

بررسی احتمال حضور منابع هیدروکربنی در منطقه خوریان جنوب سمنان با استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی

آزاده حسینی^۱، محمدحسین صابری^{۲*}، بهمن زارع نژاد^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، پردیس علوم و فناوری‌های نوین، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه سمنان

۲- استادیار، پردیس علوم و فناوری‌های نوین، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه سمنان

۳- استادیار، دانشکده مهندسی شیمی نفت و گاز، دانشگاه سمنان

(دریافت: بهمن ۱۳۹۷، پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۸)

چکیده

روش‌های ژئوفیزیکی و حفر چاه‌های اکتشافی در مراحل اولیه مطالعات اکتشاف منابع هیدروکربنی روش‌های پر هزینه‌ای محسوب می‌شوند. از این رو می‌توان با استفاده از روش‌های ژئوشیمی آلی وجود منابع هیدروکربنی در منطقه‌ای همانند کویر خوریان واقع در جنوب سمنان را مورد تحلیل و بررسی قرار داد. فعالیت‌های اکتشافی این منطقه در سال ۱۳۰۶ توسط روس‌ها برای جست و جوی منابع هیدروکربنی آغاز شده است. در مطالعه حاضر تعداد ۱۵ نمونه از خاک‌های سطحی به عمق ۱ تا ۲ متر از این منطقه گرفته شده است. نمونه‌های سطحی گرفته شده تحت آنالیز پیرولیز راک-اول قرار گرفته است که در این آنالیز نتایج به دست آمده از پیک S_1 ، حضور هیدروکربن آزاد را در نمونه‌های خاک بیان می‌کند. همچنین آنالیزهای پراش پرتو ایکس و تعیین میزان pH خاک منطقه نیز به عنوان روش‌های ژئوشیمی سطحی انجام گرفته است. وجود آلتراسیون‌های محیطی در ناحیه مورد مطالعه سبب شده است تا برای پی‌جویی بیشتر، آنالیزهای ایزوتوپ سولفور و بررسی وجود یون آهن در این منطقه انجام گیرد. نتایج بررسی این مطالعات حاکی از حضور هیدروکربن‌های مهاجرت یافته به سطح زمین است، که باعث توسعه تراوشات هیدروکربنی در این منطقه شده است. این موضوع در کنار وجود سیستم هیدروکربنی قم در ایران مرکزی می‌تواند مبین وجود ذخایر هیدروکربنی در این منطقه باشد.

کلمات کلیدی

ژئوشیمی سطحی، تراوشات هیدروکربنی، کویر خوریان، ایزوتوپ سولفور، پیرولیز راک-اول

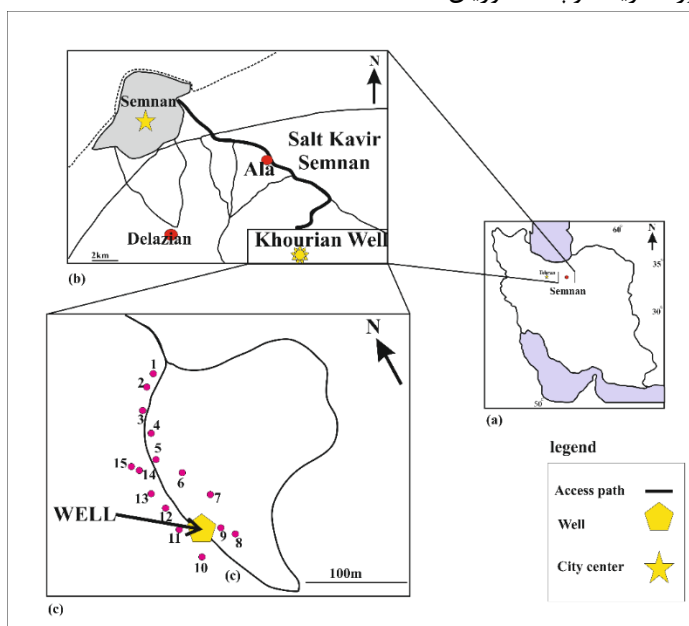
*عهده‌دار مکاتبات: mh.saberi@semnan.ac.ir

۱- مقدمه

در حوزه مرکزی شهرستان سمنان قرار دارد، جزو دهستان علا (کهلا) به شمار می‌رود که در ۹ کیلومتری جنوب شرقی سمنان واقع است. چاه نفت در ۵ کیلومتری جنوبی قریه واقع است که به کویر نمک جندق متصل می‌شود [۱].

بعد از حفاری چاه نفتی خوریان در دوره قاجار، آثار و شواهدی از وجود هیدروکربن به دست آمده بود، اما به دلیل اختلافات بر سر مالکیت این منطقه در گذشته، نتایج آن منتشر نگشته است. آثار و شواهدی که در این منطقه در حال حاضر وجود دارد، تراوشات هیدروکربنی (این تراوشات به صورت چشمه نفتی در نزدیکی چاه وجود دارند)، ساختار منحصر به فرد زمین‌شناسی، بوی زیاد سولفور در اطراف این چاه و وجود مخازن هیدروکربنی بزرگ در قم و ورامین این گمان را درباره حضور منابع غنی هیدروکربنی در این منطقه افزایش می‌دهد. در این مطالعه با استفاده از مطالعات ژئوشیمی سطحی وجود و یا عدم وجود منابع هیدروکربنی مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۱).

کویر خوریان در موقعیت جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۸ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان سمنان و در استان سمنان قرار دارد. این کویر از شرق به کویر نمک سمنان و از غرب به رودخانه گیناب و کویر دلازیان محدود می‌گردد. عمده پهنه این کویر پوشیده از گنبدهای نمکی و در قسمت جنوب، دشتی است که متاثر از رودخانه گیناب تبدیل به زمین‌های پفکی قلیایی و باتلاق‌های گلی رسی می‌گردد. پوشش گیاهی در نواحی شمالی استپی و در مرکز و جنوب عمدتاً گیاهان هالوفیت و شور پسند است. در دوره قاجاریه به دلیل جاری شدن نفت بر روی زمین، این منطقه از موقعیت استراتژیک خاصی برخوردار شد و بارها بر سر مالکیت و استخراج نفت از آن بین دولت‌های انگلستان و روسیه دست به دست شد. در قسمت جنوبی این کویر کماکان آثار و تجهیزات مورد استفاده روس‌ها برای استخراج نفت به چشم می‌خورد. قریه کوچک خوریان که



شکل ۱: (a) موقعیت استان سمنان (b) موقعیت چاه خوریان (c) موقعیت چاه و نمونه‌گیری‌ها

و سولفوردار، کانی زایی سولفوری و همچنین ساختارهای تاقدیسی را به عنوان نشانه‌ای از وجود ذخایر هیدروکربنی زیر سطحی معرفی کردند. مطالعه این پدیده‌ها در افق‌های سطحی توسط مکتشفین برای اکتشاف منابع هیدروکربنی موجب معرفی علم ژئوشیمی سطحی گردیده است. تراوشات هیدروکربنی می‌توانند محدوده حوضچه گازی یا

استفاده از تراوشات نفتی که بر اثر مهاجرت و نفوذ هیدروکربن‌ها در سطح رخ می‌دهد، نشانه‌ای از وجود ذخایر هیدروکربنی است. استفاده از این نشانه‌ها سابقه طولانی برای اکتشاف منابع هیدروکربنی در صنعت نفت دارد. در ابتدا تعداد زیادی از مکتشفین نفت و گاز، پدیده‌هایی از قبیل وجود چشمه‌های نفتی، پارافین کثیف^۱، آب‌های شور

