

## مطالعات اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی منابع هیدروکربوری

مهدی خالقی طرقي<sup>\*</sup>، دانشگاه تهران

## چکیده

چشمه‌های نفتی و ریزش‌های هیدروکربنی به‌عنوان نقاط پایانی مسیر مهاجرت هیدروکربن، بیانگر تمرکز بالای هیدروکربن‌های افق مخزنی هستند که با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی فن‌آوری‌های مختلف شیمیایی، بیولوژیکی، بیوتکنولوژیکی و ژئوفیزیکی از نمونه‌های خاک، رسوب، آب و اتمسفر پوشش‌های سطحی مخازن هیدروکربنی زیرسطحی قابل‌شناسایی هستند. حرکت ریزش‌ها به‌صورت دینامیک و عمودی از نواحی پرفشار افق مخزنی به‌سوی نواحی کم‌فشار افق‌های سطحی است. مطالعات ژئوشیمیایی سطحی اهداف اکتشافی و توسعه‌ای با بهره‌گیری از روش‌های مستقیم و غیرمستقیم قابلیت پیگیری دارند و نتایج آنها با تلفیق اطلاعات ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی نواحی مورد مطالعه، توان ایجاد یک لایه‌ی اطلاعاتی مؤثر و کارآمد در ارزیابی اقتصادی یک برنامه‌ی اکتشافی را خواهند داشت. طراحی بهینه‌ی مطالعات ژئوشیمیایی سطحی، تدوین استراتژی مناسب نمونه‌برداری و بهره‌برداری از آنالیزهای ژئوشیمیایی سطحی با کیفیت، از عناصر تعیین‌کننده‌ی یک پی‌جویی موفق ژئوشیمیایی سطحی به‌شمار می‌روند. این مطالعات ضریب موفقیت تا حدود ۹۰٪ را پشتیبانی می‌کنند. مطالعات اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی در مناطق ناشناخته و در نواحی هدف اکتشافی از ویژگی‌های خاصی خود برخوردارند. در یک پی‌جویی ژئوشیمیایی سطحی جهت تشخیص نواحی واجد آتومالی باید تمایز آشکاری از اندازه‌ی سطح میناء نتایج آزمایشگاهی حاصل شود. بدیهی است ارزیابی فرآیند شارژشدگی تله‌های هیدروکربوری زیرسطحی از اهداف غائی بررسی‌های ژئوشیمیایی سطحی اکتشافی یک ناحیه‌ی مطالعاتی محسوب می‌شود. هرچند این مطالعات می‌توانند اهداف توسعه‌ای یک میدان نفتی یا گازی را هم تأمین کنند.

## اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۸/۰۲/۲۱

تاریخ ارسال به داور: ۹۸/۰۲/۲۱

تاریخ پذیرش داور: ۹۸/۰۳/۱۸

## واژگان کلیدی:

ریزش‌های هیدروکربوری، پی‌جویی ژئوشیمیایی سطحی، باکتری‌های اکسیدکننده‌ی هیدروکربن، گازخاک

## مقدمه

علاوه بر چشمه‌های نفتی که به‌صورت عوارض سطحی وجود دارند ریزش‌هایی نیز دارند. این ریزش‌ها که با چشم غیرمسلح قابل‌رویت نیستند می‌توانند توسط روش‌های مستقیم و تحلیلی غیرمستقیم به‌عنوان مهم‌ترین هدف از انجام مطالعات ژئوشیمیایی سطحی آشکار شوند. از مفاهیم اساسی اکتشاف ژئوشیمیایی سطحی منابع هیدروکربنی می‌توان به پی‌جویی شیمیایی حضور قابل‌شناسایی هیدروکربن و محصولات حاصل از تغییرات آن در سطح یا نزدیک به سطح زمین اشاره کرد که به‌عنوان کلیدی برای شناسایی محل تجمعات هیدروکربنی زیرسطحی کشف نشده استفاده می‌شود. باور اصلی در تمامی روش‌های ژئوشیمیایی سطحی بر این استوار است که هیدروکربن‌های تولیدی و به‌دام‌افتاده در مخازن زیرزمینی (به‌عنوان نقاط تمرکز پرفشار) در مقادیر متفاوت و البته قابل‌شناسایی به سطح زمین تراوش می‌کنند. مطالعات اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی در حقیقت پاسخگویی به نیازهای صنعت اکتشاف منابع نفت و گاز

کاشفان اولیه‌ی ذخایر نفتی در گام‌های نخست جستجوی نفت از چشمه‌های نفتی به‌عنوان نشانگرهای قابل‌اعتماد برای یافتن مقادیر اقتصادی نفت استفاده می‌کردند [۱]. اصطلاح چشمه به‌عنوان تراوشات قابل‌مشاهده توسط چشم غیرمسلح تعریف می‌شود. این نوع چشمه‌ها بیشتر محلی بوده و شامل تجمع زیادی از هیدروکربن‌های سبک و هیدروکربن‌های با وزن مولکولی زیاد (در صورت وجود در مخزن زیرسطحی) هستند که در نقاط انتهایی گسل‌ها، شکستگی‌ها، ناپیوستگی‌ها و لایه‌های حامل رخنمون یافته در سطح وجود دارند. این نوع چشمه‌های قابل‌رویت باعث اکتشاف بسیاری از نواحی تولید هیدروکربن در دنیا شده‌اند [۲ و ۳]. در حال حاضر استفاده از روش‌های کارآمد در مطالعات اکتشافی منابع نفت و گاز بیشتر بر یافتن محل‌های مناسب برای تجمع نفت و گاز استوارند. اما این روش‌ها اطلاعات ارزنده‌ای در مورد وجود یا عدم وجود سیال هیدروکربنی در محل‌های تجمع احتمالی ارائه نمی‌کنند. میادین نفتی و گازی

\* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (khaleghi\_meh@yahoo.com)

می‌شوند. حرکت ریزنشست‌ها از تله‌های هیدروکربنی زیرسطحی، دینامیک بوده و اغلب به‌صورت عمودی<sup>۲</sup> (رو به بالا) و به‌سوی نواحی کم‌فشار افق‌های سطحی است [۹] و از لحاظ سرعت جابجایی در حدود کمتر از یک تا چندین ده متر در روز متغیر است (شکل-۱).

## ۲- ویژگی‌های اکتشاف ژئوشیمیایی سطحی

موارد زیر را می‌توان از مزایای بالقوه‌ی برنامه‌های موفق اکتشافات ژئوشیمیایی سطحی دانست که منجر به یافتن منابع جدید هیدروکربوری می‌شود [۱۰]:

■ شناسایی مستقیم هیدروکربن‌ها یا تغییرات حاصل از حضور هیدروکربورهای گازی در خاک، رسوبات نزدیک سطح، اتمسفر یا بستر دریا

■ نشانگر حضور سیستم نفتی فعال در نواحی اکتشافی

■ امکان ایجاد شبکه‌بندی با دقت زیاد ساختارهای تعیین شده توسط مطالعات ژئوفیزیکی برای ارزیابی بیشتر با دیدگاه ملاحظات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی

■ استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی سطحی برای تطابق هرچه بیشتر خطوط لرزه‌ای عرضی با یکدیگر

■ ارزیابی مناطقی که در آنها مطالعات لرزه‌ای به دلایل مشخصات زمین‌شناسی یا محیطی منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی ناقص هستند.

■ ارائه‌ی روش‌های قابل‌استفاده برای شناسایی ساختارهای چینه‌ای و ساختمانی که با روش‌های لرزه‌ای قابل‌شناسایی نیستند.

■ کمترین اثرات زیست‌محیطی

■ هزینه‌ی کمتر نسبت به سایر روش‌ها

با این وجود نظر به آنکه برنامه‌ی مطالعات اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی موفق می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی در اقتصاد یک برنامه‌ی اکتشافی یا توسعه‌ای اثرگذار باشد باید محدودیت‌های موجود در استفاده از روش‌های مطالعاتی ژئوشیمیایی سطحی در نظر گرفته شود که شامل محدودیت‌های مرتبط با زمین‌شناسی منطقه از قبیل موارد زیر است:

■ پیچیدگی‌های زمین‌شناسی ناحیه‌ی مورد مطالعه

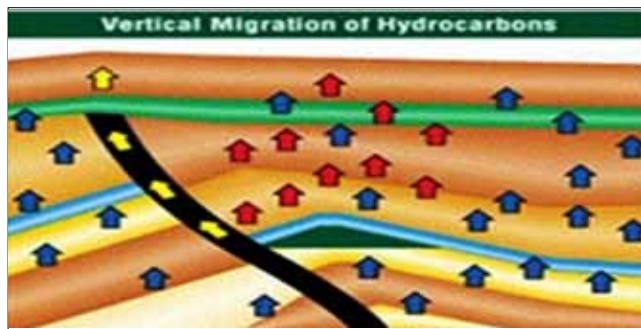
■ محدودیت‌های به‌کارگیری روش‌های ژئوشیمیایی سطحی در نواحی واجد مخازن نفت سنگین و مخازن هیدروکربوری کم فشار

به روش‌های سریع، دقیق، مقرون به‌صرفه و با کمترین تأثیرات مخرب زیست‌محیطی به‌شمار می‌آیند.

