

## مطالعات اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی ساختمان مورد مطالعه در ناحیه دزفول شمالی - (بخش اول)

مهدی خالقی طرفی<sup>۱\*</sup>، مدیرت اکتشاف ■ بهرام علیزاده، دانشگاه شهید چمران اهواز ■ بهزاد خانی، میرصابر شیروانی، شرکت انرژی پژوهان آریانا

### چکیده

استفاده از روش پی جویی ژئوشیمیایی سطحی در شناسایی تجمعات هیدروکربنی زیرسطحی در طی چندین دهه گذشته توسط شرکت‌های نفتی و محققان اکتشافی منجر به توسعه کارآمد و روزافزون تکنیک‌های مورد استفاده در مطالعات ژئوشیمیایی سطحی گردیده است. در روش‌های ژئوشیمی سطحی میکروبی که یک رهیافت اکتشافی بین‌رشته‌ای می‌باشد، باکتری‌ها ضمن متابولیسم کردن ترکیبات هیدروکربنی و استفاده از آن به‌عنوان منبع انرژی، به رشد و تکثیر پرداخته و در نهایت، آنومالی‌های میکروبی را در پوشش سطحی بالای افق‌های مخزنی به‌وجود آورده که مبین حضور هیدروکربن در لایه‌های مخزنی زیرسطحی می‌باشد. از تکنیک میکروبی (MPOG) در بررسی ژئوشیمیایی سطحی یکی از ساختمان‌های اکتشافی در ناحیه دزفول شمالی استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه میکروبی، به‌صورت نقشه‌های آنومالی تفسیر گردیده و نشانگر حضور هیدروکربن مایع نفتی در بستگی شناسایی شده توسط مطالعات لرزه‌ای این ساختمان می‌باشد. انجام پی جویی ژئوشیمیایی سطحی ساختمان مورد مطالعه، نقش عمده‌ای را در فرایند تدوین استراتژی نمونه‌برداری به‌عنوان گام نخست در بررسی‌های ژئوشیمیایی سطحی، ایفاء می‌نماید. بدین‌منظور از داده‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی ساختمان مورد مطالعه به‌طور گسترده‌ای استفاده شده است. بدیهی است در اجرای بهینه عملیات نمونه‌برداری مطالعات ژئوشیمیایی سطحی، توجه به نیازمندی‌های لازم و اجتناب از محدودیت‌های متداول کمک شایانی به کسب نتایج دقیق از این مطالعه را به‌همراه خواهد داشت. جهت انجام فعالیت‌ها و مراحل آزمایشگاهی لازم در مطالعات میکروبی ژئوشیمیایی سطحی ساختمان مورد مطالعه، استفاده از آنالیزهای مولکولی و استخراج DNA از باکتری‌های اکسیدکننده هیدروکربن‌های گازی سبک در دستور کار بوده است که بدین منظور رویه خاصی در آزمایشگاه‌های ژنتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعبیر و تفسیر نتایج آزمایشگاهی، به‌ویژه در تلفیق با نتایج سایر مطالعات زمین‌شناختی، امکان بررسی تغییرات فراوانی میزان حضور هیدروکربن‌های گازی در محدوده مورد مطالعه را فراهم آورده و شواهد متقنی مبنی بر وضعیت حضور سیال هیدروکربنی در نواحی موردانتظار از ساختمان مورد مطالعه را ارائه می‌نماید.

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۸/۰۳/۲۱

تاریخ ارسال به داور: ۹۸/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش داور: ۹۸/۰۶/۱۱

### واژگان کلیدی:

مطالعات اکتشافی میکروبی (MPOG)، باکتری‌های اکسیدکننده هیدروکربن‌های گازی سبک، نقشه آنومالی میکروبی، ریزش هیدروکربنی

### مقدمه

زمین می‌گردد. این ترکیبات هیدروکربنی ممکن است در رسوبات و خاک‌های پوشش سطحی زمین حفظ شوند یا اینکه در اتمسفر یا ستون آب انتشار یابند [۱].

انتشار هیدروکربن‌های سبک از افق مخزنی، به‌صورت ریزش<sup>۲</sup>، به‌طور پیوسته و پویا بوده و مهاجرت عمودی و رو به بالای ترکیبات هیدروکربنی مذکور به‌سوی سطح زمین، ناشی از نیروی رانش حاصل از فشار مخزن می‌باشد. در رخداد فرایند مذکور، پوش سنگ مخزن با کارایی بیش از ۹۹٪ در حفظ و نگاه‌داری ترکیبات هیدروکربنی مخزن عمل می‌نماید لیکن نفوذناپذیری پوش سنگ به‌طور کامل نبوده و مرزهای دانه‌ای اجزاء رسوبی و ریزشکاف‌های موجود در سراسر

کشف مخازن هیدروکربوری جدید نیازمند صرف زمان و جستجوی بیشتر نواحی مورد مطالعه می‌باشد. پی جویی‌های ژئوشیمیایی سطحی که از تکنیک‌های سریع و کم‌هزینه استفاده می‌نماید، می‌تواند نمایان‌گر مفیدی برای تجمعات هیدروکربنی زیرسطحی باشد. فرایند تراوش هیدروکربن‌های به‌تله افتاده در افق‌های مخزنی زیرسطحی به سطح زمین، در مقادیر متفاوت اما قابل شناسایی، از مفاهیم اساسی پذیرفته شده در پی جویی‌های ژئوشیمیایی سطحی به‌شمار می‌آید. چنین پدیده‌ای به‌واسطه عملکرد پیوسته فرایندها و مکانیسم‌هایی نظیر انتشار<sup>۱</sup>، جریان<sup>۲</sup> و شناوری<sup>۳</sup> ترکیبات هیدروکربنی رخ می‌دهد و موجب فرار هیدروکربن‌ها از مخزن زیرسطحی و مهاجرت آنها به سطح

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

Horvitz و Rosaire در ایالات متحده آمریکا در جهت برقراری ارتباط داده‌های ژئوفیزیکی با داده‌های ژئوشیمیایی به عمل آمد. ادامه تلاش‌ها در سالیان بعد که با پیشرفت‌های تکنولوژیک توأم گردید، توسعه فناوری‌های اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی در شاخه‌های مختلف دانشی را به ارمغان آورد [۶].

روش‌های میکروبی اکتشاف نفت و گاز<sup>۷</sup> به‌عنوان یک موضوع بین‌رشته‌ای زمین‌شناسی، میکروبیولوژی و بیوتکنولوژی در بخش‌های اکتشافی شرکت‌های فعال در این زمینه مورد تصدیق قرار گرفته است [۷]. این تکنیک همراه با سایر تکنیک‌های به‌کار گرفته شده در پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی سطحی از مزایای زیر برخوردار هستند [۵]:

- ۱- سریع و مقرون‌به‌صرفه در جهت ارزیابی مقدماتی پتانسیل هیدروکربوری هر حوضه ناشناخته و بکر
  - ۲- قابل استفاده در همه نواحی سرزمینی (خشکی - دریا - صحرا - قطب - جنگل و ...)
  - ۳- نمونه‌برداری سریع، آسان و فاقد تأثیرات جانبی و زیست محیطی
  - ۴- یک ابزار سودمند در ارزیابی حوضه‌های با پتانسیل هیدروکربوری بالا
  - ۵- ارائه‌کننده نتایج معتبر و قابل تجدید
  - ۶- جداسازی نواحی پراسپکتیو از غیر پراسپکتیو و تبعاً کاهش هزینه عملیات اکتشاف
  - ۷- ارائه و تأمین اطلاعات مربوط به نواحی و ساختمان‌های شارژ شده هیدروکربوری و پیش‌بینی افق‌های مخزنی گازی و نفتی
- داده‌ها و نتایج حاصل از پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی سطحی، بیشترین کارایی را در تلفیق با نتایج دیگر روش‌های اکتشافی نظیر اطلاعات لرزه‌ای، زمین‌شناسی ناحیه‌ای و چینه‌ای به‌دست آورده و ظرفیت ایجاد یک شاخص کارآمد و توانمند به‌منظور شناسایی حضور ذخایر نفت و گاز به‌ویژه در حوضه‌های بکر و ناشناخته<sup>۸</sup> و همچنین در نواحی مدنظر اکتشافی<sup>۹</sup> که فعالیت‌های اکتشافی باید با کاهش ریسک توأم باشد را داراست. در فرایند اکتشاف منابع هیدروکربوری روش‌های ژئوفیزیکی، ساختمان‌های مناسب جهت تجمع هیدروکربن را تعیین حدود نموده و اطلاعات عمقی آنها را فراهم می‌آورد، در حالی که روش‌های ژئوشیمیایی سطحی فقط می‌توانند به این پرسش پاسخ دهند که آیا ساختمان‌ها و تله‌ها از هیدروکربور پر شده‌اند یا خالی هستند؟ [۸].