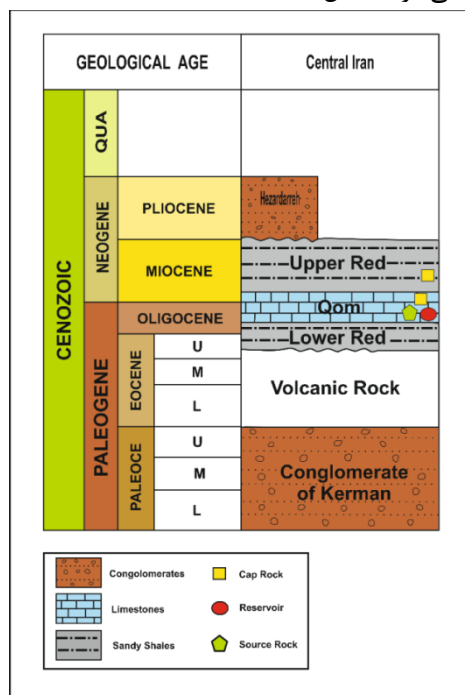
تغییر می‌یابد. تامپسون در سال ۱۹۹۴ اشاره کرد که در کمربند نفتی خلیج فارس- عراق، پیریت و سولفور عمدتاً در نواحی حاوی هیدروکربن دیده می‌شود [۱۸]. همچنین در پوش سنگ‌های گنبد نمکی، کانی‌های ژپس و انیدریت با کربناته جایگزین می‌شود. یکی دیگر از محصولات آلتراسیون^۶ در مناطق نفتی، که در ایران به نام گچ ترش^۷ نامیده می‌شود و حاصل واکنش هیدروکربن با کانی‌های تبخیری است [۲]. اصطلاح گچ ترش واژه‌ای فارسی است که در فرهنگ‌های نفتی دنیا راه یافته است. با وجود این که اصطلاح محلی است ولی مفهوم دقیقی دارد و معنی آن گچی است که از واکنش اسیدی به دست می‌آید. گچ ترش به دو دسته تقسیم می‌شود، که دسته اول گچ ترش فعال، گاز با بوی شدید سولفور از زمین خارج می‌شود و حرارت مناطقی که گاز از آن خارج می‌شود بیشتر از اطراف است. دسته دوم که در آن هیچ نوع نشت گاز صورت نمی‌گیرد ولی محل‌های اصلی خروج گذشته گاز قابل رویت است و دور محل خروج را بلورهای کلسیت و گوگرد گرفته است که اطراف آن آثار آغستگی بیتومینه گاه همراه با سوختگی است، گچ ترش غیرفعال نامیده می‌شود. سولفور به عنوان یک جزء جدایی ناپذیر نفت مورد توجه قرار گرفته است [۳]. در نفت‌های خام $\delta^{34}\text{S}$ از حدود $-7/5$ درصد تا $+25$ درصد متغیر هستند [۱۲]. به طور کلی تغییرات میزان ایزوتوپ سولفور توسط دو فرایند اصلی کنترل می‌شود: (۱) احیاء سولفات و تبدیل آن به سولفید توسط باکتری‌های بی‌هوازی و (۲) سایر واکنش‌های شیمیایی که سبب تجمع ایزوتوپ سولفور در ترکیب با درجه اکسیداسیون بالاتر می‌شود [۴]. برای بررسی منشأ سولفور موجود در منطقه مورد مطالعه و همچنین مطالعه گچ ترش، ایزوتوپ سولفور ($\delta^{34}\text{S}$) و منبع احتمالی آن در این منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

روش پیرولیز راک اول یکی از اصلی‌ترین روش‌های تجزیه و تحلیل ژئوشیمی مواد آلی رسوبی است. پیرولیز آزمایشگاه مواد آلی در سنگ‌های رسوبی به طور موازی تغییرات را در زیر زمین نشان داده و هم‌چنین یک روش مفید برای توصیف ماده آلی را ارائه می‌دهد [۱۳]. این روش اطلاعات با ارزشی در مورد، مقدار کل ماده آلی (TOC)، کیفیت و نوع ماده آلی، شرایط مهاجرت هیدروکربن، سیر تحولی حرارتی ماده آلی، پتانسیل زایشی و مقدار هیدروکربن تولیدی ارائه می‌دهد [۱۴]. دبستانی و

نفتی را مشخص نمایند. در طرح‌های توسعه میدین، مطالعات راهبردی ریزتراوشات می‌تواند مکان حفاری، محدوده تولیدی میدان‌های توسعه نیافته، شناسایی قسمت‌های خالی نشده مخزن و ... را تعیین نماید. روش‌های جستجوی ژئوشیمیایی به طور گسترده مکمل روش‌های ژئوفیزیکی هستند و می‌توانند شواهدی مستقیمی از حضور تجمعات نفت را فراهم آورند که نسبتاً ارزان و سریع‌تر هستند. فرض اساسی تمامی روش‌های ژئوشیمی اکتشافی این است که هیدروکربن‌های تولید شده یا در عمق به دام افتاده، یا به شکل‌های مختلف تراوش و به سطح راه پیدا می‌کنند [۲]. روش ژئوشیمی سطحی برای بررسی نفت و گاز ابتدا توسط سوکولف^۸ و همکارانش (۱۹۳۳) در روسیه، توسط لوبمایر^۹ (۱۹۳۳) در آلمان و توسط هورویتز^۴ (۱۹۳۹) و روسایر^۵ (۱۹۴۰) در ایالات متحده به کار گرفته شد. این مطالعات اولیه عمدتاً به تجزیه و تحلیل متان و کل هیدروکربن‌های غیر متان در گازهای خاکی محدود می‌شود [۱۱].

مهاجرت و نشت هیدروکربن در بعضی از نواحی باعث کاهش pH محیط می‌شود. کاهش میزان pH منجر به رسوب بعضی از فلزات همراه هیدروکربن‌ها می‌شود. فلزاتی مانند اکسیدهای آهن و سولفیدهای آهن رسوب کرده و موجب تغییرات در خاک می‌شوند. با کمک اندازه‌گیری و بررسی این تغییرات می‌توان ذخایر هیدروکربنی جدید را شناسایی کرد. هاریس در سال ۱۹۰۸ با شناسایی پیریت کانی‌های سولفیدی دیگر در افق‌های بالای میدین نفت و گازی گنبد‌های نمکی در حوضه لوئیزیانا از اولین کسانی بود که با استفاده از این روش، پی به وجود هیدروکربن در آن منطقه برد. افزایش کانی‌های مغناطیسی آهن در خرده‌های حفاری مربوط به افق‌های فوقانی بالای ذخایر نفتی دیده می‌شود. آهن معمولاً همراه با کربن، اکسیژن و سولفور است. شرایط اکسیداسیون یا بازی قدرت نهشته شدن آهن را بالا برده و شرایط احیایی یا اسیدی قابلیت انحلال آهن را افزایش می‌دهد. ترکیبات آهن معمولاً به صورت اکسیدی و هیدروکسیدی نهشته می‌شوند. از آنجا که هیدروکربن‌های تراوش یافته، سبب شکل‌گیری محیط احیایی می‌شود، انتظار می‌رود آهن به صورت Fe^{+3} دیده شود. تحرک آهن در خاک به وسیله میزان حلالیت اکسید- هیدروکسیدهای بی‌شکل Fe^{+2} و Fe^{+3} کنترل می‌شود. حلالیت آهن در حضور فسفات آهن، سولفید و کربنات

سازند قرمز تحتانی هستند. ضخامت سازند قم ۱۲۰۰ متر و از نظر لیتولوژی ۹ بخش دارد که با نشانه‌های a, b, c1, c2, c3, c4, d, e, f مشخص می‌شود [۶]. سازند قم به لحاظ وجود رخساره‌های متنوع در آن، می‌تواند به عنوان سنگ منشا، سنگ مخزن و پوش سنگ عمل نماید، که در نقاط مختلف ایران مرکزی مورد توجه واقع شده است [۷]. سن سازند قم اولیگوسن میانی- پایانی تا میوسن پیشین و آن را معادل سازند آسماری در زاگرس می‌دانند. قدیمی‌ترین لایه‌های سازند قم در ناحیه مقطع نمونه دیده نمی‌شود، ولی کمی دورتر و در سمت جنوب، در کوه‌های جنوب و مغرب کاشان به صورت شیل‌های سبز فسیل‌دار ظاهر می‌شود که با لایه‌های کنگلومرای سازند قرمز زیرین حالت بین لایه‌ای دارد، ولی به طور جانبی به سازند قم تبدیل می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲: ستون چینه‌شناسی