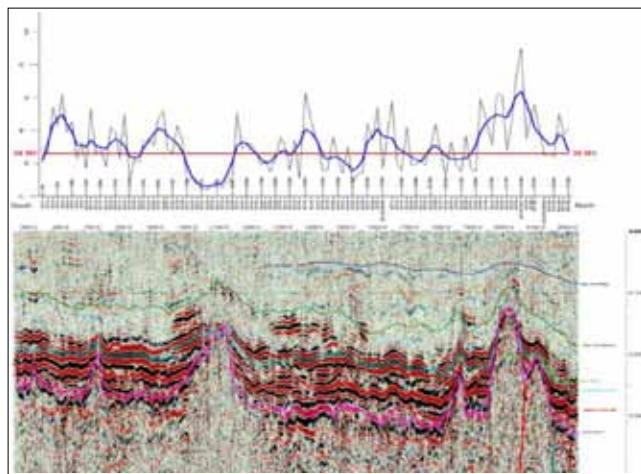
## ۱- چشمه‌های هیدروکربنی و ریزنشست‌ها

چشمه‌های نفتی و گازی<sup>۱</sup> حاصل حرکت مواد هیدروکربنی از عمق به سطح زمین محسوب می‌شوند [۴]. اصطلاح ریزچشمه یا ریزنشست<sup>۲</sup> با عنوان "تمرکز زیاد هیدروکربن‌های فرار یا نیمه‌فرار قابل‌شناسایی توسط روش‌های آزمایشگاهی در نمونه‌های خاک، رسوب، آب و اتمسفر پوشش سطحی مخازن هیدروکربنی زیرسطحی" تعریف می‌شود. تمرکز زیاد هیدروکربن‌های سبک و باکتری‌های اکسیدکننده‌ی هیدروکربن در خاک‌ها و رسوبات سطحی زیاد مخازن هیدروکربنی از بهترین شواهد حضور ریزنشست‌ها محسوب می‌شوند [۵-۸].

نیروی حاصل از فاز به‌هم پیوسته‌ی ستون هیدروکربنی و همچنین نیروی شناوری جریان گاز داخل سنگ‌های حامل و مخزن از جمله عوامل مهم در مهاجرت ریزنشست‌ها محسوب



شکل ۱ | حرکت دینامیک و قائم (رو به بالا) ریزنشست‌های هیدروکربوری از افق‌های مخزنی و پوش‌سنگی و لایه‌های حامل به افق‌های رسوبات سطحی



شکل ۲ | تلفیق داده‌های ژئوشیمیایی سطحی با اطلاعات ژئوفیزیکی لرزه‌ای و زمین‌شناسی

مورد نظر در ناحیه‌ی مطالعاتی به دست آمده است. در حالی که در هدف شماره‌ی ۲# شاهد فقدان شارژ هیدروکربوری هستیم. آنومالی میکروبی ثبت شده در هدف اکتشافی شماره‌ی ۱# مؤید حضور سیال هیدروکربوری است.

### ۳- روش‌های مطالعاتی ژئوشیمیایی سطحی

برای نخستین بار در ۱۹۴۰ موژیلوسکی و همکارانش [۱۸] از روش‌های شمارش و شناسایی جمعیت باکتری‌های تجزیه‌کننده‌ی هیدروکربن‌های گازی سبک به‌عنوان نشانگر حضور تجمعات هیدروکربنی در مخازن زیرزمینی استفاده کرده‌اند. در گذر زمان و همگام با پیشرفت فن‌آوری، این روش‌ها دست‌خوش تغییر و تحول شده‌اند [۲۲-۱۹]. از سال ۲۰۰۰ به‌دلیل زمان‌بر بودن و همچنین هزینه‌ی زیاد روش‌های شمارش باکتری‌ها، روش‌های زیست‌مولکولی بر پایه‌ی DNA جهت استفاده در روش‌های مطالعاتی ژئوشیمیایی سطحی<sup>۳</sup> (SGS) توسعه یافتند [۲۵-۲۲]. در سال‌های اخیر روش‌های نوین بیوفن‌آوری (استفاده از مقدار بیان ژن‌های دخیل در تجزیه‌ی هیدروکربن‌های سبک

■ دشواری فزاینده‌ی تلفیق موفقیت‌آمیز داده‌های ژئوشیمیایی سطحی با زمین‌شناسی زیرسطحی به موازات پیچیده‌تر شدن وضعیت زمین‌شناسی ناحیه‌ی مطالعاتی  
■ محدودیت‌های ناشی از روش مطالعاتی ژئوشیمیایی سطحی به‌کار رفته که عبارتند از:

◀ استفاده از روش نامناسب نمونه‌برداری

◀ خطا در تفسیر داده‌ها ناشی از تعداد ناکافی نمونه‌ها

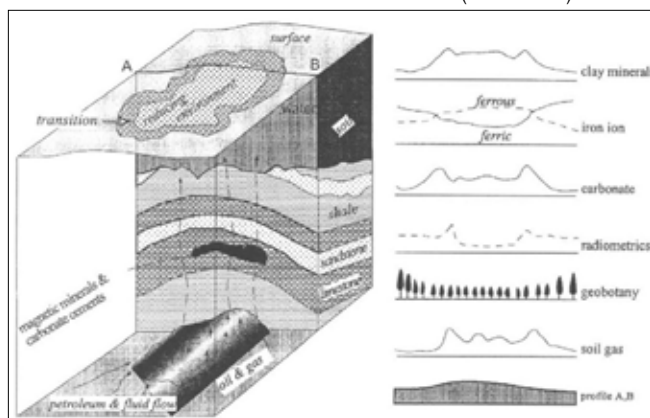
در یک ارزیابی جامع از مطالعات اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی چند دهه‌ی اخیر [۱۱] پیشنهاد شده پژوهشگران از وقوع موارد زیر اجتناب کنند:

- بررسی و ارزیابی اهداف اکتشافی که به‌خوبی شناسایی نشده‌اند
- طراحی نامناسب مطالعه
- تعداد اندک و ناچیز نمونه
- کیفیت ضعیف اطلاعات
- خطاهای تعبیر و تفسیر نتایج
- فقدان آنالوگ‌های خوب
- تفسیر ضعیف و ناقص داده‌ها

در مجموع می‌توان گفت با وجود روش‌های ژئوشیمیایی سطحی متعدد برای مطالعه‌ی یک ناحیه، هیچ روش واحدی برای همه‌ی موارد مطالعاتی وجود ندارد. به‌طور کلی یک آنومالی سطحی شناسایی شده نمی‌تواند به یک سنگ مادر یا سنگ مخزن یا افق خاصی در عمق مربوط باشد؛ همان‌طور که کشف یک آنومالی ژئوشیمیایی سطحی، امکان کشف حجم قابل‌ملاحظه‌ای از انباشت هیدروکربوری را فراهم نمی‌کند. درک این نکته‌ی اساسی بسیار مفید است که روش‌های اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی نمی‌توانند جایگزین فن‌آوری‌های شناخته‌شده‌ی اکتشافی شوند. در حالی که می‌توانند یک لایه‌ی اطلاعاتی با ارزش به داده‌ها و اطلاعات اکتشافی زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و سایر اطلاعات موجود اضافه کنند [۱۷-۱۲]. در شکل-۲ ارتباط تنگاتنگ داده‌های ژئوشیمیایی سطحی با اطلاعات ژئوفیزیکی لرزه‌ای و زمین‌شناسی نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در یک برش لرزه‌ای دو هدف اکتشافی شناسایی گردیده که از تلفیق اطلاعات بررسی اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی میکروبی<sup>۴</sup> (MPOG) (نمودار بالا) به‌عمل آمده در امتداد مقطع



شکل ۳ | نقشه‌ی پراکندگی پروژه‌های ژئوشیمیایی سطحی در حوضه‌های هیدروکربنی دنیا (G-MT 2014)



شکل ۴ | تغییرات سطحی ایجادشده توسط هیدروکربن‌های مهاجرت یافته به سطح

■ تغییرات بلورشناسی مانند تشکیل کلسیت، پیریت، اورانیم، سولفور عنصری، اکسید آهن مگنتیکی و سولفیدها

■ تغییرات بلورهای رسی

■ آنومالی‌های رادیواکتیویته‌ی رادیومتریک‌ها

■ آنومالی‌های زمین‌گرمایی و هیدرولوژیکی

■ لایه‌های قرمز کم‌رنگ شده

■ آنومالی‌های نوع و مقدار تمرکز گیاهان سطحی

■ تغییرات مشخصات اکوستیکی، الکتریکی، مغناطیسی رسوبات و خاک‌ها (عناصر نادر خاکی و ...)

