

اهمیت مطالعات ژئوشیمی سطحی در اکتشافات ذخایر هیدروکربنی:

با ذکر مطالعه موردی در استان خوزستان، جنوب غرب ایران

زینب علیزاده^۱، بهمن سلیمانی^{۲*}، بهزاد خانی^۳

^۱دانشجوی دکتری زمین شناسی نفت، گروه زمین شناسی نفت و حوضه‌های رسوبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

^{۲*}استاد گروه زمین شناسی نفت و حوضه‌های رسوبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

^۳مدیر فنی شرکت انرژی پژوهان آریانا، اهواز، اهواز، ایران

*soleimani_b@scu.ac.ir

دریافت شهریور ۱۴۰۴، پذیرش دی ۱۴۰۴

چکیده

مطالعات ژئوشیمی سطحی از ابزارهای مهم در تمام مراحل اکتشاف پتانسیل هیدروکربنی از شناسایی حوضه پیشانی (فورلند) تا اکتشاف دقیق، و چشم‌انداز بر اساس شار احتمالی هیدروکربن‌ها، شناسایی زون‌های فرعی در میادین بالغ، نظارت بر زهکشی هیدروکربن‌های مرتبط با تولید در طول زمان بشمار می‌رود. در مطالعه کنونی، پیش بینی پتانسیل هیدروکربنی ناحیه‌ای در شمال شرق خوزستان (جنوب شرق فروافتادگی دزفول) با استفاده از آنالیز گاز خاک نمونه‌های جمع‌آوری شده (تعداد ۶۲ نمونه) انجام شده است. سنجش مقادیر گازخاک با استفاده از روشهای استخراج اسید (AE) و بررسی میکروبی و استخراج ژن آنها (MT1-MT2) است. تحلیل داده‌ها نشان داد که تغییرات پارامترهای آنالیز MT2 در امتداد خطوط نمونه برداری در نمودارهای هیستوگرامی کج شدگی مثبت را بواسطه وجود آنومالی ژئوشیمی سطحی و حضور هیدروکربن در مخازن احتمالی نشان می‌دهد. نسبت‌های اتان در مقابل متان، اتان در مقابل پروپان و $c1/c2+c3$ در مقابل $c2/c3+c4$ نشان دهنده نوع هیدروکربن به دام افتاده در مخازن زیر زمینی می‌باشند. بر اساس داده‌های حاصل، نمونه‌های محدوده مطالعاتی در محدوده مخازن نفتی و در مواردی مخازن نفتی همراه با گاز قرار می‌گیرند. مخازن هیدروکربنی براساس نسبت استاندارد $c3/c1 \times 1000$ ، با دارا بودن محدوده ۲۰-۲۰۰، تجمع هیدروکربنی با اکثریت هیدروکربن‌های مایع و در مواردی همراه با گاز را نشان می‌دهند. براساس $\log c1/(c2+c3)$ در مقابل $\log c2/(c3+c4)$ نیز نشان دهنده غالب بودن هیدروکربن مایع و در موارد کمتری هیدروکربن‌های گازی همراه با نفت می‌باشد. تغییرات داده‌های پارامترهای آنالیز MT1 در امتداد خطوط نمونه برداری نیز حاکی از وجود انطباق خوب میان آنومالی بالای این پارامترها با عوارض ساختاری زمین شناسی زیرسطحی (گسل) است. نتایج کنونی نشانه غالب بودن نمونه‌ها در محدوده هیدروکربن‌های مایع و در مواردی همراه با کلاهیگ گازی است. هرچند تعداد معدودی از نمونه‌ها خصوصیات هیدروکربنی با مشخصات نفت سنگین و همچنین آلودگی‌های سطحی را نشان می‌دهند. بطورکلی نتایج تمامی روشهای مورد استفاده در پیش بینی آنومالی گاز خاک تطابق خوبی را با عناصر ساختاری ناحیه نشان داده، لذا ابزار مفیدی برای شناسایی و رصد گسل‌های پنهان در سطح می‌تواند محسوب گردد.

کلید واژه: ژئوشیمی سطحی، ریزشست، اندیس ژئوشیمیایی آلی، فروافتادگی دزفول، آنالیز میکروبی، گاز خاک جذب شده

۱- مقدمه

روش‌های ژئوشیمیایی برای اکتشاف نفت و گاز برای اولین بار در دهه ۱۹۳۰ و اوایل دهه ۱۹۴۰ توسط سوکولوف و همکارانش [۹۲] در روسیه، لایبیر [۵۳] در آلمان و هورویتز و روزایر [۷۶، ۳۶] در ایالات متحده مورد بررسی قرار گرفت. اساس این مطالعات تجزیه و تحلیل متان و کل هیدروکربن‌های غیر متان در گازهای خاک محدود بوده، و از تکنیک‌هایی مانند تراکم، احتراق و مانومتری استفاده شد. مطالعات اولیه محققین روسی در دهه بعدی نیز ادامه یافت [۴۷، ۸۹، ۹۳]. روزایر [۷۶] تکنیک‌های اکتشاف شامل تجزیه و تحلیل گازهای هیدروکربنی در خاک، گازهای خاک و آب‌های زیرزمینی را توصیف نمود. پیرسون [۶۳] روش‌های مورد استفاده در اکتشاف خشکی را مقایسه کرد. چیلینگار و کریم [۱۵] و کریم [۴۶] کاربرد بررسی‌های گازی را برای رسوبات سطحی، سیالات حفاری و مغزه‌ها را توصیف کردند و در بررسی اکتشافات ژئوشیمیایی برای مواد معدنی، بویل و گرت [۱۱] نیز بخشی را در مورد نفت گنجانده‌اند. دیویس [۲۲] همچنین برخی از روشهای اولیه مورد استفاده برای اکتشاف ژئوشیمیایی را مورد بحث قرار داده است، از جمله تجزیه و تحلیل مادون قرمز عصاره خاک [۱۲] و اندازه‌گیری نسبت $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ عصاره لیپید خاک [۱۳]. هورویتز [۳۶-۴۰] به اصول اساسی، روش‌ها و نتایج به دست آمده از مطالعات اکتشاف ژئوشیمیایی پرداخته است. سوکولوف و همکاران [۹۱] روش‌ها را بررسی کرده و نتایج به دست آمده از بررسی‌های زیرسطحی و گازهای عمیق و شکل‌های ناهنجاری‌های مختلف را مورد بحث قرار دادند. کروپلین [۵۲] شرایط فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز برای اکتشاف را در نظر گرفت و در مورد روش‌ها و نتایج مختلف اظهار نظر کرد و موتوجیما [۶۰] وضعیت اکتشافات ژئوشیمیایی در ژاپن را گزارش کرد. ایده اکتشاف نفت و گاز با ابزارهای ژئوشیمیایی هنوز در بسیاری از اقشار با شک و تردید دیده می‌شود. با این حال، در بیشتر کشورها، اولین اکتشافات نفت با حفاری در نزدیکی نفت، رسوبات قیر یا شواهد قابل مشاهده از نفت هیدروکربن انجام شد. نفت و گاز با بسیاری از مناطق خارج از تولید مرتبط است [۵۴]، و تا اواخر سال ۱۹۴۰ مطرح شد که شواهد قابل مشاهده از نفت از عوامل کشف نفت بیشتر از هر روش اکتشاف دیگری است [۲۶]. روش‌های کروماتوگرافی گازی مدرن، آشکارسازهای هیدروکربن‌ها حساس‌تر از چشم انسان هستند و امکان شناسایی ریزنشست‌های نامرئی هیدروکربن‌های فرار را فراهم می‌سازد [۶۲].

علم اکتشافات ژئوشیمیایی سطحی برای نفت و گاز از زمان مشاهدات در اوایل دهه ۱۹۰۰ تغییرات ژئوشیمیایی و کانی شناسی مرتبط با خاک و رسوبات بالای میادین نفت و گاز در خاورمیانه [۵، ۴۱] و سواحل خلیج آمریکا [۲۳، ۵۹] پیشرفت زیادی داشته است. این امر با توسعه بسیاری از روش‌های ژئوشیمیایی و غیر لرزه‌ای برای تشخیص هیدروکربن‌ها در خاک، رسوبات، آب‌ها و جو دنبال شد [۸۳]. امروزه به دلیل بهبود تکنیک‌های تحلیلی، درک بهتر مکانیسم مهاجرت و اثرات مختلف نزدیک به سطح آن، بهبود طراحی نقشه و استراتژی‌های نمونه‌برداری، و بهبود مهارت‌های تفسیر، پذیرش گسترده‌تری از بررسی‌های ریزنشست هیدروکربنی و تشخیص هیدروکربن وجود دارد. تاریخچه موردی مستند از بررسی‌های ریزنشست به صورت متداول در مجلات و کتاب‌های معتبر منتشر شده و کاربرد گسترده این فناوری را در تمام مراحل اکتشاف از شناسایی حوضه پیشانی (فورلند) تا اکتشاف دقیق، و چشم‌انداز بر اساس شار احتمالی هیدروکربن‌ها، شناسایی زون‌های فرعی در میادین بالغ، نظارت بر زهکشی هیدروکربن‌های مرتبط با تولید در طول زمان را نشان می‌دهد [۳].

اثر ریزنشست هیدروکربنی در سازند قرمز بالایی بر روی مخزن نفت البرز واقع در حوضه ساوه-قم، ایران. نیز بررسی شده است [۵]. نفت هیدروکربن‌ها به سطح زمین به شکل تراوش‌های خرد و کلان، محققان را به حفاری چاه در کویر خوریان

در جنوب استان سمنان برانگیخت. پس از حفاری چاه، محققان شواهدی از هیدروکربن های آزاد نشده (عاری) پیدا کردند. این یافته ها باعث مطالعه بیشتر منطقه با استفاده از ژئوشیمی سطحی و در نظر گرفتن تجمع هیدروکربن در سازند قم شد [۴۱].

هدف از این مطالعه بررسی روابط بین ترکیب گاز خاک و ساختارهای زمین شناسی در یک منطقه ساختاری پیچیده واقع در کمربند چین خورده و تراستی زاگرس است. نتایج این مطالعه برای تفسیر داده های ژئوشیمی سطحی در سایر ایالت های نفت و گاز با ساختار زمین شناسی پیچیده اهمیت کلیدی دارد.

۲- موقعیت ناحیه مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه (شکل ۱) در استان خوزستان (جنوب غرب ایران) قرار دارد. از نظر جغرافیایی این ناحیه بخشی از حوضه فورلند زاگرس است. زاگرس یک کوه زایی است که تحت تسلط فرآیندهای خمشی است که شرایط عالی برای تولید و حفظ هیدروکربن را دارا است. منابع انباشته چندگانه آن، تولید مداوم هیدروکربن را تضمین می کند، در حالی که جداشدگی های انباشته، حوضه هایی با مخروط کم و ضخیم روی گوه ایجاد می کنند [۴۹]. مطالعات منابع نشان می دهد که ۱۴ درصد از ذخایر هیدروکربنی کشف شده در سراسر جهان در داخل کمربند چین خورده و تراستی در امتداد مرزهای صفحه همگرا قرار دارند [۱۹]. اکتشاف نفت و گاز در کمربندهای تراستی و چین خورده به دلیل پیچیدگی در سبک تکتونیکی، معماری ساختاری و پتانسیل بقای سیستم نفتی در طول رشد کمربندهای تراستی و چین خوردگی خطرناک است.

سیستم نفتی، همانطور که توسط ماگون و داو [۵۶] توضیح داده شده است، به عنوان کلیه عناصر و فرآیندهای ضروری مورد نیاز برای ایجاد یک تجمع نفت و گاز تعریف می شود. عناصر عبارتند از منبع، مخزن، پوش سنگ و سرباره. دیسلز و گیلز [۲۵] سیستم های حوضه فورلند را به عنوان مکان هایی که ناشی از خمش سرباره و فرونشست خارج از میدان بواسطه فعل و انفعالات بین قطعه فرورانده شده و گوشته تعریف می کنند. فرونشست خمشی به طور سیستماتیک با افزایش سرباره کوهزایی همراه می گردد. پیش خشکی های (فورلند) خمشی مکان های مناسبی برای هیدروکربن ها هستند.

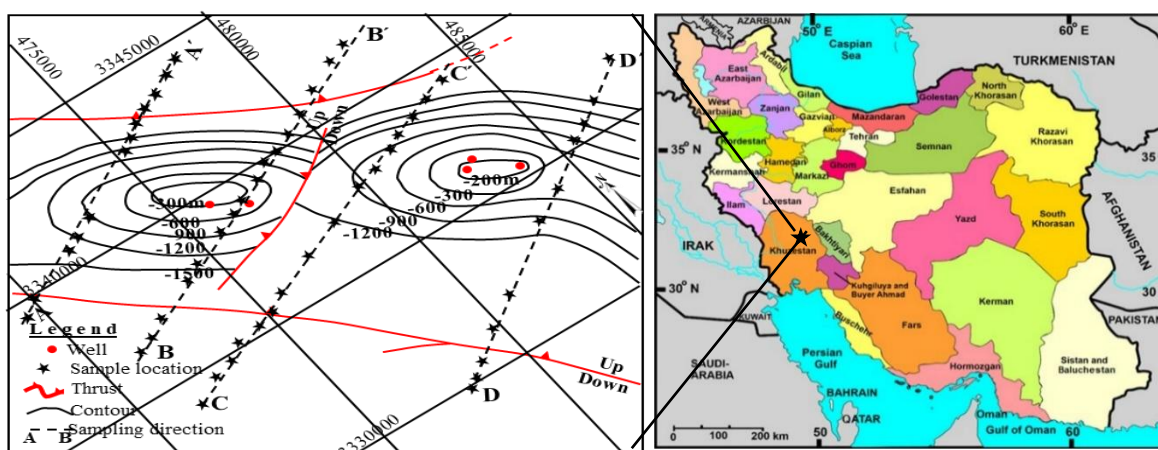
در کمربندهای تراستی و چین خورده که در آن همه عناصر وجود دارند، تاریخچه تغییر شکل پیشرونده آنها تولید و تخریب سیستم های نفتی را موجب می شود [۷۷]. وقوع تجمعات نفتی به محدوده باریکی از مسیرهای تغییر شکل بستگی دارد [۵۶]. شناخت پنجره های محدود زمانی که همه عناصر و فرآیندها برای تشکیل انباشته های هیدروکربنی در کمربندهای تراستی و چین خورده در یک راستا قرار می گیرند، و چالش های حفظ آن تجمع ها، اساس مطالعات آنالیز تکتونیکی نفت PTA^۱ است.

مکان ساختارهای تکتونیکی روی سطح را می توان با استفاده از روش های ژئوشیمیایی سطحی مستقیم و غیر مستقیم کشف کرد. روش های مستقیم بر اساس ثبت مقادیر کمی از هیدروکربن های سبک است که به سطح مهاجرت می کنند. روش های غیرمستقیم مبتنی بر ثبت و تجزیه و تحلیل تغییرات ثانویه خاک و توده های سنگی ناشی از این مهاجرت هیدروکربنی است [۹۷].