در ایران مرکزی سازند قم برای اکتشافات نفت یا گاز اهمیت بسیاری دارد. در بعضی رخنمون‌های اطراف سمنان (زون قدمگاه) سازند قم تنها ۵۰ متر ضخامت دارد و با دگر شیپی مشخصی، بدون کنگلومرای قاعده‌ای، بر روی مارن-های ائوسن قرار دارد. بخش e، (۸۰ تا ۶۵۰ متر ضخامت دارد) از مارن سبز تشکیل یافته و قسمتی از آن ژئوپس است. مارن‌های بخش e به وسیله لایه‌ای از ژئوپس به ضخامت تقریبی ۵۰ متر پوشیده می‌شود. این ژئوپس را باید معادل واحدهای تبخیری پر ضخامت دانست که در قاعده

همکارانش (۱۳۹۴) با بررسی پیرولیز راک اول نمونه‌های سطحی در منطقه البرز شرقی توانستند پتانسیل هیدروکربن‌زایی منطقه مورد مطالعه را تعیین نمایند [۵].

۲- زمین‌شناسی

شهر سمنان، در جنوب رشته کوه البرز و شمال دشت کویر، در راه تهران به خراسان، قرار گرفته است. این شهر در میان حوضه‌های رسوبی ایران در حوضه رسوبی ایران مرکزی واقع است (شکل ۱-a). ایران مرکزی به شکل مثلثی است که در مرکز ایران قرار دارد و یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی ایران است. از شرق به بلوک لوت، از شمال به رشته‌کوه‌های البرز و از جنوب به منطقه سندانج- سیرجان محدود می‌شود. آذربایجان در شمال غرب ایران مرکزی قرار گرفته است. این واحد زمین‌ساختی پیکره اصلی و میانی فلات ایران را پدیدآورده است. ایران مرکزی علاوه بر این که یک واحد ساختاری عمده است، خود شامل تعدادی زیرمجموعه ساختاری از نظر زمین‌ساختی است؛ بنابراین با توجه به تنوع واحدهای تکتونیکی، سنگ‌شناسی و فرایندهای زمین‌شناختی، ردیف بسیار ضخیمی از سنگ‌های دگرگونی، رسوبی، آتشفشانی و رخساره‌های گوناگون سنگ‌های آذرین درونی پرکامبرین تا عهد حاضر در این فلات پهناور نمایان شده است [۱۵].

بر اثر حرکات کوهزایی پیرنه که آثار آن به صورت دگرشیبی و رسوبات قرمز قاره‌ای در اولیگوسن نمایان است، بخش‌هایی از ایران مرکزی از آب خارج می‌شود و بین سنگ‌های ائوسن و اولیگوسن در بیشتر قسمت‌ها نبود چینه‌شناسی به وجود می‌آید. در اولیگوسن پایانی، پیشروی دریا در ایران مرکزی موجب رسوب‌گذاری سازند قم شده که تا اوایل میوسن ادامه داشته است. در فاز کوهزایی میوسن میانی، رسوبات سازند قم تحت تاثیر چین‌خوردگی قرار گرفت و از آب خارج و بر روی آن رسوبات قرمز قاره‌ای جدیدی (سازند قرمز فوقانی) ته‌نشین شد که ضخامت آن در برخی نقاط کویر مرکزی به ۶۰۰۰ متر رسیده است. در ناحیه قم، رسوبات سازند قرمز تحتانی، در مرکز محور تاقدیس‌ها یافت می‌شود و تناوبی از مارن‌های رس‌دار رنگارنگ که در آن لایه‌های نازک گچ و شیل، سلیتستون و ماسه سنگ هماتیته هم یافت می‌شود در ناحیه ورامین و سمنان (حاشیه شمالی کویر)، لایه‌های ضخیم نمکی، معرف

نماید که از نظر منابع هیدروکربنی دارای اهمیتی ویژه‌ای باشد.

بخش جنوبی استان سمنان به صورت یک حوضه فروافتاده جوان است که با توالی نسبتاً ضخیمی از مارن، سنگ ماسه و کنگلومرا حاوی گچ و یا نمک فراوان پوشیده شده است. داشتن رنگ متمایل به سرخ، مورفولوژی کاملاً فرسوده و دشت گونه از ویژگی‌های این فرونشست جوان است که در جغرافیای ایران به نام "کویر بزرگ" معروف است. رسوب‌های قاره‌ای و قرمز رنگ مورد نظر در حوضچه‌های بین کوهی کم عمق و در شرایط آب و هوای گرم و تبخیری بر جای گذاشته‌اند به همین دلیل حاوی انیدریت و ژپس به طور ویژه سنگ نمک فراوان هستند که به طور عموم به صورت گنبد‌های نمکی و گاهی ژپسی، به ویژه در جنوب سمنان نمایان هستند [۱۰].

در فرونشست جنوب استان سمنان، نهشته‌های زودفرسای مارنی و سنگ ماسه‌ای برونزد و ساختار آشکار ندارند ولی در روی عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای نشانگر ساختارهای چین خورده زیبا در یک روند شمال شرق- جنوب غربی هستند [۱۰].

یکی از خاصه‌های فرونشست جنوب سمنان کفه‌های زمینی به ویژه پوسته‌های نمکی است که بخش‌های فرسوده شده و پست را زیر پوشش دارند. پوسته‌های نمکی به ویژه شورابه‌های جاری در این بخش استان سمنان حاوی انباشته‌ها و یا محلول‌های حاوی املاح معدنی سولفات و سدیم کلرید و پتاسیم و ... است که گاهی ارزش اقتصادی در خور توجه دارند. افزون بر املاح گفته شده در این فرونشست تمرکز هیدروکربورهای نفتی یافت می‌شود [۱۰].

مطالعه این ناحیه نشان می‌دهد، چاه خوریان در محل بالای یک تاقدیس حفر شده است و اطراف چاه در نزدیکی یال‌های تاقدیس (ستاره نارنجی) است (شکل ۳).

نمونه‌گیری‌ها در این مطالعه از نمونه‌های سطحی در منطقه و اطراف چاه و بر روی یال‌های تاقدیس انجام شده است. سازندی که نمونه‌های سطحی از آن گرفته شده است، در این منطقه سازند قرمز بالایی است که در بیشتر مناطق دارای لیتولوژی ژپس، نمک و انیدریت است.

سازند قرمز فوقانی در مقاطع تحت الارضی چاه‌های البرز و سراجه دیده می‌شوند بخش f، (آهک فوقانی، به ضخامت ۱۸۰ تا ۳۲۰ متر) آهک کرم رنگ است و با مارن‌های سبز بخش e حالت بین لایه‌ای دارد [۸]. سنگ مخزن و تنها بخش تولیدی میدان سراجه بخش e سازند قم است. سازند قرمز فوقانی شامل لایه‌های ضخیم قرمز رنگ گچ و نمکی است که در ایران مرکزی و شمال غرب ایران گسترش وسیع داشته و رسوبات سازند قم را می‌پوشاند. از نظر لیتولوژی، شبیه سازند قرمز زیرین است، لذا برای جداسازی آن از کلمه فوقانی استفاده می‌شود [۹].