با هم‌این رویکرد، اعتقاد بر این است که مفهوم نشست هیدروکربنی عموماً مفید بوده و استفاده از این تراوشات در اکتشاف هیدروکربور به‌طور گسترده و وسیعی توسط صنعت اکتشاف پذیرفته شده و مورد استفاده قرار گرفته است. شرکت‌های فعال در این عرصه با انجام

رسوبات روباره مخزن، به‌صورت مسیرهایی جهت حرکت و جابه‌جایی هیدروکربن عمل می‌نمایند. محصول نهایی آن شکل‌گیری ریزنشست‌های هیدروکربنی است که غیرقابل رویت بوده و به‌واسطه فشار مخزن و تمرکز بالای ترکیبات هیدروکربنی که مولد یک نیروی پیشران طبیعی است، در پوشش سطحی افق‌های مخزنی زیرسطحی به‌وجود آمده‌اند. قوانین حاکم بر طبیعت، حرکت از نقاط پرفشار توأم با غلظت فراوان ترکیبات هیدروکربنی به سوی نواحی کم‌فشار همراه با غلظت کم ترکیبات هیدروکربنی در سطح زمین را دیکته می‌نماید. ریزنشست‌های مورد نظر را می‌توان به‌طور مستقیم یا به‌طور غیرمستقیم (پیک کردن) تغییرات ایجاد شده در رسوبات و خاک‌ها ناشی از حضور هیدروکربن (شناسایی نمود [۲]). البته پدیده اخیر از مفهوم چشمه‌های نفتی قابل رویت<sup>۱۰</sup> و هیدروکربن‌هایی که در طول یک گسل و شکاف حرکت نموده و خود را به سطح زمین رسانده‌اند، متفاوت می‌باشد.

از ژئوشیمی سطحی به‌عنوان یک روش اکتشافی منابع هیدروکربوری، این‌گونه استنباط می‌شود که نه تنها هر مخزن هیدروکربنی دارای تراوش (نشست) می‌باشد که به‌طور ژئوشیمیایی قابل ردگیری است، بلکه هر آنومالی ژئوشیمیایی با یک مخزن هیدروکربنی می‌تواند در ارتباط باشد [۳]. ریزنشست‌های به‌سطح رسیده به‌عنوان یک منبع انرژی برای میکروب‌های موجود در خاک و رسوبات عمل نموده و موجبات رشد و توسعه، تکثیر و فراوانی آنها در بافت خاک را به‌صورت آنومالی‌های میکروبی در پوشش سطحی بالای افق‌های مخزنی فراهم می‌آورند. در این فرایند باکتری‌ها با متابولیزه نمودن آلکان‌هایی همانند متان، پروپان، بوتان طی چندین مرحله متوالی، آنها را به‌عنوان منبع انرژی و کربن مورد استفاده قرار می‌هند. نمایش و اثبات حضور این باکتری‌ها در رسوبات و خاک پوشش سطحی در ارزیابی و بررسی افق‌های زیرسطحی حاوی نفت و گاز می‌تواند نقش بسیار مفیدی داشته و کمک موثری در شناسایی غیرمستقیم ریزنشست‌های هیدروکربنی ایفاء نماید [۴].

از بررسی‌ها و مطالعات دهه ۱۹۳۰ افرادی همچون Laubmeyer در آلمان و Sokolov در روسیه به‌عنوان اولین کارهای مطالعاتی در بهره‌برداری از مطالعات ژئوشیمیایی سطحی در روش‌های اکتشافی منابع هیدروکربوری می‌توان یاد نمود [۵]. این محققان از تکنیک‌های پی‌جویی گازخاک<sup>۱۱</sup> به‌منظور آشکار نمودن منابع نفت و گاز زیرسطحی استفاده نمودند. آنها از اندازه‌گیری مستقیم متان در فضای حفرات خاک در میدین نفتی در مطالعات خود بهره‌برداری کردند و نشان دادند که نمونه‌های برداشت شده از نواحی مرتبط به تله‌های نفت و گاز، نسبت به نواحی دور از تله‌های هیدروکربنی، دارای غنای بیشتری از ترکیب متان هستند. تحقیقات مشابهی در دهه ۱۹۴۰ توسط

■ در چین، به واسطه مطالعات و پی‌جویی‌های میکروبی، تحلیل و ارزیابی تجمعات هیدروکربوری که توسط گسل‌ها کنترل می‌شوند، امکان‌پذیر گردیده و نتایج این مطالعات توسط ده‌ها حلقه چاه حفاری شده در موقعیت‌های شناسایی شده به‌عنوان نواحی واجد پتانسیل هیدروکربنی، تأیید گردیده است. محققان چینی توانسته‌اند با بهره‌برداری از ظرفیت مطالعات اکتشافی میکروبی نفت و گاز، آنومالی‌های میکروبی را شناسایی نموده و ذخایر هیدروکربوری زیرسطحی را پیش‌بینی نمایند. ایشان این تکنیک مطالعاتی را به‌عنوان یک ابزار اکتشافی در گستره حوضه رسوبی Songliao به‌کار گرفته و تأکید نموده‌اند که برای مخازن با شرایط پیچیده و به‌ویژه مباحث مرتبط با نفت باقی‌مانده<sup>۱۲</sup> در افق‌های مخزنی و همچنین مراحل آتی گسترش و اضافه نمودن ذخایر در نواحی و محدوده‌های توسعه‌ای در حوضه‌های رسوبی کشور چین و توسعه مخازن مرتبط، پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی سطحی و تکنیک‌های میکروبی تأثیرات اساسی داشته‌اند.

دانشگاه Yangtze چین، یک مجموعه MPOG که متناسب با برنامه‌های اکتشاف منابع نفت و گاز آن کشور بوده را طراحی نموده و توانسته به‌طور موفقیت‌آمیزی برای حوضه‌های نفتی عمده آن کشور (Erdos, Bohai Gulf, Songliao) مورد استفاده قرار دهد [۷].

بنابر آنچه بیان شد، با استفاده از فناوری‌های ژئوشیمیایی سطحی می‌توان فرایند مهاجرت رو به بالای اجزاء فرّار هیدروکربنی از مخازن نفتی و گازی را حس نمود. طی چند دهه گذشته، متخصصان برای اینکه بتوانند تصویری از مخازن هیدروکربوری پرشده از نفت و گاز داشته باشند، روش‌هایی را از طریق اندازه‌گیری پارامترهای نزدیک به سطح، توسعه داده و آزموده‌اند که عمدتاً حول محورهای آنالیز مستقیم خاک، اندازه‌گیری‌های گاز خاک فعال و فناوری‌های میکروبی می‌باشد. بدیهی است چنین تکنیک‌هایی از وجود برخی محدودیت‌ها نظیر میزان ناچیز جذب گاز توسط خاک، نفوذپذیری اندک خاک و مشکلات نمونه‌برداری، مسائل ناشی از تنوع خاک و اوضاع جوی، محدودیت در داده‌های اجزای هیدروکربنی C1-C5 و مزاحمت‌های ناشی از متان بیوژنیک، متاثر باشند و فواید محدودی را ارائه نمایند [۱۰]. بدین لحاظ دسترسی بدون واسطه، به ترکیبات سبک هیدروکربنی تراوش کرده و راه یافته به رسوبات و خاک‌های سطحی و انجام اندازه‌گیری‌ها و آنالیزهای مورد نظر، فارغ از محدودیت‌های موجود در تکنیک‌های قبلی می‌تواند کاشفان منابع هیدروکربوری را با ریسک کمتری به سوی ذخایر زیرسطحی نفت و گاز هدایت نماید.

هرچند استفاده از حسگرهای گازی<sup>۱۳</sup> در شناسایی نواحی بکر و ناشناخته، البته به‌صورت هوابرد، در دهه‌های گذشته مورد نظر بوده است [۱۱]، در

مطالعات و پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی سطحی با هدف آشکارسازی و به‌نقشه‌درآوردن ریزنشست‌های هیدروکربنی، برقراری ارتباط آنها را با اهداف اکتشافی (پراسپکت) مدنظر قرار داده‌اند.

■ شرکت نفتی فیلیپس در چندین سال گذشته، طی برنامه‌های اکتشافی خود در حوضه‌های مختلف، پروژه‌های اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی را اجراء نموده است. بعضی از آنها در آمریکای شمالی به‌صورت ارزیابی اهداف اکتشافی تعریف شده‌اند و برخی از آنها به‌عنوان یک تعهد کاری همراه با امتیاز اکتشاف منابع جدید هیدروکربوری پذیرفته شده است (به عنوان نمونه در مصر). البته بخشی از توافق‌های فنی با شرکای بین‌المللی و سازمان‌های تحقیقاتی - پژوهشی نیز فراهم‌کننده بستر انجام پروژه‌های اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی بوده‌اند [۳].

■ هند نیز با دارا بودن سه میلیون کیلومتر مربع وسعت حوضه‌های رسوبی دریایی (در قالب ۲۶ حوضه رسوبی)، تنها در هفت حوضه رسوبی قادر به تولید هیدروکربور بوده و در گستره وسیعی از این وسعت (>۶۵٪) دارای حوضه‌های رسوبی کشف نشده می‌باشد. در مواجهه با افزایش روزافزون تقاضای مصرف نفت این کشور طی سالیان اخیر، فزونی یافتن تقاضا برای تکنولوژی کاهنده ریسک فعالیت‌های اکتشافی کاربردی از جمله پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی سطحی امری کاملاً بدیهی به‌نظر می‌رسد. در پاسخ‌گویی به چنین تقاضایی، یک هم‌افزایی ملی برای شناسایی هدف اکتشافی هیدروکربوری توسط فناوری‌های ژئوشیمیایی سطحی در انستیتو ملی تحقیقات ژئوفیزیک<sup>۱۴</sup> حیدرآباد هند شکل گرفته که از سوی شورای توسعه صنعت نفت دهلی نو<sup>۱۵</sup>، با اعطاء امتیازاتی همراهی شده و از پشتیبانی هیات مدیره منابع هیدروکربوری هند نیز برخوردار است [۸].

