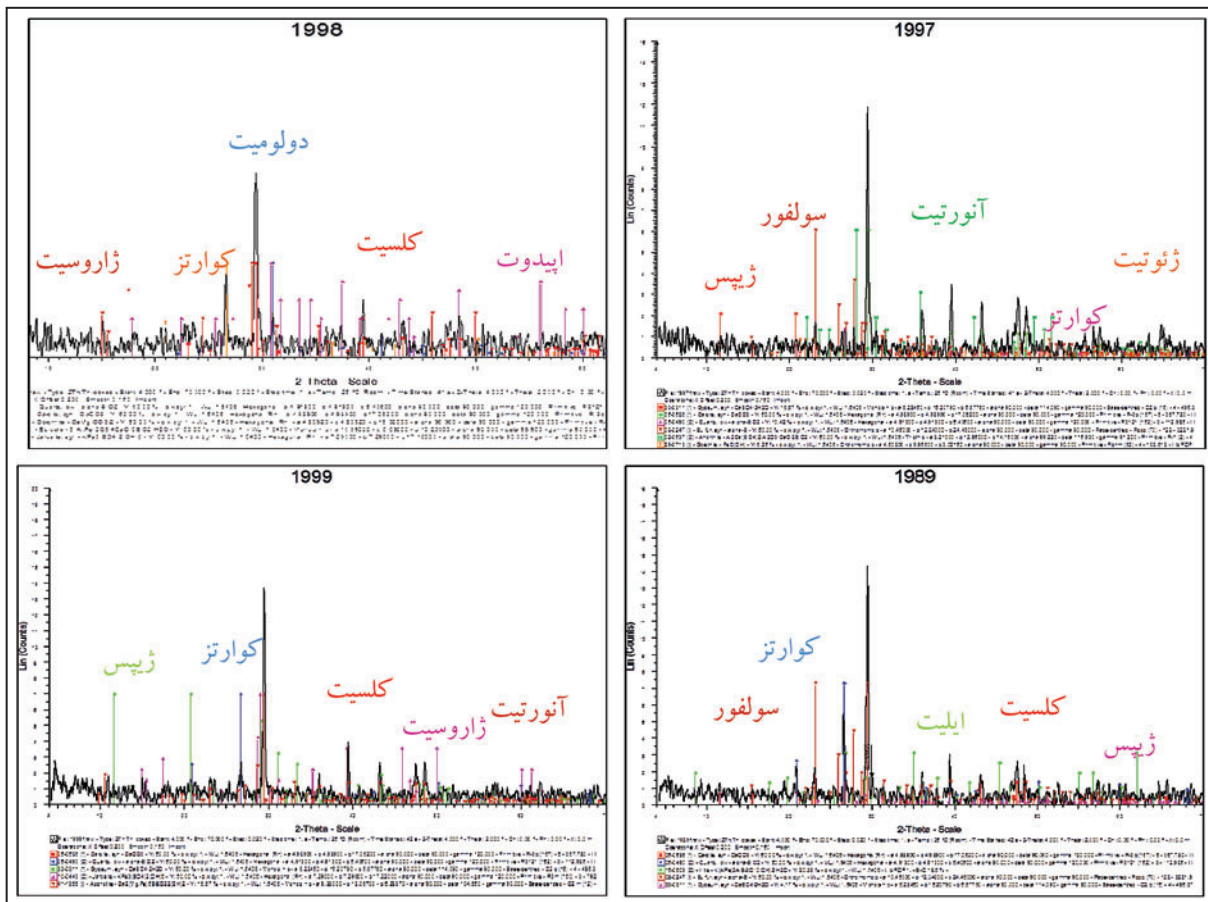
شکل ۱- نقشه ۱/۵۰۰۰۰ زمین شناسی قالی کوه (شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۹۲).