سیستم هیدروکربنی حائز اهمیت در ایران مرکزی در اطراف شهر قم و ورامین کشف و در سال ۱۳۳۸ از آن بهره‌برداری شد [۸]. در دو میدان البرز و سراجه سازند آهکی قم سنگ مخزن است و تاکنون ۹ حلقه چاه در آن حفر شده است. ذخیره خارج شده از میدان نفتی البرز در حدود ۲۰ میلیون بشکه بوده است. میدان گازی سراجه که در شرق قم و در جنوب شرقی تاقدیس البرز قرار دارد، تاقدیسی با ذخیره گازی در حدود ۰/۳ تریلیون فوت مکعب است [۶]. بخش‌های e و f سازند قم که بخش‌های مارنی این سازند است به عنوان سنگ منشاء و همچنین نیز بخش‌های فوقانی به عنوان سنگ مخزن سیستم هیدروکربنی ایران مرکزی عمل می‌کند [۷]. بخش‌های e و f از سازند قم که به عنوان سنگ منشاء عمل می‌کند، حاوی مواد آلی با کروژن نوع دو در محیطی نیمه اکسیدان است. میزان کربن آلی در نمونه‌های درون چاهی ۳ و در نمونه‌های سطحی ۰/۶ گزارش شده است. پوش سنگ این سیستم هیدروکربنی قسمت تحتانی سازند قرمز بالایی (که در بیشتر نقاط دارای لیتولوژی ژپس، نمک و انیدریت بوده است) و برخی از میان لایه‌های انیدرتی سازند قم است [۸]. علت وجود گاز در تاقدیس‌های البرز و سراجه در منطقه قم با توجه به کروژن نوع دو و همچنین شار حرارتی بالا به علت ضخامت بالای نمک در زیر تاقدیس‌های این ناحیه و فعالیت‌های آتشفشانی سینوزوئیک است که باعث شکست ثانویه گازها در مخازن شده است. بنابراین انجام عملیات اکتشافی در دیگر نواحی زیر پوشش سنگ آهک‌های قم را می‌توان پیشنهاد کرد. رخنمون سازند قرمز بالایی در قسمت‌های جنوب سمنان و گرمسار به خوبی قابل مشاهده است. همچنین سازند قم در قسمت جنوب سمنان وجود دارد و می‌تواند سنگ مخزنی مشابه قم و ورامین ایجاد

شده است (شکل C-1). نمونه‌های خاک را در فویل آلومینومی و در کیسه‌های استریل قرار داده شد، همچنین موقعیت (GPS) هریک از نمونه‌ها مشخص شده و بر روی نمونه‌ها ثبت شدند. نمونه‌های خاک در دمای ۴ الی ۲ درجه سانتی‌گراد درون محفظه سرد به فضای آزمایشگاهی منتقل شدند. نمونه‌گیری اولیه در فصل بهار انجام شده است و برای بررسی بیشتر نمونه‌ها و مقایسه pH آنها یک نمونه‌گیری ثانویه در فصل پاییز انجام شد.

۳-۲- پیرولیز راک-اول

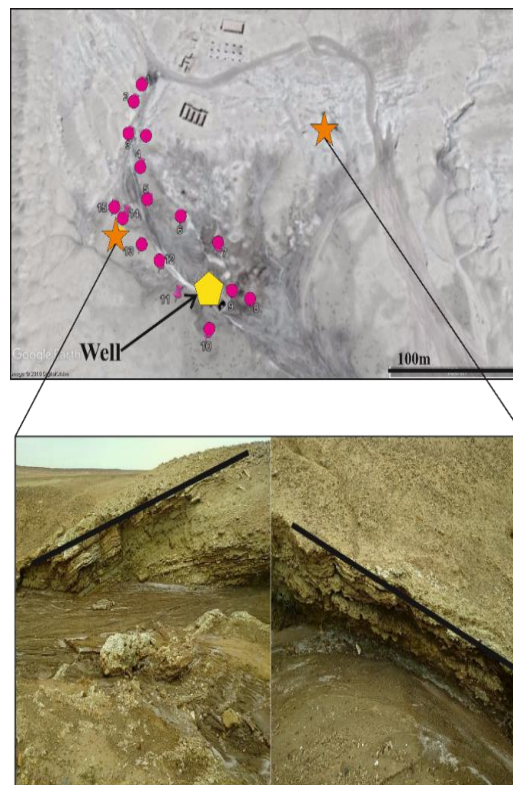
جهت تعیین حضور هیدروکربن و همچنین میزان هیدروکربن آزاد در منطقه مورد مطالعه آنالیز راک-اول انجام گرفته است. در این پژوهش نمونه‌های خاک اطراف چشمه نفتی، از دیدگاه پتانسیل هیدروکربن‌زایی مطالعه و برای این منظور مقدار ۱۰۰ میلی گرم از هریک نمونه‌های مورد مطالعه برای آنالیز پیرولیز راک-اول آماده‌سازی شدند. در این روش حرارتی پس از پودر کردن نمونه‌ها در هاون و همگن‌سازی آنها، مقدار ۱۰۰ میلی گرم از نمونه‌ها در کپسول‌های کوچکی قرار داده می‌شوند و تحت دو مرحله پیرولیز و اکسیداسیون قرار می‌گیرند [۵].

پیرولیز راک-اول در بخش مطالعات سنگ، زیر مجموعه بخش تحقیقاتی فرانوفر در آلمان مورد آنالیز قرار گرفته است. نتایج حاصل از این آنالیز در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: خلاصه نتایج آنالیز راک-اول بر روی نمونه‌های مورد بررسی

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
S ₁ - (mg/g)	۰/۰۷	۰/۱۹	۲/۱۲	۲۳/۰۴	۲۱/۸۵	۲۵/۹۳	۲۷/۳۵	۲۵/۲	۳/۲۲۳	۰/۰۵	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۱	۰/۳۵	۰/۰۶
S ₂ - (mg/g)	۲/۱۶	۹/۲۹	۳/۸۵	۷/۲۶	۴/۲۸	۱۲/۶۷	۹/۷۱	۸/۵۴	۲	۰/۳۲	۲/۵۹	۳/۱۴	۰/۲۸	۰/۴۶	۰/۱۹
TOC(%)	۰/۸۱	۲/۴۶	۲/۴۳	۳/۱۷	۲/۵۴	۴/۱۳	۳/۸۱	۳/۴۵	۰/۹۹	۰/۳۶	۱/۶۵	۲/۶۵	۰/۳۴	۰/۵۳	۰/۳۱

قرار بگیرد ممکن است پتانسیل تولید داشته باشد [۱۷]. پارامتر دیگری که در این مطالعه مورد تفسیر و تحلیل قرار گرفته مقدار کل ماده آلی^۸ است. نونز و باثه (۱۹۹۴) در مطالعات خود نشان دادند که مقدار ماده آلی به وسیله مقدار کل ماده آلی اندازه‌گیری می‌شود. مقدار کربن آلی پارامتر کمی است که در هنگام تعیین پتانسیل تولید نفت در یک واحد چینه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۳].



شکل ۳: عکس هوایی موقعیت یال‌های ناقدیس در منطقه مورد مطالعه

۳- مواد و روش

۳-۱- نمونه‌گیری

در منطقه مورد مطالعه ۱۵ نمونه (به وزن ۵۰۰ گرم) با استفاده از یک لوله فلزی توخالی با چکش دستی به صورت پراکنده از نقاط مختلف اطراف چاه و چشمه نفتی گرفته

S₁ (میلی‌گرم هیدروکربن در گرم سنگ) نشان‌دهنده هیدروکربن‌های آزاد در نمونه است. S₁ > 1 (میلی‌گرم هیدروکربن بر گرم سنگ) سنگ نشان‌دهنده نفت آزاد در نمونه است [۱۶]. S₂ (میلی‌گرم هیدروکربن در هر گرم سنگ) هیدروکربن‌های ناشی از شکست حرارتی کروژن است، که در پیک S₁ تبخیر نمی‌شود. S₂ نشان‌دهنده مقدار هیدروکربنی است که اگر سنگ در شرایط تدفین و بلوغ

۳-۳- ایزوتوپ گوگرد

برای اندازه‌گیری این پارامتر یک نمونه از گوگرد رسوب کرده در لایه‌های اطراف چاه خوریان در بخش مطالعات سنگ، زیر مجموعه بخش تحقیقاتی فرانهورفر در آلمان مورد آنالیز ایزوتوپ گوگرد قرار گرفته است. در این آنالیز، ایزوتوپ گوگرد ($\delta^{34}\text{S}$) -۰/۴ گزارش شده است.