۲-۱ چینه شناسی ناحیه مورد مطالعه

^۱ - Petroleum Tectonic Analysis

میدان مورد مطالعه از لحاظ تقسیمات ناحیه‌ای حوضه زاگرس در فروافتادگی دزفول و به طور دقیق‌تر در منتهی الیه دزفول جنوبی واقع شده است. این ساختمان توسط دو گسل تراستی از میادین مجاور خود جدا گردیده و همین امر سبب بالا آمدن این بلوک به صورت یک هورست شده است. از سازندهای زیر سطحی حفاری شده در این ناحیه عبارتند از میشان (آهک و مارن)، گچساران (آهک، مادستون، دولومیت، مارن، ژیبس/انیدریت)، آسماری (آهک، گاهی دارای شیل)، پابده (شیلی، آهکی، آهک رس دار)، گورپی (شیلی و مارن)، سروک (آهک با میان لایه هایی از شیل)، کژدمی (شیل، آهک و مارن)، داریان (آهک و شیل)، گدوان (شیل، آهک و مارن)، فهلان (آهک با میان لایه های از مارن و شیل)، هیت (آهک، انیدریت و شیل) و سورمه (آهک و دولومیت). توصیف این سازندها و تغییرات سنگ شناسی آنها در شکل ۲ آورده شده است. نکته قابل توجه وجود هرزروی شدید گل در برخی از انتروال های عمقی (فواصل) است که نشانه شکستگی سازندهاست. این ویژگی های ساختاری موجب ریزش هیدروکربنی و مهاجرت به سمت سطح می گردد. این ناهنجاریها در ناهمگنی توزیع میکروارگانسمهای (باکتری) موجود در خاک مژثر خواهد بود. بررسی تغییرات آنها هدف اصلی این مطالعه محسوب می گردد.



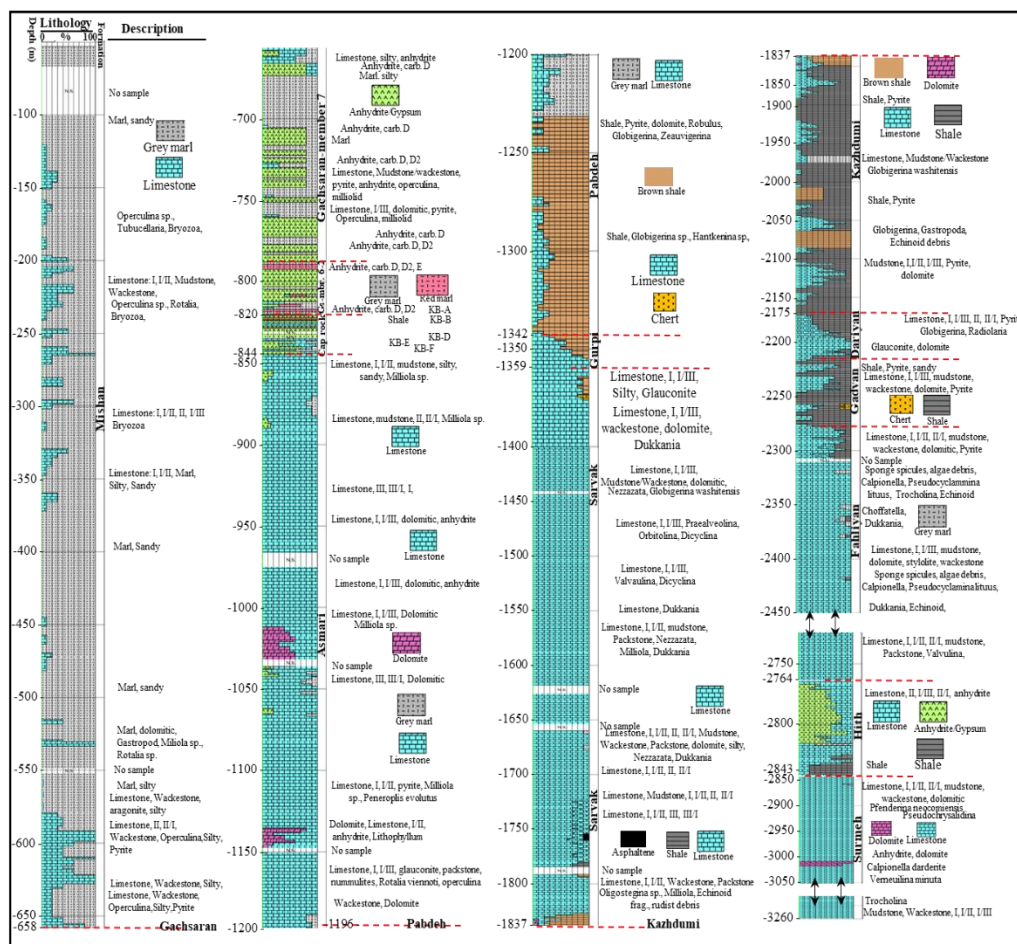
شکل ۱- نقشه ایران [۷۸] و موقعیت راستهای نمونه برداری ژئوشیمی سطحی در ناحیه مورد مطالعه در استان خوزستان.

۳- متدولوژی

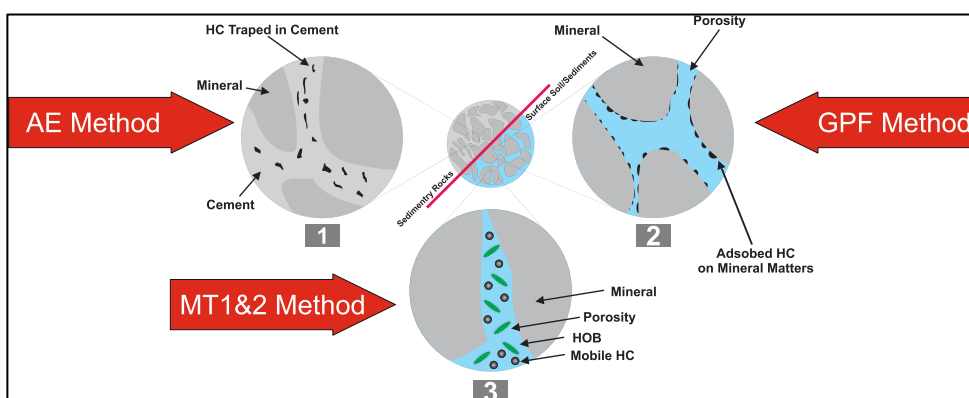
۳-۱ روش های مستقیم:

روش های اکتشافی مستقیم شامل روش هایی هستند که به طور مستقیم هیدروکربن موجود در خاک آب و رسوبات نزدیک سطح را اندازه گیری می کنند. آنالیز هیدروکربن های گازی سبک (به طور مشخص متان تا پنتان) در خاک و گازهای خاک ابتدائی ترین روش های ژئوشیمی سطحی در این خصوص به شمار می رود. هیدروکربن های گازی سبک در حالت های زیر در خاک و رسوبات سطحی به دام می افتند [۸۶-۸۷] (شکل ۳):

گاز آزاد در تخلخل موثر؛ گاز خشک به دام افتاده در فضای آزاد بین دانه‌ها؛ گاز جذب شده بر روی اجزای رسوبی یا به دام افتاده در بین سیمان‌های کربناته؛ گاز حل شده در آب و یا موجود در اتمسفر.



شکل ۲- ستون چینه‌ای بر اساس داده نمودار ترسیمی چاه ۲ در یکی از چاه‌های حفاری شده میدان مورد مطالعه.



شکل ۳- شماتیک نحوه به دام افتادن هیدروکربن‌های گازی سبک در لایه‌های خاک سطحی و روش‌های آنالیز ژئوشیمی سطحی وابسته. علائم اختصاری: AE: Acid Extraction، MT: Microbial Technique، GPF: Geo Pack Fluorescence.

هیدروکربن‌های فرار و نیمه فرار سنگین‌تر مانند اجزای آروماتیکی، گستره هیدروکربن‌های گازوئیلی و حتی نفت‌های نرمال یا تجزیه زیستی شده در صورت وجود مسیر مهاجرت در طول گسل‌ها و شکستگی‌ها می‌توانند در خاک و رسوبات سطحی یافت گردند. شواهد متفاوت باعث به وجود آمدن روش‌های متفاوت نمونه برداری و آنالیز هیدروکربن‌ها شده است. به این صورت که این مواد در رسوبات سطح و نزدیک به سطح تغییرات متنوعی در مشخصات فیزیکی، شیمیایی، بایولوژیکی، مغناطیسی و غیره محیط احاطه کننده خود به وجود می‌آورند. بنابراین با روش‌هایی که این تغییرات را اندازه‌گیری و یا شناسایی می‌کنند می‌توان به وجود هیدروکربن در زیر زمین پی برد.

نمونه‌های گاز خاک با استفاده از کروماتوگرافی از نظر هیدروکربن‌های سبک سری پارافینی (متان، اتان، پروپان، i-بوتان، n-بوتان، i-پنتان، n-پنتان و آلکن‌های گازی (اتیلن، پروپیلن و ۱-بوتن) آنالیز شدند. آنالیزها با ابزار Fissons Instruments GC8160 انجام شد. هیدروژن و دی اکسید کربن توسط Carlo Erba Instr سنسجش گردید. دستگاه تفسیر نتایج با روش استاندارد داخلی بر اساس تشابه گازهای کالیبراسیون ارائه شده توسط Supleco، Alltech و BOC با خطای $\pm 2\%$ اجرا شد. حد تشخیص هیدروکربن برای FID حدود 0.01 ppm بود، حد تشخیص هیدروژن و دی اکسید کربن برای TCD هر کدام ۰.۰۰۱ درصد حجمی بود [۸۶].

۳-۲ روش‌های غیر مستقیم:

روش‌های غیر مستقیم برای اکتشاف ریز نشت‌ها و چشمه‌های هیدروکربنی بر اساس نوع تغییرات مورد نظر ایجاد شده توسط حضور هیدروکربن در خاک و رسوبات نزدیک به سطح استوار می‌باشد (شکل ۴). بعضی از روش‌های ژئوشیمیایی اکتشافی غیرمستقیم شامل پتانسیل اکسیداسیون احیا؛ آنالیز گیاهان؛ آنالیز نمک‌های خاک و .. می‌باشد (شکل ۴).

در این محدوده از استراتژی نمونه برداری ترکیبی خطی- شبکه‌ای استفاده شده است. به گونه‌ای که فاصله خطوط نمونه برداری از هم متفاوت و فاصله نمونه‌ها از هم بر روی خطوط نمونه برداری ۵۰۰ تا ۶۰۰ متر در نظر گرفته شده است. جهت گیری خطوط در این ناحیه به دو صورت شمال غربی- جنوب شرقی و شمال شرقی- جنوب غربی می‌باشد.

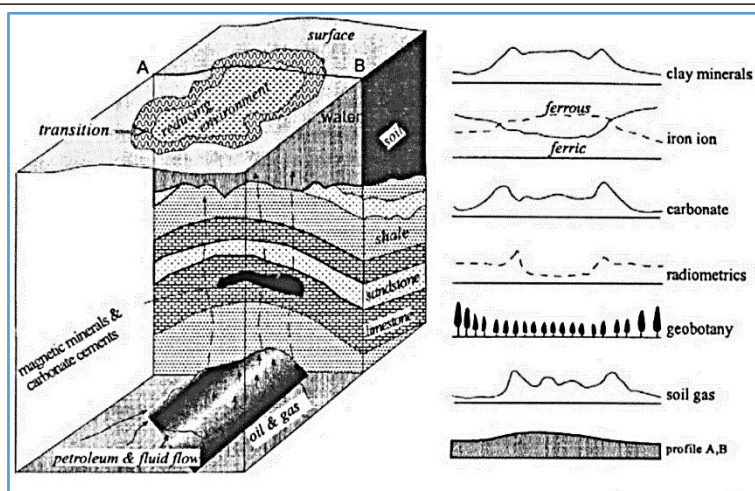
بمنظور انجام آزمون و دستیابی به نتایج، فعالیت‌ها در دو گروه قرار می‌گیرند:

الف- فعالیت میدانی: برداشت نمونه- انتقال نمونه‌ها- نگهداشت و آماده سازی نمونه‌ها- بررسی نهایی نمونه‌ها- نمونه برداری مجدد- بسته بندی و ارسال نمونه‌ها

ب- در آزمایشگاه: کنترل کیفی نمونه‌های دریافتی - کنترل کمی نمونه‌های دریافتی- نگه داشت نمونه‌ها در آزمایشگاه: استاندارد انجام آنالیز MT_2^3 ؛ انجام آزمون و تفسیر نتایج آزمون، و استخراج ژن (MT_1^4) نمونه‌ها.

³- Microbial Technique

⁴- DNA Extraction



شکل ۴- تغییرات سطحی ایجاد شده توسط هیدروکربن های مهاجرت یافته به سطح [۲۹].

مهمترین لایه های اطلاعاتی که در تعیین استراتژی نمونه برداری مورد استفاده قرار گرفت، شامل؛ UGC راس سازندهای مخزنی، موقعیت ساختمان های سطحی و موقعیت چاه های اکتشافی و تولیدی موجود می باشد.

۳-۲-۱ آنالیز MT2

روش میکروبی مورد استفاده در این مطالعه در اصل توسط شرکت نفتی فیلیپس^۵ توسعه یافته است، فراوانی میکروب های اکسید کننده هیدروکربن را در خاک اندازه گیری می کند [۸، ۲۱، ۴۳، ۴۸]. میکروب ها در محیط های تراوش رشد می کنند و از گازهای هیدروکربنی به عنوان منبع اصلی "انرژی" خود استفاده می کنند. آنها گازهای هیدروکربن را به الکل، اسیدهای آلی و در نهایت به دی اکسید کربن تبدیل می کنند. روش میکروبی یک شاخص قابل اعتماد از ریزش در طیف وسیعی از محیط ها و تنظیمات زمین شناسی است و رکوردی از نشت را در بازه زمانی چند هفته تا چند ماه ارائه می کند. مواد و تجهیزات لازم برای این آنالیز شامل؛ شیکر، انکوباتور (دما و شرایط جوی وابسته به گونه های باکتریایی تعیین می شود)، کلنی کانتر، هود لامینار کلاس II، رقیق کننده (سرم فیزیولوژی ۰/۹٪)، محیط کشت آگار، اتانول ۷۰٪، لوله آزمایش استریل، سمپلر ۱۰۰ میکرولیتر تا ۱ میلی لیتر و سرسمپلر ۱۰۰ میکرولیتر تا ۱ میلی لیتر می باشد. براساس خطوط استراتژی نمونه برداری و اهداف مطالعاتی ژئوشیمی سطحی در ناحیه مورد مطالعه تعداد ۶۲ نمونه جهت آنالیز MT1، MT2، و AE^۶ انتخاب شده اند. روش آنالیز نمونه ها به صورت زیر است:

مقدار مشخصی از سوسپانسیون اولیه در سطح پلیت حاوی محیط کشت آگار ریخته می شود.

پلیت های حاصل از رقت های ده دهی از سوسپانسیون اولیه نیز تهیه می شود.

پلیت ها در شرایط هوایی در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد انکوبه می شوند.