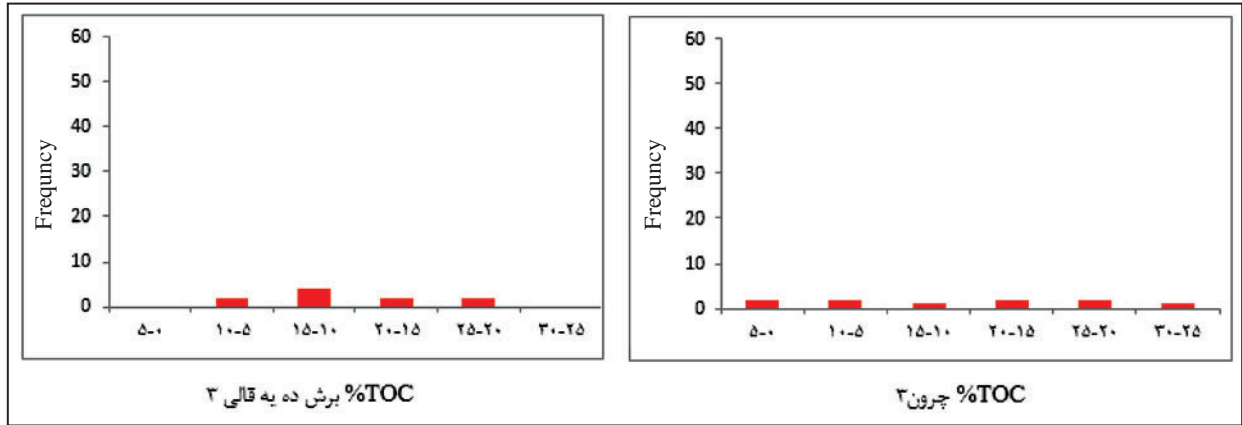
شکل ۳- ستون چینه‌شناسی برش‌های مورد مطالعه.



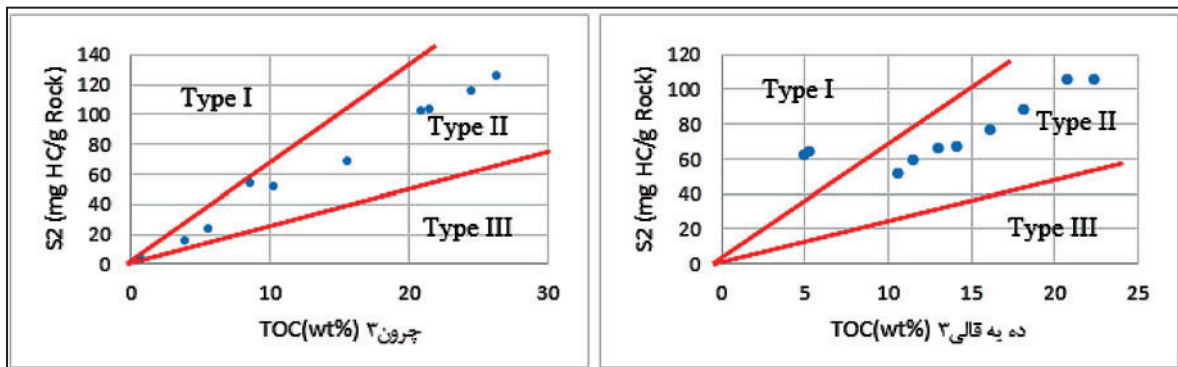
شکل ۲- تصویر سازندهای سرگو و آهک‌های دولومیتی برشی شده معادل سازند گوتیا و گرو به همراه افق‌های شیل نفتی در برش دره‌نک (Dareh Nak) قالی‌کوه.



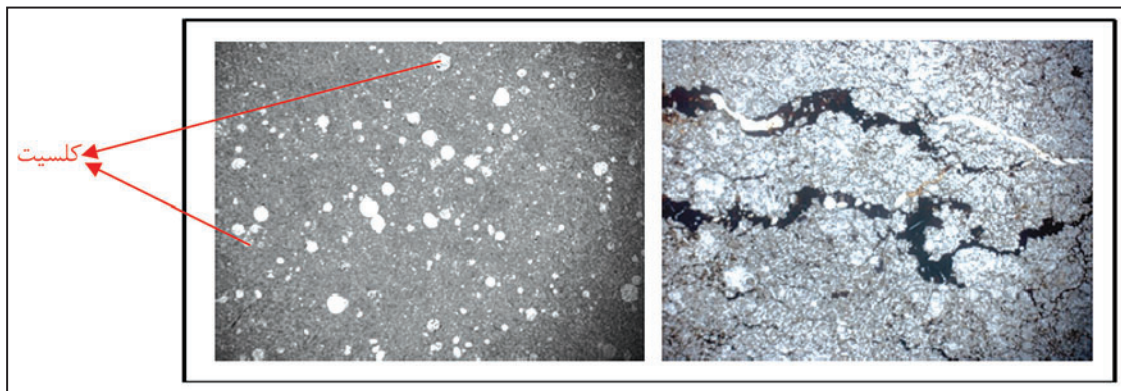
شکل ۴- نتایج آنالیز XRD نمونه‌های شیل نفتی در منطقه قالی‌کوه.