به‌طور کلی روش‌های مطالعاتی ژئوشیمیایی سطحی اکتشافی به دو گروه مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند.

**روش‌های مستقیم:** شامل روش‌هایی است که به‌طور مستقیم هیدروکربن موجود در خاک، آب، اتمسفر و رسوبات نزدیک سطح را اندازه‌گیری می‌کند. مقادیر اندک هیدروکربن‌های گازی به‌دام افتاده در فضاهای متخلخل خاک به دو صورت چسبیده به ذرات ریز خاک (گاز آزاد در تخلخل مؤثر و گاز محبوس در فضای بین‌دانه‌ای) یا در سیمان موجود بین ذرات یافت می‌شوند [۲۷].

**روش‌های غیرمستقیم:** در این روش‌ها بر اساس مقدار و نوع تغییرات حاصل از حضور هیدروکربن (به‌صورت ریزنشست)، مشخصات زیستی، فیزیکی و بلورشناسی خاک، رسوبات و دیگر محیط‌های متأثر شده را اندازه‌گیری می‌کنند [۲۸]. روش‌های پرکاربرد از این نوع عبارتند از روش‌های میکروبی، هلیم، ایودین، تغییرات خاک، عناصر نادر خاک، روش نوع و گسترش گیاهان سطحی، رادیومتریک‌ها، مغناطیسی، الکتریکی، بیوشیمیایی. شواهد متفاوت در تظاهرات سطحی حضور ریزنشست‌های هیدروکربنی موجب ایجاد روش‌های متفاوت نمونه‌برداری و آزمایشگاهی خواهد گردید [۲۷].

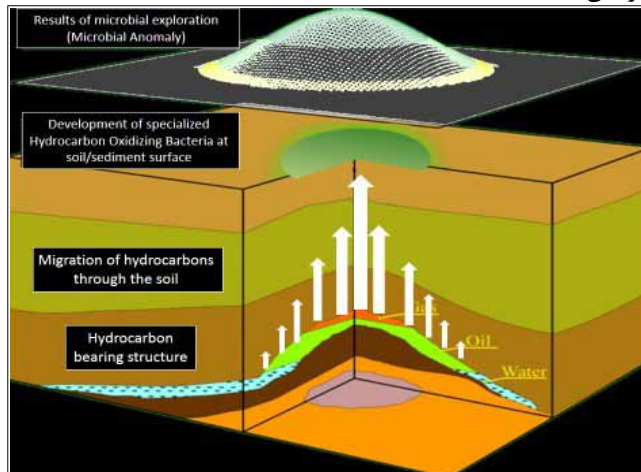
نتایج روش‌های معرفی شده می‌توانند طیف وسیعی از ضریب اطمینان داشته باشند که این امر ناشی از عوامل ذاتی در این روش‌هاست؛ به‌طوری که روش‌های شناخته شده‌ی میکروبی که بر اساس حضور باکتری‌های اکسیدکننده‌ی انواع هیدروکربن در خاک هستند در نواحی فاقد هیدروکربن نتایجی با دقت بیشتر ارائه خواهند کرد. در حالی که در روش هلیم، به‌دلیل وجود این عنصر در نمونه‌های خاک و رسوبات سطحی به‌طور کامل با تجمعات هیدروکربنی زیرسطحی ارتباط ندارد و در عین حال از عناصر یافت شده به‌طور معمول در انباشت‌های هیدروکربنی محسوب می‌شود و به‌علت تحرک زیاد، واکنش‌ناپذیری و

گازی) در بسیاری از موارد جایگزین روش‌های پیشین گردید. روش‌های مطالعات اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی، به‌ویژه روش‌های میکروبی، تقریباً در تمامی حوضه‌های هیدروکربوری دنیا به کار رفته‌اند (شکل-۳).

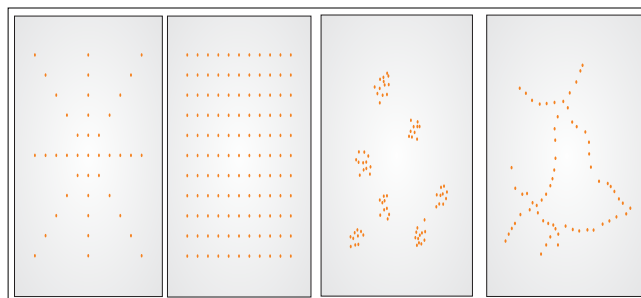
در تمامی روش‌های مطالعاتی ژئوشیمیایی سطحی جهت پی‌جویی تله‌های هیدروکربوری، به‌دنبال یافتن و اندازه‌گیری تغییرات ایجادشده در اثر حضور هیدروکربن‌های گازی سبک در رسوبات و لایه‌های واقع شده در سطح تجمعات زیرزمینی هیدروکربوری هستند. برخی تغییرات ایجادشده در رسوبات و لایه‌های خاک که در پی‌جویی هیدروکربن کاربرد دارند به‌شرح زیر هستند (شکل-۴) [۲۶]:

- تمرکز بیشتر از حد نرمال هیدروکربن در پوشش سطحی تله‌های هیدروکربوری زیرسطحی شامل: رسوبات، خاک، آب و حتی اتمسفر
- آنومالی‌های میکروبی و تشکیل لکه‌های پارافینی
- تمرکز بیشتر از حد نرمال گازهای غیرهیدروکربنی مانند هلیم،

ایودین



شکل ۵ | نحوه‌ی شکل‌گیری یک آنومالی ژئوشیمیایی سطحی در نواحی واجد هیدروکربور زیرسطحی



شکل ۶ | انواع طراحی شبکه‌ی الگوی پراکنندگی نمونه‌برداری در مطالعات ژئوشیمیایی سطحی

اکتشافی باید بیشتر از محل‌های فاقد آنومالی مد نظر قرار گیرند (شکل-۵).

#### ۴- طراحی مطالعات ژئوشیمیایی سطحی

هرگونه مطالعه‌ی ژئوشیمیایی سطحی نیازمند طراحی واجد قابلیت انعطاف‌پذیری<sup>۷</sup> جهت پی‌جویی و تعیین استراتژی نمونه‌برداری است. این طراحی الزاماً بر اساس شرایط زیر تعیین می‌شود [۱۰]:

- اهداف اکتشافی محدود‌دهی مورد مطالعه
- مشخصات زمین‌شناسی ناحیه‌ی مطالعاتی
- اندازه و شکل پیش‌بینی‌شده‌ی ساختار هدف اکتشافی
- امکان نمونه‌برداری در امتداد (یا بین) خطوط لرزه‌ای برداشت شده در محدوده‌ی هدف اکتشافی
- وضعیت توپوگرافی ناحیه‌ی اکتشافی و چگونگی دسترسی به مناطق نمونه‌برداری طراحی شده
- هیدرودینامیک حوضه
- امکانات و شرایط ترابری و جابجایی
- تغییرات طبیعی مورد انتظار در اندازه‌گیری‌های سطحی
- نسبت احتمالی سیگنال به نویز<sup>۸</sup>

ضمن اینکه توصیه می‌شود در طراحی مطالعات اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی به موارد زیر توجه خاص گردد:

- بررسی و انتخاب روش یا روش‌های مناسب اکتشافی سطحی
- به‌کارگیری بیش از یک روش اکتشافی سطحی در صورت امکان
- استفاده از تجربیات پیشین در منطقه‌ی مورد مطالعه و روندهای قبلی اکتشافی
- اساس قراردادن برنامه‌ی نمونه‌برداری بر اساس اندازه‌ی هدف و زمین‌شناسی آن
- پی‌جویی‌های مقایسه‌ای در مناطقی با مشخصات مشابه یا اکتشافات جدید
- تطبیق الزامی نتایج مطالعه با داده‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی موجود از ناحیه‌ی مورد مطالعه

باید در نظر داشت که در مطالعات اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی ممکن است فرآیند نمونه‌برداری عموماً در امتداد خطوط لرزه‌ای عملیات ژئوفیزیکی یا در امتداد مقاطع ژئوشیمیایی منطقه‌ای در محل تقاطع ساختارهای زمین‌شناسی با ساختارهای تکتونیکی

نداشتن روابط آلی با سایر ترکیبات، از نشانگرهای مناسب در پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی سطحی محسوب می‌شود [۲۸].

بیشترین موفقیت در پی‌جویی هیدروکربن زمانی حاصل خواهد شد که داده‌های حاصل از روش‌های ژئوشیمیایی سطحی با داده‌های حاصل از روش‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی و اطلاعات رژیم جریان‌های آب‌های زیرزمینی تلفیق شوند [۲۹ و ۳۰].