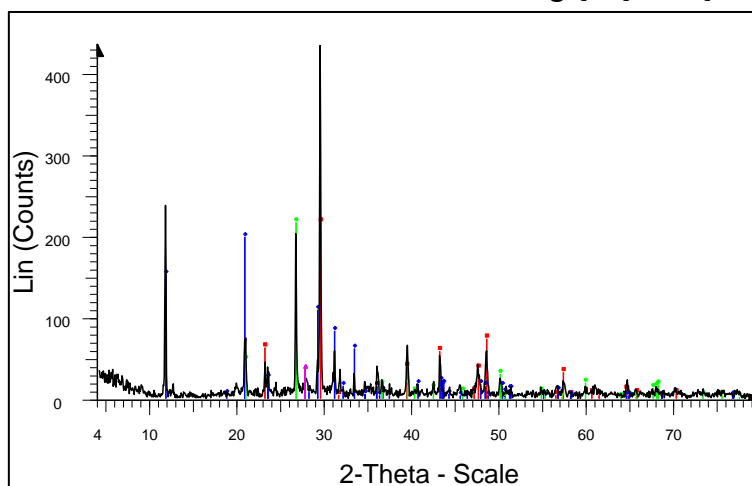
۳-۴- مطالعه طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس^۹

برای تعیین نوع کانی‌ها و هم چنین لیتولوژی نمونه‌ها در این مطالعه آنالیز پراش پرتو ایکس انجام گرفته است. شناسایی عمومی کلیه کانی‌های تشکیل دهنده نمونه‌ها در آزمایشگاه پیشرفته مواد دانشگاه سمنان با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس بر روی نمونه‌های بالک انجام شده است. نتایج حاصل از آزمایش عمومی پراش پرتو ایکس بر روی شکل ۴ مشخص شده است.

^{32}S و ^{34}S به ترتیب دارای ۱۶ و ۱۸ نوترون، دو نوع از مهم‌ترین و فراوان‌ترین ایزوتوپ‌های گوگرد بوده و علیرغم خواص فیزیکی یکسان اتم ^{34}S حدود ۶/۲۵ درصد از ^{32}S سنگین‌تر است. بر این اساس در طول یک واکنش شیمیایی این دو ایزوتوپ به صورت جزئی دارای رفتاری متفاوت هستند. در مطالعات ایزوتوپی، میزان نسبت ایزوتوپ سنگین به سبک ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) در نمونه با مقدار این نسبت در استاندارد (Vienna Canyon Diablo Troilite=) (VCDT) مقایسه و به صورت ($\delta^{34}\text{S}$) تعریف می‌شود (رابطه ۱).

$$\delta = \left(\frac{R_x - R_{std}}{R_{std}} \right) \cdot 1000\% \quad (1)$$

δ : مقدار ایزوتوپ بر حسب یک در هزار (پر میل)، R: نسبت فراوانی ایزوتوپ‌های سنگین به سبک است، X: بر نمونه دلالت دارد و std: بیانگر استاندارد مرجع است [۴].



شکل ۴: نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس

۳-۵- اندازه‌گیری pH

کاهش pH محسوب می‌شود [۱۸]. برای تعیین pH خاک، گل آبی در آزمایشگاه مهندسی نفت دانشگاه سمنان تهیه شده است. ۵۰ گرم از نمونه‌های خاک مورد مطالعه به همراه ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شده و برای یک ساعت بر روی همزن قرار گرفته است. pH در این مدت زمان و در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است [۲]. نتایج حاصل از این آنالیز در جدول ۲ گزارش شده است. همچنین جهت تایید شرایط محیطی بعد از نمونه‌گیری در فصل بهار نمونه گرفته شده pH نمونه مورد نظر در فصل پاییز در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد حدود ۶/۳ به دست آمده است. این تفاوت در اندازه pH نمونه فصل

بسیاری از روش‌های ارائه شده در بررسی‌های ژئوشیمیایی سطحی به طریقی تحت تاثیر شرایط pH طبقات خاکی و سنگی نمونه‌برداری شده، قرار می‌گیرند. تنها در سال‌های اخیر تحقیقات در علم خاک‌شناسی شدیداً بر روی pH و نیز چگونگی تاثیر آنها بر فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی موجود در طبقات خاک متمرکز شده است. میکرو تراوشات نفت مهاجرت کرده به لایه دوم خاک (این لایه معمولاً حاوی منابع هیدروکربنی، مواد معدنی و باکتری‌ها است) که فرآیندهای شیمیایی متعدد باعث افزایش خاصیت اسیدی بودن خاک حاوی هیدروکربن و

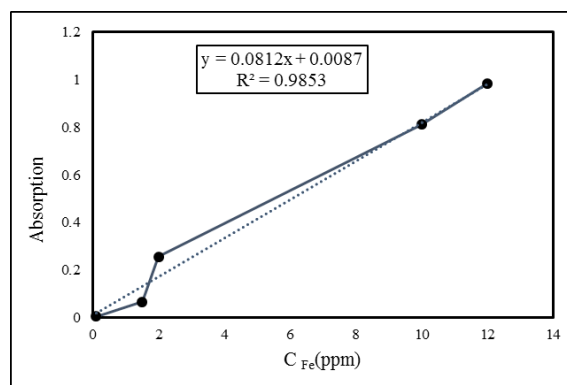
پاییز با میانگین pH در نمونه‌های گرفته شده در فصل بهار تاثیر چندانی بر روی میزان اکسیداسیون خاک ندارد و بیشتر این اختلاف pH در تفاوت دمایی ناحیه مورد مطالعه، رطوبت خاک و باران‌های فصلی است.

جدول ۲: pH نمونه‌های مورد مطالعه در دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	Av
pH	۷/۸	۶/۶	۷/۷	۴/۹	۷/۵	۷/۸	۸	۸	۷/۸	۷/۹	۷/۹	۷/۳	۷/۶	۵/۴	۷/۵	۷/۸

۳-۶- اندازه‌گیری یون آهن

اندازه‌گیری پارامتر یون آهن در این مطالعه با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی در دانشکده شیمی دانشگاه سمنان انجام شد. نمونه خاک برای این آنالیز قبل از انجام تست نمونه مورد نظر با استفاده از روش هضم چهار اسید، آماده‌سازی شده است. در این روش، ۰/۵ گرم از نمونه خشک را درون بوته تفلونی توزین نموده و به آن ۲/۵ میلی‌لیتر نیتریک اسید غلیظ اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق قرار داده می‌شود. سپس به آن ۵ میلی‌لیتر پرکلریک اسید و یک میلی‌لیتر فلئوریدریک اسید غلیظ اضافه نموده و روی هیتر گذاشته و دمای آن تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. در این روش چون هدف، هضم کامل نمونه جامد است، اضافه نمودن فلئوریدریک اسید تا شفاف شدن نمونه ادامه پیدا می‌کند. در پایان، ۵ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید غلیظ اضافه نموده و به مدت ۱۰ دقیقه نمونه در همان دما نگه داشته می‌شود. پس از سرد شدن نمونه، آن را به بالن حجمی ۵۰ میلی‌لیتری انتقال داده و با آب دوبار تقطیر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر می‌رسد [۱۹]. نتیجه حاصل از این آنالیز در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵: نتیجه حاصل از آنالیز جذب اتمی

۴- بحث و تفسیر

با توجه به داده‌های جدول ۱ مقدار حداقل هیدروکربن آزاد (S_1) ۰/۰۵ (میلی‌گرم هیدروکربن در گرم سنگ) در نمونه شماره ۱۰ و حداکثر هیدروکربن آزاد ۲۷/۳۵ (میلی‌گرم هیدروکربن در گرم سنگ) در نمونه شماره ۷ است. میانگین این پارامتر در میان نمونه‌ها ۹/۹۵ (میلی‌گرم هیدروکربن در گرم سنگ) است. مقدار حداقل توان و پتانسیل تولید (S_2) ۰/۱۹ (میلی‌گرم هیدروکربن در گرم سنگ) در نمونه شماره ۱۵ و حداکثر هیدروکربن آزاد ۱۲/۶۷ (میلی‌گرم هیدروکربن در گرم سنگ) در نمونه شماره ۶ است. میانگین این پارامتر در میان نمونه‌ها ۴/۴۵ (میلی‌گرم هیدروکربن در گرم سنگ) است. مقدار کل کربن آلی در نمونه‌های به دست آمده، دارای حداقل ۰/۳۱ درصد مربوط به نمونه شماره ۱۵ و حداکثر ۴/۱۳ درصد مربوط به نمونه شماره ۶ است. میانگین کل کربن آلی نمونه‌ها ۱/۹۷ درصد است.