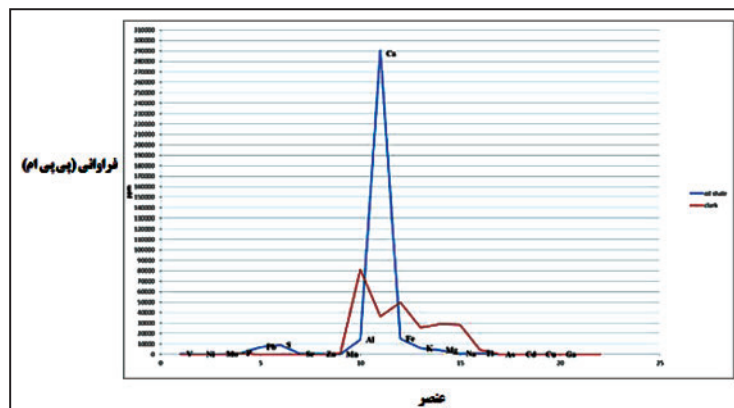
شکل ۵- نمودار فراوانی کربن آلی در دو برش ده به قالی ۳ و چرون ۳.



شکل ۶- نمودار S2/TOC برای نمونه‌های سطحی شیل نفتی برش ده به قالی ۳ و چرون ۳.

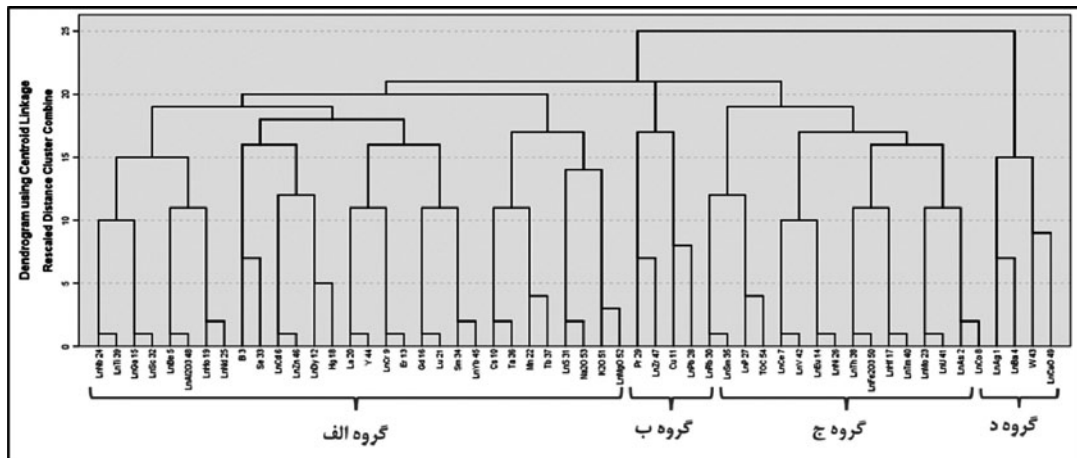


شکل ۷- تصویر میکروسکوپی شیل نفتی قالی کوه و حضور کانی‌های کلسیت در زمینه‌ای از مواد آلی (بزرگنمایی ۴۰×).

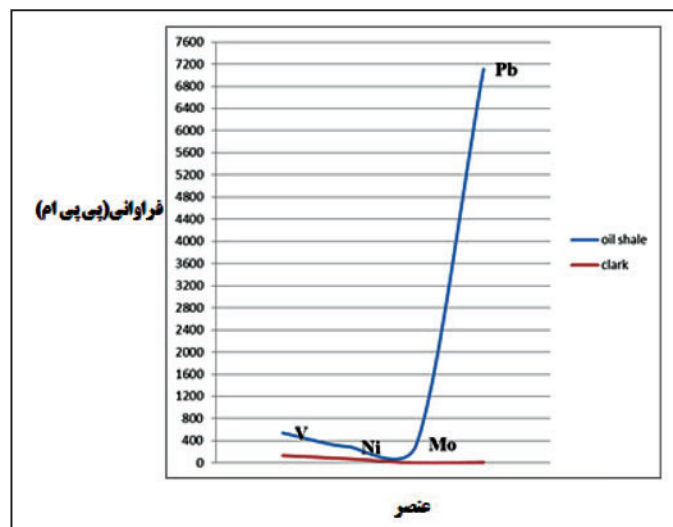


شکل ۸- نمودار مقایسه غلظت عناصر در شیل‌های نفتی قالی کوه در مقایسه با کلارک پوسته‌ای.