در سالیان اخیر همزمان با پیشرفت روش‌های آنالیز و تفسیر داده‌های حاصل، علاقه‌مندی به ژئوشیمی سطحی دوباره به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته؛ به‌طوری که اصول زیر به‌طور کامل توسط محققان پذیرفته شده است:

۱- تمامی سیستم‌های نفتی، تراوشات یا ریزش‌های سطحی هیدروکربن قابل‌اندازه‌گیری هستند.

۲- تجمعات نفتی دینامیک بوده و پوش‌سنگ سیستم‌های هیدروکربوری به‌طور کامل توانایی جلوگیری از حرکت رو به بالای هیدروکربن را ندارند. تمامی انواع لایه‌های پوش‌سنگ (حتی لایه‌های ضخیم نمک و شیل) در مقابل این نوع از حرکت به‌صورت لایه‌های تراوا عمل می‌کنند.

۳- هیدروکربن‌ها می‌توانند در طول هزاران متر از چینه‌های بدون گسل یا شکستگی به‌صورت عمودی در فاصله‌ی زمانی نسبتاً کوتاه (هفته‌ها تا سال‌ها) جابجا شوند. مولکول‌های بسیار کوچک هیدروکربن سبک‌گازی (متان، اتان، پروپان و بوتان) به‌صورت طبیعی از مخازن هیدروکربنی (شامل نفت و گاز) از طریق شبکه‌های اشباع از آب، شکستگی‌ها، ریزش‌سنگی‌ها، سطوح لایه‌بندی و غیره به‌صورت عمودی به سطح زمین راه می‌یابند. این ترکیبات به‌طور درگیر با سطوح مواد معدنی و متحرک در شبکه‌ی اشباع از آب، به‌عنوان منبع غذایی میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌شوند [۳۱].

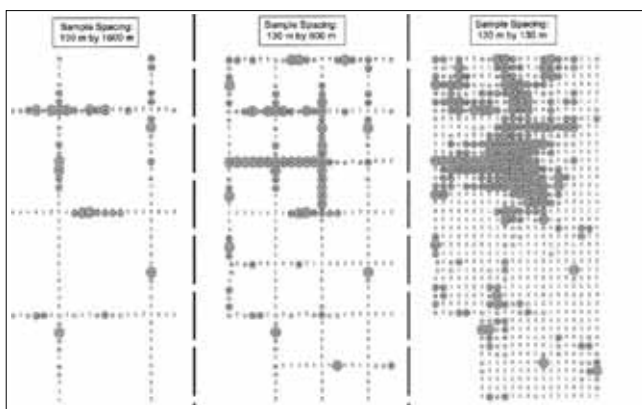
۴- مهاجرت به‌طور عمودی است. با وجود این در بعضی موارد نادر به‌صورت عرضی و در مسافت طولانی انجام می‌شود.

۵- رابطه‌ی بین آنومالی‌های سطحی با تجمعات زیرزمینی از ساده تا بسیار پیچیده متغیر است.

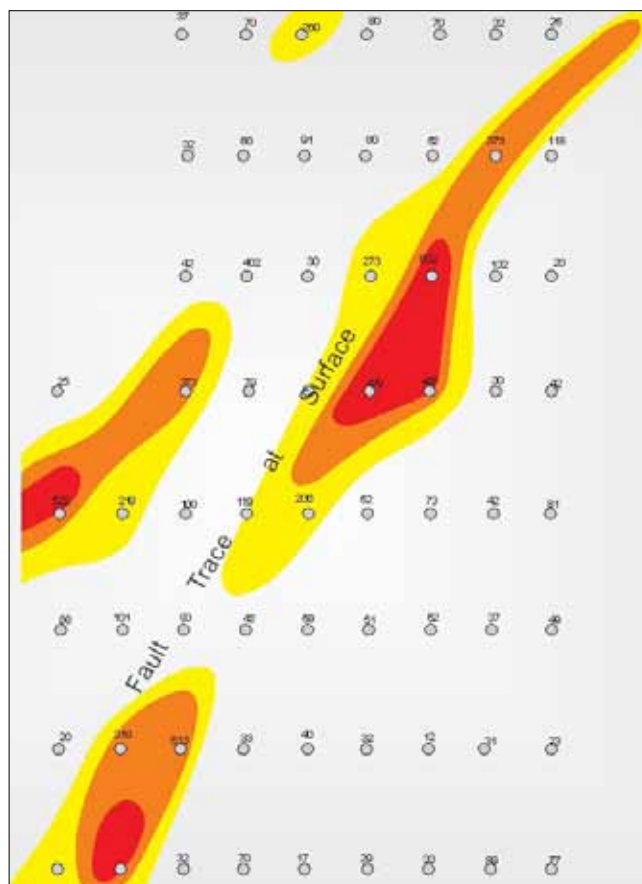
اگرچه وجود آنومالی‌های سطحی هیدروکربنی به‌طور مطلق وجود هیدروکربن تا حد اقتصادی را تضمین نمی‌کند اما نشان‌دهنده‌ی وجود تجمعات هیدروکربنی در مخازن زیرزمینی در مناطق اکتشافی است. چشمه‌های هیدروکربنی در سطح زمین نقطه‌ی پایان مسیر مهاجرت هیدروکربن هستند. نفت‌گیرها، ساختارها و مسیرهای مهاجرت دارای آنومالی از لحاظ

قابل اطمینان است. در حالی که در مطالعه‌ی نواحی بزرگ مقیاس با هدف شناسایی و ارزیابی ناحیه‌ای باید استراتژی نمونه‌برداری با صرفه‌ی اقتصادی در نظر گرفته شود. به‌دیگر سخن مطالعات اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی هم در نواحی بکر<sup>۹</sup> و هم در نواحی هدف اکتشافی<sup>۱۰</sup> (که مطالعات از نوع پی‌جویی با دقت زیاد است) قابل انجام خواهد بود. با این تفاوت که هنگام پی‌جویی در نواحی بکر که در آن مطالعه‌ی زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و حفاری انجام نشده و هیچ‌گونه اطلاعاتی از حدود، اندازه و شکل مخزن در دسترس نیست، استراتژی نمونه‌برداری بدون در نظر گرفتن ابعاد مخزنی، تمام نواحی منطقه‌ی مورد مطالعه را به‌صورت یکسان پوشش می‌دهد و جداسازی مقادیر سطح مینا<sup>۱۱</sup> بعد از به‌دست آمدن نتایج آزمایشگاهی از روی شکست نمودارهای هیستوگرام تجمعی مشخص می‌شود. در حالی که پی‌جویی در نواحی پراسپکتیو که از لحاظ وجود هیدروکربن قابل توجه بوده و به‌طور معمول مطالعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی در آن نواحی قبل از اثبات وجود انباشت هیدروکربوری توسط حفاری چاه انجام شده و به‌دلیل وجود داده‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی، اطلاعات وجود فیزیکی مخزن و نفت‌گیر، حدود، اندازه و شکل مخزن نیز در دسترس است. در این گونه نواحی جهت مشخص کردن مقادیر سطح مینا و تمایز آن از مقادیر آنومالی<sup>۱۲</sup> در تحلیل نتایج آزمایشگاهی باید در تعیین استراتژی نمونه‌برداری، از روش‌های جداسازی بهینه‌ی آماری استفاده کرد. پی‌جویی‌ها در نواحی بکر، اندازه و گسترش متفاوتی دارند. هدف این‌گونه مطالعات مشخص کردن یک ساختار نیست؛ بلکه ارزیابی و بررسی حضور هیدروکربور در ساختارهای موجود از طریق انجام نمونه‌برداری، با تعداد کم است. اندازه‌ی ساختار هدف مهم است و چگونگی طراحی فاصله‌ی نمونه‌برداری را کنترل خواهد کرد. این مدل پی‌جویی‌ها طراحی سریع و هزینه‌ی اقتصادی کمی دارند که می‌تواند هدف‌های موجود احتمالی را برای طراحی آتی خطوط لرزه‌ای شناسایی کند. بدیهی است در این قبیل مطالعات، احتمال اکتشاف میادین کوچک کاهش می‌یابد [۱۰]. در پی‌جویی‌های با دقت زیاد معمولاً اهداف اکتشافی یا توسعه‌ای در دستور کار قرار دارند. به‌دلیل اینکه بررسی‌های ژئوشیمیایی سطحی عمدتاً جهت یافتن تله‌های هیدروکربوری جدید استفاده می‌شوند تا هنگام اضافه کردن اطلاعات بیشتر در خصوص میادین قدیمی، پی‌جویی‌های اکتشافی متداول‌تر از پی‌جویی‌های توسعه‌ای است. این مطالعات به‌طور مشخص به دنبال اهداف یا