نتایج به صورت تعداد میکروارگانیزم ها^۷ (cfu) در گرم یا میلی لیتر از سوسپانسیون اولیه بیان می شود:

میانگین cfu/ml [۱۰، ۳۴] را برای تعداد نمونه های آزمایش شده با استفاده از معادله زیر تعیین می گردد:

^۵ - Phillips Petroleum Company

^۶ - Acid Extraction

^۷ - colony forming unit (cfu)

$$\frac{cfu}{ml} = \frac{\text{میانگین شمارش پلیتها}}{\text{ضریب رقت} \times \text{حجم تلقیح شده روی پلیت}}$$

۲-۳ آنالیز MT1-

روش استخراج DNA از باکتری متعددی وجود دارد [۱۰۶-۱۰۷]. پنج روش استخراج DNA باکتری شامل بافر Tris-EDTA، chelex-100، آب فوق خالص، ۲ درصد سدیم دودسیل سولفات و ۱۰ درصد تریتون-۱۰۰ با و بدون فراصوت، که با روش کیت استخراج DNA فکال تجاری به عنوان استاندارد طلایی قابل مقایسه است. این مقایسه بر اساس بازده و خلوص DNA و شاخص‌های ساختار و ویژگی میکروارگانیسم‌ها بود که توسط ERIC-PCR منعکس شد. ولی استخراج DNA عموماً به دو دسته تقسیم می‌شود: ۱- استخراج DNA بر پایه شیمیایی؛ ۲- استخراج DNA بر پایه فاز جامد.

به منظور تهیه DNA نو ترکیب و تست‌های تشخیصی، نیازمند متدهای استخراج DNA از ارگانیسم‌های مختلف و خالص‌سازی آن تا حد معینی است. تکنیک‌هایی که برای استخراج DNA استفاده می‌شوند، بسته به منبع نمونه، اندازه و قدمت آن متفاوت بوده، علیرغم تنوع فراوان این روش‌ها، اشتراکاتی بین آن‌ها وجود دارد و آن جدا کردن DNA از سایر اجزای سلولی است. مراحل استخراج شامل: لیز کردن دیواره/ غشای سلولی و شکست غشا هسته؛ حذف بقایای سلولی. روش استخراج DNA از کشت باکتری (در مطالعه کنونی) قابل تقسیم به ۴ مرحله اصلی است:

کشت باکتری‌ها، تهیه عصاره سلولی، استخراج DNA (عصاره سلولی تحت تاثیر موادی قرار می‌گیرد که همه اجزا به جز DNA از بین روند)، تغلیظ DNA، تخلیص DNA (با استفاده از کیت یا دستگاه)، ارزیابی کیفیت DNA استخراج شده (روش اسپکتوفتومتری برای بررسی کیفیت DNAهای استخراج شده با استفاده از دستگاه نانودراپ یا با استفاده از ژل الکتروفورز). تهیه ژل، بارگیری نمونه‌ها، رنگ آمیزی و مشاهده.

در روش MT1 که برپایه روش‌های بیوتکنولوژیکی استوار است، میزان تمرکز باکتری‌های اکسید کننده متان، پروپان و بوتان براساس میزان فراوانی ژن‌های مسئول تجزیه این نوع هیدروکربن‌های گازی اندازه گیری می‌شود. اساس کار این روش شکستن دیواره سلولی باکتری‌ها و آزاد نمودن DNA می‌باشد که براساس روش‌های فیزیکی و شیمیایی با عنوان لیز کردن انجام می‌شود. مهمترین مراحل استخراج DNA شامل؛ لیز کردن دیواره/ غشای سلولی و شکست غشا هسته، حذف بقایای سلولی می‌باشد. به طور کلی استخراج DNA به ۲ صورت؛ استخراج از بافت خاک و استخراج از باکتری‌های کشت داده شده انجام می‌شود. در این مطالعه به دلیل اینکه تمام باکتری‌های اکسید کننده هیدروکربن‌های قابلیت تولید در محیط کشت را دارا نمی‌باشند از روش استخراج از بافت خاک استفاده شده است. این مهم از مزیت‌های روش MT1 در مقابل روش MT2 می‌باشد. پس از استخراج DNA، میزان کیفیت DNAهای بدست آمده توسط دستگاه نانودراپ انجام می‌شود. در نهایت کمی سازی میزان ژن‌های مسئول تجزیه هیدروکربن‌های گازی سبک در هر نمونه توسط دستگاه Real Time PCR مورد اندازه گیری قرار می‌گیرد.

روش Real Time PCR با استفاده از فلورس برای اندازه گیری بیان فراوانی ژن یا تعیین کمیت ژن مورد استفاده قرار

گرفته، و بر روی تجزیه و تحلیل سه ژن متمرکز شده است:

pmoA: Particulate Methane Monooxygenase ; prmA: Propane Monooxygenase
bmoX: Butane Monooxygenase

همانند روش انکوباسیون میکروبی برای باکتری‌های اکسیدکننده بوتان "BOB"، آنالیز در سه تکرار انجام می‌شود، سه آزمایش Real Time PCR بر روی هر نمونه انجام شده است، مقدار نهایی کمی برای هر محل نمونه‌برداری، میانگین سه آزمایش گزارش شده به عنوان ژن است. شماره کپی به طور جداگانه برای هر یک از سه متغیر PCR. در ۲ گرم خاک از هر یک از محل‌های نمونه برداری از سوراخ‌های کم عمق جمع‌آوری و از زمان جمع‌آوری تا تجزیه و تحلیل در مخازن نیتروژن مایع منجمد نگهداری می‌شود. در مطالعه حاضر، علاوه بر تکنیک میکروبی (MT) برای بررسی حضور باکتری اکسیدکننده بوتان در خاک، آنالیز Real Time PCR بر روی همان نمونه‌های خاک انجام شد، PCR بر روی تعداد کپی ژن فراوانی متمرکز شد. این ژن‌ها: *pmoA*، *prmA* و *bmoX* به ترتیب در باکتری‌های مسئول اکسیداسیون متان، پروپان و بوتان در محیط وجود دارند.

۳-۲-۱- آماده‌سازی محیط کشت نمک معدنی^۸ MSM:

این محیط از نوع محیط کشت جامد و به منظور کشت باکتری‌ها، جداسازی و روش‌های شمارش میکروب‌ها به کار می‌رود. محتویات این محیط در حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر به این شرح: Agar (۱۵ گرم بر لیتر)، $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (۱ گرم بر لیتر)، K_2HPO_4 (۰.۷ گرم بر لیتر)، KH_2PO_4 (۰.۵۴ گرم بر لیتر)، NH_4Cl (۰.۵ گرم بر لیتر)، $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (۰.۲ گرم بر لیتر)، $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (۰.۰۰۰۱ گرم بر لیتر)، H_3BO_3 (۰.۰۰۰۲ گرم بر لیتر)، $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (۰.۰۰۰۱ گرم بر لیتر)، $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (۰.۰۰۰۰۶ گرم بر لیتر)، $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (۰.۰۰۰۰۱ گرم بر لیتر)، $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (۰.۰۰۰۰۳ گرم بر لیتر)، $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (۰.۰۰۰۰۲ گرم بر لیتر) و $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (۰.۰۰۰۰۲ گرم بر لیتر) می‌باشد.

معمولاً ۱-۱۰/۰ ng از DNA الگو برای DNA پلاسمید یا فاژ و ۱-۱۰/۰ μg برای DNA ژنومی در ۵۰ μl مخلوط واکنش مورد نیاز است. DNA الگوی بیشتر از این مقدار سبب تولید فرآورده‌های غیر اختصاصی PCR می‌شود؛ بنابراین DNA باید خالص باشد، به طوری که، حتی وجود مقدار خیلی جزئی از فنول، EDTA، پروتئیناز K و غیره مورد استفاده در تخلیص DNA، شدیداً فعالیت DNA پلیمراز Taq را مهار می‌کند. با این حال رسوب DNA با اتانول و شستشوی رسوب DNA با اتانول ۷۰٪ معمولاً در حذف این آلودگی‌ها از نمونه DNA مؤثر هستند.

۳-۲-۳ اسیدشویی نمونه

هیدروکربن‌های گازی سبک به روش‌های مختلف به داخل رسوبات و لایه‌های خاک بالای تجمعات زیرزمینی هیدروکربنی راه یافته و باعث تمرکز این هیدروکربن‌های گازی سبک در داخل فضای خالی رسوبات، خاک و آب می‌شوند که در نهایت در انتهای این مسیر به داخل اتمسفر راه پیدا می‌کنند. هیدروکربورهای گازی موجود در داخل رسوبات و آب به وسیله نمونه‌گیرهای مخصوص جمع‌آوری شده و تحت آنالیزهای کمی و کیفی قرار می‌گیرند. محتوای هیدروکربن‌های استخراج‌شده با اسید با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی شناسایی شد. قبل از اندازه‌گیری ماده مورد آزمایش، گاز استاندارد ۳ تا ۵ بار اندازه‌گیری شد. در صورت پایین بودن خطای نسبی اندازه‌گیری گاز استاندارد (کمتر از ۳٪)، ماده مورد آزمایش اندازه‌گیری گردید. در طول فرآیند اندازه‌گیری، لازم بود که وضعیت کنترل‌شده دستگاه با گاز استاندارد به‌طور منظم بررسی شود. روش آزمایش GC به شرح زیر است: ابتدا، ۵۰۰ میکرولیتر ± 0.5 با استفاده از یک سرنگ ۱ میلی‌لیتری به‌طور

^۸- Mineral Salts Medium

دقیق استخراج شد. گاز به سرعت به کروماتوگرافی گازی تزریق و مورد آنالیز قرار گرفت. این روش همچنین توسط نویسندگان مختلف گزارش شده است [۱۰۹]. آزمایشات در آزمایشگاه های ژئوشیمی سطحی شرکت انرژی پژوهان آریانا (واقع در شهر اهواز) انجام گردید. مدل دستگاهی Varian CP-3800 دارای شناساگر FID و اتوسمپلر است. فاز ثابت آن از ستونی از جنس سیلیکا و گاز حامل آن نیتروژن بوده، برای شناسایی و جداسازی ترکیبات گازی C₁-C₅ بکار می رود. بهترین نتایج زمانی به دست می آید که بیشترین تعداد نمونه ها و در الگوی شبکه ای بسیار نزدیک به هم برداشته شده باشند (۱۰۰-۱۶۰ متر یا کمتر فاصله بین نمونه ها باشد). تعیین دقیق آنومالی نیازمند تعیین مقادیر پس - زمینه بطور کافی می باشد. تخمین مقادیر پس - زمینه و نسبت سیگنال به پس - زمینه را می توان توسط مطالعه آزمایشی روی یکی از میداین نزدیک در حال تولید و یا توسط یک برداشت مقدماتی کوچک بر روی همان منطقه مورد مطالعه بدست آورد.

۴- بحث

ریزشت ها بیان سطحی یک مسیر نشتی است که معمولاً به ناپیوستگی های تکتونیکی مربوط می شوند، ولی ریزشت های مرتبط با گسل ها و شکستگی های بزرگ، بصورت ماکرو ظاهر می شوند [۱، ۶، ۱۷، ۵۴، ۵۵، ۷۵، ۹۶]. نواحی تحت تاثیر ریزشت ها با طیف متنوعی از نشانه ها مشخص می شوند (شکل ۴)، از جمله:

(۱) غلظت گاز غیرعادی، غلظت گازهای جذب شده از محیط به دلیل استفاده از باکتری های هیدروکربنی اکسیدکننده کاهش می یابد [۷۴، ۱۰]. با اکسید شدن متان در داخل خاک، کلنی های متیلوسیسیتیس پرووس^۹ با توجه به نتایج الگوی تطبیقی رشد می کنند [۱۰۳].

(۲) ناهنجاری های میکروبی و ژئوبوتانیکی [۹۴]؛ امکان تشخیص بازده نفت یا گاز با استفاده از روش تجزیه و تحلیل میکروبی ارائه شده در این مطالعه با این واقعیت که تعداد باکتری های اکسید کننده هیدروکربن در خاک یا نمونه های رسوبی نسبتاً کم است مورد تاکید قرار می گیرد. با توجه به مطالعات انجام شده در نقاط مختلف جهان، بمنظور صحت سنجی داده، بسته به اکولوژیکی در شرایط، بین ۱۰^۳ تا ۱۰^۴ cfu/g خاک در مجاورت یک ریز نشت هیدروکربنی، غلظت گازهای جذب شده از محیط به دلیل استفاده از باکتری های هیدروکربنی اکسید کننده کاهش می یابد [۷۴، ۱۰۱]. چند مورد موفق قبلاً گزارش شده است: به عنوان مثال می توان به حوضه ساکرامنتو در کالیفرنیا، کینگشیر کانتی^{۱۰} در اوکلاهاما، و موارد دیگری در آلمان اشاره کرد [۷۲، ۱۰۱، ۱۱۰]، رشید و همکاران [۶۹-۷۱، ۷۳-۷۴] نمونه هایی از خاک هند را جمع آوری کردند و محتوای هیدروکربنی آن ها را با بررسی باکتری های اکسیدکننده هیدروکربن تعیین کردند [۷، ۶۹-۷۱]. اساس تشخیص میکروبی نفت در توانایی باکتری ها برای اکسیداسیون متابولیکی بخشی از هیدروکربن ها در حین مهاجرت از داخل و خارج از بستر خاک نهفته است [۶۲، ۹۵، ۹۹]. استفاده از باکتری های اکسید کننده هیدروکربن در اکتشاف نفت به عنوان یک ابزار مؤثر در نظر گرفته شده است [۵۸، ۷۰، ۱۰۱، ۱۱۰]. موفقیت اکتشاف میکروبی نفت و گاز حدود ۹۰ درصد گزارش شده است [۷۲، ۱۰۱].

(۳) تغییرات کانی شناسی مانند تغییرات/تبدیل خاک رس، و تشکیل کربنات ها، سولفیدها (مانند پیریت)، و گوگرد عنصری [۱۴، ۱۰۵]. کربنات های دیارثیتیکی و سیمان های کربناته از رایج ترین تغییرات ناشی از هیدروکربن در ارتباط با نشت نفت هستند. کلسیت پرکننده منافذ و کلسیت جایگزین نیز رایج هستند [۱۰۵]. نشت ریز نشت هیدروکربنی به سطح منجر به

^۹- *Methylocystis parvus*

^{۱۰} - Kingisher County

دگرسانی برخی از سنگ‌ها و کانی‌ها می‌شود و اثرات متعددی بر سطح ایجاد می‌کند [۴۲]. مطالعه کاتدولومینسانس پالسی^{۱۱} خاک و مطالعه میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) میکرو و نانوذرات جمع‌آوری شده از اتمسفر زیر خاک، نشان داد که شرایط ژئوشیمیایی بر روی مخازن نفت برای غنی‌سازی کانی‌های سیلیکات و آلومینوسیلیکات توسط ناخالصی‌های شیمیایی مطلوب است. ترکیب شیمیایی میکرو و نانوذرات ترکیبات فلزی، جمع‌آوری شده از داخل طرح عمودی طرح میدان نفتی، نشان می‌دهد که این ترکیبات تحت شرایط احیاکننده شدیدی تشکیل شده‌اند که مشخصه برای ناحیه هیپرژن نیست [۹۰]. دگرسانی ناشی از هیدروکربن در بروز هاله‌های ناحیه ای کربنات‌های دیژنتیک، سولفیدها، رس‌ها و کانی‌های مغناطیسی بیان می‌شود [۲، ۲۸].