شکل ۹- نمودار دندریتی متغیرهای به دست آمده از نمونه‌های شیل نفتی قالی‌کوه.



شکل ۱۰- نمودار مقایسه غلظت برخی عناصر شیل‌های نفتی قالی‌کوه در مقایسه با کلارک پوسته‌ای.

جدول ۱- نتایج متغیرهای به دست آمده از پیرولیز راکت اول منطقه قالی‌کوه در دو برش دهه به قالی ۳ و چرون ۳، بر پایه نمونه‌های فرستاده شده به کشور نروژ.

شماره نمونه	برش	سازند	TOC(%wt)	S1(mg HC/g rock)	S2(mg HC/g rock)	S3(mg CO2/g rock)	PI(S1/S1+S2)	OI(mg CO2/g TOC)	HI(mg HC/g TOC)	Tmax(C #)
MZY8184GC	دهه به قالی ۳	سرگلو	۵.۱۴	۰.۷۱	۶۰.۰۸	۰.۷۱	۰.۰۱	۱۴	۱۱۶۹	۴۴۴
MZY8187GC	دهه به قالی ۳	سرگلو	۱۶.۲۹	۱.۲۸	۷۵.۷	۰.۶۸	۰.۰۲	۴	۴۶۵	۴۴۴
MZY8188GC	دهه به قالی ۳	سرگلو	۱۴.۲۱	۰.۸۶	۶۵.۸۸	۰.۶۸	۰.۰۱	۵	۴۶۴	۴۴۵
MZY8192GC	دهه به قالی ۳	سرگلو	۱۳.۱۳	۱.۴۱	۶۴.۷۵	۰.۷۹	۰.۰۲	۶	۴۹۳	۴۴۲
MZY8195GC	دهه به قالی ۳	سرگلو	۱۱.۶۳	۱.۰۹	۵۷.۶۴	۰.۴۶	۰.۰۲	۴	۴۹۶	۴۴۴
MZY8197GC	دهه به قالی ۳	گرو	۲۲.۵۴	۱.۱۴	۱۰۴.۵۲	۳.۲	۰.۰۱	۱۴	۴۶۴	۴۳۸
MZY8199GC	دهه به قالی ۳	گرو	۲۰.۸۲	۱.۲۶	۱۰۴.۴	۲.۱۸	۰.۰۱	۱۰	۵۰۱	۴۳۸
MZY8201GC	دهه به قالی ۳	گرو	۱۸.۲۲	۰.۸۸	۸۷.۰۲	۱.۸۵	۰.۰۱	۱۰	۴۷۸	۴۳۹
MZY8203GC	دهه به قالی ۳	گرو	۱۰.۷۴	۱.۳۸	۴۹.۸۴	۱.۳۸	۰.۰۳	۱۳	۴۶۴	۴۳۸
MZY8206GC	دهه به قالی ۳	گرو	۵.۳۶	۰.۸۹	۶۲.۶۱	۱.۴۶	۰.۰۱	۲۷	۱۱۶۸	۴۴۰

شماره نمونه	برش	سازند	TOC(%wt)	S1(mg HC/g rock)	S2(mg HC/g rock)	S3(mg CO2/g rock)	PI(S1/S1+S2)	OI(mg CO2/g TOC)	HI(mg HC/g TOC)	Tmax(C #)
MZY8291GC	چرون ۳	سرگلو	۰.۸۲	۰.۰۹	۲.۲۸	۰.۴۱	۰.۰۴	۵۰	۲۷۸	۴۳۸
MZY8293GC	چرون ۳	سرگلو	۳.۹	۰.۲۲	۱۵.۸۱	۰.۸۴	۰.۰۱	۲۲	۴۰.۵	۴۴۲
MZY8295GC	چرون ۳	سرگلو	۱۰.۲۲	۰.۶۵	۵۰.۲۲	۰.۵۳	۰.۰۱	۵	۴۹۱	۴۴۵
MZY8299GC	چرون ۳	سرگلو	۱۵.۵۵	۱.۶۵	۶۷.۲۴	۱.۸۸	۰.۰۲	۱۲	۴۳۲	۴۴۱
MZY8301GC	چرون ۳	سرگلو	۸.۵۶	۰.۵	۵۳.۱۸	۰.۷۴	۰.۰۱	۹	۶۲۱	۴۴۰
MZY8303GC	چرون ۳	سرگلو	۲۶.۳۶	۱.۹۱	۱۲۵.۱۲	۰.۹۳	۰.۰۲	۴	۴۷۵	۴۴۳
MZY8307GC	چرون ۳	گرو	۲۱.۵۳	۱.۵۲	۱۰۳.۵۴	۱.۴۷	۰.۰۱	۷	۴۸۱	۴۳۸
MZY8309GC	چرون ۳	گرو	۲۴.۵۲	۱.۷	۱۱۵.۷	۲.۳۶	۰.۰۱	۱۰	۴۷۲	۴۳۷
MZY8312GC	چرون ۳	گرو	۲۰.۸۲	۱.۳۱	۱۰۱	۱.۴۱	۰.۰۱	۷	۴۸۵	۴۳۹
MZY8314GC	چرون ۳	گرو	۵.۵۶	۰.۱۸	۲۲.۹۲	۰.۸۷	۰.۰۱	۱۶	۴۱۲	۴۴۴