برداشته شود. بر اساس اهداف اکتشافی فاصله‌ی نمونه‌برداری ژئوشیمیایی از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و در بعضی مناطق از ۵۰ تا ۱۰۰ متر متغیر است. عملیات نمونه‌برداری مطالعات ژئوشیمیایی سطحی، در محل ساختارهای کوچک مقیاس یا ساختارهای واجد اطلاعات ژئوفیزیکی سه‌بعدی روی شبکه‌ی منظم ژئوشیمیایی



شکل ۷ | طراحی نمونه‌برداری با فاصله‌ی نمونه‌های متفاوت از اوکلاهاما

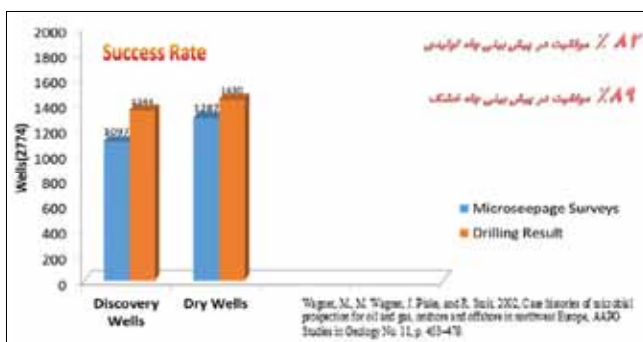


شکل ۸ | نقشه‌ی آنومالی حاصل از پی‌جویی اتان که نتایج آن تحت تاثیر گسل و شکستگی قرار گرفته است [۱۰]

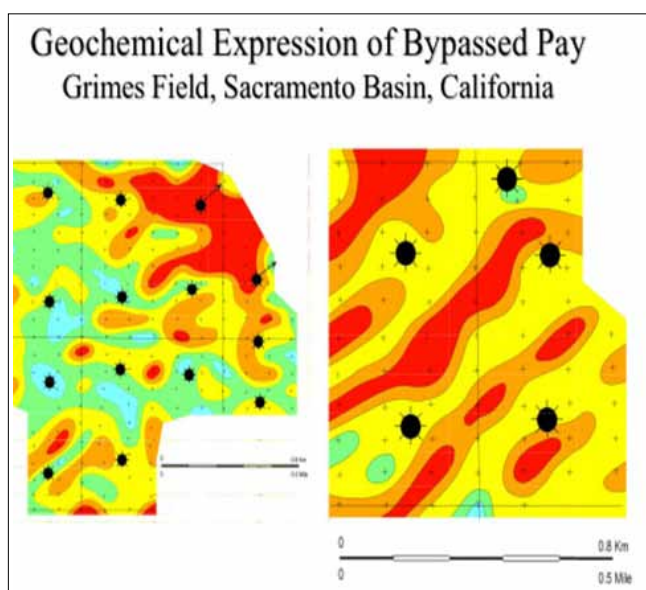
بود. روش‌های آیودین [۳۴ و ۳۳] و عناصر نادر کم‌هزینه هستند؛ زیرا این آنالیزها در آزمایشگاه‌های صنعت معدن قابل انجام هستند. هزینه‌های رادیومتریک متنوع هستند. با وجود کم‌هزینه بودن آنالیز دستگاه‌های رادیومتریک در صورت فقدان افراد مجرب، نتایج این روش مفید فایده نخواهد بود. هزینه آنالیز عناصر نادر توسط آشکارگر پلاسما بیشتر از آنالیز این عناصر توسط روش‌های جذب اتمی است. ضمن اینکه با افزایش تعداد پی‌جویی‌ها، هزینه‌ی میانگین آنالیز کاهش می‌یابد. تنوع هزینه‌های آنالیز روش‌های غیرمستقیم بسیار وسیع است [۱۰].

#### ۴-۱- طراحی استراتژی نمونه‌برداری

اساس طراحی استراتژی نمونه‌برداری بر اساس تعیین هدف مطالعه استوار است. انتخاب هدف‌دار نقاط نمونه‌برداری می‌تواند اطلاعات فراوانی را با هزینه‌ی کم به تیم تفسیر ارائه دهد. تعیین



شکل ۹ | ضریب موفقیت روش اکتشافی مطالعات ژئوشیمیایی سطحی میکروبی



شکل ۱۰ | مطالعات ژئوشیمیایی سطحی با هدف توسعه‌ی میدان گریمز فیلد کالیفرنیا

ساختارهایی هستند که ممکن است منطقه‌ی وسیعی را تحت پوشش قرار دهند و می‌توانند بدون ورود به محدوده‌ی نواحی تولیدی شناسایی شوند.

پی‌جویی‌های توسعه‌ای جهت مشخص کردن موقعیت چاه‌های خاص یا گسترش احتمالی میدان هیدروکربنی استفاده می‌شوند. این مطالعات معمولاً موقعی مزیت خاص خواهند داشت که یک میدان نفتی نزدیک به حالت تخلیه‌ی کامل بوده و ممکن است برخی بخش‌های تولیدی مخزن از بین رفته باشد. وجود یک چاه در نزدیکی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌تواند بر موفقیت مطالعات اکتشافی ژئوشیمیایی مؤثر باشد [۱۰].

همچنین طبیعی است که داده‌های حاصل از مطالعات میکروبی یا مطالعات گازخاک<sup>۱۳</sup> یا سایر روش‌های مطالعاتی ژئوشیمی سطحی جهت شناسایی ریزنشست‌های هیدروکربنی پارازیت داشته باشند. بر این اساس جهت تشخیص بین مناطق دارای مقدار ارزش داده در اندازه‌ی سطح مینا و مناطق دارای آنومالی باید فواصل نمونه‌برداری مناسب بوده و بر اساس اطلاعات موجود از محدوده‌ی مطالعاتی طراحی خوبی داشته باشند. بر اساس مطالعات احتمالاً دلیل اصلی غیرواضح بودن نتایج و وقوع اشتباه در تفسیر داده‌ها، تعداد کم نمونه‌های برداشت شده از محدوده‌ی مورد مطالعه است که در مطالعات ژئوشیمیایی سطحی دیده می‌شود [۳۲].

هزینه‌ی مطالعات و پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی سطحی متفاوت است. از عمده‌ترین عوامل اثرگذار، هزینه‌ی جمع‌آوری و هزینه‌ی آنالیز نمونه‌هاست. این دو متغیر می‌توانند تفاوت فراوانی داشته باشند. مثلاً ممکن است یک روش هزینه‌ی نمونه‌برداری کمی داشته باشد اما در مقابل هزینه‌ی آنالیز آن زیاد باشد. در گام نخست، مرحله‌ی نمونه‌برداری آسان‌ترین مرحله به‌نظر می‌رسد. اما باید در نظر داشت که کیفیت جمع‌آوری نمونه‌ها برای یک روش خاص، مؤثرترین عامل در موفقیت یا شکست آن روش است. متغیرهای مؤثر در فرآیند برداشت نمونه‌ها عبارتند از: شرایط زمین (توپوگرافی)، عمق خاک، نوع خاک، رطوبت خاک، آب و هوا، فصل نمونه‌برداری، راه‌ها و مسیرهای دسترسی به محدوده‌ی عملیات نمونه‌برداری و کیفیت کار گروه نمونه‌برداری. بدیهی است هزینه‌ی آنالیز نمونه‌ها که به نوع دستگاه‌های مورد استفاده بستگی دارد نیز متنوع هستند. بیشتر روش‌های گازخاک از کروماتوگرام گازی استفاده می‌کنند؛ در حالی که استفاده از آشکارگر پلاسما از روش کروماتوگرام گازی پرهزینه‌تر خواهد

مورد نقاط بدون نمونه نمی‌توان اظهار نظر نهایی کرد. به‌طور معمول در مطالعات ژئوشیمیایی سطحی، دو روش نمونه‌برداری خطی (یک‌بعدی) و شبکه‌ای (دو‌بعدی) [۸] استفاده می‌شود. افزایش توانایی در تفسیر داده‌های مطالعات ژئوشیمیایی سطحی از افزایش چگالی فضای نمونه‌برداری به‌دست می‌آید [۳۵]. در تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی سطحی یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها، ارتباط دادن الگوی پراکندگی با ساختارهای زیرسطحی است [۲۸].

به‌طور معمول در طراحی شبکه‌ها، مدل‌ها و پی‌جویی‌ها، ضمن لحاظ کردن متغیرها و عوامل مختلف، بیشتر از طراحی‌های خطی، شعاعی، خوشه‌ای و تصادفی (شکل ۶-۶) استفاده می‌شود [۱۰]:

#### ۲-۴- تشخیص آنومالی‌ها

تعیین اندازه‌ی سطح مبنا یا پس‌زمینه مهم‌ترین بخش تعیین و تشخیص آنومالی‌هاست [۳۶]. بر اساس این سطح می‌توان نقاط دارای آنومالی را از نقاط زمینه جدا کرد. متیو پیشنهاد می‌کند ۸۰٪ نمونه‌های جمع‌آوری شده در خارج از محدوده‌ی مورد نظر<sup>۱۴</sup> قرار داشته باشند [۳۲]. روش‌شناسی جداسازی نقاط آنومالی و سطح مبنا توسط کلاسمن و همکاران [۳۱] شرح داده شده است. شناسایی آنومالی و همچنین کاهش هزینه‌ی عملیات باید هنگام طراحی چندین عامل مورد توجه واقع شود:

۱- هدف مطالعه، تعیین مساحت منطقه، شناسایی و ارزیابی مقیاس نواحی مستعد نسبت به کل منطقه است.