(۴) رخساره‌های شسته شده^{۱۲} [۳۲، ۶۶]؛ ریزنش‌های هیدروکربنی طولانی مدت باعث تغییرات سطحی یا نزدیک سطحی مانند سفید شدن بسترهای قرمز، غنی‌سازی کانی‌های آهنی و غلظت‌های بالاتر کانی‌های رسی و کربناتی در خاک/سنگ می‌شوند.

(۵) تغییرات الکتروشیمیایی [۵، ۲۴، ۳۰، ۵۷، ۱۰۲]. اکسیداسیون باکتریایی هیدروکربن‌های سبک و تأثیر آن در pH و Eh محیط اطراف، تغییراتی را در زمینه‌های پایداری گونه‌های معدنی مختلف ایجاد می‌کند که منجر به بارش یا محلول و انتقال مجدد کانی‌ها و عناصر مختلف می‌شود، بنابراین خاک‌های بالا نشسته می‌کنند. انباشت هیدروکربن به طور قابل توجهی و قابل اندازه‌گیری با محیط زمین شناسی متفاوت می‌شود [۶۱، ۶۴، ۶۷، ۸۴].

(۶) افزایش مواد معدنی مغناطیسی [۲۰، ۷۹، ۸۷]: بسیاری از مقالات روابط بین مهاجرت هیدروکربن‌ها از ذخایر عمیق و تشکیل کانی‌های مغناطیسی را بررسی نموده‌اند.

(۷) ناهنجاری‌های تشعشعی [۹۸]: مورس و زینکه [۵۹] و آرمسترانگ و هیمسترا [۴] مشاهده کردند که رسوبات هیدروکربنی زیرسطحی، به طور غیرعادی الگوهای تابش کل پایینی را بر روی یک زمینه رادیواکتیو تولید می‌کنند. ساندروز و همکاران [۸۱] خاطرنشان کردند که توزیع U و K نشانه‌های قابل اعتمادتری از هیدروکربن‌ها ارائه می‌کنند در حالی که Th ثابت می‌ماند. بررسی‌های رادیومتری به ناهنجاری‌های گامای نزدیک به سطح ناشی از تراوش هیدروکربنی و سلول‌های همرفت الکتروشیمیایی پاسخ می‌دهند و بنابراین قادر به پیش‌بینی عمق یک منطقه تولیدی نیستند. اگر عمق یک افق مساعد، مانند لاگ‌های مربوط به چاه‌های نزدیک یا داده‌های لرزه‌ای مشخص باشد، می‌توان از داده‌های رادیومتری برای افزایش قابل ملاحظه شانس موفقیت اکتشاف استفاده نمود [۱۰۲].

۸- اکتشاف ژئوشیمیایی، با استفاده از روش‌های انتخابی، تشخیص پایداری از ناهنجاری‌های عناصر شیمیایی را در میدان‌های نفتی نشان می‌دهد [۱۶، ۳۱، ۶۸].

۹- ناهنجاری ژئومورفیک [۹۸]: ادغام داده‌های سنجش از دور، ژئوشیمی، گرانش و ناهنجاری مغناطیسی با موفقیت مناطق چشم انداز ریزنش را در حوضه مشخص می‌کند [۳۳].

۱۰- آنومالی مثبت و منفی حرارتی [۵]: ریزنش هیدروکربنی و تغییر خاک و رسوبات می‌تواند ناهنجاری‌های حرارتی را در سطح ایجاد کند [۸۲، ۸۴].

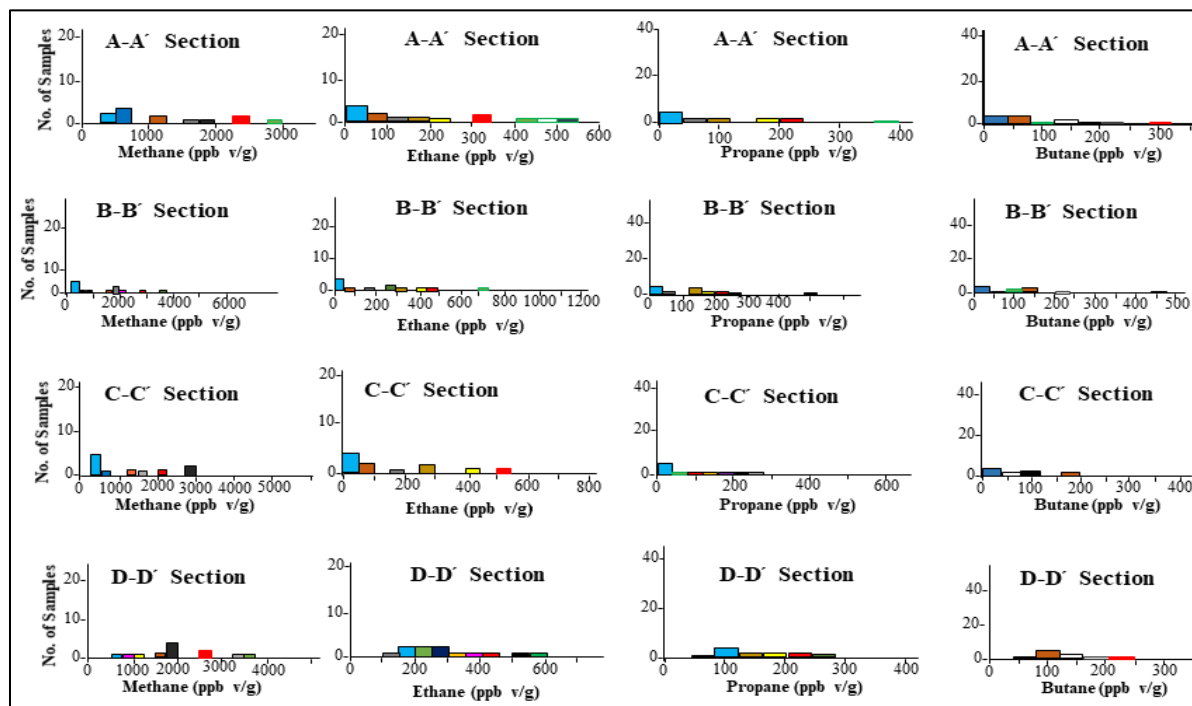
^{۱۱} PCL (Pulse Cathodoluminescence)

^{۱۲} - bleaching

نشت غیرفعال^{۱۳} در جایی اتفاق می افتد که غلظت هیدروکربن های مهاجرت شده معمولاً کم بوده، ریزش^{۱۴} و ناهنجاری های ژئوفیزیکی کم (یا بدون آن) است [۵۱]. ریزش گازهای هیدروکربنی به محیط های نزدیک به سطح اغلب به عنوان نشانه مستقیم وجود هیدروکربن های عمیق تر تفسیر می شود. جونز و دروزد [۴۴]، سورن و همکاران [۸۸] و ساتیش کومار و همکاران [۸۰] نمونه هایی برای چنین کاربردهای موفقیت آمیزی از بررسی گاز خاک در اکتشاف ارائه کرد. در مطالعه حاضر، گازهای خاک جذب شده برای تعیین غلظت هیدروکربن های سبک و شناسایی ریزش و منبع هیدروکربن ها در چهار راستا A-A' (نمونه ۱۴)، B-B' (نمونه ۱۷)، C-C' (نمونه ۱۸)، D-D' (نمونه ۱۳) از روش های متلف مورد بررسی قرار گرفت.

۱-۴ داده های آنالیز گاز خاک حاصل از روش AE

ترکیب مواد طبیعی، توزیعی را نشان می دهد که می تواند در تعیین وجود گروه های مختلف یا جمعیت های مختلف مفید باشد. نمونه کلاسیک توزیع جمعیت به شکل هیستوگرام چهار پارامتر متان، اتان، پروپان و بوتان برای نمونه ها نشان داده شده است (شکل ۵). نمودار هیستوگرام داده های گاز در نمونه ها، کج شدگی مثبتی را نشان می دهند. این مهم حاکی از وجود آنومالی ژئوشیمی سطحی و حضور هیدروکربن در مخازن احتمالی ناحیه می باشد.



شکل ۵- هیستوگرام داده های آنالیز AE (گازهای متان، اتان، پروپان و بوتان) در راستاهای مورد مطالعه.

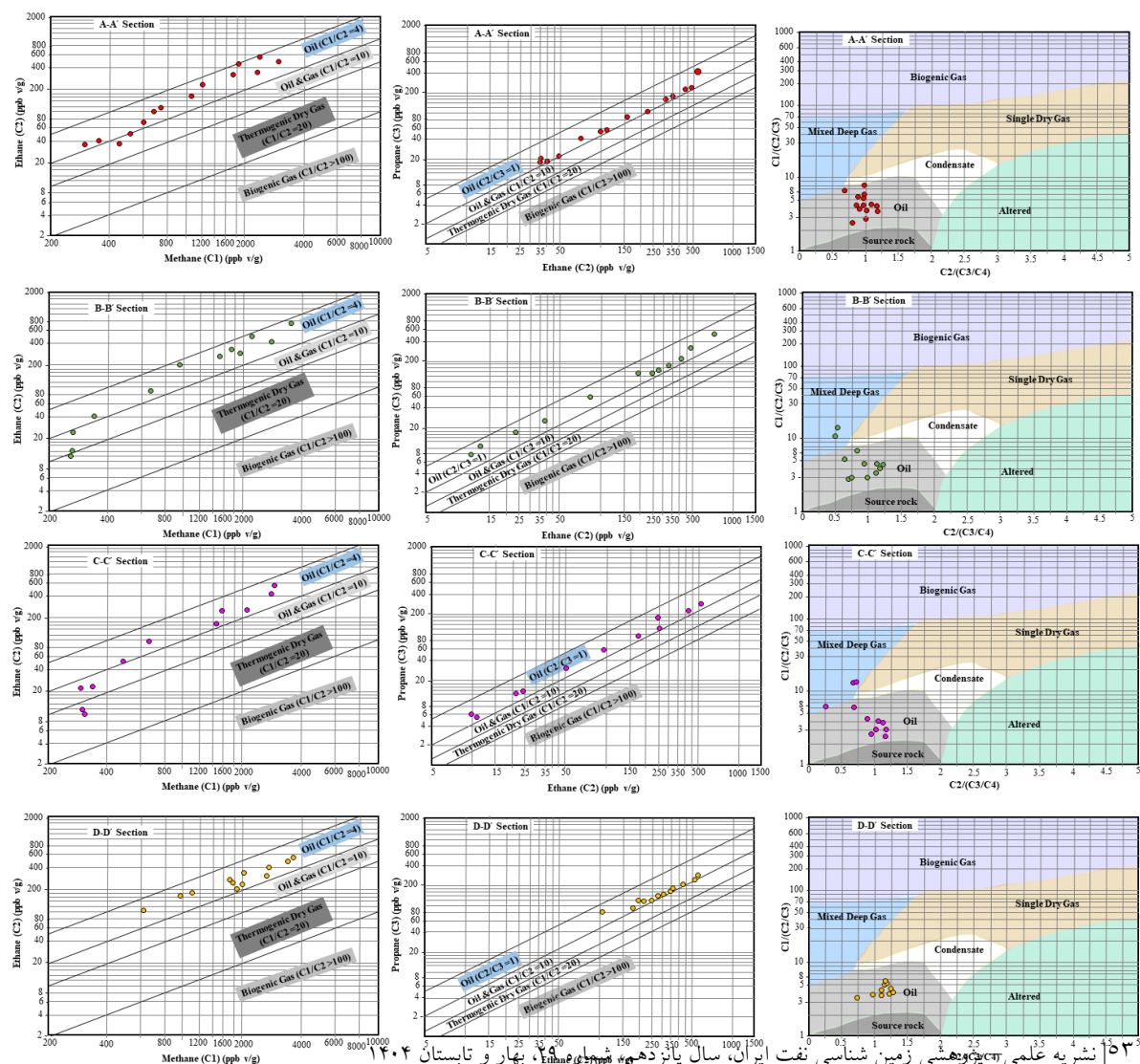
نسبت های اتان در مقابل متان و اتان در مقابل پروپان براساس میزان تاثیر پذیری از مدت زمان و مسافت مهاجرت عمودی از مخازن هیدروکربنی به سطح زمین نشان دهنده نوع هیدروکربن به دام افتاده در مخازن زیر زمینی می باشند. به گونه ای که