جدول ۴- ضریب همبستگی عناصر در مقایسه با TOC.

TOC	1																			
Ag	-0.165	1																		
Ba	-0.149	0.392	1																	
Pr	-0.041	-0.322	-0.316	1																
W	-0.476	0.389	0.383	0.105	1															
CaO	-0.529	0.309	-0.243	0.102	0.183	1														
MgO	-0.169	-0.275	0.028	0.039	0.03	-0.379	1													
Ce	0.667	-0.326	0.143	0.072	-0.364	-0.874	0.264	1												
Co	0.692	-0.284	0.177	0.119	-0.266	-0.838	0.186	0.944	1											
Eu	0.637	-0.319	0.162	0.152	-0.295	-0.888	0.309	0.988	0.95	1										
Hf	0.576	-0.22	0.199	0.092	-0.135	-0.827	0.317	0.915	0.925	0.923	1									
Hg	0.509	-0.31	0.064	-0.09	-0.121	-0.728	0.274	0.637	0.683	0.636	0.692	1								
Mo	0.7	-0.181	0.082	0.311	-0.204	-0.676	0.054	0.855	0.911	0.871	0.881	0.547	1							
Ni	0.663	-0.331	0.099	0.155	-0.351	-0.876	0.307	0.959	0.963	0.967	0.898	0.661	0.879	1						
P	0.669	-0.116	0.012	0.068	-0.246	-0.481	-0.27	0.691	0.754	0.662	0.77	0.489	0.847	0.648	1					
Rb	0.648	0.08	0.229	0.076	-0.115	-0.368	-0.52	0.581	0.664	0.548	0.607	0.353	0.769	0.533	0.889	1				
Tm	0.536	-0.246	0.11	0.213	-0.074	-0.806	0.368	0.86	0.857	0.889	0.953	0.698	0.868	0.852	0.703	0.532	1			
U	0.623	-0.171	0.181	0.193	0.816	-0.729	0.077	0.885	0.916	0.889	0.944	0.643	0.948	0.857	0.869	0.783	0.921	1		
Yb	0.528	-0.435	0.035	0.237	-0.282	-0.85	0.522	0.897	0.845	0.927	0.801	0.666	0.739	0.914	0.416	0.276	0.832	0.754	1	
V	0.657	-0.302	0.145	0.114	-0.342	-0.873	0.27	0.995	0.946	0.992	0.902	0.621	0.853	0.968	0.656	0.564	0.853	0.874	0.914	1
TOC	Ag	Ba	Pr	W	CaO	MgO	Ce	Co	Eu	Hf	Hg	Mo	Ni	P	Rb	Tm	U	Yb	V	

### کتابنگاری

آقائی کریمی، م.، رقیمی، م.، شمعانیان، غ. ح. و قلی‌پور، م.، ۱۳۹۰- نقش زهاب اسیدی در تشکیل کانی‌های زیست‌محیطی و کانی‌های ثانویه در معدن زغال سنگ گلندرد و باطله‌های کارخانه زغال‌شویی وطنی، استان مازندران، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران.

اشکان، ع. م.، ۱۳۸۳- اصول مطالعات ژئوشیمیایی سنگ‌های منشأ هیدروکربوری و نفت، شرکت ملی نفت ایران.

شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۹۲- شیل‌های نفتی قالی‌کوه، گزارش منتشر نشده، مدیریت اکتشاف.