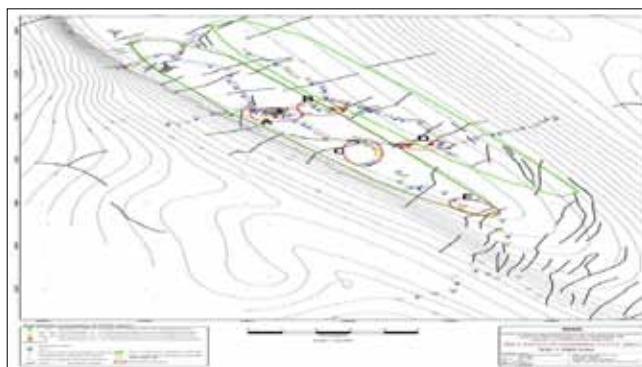
۲- شکل و اندازه‌ی مورد انتظار آنومالی که به‌طور معمول متناسب با شکل و اندازه‌ی هدف زیرسطحی (منظور ساختار زیرسطحی است که سبب آنومالی در سطح می‌شود) فرض می‌گردد و بررسی ارتباط زمین‌شناسی آنها با یکدیگر (آنومالی به‌طور مستقیم روی هدف قرار گرفته یا توسط عوامل ساختمانی یا چینه‌ای دارای جابجایی است).

۳- تغییرات طبیعی مورد انتظار در اندازه‌گیری‌های سطحی (چه تغییرات اتفاقی، چه تغییرات شناخته‌شده مثل حضور چشمه‌های نفتی) [۳].

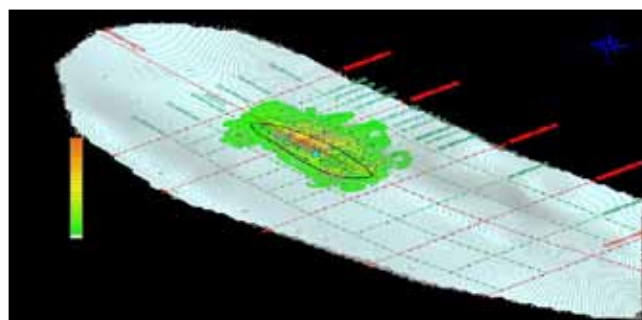
۴- بزرگی نسبت سیگنال مورد انتظار به سطح مبنا<sup>۱۵</sup> اگر در محدوده‌ی مورد مطالعه، مهاجرت غالب از نوع عمودی باشد تطابق بین نواحی واجد آنومالی‌های بالای ژئوشیمیایی در سطح، با تله‌های احتمالی در زیر سطح (عمق) نشان‌دهنده‌ی

نقاط نمونه‌برداری مناسب نیازمند دانش و اطلاعات اولیه از محدوده‌ی مورد مطالعه است [۸].

باید در نظر گرفت که اطلاعات حاصل از نمونه‌برداری هدف‌دار، مستقیماً از نقاط خاص نمونه‌برداری شده و نباید برای تعمیم به نقاط دیگر استفاده شود. مثلاً اگر نمونه‌برداری از یک گسل با برداشت نمونه در سه نقطه به‌صورت عرضی در نزدیکی اثر گسل انجام گردد و چشمه‌های آشکار نشود استنباط اینکه گسل نشت ندارد صحیح نیست. این احتمال وجود دارد که نمونه‌برداری از گسل در نقاط تعیین شده نادیده گرفته شده و امکان نشت در بعضی نقاط که بدون نمونه در نظر گرفته شده وجود داشته باشد. به‌طور کلی نشت تراوشات هیدروکربوری در تمامی قسمت‌های اثر گسل پدیدار نمی‌شوند بلکه اغلب به‌صورت نقطه‌ای در طول اثر گسل ظاهر می‌شوند. در این قبیل موارد نمونه‌برداری به‌صورت خوشه‌ای در چندین محل در طول گسل در موقعیت‌هایی که انتظار نشت مخزن در آن نقاط محتمل است (مانند ناحیه‌ی قله و نقطه‌ی ریزش تله‌ی نفتی) روش مناسب‌تری خواهد بود. در این حالت اگر ریزنشستی یافت نشد استنباط اینکه با گسل بدون نشتی مواجه هستیم منطقی‌تر به‌نظر می‌رسد. اگرچه همچنان در



شکل ۱۱ | نقشه‌ی آنومالی با استفاده از روش گازخاک استخراج شده با اسید<sup>۱۴</sup> (C۲-C۴) در یکی از اهداف اکتشافی ناحیه‌ی فارس



شکل ۱۲ | نقشه‌ی آنومالی با استفاده از روش میکروبی (ژن بوتان) در یکی از ساختمان‌های اکتشافی ناحیه‌ی دز فول



ژئوشیمیایی سطحی با روش میکروبی (MPOG)، ۱۲۸۷ حلقه از این تعداد (۸۹٪) پیش بینی شده و ۱۳۴۴ حلقه از آنها نیز تولیدی شده که ۱۰۹۷ حلقه از این تعداد (۸۲٪) توسط همان مطالعات میکروبی شناسایی شده بود. به‌دیگر سخن ضریب موفقیت روش مطالعاتی ژئوشیمیایی سطحی میکروبی، ۸۰ تا ۹۰٪ است که می‌توان از آن به‌عنوان یک روش مطالعات اکتشافی بین رشته‌ای موفق در صنعت اکتشاف منابع نفت و گاز یاد کرد (شکل-۹).

بیشتر روش‌های استفاده شده در این روش مطالعاتی [۲۸] منتج به تهیه و ارائه‌ی نقشه‌های آنومالی می‌گردد. این نقشه‌ها بر اساس همان روش (مستقیم یا غیرمستقیم) یا متغیری است که مطالعه بر آن اساس طراحی شده است. بدیهی است کاربرد این نقشه‌ها بر اساس هدف مطالعه است.

در مطالعات توسعه‌ای یک میدان با استفاده از نقشه‌های آنومالی، می‌توان بخش‌ها و نواحی هدف را شناسایی و بر آنها تمرکز کرد (شکل-۱۰). در این مطالعه [۲۰] که در محدوده‌ای کوچک از گریمزفیلد کالیفرنیا انجام گردیده چاه‌های حفاری شده در خارج از نواحی آنومالی مثبت (ناحیه‌ی قرمز رنگ) خشک بوده‌اند و جهت عملیات توسعه‌ای میدان باید فعالیت‌ها در بخش‌هایی از میدان که حضور سیال هیدروکربوری محرز است (واجد آنومالی مثبت) متمرکز شده و تداوم یابد.

روش‌های ژئوشیمیایی سطحی در مطالعات اکتشافی منابع هیدروکربوری حوضه‌های رسوبی نواحی اکتشافی فارس و دزفول نیز استفاده شده است. در ناحیه‌ی فارس [۳۸] در یکی از ساختمان‌های اکتشافی واقع در شرق گسل کارزون با استفاده از روش‌های مطالعاتی مستقیم گاز خاک و فلئورسانس<sup>۱۷</sup> و غیرمستقیم میکروبی<sup>۱۸</sup> ژئوشیمیایی سطحی، ارزیابی اکتشافی ساختمان مورد نظر انجام شد. در شکل-۱۱ نتایج حاصل از به‌کارگیری یکی از روش‌های مطالعاتی ژئوشیمی سطحی نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود برخلاف دیگر بخش‌های مطالعه شده‌ی این ساختمان، وجود نواحی واجد آنومالی مثبت (حلقه‌های قرمز رنگ) مؤید حضور هیدروکربن در بخش‌های مشخص این ساختمان است.

در محدوده‌ی شمالی ناحیه‌ی دزفول، بررسی و پی‌جویی ژئوشیمیایی سطحی یکی از اهداف اکتشافی، قبل از اجرای عملیات حفاری و با استفاده از توانمندی روش مولکولی میکروبی انجام شده است [۳۹]. در این مطالعه با بهره‌جویی از

شارژ شدن تله با هیدروکربن است. در مقابل اگر تله‌ی زیرسطحی آنومالی سطحی مثبت نداشته باشد فرض اینست که آن تله با هیدروکربن شارژ نشده است. نکته‌ی بسیار حائز اهمیت در تعیین دقیق مقدار و محدوده‌ی آنومالی، تعیین مقادیر سطح مبنا به‌طور کافی است. تعبیر و تفسیر داده‌های آنومالی‌های سطحی با افزایش تعداد نمونه‌ها و کاهش هرچه بیشتر فاصله‌ی نمونه‌برداری، معتبرتر و دقیق‌تر می‌شود. شکل-۷ نشان‌دهنده‌ی اهمیت شبکه‌بندی‌های ژئوشیمیایی بر مقاطع ژئوشیمیایی در تعبیر و تفسیر آنومالی‌هاست.