¹³ - Passive

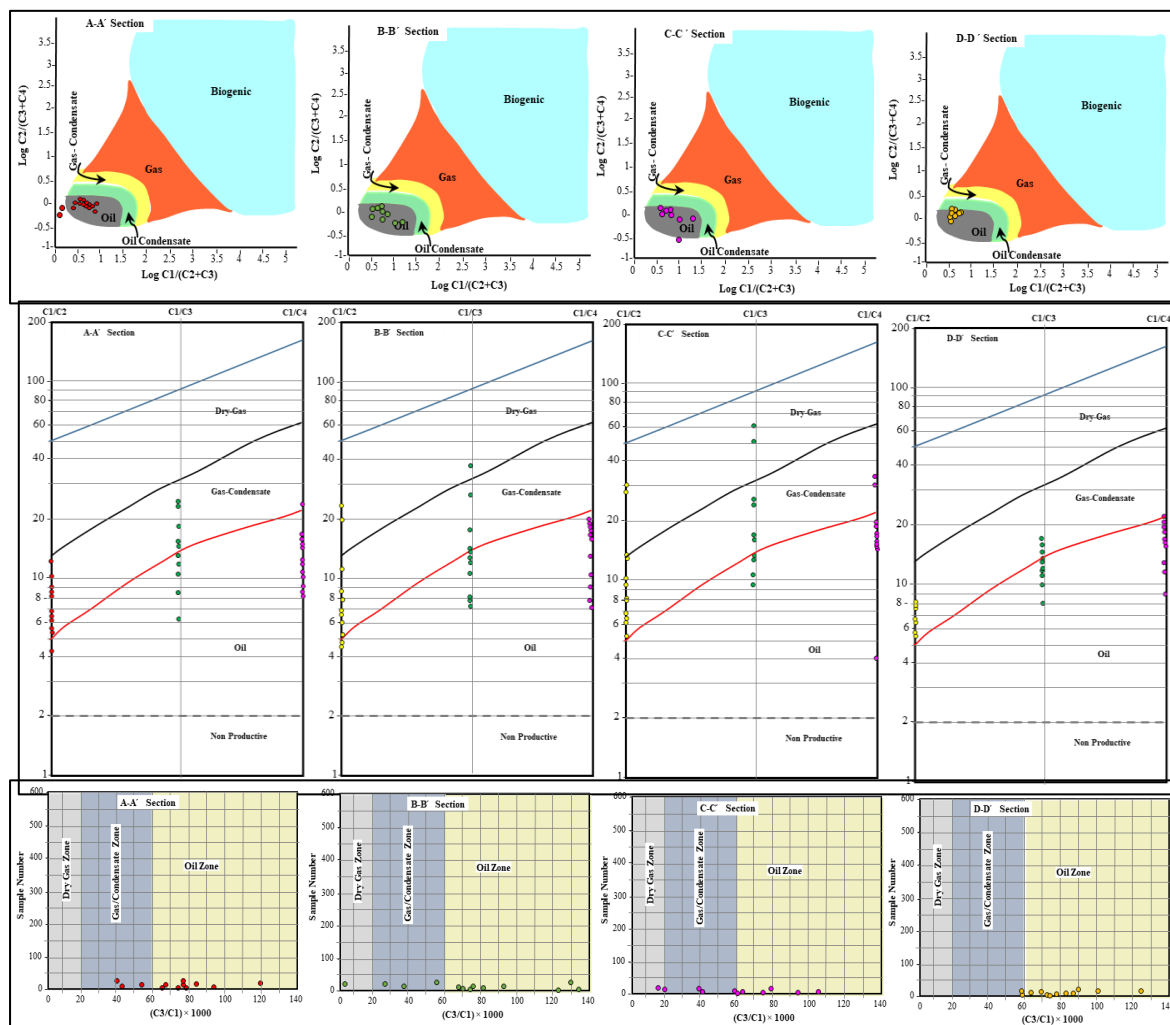
¹⁴ - microseeps

با افزایش این نسبت ها نوع هیدروکربن از محدوده هیدروکربن های گازی به هیدروکربن های مایع تغییر می یابد. براین اساس نمونه های محدوده مطالعاتی غالباً در محدوده مخازن نفتی و در مواردی مخازن نفتی همراه با گاز هستند (شکل ۶). براساس پلات استاندارد $\log_1/(c_2+c_3)$ در مقابل $\log_2/(c_3+c_4)$ در هنگام مهاجرت، هیدروکربن ها به تدریج در ترکیبات سنگین تر تخلیه می شوند. در نتیجه، مقدار گازهای مهاجر تقریباً به ترتیب زیر کاهش می یابد: متان < اتان < پروپان < بوتان. در نتیجه، شار هیدروکربن هایی که به منطقه نزدیک سطح می رسند در مولکول های بزرگتر (سنگین تر) تخلیه می شوند. اثرات این فرآیند در نمودار $\log_1/(c_2+c_3)$ در مقابل $\log_2/(c_3+c_4)$ (شکل ۷) به عنوان "جابجایی" نقاط نشان دهنده گازهای خاک به سمت مقادیر نسبت بالاتر است. همچنین با توجه به موقعیت نمونه ها در نمودار غالب بودن هیدروکربن مایع و در موارد کمتری هیدروکربن های گازی همراه با نفت می باشد.

مخازن هیدروکربنی براساس نسبت استاندارد $c_3/c_1 \times 1000$ [۴۴] به گروه های مختلف مخزنی تقسیم بندی می شوند؛ مخازن هیدروکربنی با تجمع گاز خشک دارای محدوده ۲-۲۰ برای این نسبت می باشند. محدوده ۲۰-۶۰ نشان دهنده تجمع گاز-میعانی و یا نفت-گاز در مخازن می باشد. در نهایت مخازن هیدروکربنی با تجمع نفتی دارای محدوده ۶۰-۵۰۰ برای نسبت $c_3/c_1 \times 1000$ می باشند (جدول ۱). غالب نمونه های مطالعاتی، با دارا بودن محدوده ۲۰-۲۰۰، تجمع هیدروکربنی با اکثریت هیدروکربن های مایع و در مواردی همراه با گاز را نشان می دهند (شکل ۷).



شکل ۶- نمودارهای استاندارد پارامترهای متان-اتان، اتان-پروپان (بر اساس داده‌های جدول ۱) و $c1/c2+c3$ در مقابل $c2/c3+c4$ [۲۷] جهت تعیین نوع هیدروکربن موجود در مخازن احتمالی در راستاهای مورد مطالعه.



شکل ۷- پارامترهای $\log c1/c2+c3$ در مقابل $\log c2/c3+c4$ [۴۵، ۱۰۴]، توزیع همولوگ‌های متان [۱۰۰] و پارامتر $c3/c1*1000$ [۴۴] جهت تعیین توان هیدروکربنی در محدوده مطالعاتی.

براساس مطالعات پیکسلر [۶۵] از مقادیر ترکیبی متان به اتان ($C1/C2$)، نسبت متان به پروپان ($C1/C3$) برای تعیین اثر ژئوشیمیایی (نفت، گاز، نفت/گاز) استفاده نمود. بنابراین نسبت گازهای هیدروکربنی سنگین به گاز متان می‌تواند نوع تولید مرتبط با مخزن هیدروکربنی را نشان دهد. نسبت‌های فردی هیدروکربن‌های سبک $C2-C5$ با توجه به متان توزیع‌های گسسته-ای را ارائه می‌دهد که بازتاب تغییرات هیدروکربن‌های به دام افتاده در مخازن زیر زمینی می‌باشد. نسبت‌های کمتر از ۲ یا بالاتر از ۲۰۰ نشان‌دهنده وجود مخازن هیدروکربنی غیر اقتصادی می‌باشد. نسبت‌های حد بالایی برای مخزن گاز خشک $C1/C2 < 350$ ، $C1/C3 < 900$ ، $C1/C4 < 4500$ است. سایر پارامترها را می‌توان در جدول ۱ مشاهده نمود. قانون تجربی دیگری که توسط پیکسلر پیشنهاد شده این است که شیب خطوط تعریف شده با این نسبت‌ها باید به سمت راست افزایش یابد، در

غیر این صورت مخازن احتمالی به صورت آب دوست^{۱۵} (یا غیر تولیدی) در نظر گرفته خواهند شد. ورباناک و همکاران [۱۰۰] پیشنهاد کردند که شیب منفی در نسبت‌های خاص ممکن است ناشی از شکستگی مناطق مخزن با نفوذپذیری محدود باشد. نسبت‌های مولکولی $C1/(C2+C3)$ کمتر از ۵۰ برای گازهای هیدروکربنی ترموژنیک معمول است [۹].

جدول ۱. محدوده تجربی تقریبی نسبت ترکیبی ریزشت برای گاز، میعانات گازی، و نفت [۳۵، ۴۴].

	$C1/\Sigma Cn$	$C1/C2$	$C2/C3 \times 10$	$C3/C1 \times 1000$
Dry gas	100-90	100-20	50-25	20-2
Gas condensate or oil and gas	90-75	20-10	25-16.5	60-20
Oil	50-5	10-4	16.5-10	500-60

به دلیل تفاوت در خواص شیمیایی و فیزیکی نفت و گاز طبیعی، تمایز هیدروکربن‌ها در هنگام ریزشت گاز به رسوبات کف دریا رخ می‌دهد و نسبت و تعادل دینامیکی هیدروکربن‌های اصلی را تغییر می‌دهد و تفاوت‌های قابل توجهی بین نفت و گاز و مناطق غیر نفتی و گازی در رسوبات کف دریا ایجاد می‌کند. همانطور که در نمودار تمایز هیدروکربن‌های سنگین و سبک (شکل ۷) نشان داده شده است، نمونه‌های دارای نسبت $C1/(C2+C5)$ بیشتر از ۵٪ متعلق به گاز مرطوب هستند [۱۰۹].

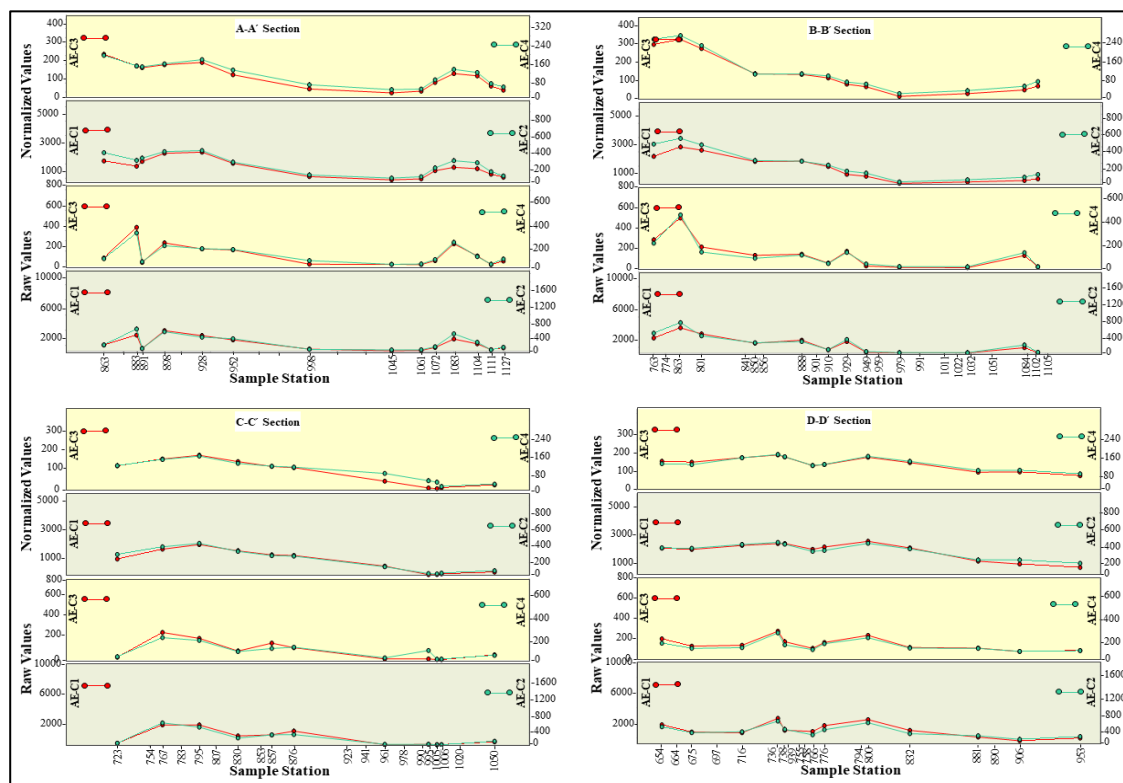
نسبت $C1-C4$ نشان‌دهنده محتوای متان به بوتان ($nC4 + iC4$) در هیدروکربن‌های استخراج‌شده با اسید جذب‌شده از ساختارهای نفت و گاز زیر سطحی است که به رسوبات کف دریا نشت می‌کنند. نسبت $C1/(C2 + C3)$ نشان‌دهنده درجه تکامل (یا بلوغ) ماده آلی مولد هیدروکربن است. با افزایش بلوغ، این مقدار به صورت تصاعدی افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده انتقال تدریجی از سنگ منبع به نفت خام، به نفت و گاز میعانات و گاز خشک در لایه‌های زیرین است. نسبت $C2/(C3 + C4)$ روابط متقابل بین اجزای سنگین در هیدروکربن‌های سبک استخراج‌شده با اسید و تا حدی می‌تواند درجه تکامل مواد اصلی تولیدکننده هیدروکربن را منعکس کند. نسبت $C1/(C2 + C3)$ به $C2/(C3 + C4)$ را می‌توان برای شناسایی انواع مخزن نفت و گاز که از کدام یک از هیدروکربن‌های جذب‌شده با اسید استخراج می‌شود استفاده کرد [۱۰۹].

نمودار متقاطع از همه انواع ترکیبات گازهای میدان در شکل ۷ نشان داده شده است [۴۵، ۱۰۴]. لاگ نسبت اتان به پروپان+بوتان و لاگ نسبت متان به اتان + پروپان رسم گردید. یک خوشه ترکیبی متمایز از ناهنجاری‌های گاز نشان‌دهنده انواع مختلف تولید است: ناهنجاری‌های نفتی در نزدیکی مبدا رخ می‌دهند و با حرکت سیال به سمت بالا و سمت راست گازی‌تر می‌شوند. این نوع جدایی منطقه‌ای، نمونه‌ای از مطالعات انجام شده در سراسر جهان است. این نوع فرایند پردازش داده‌ها بر روی شبکه به نام آنومالی اسنیفر^{۱۶} گویند. این نمودار یک طبقه‌بندی موفقیت‌آمیز برای چاه‌های تولیدی و ناهنجاری‌های تراوش مرتبط با آن‌ها بر اساس نوع آنها به میعانات نفتی، گاز خشک یا گاز بیوژنیک تقسیم می‌گردد. یک مرز دلخواه بین نفت - میعانات و میعانات گازی (بر اساس پایگاه داده چاه) به طور شماتیکی میان سایر مرزها بصورت خط تفسیری در پنجره میعانات نشان داده شده است. مقایسه ناهنجاری ژئوشیمیایی ثبت شده از ناحیه مورد مطالعه در شکل ۸ نشان داده شده است،

مطالعات ورباناک و دنیا [۱۰۰] نشان داد که یک شیب منفی که نسبت‌های فردی را بهم متصل می‌کند، ممکن است از مخازن با شکستگی بالا ناشی شود تغییرات پارامترهای حاصل از آنالیز AE (داده‌های خام و داده‌های نرمالیزه شده)، است. در مرحله نرمالیزه نمودن داده‌ها از روش خطی استفاده شده است (شکل ۸).

^{۱۵}-Water-wet

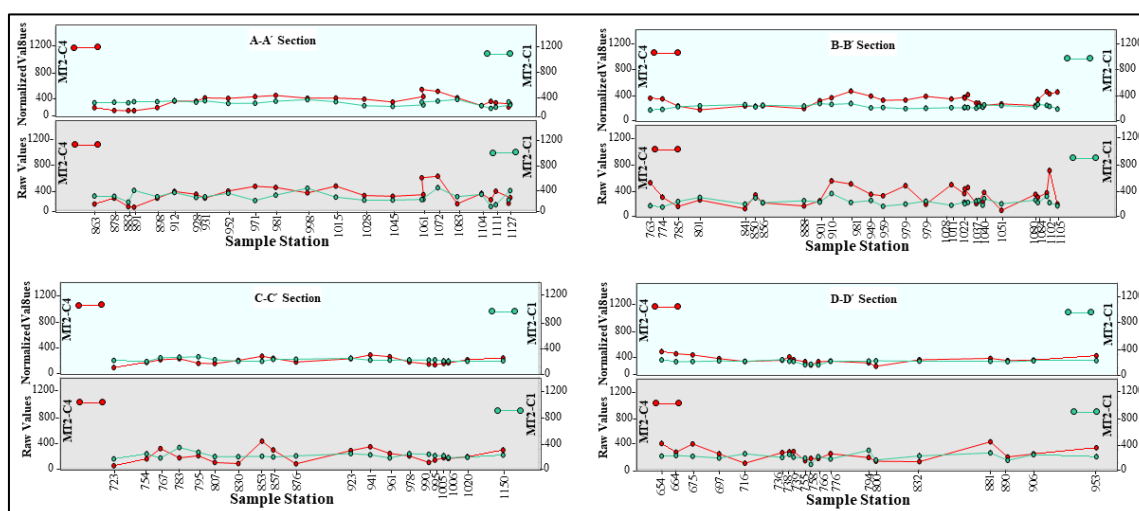
^{۱۶}- Sniffer anomaly



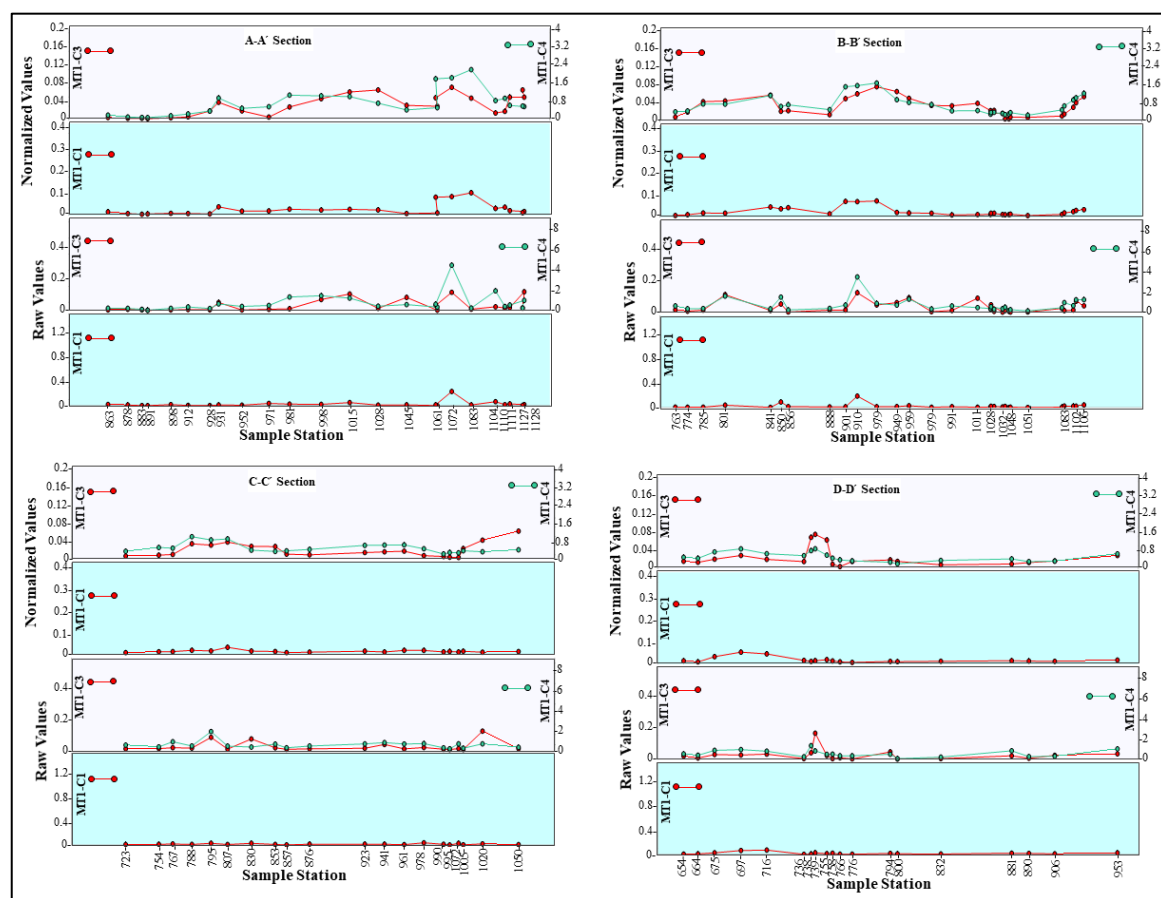
شکل ۸- تغییرات پارامترهای آنالیز AE (داده‌های خام و داده‌های نرمالایز شده) در محدوده مطالعاتی.

۲-۴ داده‌های آنالیز گاز خاک حاصل از روش MT1 و MT2

تغییرات پارامترهای آنالیز MT2 (داده‌های خام و نرمالایز شده گازهای بوتان و متان) (شکل ۹) و آنالیز MT1 شامل داده‌های خام و نرمالایز شده ژن‌های *bmoX*، *prmA* و *pmoA* در محدوده مطالعاتی (شکل ۱۰) نشان داده شده است.



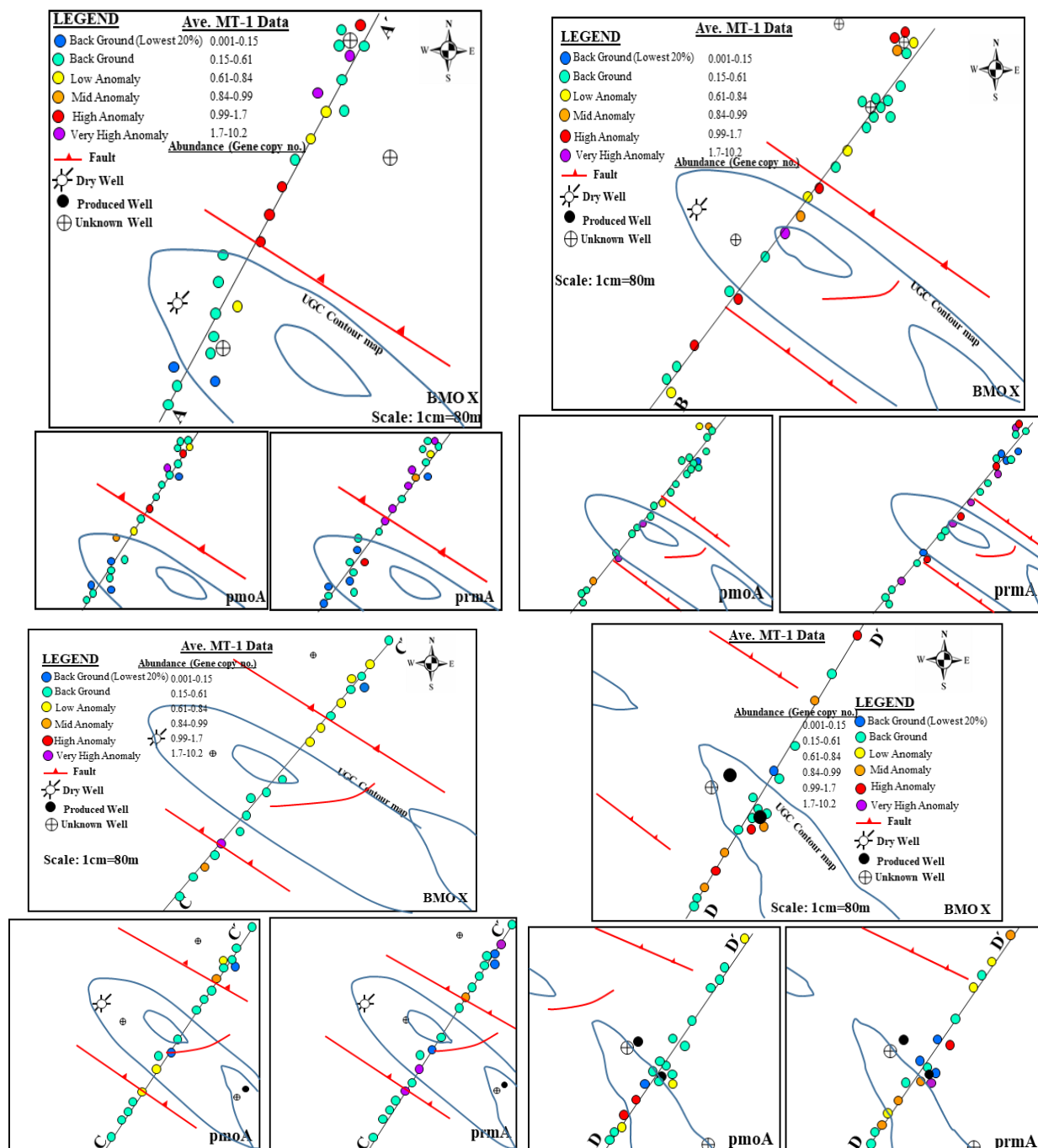
شکل ۹- تغییرات پارامترهای آنالیز MT2 (داده‌های خام و نرمالایز شده گازهای بوتان و متان) در محدوده مطالعاتی.



شکل ۱۰- تغییرات پارامترهای آنالیز MT1 (داده‌های خام و نرمالایز شده گازهای بوتان، پروپان، متان) در محدوده مطالعاتی.

در نمودار تغییرات بوتان و متان (شکل ۹) در راستاهای مطالعاتی A'-A، B'-B، C'-C و D'-D تغییرات بوتان بسیار محسوس‌تر از متان می‌باشد. این الگو بسمت حاشیه‌ها برعکس است. بنظر می‌رسد دلیل آن طولانی شدن مسیر مهاجرت در حاشیه‌ها باشد (بیشتر از بخش مرکزی بر روی بخش مرکزی ساختمان). در شکل ۱۰ تغییرات گازهای بوتان -پروپان و متان در راستاهای مختلف مطالعاتی نشان می‌دهد. در این نمودار نیز تغییرات گازهای سنگین‌تر از متان واضح‌تر می‌باشد. پیک‌های مشاهده شده در فراوانی گازهای بوتان-پروپان هماهنگی مطلوبی را نشان می‌دهند.

تغییرات داده‌های آنالیز MT-1 (شکل ۱۱) در راستاهای مختلف نشان داد که انطباق خوبی میان آنومالی بالای پارامترهای MT-1 با عوارض زمین شناسی (گسل) را نشان می‌دهد. بنابراین از این روش‌ها می‌توان برای ردیابی عوارض ساختمانی یعنی گسل‌هایی که در سطح زمین رخنمون ندارند، در مناطق نفت خیز استفاده نمود.



شکل ۱۱. تغییرات میانگین داده‌های آنالیز MT-1 شامل داده‌های خام و نرمالایز شده ژن‌های bmoX، pmoA و در راستاهای مختلف.

۵- نتیجه گیری

مطالعات ژئوشیمی سطحی نه تنها در اکتشاف ذخایر هیدروکربنی مفید هستند بلکه بعنوان ابزاری برای شناسایی عوارض ساختاری پنهان نیز می‌توان استفاده نمود. براساس نتایج آنالیز گاز خاک با استفاده از روش اسیدشویی (AE) بر روی نمونه‌های محدوده مطالعاتی می‌توان بیان داشت:

هیستوگرام داده‌های گاز در نمونه‌ها کج شدگی مثبت نشان می‌دهند. این مهم حاکی از وجود آنومالی ژئوشیمی سطحی و حضور هیدروکربن در مخازن احتمالی می‌باشد. نسبت های اتان در مقابل متان، اتان در مقابل پروپان و $c1/c2+c3$ در مقابل $c2/c3+c4$ براساس میزان تاثیر پذیری از مدت زمان و مسافت مهاجرت عمودی از مخازن هیدروکربنی به سطحی زمین نشان دهنده نوع هیدروکربن به دام افتاده در مخازن زیر زمینی می‌باشند. به گونه‌ای که با افزایش این نسبت‌ها نوع هیدروکربن از محدوده هیدروکربن های گازی به هیدروکربن های مایع تغییر می‌یابد. با استفاده از تغییرات پارامترهای آنالیز MT2 در امتداد خطوط نمونه برداری می‌توان بیان داشت که نمونه‌ها گستره‌ای از احتمال بسیار پایین حضور هیدروکربن در لایه‌های مخزنی تا احتمال بسیار بالای حضور را نشان می‌دهند. مخازن هیدروکربنی براساس نسبت استاندارد $c3/c1*1000$ ، به گروه‌های مختلف مخزنی تقسیم بندی می‌شوند؛ غالب نمونه‌ها با دارا بودن محدوده ۲۰-۲۰۰، تجمع هیدروکربنی با اکثریت هیدروکربن های مایع و در مواردی همراه با گاز را نشان می‌دهند. براساس $\log c1/(c2+c3)$ در مقابل $\log c2/(c3+c4)$ موقعیت نمونه‌ها نشان دهنده غالب بودن هیدروکربن مایع و در موارد کمتری هیدروکربن های گازی همراه با نفت می‌باشد. براساس نتایج بدست آمده در راستاهای محدوده مطالعاتی می‌توان بیان داشت: غالب نمونه‌ها در محدوده هیدروکربن های مایع و در مواردی همراه با کلاhek گازی مشاهده می‌شود. شایان توجه است که تعداد معدودی از نمونه‌ها خصوصیات موارد هیدروکربنی با مشخصات نفت سنگین و همچنین آلودگی های سطحی را نشان می‌دهند.

ناهنجاری های مشاهده شده در داده‌های حاصل از آنالیز MT-1 راستاهای مورد مطالعه نشان داد که انطباق خوبی میان آنومالی بالای این پارامترها (ژن های استخراج شده و یا گازهای حاصل از MT-1) با عوارض ساختاری زمین شناسی (گسل) وجود دارد. در نتیجه کاربرد روش ژئوشیمی سطحی و نیز استفاده از آن برای شناسایی و ردیابی عوارض ساختاری زیر سطحی فاقد رخنمون در سطح زمین در مناطق اکتشافی هیدروکربن و همچنین ارزیابی پتانسیل هیدروکربوری منطقه بعنوان یک ابزار مهم اولیه اکتشافی می‌تواند در نظر گرفته شود. بدیهی است که نتایج حاصل از آن در انتخاب راستاهای ژئوفیزیکی و نیز تاییدی بر نتایج سایر روش ها خواهد داشت.

تشکر و قدردانی

مؤلفین از همکاری معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز و نیز مدیریت محترم آزمایشگاه آریانا و نیز بخش پژوهشی ارتباط با دانشگاه مناطق نفت خیز جنوب و همچنین از داوران محترم آقایان دکتر بهرام حبیب نیا (بازنشسته هیات علمی دانشگاه صنعت نفت) و دکتر پیمان رضایی (هیات علمی دانشگاه بندرعباس) کمال تشکر و قدردانی بعمل می‌آید.

References

- [1] ABRAMS, M., 2005, Significance of hydrocarbon seepage relative to petroleum generation and entrapment. *Mar Pet Geol.*, **22**:457-477.
- [2] AL-SHAIB, Z., CAIRNS, J., and PUCKETTE, J., 1994, Hydrocarbon-induced diagenetic aureoles (HIDA): Indicators of deeper, leaky reservoirs. *APGE Bulletin*, **10**, 24-48.
- [3] AMINZADEH, F., BERGE, T., and CONNOLLY, D., 2013, Hydrocarbon Seepage from Source to Surface: Geophysical Developments Series No. 16, publ. jointly by AAPG and SEG, 253 p.