■ شرکت MicroPro (GmbH) آلمان نیز در زمینه پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی سطحی دارای تجربه فراوانی است. این شرکت در یکی از پروژه‌های خود در سال ۱۹۹۶، مطالعات اکتشافی میکروبی نفت و گاز را در کشور گابن با فواصل نمونه‌برداری به‌طور متوسط ۱۰۰۰ متر آغاز نمود. در ادامه این مطالعه، در چندین ناحیه مورد نظر، با کاهش فواصل نمونه‌برداری به ۵۰۰ متر موفق به شناسایی پراسپکت‌هایی در مرکز و شمال‌شرق محدوده مطالعاتی گردید. این محدوده اکتشافی که توسط گستره وسیعی از مناطق فاقد شاخص‌های هیدروکربنی احاطه گردیده، در مرحله توسعه و تولید دارای چاه‌های بهره‌برداری گردید که در محدوده آنومالی‌های میکروبی فاز اکتشافی قرار گرفته‌اند. بعضی از افق‌های مخزنی این محدوده واجد کلاک گاز و برخی نیز دارای نفت و کاندنسیت و فاقد کلاک گازی هستند و این وجوه تفاوت، توسط مطالعات میکروبی متمایز گردیده‌اند [۹].

زمین‌شناسی ادغام گردد، ریسک فعالیت‌ها را کاهش داده و ضریب موفقیت فعالیت‌های اکتشافی را افزایش خواهد داد. در این فناوری، که از نظر فنی نسبت به سایر فناوری‌ها، ارتقاء یافته و از سطح تکنولوژیکی بالایی برخوردار است، ابزار نمونه‌برداری خاصی استفاده شده، به طوری که ماده جاذب گاز آب‌گریز در درون یک لوله غشایی GORE-TEX™ قرار داده شده است. ابزار مذکور از یک روش ویژه آنالیزی (TD/GC/MS) با دقت در حد ppt برخوردار بوده (شکل-۱) و نتایج به‌دست آمده از آن با کمک تکنیک‌های تفسیر آماری چندمنظوره، تعبیر و تفسیر می‌گردند. استفاده از این ابزار نمونه‌برداری، شرایط خاصی را می‌طلبد و نیاز است به مدت ۱۷ روز در محدوده مورد مطالعه کاشته شده و به برداشت داده از ناحیه مطالعاتی مبادرت گردد. شرکت‌های فعال در زمینه اکتشاف نفت و گاز و افراد صاحب‌نظری که با تمامی روش‌های فنی پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی سطحی آشنا هستند، با به‌کارگیری روش GORE در جهت کاهش ریسک فعالیت‌های اکتشافی خود برنامه‌ریزی می‌نمایند [۱۱].

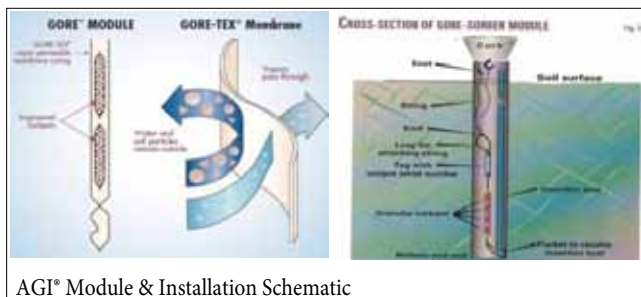
ساختمان ژئوفیزیکی مورد مطالعه در محدوده اکتشافی دزفول شمالی قرار داشته و سازندهای آسماری و بنگستان به‌عنوان افق‌های مخزنی احتمالی مطرح می‌باشند. ابعاد این ساختمان در رخنمون سطحی سازند آجاجاری ۲۴×۷ کیلومتر بوده و در یک محدوده با پتانسیل بالای هیدروکربوری واقع شده است. سازندهای گچساران، میشان، آجاجاری و بختیاری در این ساختمان واجد رخنمون بوده و سازند آجاجاری دارای بیشترین گسترش در رخنمون سطحی می‌باشد. جدیدترین مطالعات ژئوفیزیکی ساختمان مذکور مربوط به سال ۱۳۹۱ بوده و طی آن شش خط لرزه‌نگاری به طول ۱۸۵ کیلومتر برداشت گردیده و عمق دسترسی به افق آسماری را در حدود ۲۰۰۰ متری برآورد نموده است. براساس بررسی‌های ژئوفیزیکی سال ۲۰۰۲، پیش‌بینی گردیده ساختمان مذکور ۴۷ - ۳۱۲ میلیون بشکه نفت درجا و ۲۵ - ۱۶۶ میلیون بشکه نفت قابل برداشت داشته باشد (گزارش داخلی مدیریت اکتشاف).

### ۱- مطالعات ژئوشیمیایی سطحی

#### ساختمان مورد مطالعه (ناحیه دزفول شمالی)

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی: ساختمان مورد مطالعه در شمال‌خاوری شهر دزفول و شمال باختری شهر لالی قرار دارد. ابعاد این تاق‌دیس در سازند آسماری برابر با طول ۶ و عرض ۱/۲ کیلومتر می‌باشد و دارای روند شمال‌باختری-جنوب‌خاوری است که از روند عمومی زاگرس تبعیت می‌نماید (شکل-۲). میادین نفتی هم‌جوار در شرق، غرب و شمال‌غرب، تاق‌دیس ژئوفیزیکی مورد مطالعه را دربر

طی ۱۵ سال گذشته روند تکاملی فناوری‌ها در روش‌های پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی سطحی تداوم یافته است و روش "پی‌جویی‌های تصویرسازی فضایی ژئوشیمیایی به‌منظور اکتشاف منابع نفتی و گازی AGI (Amplified Geochemical Imaging Surveys for Petroleum) Exploration GORE™ در قالب تکنولوژی پیشرفته، ضمن برطرف نمودن نواقص فناوری‌های پیشین، شکل گرفته است. چنانچه این فناوری با سایر ابزارهای اکتشافی نظیر مطالعات ژئوفیزیکی و

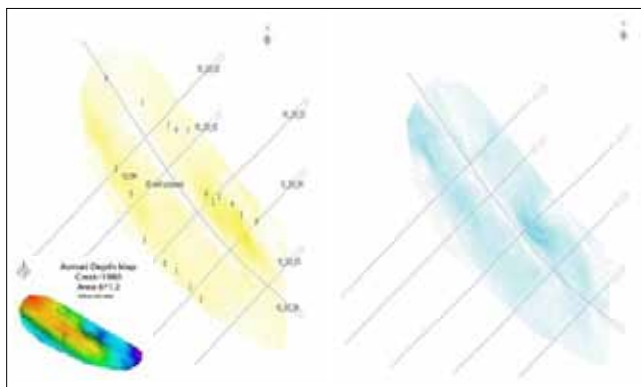


AGI® Module & Installation Schematic

شکل ۱ | ابزار نمونه‌برداری تکنیک AGI و نحوه قرارگیری آن در زمین



شکل ۲ | موقعیت جغرافیایی ساختمان مورد مطالعه



شکل ۳ | نقشه عمقی افق‌های مخزنی سروک (راست) و آسماری (چپ) ساختمان مورد مطالعه

گرفته‌اند (گزارش داخلی مدیریت اکتشاف).

ساختمان مورد مطالعه توسط پنج خط عرضی و یک خط طولی لرزه‌ای در سال ۲۰۱۳ مورد بررسی و تعبیر و تفسیر ژئوفیزیکی قرار گرفته است. در شکل ۳- نقشه ژئوفیزیکی این ساختمان همراه با موقعیت خطوط لرزه‌ای آن به نمایش در آمده است.

همانطور که ملاحظه می‌شود، افق آسماری ساختمان مورد مطالعه با دارا بودن بستگی کم‌عرضی در شمال غرب با یک برآمدگی زمین‌سان واضحی از ساختمان مجاور جدا می‌شود. البته مطالعات مذکور بستگی کوچکی در افق بنگستان این ساختمان نشان داده است که در ادامه‌ی مطالعات به آن پرداخته خواهد شد. با توجه به اینکه سازنده‌های آسماری، ایلام و سروک در محدوده غنی مورد مطالعه از نظر پتانسیل هیدروکربوری (نفت و گاز) و سنگ مخزن حائز اهمیت می‌باشند، لذا هدف اکتشافی این ساختمان ژئوفیزیکی، بررسی پتانسیل هیدروکربوری در سازند آسماری (افق مخزنی اصلی) و گروه بنگستان (افق مخزنی فرعی) است. مطالعات اولیه و گردآوری داده‌ها: داده‌های عمومی موجود در ساختمان مورد مطالعه شامل نقشه جغرافیایی، نقشه راه‌های مواصلاتی، نقشه زمین‌شناسی، نقشه توپوگرافی و داده‌های هواشناسی و اقلیم‌شناسی و داده‌های فنی موجود در ساختمان مورد مطالعه شامل نقشه‌های خطوط تراز زیرزمینی، گزارش مطالعات لرزه‌ای دو بعدی، گزارش مطالعات زمین‌شناسی سطحی، برنامه پیش‌بینی زمین‌شناسی چاه اکتشافی (حفر نشده) و گزارش نهایی نزدیک‌ترین چاه حفاری شده به ساختمان، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند.

با توجه به نیازمندی‌های اطلاعاتی عملیات نمونه‌برداری نظیر وضعیت پوشش گیاهی، توپوگرافی، آب و هوایی و لیتولوژی محدوده مطالعاتی، ضرورت دارد موارد موثری به شرح زیر از ساختمان مورد مطالعه مورد بررسی قرار گیرد:

■ مطالعه در زمینه نحوه تعیین کنترل منفی و کنترل مثبت به صورت مشخص در ساختمان مورد مطالعه

■ تعیین نحوه نمونه‌برداری (تأثیر لیتولوژی، رطوبت و ...، تعیین عمق مناسب نمونه‌برداری، تعیین لوازم نمونه‌برداری و نگهداشت نمونه‌های برداشت شده)

■ تعیین نحوه انتقال نمونه‌های خاک (به‌منظور کاهش حداکثری تأثیرات منفی تغییرات محیطی بر روی داده‌های بیوتکنولوژیکی حاصله از نمونه خاک)

■ تعیین روش موثر ایجاد سطح مبنای<sup>۱۴</sup> برای داده‌های آماری آنومالی‌های حاصل از آنالیز نمونه‌های خاک به‌طور مشخص در ناحیه مطالعاتی

■ تعیین نحوه نگهداری نمونه‌های خاک تا قبل از انجام عملیات

آزمایشگاهی شامل استخراج DNA و ... در شرایط آزمایشگاه

■ نهایی شدن استراتژی نمونه‌برداری براساس توزیع پراکندگی تعداد نمونه‌ها در بخش‌های مختلف ساختار به‌منظور دستیابی به مقادیر قابل قبول از سطح مینا باهدف امکان‌پذیری فرایند مشخص نمودن محل آنومالی‌ها بعد از به‌دست آمدن داده‌های بیوتکنولوژیکی و تعبیر و تفسیر و تلفیق نتایج مطالعه

■ تعیین نوع داده‌های موردنیاز قابل برداشت در عملیات نمونه‌برداری و طراحی جدول داده‌ها<sup>۱۵</sup>

## ۲- طراحی مطالعه میکروبی ژئوشیمیایی سطحی ساختمان مورد مطالعه

به‌طور کلی در پروژه‌های مطالعاتی ژئوشیمیایی سطحی سعی می‌گردد از تمامی داده‌های موجود در محدوده مورد مطالعه استفاده شود تا تفسیر آنومالی‌های ارائه شده هر چه بیشتر به واقعیت نزدیک باشد. نظر به اینکه ضرورت تحقق دو هدف مشخص و اصلی یعنی:

(۱) تعیین حضور، گسترش و ترکیب هیدروکربن‌ها

(۲) تعیین شارژ احتمالی هیدروکربن در نواحی مشخص شده

در مطالعه اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی ساختمان مورد مطالعه از پیش تعیین گردیده، نیاز است طراحی کلیه مراحل مطالعه اکتشافی ژئوشیمی سطحی تحت کنترل وضعیت هدف اکتشافی، مشخصات زمین‌شناسی، توپوگرافی، هیدرودینامیک حوضه، اندازه ساختار هدف، امکان نمونه‌برداری در امتداد خطوط لرزه‌ای، ... و تمهیدات مربوط به پشتیبانی و تدارکات قرار گیرد. مطالعات اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی هم در نواحی بکر و هم در نواحی هدف اکتشافی قابل انجام خواهد بود با این تفاوت که پی‌جویی در نواحی بکر که در آن، مطالعه زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و حفاری صورت نگرفته، هیچ‌گونه اطلاعاتی از حدود، اندازه و شکل مخزن در دسترس نمی‌باشد و استراتژی نمونه‌برداری بدون در نظر گرفتن ابعاد مخزنی، تمام نواحی منطقه مورد مطالعه را به‌صورت یکسان پوشش داده، جداسازی مقادیر سطح مینا بعد از به‌دست آمدن نتایج آزمایشگاهی، از روی شکست نمودارهای هیستوگرام تجمعی مشخص می‌شود. در حالی که پی‌جویی در نواحی مورد توجه از لحاظ وجود هیدروکربن یا پراسپکتیو که در آن قبل از اثبات توسط حفاری چاه، مطالعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی صورت گرفته، به‌واسطه وجود داده‌های زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی از وجود فیزیکی مخزن و نفتگیر، حدود، اندازه و شکل مخزن نیز در دسترس می‌باشد. در این‌گونه نواحی، به‌منظور مشخص کردن مقادیر سطح مینا و تمایز آن از مقادیر آنومالی<sup>۱۶</sup> در تحلیل نتایج آزمایشگاهی، باید قبل از آن از روش‌های جداسازی بهینه آماری در

تعیین استراتژی نمونه‌برداری استفاده نمود.

### ۳- استراتژی نمونه‌برداری ساختمان مورد مطالعه

باتوجه به اینکه نتایج به‌دست آمده از اجرای عملیات نمونه‌برداری تأثیر مستقیمی بر روی کیفیت نتایج مطالعات ژئوشیمیایی سطحی خواهد گذاشت، بنابراین فرایند نمونه‌برداری در مطالعات ژئوشیمی

سطحی از عوامل مهم و نقش‌آفرین در دستیابی به اهداف این مطالعات محسوب می‌شود. در این میان طراحی نمونه‌برداری<sup>۱۷</sup> هرگونه مطالعه ژئوشیمیایی سطحی نیازمند تبیین استراتژی نمونه‌برداری<sup>۱۸</sup> مناسب و هماهنگ با اهداف آن مطالعه خواهد بود. هر استراتژی نمونه‌برداری متأثر از اهداف پیش‌بینی شده آن مطالعه ژئوشیمی سطحی (اکتشافی یا توسعه‌ای) خواهد بود و استراتژی‌های نمونه‌برداری متفاوتی در پی خواهد داشت. بدیهی است در جهت دستیابی به تدوین یک استراتژی مناسب، استفاده از نظرات سایر تخصص‌های علوم زمین نظیر زمین‌شناسی نفت، زمین‌شناسی ساختمانی و چینه‌ای، ژئوفیزیک و مهندسی نفت بسیار مفید خواهد بود. ضمن اینکه در فرایند تعبیر و تفسیر نتایج به‌دست آمده از پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی سطحی نیاز است از دستاوردهای تخصص‌های مذکور در جهت تلفیق نتایج استفاده بهینه نمود. با این توضیحات دستیابی به یک استراتژی مناسب منوط به انجام مطالعات دفتری، انجام بازدیدهای مقدماتی از محدوده مطالعاتی و الزام به استفاده از نتایج سایر مطالعات و فعالیت‌های صورت گرفته در ناحیه مطالعاتی خواهد بود. باید توجه داشت هرگونه تغییر در استراتژی نمونه‌برداری در زمان نمونه‌برداری، زبان‌های جبران‌ناپذیری در اجرای عملیات نمونه‌برداری و بالتبع نتایج مطالعات ژئوشیمیایی سطحی ناحیه مورد مطالعه به همراه خواهد داشت.

به‌منظور ارزیابی وجود هر دو نوع هیدروکربن گازی و مایع در ساختمان مورد مطالعه، بررسی احتمال وجود ترکیب متان (نوع هیدروکربن موجود در مخازن گازی) و ترکیبات پروپان و بوتان (نوع هیدروکربن موجود در مخازن نفتی) و یا هر دو نوع هیدروکربن، عملیات نمونه‌برداری به‌صورت هم‌زمان و در یک نقطه انجام خواهد گرفت و نوع هیدروکربن بر اساس وجود یا عدم‌وجود باکتری‌های متفاوت تعیین خواهد گردید.