در پی‌جویی‌های توسعه‌ای، ارتباطی تقریباً قائمی بین مخزن و سطح زمین وجود دارد و می‌توان محل چاه‌ها را با اطمینان زیاد تعیین کرد. البته مواردی وجود دارد که این حالت رخ نمی‌دهد. در لبه‌های میدان، وجود گسل‌ها و شکستگی‌هایی از مخزن یا تجمعات هیدروکربوری کوچک، موجب شکل‌گیری آنومالی‌های با شدت زیاد می‌گردند. این حالت منجر به تفسیر نادرست و در نهایت حفاری چاه‌های خشک می‌گردد. با وجود این بعضی از آنومالی‌ها به‌طور دقیق مرکز تجمع و انباشت زیرسطحی را مشخص می‌کنند و لبه‌های نواحی تولیدی توسط داده‌های حاصل از سطح مبنا نشان داده می‌شود [۱۰].

حضور تراوشات هیدروکربنی در ناحیه‌ی اکتشافی شاهی بر ژئوشیمیایی مستقیمی از حضور و تولید هیدروکربن در افق‌های زیرسطحی است. حضور هیدروکربن در سطح نشان‌دهنده‌ی نقطه‌ی انتهایی مسیر مهاجرت هیدروکربن است. هیدروکربن‌ها ممکن است نشان‌دهنده‌ی تراوش از یک انباشت هیدروکربوری یا یک لایه‌ی حامل<sup>۱۶</sup> یا سایر مسیرهای مهاجرتی باشند. ممکن است آنومالی تعیین شده توسط چندین نمونه، ناشی از یک یا تعداد بیشتری از خطوط نمونه‌برداری اکتشافی نشان‌دهنده‌ی محل ساختار تاقدیسی یا اهداف چینه‌ای مجزا در محدوده‌ی مورد مطالعه باشد.

#### ۵- ارائه‌ی نتایج مطالعات و پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی سطحی

همان‌گونه که مطرح شد از مهم‌ترین موارد قابل حصول از مطالعات و بررسی‌های ژئوشیمیایی سطحی، ارزیابی فرآیند شارژ شدگی تله‌های هیدروکربوری زیرسطحی شناسایی شده است. در یک بررسی که توسط وگنر و همکارانش در سال ۲۰۰۲ ارائه شده [۳۷] تعداد ۲۷۷۴ حلقه چاه اکتشافی ارزیابی شده که ۱۴۳۰ حلقه از این تعداد خشک بوده و با بهره‌گیری از مطالعات

مورد مطالعه) می‌تواند در انتخاب بهینه و موافق با امکانات، مؤثر واقع شود. اما نباید از ضرورت تلفیق نتایج حاصل از این مطالعات و پی‌جویی‌ها با سایر اطلاعات و داده‌های ژئوفیزیکی و زمین‌شناسی در جهت دستیابی به مفیدترین نتایج، چشم‌پوشی کرد.

به‌استناد مدارک علمی-آزمایشگاهی و با دقت و صحت قابل قبول می‌توان از مطالعات ژئوشیمیایی سطحی جهت مدیریت منابع و هزینه‌ی عملیات اکتشافی محدوده‌ی مطالعاتی بهره جست. این روش مطالعاتی ظرفیت به‌کارگیری در بخش‌های متنوع مسیر فرآیند اکتشاف منابع هیدروکربوری از جمله موارد زیر را داراست:

- شناسایی نواحی مطالعاتی ناشناخته (جهت بررسی امکان تداوم دیگر روش‌های اکتشافی نظیر مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی)
- کمک به طراحی خطوط لرزه‌ای در مطالعات اکتشافی
- ارزیابی فرآیند شارژشدگی تله‌های هیدروکربوری شناسایی شده و حضور سیال هیدروکربوری در افق‌های مخزنی احتمالی
- شناسایی نوع سیال هیدروکربوری (نفت، گاز یا هر دو)
- شناسایی محدوده‌ی گسترش افقی لایه‌ی مخزنی واجد سیال هیدروکربوری (جهت کاهش ریسک محاسبات حجم مخزن هدف اکتشافی)
- ارائه‌ی اطلاعات و داده‌های مورد نیاز جهت تحدید گسترش افق مخزنی هدف اکتشافی
- کمک به تهیه‌ی مستندات علمی مبین وجود یا عدم وجود ارتباط با دیگر افق‌های مخزنی مجاور)
- تعیین موقعیت مناسب‌تر محل حفاری چاه اکتشافی یا توسعه‌ای (با شناسایی موقعیت دسترسی به بیشینه‌ی ضخامت ستون هیدروکربوری در هدف اکتشافی)
- کمک به تهیه‌ی یک گزارش ارزیابی پس از حفاری چاه اکتشافی از ناحیه‌ی مطالعاتی که حاوی درس آموخته‌های فنی تخصصی و کاربردی از هدف اکتشافی حفاری شده در جهت کمک به فعالیت‌های اکتشافی آتی آن محدوده‌ی مطالعاتی. ■

فن‌آوری‌های بیوتکنولوژیک [۴۰] پس از بررسی‌های مولکولی (DNA) و شناسایی ژنتیکی باکتری‌های اکسیدکننده‌ی ترکیبات هیدروکربوری بر اساس بانک ژنی جهانی، نقشه‌های آنومالی از وجود باکتری‌های متان، پروبان و بوتان‌خوار در نمونه‌های پوشش سطحی (خاک) هدف اکتشافی مورد مطالعه، تهیه شده است. استراتژی نمونه‌برداری این مطالعه بر اساس مطالعات لرزه‌ای و زمین‌شناسی طراحی شده است [۴۱]. همان‌طور که در نقشه‌ی شکل-۱۲ ملاحظه می‌شود به‌دلیل قرارگیری افق مخزنی شناسایی شده‌ی ساختمان مورد مطالعه در محدوده‌ی آنومالی مثبت، هدف اکتشافی مذکور واجد سیال هیدروکربوری بوده و حضور سیال نفتی (محدوده‌ی سبز تا نارنجی‌رنگ) در این افق مخزنی محرز است و به‌نظر می‌رسد جابجایی اندک در موقعیت چاه اکتشافی پیش‌نهادی (دایره‌ی آبی‌رنگ)، ریسک موفقیت برنامه اکتشافی ساختمان مورد مطالعه را کاهش خواهد داد.

### نتیجه‌گیری

مطالعات و پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی سطحی می‌توانند به‌عنوان کلیدی برای شناسایی محل تجمعات هیدروکربنی زیرسطحی محسوب شوند. ارزیابی شارژشدگی هیدروکربنی افق‌های مخزنی هدف با قطعیت زیاد که در صورت استفاده‌ی همزمان از سایر روش‌های ژئوشیمیایی سطحی، ریسک کمی هم خواهد داشت از مهم‌ترین نتایج کاربردی مطالعات ژئوشیمیایی سطحی به‌شمار می‌آید. سرعت دستیابی به نتایج و هزینه‌ی کمتر این مطالعات در کنار تأثیر ناچیز زیست‌محیطی آنها از ویژگی‌های مهم بررسی‌های ژئوشیمیایی سطحی محسوب می‌شود.