- [4] ARMSTRONG, F.E., and HEEMSTRA, R. J., 1973: Radiation halos and hydrocarbon reservoirs, a review. *US Bureau of Mines, Information Circular* 8579.
- [5] ASADZADEH, S., & DE SOUZA FILHO, C. R., 2019. Characterization of microseepage-induced diagenetic changes in the Upper-Red Formation, Qom region, Iran. Part I: Outcrop, geochemical, and remote sensing studies. *Marine and Petroleum Geology*, 104149. doi:10.1016/j.marpetgeo.2019.1041.
- [6] ASADZADEH, S., and DE SOUZA FILHO, C.R., 2017, Spectral remote sensing for onshore seepage characterization; a critical overview. *Earth Sci Rev.*, **168**:48–72.
- [7] BAUM, M., SCHMITT, M., WAGNER, M., WESTERLAGE, C., 2008, Geochemical and microbiological surface investigation in northern Germany indicates interesting hydrocarbon potential. *Oil Gas Euro Magaz* 34(1):10. [https:// www. scopus.com/ record/ display.uri? eid=2-s2.0-41149150908& origin=inward](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-41149150908&origin=inward).
- [8] BELL, H., CAMILLONE, N., ABRAM, K., ANN BRUNS, M., YERGEAU, E., ST-ARNAUD, M., 2021, Hydrocarbon substrate richness impacts microbial abundance, microbiome composition, and hydrocarbon loss Terrence. *Applied Soil Ecology*, **165**, 104015 <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104015>.
- [9] BERNARD, B.B., BROOKS, J.M., SACKETT, W.M., 1978, Light hydrocarbons in recent Texas continental shelf and slope sediments. *J. Geophys. Res. Oceans*, **83** (C8), 4053-4061.
- [10] BHUYAN, S., PHUKAN, A., YADAV, M., JYOTI GIRI, S., BEGUM, S., DAS, S., KABYASHREE, K., PRIYADARSHANI, P., SARKAR, S., JAYSWAL, A., KUMAR, A., MANDAL, M., KUMAR RAY, S., 2023, Microliter spotting and micro-colony observation: A rapid and simple approach for counting bacterial colony forming units. *Journal of Microbiological Methods*, **207**, 106707. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2023.106707>.
- [11] BOYLE, R.W., and GARRETT, R.G., 1970. Geochemical prospecting - a review of its status and future. *Earth-Sci. Rev.*, **6**: 51--75.
- [12] BRAY, E.E., 1956a. Geochemical exploration methods. U.S. Pat., 2,742,575.
- [13] BRAY, E.E., 1956b. Method of geochemical prospecting. U.S. Pat., 2,773,991.
- [14] CHEN, S., ZHAO, Y., ZHAO, L., LIU, Y., ZHOU, C., 2017. Hydrocarbon microseepage detection by altered minerals mapping from airborne hyper-spectral data in Xifeng Oilfield, China. *J Earth Sci* **28**:656–665. <https://doi.org/10.1007/s12583-015-0604-1>.
- [15] CHILINGAR, G.V., and KARIM, M., 1962. Gaseous survey methods in exploration and prospecting for oil and gas: a review. *Alberta Soc. Pet. Geol. J.*, **10**: 610--617.
- [16] CLARK, J.R., RENO, N.V., TOMPKINS, R., 2003. Mapping of reservoirs and subsurface structures using selective analysis of the surface chemistry of soil particles. 88th Annual Meeting of AAPG (Extended Abstract), Salt Lake City, May 11-14.
- [17] CLARKE, R.H., and CLEVERLY, R.W., 1991. Petroleum seepage and postaccumulation migration. *Geol Soc Lond Spec Publ* **59**(1):265–271.
- [18] COLLINS, A.G., 1975, Chapter 10. Geochemical Methods of Exploration for Petroleum and Natural Gas. (1975). In: *Geochemistry of Oilfield Waters*, 307–341. [http://doi:10.1016/s0376-7361\(08\)70203-6](http://doi:10.1016/s0376-7361(08)70203-6).
- [19] COOPER, M., 2007. Structural style and hydrocarbon prospectivity in fold and thrust belts: a global review. In: RIES, A. C., BUTLER, R. W. H. & GRAHAM, R. H. (eds) *Deformation of the Continental Crust: The Legacy of Mike Coward. Geological Society [London] Special Publication*, **272**, 447–472.
- [20] COSTANZO-ÁLVAREZ, V., MENDOZA, J., ALDANA, M., JACOME, M., DÍAZ, M., RAMIREZ, K., and AMON, C.H., 2022. Comparing direct numerical modeling predictions with field evidence for methane vertical microseepage in two geological settings. *Front. Earth Sci.* **10**:940799. <http://doi:10.3389/feart.2022.940799>.
- [21] DAS, N., BHUYAN, B., PANDEY, P., 2022, Correlation of soil microbiome with crude oil contamination drives detection of hydrocarbon degrading genes which are independent to

- quantity and type of contaminants. *Environmental Research*, **215**, 114185. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114185>.
- [22] DAVIS, J. B., 1967, Petroleum microbiology: *Elsevier Publishing Company*, p. 197–245. 604 pp.
- [23] DAY, J. W., CLARK, H. C., CHANG, C., HUNTER, R., & NORMAN, C. R., 2020. Life Cycle of Oil and Gas Fields in the Mississippi River Delta: A Review. *Water*, **12**(5), 1492. <https://doi.org/10.3390/w12051492>.
- [24] DE ALEMAR BARBERES, G., 2018, unconventional methods for unconventional plays surface geochemical prospecting for hydrocarbon exploration at South Portuguese Zone. Ph.D. Thesis in Geology – Geological Resources and Environment, FCTUC (Faculdade De Ciencias E tecnologia) Universidade de Coimbra, 283p.
- [25] DECELLES, P. G. & GILES, K. N., 1996. Foreland basin systems. *Basin Research*, **8**, 105–125.
- [26] DEGOYLER, E., 1940. Future position of petroleum geology in the oil industry. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.*, **24**: 1389--1399.
- [27] DING, L., WU, Y., LIU, X., LIU, F., and MEI, H., 2017, Application of microbial geochemical exploration technology in identifying hydrocarbon potential of stratigraphic traps in Junggar Basin, China. *AIMS Geosciences*, **3** (4): 576-589. DOI: 10.3934/geosci.2017.4.576.
- [28] DONOVAN, T. J., ROBERTS, A.A., and DALZIEL, M.C., 1981, Epigenetic zoning in surface and near-surface rocks resulting from seepage-induced redox gradients, Velma oil field, Oklahoma: a synopsis: *Oklahoma City Geological Society Shale Shaker*, **32**(3), 1–7.
- [29] DUCHSCHERER JR, W., 1982. Geochemical exploration for hydrocarbons—No new tricks, but an old dog. *AAPG Bulletin*, **66**(2), pp.243-243.
- [30] DUCHSCHERER, W. JR., 1980. Geochemical methods of prospecting for hydrocarbons. *Oil Gas J.*, **1**, 194-208.
- [31] DUNN, C.E., HAIDL, F.M., YEAGER, J.R., DORVAL, D., LARSON, B., 1998. Surface geochemical patterns derived from selective leaching of soils over a deep Ordovician oil pool Bromehead, southeastern Saskatchewan. In CHRISTOPHER, J.E., GILBOY, C.F., PATTERSON, D.F, BEND, S. L. (Eds.), Eighth International Williston Basin Symposium: *Saskatchewan Geological Society Publication* **13**, pp. 254 – 265.
- [32] GARAIN, S., MITRA, D. & DAS, P., 2019, Detection of hydrocarbon microseepage-induced anomalies by spectral enhancements of Landsat 7 ETM+ images in part of Assam–Arakan Fold Belt, India. *J Petrol Explor Prod Technol* **9**, 2573–2582 (2019). <https://doi.org/10.1007/s13202-019-00747-w>.
- [33] GARAIN, S., MITRA, D., & DAS, P., 2021. Mapping hydrocarbon microseepage prospect areas by integrated studies of ASTER processing, geochemistry and geophysical surveys in Assam-Arakan Fold Belt, NE India. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **102**, 102432. doi:10.1016/j.jag.2021.102432.
- [34] GOLDMAN, E., and GREEN, L.H., 2008, Practical handbook of microbiology, Second Edition (Google eBook) (2nd edition). USA: *CRC Press, Taylor and Francis Group*. p. 864.
- [35] HARBERT, W., JONES, V. T., IZZO, J., & ANDERSON, T. H., 2006, Analysis of light hydrocarbons in soil gases, Lost River region, West Virginia: Relation to stratigraphy and geological structures. *AAPG Bulletin*, **90**(5), 715–734. <http://doi:10.1306/10170505030>.
- [36] HORVITZ, L., 1939. On geochemical prospecting. *Geophysics*, **4**: 210--225.
- [37] HORVITZ, L., 1954. Near surface hydrocarbons and petroleum accumulation at depth. *Min. Eng.*, 1205-1209.
- [38] HORVITZ, L., 1959. Geochemical prospecting for petroleum. 20th Int. Geol. Congr., *Symposium de ExploraeiSn Geoquimrca*, **2**: 303--319.

- [39] HORVITZ, L., 1969. Hydrocarbon geochemical prospecting after 30 years. In: W.B. Heroy (Editor), *Unconventional Methods in Exploration for Petroleum and Natural Gas*. Southern Methodist University Press, Dallas, Texas, pp. 205--215.
- [40] HORVITZ, L., 1972. Vegetation and geochemical prospecting for petroleum. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.*, **56**: 925--940.
- [41] HOSSEINI, A., SABERI, M.H. & ZARENEZHAD, B., 2022, Significance of petroleum seepages in hydrocarbon exploration-case study of Khourian Desert, Central Iran. *J Petrol Explor Prod Technol* **12**, 1649–1663. <https://doi.org/10.1007/s13202-021-01440-7>.
- [42] HOSSEINPOUR, M., 2020. Relationship between hydrocarbon micro-seepages and structures by detection of altered minerals using ASTER remote sensing data in the West of Coastal Fars, Zagros, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, **13**(13). <http://doi:10.1007/s12517-020-05568-4>.
- [43] JIA, W., CHENG, L., TAN, Q., LIU, Y., DOU, J., YANG, K., YANG, Q., WANG, S., LI, J., NIU, G., ZHENG, L., and DING, A., 2023, Response of the soil microbial community to petroleum hydrocarbon stress shows a threshold effect: research on aged realistic contaminated fields. *Front. Microbiol.* **14**:1188229. doi: 10.3389/fmicb.2023.1188229.
- [44] JONES, V.T., and DROZD, R.J., 1983. Prediction of oil or gas potential by near-surface geochemistry. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* **67**, 932e952.
- [45] JONES, V.T., MATTHEWS, M.D., RICHERS, D.M., 2000. Light hydrocarbons for petroleum and gas prospecting. In: HALE, M. (Ed.), *Handbook of exploration geochemistry*, vol. 7. Elsevier Science Publishers, pp. 133-212. [http://doi:10.1016/s0168-6275\(00\)80029-x](http://doi:10.1016/s0168-6275(00)80029-x).
- [46] KARIM, M.F., 1964. Some geochemical methods of prospecting and exploration for oil and gas. Ph.D. Thesis, University of Southern California, University Microfilms Inc.
- [47] KARTSEV, A. A., TABASARANSKIY, Z. A., SUBBOTA, M. I., AND MOGILEVSKIY, G.A., 1954, Geochemical methods of prospecting and exploration of oil and gas fields edition of mineral resources and fuel literature (Moscow) p 430.
- [48] KEBEDE, G., TAFESE, T., ABDA, E.M., KAMARAJ, M., and ASSEFA, F., 2021, Factors influencing the bacterial bioremediation of hydrocarbon contaminants in the Soil: Mechanisms and impacts. *Hindawi Journal of Chemistry* **2021**, Article ID 9823362, 17 pages <https://doi.org/10.1155/2021/9823362>.
- [49] KENDALL, J., VERGÉS, J., KOSHNAW, R., & LOUTERBACH, M., 2019, Petroleum tectonic comparison of fold-thrust belts: the Sevier of the western US, the Pyrenees of Spain, the Zagros of Iraq and Iran, and the Beni Sub Andean of Bolivia. *Geological Society, London, Special Publications*, **SP490**–2018–102. <http://doi:10.1144/sp490-2018-102>.
- [50] KENNICUTT, M.C., 2017. Oil and Gas Seeps in the Gulf of Mexico. In: WARD, C. (Eds) *Habitats and biota of the Gulf of Mexico: Before the deepwater horizon oil spill*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3447-8_5.
- [51] KLUSMAN, R.W., and SAEED, M.A., 1996, Comparison of Light Hydrocarbon Microseepage Mechanisms. Doi: <https://doi.org/10.1306/M66606C12>. In: *Hydrocarbon Migration and Its Near-Surface Expression*, SCHUMACHER, D., AND ABRAMS, M.A., (Eds). *American Association of Petroleum Geologists*. **66**, 157-168.
- [52] KROEPPELIN, H., 1975. Geochemical prospecting. Proc. 7th World Petroleum Congress, 1B: 37--57.
- [53] LAUBMEYER, G., 1933. A new geophysical prospecting method, especially for deposits of hydrocarbons. *Petroleum*, **29**: 1-4.
- [54] LINK, W.K., 1952. Significance of oil and gas seeps in world oil exploration. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.*, **36** (8): 1505-1540.
- [55] MACGREGOR, D.S., 1993, Relationships between seepage, tectonics and subsurface petroleum reserves. *Mar Pet Geol* **10**(6):606–619.

- [56] MAGOON, L. B. & DOW, W. G., 1994. The petroleum system. In: Magoon, L. B. & Dow, W. G. (eds) *The Petroleum System-From Source to Trap. American Association of Petroleum Geologists Memoir*, **60**, 3-24.
- [57] MARTÍNEZ-GÓMEZ, H.M., and JARAMILLO J.M.M., 2017, Magnetic and radiometric signatures in soils above hydrocarbon accumulations, Toqui-Toqui and Mana fields, Tolima, Colombia. Adapted from extended abstract based on oral presentation given at AAPG International Conference and Exhibition, Barcelona Spain, April 3-6, 2016.
- [58] MIQUELETTI, P.B., ANDREOTE, F.D., DIAS, A.C.F., FERREIRA, J.C., DOS SANTOS, NETO, E.V., DE OLIVEIRA, V.M., 2011, Cultivation-independent methods applied to the microbial prospection of oil and gas in soil from asedimentary basin in Brazil. *AMB Express* **1**(1):1–16. <https://doi.org/10.1186/2191-0855-1-35>.
- [59] MORSE, J.G., and ZINKE, R., 1995, The origin of radiometric anomalies in petroleum basins – A proposed mechanism. *Oil & Gas Journal*, 36-38.
- [60] MOTOJIMA, K., 1975, Geochemical prospecting for petroleum and natural gas deposits. *Reg. Min. Res. Dev. Cent., Advis. Text No. 9*, March.
- [61] OEHLER, D.Z., and STERNBERG, B.K., 1984, Seepage-induced anomalies, "false" anomalies, and implications for electrical prospecting. *AAPG Bulletin*, **68**, 1121-1145.
- [62] PHILP, R. P., & CRISP, P. T., 1982, Surface geochemical methods used for oil and gas prospecting- a review. *Journal of Geochemical Exploration*, **17**(1), 1–34. [http://doi:10.1016/0375-6742\(82\)90017-6](http://doi:10.1016/0375-6742(82)90017-6).
- [63] PIRSON, S.J., 1940. Critical survey of recent developments in geochemical prospecting. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.*, **24**: 1464-1474.
- [64] PIRSON, S.J., 1969, Geological, geophysical, and geochemical modification of sediments in the environments of oil fields: *Southern Methodist University Press*, Dallas, Texas, p. 159-186.
- [65] PIXLER, B.O., 1969, Formation evaluation by analysis of hydrocarbon ratios. *Jour. Petroleum Technology*, **21**, 665-670.
- [66] PRABAHARAN, S., and SUBRAMANI, T., 2016, Identification of hydrocarbon micro-seeps based on mineral alteration in a part of Cauvery basin, South India, using Hyperion data. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, **45**, 1138-1147.
- [67] PRICE, L.C., 1986, A critical overview and proposed working model of surface geochemical exploration: *Southern Methodist University Press*, Dallas, Texas, p. 245-304.
- [68] PUTIKOV, O.F., WEN, B., 2000. Geoelectrochemistry and stream dispersion. In: Hale, M. (Ed.), *Geochemical remote sensing of the subsurface, Handbook of exploration geochemistry 7*. Amsterdam, Elsevier, pp. 17 – 79.
- [69] RASHEED, M.A., KALPANA, M.S., PRASANNA, M.V., LAKSHMI, M., MADHAVI, T., TIWARI, D.M., PATIL, D.J., DAYAL, A.M., RAJU, S.V., 2012b, Geomicrobial and light gaseous hydrocarbon anomalies in the near surface soils of Deccan Syneclise Basin, India: implications to hydrocarbon resource potential. *J Petrol Sci Eng* **84**:33–41. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2012.01.010>.
- [70] RASHEED, M.A., LAKSHMI, M., KALPANA, M.S., PATIL, D.J., DAYAL, A.M., 2017, Recognition of hydrocarbon microseepage using microbial and adsorbed soil gas indicators in the petroliferous region of Krishna–Godavari Basin, India. *Curr. Sci.*, **112**(3):560. <https://www.jstor.org/stable/24912439>.
- [71] RASHEED, M.A., LAKSHMI, M., RAO, P.L.S., PATIL, D.J., DAYAL, A.M., SUDARSHAN, V., 2012a, Relevance of pentane-and hexane-utilizing bacterial indicators for finding hydrocarbon microseepage: a study from Jamnagar Sub-basin, Saurashtra, Gujarat, India. *Natural Resour. Res.*, **21**(4):427–441. <https://doi.org/10.1007/s11053-012-9189-x>.
- [72] RASHEED, M.A., LAKSHMI, M., SRINU, D., DAYAL, A.M., 2011, Bacteria as indicators for finding oil and gas reservoirs: a case study of the Bikaner-Nagaur Basin, Rajasthan, India. *Petrol. Sci.*, **8**(3):264–268. <https://doi.org/10.1007/s12182-011-0143-z>.

- [73] RASHEED, M.A., PRASANNA, M.V., KUMAR, T.S., PATIL, D.J., DAYAL, A.M., 2008, Geo-microbial prospecting method for hydrocarbon exploration in Vengannapalli village, Cuddapah Basin, India. *Curr. Sci.*, 361–366 <https://www.jstor.org/stable/24102760>.
- [74] RASHEED, M.A., PRASANNA, M.V., LAKSHMI, M., MADHAVI, T., KALPANA, M.S., PATIL, D.J., DAYAL, A.M., 2012c. Geo-microbial prospecting studies of surface sediments from petroliferous region of the Mehsana Block, North Cambay Basin. *J Geol Soc India* **80**(2):267–275. <https://doi.org/10.1007/s12594-012-0137-5>.
- [75] RICHERS, D.M., JONES, V.T., MATTHEWS, M.D., MACIOLEK, J., PIRKLE, R.J., SIDLE, W.C., 1986, The 1983 Landsat soil-gas geochemical survey of Patrick Draw area, Sweetwater County, Wyoming. *AAPG Bull* **70**(7): 869–887.
- [76] ROSAIRE, E.E., 1940, Symposium on geochemical exploration. Geochemical prospecting for petroleum. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.*, **24**: 1400-1433.
- [77] ROURE, F. & SASSI, W. 1995, Kinematics of deformation and petroleum system appraisal in Neogene foreland fold-and-thrust belts. *Petroleum Geoscience*, **1**, 253-269. DOI: 10.1144/petgeo.1.3.253.
- [78] SAATSAZ, M., and REZAEI, A., 2023, The technology, management, and culture of water in ancient Iran from prehistoric times to the Islamic Golden Age. *Humanities and Social Sciences Communications* **10**(1). DOI: 10.1057/s41599-023-01617-x.
- [79] SADEGHIZADEH, Z., MOJTAHEDZADEH, S.H., ANSARI, A.H., MORSHEDI, A.H., 2022, Investigation of geochemical anomalies associated with oilfields using matching magnetometric data and satellite images, case study: Moghan plain. *Advanced Applied geology*, **12** (3), 468-488. DOI: 10.22055/aag.2021.33089.2109.
- [80] SATISH KUMAR, T., DAYAL, A. M., & SUDARSHAN, V., 2014. Surface geochemical data evaluation and integration with geophysical observations for hydrocarbon prospecting, Tapi graben, Deccan Syncline, India. *Geoscience Frontiers*, **5**(3), 419–428. doi:10.1016/j.gsf.2013.08.003.
- [81] SAUNDERS, D.F., BURSON, K.R., BROWN, J.J., THOMPSON, C.K., 1993. Combined geological and surface geochemical methods discovered Agaritta and Brady Creek fields, Concho Country, Texas. *AAPG Bull.* **77**, 1219-1240.
- [82] SCHUMACHER, D, 1996, Hydrocarbon-induced alteration of soils and sediments, in: SCHUMACHER, D., and ABRAMS, M.A., (Eds.), Hydrocarbon migration and its near surface expression: *AAPG Memoir* **66**, 71–89.
- [83] SCHUMACHER, D., 2017, Surface geochemical exploration after 100 years: Lessons learned and what more must be done. Adapted from poster presentation given at AAPG 2017 Annual Convention and Exhibition, Houston, Texas, United States, April 2-5, 2017.
- [84] SCHUMACHER, D., and ABRAMS, M.A., (Eds.), 1996, Hydrocarbon Migration and Its Near-Surface Expression: *AAPG Memoir* **66**, 445 p.
- [85] SECHMAN, H., 2012. Detailed compositional analysis of hydrocarbons in soil gases above multi-horizon petroleum deposits - a case study from western Poland. *APPL. GEOCHEM.* **27**, 2130-2147.
- [86] SECHMAN, H., DZIENIEWICZ, M., LISZKA, B., 2012. Soil gas composition above gas deposits and perspective structures of the Carpathian Foredeep, SE Poland. *Appl. Geochem.* **27** (1), 197-210.
- [87] Sechman, H., Guzy, P., Kaszuba, P., Wojas, A., Machowski, G., Twaróg, A., & Maślanka, A., 2020,. Direct and indirect surface geochemical methods in petroleum exploration: a case study from eastern part of the Polish Outer Carpathians. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* **109**, 1853–1867. <https://doi.org/10.1007/s00531-020-01876-y>.

- [88] SEVERNE, B. C., LANGFORD, G.D., and FULLAGAR, P.K., 1991, Surface geochemical exploration in Australia: case histories from the Eromanga and Canning Basins. *APGE Bulletin*, **7**, 88-115.
- [89] SKOLOV, V.A., 1959, Geochemical methods of prospecting for oil and gas deposits. IZD. Akad.Nauk SSR. Moscow.
- [90] SOBOLEV, I. S., BREDIKHIN, N. P., BRATEC, T., FALK, A. Y., TOLKACHEV, O. S., RIKHVANOV, L. P., & TISHIN, P. A., 2018. Chemical diagenesis in near-surface zone above oil fields in geochemical exploration. *Applied Geochemistry*, **95**, 33–44. doi:10.1016/j.apgeochem.2018.05.0.
- [91] SOKOLOV, V. A., GEODEKYAN, A.A., GRIGORYEV, G.G., KREMS, A.YA., STROGANOV, V.A., ZORKIN, L.M., ZEIDSON, M.I., and VAINBAUM, S.JA., 1970. The new methods of gas surveys, gas investigations of wells and some practical results. *Can. Inst. Min. Metall.*, **11**: 538--543.
- [92] SOKOLOV, V.A., 1933. New prospecting method for petroleum and gas. *Technika, February Bull. NGRI* No. 1.
- [93] SOKOLOV, V.A., ALEXEYEV, F.A., BARS, E.A., GEODEKYAN, A.A., MOGILEVSKY, G.A., YUROVSKY, Y.M. AND YASENEV, B.P., 1959. Investigations into direct oil detection methods. Proc. 5th World Petroleum Congress. Section 1, 667-687.
- [94] TEDESCO, S.A., 1995, Surface geochemistry in petroleum exploration: New York, Chapman and Hall, Inc., 206 p.
- [95] TEDESCO, S.A., 2012, Surface geochemistry in petroleum exploration. Springer, Cham.
- [96] THRASHER, J., FLEET, A.J., HAY, S.J., HOVLAND, M., and DÜPPENBECKER, S., 1996. Understanding geology as the key to using seepage in exploration: the spectrum of seepage styles. In: D. SCHUMACHER, M.A. ABRAMS (Eds.), Hydrocarbon migration and its near surface effects, **66**, *AAPG Memoir*, 223-242.
- [97] TWARÓG, A., STARZEC, K., SECHMAN, H., SCHNABEL, W., 2024, Surface geochemistry as a key to understanding the petroleum system in regions of complex geology - Polish Outer Carpathians. *Marine and Petroleum Geology*, **170**, 107155. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2024.107155>.
- [98] VAN DER MEER, F., VAN DIJK, P., VAN DER WERFF, H., and YANG, H., 2002, Remote sensing and petroleum seepage: a review and case study. *Terra Nova*, **14** (1), 1-17.
- [99] VARJANI, S.J., 2017, Microbial degradation of petroleum hydrocarbon. *Biores Technol* **223**:277–286. <https://doi.org/10.1016/j.biortec.2016.10.037>.
- [100] VERBANAC, B., and DUNIA, P., 1982, Hydrocarbon ratios in gas mixtures as indices of reservoir saturation and producing capacity: *Geologija I Geofizika*, **33**, 185-192.
- [101] WAGNER, M., WAGNER, M., PISKE, J., and SMIT, R., 2002. Case histories of microbial prospecting for oil and gas, onshore and offshore in northwest Europe. Surface exploration case histories: Applications of geochemistry, magnetics, and remote sensing. *AAPG Studies in Geology*, **48**, 453-479. <https://doi.org/10.1306/St48794C19>.
- [102] WALKER, S., KEYSER, H., and DURHAM, D., 2018, Airborne gamma ray surveying in hydrocarbon exploration. *GeoConvention*, Calgary, Canada, May 7-11, 2018.
- [103] WHITTENBURY, R., PHILLIPS, K.C., WILKINSON, J.F., 1970. Enrichment, isolation and some properties of methane-utilizing bacteria. *Microbiology* **61**(2):205–218. <https://doi.org/10.1099/00221287-61-2-205>.
- [104] WILLIAMS, J.C., MOUSSEAU, R.J., and WEISMANN, T.J., 1981, Correlation of well gas analyses with hydrocarbon seep data: *American Chem. Soc. National Meeting*, Atlanta, GA. March.
- [105] YANG, H., MEER, F.V.D., ZHANG, J., KROONENBERG, S.B., 2000, Direct detection of onshore hydrocarbon microseepages by remote sensing techniques. *Remote Sens. Rev.*, **18**(1):1–18. <https://doi.org/10.1080/02757250009532381>.

- [106] YANG, J.L., WANG, M.S., CHENG, A.C., PAN, K.C., LI, C.F., & DENG, S.X., 2008. A simple and rapid method for extracting bacterial DNA from intestinal microflora for ERIC-PCR detection. *World Journal of Gastroenterology*, **14**(18), 2872. doi:10.3748/wjg.14.2872.
- [107] YEATES, C., GILLINGS, M. R., DAVISON, A. D., ALTAVILLA, N., & VEAL, D. A., 1998. Methods for microbial DNA extraction from soil for PCR amplification. *Biological Procedures Online*, **1**(1), 40–47. http://doi:10.1251/bpo6.
- [108] YUAN, Z., ZHANG, Y., ZHAO, Q., JIANG, H., LIU, Y., LUO, Z., LI, X., WANG, S., LI, B., PAN, G., 2009. New progress of microbial prospecting of oil and gas in China: Taking the Satellite Oilfield in Daqing as an example. *Sci China Ser D Earth Sci.*, **52**(1):152–158. https://doi.org/10.1007/s11430-009-5016-6.
- [109] ZHONG, G., ZHAO, J., ZHAO, Z., ZHANG, K., YU, J., SHANG, C., TU, G., & FENG, C., 2024. Acid-extracted hydrocarbon anomalies and significance in the Chaoshan Depression of the Northern South China Sea. *Journal of Marine Science and Engineering*, **12**(6), 909. https://doi.org/10.3390/jmse12060909.
- [110] ZHOU, Q., XU, X., XU, H., ZHENG, G., PI, W., JIANG, Y., XU, X., LI, Y., WANG, J., 2020. Surface microbial geochemistry of the Beihanzhuang Oil field, northern Jiangsu, China. *J Petrol Sci Eng.*, **191**:107140. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107140.

The importance of surface geochemistry studies in hydrocarbon reservoir exploration: with a case study from Khuzestan Province, SW Iran

Zeinab Alizadeh¹, Bahman Soleimani^{2*}, Behzad Khani³

1-PhD Student in Petroleum Geology, Department of Petroleum Geology and Sedimentary Basins, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

*2- Professor in Department of Petroleum Geology and Sedimentary Basins, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

3-Technical Manager of Ariana Energy Company, Ahvaz, Ahvaz, Iran

*soleimani_b@scu.ac.ir

Received: September 2025, Accepted: January 2026

Abstract

Surface geochemical studies are important tools in all stages of hydrocarbon potential exploration, from foreland basin identification to detailed exploration, and prospecting based on probable hydrocarbon flux, identification of sub-zones in mature fields, and monitoring of hydrocarbon drainage associated with production over time. In the current study, regional hydrocarbon potential prediction in northeastern Khuzestan (southeast of Dezful embayment) was performed using soil gas analysis of collected samples (62 samples). Soil gas values were measured using acid extraction (AE) methods, microbial investigation and gene extraction (MT1-MT2). Data analysis showed that the changes in MT2 analysis parameters along the sampling lines in the histogram plots show a positive skew due to the presence of surface geochemical anomalies and the presence of hydrocarbons in potential reservoirs. The ratios of ethane to methane, ethane to propane, and c_1/c_2+c_3 to c_2/c_3+c_4 indicate the type of hydrocarbon trapped in the subsurface reservoirs. Based on the obtained data, the samples of the study area are located in the range of oil reservoirs and in some cases oil reservoirs with gas. Hydrocarbon reservoirs based on the standard ratio $c_3/c_1 \times 1000$, with a range of 20-200, show hydrocarbon accumulation with a majority of liquid hydrocarbons and in some cases with gas. Based on $\log c_1/(c_2+c_3)$ versus $\log c_2/(c_3+c_4)$, it also shows the dominance of liquid hydrocarbons and in less cases gaseous hydrocarbons with oil. The changes in the MT1 analysis parameter data along the sampling lines also indicate a good correspondence between the high anomaly of these parameters and the subsurface geological structural features (faults). The current results indicate that the samples are dominated by liquid hydrocarbons and in some cases with a gas cap. However, a few samples show hydrocarbon characteristics with heavy oil characteristics as well as surface contamination. In general, the results of all methods used in soil gas anomaly prediction showed good agreement with the structural elements of the area, so it can be considered a useful tool for identifying and monitoring hidden faults at the surface.

Keywords: Surface geochemistry, microseepage, organic geochemical index, Dezful embayment, microbial analysis, adsorbed soil gas