بر اساس نظر پترز و کاسی (۱۹۹۴) با استفاده از مقادیر پارامترهای S_1 و S_2 و TOC می‌توان وضعیت هیدروکربن‌زایی و رتبه‌بندی را تعیین نمود (جدول ۳) [۲۰].

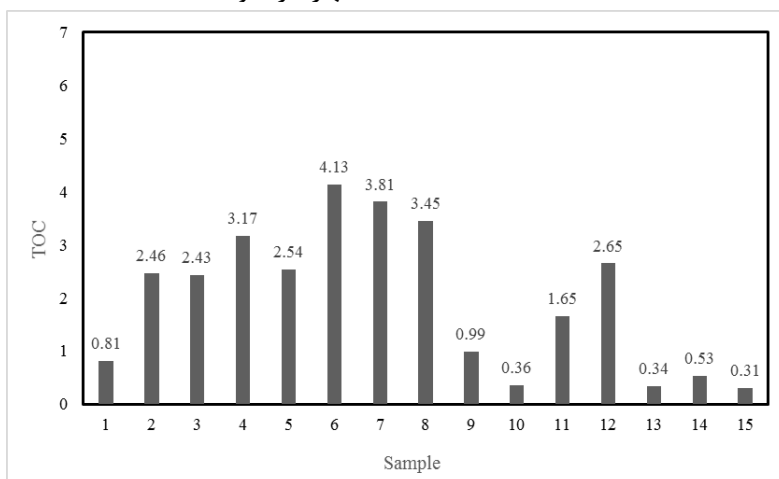
جدول ۳: مقایسه پارامترهای راک-اول در هیدروکربن‌زایی

S_2 (mgHC/gRock)	S_1 (mgHC/gRock)	TOC (Wt%)	توان هیدروکربن زایی
۰ - ۲/۵	۰ - ۰/۵	۰ - ۰/۵	ضعیف
۲/۵ - ۵	۰/۵ - ۱	۰/۵ - ۱	نسبتاً خوب
۵ - ۱۰	۱ - ۲	۱ - ۲	خوب
۱۰ - ۲۰	۲ - ۴	۲ - ۴	خیلی خوب
> ۲۰	> ۴	> ۴	عالی

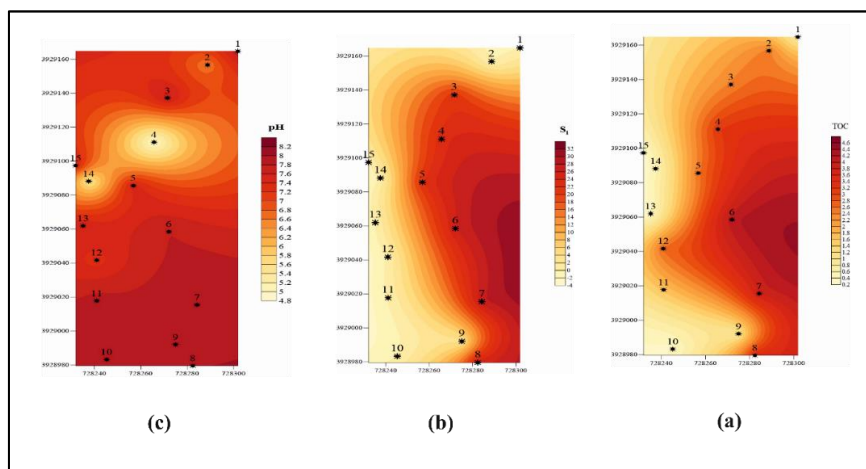
بر اساس هیستوگرام میزان مواد آلی (شکل ۶) و وضعیت هیدروکربن‌زایی (جدول ۳) نمونه‌های شماره ۴، ۶، ۷ و ۸ دارای کربن آلی بسیار غنی و خوبی است که مقدار

همچنین نمودار هم پتانسیل رسم شده در ناحیه مورد مطالعه (شکل b-1)، آنومالی TOC را در نقاط نزدیک به چشمه نفتی بالاتر از سایر نقاط نشان می‌دهد. با توجه به جدول 3 و نمودار هم پتانسیل مقدار کل کربن آلی (شکل a-7) می‌توان گفت، برخی از نمونه‌ها آغشته به هیدروکربن هستند و در رابطه با برجها و نایرجا بودن مواد آلی می‌توان اظهار نظر نمود.

آن بین 3/17 تا 4/13 درصد است. همچنین نمونه‌های 2، 3، 5 و 12 دارای کربن آلی کمتری نسبت به نمونه‌های بالا هستند و در حد متوسط تا خوب 2 تا 3 درصد بوده است. کربن آلی سایر نمونه‌ها از 0/31 تا 1/65 درصد است که بسیار ضعیف بوده و امکان دارد مواد آلی موجود در نمونه‌ها در اثر عوامل هوازدگی و غیر اکسید شده باشد.



شکل 6: هیستوگرام میزان مواد آلی (TOC) [21]



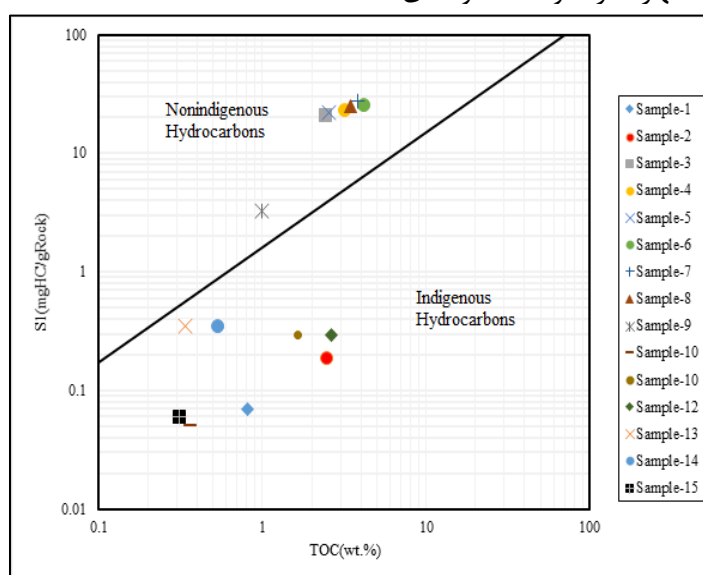
شکل 7: نمودار هم پتانسیل مقدار کل کربن آلی (a)، مقدار هیدروکربن آزاد (b) و میزان pH (c)

نشانه‌ای از وجود میزان زیادی ذخایر هیدروکربنی اند، که در سازند قم ذخیره شده است. همان طور که در نمودار هم پتانسیل S_1 در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است (شکل b-7)، نمونه‌های 3 تا 8 دارای نسبت S_1 بالاتری بوده است که نشان از خروج گسترده هیدروکربن از منابع زیرسطحی در این ناحیه است و می‌تواند نشانه ذخیره منابع هیدروکربنی در این منطقه باشد.

مقدار پایین S_1 به دلیل بلوغ پایین مواد آلی است که مقدار قابل توجهی هیدروکربن تولید نکرده و یا هیدروکربن‌هایی است که از سنگ منشا مهاجرت کرده‌اند [12]. هیدروکربن‌های نایرجایی که از سنگ منشا خارج شده‌اند، مقدار S_1 را در یک سنگ مخزن افزایش می‌دهند [21]. S_1 بالا در نمونه‌های مورد نظر نشانه وجود هیدروکربن آزاد است. در این ناحیه به علت خروج هیدروکربن‌ها در چشمه نفتی که در حجم زیادی است،

غیر ذاتی می‌توانند هیدروکربن‌های مهاجرت یافته از سازند قم باشند که باتوجه به وجود نشت در قرمز بالایی که پوش سنگ منطقه است، به سطح می‌آیند که این مبین وجود هیدروکربن در این ناحیه است. از آن جایی که مقدار S_1 در نمونه‌های ۴، ۶، ۷ و ۸ خیلی بیشتر از مقدار S_2 است. این پدیده نشان می‌دهد که مقدار کربن آلی طبیعی نبوده و با توجه به فاکتورهای دیگر راک اول می‌توان گفت این نمونه‌ها آغشته به مواد نفتی هستند و این این آغستگی هیچ منشا دیگری به جز مواد هیدروکربنی که از منابع زیر سطحی به سطح زمین مهاجرت کرده‌اند ندارد.

به کمک پارامتر S_1 در مقابل مقدار کل کربن آلی می‌توان در مورد برج بودن یا نابرجا بودن مواد آلی اظهار نظر نمود [۱۲]. در این مطالعه جهت اطمینان از این که نمونه‌های مورد مطالعه دچار آلودگی و یا آغستگی به هرگونه ماده هیدروکربنی نیستند، از منحنی S_1 در برابر TOC استفاده شده است. چرا که مقادیر بالای S_1 همراه با مقادیر پایین TOC مبین هیدروکربن مهاجرت یافته است [۱۲]. در نمونه‌های حاضر، نمونه‌های شماره ۳ تا ۹ هیدروکربن‌های نابرجا بوده و در محدوده هیدروکربن‌های غیرذاتی قرار می‌گیرد. با توجه به (شکل ۸) می‌توان در رابطه با این نمونه‌ها چنین اظهار نظر نمود که نمونه‌های



شکل ۸: منحنی S_1 در برابر TOC [۲۲]

در آنالیز لیتولوژی نمونه شماره ۷ کانی‌های کلسیت، ژیپس و کوارتز شناسایی شدند. با توجه به مطالعات گذشته بر روی لیتولوژی و سازندهای ناحیه مورد مطالعه (سازند قرمز بالایی با لیتولوژی کلسیت و ژیپس است)، می‌توان این تطابق را میان لیتولوژی نمونه شماره ۷ و سیستم نفتی (پوش سنگ) منطقه داد. همچنین با توجه به حضور متان در آنالیز پراش پرتو ایکس و بالا بودن درصد هیدروکربن آزاد در این نمونه می‌توان حضور هیدروکربن را در نمونه مورد مطالعه تایید نمود. همچنین با توجه به حضور کانی‌های ژیپس و گنبد‌های نمکی موجود در این منطقه احتمال ایجاد پدیده آلتراسیون نیز وجود دارد. همان طور که گفته شد در پوش سنگ‌های گنبد نمکی، کانی‌های ژیپس و انیدریت با کربناته جایگزین می‌شود. که در ایران به نام گچ ترش نامیده می‌شود و حاصل واکنش هیدروکربن

برای آنالیز و تعیین نوع کانی‌های موجود در منطقه آنالیز پراش پرتو ایکس را بر روی نمونه شماره ۷ که دارای S_1 بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها است، و بیشترین احتمال حضور هیدروکربن در این نمونه با توجه به نزدیک بودن به محل چاه را دارد، انجام گرفته است. نتایج حاصل از آنالیز پراش پرتو ایکس نمونه شماره ۷ در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴: کانی‌های شناسایی شده در نمونه شماره (۷)

فرمول شیمیایی	درصد جرمی	نوع کانی
$CaCO_3$	۲۶	کلسیت
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	۳۷	ژیپس
SiO_2	۳۴	کوارتز
CH_4	۳	متان

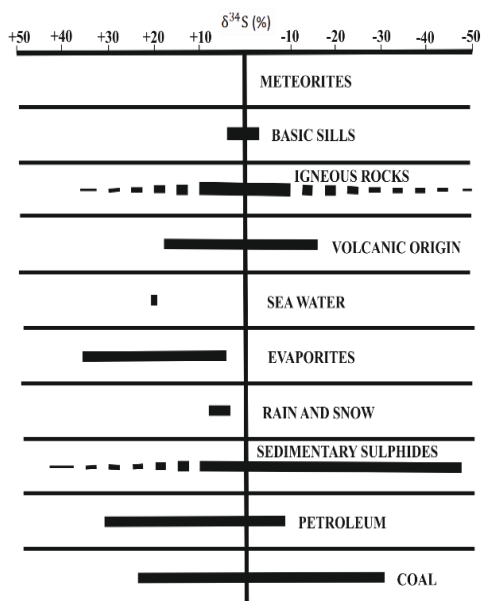
نکته حائز اهمیت بعدی که در این مطالعه مورد آنالیز قرار گرفته است، اندازه‌گیری pH نمونه‌ها است. برای مقایسه نتایج به دست آمده از آنالیز pH نمودار هم‌پتانسیل رسم شده است (شکل C-7). با مقایسه پراکندگی pH و S_1 می‌توان دریافت در نقطه ۴ با توجه به افزایش میزان S_1 و کاهش pH نشان‌دهنده وجود تراوشات هیدروکربن در ناحیه مورد مطالعه است. با توجه به افزایش میزان هیدروکربن راه‌یافته از لایه‌های زیرسطحی به چشمه نفتی میزان pH در این نقاط کاهش یافته است.

همچنین با بررسی لیتولوژی منطقه در قسمت قبل و وجود کلسیت و ژئیس در محیط اکسیداسیون احتمال وجود گچ ترش در این ناحیه و واکنش میان هیدروکربن و کانی‌های تبخیری زیاد است. با توجه به میزان یون آهن به دست آمده (حدود ۱ppm) در محلول آماده شده، می‌تواند دلیلی برای حضور منابع هیدروکربنی در منطقه مورد مطالعه باشد. مهاجرت و نشت هیدروکربن در این ناحیه باعث کاهش pH محیط می‌شود. آهن معمولاً همراه با کربن، اکسیژن و سولفور است. فلزاتی مانند اکسیدهای آهن و سولفیدهای آهن رسوب کرده و موجب تغییرات در خاک می‌شوند. شرایط اکسیداسیون منطقه و وجود سولفور باعث نهشته شدن میزان قابل توجهی یون‌های آهن در نمونه‌ها و وجود منابع هیدروکربنی که به سطح نفوذ کرده‌اند را تایید نماید.

۵- نتیجه گیری

سیستم هیدروکربنی در منطقه مورد مطالعه با توجه به ذخایر هیدروکربنی در تاقدیس البرز و سراج در ناحیه قم، میان لایه‌های مارنی سازند قم به عنوان سنگ منشا، میان لایه‌های آهکی به عنوان سنگ مخزن و میان لایه‌های انیدریتی و سازند قرمز فوقانی در برخی نقاط به عنوان پوش سنگ این سیستم هیدروکربنی معرفی شده است. با انجام روش‌های ژئوشیمی سطحی در منطقه جنوب سمنان که دارای تراوشات و چشمه نفتی است، وجود هیدروکربن نیز در این منطقه به قطعیت رسیده است. وجود درصد بالایی از هیدروکربن‌های آزاد در مناطق نزدیک به چشمه نفتی با توجه به آنالیز پیرولیز راک- اول حضور هیدروکربن‌های مهاجرت یافته از مخزن از طریق شکاف و خلل و فرج موجود در پوش سنگ را به سطح زمین نشان

با کانی‌های تبخیری است. گچ ترش پدیده‌ای ثانویه است که محصول واکنش شیمیایی مواد نفتی است. وجود گچ ترش فعال در این منطقه مشهود است، اما با توجه به مناطق جنوب کشور، به دلیل کم بودن گاز خارج از مخزن در سطح زمین دارای حرارت ناشی از خروج گاز نیست؛ ولی در محل اصلی خروج گاز بلورهای گوگرد همراه با آغستگی بی‌تومن وجود دارد. همان طور که گفته شده، مقدار قابل توجهی نمونه‌های گچ ترش در اطراف چاه خوریان وجود دارد که در آنالیز ایزوتوپ سولفور نتیجه به دست آمده با توجه به مطالعات هانت که در نفت‌های خام $\delta^{34}S$ از حدود $-7/5$ درصد تا $+25$ درصد متغییر هستند و $-0/4$ در این بازه قرار می‌گیرد، سولفور موجود در نمونه گچ ترش در منطقه مورد مطالعه دارای منشا آلی است. در شکل ۹ منشاهای متفاوت سولفور مشخص شده است. در هنگام پیشروی دریا در ایران مرکزی و رسوب گذاری سازند قم سولفور موجود در سولفات آب دریا که همزمان با رسوب مواد آلی در بین رسوبات قرار گرفته است، بر اثر فرایند احیا باکتریایی به شکل سولفید هیدروژن در می‌آید و به علت واکنش‌پذیری بالا با مواد آلی وارد واکنش شده و سبب ایجاد پیوند سولفور با کربن و ورود سولفور به ساختار مواد آلی می‌شود. با توجه به بازه‌های گفته شده در این شکل ایزوتوپ به دست آمده از سنگ‌های این ناحیه به دلیل رسوبی بودن ناحیه و لیتولوژی سازندهای منطقه در بازه منشا آذرین و زغالسنگی قرار نمی‌گیرد.



شکل ۹: توزیع ایزوتوپی سولفور در طبیعت [۲۳]

- [9] Dehkar, Abbas. Boshra, Alireza, Aslani. Soheila,(2012). "Geochemical and petrophysical study on clay mines of e section Qom Formation / Serajeh Qom field". Geological Survey of Iran,. The first year (2): page 35. (In Persian).
- [10] Andalib Semnani,(2011). "Semnan Social History in the Contemporary Period: The Foundations of Semnan Region" (Proceedings):. Haleh Rood. (In Persian).
- [11] Philp, R. and P. Crisp,(1982). "Surface geochemical methods used for oil and gas prospecting—a review". Journal of Geochemical Exploration,. 17(1): p. 1-34
- [12] Hunt, J.M.,(1996). "Petroleum geochemistry and geology". Vol. 2.: WH Freeman New York.
- [13] Nunez-Betelu, L. and J. Baceta,(1994). "Basics and Application of Rock-Eval/TOC Pyrolysis &58; an example from the uppermost Paleocene/lowermost Eocene in The Basque Basin, Western Pyrenees". Munibe Ciencias Naturales,. 46(unknown): p. 43-62
- [14] Espitalie, J., G. Deroo, and F. Marquis,(1985) "La pyrolyse Rock-Eval et ses applications. Deuxième partie". Revue de l'Institut français du Pétrole,. 40(6): p. 755 784.
- [15] Ghorbani, M., (2013).A summary of geology of Iran,. In The Economic Geology of Iran., Springer. p. 45-64.
- [16] Fujine, K.,(2014). "Source rock (SR) analyzer: User guide, v. 1.1: International Ocean Discovery Program". College Station, Texas,.
- [17] Van Krevelen, D.(1984), "Organic geochemistry—old and new". Organic Geochemistry,. 6: p. 1-10.
- [18] Tedesco, S.A.,(2012). "Surface geochemistry in petroleum exploration":. Springer Science & Business Media.
- [19] Eaton, A.D., et al.,(2005). "Standard methods for the examination of water and wastewater. American public health association,. 1015: p. 49-51.
- [20] Peters, K.E. and M.R. Cassa,(1994). "Applied source rock geochemistry: Chapter 5: Part II. Essential elements"..
- [21] Peters, K.,(1986). "Guidelines for evaluating petroleum source rock using programmed pyrolysis". AAPG bulletin,. 70(3): p. 318-329.
- [22] Rasouli, A., et al.,(2015). "Occurrence of organic matter-rich deposits (Middle Jurassic to Lower Cretaceous) from Qalikh locality, Zagros Basin, South–West of Iran: A possible oil shale می‌دهد. همچنین پایین بودن میزان pH نمونه‌ها و متان در آنالیز پراش پرتو ایکس وجود منابع هیدروکربنی را در این منطقه بازگو می‌کند. ایجاد محیط اکسیداسیون و افزایش یون‌های فلزی آهن در نمونه نیز گواهی بر حضور نشت منابع زیر سطحی هیدروکربن به سطح زمین است. سولفور با منشاء آلی در کنار کانی‌های ژئوپس و انیدریت، خروج گازهای هیدروکربنی از ناحیه اطراف چاه خوریان و همچنین بوی زیاد سولفور در تراوشات نفتی این ناحیه حضور گچ ترش را در این منطقه تایید می‌نماید. اما به علت کم بودن گاز خروجی از این ناحیه، همانند گچ ترش‌های جنوب کشور حرارت ناشی از خروج این گازها کم است.

مراجع

- [1] Kianian., Mohammad Kia., (2013). "Study of Soil Characteristics of Drought Areas and Their Role in the Development of Desert Vegetation Species and Strategies for Sustainable Development (Case Study: Desert Khourian, Semnan)", in the First National Symposium on Desert. (In Persian).
- [2] Rabbani, Ahmad Reza.,(2017) "Surface geochemistry and its application in the exploration of hydrocarbon resources"., Amir Kabir University of Technology: Amir Kabir University of Technology (Tehran Polytechnic). 158. (In Persian).
- [3] Motiei., Homayoun, (1996) "Iran Geology: Zagros Oil Geology". Ministry of Industry and Mines, Geological Survey of Iran. (In Persian).
- [4] Salami, Hemmat, Mohammadzadeh, Hossein. Naseri, HamidReza., (2013). "Investigation on the origin of sulfate in a number of fold Zagros sulfur sources using isotope sulfur 34S" the first national conference on the use of stable isotopes. (In Persian).
- [5] Dabestani, Nader, Hasan Nejad, Ali Akbar, Memariani, Mahmoud, Mosaddegh, Hossein, (2016). "Comparison of Organic Geochemical Data of Mobarak Formation (Eastern Alborz) in Touyeh Rudbar, Lap Nasar and Mighan Sections". Advanced Geology,: p. 37-47. (In Persian).
- [6] Aghanabati, Seyyed Ali,(2005). "Geological Survey of Iran." (In Persian).
- [7] Rezaei, Mohammad Reza.Honarmand., Jawad,(2002). "Parameters of Qom reservoir quality control in Alborz Field, Qom Basin, Central Iran". Journal of Science, University of Tehran,. Year 27 (1): Page1. (In Persian).
- [8] Darvishzadeh Ali.,(1992). "Geology of Iran",.(In Persian).

resource". International Journal of Coal Geology,. 143: p. 34-42.

[23] Thode, H.,(1991). "Sulphur isotopes in nature and the environment: an overview". Stable isotopes: natural and anthropogenic sulphur in the environment,. 43: p. 1-26.

¹ Paraffin dirt

² Sokolov

³ Laubmeyer

⁴ Horvitz

⁵ Rosaire

⁶ به کلیه تغییرات شیمیایی و کانی شناسی که تحت تأثیر آب‌های ماگمایی و یا گرمایی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود آلتراسیون می‌گویند.

⁷ Gach-i-turush

⁸ TOC

⁹ XRD