پی‌جویی‌های اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی از لحاظ اقتصادی تأثیرات قابل توجهی بر یک برنامه‌ی اکتشافی خواهد داشت. تنوع و تعدد روش‌های ژئوشیمیایی سطحی علاوه بر ایجاد گستره‌ای مناسب در انتخاب روش مطالعاتی (با توجه به شرایط ناحیه‌ی

### پانویس‌ها

- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| 1- Macroseepage                              | 11- Background Level            |
| 2- Microseepage                              | 12- Anomaly                     |
| 3- Vertical Migration                        | 13- Soil Gas                    |
| 4- Microbial Prospecting of Oil & Gas (MPOG) | 14- Target                      |
| 5- Surface Geochemical Survey (SGS)          | 15- Signal to Background Ratio  |
| 6- Geobotany                                 | 16- Carrier bed                 |
| 7- Flexibel                                  | 17- Flourescence                |
| 8- Signal to Noise Ratio                     | 18- Microbial                   |
| 9- Reconnaissance Survey                     | 19- Acid Extracted Soil Gas     |
| 10- Prospect Survey                          | 20- Post Drilling Analysis(PDA) |

- [1] Etiope, G. Natural Gas Seepage: The Earth's Hydrocarbon Degassing. Springer International Publishing Switzerland, Edition number:1. 2015. 199 PP.
- [2] Macgregor, D. Relationship between seepage, tectonic and subsurface petroleum reservoir. *Marin and Petroleum Geology*, 1993, V:10(6):PP:606 – 619.
- [3] Link, W. Significance of oil and gas seeps in world oil exploration. *AAPG*, 1952, Vol:36(8), PP:15051540-.
- [4] Dolson, J. Understanding oil and gas shows and seals in the search for hydrocarbons. Springer International Publishing Switzerland, 2016, 486 PP.
- [5] Price, L.C. A critical overview and proposed working model of surface geochemical exploration: in *Unconventional methods in exploration*, IV, Southern Methodist University, Dallas, TX, 1986, PP: 245304-.
- [6] Klusman, R.W. Soil gas and related methods for natural resource exploration. John Wiley and Sons, Ltd., Chichester, UK, 1993, 483 PP.
- [7] Klusman, R.W., Saeed, M.A. Comparison of light hydrocarbon microseepage mechanisms: in D.Schumacher and M.A.Abrams(eds), *Hydrocarbon exploration and its near-surface expression*: AAPG Memoir 66, 1996, PP:157168-.
- [8] Matthews, M.D., Migration –a view from the top: in D.Schumacher and M.A.Abrams(eds), *Hydrocarbon exploration and its near-surface expression*: AAPG Memoir 66, 1996a, PP:139155-.
- [9] Schumacher, D. Mature basin exploration: detailed geochemical surveys lead to new pays. AAPG Pacific Section Meeting, Bakersfield, C.A., April 22-25-2018.
- [10] Tedesco, S.A., *Surface Geochemistry in petroleum Exploration*, Atoka Exploration, Chapman & Hall, 1995, 206PP.
- [11] Schumacher, D. Improving Success of surface geochemical surveys: 7 Pitfalls to Avoid. AAPG International Conference and Exhibition, Melbourne, Australia, September 13-2015, 15-.
- [12] Sechman, H. et al., Near-surface geochemical anomalies integrated with seismic and well data over the contact of the outer carpathians and the Carpathian foredeep (SE Poland). *GeoFluids*, June 2018, Vol. 3, PP: 120-.
- [13] Marzec, P. et al., Gas chimney record in seismic and surface geochemical data – Case study from carpathian foredeep (SE Poland). *Basin Research*, August 2016, Vol. 30, PP:210227-.
- [14] Twarogi, A. et al., Integrated analysis of geoelectric and surface geochemical data for exploration of subsurface hydrocarbon accumulations (Carpathians foredeep / SE Poland). *Journal of Petroleum Science and Engineering*, April -August 2018, Vol: 167, PP:24537-.
- [15] Schumacher, D. and LeSchack, L.A., Surface exploration case histories application of geochemistry, magnetics and remote sensing. *AAPG Studies in Geology*, 48, 2002, 486 PP.
- [16] Krupnik, D., Dkhan, S., Hydrocarbon microseepage-related geobotanical analysis in and around oil fields. *The Leading Edge*, University of Houston, 2017, Vol:36(1), PP:1223-.
- [17] Hale, M., *Geochemical Remote Sensing in the Sub-Surface*, Elsevier, 2000, 572 PP.
- [18] Mogilewskii, G. A., The bacterial method of prospecting for oil and natural gases: *Razvedka Nedr.*, 1940, Vol.12, PP: 32–43.
- [19] Hugenholtz, P., Goebel B.M., and Pace, N.R., Impact of cultured independent studies on emerging phylogenetic view of bacteria diversity. *J. Bacteriol.*, 1998, Vol: 180, PP:4765–4774.
- [20] Tucker, J., and Hitzman, D.C., Detailed microbial surveys help improve reservoir characterization. *Oil and Gas Journal*, 1994, Vol: 92, no. 23, PP: 65–68.
- [21] Sechman, H. et al., Surface geochemical exploration for hydrocarbons in the area of prospective structures of Lublin Trough (Eastern Poland). *Marine and Petroleum Geology*, March 2015, Vol.61, PP:22- 38.
- [22] Parduhn, N.L., A microbial method of mineral exploration: A case history at the Mesquite Deposit. *Journal of Geochemical Exploration*, 1991, Vol: 41, no.12, PP: 137150-.
- [23] Dionisi, H.M., Harms, G., Layton, A.C., Gregory, I.R., Parker, J., Hawkins, S.A., Robinson, K.G., and Saylor, G.S., Power analysis for real time PCR quantification of genes in activated sludge and analysis of the variability introduced by DNA extraction. *Appl. Environ. Microbiol.* 2003, Vol:69, PP:6597–6604.
- [24] Fan, Z., Yuehui, S., Yong, Z., Zhifeng, Z., Shuqiong, K., Dujie, H., Molecular biologic techniques applied to the microbial prospecting of oil and gas in the Ban 876 gas and oil field in China. *Appl. Microbial Biotechnol.* 2010, Vol: 86, PP:1183–1194.
- [25] He, J.Z., Shen, J.P., Zhang, L.M., Zhu, Y.G., Zheng, Y.M., Xu, M.G., Di, H.J., Quantitative analyses of the abundance and composition of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea of a Chinese upland red soil under long-term fertilization practices. *Environ. Microbiol.* 2007, Vol:9, PP:2364–2374.
- [26] Schumacher, D., 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, 1996, PP:71- 89.
- [27] Wardroper, A., Hoffman, C., Maxwell, J., Crude oil biodegradation under simulated and natural conditions. *Organic Geochemistry*, 1984, Vol:6, PP:605-617.
- [28] Tedesco, S.A., *Surface geochemistry in petroleum exploration*, Springer Science & Business Media, 2012, 206 PP.
- [29] Pareja, L., Combined microbial, seismic surveys predict oil and gas occurrences in Bolivia. *Oil Gas Journal*, 1994, Vol:24, PP:68–70.
- [30] Baklouti, S. et al., Integrated geo-microbial and trace metal anomalies for recognition of hydrocarbon microseepage in petroliferous regions: case of El Hajeb oilfield in the South East of Tunisia. *Petroleum Science and Technology*, November 2018, Vol. 36(3), PP: 18-.
- [31] Klusman, R.W., Saeed, M.A., Abu-Ali, M.A., The potential use of biogeochemistry in the detection of petroleum microseepage. *AAPG*, 1992, Vol: 76, (6), PP:851863-.
- [32] Matthews, M.D., Importance of sampling design and density in target recognition: in Schumacher, D., and Abrams, M.A., (eds), *Hydrocarbon Exploration and its Near-Surface Expression*: AAPG Memoir 66, 1996b, PP:243253-.
- [33] Ozdemir, A., Relationship of formation- migration and trapping between petroleum and Iodine. *Natural and Engineering Sciences*, 2018, Vol: 3(3): 110-153.
- [34] Ozdemir, A., Integrated usage of Iodine geology methods and oil in water analysis for commercial hydrocarbon exploration in onshore (Reservoir –Targeted Exploration): Technical Document for Workflow and Application Systematics of the Method, Feb 2019, Adil Ozdemir Consulting.
- [35] Burtell, S.G., et al., Remote sensing and surface geochemical study of Railroad Valley, Nye Country, Nevada- detailed grid study. Presented at Fifth Thematic Conference, Remote Sensing for Exploration Geology, Reno, Nevada, 1986, September 29 – October 2.
- [36] Sechman, H. and Dzieniewicz, The example of background determination and mathematical processing of data from surface geochemical survey for the purposes of petroleum exploration. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, August 2011, Vol:78, PP:396406-.
- [37] Wagner, M., Wagner, M., Piske, J. and Smith, R., Case histories of microbial prospecting for oil and gas. *AAPG Studies in Geology 48 and SEG Geophysical References Series*, 2002, Vol: 11, PP: 453–479.
- [۳۸] گزارش مطالعه‌ی ژئوشیمی سطحی ساختمان اکتشافی مورد مطالعه در ناحیه‌ی فارس، ۱۳۹۶، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران
- [۳۹] گزارش مطالعه‌ی ژئوشیمی سطحی ساختمان اکتشافی مورد مطالعه در ناحیه‌ی دزفول، ۱۳۹۶، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران
- [40] Cui-Yun, Z., Ze-H., Sheng, Z., Mi-Ying, Y., Zhuo, N., Ya-Ci, L., A DNA-based Analysis of a Microbial Technique for the Prospecting of Oil and Gas Applied to a Known Oil Field, China. *Geomicrobiology Journal*, 2016, Vol:0:(0) PP 18-.
- [۴۱] ابراهیمی ورکیانی، محمدحسن؛ ملکی، مهرداد، ۱۳۹۴، گزارش تعبیر و تفسیر اطلاعات لرزه‌نگاری دوبعدی ساختمان مورد مطالعه در ناحیه‌ی دزفول، گزارش شماره‌ی GR-۲۳۷۴؛ مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران