

مروری بر کاربرد ژئوشیمی در مطالعات تولید، توسعه و ازدیاد برداشت مخازن هیدروکربنی

ولی مهدی پور، دانشجوی دکتری مهندسی اکتشاف نفت دانشگاه صنعتی امیر کبیر ■ زهرا صادق طبقی، دانشجوی دکتری مهندسی مخازن هیدروکربوری
دانشگاه صنعتی امیر کبیر ■ احمد رضا ربانی، استاد گروه مهندسی اکتشاف نفت دانشگاه صنعتی امیر کبیر

چکیده

امروزه علم ژئوشیمی از کاربردهای مرسوم خود پا فراتر نهاده و علاوه بر اکتشاف، کاربرد گسترده‌ای در مطالعات مخزن، ازدیاد برداشت، بهره‌برداری و محیط‌زیست یافته است. علم ژئوشیمیایی در زمان کوتاه‌تر، هزینه‌ی کمتر و دقت بیشتر نسبت به سایر روش‌های موجود، میزان پیوستگی مخزن را مورد بررسی قرار داده و پیشنهاد مناسب در خصوص سناریوهای ازدیاد برداشت از مخزن ارائه می‌دهد. بحث پیوستگی یا زون‌بندی مخزن یکی از مهمترین موضوعات در تصمیم‌گیری‌های مربوط به یک میدان است که می‌تواند یک میدان را اقتصادی و یا در اثر تصمیم‌گیری‌ها و طراحی‌های نادرست، غیراقتصادی نماید. مطالعه‌ی زون‌بندی مخزن در مدیریت مخزن، تخمین ذخیره‌ی یک میدان، توسعه‌ی میدان، طراحی روش برداشت از مخزن، طراحی روش ازدیاد برداشت، تصمیم‌گیری در مورد تعداد چاه‌ها و موقعیت آنها در میدان، طراحی تاسیسات سرچاهی و یا به طور کلی در به دست آوردن ساختار مخزن به منظور طراحی و اعمال تصمیمات در آینده اهمیت اساسی دارد. در این مقاله به معرفی کاربردهای نوین علم ژئوشیمی در بررسی میزان پیوستگی مخزن و شناسایی سدهای جریانی، شناسایی زون‌های تولیدی، تعیین سهم تولید، رسوب آسفالتین، ترش‌شدگی مخزن و همچنین شناسایی منشأ آلودگی‌های هیدروکربنی پرداخته شده است.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۹/۰۹/۰۴
تاریخ ارسال به داور: ۹۹/۰۹/۰۵
تاریخ پذیرش داور: ۹۹/۱۱/۰۴

واژگان کلیدی:

ژئوشیمی مخزن، ازدیاد برداشت، آسفالتین، سدهای جریانی.

مقدمه

ارزیابی مخازن و ازدیاد برداشت انجام شده است. هنگام مواجهه با مشکلات تولید، زمان، بسیار حیاتی شده و هر وقفه یا کوتاهی در تولید، کاهش درآمد را به دنبال دارد. اگرچه بسیاری از مشکلات این‌چنینی را می‌توان با تکنیک‌های مرسوم مهندسی نفت اداره کرد، اما باید توجه داشت که این تکنیک‌ها معمولاً مستلزم قطع تولید هستند. رویکرد ژئوشیمیایی در خصوص این دست از مشکلات تولیدی، اغلب کم‌هزینه‌تر بوده و به زمان کمتری برای اجرا نیازمند است. [۱]

امروزه ثابت شده است که ژئوشیمی نفت علاوه بر کاربردهای شناخته شده‌ی پیشین خود، در مباحثی نظیر تعیین زون‌های تولیدی، زمین‌شناسی توسعه‌ای، بررسی پیوستگی مخزنی، تعیین سهم در تولیدات آمیخته^۲ و مهندسی تولید نیز یک علم کاربردی است.

پیش‌بینی مواردی نظیر کیفیت نفت و محتویات واکسی و گوگردی

علم ژئوشیمی در طول چند دهه‌ی اخیر و در سراسر جهان همواره نقش مهم و انکارناپذیری در زمینه‌های اکتشاف مخازن هیدروکربنی و زمین‌گرایی، بهینه‌سازی روش‌های اکتشاف و مدل‌سازی سیستم‌های نفتی داشته است. تطابق نفت-سنگ منشأ که وجود یک رابطه‌ی ژنتیکی بین نفت تولیدی و سنگ منشأ آن را اثبات می‌کند، وسعت جغرافیایی عملکرد سنگ منشأ و توانایی شارژ مخازن، زمان تولید نفت و تجمعات هیدروکربنی و نهایتاً بررسی مسیرهای مهاجرت از جمله کاربردهای کلاسیک علم ژئوشیمی آلی محسوب می‌شود.

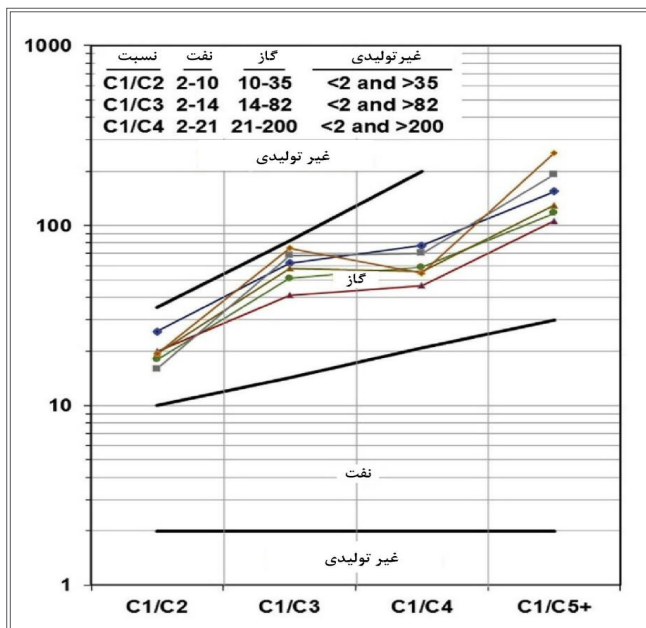
امروزه علم ژئوشیمی به موارد مذکور محدود نشده و دارای شاخه‌های متعدد ژئوشیمی آلی، معدنی، رسوبی، سطحی، مخزن و کاربردهای فراوان در دیگر زیرمجموعه‌های مهندسی نفت است. با توجه به گسترش روزافزون این دانش، اخیراً مطالعات کاربردی بسیاری در زمینه‌ی استفاده از ژئوشیمی مخزن در بهبود روش‌های

* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (mehdipour.vali@gmail.com)

نیز نمی‌توانند مانع رسیدن بخش بسیار اندکی از هیدروکربن‌های به دام افتاده شوند. بر این اساس، تراوشات هیدروکربنی همواره به عنوان یک موضوع جذاب برای مکتشفین محسوب می‌شوند. این تراوشات ممکن است قابل مشاهده باشد و یا آنقدر مقادیر کمی را شامل شود که فقط با روش‌های آزمایشگاهی تشخیص داده شود. نمونه‌برداری و آنالیز تراوشات و تفسیر آنها، اطلاعات مفیدی را از حضور یک مخزن هیدروکربنی فراهم می‌کند. [۵]

توجه به این نکته الزامی است که کشف یک منبع هیدروکربنی گام اول است و در گام بعدی یافتن هیدروکربن قابل تولید، اهمیت می‌یابد. شناسایی زون‌های تولیدی اغلب کار ساده‌ای نبوده و نیازمند بررسی است.

آنالیزهای پتروفیزیکی روش معمول تعیین زون‌های تولیدی محسوب می‌شوند. اما امروزه علم ژئوشیمی در این خصوص نیز دارای کاربرد است، مثلاً تکنیک مطالعه‌ی گازهای همراه با گل حفاری می‌تواند در تعیین زون‌های تولیدی نقش مهمی ایفا کند. بدین منظور، گازهای هیدروکربنی C_1 تا C_5 که توسط گل حفاری به سطح زمین می‌رسند مورد بررسی قرار گرفته و از تفسیر نتایج آنها لایه‌های تولیدی از غیرتولیدی تمییز داده می‌شوند. [۱] با محاسبه‌ی نسبت‌های C_1/C_2 ، C_1/C_3 ، C_1/C_4 و C_1/C_5 از طریق آنالیز کروماتوگرافی گازی می‌توان نمودار پیکسلر را ترسیم کرده (شکل ۱) و از نتایج آن در خصوص شناسایی زون‌های تولیدی نفتی و گازی و تفکیک آنها از زون‌های غیرتولیدی بهره برد. [۶و۷]



شکل ۱ | تعیین زون‌های تولیدی و غیرتولیدی با استفاده از نمودار ژئوشیمیایی پیکسلر [۶]

آن نیز در زمره‌ی سایر توانمندی‌های علم ژئوشیمی مطرح شده است. [۳و۲]

ژئوشیمی نفت، یکی از ابزارهای اصلی آنالیز سیستم نفتی محسوب می‌شود که کاربرد آن در سایر مباحث مهندسی نفت نظیر ارزیابی و توسعه‌ی میدان، تولید و مسائل زیست‌محیطی (بررسی منشأ آلودگی‌های نفتی) ثابت شده است. کاربرد ژئوشیمی در مباحث مخزن و تولید، علم نوینی محسوب می‌شود که سابقه‌ی آن به اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰ میلادی بازمی‌گردد.

بررسی تاریخچه‌ی شارژ مخزن، بلوغ و فرآیندهای ثانویه‌ی نظیر تخریب زیستی، آب‌شویی و اختلاط که تغییرات نامحسوسی را در ترکیب سیالات مخزنی ایجاد می‌کند، توسط علم ژئوشیمی قابل اندازه‌گیری و بررسی است. [۴] علی‌رغم مطالعات متعدد انجام شده توسط محققین این حوزه، بررسی جامع و یکپارچه‌ای از کاربردهای علم ژئوشیمی در شاخه‌های مختلف مهندسی نفت به چشم نمی‌خورد. این مسئله، نویسندگان مقاله‌ی حاضر را بر آن داشت تا کاربردهای متنوع این علم را به صورت یک‌جا تدوین کنند.

۱- بحث

اخیراً استفاده از ژئوشیمی در حل مشکلات تولید و ازدیاد برداشت مخازن هیدروکربنی و زمین‌گرایی، بسیار گسترش یافته است. در این بخش، برخی از این کاربردها بر اساس منابع و مقالات منتشره مورد بحث قرار گرفته و امید است با توسعه‌ی روش‌های ازدیاد برداشت در کشورمان این روش‌ها برحسب نیاز مورد توجه قرار گیرند. در ادامه، کاربرد علم ژئوشیمی از اولین مرحله‌ی اکتشاف یک ذخیره‌ی هیدروکربنی تا سایر کاربردها در حیطه‌ی تولید و ازدیاد برداشت مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۱- استفاده از علم ژئوشیمی در تعیین زون‌های تولیدی

کاربرد ژئوشیمی در کشف منابع هیدروکربنی زیرسطحی و اجتناب از حفاری‌های خشک بر کسی پوشیده نیست. کشف مخازن هیدروکربنی از طریق مشاهده‌ی تراوشات نفتی، سابقه‌ی طولانی داشته و منجر به تعریف علم ژئوشیمی سطحی شده است. علی‌رغم اینکه ذخایر هیدروکربنی همواره در یک نفت‌گیر به دام افتاده و امکان رسیدن به سطح ندارند، ولی حتی قوی‌ترین پوش سنگ‌ها

۲-۱- استفاده از علم ژئوشیمی در تعیین سهم تولید

در برخی موارد، ممکن است نفت و گاز موجود در افق‌های تولیدی در خطوط تولید و یا تجهیزات سطحی با یکدیگر ترکیب شوند. عموماً در صنعت نفت به منظور کاهش هزینه‌ها، نفت‌های تولیدی از چند زون تولیدی یا چند میدان وارد مسیر مشترک شده و با یکدیگر مخلوط می‌شوند.

در مواقعی که ارزیابی عملکرد هر افق تولیدی در طول تاریخچه تولید از میدان در مباحث مدیریت مخزن اهمیت دارد و یا زمانی که افق‌های تولیدی مجزا دارای مالکان متفاوتی هستند، تعیین سهم تولید از هر زون تولیدی به امری مهم و اجتناب‌ناپذیر مبدل می‌شود. [۱] همچنین در مواقعی که نفت‌های موجود در هر افق، کیفیت متفاوتی دارند، به منظور تعیین هزینه فروش آنها، باید سهم تولید را مشخص کرد. جریان سنج^۳ یکی از روش‌های مهندسی مخزن است که در چنین شرایطی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

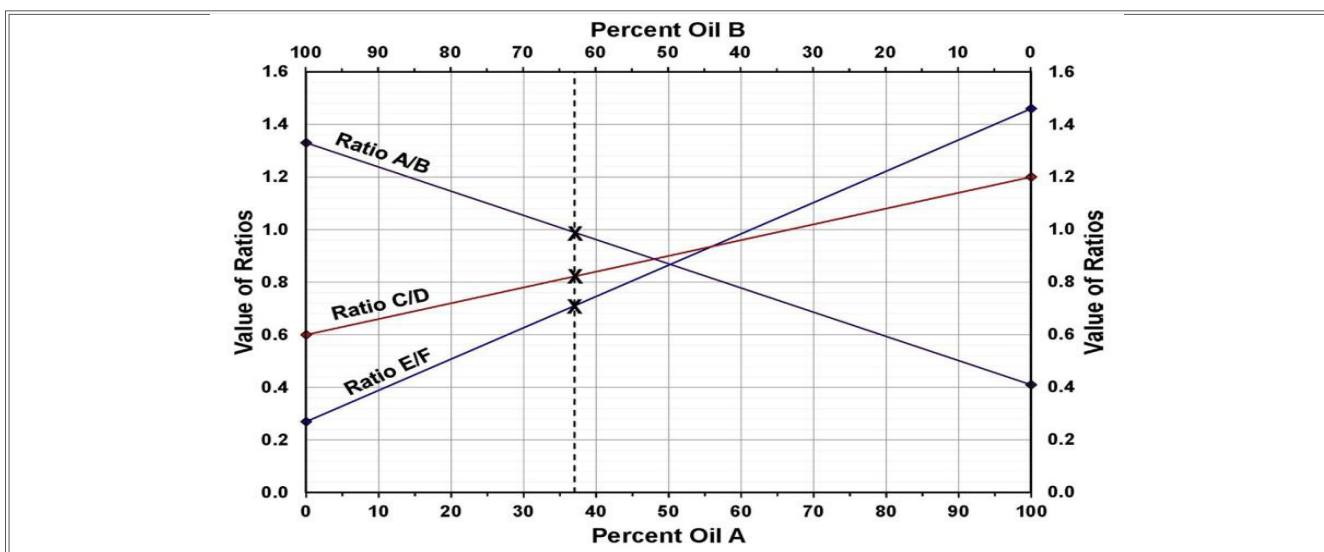
البته هزینه بالا و وجود برخی مشکلات، مانع از استفاده گسترده‌ی آنها شده است. [۸] در مواقعی که جریان‌سنج در دسترس نیست، می‌توان روش‌های ژئوشیمیایی را جایگزین آنها کرد. این روش‌ها علاوه بر صرف هزینه و زمان کمتر، در اقسام چاه‌های تولیدی قابل استفاده بوده و مسائل سطح‌الارضی نظیر مشکلات ابزاری در سر چاه به هیچ عنوان در آن راه ندارد. البته باید توجه کرد که روش‌های ژئوشیمیایی تنها نسبت نفت‌های تولیدی را بررسی کرده و تحت تاثیر تولیدات آب قرار نمی‌گیرند. [۹]

علم ژئوشیمی مخزن با استفاده از تعیین نسبت پیک‌های موجود در کروماتوگرام نمونه‌های نفتی، قابلیت تعیین سهم هر زون مخزنی را

دارد. [۲] مثالی از تعیین سهم تولیدات آمیخته دو نمونه‌ی نفت A و B در شکل ۲ نشان داده شده است. سه نسبت A/B ، C/D و E/F به عنوان نسبت پیک‌هایی با بیشترین تفاوت در هر دو نمونه‌ی نفتی قبل از آمیختگی انتخاب شده است.

در محیط آزمایشگاه این دو نمونه نفت با نسبت‌های مختلف با هم آمیخته می‌شوند و مقادیر نسبت پیک‌های موردنظر مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گرفته و مقادیر آنها بر روی نمودار مشخص می‌شود. در مرحله‌ی بعد، در یک نفت آمیخته با نسبت اختلاط نامعلوم، نسبت‌های مذکور اندازه‌گیری شده و موقعیت آنها در نمودار مشخص می‌شود.

بدین ترتیب می‌توان نسبت اختلاط دو نمونه‌ی نفت را تعیین کرده و همچنین تغییرات میزان اختلاط نفت‌ها را در طول تاریخچه‌ی تولید، مورد بررسی قرار داد. همان‌طور که دیده می‌شود، این مدل خطی ساده توانایی تعیین سهم تولید دو نمونه‌ی نفتی A و B را دارد. تغییرات در نسبت‌ها می‌تواند از مقدار ۱۰۰ درصد نفت A در سمت راست تا مقدار ۱۰۰ درصد نفت B در سمت چپ را شامل شود. با ترسیم این نسبت‌ها می‌توان به ترکیب نفت مخلوط پی برد. همان‌طور که در شکل ۲ نیز مشاهده می‌شود، سه نسبتی که با حرف X نشان داده شده است، مبین ترکیبی از ۳۷ درصد نفت A و ۶۳ درصد نفت B می‌باشد. [۲] گرچه مثال مطرح شده متعلق به یک ترکیب دوتایی است، اما در ترکیبات بیش از دو نمونه‌ی نفتی نیز می‌توان با استفاده از آنالیزهای آماری چند متغیره، میزان مشارکت هر زون تولیدی را تعیین کرد. [۸ و ۱۰]



شکل ۲ | مدل ساده‌ای از اختلاط دو نمونه‌ی نفتی A و B به منظور تعیین درصد هر یک از نمونه‌ها [۲]

۳-۱- استفاده از علم ژئوشیمی در نظارت بر ازدیاد برداشت

با توجه به اینکه با تکنیک‌های بازیافت اولیه تنها بین ۱۰ الی ۳۵ درصد از نفت درون مخزن قابل تولید است، [۱۱] دستیابی به بخش باقی‌مانده‌ی هیدروکربن در مخزن مستلزم اجرای فرآیندهای ازدیاد برداشت است. با این حال، علی‌رغم پتانسیل بالای ژئوشیمی نفت، تاکنون موارد بسیار اندکی در خصوص کاربردهای ژئوشیمی نفت در نظارت ازدیاد برداشت منتشر شده است.

ژئوشیمی نفت می‌تواند در هر دو حوزه‌ی نظارت و بررسی کارایی روش‌های ازدیاد برداشت، کاربرد داشته باشد. [۱] مهمترین هدف برنامه‌های نظارت ژئوشیمیایی، به دست آوردن داده‌های ضروری ژئوشیمی به منظور تحقق اهدافی نظیر حصول اطمینان از راه یافتن سیال تزریقی به بخش‌های موردنظر مخزن، نظارت بر حرکت آن و پی بردن به برهم‌کنش سیال-سیال است. [۱۲]

با تهیه‌ی یک مبنای مناسب می‌توان از علم ژئوشیمی در تزریق سیالات مختلف به مخازن هیدروکربنی استفاده کرد. برای این منظور، پیش از آنکه هیچ فرآیند ازدیاد برداشتی انجام شود، یک سری خطوط مبنای ژئوشیمیایی در مخزن و مابین چاه تولیدی و تزریقی تعیین می‌شوند. این خطوط مبنای از طریق مغزه‌های به دست آمده از دیواره‌ی چاه مشخص می‌شوند. این مغزه‌ها که نمونه‌هایی از سیالات موجود در مخزن را در خود حفظ کرده‌اند، از یک محل ثابت و مشخص برداشت می‌شوند تا پس از اعمال تکنیک‌های ازدیاد برداشت و عبور جبهه‌ی سیالات نیز در همان محل، امکان نمونه‌برداری مجدد وجود داشته باشد.

معمولاً مغزه‌های برداشت شده از دیواره‌های چاه، منجمد^۴ می‌شوند تا هیدروکربن‌های سبک موجود در آنها محفوظ مانده و ادامه‌ی مطالعات از دقت خوبی برخوردار باشد. از مغزه‌های برداشت شده

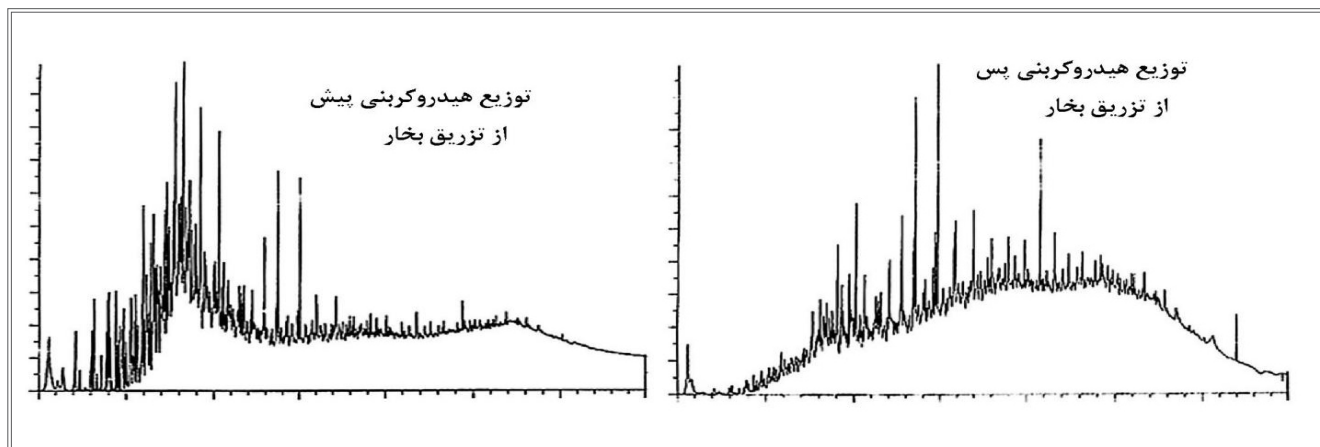
می‌توان مقدار و توزیع هیدروکربن‌های موجود در مخزن را از طریق استخراج ماده‌ی آلی توسط حلال و کروماتوگرافی گازی نمونه نفت به دست آورد.

پس از اعمال تکنیک ازدیاد برداشت و همچنین عبور جبهه‌ی سیال، مجدداً از همان نقاط اولیه نمونه‌برداری می‌شود. باید توجه داشت که سری دوم داده‌ها باید دقیقاً به همان روش سری اول جمع‌آوری و نگهداری شوند تا نتایج حاصل، قابل استناد تلقی شود. پس از جمع‌آوری داده‌های حاصل از هر دو سری مغزه‌ها (پیش از اعمال فرآیندهای ازدیاد برداشت و پس از آن) می‌توان اظهار داشت که تغییر در مقدار و ترکیبات تشکیل‌دهنده‌ی هیدروکربن‌ها موید عبور جبهه‌ی سیال است.

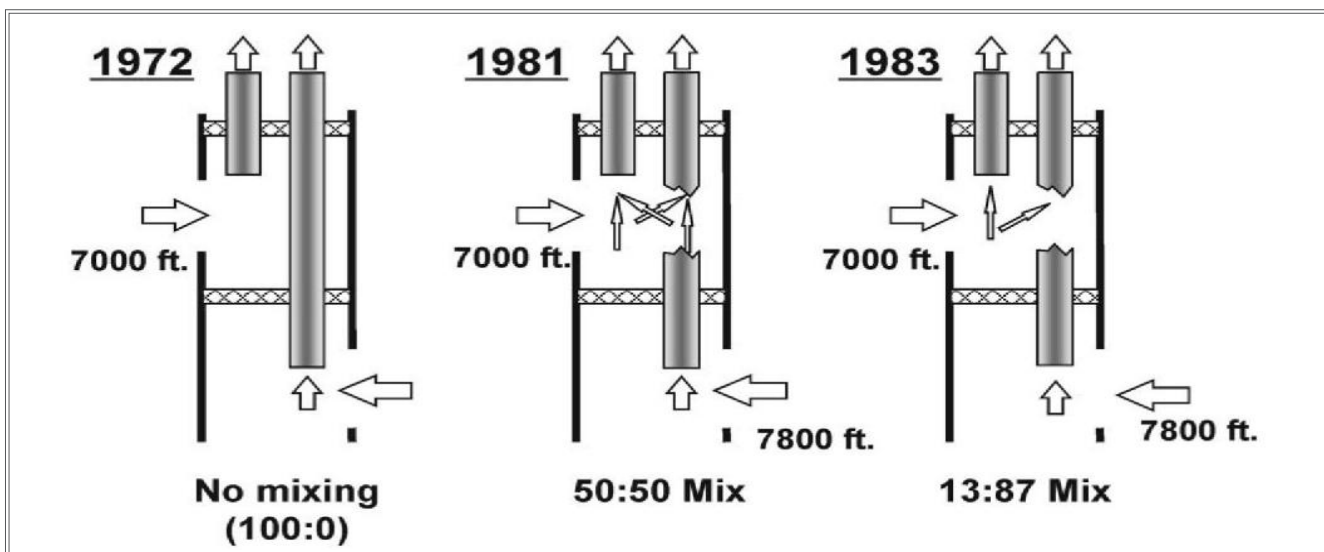
با توجه به تغییرات مشاهده شده، می‌توان کارایی فرآیندهای مورد استفاده برای استخراج نفت‌های اضافی را تا حد مناسبی تخمین زد. شکل ۳ نتایج حاصل از بررسی کروماتوگرام سیال موجود در دو مغزه‌ی برداشت شده پیش از عملیات سیلاب‌زنی توسط بخار و پس از آن را نشان می‌دهد. [۱] همان‌طور که مشاهده می‌شود، عملیات انجام شده در انتقال بخش‌های سبک هیدروکربنی عملکرد مناسبی داشته است.

۴-۱- استفاده از علم ژئوشیمی در حل مشکلات تولید و نمونه‌برداری دوره‌ای

همواره در جریان تولید از میدان، عواملی وجود دارد که سبب کاهش یا توقف تولید شده و بر میزان سودآوری اثر می‌گذارد. مواردی نظیر تخریب سیمان، پکر^۵، نشتی لوله‌ی جداری یا مغزی و رسوب مواد آلی از جمله این عوامل در نظر گرفته می‌شوند. تغییراتی



شکل ۳ | نمونه‌ای از کروماتوگرام پیش از تزریق بخار و پس از آن. نمونه‌های قبل و بعد از سیلاب‌زنی متعلق به یک محل واحد هستند. [۱]



شکل ۴ | مراحل تخریب لوله مغزی که توسط ژئوشیمی کشف شده است [۲]

در سال ۱۹۸۱ و با تخریب بخشی از لوله مغزی تولیدکننده از افق تحتانی، بخشی از سیالات افق فوقانی نیز وارد تولیدات این زون شده و نهایتاً در سال ۱۹۸۳ تولید از افق تحتانی متوقف شد. نمونه برداری دوره‌ای انجام شده در طول تولید و مطالعات ژئوشیمیایی این نمونه‌ها نقش موثری در شناسایی این مشکل داشته است.

بدین صورت که در ابتدا (سال ۱۹۷۲) اثر انگشت‌نگاری دو نمونه‌ی نفت مجزا قابل تشخیص است. با گذر زمان (سال ۱۹۸۱) و ترکیب سیالات تولیدی، اثر انگشت‌نگاری سیال تولیدی از افق تحتانی دستخوش تغییراتی شده و الگوی آن در سال ۱۹۸۳ کاملاً شبیه به سیال تولیدی از افق فوقانی شده است که نشان‌دهنده‌ی تخریب لوله مغزی و تولید صددرصدی از افق فوقانی است.

پس از شناسایی مسئله و برطرف کردن آن، تولید از افق تحتانی از سر گرفته شده و اقداماتی نیز در جهت جلوگیری از خرابی‌های بعدی لوله مغزی انجام شد. [۲]

۵-۱- استفاده از علم ژئوشیمی در بررسی یکپارچگی مخزن و تشخیص سدهای تراوایی

بررسی سدهای عمودی جریان در ستون نفتی یا سدهای جانبی بین چندین چاه منجر به تعریف مفهوم پیوستگی مخزن می‌شود. به عبارت ساده‌تر، اختلافات موجود در ترکیبات هیدروکربن‌های یک مخزن نشان‌دهنده‌ی وجود سدهای تراوایی در آن مخزن است.

که در ترکیب هیدروکربن‌های تولیدی وجود دارد، در اکثر مواقع نشان‌دهنده‌ی وجود چنین عواملی است. در شرایط ایده‌آل، ترکیب هیدروکربن تولیدی به صورت دوره‌ای و هر شش ماه بررسی می‌شود تا مشکلات محتمل در اسرع وقت شناسایی شوند. نظارت دوره‌ای، علاوه بر شناخت سریع مشکلات احتمالی، می‌تواند به بررسی تولید کارآمد میدان و بیشینه بودن درصد بازیافت هیدروکربن نیز کمک کند. البته عموماً مهندسين مخزن تا زمانی که مشکل مشخصی رخ ندهد، از تکنیک نظارت استفاده نمی‌کنند. [۱]

می‌توان به جای نظارت ترکیبات، از نمونه برداری دوره‌ای سیالات و تهیه‌ی آرشیو آنها استفاده کرد. با جمع‌آوری ۲۰ الی ۲۵ میلی‌لیتر از نمونه‌ی نفت در هر شش ماه و نگهداری آنها در بسته‌بندی‌های محکم و حفظ آنها در محل تاریک و خنک می‌توان به مجموعه‌ای ارزشمند دست یافت که در برابر مشکلات تولیدی نقش مهمی ایفا می‌کند. باید توجه داشت که تهیه‌ی این آرشیو، بسیار ارزان و ساده است ولی اطلاعات ژئوشیمیایی حاصل از آنها در هنگام وقوع مشکل بسیار ارزشمند تلقی می‌شود.

اطلاعات ژئوشیمیایی حاصل از نمونه‌های جمع‌آوری شده هم به فهم نوع مشکل کمک می‌کند و هم اطلاعات مناسبی از زمان وقوع مشکل فراهم می‌کند، چراکه نمونه‌ها به صورت دوره‌ای و منظم برداشت شده‌اند. [۱] مثالی که توسط کافمن و همکاران در سال ۱۹۹۰ ارائه شده است در شکل ۴ دیده می‌شود. این شکل متعلق به چاهی در خلیج مکزیک است که در سال ۱۹۷۲ از دو زون تحتانی و فوقانی تولید داشت.

در صورت پیوسته بودن مخزن و عدم وجود سدهای جریان، اثر انگشت‌نگاری نمونه‌های نفتی اختلافات اندکی از خود نشان داده و وجود سدهای جریان سبب بروز اختلافات می‌شود. [۱۳]

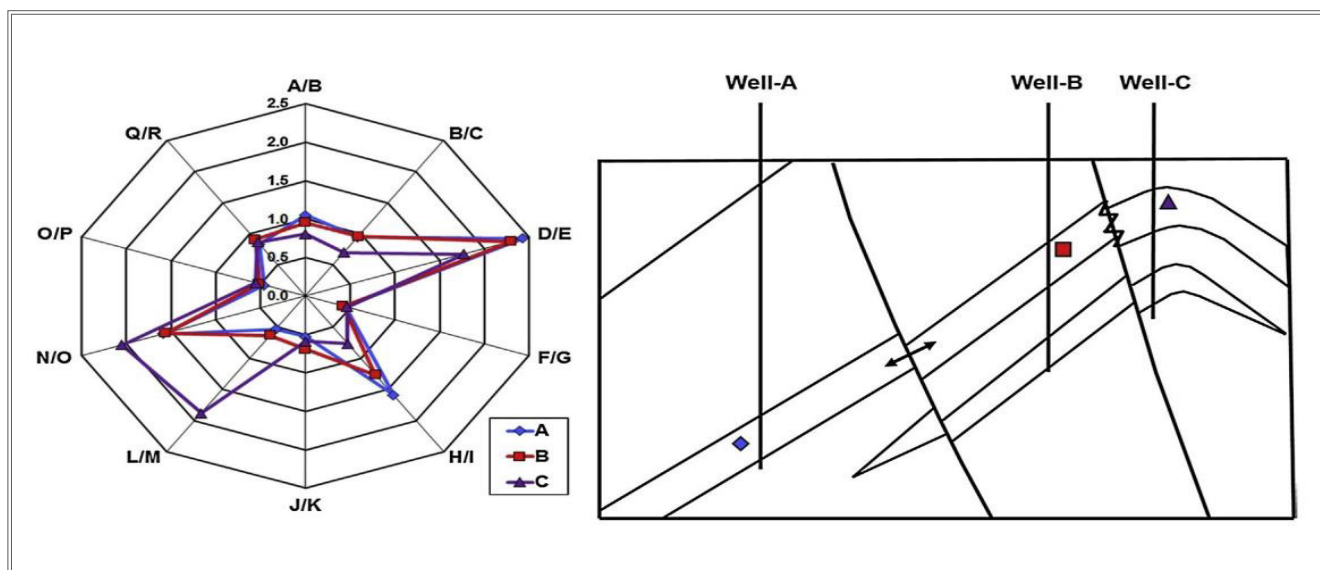
هالپرن در سال ۱۹۹۵ با معرفی هشت نسبت وابسته به تغییرات ثانویه و پنج نسبت مقاوم در برابر این تغییرات که در نمودار ستاره‌ای ترسیم می‌شوند، به مطالعه‌ی موردی تفاوت‌های موجود در ترکیبات نفت پرداخته و برای تایید نتایج خود، از بایومارکر و ایزوتوپ بهره برد. [۱۵] با استفاده از تعریف نسبت‌های موجود در کروماتوگرام نمونه‌های نفتی نیز می‌توان پیوستگی مخزنی را بررسی کرد. [۱۶ و ۳] استفاده از کروماتوگرافی گازی با دقت بالا در نمونه‌های نفتی نیز شیوه‌ی رایجی در این دست مطالعات است. [۱۷ و ۲] باید توجه داشت که در مطالعات مربوط به پیوستگی مخزن، تفاوت‌های ظریف موجود در ترکیبات هیدروکربنی موردنظر بوده و لازم است تا کروماتوگرام نمونه‌ها نیز با یک برنامه‌ی دمایی آرام تهیه شود، تا صرف زمان بیشتر، وضوح و دقت بالاتری را فراهم سازد. برای درک بهتر موضوع، شکل ۵ مثالی از یک مخزن فرضی را نشان می‌دهد که بین چاه‌های A و B ارتباط برقرار است ولی چاه C از زون دیگری در حال تولید است. نمودار ستاره‌ای که بر اساس نسبت‌های موجود در کروماتوگرام نمونه‌های نفتی ترسیم شده است، نشان می‌دهد که گسل موجود بین دو چاه A و B از نوع تراوا و گسل بین چاه‌های B و C از نوع ناتراوا است. [۱]

بدیهی است که در صورت وجود سدهای تراوایی، بین بخش‌های مخزنی جریان سیال وجود ندارد. [۱۳] وجود سدهای جریان سبب تقسیم مخزن به بخش‌های مجزا می‌شود.

این سدهای جریان ممکن است از نوع گسل و یا تغییرات رخساره‌ای و ایجاد زون‌های ناتراوا در مسیر مخزن باشند. به منظور افزایش بهره‌وری از میدان و توسعه‌ی آن، بخش‌های مخزنی باید به خوبی تفکیک و شناسایی شوند چراکه طبیعتاً وجود سدهای مخزنی تاثیر قابل توجهی بر نحوه‌ی برداشت و مدیریت مخازن دارد. می‌توان با استفاده از فشار سازند، نمودارهای کاهش فشار و عمق سطح تماس آب-نفت، زون‌های مخزنی را شناسایی کرد. علم ژئوشیمی مخزن می‌تواند در زمان کوتاه‌تر و با هزینه‌ی بسیار کمتر و بدون توقف در تولید این سدهای جریان را شناسایی کرده و مخزن را به لحاظ پیوستگی بررسی کند. [۱]

وجود یا عدم وجود سدهای جریان را می‌توان از طریق مطالعه‌ی سیالات ادخالیه^۶ و تکنیک کروماتوگرافی گازی با وضوح بالا^۷ (HRGC) نمونه‌ی نفت بررسی کرد. [۱۴ و ۱۵]

سیالات ادخالیه^۶ قطرات بسیار ریزی از سیالات مخزن محسوب می‌شوند که در کانی و سیمان‌های دیاژنزی واقع در مسیر مهاجرت به دام افتاده‌اند. بررسی این سیالات، اطلاعات خوبی از ترکیب شیمیایی سیالات در حین شارژ مخزن را فراهم می‌کند. [۱۴] بررسی اثر انگشت‌نگاری نفت نیز اطلاعات مفیدی در خصوص زون‌های مجزای یک مخزن فراهم می‌کند.



شکل ۵ | نمودار ستاره‌ای ترسیم شده بر مبنای نسبت‌های موجود در کروماتوگرام سه نمونه‌ی نفتی A، B، و C نشان‌دهنده‌ی این است که گسل بین دو چاه B و C ناتراوا بوده و مانند یک سد مخزنی رفتار می‌کند [۱]

از مطالعات اخیر که در ایران به بررسی پیوستگی مخزن پرداخته‌اند می‌توان به مطالعات انجام شده در زون بندی مخزن دهرم میدان گازی خیام، [۱۸] بررسی پیوستگی مخزنی سازندهای بورغان و یامامادر میدان نفتی فروزان، [۱۹ و ۲۰] مخزن آسماری در میداین قلعه‌نار و شادگان، [۲۱] پیوستگی مخزن آسماری در میدان چشمه‌خوش [۲۲] و پیوستگی مخازن آسماری و بنگستان در میدان دهران [۲۳] اشاره کرد.

۶-۱- استفاده از علم ژئوشیمی در تشخیص منشأ سیالات^۸

آب‌های سازندی و یا سیالات هیدروکربنی که در مناطق دورتر از منشأ خود یافت می‌شوند (چه در سطح زمین و چه در افق‌های زیرین)، اصطلاحاً Stray fluids نامیده می‌شوند.

تشخیص منشأ این سیالات و به خصوص منشأ آب‌های تولیدی کمک شایانی به بهینه‌سازی اکتشاف و تولید منابع هیدروکربنی می‌کند. از طرفی وجود آب‌های همراه نفت مستلزم امکانات سطح‌الارضی خاص و هزینه‌بر است که تشخیص منشأ تولید آنها را به امری اجتناب‌ناپذیر مبدل می‌کند.

علی‌رغم وجود تکنیک‌های متنوع ژئوشیمیایی مبتنی بر اثر انگشت‌نگاری به منظور شناسایی منشأ سیالات تولیدی، تفسیر این تکنیک‌های قدیمی در مواقع مواجهه با نمونه‌های گازی و برخی نمونه‌های نفتی دشوار خواهد بود.

استفاده از ترکیب ایزوتوپی آب تزریقی، آب سازندی و آب تولیدی و مقایسه‌ی آنها نقش بسزایی در تشخیص منشأ آنها دارد. مطالعه‌ی ایزوتوپ عناصر O^{18} ، H^2 ، C^{13} و $Si^{29/28}$ از جمله روش‌های نوینی است که تفسیر نتایج آن ساده‌تر است. برای این منظور ترکیب ایزوتوپی آب‌های سازندی، آب‌های جوی و آب موجود در آبران با ترکیب ایزوتوپی آب تولیدی مقایسه شده و منشأ آن تعیین می‌شود. [۲۴]

۷-۱- استفاده از علم ژئوشیمی در نظارت بر مخازن زمین‌گرمایی

نظارت طولانی‌مدت، ابزاری ارزشمند در مدل‌سازی یک مخزن زمین‌گرمایی به منظور مدیریت عدم قطعیت منابع، بهینه‌سازی توسعه‌ی آن و کاهش تاثیر بهره‌برداری از آن بر محیط‌زیست محسوب می‌شود. هنگامی که از یک مخزن زمین‌گرمایی برای مصارفی نظیر تولید برق استفاده می‌شود، اعمال یک برنامه‌ی نظارتی، ضروری به نظر می‌رسد.

بدیهی است که در اثر بهره‌برداری از مخازن زمین‌گرمایی و گذر زمان، ویژگی سیالات آن دستخوش تغییراتی شود. بررسی این تغییرات به عنوان پاسخ مخزن به تولید قلمداد می‌شود. برای دستیابی به چنین اطلاعاتی باید از یک برنامه‌ی دقیق نظارتی بهره برد. روش‌های ژئوشیمیایی می‌توانند نقش مهمی در این برنامه‌ی نظارتی ایفا کنند.

این روش‌ها با بررسی تغییرات آنیون‌ها، کاتیون‌ها و نسبت‌های ایزوتوپی، تغییرات شیمیایی اعمال شده بر سیالات مخازن زمین‌گرمایی را می‌سنجند. در سال ۲۰۱۲ یک مطالعه‌ی موردی بر دو میدان زمین‌گرمایی Wairakei و Olkaria با استفاده از روش‌های نظارتی ژئوشیمیایی انجام شد. نتایج حاصل از نظارت ژئوشیمیایی، مبین تغییرات ژئوشیمیایی سیالات تولیدی هر دو میدان و افت فشار در اثر توسعه‌ی میداین بوده است. [۲۵]

مثال دیگر مربوط به میدان زمین‌گرمایی بویلان^۹ است. این میدان با دمای بالا (۲۶۰-۲۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) در اطراف خلیج بویلان در سواحل غربی جزیره‌ی باسه‌ترا^{۱۰} از سال ۲۰۰۵ با استفاده از روش‌های مختلف نظارت ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی مورد نظارت قرار گرفته است.

این نظارت به منظور بهینه‌سازی و امنیت تولید برق و کنترل تاثیر آن بر محیط نزدیک نیروگاه (به دلیل قرارگیری در داخل شهر بویلان) در حال انجام است.

مطالعه‌ی انجام شده توسط میشل براچب و برنارد سنجونا در سال ۲۰۱۵ نشان می‌دهد با وجود کاهش شدید فشار مخزن زمین‌گرمایی از سال ۲۰۰۵، تغییرات بسیار کمی در پارامترهای ژئوشیمی موردنظر مشاهده می‌شود.

این تغییرات عمدتاً با تغییرات سهم تولیدی بخار زمین‌گرمایی و آب، همراه است، به طوری که با کاهش فشار مخزن بدون تغییر ژئوشیمیایی قابل توجهی، سهم بخار آب افزایش می‌یابد و شوری آب تولیدی کاهش می‌یابد. بر اساس این مطالعه کیفیت آب‌های تولیدی منطقه در اثر بهره‌برداری زمین‌گرمایی دچار آلودگی نشده است. [۲۶]

۸-۱- استفاده از ژئوشیمی مخزن در تشخیص علل ترش‌شدگی مخزن

ترش‌شدگی مخزن در اثر سولفیدهیدروژن پدیده‌ای است که در اثر سیلاب‌زنی با آب و بخار، احیای ترموشیمیایی سولفات، مهاجرت ... مخزن را درگیر کرده و مشکلات عدیده‌ای را در پی دارد. [۲۷]

مهمی که علم ژئوشیمی در این زمینه ایفا می‌کند، تشخیص علت رسوب آسفالتین است. بدیهی است که تشخیص صحیح و به موقع علت رسوب، حل معضل را به دنبال دارد.

تزریق آب به میداين نفتی ممکن است سبب وقوع پدیده‌ی آب‌شویی شود که در حذف هیدروکربن‌های سبک و رسوب آسفالتین نقش مستقیم دارد. به عنوان مثال، مخزنی واقع در حوضه‌ی سوماترای جنوبی دارای یک پوشش آسفالتینی بوده و کیفیت نفت آن با رفتن به عمق افزایش می‌یابد.

مطالعات انجام شده حاکی از آن است که آب‌شویی و تخریب میکروبی سبب حذف هیدروکربن‌های سبک در نزدیکی سطح زمین شده است. [۳۳] اختلاط نفت‌های با ترکیب شیمیایی متفاوت می‌تواند سبب رسوب آسفالتین در مخزن شود.

مطالعه‌ی انجام شده در خصوص بررسی علت رسوب آسفالتین در چاه‌های بخش غربی میدان اهواز نشان می‌دهد در این بخش از مخزن به علت وجود گسل‌های عمیق، پدیده‌ی انتقال حرارت سرعت بیشتری نسبت به بخش شرقی میدان داشته و سبب بلوغ بخشی از سازند پابده در این بخش از میدان و تولید نفت از آن شده است.

ورود نفت‌های تولیدی این سازند به مخزن و اختلاط آن با نفت‌های با منشأ سازند کزدمی در این بخش از میدان سبب رسوب آسفالتین در بخش غربی میدان شده است. [۳۴] علی‌رغم اینکه مطالعات ژئوشیمیایی در تشخیص منشأ رسوب آسفالتین عملکرد قابل قبولی داشته‌اند، [۳۵ و ۳۶] استفاده از آنها چندان مرسوم نیست.

در حال حاضر برخی از میداين کشور ما از جمله میدان یادآوران با مشکل رسوب آسفالتین در نفت سبک تولیدی از مخزن فلهیان مواجه است که این مسئله، لزوم مطالعات ژئوشیمی را الزامی می‌سازد. این مشکل به خصوص در صورت انجام روش‌های ازدیاد برداشت اهمیت زیادی خواهد داشت.

۱۰-۱- نقش ژئوشیمی در تعیین منشأ آلودگی‌های نفتی و حل مسائل حقوقی

امروزه علم ژئوشیمیایی کاربرد گسترده‌ای در مباحث حقوقی از جمله شناسایی منشأ و زمان ورود آلودگی‌های نفتی موجود در دریا و خشکی با استفاده از تکنیک‌های نوین ژئوشیمیایی یافته است. از طریق بررسی همبستگی بین نتایج ژئوشیمیایی آلودگی‌های نفتی و منشأهای محتمل، می‌توان منبع تولید آلودگی را شناسایی کرد.

در شرایط تزریق آب دریا به مخزنی که تحت عملیات سیلاب‌زنی قرار دارند، سولفات موردنیاز باکتری‌های موجود در مخزن، توسط آب تزریقی تامین شده و فعالیت باکتری‌های احیاکننده‌ی سولفات، ترش‌شدگی مخزن را به دنبال دارد. [۲۸] علاوه بر این، ممکن است عملیات سیلاب‌زنی با بخار نیز سبب فراهم شدن شرایط لازم برای احیای ترموشیمیایی سولفات شده و از این طریق مخزن ترش شود. چراکه در عملیات سیلاب‌زنی با بخار، دمای مخزن بعضاً به دمایی بیش از ۱۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نیز می‌رسد. [۲۹ و ۳۰] گاهی نیز وجود گسل‌های تراوا بین مخازن مختلف سبب انتقال سیالات از مخزن ترش به شیرین شده و بدین ترتیب مهاجرت سیالات، عامل ترش‌شدگی خواهد بود. [۲۷] با انجام نمونه‌برداری دوره‌ای از سیالات تولیدی و مطالعات ژئوشیمیایی می‌توان با استفاده از نتایج حاصل از بررسی‌های ژئوشیمیایی به درک زود هنگامی از وقوع ترش‌شدگی مخازن دست یافت.

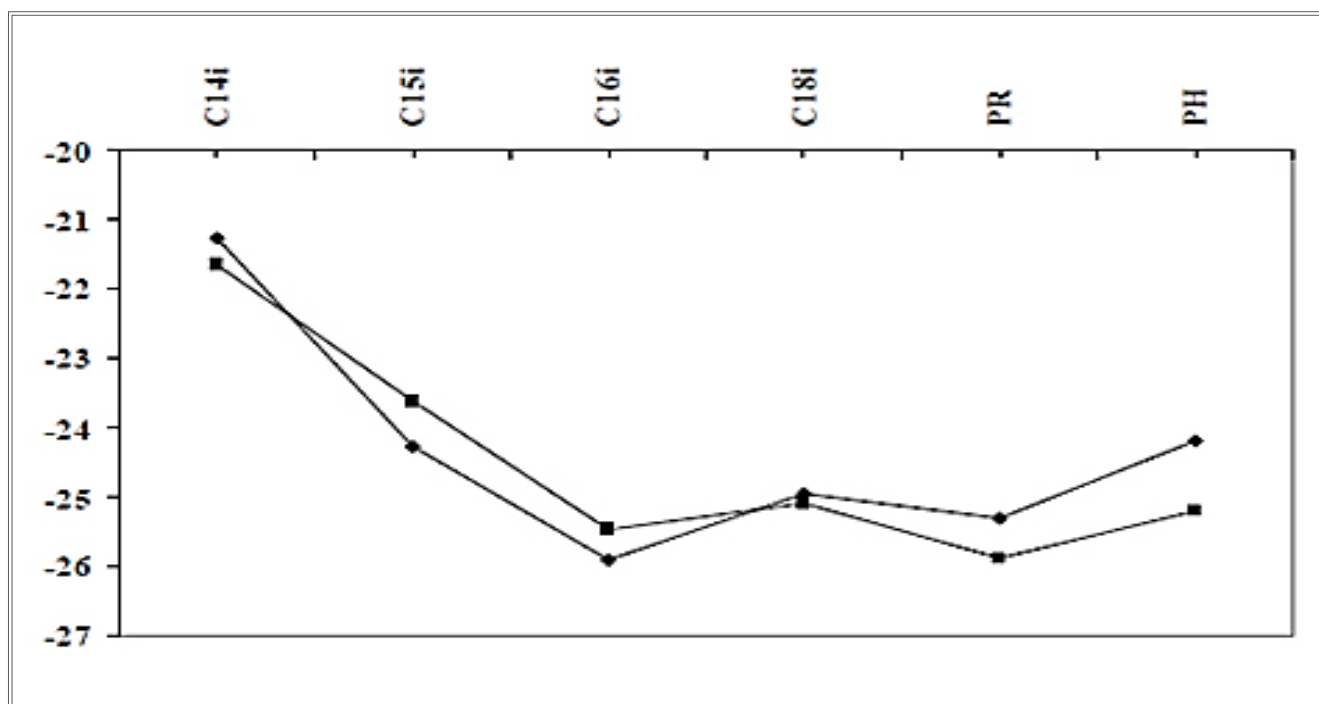
از آنجا که این شناسایی زود هنگام کمک شایانی به یافتن راه چاره می‌کند، بسیار ارزشمند است. علاوه بر اینکه در هنگام وقوع مشکل، انجام یک مطالعه‌ی ژئوشیمی برای تعیین علل و منشأ ترش‌شدگی مخزن الزامی است، نظارت ژئوشیمیایی یک روش آسان و ارزان است که از هزینه‌های سنگین مربوط به کاهش تولید و تعمیر تجهیزات دارای خوردگی می‌کاهد. بنابراین می‌توان اظهار داشت که نقش ژئوشیمی نفت در ترش‌شدگی مخزن، همان نقش نظارت بر تولید است. [۱]

۹-۱- استفاده از ژئوشیمی مخزن در بررسی رسوب آسفالتین

در برخی موارد، ممکن است مخازن هیدروکربنی در طول تاریخچه‌ی تولید و یا در اثر اعمال برخی روش‌های ازدیاد برداشت با مشکل رسوب آسفالتین مواجه شوند.

ممکن است رسوب آسفالتین در اثر کاهش دما یا فشار، تزریق گاز، تزریق آب، اختلاط دو نفت در چاه (تولید چندگانه) و یا در تجهیزات سطحی رخ دهد. [۳۱] در برخی میداين، تشکیل لایه‌ی آسفالتین در قسمت‌های تحتانی بخش نفتی مخزن باعث جدایش سفره‌ی آبدۀ از بخش نفتی شده و مکانیسم رانش آبی مخزن را مختل می‌سازد.

عواملی نظیر آب‌شویی، تخریب میکروبی، اکسیداسیون، آسفالت‌زدایی طبیعی و جدایش ثقیلی از جمله مواردی هستند که سبب تشکیل رسوب آسفالتین در محل تماس آب و نفت می‌شوند. [۳۲] نقش



شکل ۶ تطابق ایزوتوپی ترکیبات آلودگی نفتی با منشأ آلابنده

۱۱-۱- نقش ژئوشیمی در عملیات شکست هیدرولیکی

تولید گازهای شیلی غیرمعمول و اکتشاف از مخازن ماسه‌ای کم‌تراوا و شیل‌های گازی از طریق شکستگی هیدرولیکی بخش بزرگی از نفت و گاز تولیدی را خصوصاً در آمریکا و کانادا تشکیل می‌دهد. یکی از مهمترین مشکلات موجود در استفاده از این مخازن بروز آلودگی ناشی از سیالات مورد استفاده در شکستگی هیدرولیکی است.

به دلیل نقش سیالات مورد استفاده در آلودگی سفره‌های زیرزمینی مطالعات ژئوشیمی نقش بسزایی در تشخیص امکان آلودگی‌های آب شرب در اثر نشت آب‌های تزریقی جهت شکست هیدرولیکی از مخازن شیلی را دارد.

از این‌رو با مطالعه ژئوشیمی و ایزوتوپی پساب حاصل از حفاری چاه‌های غیرمتعارف می‌توان اثرات زیست‌محیطی و میزان تاثیر آنها در آب‌های زیرزمینی را ارزیابی کرد.

به عنوان مثال، ونگوش و همکاران در سال ۲۰۱۷ با مطالعه ترکیب شیمیایی، تغییرات ژئوشیمیایی و ایزوتوپی آب تولیدی، آب سازند و آب استفاده شده در شکست هیدرولیکی از مخازن شیلی و ماسه‌سنگ‌های کم‌تراوای آمریکا به مطالعه منشأ و اثرات زیست‌محیطی آب‌های برگشتی پرداختند. [۴۳]

حتی در صورتی که آلودگی‌های هیدروکربنی دچار هوازگی شوند، مطالعات ایزوتوپی توانایی تطبیق آنها با منشأ اصلی را دارند. [۳۷-۳۹]

در چند سال اخیر بررسی منشأ آلودگی‌های نفتی بخش ایرانی دریای خزر و همچنین خلیج فارس جزو اهداف جدید محققین این حوزه بوده است. مطالعه ترکیبات آلیفاتیک و آروماتیک موجود در آلاینده‌های نفتی نشان‌دهنده افزایش آلودگی‌های این منطقه در طی سال‌های اخیر است.

مطالعات ژئوشیمیایی و استفاده از شاخص‌های منشأیابی نشان می‌دهد که سهم عمده آلودگی‌های این مناطق از نوع پتروژنیک می‌باشد. عموماً عوامل انسانی نظیر توسعه بهره‌برداری از منابع هیدروکربنی موجود در ناحیه را می‌توان مهمترین عامل ایجاد آلودگی در نظر گرفت. [۴۰ و ۴۱] همچنین در مواردی که سرقت از یک خط لوله‌ی نفت و گاز اتفاق افتاده است، می‌توان به کمک علم ژئوشیمی یک ارتباط علمی و معنادار بین هیدروکربن موجود در مخزن ذخیره‌سازی سرتتی و خط لوله پیدا کرد. به عنوان مثال، پس از کشف یک شیر اتومات در مسیر خط لوله‌ی اصفهان، احتمال سرقت نفت و ذخیره‌سازی آن در یک محل دیگر قوت گرفت.

با استفاده از مطالعات ژئوشیمیایی و استفاده از تطابق موجود بین سیال درون خط لوله و سیال ذخیره شده، امکان کشف مخزن سرتتی فراهم شد. [۴۲]

نتیجه گیری

بهره‌برداری از سیالات این نوع مخازن و یا اجرای برنامه‌ی ازدیاد برداشت با تزریق گاز و آب در این نوع از مخازن با مشکلات جدی مواجه است. در این نوع مخازن به علت وجود این سدها و موانع، محدوده‌ی تاثیر و زهکشی چاه‌های بهره‌برداری کاهش یافته و در هنگام تزریق آب و یا گاز به چنین مخازنی، سیالات تزریقی ممکن است بخش‌هایی از مخزن را تحت تاثیر قرار ندهند و یا تاثیر آن بسیار اندک باشد.

به طور کلی ژئوشیمی آلی علاوه بر کاربردهای شناخته شده‌ی اکتشافی دارای کاربرد موثر و نوین در مباحث مخزن و تولید بوده و با استفاده از روش‌های مختلف، قابلیت تعیین سهم هر زون تولیدی در چاه‌های مربوط به یک میدان یا میادین مختلف در صورت تولید مشترک مخزنی را دارا است.

این علم می‌تواند در حوزه‌ی نظارت و بررسی کارایی روش‌های ازدیاد برداشت و برنامه‌های نظارتی مخازن زمین‌گرمایی نقش بسزایی ایفا کند. استفاده از ترکیب ایزوتوپی و دیگر پارامترهای ژئوشیمیایی آب تزریقی، آب سازندی و آب تولیدی نقش بسزایی در تشخیص منشأ این آب‌ها در صورت بروز مشکلات زیست‌محیطی دارد.

امروزه علم ژئوشیمی علاوه بر اکتشاف، کاربرد گسترده‌ای در مطالعات مخزن، ازدیاد برداشت و بهره‌برداری یافته است و در اغلب پروژه‌های ازدیاد برداشت، با مطالعات ژئوشیمیایی می‌توان در زمان کوتاه‌تر، هزینه‌ی کمتر و با دقت بالاتر نسبت به سایر روش‌های موجود، محدوده‌های تاثیر چاه‌های تزریقی، ردیابی سیالات تزریقی به مخزن، شناسایی موانع، سدها و بررسی میزان یکپارچگی مخزن را مورد بررسی قرار داد.

جهت مشخص کردن نحوه‌ی ارتباط سیال در بخش‌های مختلف مخزنی در جهت عمودی، افقی و همچنین در بین چاه‌های موجود در میدان، نیاز است تا آزمایشات ژئوشیمی لازم انجام شود.

در اغلب مخازن هیدروکربنی، به دلایل مختلف از جمله وجود موانع استاتیکی و دینامیکی، سیالات (آب، گاز و نفت) موجود در مخازن از لحاظ ترکیبی در جهت عمودی و هم در جهت افقی ناهمگن (هتروزن) بوده و مخازن ناپیوسته را به وجود می‌آورند که در آن سیالات هیدروکربنی به راحتی نمی‌توانند به علت وجود سدهای استاتیکی و یا دینامیکی در گستره‌ی مخزن جابجا شوند و ممکن است در هر زونی، سیال مخزن دارای ترکیب ژئوشیمیایی متفاوتی باشد.

پانویس‌ها

- | | | |
|--------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| 1. Reservoir continuity | 5. Packer | 9. Bouillante |
| 2. Production allocation | 6. Fluid inclusion | 10. Basse-Terre |
| 3. Flow meter | 7. High resolution gas chromatography | |
| 4. Freeze | 8. Stray fluid | |

منابع

- [1]. Dembicki, H. "Practical petroleum geochemistry for exploration and production". Elsevier, 2016, 342 pages.
- [2]. Kaufman, R. L. "Gas chromatography as a development and production tool for fingerprinting oils from individual reservoirs: Applications in the Gulf of Mexico." In GCSSEPM Foundation Ninth Annual Research Conference Proceedings, October 1, 1990, pp. 263-282.
- [3]. Peters, Ken E., and Martin G. Fowler. "Applications of petroleum geochemistry to exploration and reservoir management." Organic Geochemistry, 2002, 33, no. 1, pp. 5-36.
- [4]. Chuparova, E. "The Power of Integrated Solutions Using Both Production Geochemistry and PVT." In AAPG Hedberg Conference, The Evolution of Petroleum Systems Analysis, 2019.
- [۵]. ربانی، ا.ر. ژئوشیمی سطحی و کاربرد آن در اکتشاف منابع هیدروکربنی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۵، ص ۱۶۰.
- [6]. Pixler, B. O. "Formation evaluation by analysis of hydrocarbon ratios." Journal of Petroleum Technology, 1969, 21, no. 06, pp. 665-670.
- [7]. Whittaker, A., Mud Logging Handbook. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1991, p. 531.
- [8]. Hwang, R. J., D. K. Baskin, and S. C. Teerman. "Allocation of commingled pipeline oils to field production." Organic Geochemistry, 2000, 31, no. 12, pp. 1463-1474.
- [9]. Oiltracers@LLC, "Assessing the relative production from multiple pay zones in a given well", 1999-2003.
- [10]. McCaffrey, M. A., Danielle S. O., Michael W., Christopher L. S., David K. B., and Brooks A. P., "Geochemical allocation of commingled oil production or commingled gas production." In SPE Western North American Region Meeting. Society of Petroleum Engineers, 2011.
- [11]. Miller, R. G. "A future for exploration geochemistry." Organic Chemistry: Developments and Applications to Energy, Climate Environment and Human History, AIGOA, Donostia, 1995.
- [12]. Balasubramanian, S., Sanni, M., Kokal, S., Oduro, H., Yu, H., Al-Hajji, A. and Adam, F., "Geochemical Monitoring Plan for the First CO2-EOR and Sequestration Project in Saudi Arabia." In SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition. Society of Petroleum Engineers, 2016.
- [13]. Hwang, R. J. "Reservoir connectivity and oil homogeneity in a large-scale reservoir." In Proc. Middle East Geoscience Conf., 1994, vol. 2, pp. 529-541.

■ ادامه منابع در (دبیرخانه) موجود است.