در ساختمان مورد مطالعه، تعیین استراتژی نمونه‌برداری به‌عنوان گام نخست در مطالعه ژئوشیمیایی سطحی خواهد بود که براساس داده‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و موقعیت خطوط لرزه‌ای موجود به‌ویژه وضعیت بستگی افق‌های مخزنی آسماری و سروک صورت پذیرفته است (گزارش داخلی مدیریت اکتشاف). در انجام این مهم سعی شده است تا از تمامی داده‌های موجود به منظور تعیین بهینه استراتژی نمونه‌برداری استفاده شود. تبیین نحوه برداشت نمونه‌های سطحی مشتمل بر فواصل مناسب نمونه‌برداری، عمق بهینه برداشت نمونه و تعداد نمونه‌ها در بخش‌های مختلف سطحی ساختار مورد مطالعه بسیار مهم خواهد بود. نظر به اینکه تحلیل و تفسیر نتایج حاصله از روش‌های پی‌جویی ژئوشیمیایی سطحی بر پایه علم آمار استوار است (Tedesco, ۱۹۹۵)، در این مطالعه، استراتژی نمونه‌برداری براساس مدل آماری جداسازی ۸۰/۲۰<sup>۱۹</sup> طراحی

#### لیست خطوط ژئوفیزیکی و خطوط MPOG همراه با موقعیت این

#### نقاط نسبت به ساختمان مورد مطالعه

ردیف	شماره خط	توضیحات
۱	Seismic line-1	در امتداد شمال‌شرق جنوب‌غرب ساختمان مورد مطالعه، غربی‌ترین خط لرزه‌ای
۲	Seismic line-2	در امتداد عرضی با جهت‌گیری شمال‌شرق- جنوب‌غرب ساختمان مورد مطالعه
۳	Seismic line-3	در امتداد عرضی با جهت‌گیری شمال‌شرق- جنوب‌غرب ساختمان مورد مطالعه
۴	Seismic line-4	در امتداد عرضی با جهت‌گیری شمال‌شرق- جنوب‌غرب ساختمان مورد مطالعه
۵	Seismic line-5	در امتداد عرضی با جهت‌گیری شمال‌شرق- جنوب‌غرب ساختمان مورد مطالعه، شرقی‌ترین خط لرزه‌ای
۶	Seismic line-6	در امتداد طولی با جهت‌گیری شمال‌غرب- جنوب‌شرق ساختمان مورد مطالعه
۷	SD-MPOG-001	شمالی‌ترین خط SD-MPOG به موازات خط Seismic line-6
۸	SD-MPOG-002	به موازات خط Seismic line-6
۹	SD-MPOG-003	به موازات خط Seismic line-6
۱۰	SD-MPOG-004	به موازات خط Seismic line-6
۱۱	SD-MPOG-005	به موازات خط Seismic line-6
۱۲	SD-MPOG-006	به موازات خط Seismic line-6
۱۳	SD-MPOG-007	به موازات خط Seismic line-6
۱۴	SD-MPOG-008	به موازات خط Seismic line-6
۱۵	SD-MPOG-009	غربی‌ترین خط SD-MPOG، بین و به موازات خطوط ژئوفیزیکی Seismic line-1 و Seismic line-2
۱۶	SD-MPOG-010	بین و به موازات خطوط ژئوفیزیکی Seismic line-1 و Seismic line-2
۱۷	SD-MPOG-011	بین و به موازات خطوط ژئوفیزیکی Seismic line-1 و Seismic line-2
۱۸	SD-MPOG-012	بین و به موازات خطوط ژئوفیزیکی Seismic line-1 و Seismic line-2
۱۹	SD-MPOG-013	بین و به موازات خطوط ژئوفیزیکی Seismic line-2 و Seismic line-3
۲۰	SD-MPOG-014	بین و به موازات خطوط ژئوفیزیکی Seismic line-2 و Seismic line-3
۲۱	SD-MPOG-015	بین و به موازات خطوط ژئوفیزیکی Seismic line-2 و Seismic line-3
۲۲	SD-MPOG-016	بین و به موازات خطوط ژئوفیزیکی Seismic line-2 و Seismic line-3
۲۳	SD-MPOG-017	بین و به موازات خطوط ژئوفیزیکی Seismic line-2 و Seismic line-3
۲۴	SD-MPOG-018	بین و به موازات خطوط ژئوفیزیکی Seismic line-2 و Seismic line-3
۲۵	SD-MPOG-019	بین و به موازات خطوط ژئوفیزیکی Seismic line-3 و Seismic line-4
۲۶	SD-MPOG-020	بین و به موازات خطوط ژئوفیزیکی Seismic line-4 و Seismic line-5
۲۷	SD-MPOG-021	به موازات خط ژئوفیزیکی Seismic line-6، تا محل چاه شماره-۱ میدان نفتی مجاور

قبیل دستگاه‌های مکان‌یاب، آگر، بیل و بیلچه، پاکت‌های مخصوص نمونه‌برداری هریک از تکنیک‌های مطالعاتی، استفاده از پروتکل‌های استاندارد نمونه‌برداری، لوازم مخصوص حمل نمونه، لیبلینگ و نگهداشت نمونه در محل اردوگاه، استفاده از روش‌ها و ابزارهای مناسب بسته‌بندی و انتقال نمونه به آزمایشگاه و برنامه‌ریزی مدیریتی اجرای کارآمد عملیات از ملزومات اساسی محسوب خواهد شد.

از نیازهای اساسی هر عملیات نمونه‌برداری، بهره‌مندی از یک پایگاه و مدیریت داده می‌باشد. از مهم‌ترین اطلاعات و داده‌های فرایند نمونه‌برداری، اطلاعات مربوط به نمونه برداشت شده طی عملیات نمونه‌برداری است که می‌تواند شامل: نام ناحیه مطالعاتی یا ساختمان مورد نمونه‌برداری، شماره نمونه (در استراتژی نمونه‌برداری/ در عملیات صحرائی)، مشخصات جغرافیایی و توپوگرافی محل نمونه‌برداری، زمان نمونه‌برداری، شماره و عمق چاله حفرشده، نوع ابزار استفاده شده جهت نمونه‌برداری، شماره ترک GPS، نام نمونه‌بردار و نام ناظر عملیات نمونه‌برداری، شماره عکس مربوطه، سازند نمونه‌برداری شده، مواد افزودنی جهت نگهداشت نمونه، لیبلینگ نمونه، شماره کول‌باکس نمونه، روش نگهداشت نمونه در فرایند انتقال به آزمایشگاه و ... باشد. ضرورت دارد تمامی موارد مذکور در قالب یک داده‌برگ (دیتاشیت) توسط گروه نمونه‌برداری ضبط شده و در اختیار مدیریت داده<sup>۲۰</sup> عملیات نمونه‌برداری که مسئولیت برنامه‌ریزی و حصول، پردازش، نگهداشت، مکتوب‌سازی، کنترل کیفی، پشتیبان‌گیری و حفاظت داده‌ها و اطلاعات و همچنین دسته‌بندی، نهایی‌سازی و سورتینگ داده‌های فیزیکی و دیجیتالی را عهده‌دار است، قرار داده شود. در عملیات نمونه‌برداری ساختمان مورد مطالعه، به‌منظور برداشت نمونه

شده است. در این روش با در نظر گرفتن برداشت ۲۰٪ از تعداد کل نمونه‌ها بر روی مناطق با حداکثر احتمال نشست هیدروکربن سبک و برداشت ۸۰٪ از تعداد کل نمونه‌ها در مناطق با حداکثر احتمال عدم‌نشست هیدروکربن سبک (خارج از بستگی ساختمان)، قادر به ایجاد شکست مصنوعی در نمودار هیستوگرام تجمعی می‌باشد. این شکست نمودار که حفاصل نمونه‌های برداشتی در ناحیه حداکثر احتمال نشست و نمونه‌های برداشتی در ناحیه حداکثر احتمال عدم‌نشست می‌باشد، در تمایز مقادیر آنومالی و مقادیر سطح مبنا کمک شایانی می‌نماید. همچنین در این مطالعه به‌منظور استفاده از داده‌های آنومالی ساختمان مجاور، نمونه‌برداری به‌صورت خطی منظم در امتداد و موازات یکی از خطوط نمونه‌برداری از ساختمان مورد مطالعه تا محل چاه شماره یک میدان نفتی مجاور انجام شده است.

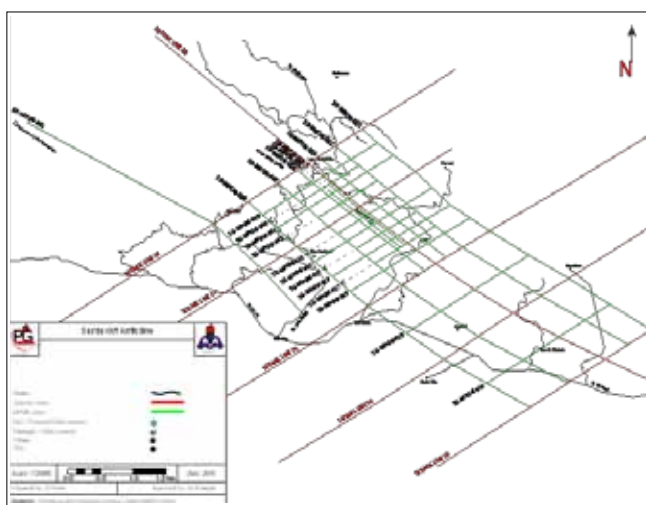
استراتژی نمونه‌برداری استفاده شده در این مطالعه از نوع شبکه‌ای با تمرکز نمونه‌ها بر روی خطوط لرزه‌ای و مابین خطوط به‌صورت موازی با خطوط لرزه‌ای انتخاب شده و به‌منظور پوشش حداکثری، ۲۰ درصد نمونه‌ها در محدوده بستگی موجود در افق مخزنی سازند آسماری (به‌صورت هم‌پوشانی با افق مخزنی سروک) و ۸۰ درصد نمونه‌ها در خارج از محدوده بستگی این سازند به‌منظور تعیین محدوده آستانه برداشت گردیده است. بنابراین نمونه‌ها بر روی دو گروه خطوط منظم برداشت شده است:

(۱) نمونه‌های برداشت شده بر روی خطوط لرزه‌ای که بر روی نقشه‌ها با عنوان خط‌های لرزه‌ای مشخص شده است (خطوط قرمز).  
(۲) نمونه‌های برداشت شده بر روی خطوط در امتداد و عمود بر خطوط لرزه‌ای که این خط‌ها با اسامی SD-MPOG مشخص شده‌اند (خطوط سبز).

به‌طور کلی تعداد ۲۱ خط SD-MPOG مشخص گردیده است که همراه با شش خط لرزه‌ای موجود در ساختمان مورد مطالعه، تمامی نمونه‌ها بر روی آنها برداشت گردیده است (جدول-۱). موقعیت این خطوط بر روی نقشه نشان داده شده است (شکل-۴).

#### ۴- اجرای عملیات نمونه‌برداری

پس از تهیه و تدوین استراتژی نمونه‌برداری هر نوع مطالعه ژئوشیمیایی سطحی، گام بعدی اجرای عملیات نمونه‌برداری براساس طراحی نمونه‌برداری صورت پذیرفته در قالب استراتژی تعیین شده خواهد بود. در اجرای عملیات نمونه‌برداری برپایی کمپ، پیمایش اولیه به‌منظور شناسایی مسیرهای دسترسی، بررسی نقاط نمونه‌برداری، راه‌اندازی و آموزش گروه‌های نمونه‌برداری، آماده‌سازی تجهیزات و ادوات لازم از



شکل ۴ | موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده نسبت به خطوط لرزه‌ای (قرمز) و خطوط SD-MPOG (سبز) در محدوده ساختمان مورد مطالعه

نمونه‌برداری مطالعه، نمونه‌ها از خواص مشابه و یکسانی برخوردار باشند و چنانچه محدوده مطالعاتی دارای تنوع بالایی در خواص متفاوت خاک سطحی باشد باید به قطعاتی یکنواخت از ویژگی‌های فوق تفکیک و سپس مورد عملیات نمونه‌برداری و سایر مراحل مطالعه قرار گیرند. لیکن از آنجایی که محدوده مورد مطالعه این پروژه از شرایط اقلیمی، جغرافیایی، لیتولوژیکی و پدولوژیکی تقریباً یکسان و مشابهی برخوردار بوده و پوشش گیاهی بسیار ضعیفی در منطقه گسترش داشته، می‌توان تفاوت‌های ناچیز در این محدوده را نادیده انگاشته و تنها با در نظر گرفتن عمق تقریباً مشابه در حفره‌های نمونه‌برداری به اجرای عملیات نمونه‌برداری در محدوده مطالعاتی پروژه مبادرت ورزید. البته عمق نمونه‌گیری بسته به روش مطالعاتی متغیر است. در روش‌های ژئوشیمی سطحی عمق نمونه‌گیری از سطح تا عمق ۱۰ متر متفاوت می‌باشد. عمق ترجیحی در روش‌های وابسته به باکتری بین ۰/۲ تا ۲ متر می‌باشد. نمونه‌گیری از سطح خاک به دلیل تغییرات آب و هوایی، رطوبت و شرایط دیگر خاک انجام نمی‌شود. در محل هر نمونه برداشت شده، اطلاعات مربوط به هر نمونه و محل برداشت آن از قبیل اطلاعات صدرالذکر در جدولی نظیر جدول-۲ ثبت می‌گردد. عملیات نمونه‌برداری مطالعه ژئوشیمیایی ساختمان مورد مطالعه با برداشت ۵۷۸ نمونه خاک اجرا گردید. نمونه‌های برداشت شده جهت

در محل‌های از پیش تعیین شده با اوگر مته‌ای اقدام به حفر حفره‌هایی به عمق تقریبی ۰/۵ متر گردید. دسته T شکل اوگر در آخرین دوران به آرامی از چاله خارج شده (جلوگیری از اختلاط با خاک افق‌های بالاتر) سپس توسط فالدکون‌های نمونه‌گیری مقدار ۴ گرم از نمونه خاک در دسترس در میکروتیوب‌های ۲ میلی‌لیتری به منظور انجام آنالیزهای مولکولی برداشت و در ظروف خاص حمل نمونه‌های مذکور ذخیره می‌شود. نمونه رزرو یا پشتیبان<sup>۲۱</sup> نیز با روش و میزان مشابه برداشت می‌شود. مقدار ۱۰ گرم از همان نمونه خاک نیز در فالدکون‌های ۱۵ میلی‌لیتری به منظور انجام آزمایش‌های غیرزیستی برداشت می‌شود. جهت نگاهداری و انتقال نمونه‌های برداشت شده در سرزمین، به منظور اجتناب از تخریب محتوای زیستی موجود در نمونه‌های خاک برداشت شده و حفظ آن در شرایط زمان برداشت نمونه تا زمان انجام آنالیز آن در محل آزمایشگاه، نیاز است پس از برداشت نمونه‌ها بلافاصله میکروتیوب‌های واجد نمونه در کمترین دمای ممکن قرار گیرند و در همین دما به آزمایشگاه منتقل شوند. به همین منظور از تانک‌های قابل حمل نیتروژن مایع در عملیات نمونه‌برداری این مطالعه استفاده شده است. البته فالدکون‌های ۱۵ میلی‌لیتری از این شرایط مستثنی هستند و نگهداری آنها در دمای محیط انجام می‌شود. در اجرای فرایند برداشت نمونه باید سعی شود، طبق استراتژی

نمونه جدول ثبت اطلاعات نمونه برداشت شده												
YEAR	2015			MONTH			DAY			30 th		
SAMPLE NO:	S.20			SAMPLE ID:			1.1-2.8			LOCATION:		
ELEVATION:	m			PRESERVATION METHOD:			N <sub>2</sub>			RNA LATER		
FORMATION:	BK	AJ	ND	SOIL HUMIDITY			W			M		
VEGETATION	G	M	P	BEDDING:			0°			TEMPRETURE		
ADDITIVE:				CONTAINER VOLUME:			1.8 ml			2 ml		
BORE HOLE DEPTH:	50 cm			REPLACE WITH:			N:			32		
EXTRA SAMPLE NO.	E.S.20			DIGGING TOOL:			AUGER			SHOWEL		
FIELD NOTE:	1:			2:			3:			4:		
SUPERVISOR:	SIGNITURE			SUPERVISOR COMMENTS:								



انجام آنالیزهای مولکولی، در محل اردوگاه در تانک نیتروژن مایع نگهداری شدند. برداشت نمونه‌های پشتیبان و همچنین نمونه خاک در ظروف فالكون ۱۵ میلی‌لیتری در دستور کار بوده است. نمونه‌های خاک تا زمان استخراج DNA در فریزر  $80^{\circ}\text{C}$ - آزمایشگاه نگهداری می‌شوند.

#### ۵- انجام آنالیزهای مولکولی (با یوتکنولوژی)

به منظور انجام آنالیزهای مولکولی بر روی نمونه‌های خاک برداشت شده از ساختمان مورد مطالعه و استخراج DNA آنها، نیاز است نمونه‌ها مراحل مقدماتی را طی نمایند. در طی این مراحل ابتداء مقدار ۲ گرم خاک با ۱۸ میلی‌لیتر سرم فیزیولوژی استریل مخلوط گردیده و به منظور همگن‌سازی اجزای نمونه، ذرات فلزی به سوسپانسیون اضافه می‌گردد. سپس به مدت ۱۵ دقیقه در تکان دهنده افقی<sup>۲۲</sup> با حداکثر توان مخلوط می‌شوند. سوسپانسیون خاک به مدت ۱۰ دقیقه در حالت ساکن نگهداری گردیده و پس از رسوب یافتن ذرات خاک، فاز رویی برای استخراج DNA استفاده می‌شود. فاز رویی با سانتریفیوژ با سرعت  $4000 \times g$  و مدت ۳۰ دقیقه رسوب داده می‌شود. به منظور استخراج DNA، بر روی رسوب به دست آمده از فرایند فوق، مقدار  $1/5$  میلی‌لیتر محلول بافر لیز کننده<sup>۲۳</sup> اضافه می‌شود. ترکیب لیز بافر شامل ۲ میلی‌مول EDTA، ۴۰۰ میلی‌مول NaCl، ۱۰ میلی‌مول Tris-HCl (pH=۸)، ۰/۶ درصد SDS و ۲۰ میلی‌گرم پرتیناز K می‌باشد. پس از این مرحله نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در  $37^{\circ}\text{C}$  و متعاقب آن ۱۵ دقیقه در  $100^{\circ}\text{C}$  قرار داده می‌شوند. ترکیبات لیز بافر موجب هضم شیمیایی دیواره سلولی شده و با غیرفعال نمودن آنزیم‌های تجزیه کننده DNA موجب حفاظت DNA استخراج شده می‌شود. به کارگیری حرارت باعث افزایش اثربخشی ترکیبات لیز بافر می‌گردد. در ادامه لازم است DNA از سایر ناخالصی‌های پروتئینی، لیپیدی و کربوهیدراتی به جای مانده از تجزیه سلول‌های باکتریایی جداسازی و تخلیص شود. برای این منظور ابتدا نمونه‌ها با سرعت  $12000 \times g$  و مدت ۱۰ دقیقه در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  سانتریفیوژ می‌شوند. به این ترتیب ذرات باقی مانده خاک به همراه ذرات درشت حاصل از متلاشی شدن باکتری‌ها رسوب پیدا می‌کنند و DNA به همراه برخی ناخالصی‌ها در فاز رویی قرار می‌گیرند. مایع رویی برداشت و به تیوب جدیدی انتقال می‌یابد. در ادامه برای تفکیک DNA از بقایای پروتئینی، بر روی مایع، مقدار ۵۰۰ میلی‌لیتر فنول-کلروفرم-ایزواکلیل الکل (۱:۲۴:۲۵) اضافه می‌شود و مجدداً با سرعت  $12000 \times g$  و مدت ۱۰ دقیقه در دمای  $4^{\circ}\text{C}$  سانتریفیوژ می‌گردد تا بقایای پروتئینی به صورت رسوب در ته تیوب ته‌نشین شود. مجدداً فاز رویی

به تیوب جدید انتقال داده شده و برای خالص‌سازی بیشتر DNA، این بار مقدار ۵۰۰ میکرولیتر کلروفرم-ایزواکلیل الکل بر روی مایع اضافه می‌گردد. پس از تکرار سانتریفیوژ با سرعت  $12000 \times g$  و مدت ۱۰ دقیقه در دمای  $4^{\circ}\text{C}$ ، مایع رویی به تیوب جدید منتقل می‌شود. در صورت لزوم این مرحله تکرار می‌شود تا زمانی که فاز رویی، مایعی شفاف و عاری از آلودگی‌های پروتئینی گردد. سپس بر روی فاز مایع رویی انتقال یافته به تیوب جدید مقدار هم‌حجم ایزوپروپانول  $20^{\circ}\text{C}$ - اضافه شده و به مدت ۲۰ دقیقه در فریزر قرار می‌گیرد. پس از سانتریفیوژ کردن در  $12000 \times g$  و مدت ۱۰ دقیقه، DNA استخراج و خالص شده، رسوب داده شده و در نهایت DNA رسوب یافته در ۳۰ میکرولیتر آب دیونیز حل می‌شود. غلظت DNA استخراج شده (نانوگرم در هر میکرولیتر) با نانودراپ<sup>۲۴</sup> بررسی می‌شود. نانودراپ نوعی اسپکترومتر مخصوص برای تعیین غلظت مولکول‌های DNA، RNA، و پروتئین‌هاست. به دست آمدن غلظت مناسب DNA در کنار خلوص بالای آن نیز از شروط موفقیت سایر مراحل آنالیزهای مولکولی نظیر PCR (افزایش دهنده تعداد مولکول‌های زیستی DNA، ...) می‌باشد. برای ارزیابی غلظت DNA از طول موج ۲۶۰ نانومتر و برای تعیین خلوص DNA از نسبت طول موج‌های  $260/280$  در طیف‌سنجی استفاده شده است. شایان ذکر است شرایط ایده‌آل برای آزمایش PCR، شامل غلظت DNA بالاتر از ۲۵ نانوگرم و خلوص (نسبت طول موج  $260/280$ ) بین ۱/۸ تا ۲ می‌باشد.

اعمال تغییرات در غلظت‌های  $\text{MgCl}_2$ ، آنزیم taq پلی‌مراز، پرایمر، DNA الگو، دمای الحاق پرایمرها، مدت زمان الحاق پرایمرها، مدت زمان دناتوراسیون و زمان توسعه نهایی از فرایندهای بهینه‌سازی یا اپتیمایز کردن عوامل دخیل در واکنش PCR است. در فرایندهای آزمایشگاهی این مطالعه، از باکتری‌های *Methylibium petroleiphilum* و *Pseudomonas butanovora* به عنوان شاهد مثبت در آزمایش‌ها استفاده شده است. استخراج DNA از این باکتری‌ها بر اساس روش استخراج تشریح شده برای نمونه‌های خاک انجام می‌گیرد، با این تفاوت که دما و زمان گرم‌خانه‌گذاری<sup>۲۶</sup> به ترتیب  $75^{\circ}\text{C}$  و ۴۵ دقیقه در نظر گرفته می‌شود. سایر مراحل نظیر به کارگیری فنول-کلروفرم-ایزواکلیل الکل و رسوب‌دهی با ایزوپروپانول مشابه روش مورد استفاده برای نمونه‌های خاک می‌باشد.

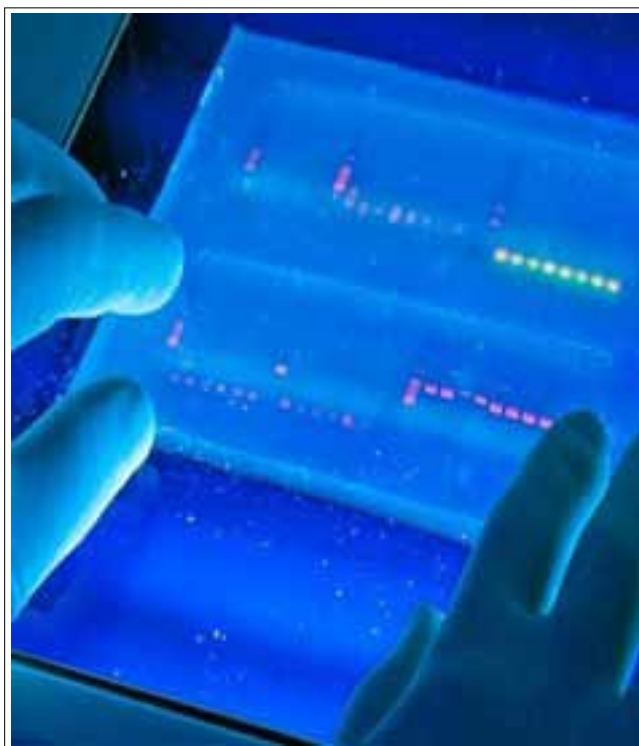
جهت تمایز باکتری‌های مصرف کننده متان، بوتان و پروپان، از توالی ژن‌های منواکسیژناز موجود در بانک ژنی<sup>۲۷</sup> استفاده گردید. توالی که در ژنوم باکتری‌های متنوع bmoX و pmxA<sub>1</sub>mmoX ژن‌های موجود در خاک‌های سطحی مخازن نفتی وجود دارند، برای طراحی

به مدت ۶۰ ثانیه جهت دناتوراسیون، برای اتصال پرایمرهای prmA و bmoX دمای ۵۶°C و برای پرایمر mmoX دمای ۵۸°C به مدت ۴۵ ثانیه در نظر گرفته می‌شود. از دمای ۷۲°C به مدت یک دقیقه جهت توسعه توالی هدف و در نهایت یک مرحله دمایی ۷۲°C به مدت ۵ دقیقه برای توسعه نهایی اعمال می‌گردد. به منظور کمی‌سازی داده‌های به دست آمده (علاوه بر امکان استفاده از دستگاه qPCR)، با استفاده از نتایج آنالیزهای انجام شده، می‌توان از روش ژل الکتروفورز<sup>۲۸</sup> بهره‌مند شد. ژل الکتروفورز یک روش جداسازی و آنالیز مولکول‌های زیستی (DNA، RNA) و پروتئین‌ها) بر اساس اندازه و بار الکتریکی می‌باشد. این تکنیک در آزمایشگاه‌های تشخیصی جهت جداسازی پروتئین‌ها و در بیوشیمی و دیگر گرایش‌های علوم سلولی و مولکولی به منظور جداسازی قطعات DNA و RNA و مولکول‌های پروتئینی دارای اندازه‌های مختلف استفاده می‌شود. مولکول‌های اسید نوکلئیکی با اعمال یک میدان الکتریکی در ژل آگارز و گاهی اوقات ژل اکریل امید حرکت می‌نمایند و بر اساس اندازه تفکیک می‌شوند. مولکول‌های کوچک‌تر به واسطه مهاجرت راحت‌تر آنها در منافذ ژل سریع‌تر از مولکول‌های بزرگ‌تر حرکت می‌نمایند. بعد از اتمام عمل الکتروفورز و جهت مشاهده مولکول‌های موجود در ژل، رنگ‌آمیزی انجام می‌گیرد. به منظور بررسی و ثبت نتیجه ژل الکتروفورز از دستگاه ژل داگ<sup>۲۹</sup> استفاده می‌شود. به منظور رنگ‌آمیزی DNA می‌توان از اتیدیوم بروماید استفاده نمود. این رنگ هنگامی که بین دو رشته DNA قرار می‌گیرد، تحت نور فرابنفش، فلورسانس ساطع نموده و به منظور عکس‌برداری از ژل‌های رنگ‌آمیزی شده از دستگاه ژل داگ استفاده می‌نمایند (شکل-۵).

از آنجایی که ابعاد و شدت رنگ ایجاد شده توسط باندهای مختلف نسبت به هم متفاوت بوده و متأثر از میزان اولیه DNA در واکنش PCR می‌باشد، لذا با آنالیز شدت رنگ باند می‌توان مقدار DNA الگو در نمونه اولیه را تخمین زد. در مطالعه اخیر از نرم‌افزار استانداردسازی یافته‌های آزمایش الکتروفورز، نمونه‌های PCR با مقادیر اولیه ۵، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ نانوگرم از DNA الگو تهیه و پس از انجام مراحل دمایی و زمانی متعارف PCR، اندازه و شدت رنگ باند به دست آمده مورد ارزیابی قرار گرفت. این آزمون سهم رتبه برای هر یک از ژن‌های متان (mmoX)، بوتان (bmoX) و پروپان (prmA) و در مجموع ۹ بار تکرار گردیده و جهت ترسیم منحنی استاندارد و ارزیابی باندهای به دست آمده از آنالیز نمونه‌های خاک مورد استفاده قرار گرفته است و به استناد منحنی استاندارد به دست آمده، کمیت ژن مربوطه در نمونه

پرایمر استفاده گردید و برای این منظور نرم‌افزار Beacon Designer ۷,۱ استفاده شده است. هم‌پوشانی و بخش‌های حفاظت شده هر ژن شناسایی و پرایمرها طوری طراحی می‌شود تا بتوانند باکتری‌های مصرف‌کننده متان، بوتان و پروپان را از هم تفکیک و شناسایی نمایند (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/ncbisearch/>).

برای هر ژن از هر نمونه به تفکیک واکنش PCR انجام گرفته است. حجم واکنش برای هر نمونه ۲۵ میکرولیتر در نظر گرفته شده است. واکنش PCR با یک مرحله دمایی ۹۴°C به مدت ۵ دقیقه برای دناتوراسیون اولیه آغاز می‌شود. سپس ۳۵ سیکل متوالی شامل ۹۴°C



۵ | مشاهده باندهای تفکیک شده بر روی آگارز تحت نور ماورای بنفش



۶ | ژل الکتروفورز محصول PCR؛ L، P و N بهترین مارکر، شاهد مثبت و منفی است؛ وجود باند اختصاصی در نمونه‌های ۲، ۴، ۶ و ۷ و عدم حضور ژن مزبور در نمونه‌های ۱، ۳، ۵، ۸ و ۱۲

نتایج کمی و کیفی آنالیز مولکولی برخی از نمونه‌های ساختمان مورد مطالعه

LINE	LAB-ID	prmA (Propane)	bmoX (Butane)	mmoX (Methane)	prmA (Propane)	bmoX (Butane)	mmoX (Methane)
132	Seismic Line-1	N	N	N	-	-	-
134	Seismic Line-1	N	N	N	-	-	-
224	Seismic Line-2	P	P	P	40	30	20
295	Seismic Line-3	N	N	P	-	-	10
485	Seismic Line-5	P	P	N	40	40	-
486	Seismic Line-6	N	N	N	-	-	-
488	Seismic Line-5	P	P	P	50	50	10
489	Seismic Line-6	P	P	P	60	50	10
490	Seismic Line-5	P	P	P	60	60	10
491	Seismic Line-6	N	N	N	-	-	-
497	Seismic Line-5	N	N	N	-	-	-
498	Seismic Line-6	N	N	N	-	-	-
808	SD-MPOG-004	N	P	N	-	50	-
809	SD-MPOG-004	P	P	N	30	50	-
401	SD-MPOG-007	N	P	P	-	10	30
402	SD-MPOG-007	N	N	N	-	-	-
23	SD-MPOG-002	P	P	N	10	10	-
189	SD-MPOG-002	P	P	N	10	10	-
223	SD-MPOG-003	P	N	P	20	-	50
273	SD-MPOG-003	P	P	P	10	10	30
274	SD-MPOG-003	P	P	P	20	20	30
278	SD-MPOG-003	N	N	N	-	-	-
845	SD-MPOG-005	P	P	P	50	60	10
846	SD-MPOG-005	N	N	N	-	-	-
333	SD-MPOG-006	N	N	N	-	-	-
27	SD-MPOG-007	N	N	N	-	-	-
395	SD-MPOG-007	N	N	P	-	-	30
847	SD-MPOG-005	P	P	P	50	50	20
431	SD-MPOG-008	N	N	N	-	-	-
322	SD-MPOG-006	P	P	P	50	40	20
901	SD-MPOG-021	P	P	P	30	40	20
902	SD-MPOG-021	P	P	P	30	30	10

اولیه محاسبه گردیده است.

می‌باشند (شکل-۶).

نتایج آنالیزهای بیوتکنولوژیکی شامل حضور یا عدم حضور ژن‌های اکسیدکننده هیدروکربن‌های گازی سبک همراه با مقادیر کمی میزان ژن‌های اکسیدکننده متان (mmoX)، بوتان (bmoX) و پروپان (prmA) در هر نمونه همراه با شماره خطوط برداشتی در جدول-۳ آورده شده است. در این جدول که برگزیده‌ای از نتایج آزمایشگاهی تمامی نمونه‌های ساختمان مورد مطالعه می‌باشد، نمونه‌های دارای ژن‌های اکسیدکننده هیدروکربن با حرف اختصاری P (Positive) و نمونه‌های فاقد ژن‌های اشاره شده با حرف اختصاری N (Negative) نشان داده شده است. ■

نتایج آنالیزهای بیوتکنولوژیکی نمونه‌های خاک ساختمان مورد مطالعه: یافته‌های مربوط به جستجوی ژن‌های بوتان (bmoX)، پروپان (prmA) و متان (mmoX) در جدول-۲ نشان داده شده است. بر اساس این یافته‌ها، به ترتیب  $13\% < 69$  (نمونه)،  $13\% > 74$  (نمونه) و  $12\% > 68$  (نمونه) از نظر ژن‌های متان، بوتان و پروپان مثبت ارزیابی می‌شوند. به علاوه،  $18\%$  (نمونه) حاوی حداقل یکی از سه ژن و به ترتیب  $10\%$  (نمونه) و  $5\%$  (نمونه) از نمونه‌ها به‌طور هم‌زمان حاوی دو و سه ژن مربوطه هستند. بدیهی است نمونه‌های واجد ارزیابی مثبت در خطوط متفاوت نمونه‌برداری در سراسر ساختمان مورد مطالعه پراکنده

### پانویس‌ها

- |   |  |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diffusion</li> <li>2. Effusion</li> <li>3. Buoyancy</li> <li>4. Microseepage</li> <li>5. Macroseepage</li> <li>6. Soil Gas</li> <li>7. Microbial Prospecting of Oil &amp; Gas (MPOG)</li> <li>8. Reconnaissance Area</li> <li>9. Prospect Area</li> <li>10. NGRI</li> <li>11. OIBD</li> <li>12. Remaining Oil</li> <li>13. Gas Sensors</li> <li>14. Background Level</li> <li>15. Data Sheet</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>16. Anomaly</li> <li>17. Sampling Design</li> <li>18. Sampling Strategy</li> <li>19. 8020/ Split Method</li> <li>20. Data Management Plan (DMP)</li> <li>21. Samples Backup</li> <li>22. Vortex</li> <li>23. Lysis buffer</li> <li>24. Nanodrop 1000 (Thermo Scientific USA)</li> <li>25. Polymerase Chain Reaction (PCR)</li> <li>26. Incubation</li> <li>27. NCBI: National Center for Biotechnology Information</li> <li>28. Electrophoresis Gel</li> <li>29. Gel Documentation</li> </ol> |
|---|--|

### منابع

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Sundberg, K.R., Surface geochemistry application in oil and gas exploration. Phillips Petroleum Company. Bartlesville, Okla. 1994.
- [4] Wagner, M., Wagner, M., Piske, J. and Smit, 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.
- [5] Kumar, B., Patil, D.J., Kalpana, G., National facility for studies on surface geochemical prospecting of hydrocarbons. In: Proceeding of 9<sup>th</sup> India Oil and Gas Review Symposium, 9-10 Sept. 2002, Mumbai, pp:274-278.
- [6] خالقی‌طرقی، مهدی؛ مطالعات اکتشافی ژئوشیمیایی سطحی منابع هیدروکربوری، مجله اکتشاف و تولید نفت و گاز، مردادماه ۱۳۹۸، شماره ۱۶۶، ص ۱۴-۴.
- [7] Yuan, Z.H, Zhang, Y.Q., Zhao, Q., et al. New progress of microbial prospecting of oil and gas in China: Taking the Satellite Oilfield in Daqing as an example. Science in China Series D: Earth Sciences, 2009, 152 - 158.
- [8] Kumar, B., Patil, D.J., Kalpana, G., C. Vishnu Vardhan., Geochemical prospecting of hydrocarbons in frontier basins of India. Serch and Discovery Article #10138, AAPG Online Journal. 2004.
- [9] Baum, M., Schmitt, M., Wagner, M., Westeriage, C., Geochemical and microbiological surface investigation in Northern Germany indicates interesting hydrocarbon potential. Oil Gas European Magazine 1. 2008: 10-14.
- [10] Gore, W.L., and Associates. A Comparison of surface geochemical techniques. INC. 2004.
- [11] Thompson, C.K., The Airborne gas sensor and its role in exploration reconnaissance. In: Gottlieb, B.M (Editor), Unconventional methods in exploration for petroleum and natural gas. Southern Methodist University Press, Dallas. 1981. pp:240-248.