کمالی، م. ر. و شایسته، م.، ۱۳۸۷- مبانی ژئوشیمی در اکتشاف نفت، پژوهشگاه صنعت نفت.

میرنژاد، ح. و لنکرانی، م.، ۱۳۹۲- روش‌های تجزیه دستگاهی در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران.

### References

Behar, F., Beaumont, V. & Peteado, H. L. De B., 2001- Rock – Eval 6 technology: Performances and developments. Oil & gas science and technology – Rev. IFP, Vol. 56, No. 2, Pp 111134.

Christian, G. D. & O'Reilly, J. E. (eds.), 1986- Instrumental Analysis, Prentice-Hall, New Jersey.

Dill, H. G., Eberhard, B. & Hartmann, B., 1997- Use of variation in unit cell length, reflectance and hardness for determining the origin of Fe disulphidides in sedimentary rock, Sedimentary Geology 107, 281-301.

Gulbay, R. K., 2007- Rhenium and Molybdenum in Tertiary Oil shale deposits in Northwestern Anatolia, Turkey, Department of Geological engineering Karadeniz technical university.

Hutton, A. C., 1987- Petrographic classification of oil shales. International Journal of Coal Geology, 8(3), 203-231.

Kotorba, M. J., Wieclaw, D., Kosakowski, P., Zacharski, J. & Kowalski, A., 2003- Evaluation of source rock and petroleum potential of Middle Jurassic strata in the South – Eastern part of Poland. Przegląd geologiczny, 51, 10311040

Lafargue, E., Marquis, F. & Pillot, D., 1998- Rock – Eval 6 applicatios in hydrocarbon exploration, production, and soil contamination studies. Revue De L'institut francias Du petrole, Vol. 53. N4, Juillet-Aout 1998.

Ots, A., 2007- Estonian oil shale properties and utilization in power plants. Energetika(Lithuanian Academy of Science Publisher) 53(2): 8-18 Retrieved 6 May 2011.

Peters, K., 1986- Guidelines for eraluating petroleum source rock using programmed pyrolysis: AAPG Bulletin, V. 70, P-329.

Smith, W. D., 1991- Composition and depositional environment of major Eastern Canadian Oil shale, International journal of coal geology.

Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran; a review. American association of Petroleum geologists Bulletin, 52(7), PP. 1229-1258.

Wilkerson, C. L., 1982- Trace metal composition of Green River retorted shale oil, Pacific northwest laboratory operated by battle. Po Box 999, Richland, Wahigton 9932. USA, Vol 61.

Xiugen, F., Jian, W., Yuhong, Z., Jiang, Ch. & Fuwen, T., 2011- Orgin and mode of occurrence of trace elements in marine Oil shale from the Shengli river area, Northern Tibet, China, Oil Shale, Vol. 28, No. 4, pp. 487–506.

## Evaluate geochemical trace elements of Qalikh oil shale (Southwest Aligoodarz) using elemental analysis and Rock Eval pyrolysis

M. Fereidoni <sup>1\*</sup>, M. Lotfi <sup>2</sup>, N. Rashid nejad Omran <sup>3</sup> & M. Rashidi <sup>4</sup>

<sup>1</sup> M. Sc., Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>4</sup> M. Sc., Research National Iranian Oil Company, Tehran, Iran

Received: 2015 March 04

Accepted: 2015 August 17

### Abstract

The Qalikh area, ~35 km southwest of Aliqudarz, contains oil shale deposits in Garue and Sargelu formations (Jurassic-Cretaceous). Some 20 samples across two sections (Charun3-Deh ye Qali3) were selected and analyzed (Rock Eval – ICP – XRD – XRF) to study organic and mineral parameters (to determine type of organic material and kerogen, total organic carbon, thermal evolution, concentration, and classification of elements and minerals) and to model the relations between these parameters. The Qalikh oil shale has a great potential for oil production with high levels of TOC (13.5 wt%), type 2 kerogen, low thermal maturity. However Qalikh oil shale has metallic and nonmetallic element anomalies and high concentrations of strategic elements compared to Clark values. Dendritic diagrams suggest variable origins for elements and minerals in the samples. Some are associated with development of organic materials, TOC parameters, Resin and Asphaltene, and some are associated with clastic materials, aluminosilicates and source rock weathering.

**Keywords:** Oil shale, Total organic carbon, Rock Eval pyrolysis, Kerogen, Anomaly, Strategic elements.

For Persian Version see pages 171 to 180

\*Corresponding author: M. fereidouni; E-mail: Maryam.f\_geologist@yahoo.com