

# بررسی بخش جنوبی حوضه رسوبی دریای خزر از دیدگاه زمین‌شناسی نفت

ترجمه و گردآوری: مهدی تدینی<sup>۱</sup> • شرکت ملی نفت ایران

## مقدمه

با توجه به اهمیت استراتژیک و اقتصادی حوضه رسوبی دریای خزر و آغاز مراحل اولیه اکتشاف در بخش جنوبی، سعی می‌شود هر چند مختصر، طی چند شماره ماهنامه به موارد مهم و کلیدی این زمینه پرداخته شود. در شماره پیشین در ارتباط با رژیم حقوقی دریای خزر و مسایل مربوط به آن مطالبی ذکر گردید. در این شماره به منظور آشنایی بیشتر، به مواردی از قبیل موقعیت زمین‌شناسی و محیط رسوبی ناحیه جنوبی دریای خزر پرداخته می‌شود.

## ۱- خلاصه‌ای از وضعیت دریای خزر

### ♦ ریخت‌شناسی دریای خزر

بخش شمالی این دریا دارای شیب بسیار ملایمی است؛ درحالی‌که دو بخش میانی و جنوبی، با یک برجستگی زیرآبی به نام برجستگی سرت<sup>۲</sup> در حد فاصل دماغه باکو و خلیج قره‌بغاز، با امتداد شمال باختر - جنوب خاور از یکدیگر جدا می‌شوند. این برجستگی، ادامه بلندی‌های قفقاز بوده و ژرفای آب روی آن از ۲۰۰ متر تجاوز نمی‌کند.

نکته حایز اهمیت آن است که برجستگی یاد شده، به هیچ عنوان مانع جریان آب در سطح دریاچه نمی‌باشد.

### ♦ حجم آب

بیش از دو سوم حجم آب دریای خزر در بخش جنوبی و نزدیک به یک

سوم آن در بخش مرکزی قرار دارد؛ فقط حدود ۰/۱ درصد از آب دریای خزر به بخش شمالی تعلق دارد.

### ♦ نهشته‌های بستر

به دلیل ناهمگنی ریخت بستر، گسترش رسوب‌های وارده ناهمگن است. سالانه رودهای وارده به ویژه ولگا، حدود ۹۰ میلیون تن رسوب را به دریاچه وارد می‌کنند. در این رسوب‌ها، سیلت از همه بیش‌تر وجود دارد و همراه با دیگر انواع سنگ‌ها (ماسه، رس و سنگ کربناته دانه‌ریز) ستبرای قابل توجهی را تشکیل می‌دهد. محققان و زمین‌شناسان ضخامت نهشته‌های نرم بستر دریای خزر را از ۴۰ متر در نقاط شمالی و مرکزی تا حدود ۱۲۰۰ متر در بخش جنوبی برآورد کرده‌اند. داده‌های موجود نشان می‌دهد که در این دریا، مرز نهشته‌های کم عمق و عمیق به‌طور کامل از یکدیگر جدا نیست. برای مثال، رسوبات دانه‌درشت به همراه صدف نرم‌تنان، برخلاف دیگر

نقاط، تا ژرفای ۳۰۰ متر انتشار دارند یا کربنات کلسیم موجود در رسوبات، در نقاط مختلف تغییر می‌کند و مقدار آن هیچ‌گونه ارتباطی به عمق آب ندارد.

### ♦ گل‌فشان‌های دریای خزر

در بخش جنوبی دریای خزر به‌ویژه در جمهوری آذربایجان و ترکمنستان، محدوده‌ای شمال باختری بندر انزلی و شمال بندر ترکمن (منطقه داشلی‌برون و قزل‌تپه)، نشانه‌های مثبت وجود نفت و گاز، درخور توجه‌اند. این گل‌فشان‌ها حدود ۷۰ درصد گل‌فشان‌های دنیا را تشکیل داده و ابزار مناسبی برای پی‌جویی‌های نفتی به‌شمار می‌آیند. در هر حال از دیدگاه عملیات حفاری، باید گفت که به دلیل فوران‌های ناخواسته هنگام حفاری، می‌توانند مخاطره‌آمیز باشند.

### ♦ جریان‌های دریایی

در دریای خزر، یک جریان دریایی اصلی چرخشی وجود دارد که جهت

حرکت آن یاد ساعت‌گرد است. این جریان اصلی به دو جریان فرعی در بخش شمالی، یک جریان فرعی در بخش مرکزی و دو جریان فرعی دیگر در بخش جنوبی تقسیم می‌شود. این جریان‌ها، باعث جابه‌جایی آب و نهشته‌های سطحی می‌شوند (شکل ۱).

### ♦ دمای آب

دما در تابستان به‌طور تقریبی در همه جا برابر است؛ ولی در زمستان، بخش شمالی دریای خزر (دست‌کم چهارماه) دمای زیر صفر دارد و یخ‌بندان است؛ در صورتی‌که در جنوب آن، هیچ‌گاه یخ‌بندان رخ نمی‌دهد و متوسط دما ۶ درجه سانتیگراد است.

### ♦ تغییرات سطح آب

شواهد تاریخی نشان داده است که سطح آب دریای خزر همیشه در نوسان می‌باشد؛ از این رو اعداد گزارش شده متفاوت است. در مجموع

1 tadayonim@yahoo.com  
2 syrt

به نظر می‌رسد که بین بالاترین و پایین‌ترین ارتفاع سطح آب، ۹ متر اختلاف وجود داشته است. به دلیل وسعت زیاد، تغییرات سطح آب دریا، بر تغییرات آب و هوایی و حتی پستانداران پیرامون اثرگذار است. افزایش سطح دریا یکی از مشکلات نواحی اطراف دریاچه به‌شمار می‌رود. در این مورد، عواملی مانند عملکردهای زمین‌ساختی، بالا آمدن سست کره یا دیاپیرها نمی‌توانند اثرگذار باشند؛ چرا که این گونه پدیده‌ها در مقیاس میلیون سال عمل می‌کنند. بنابراین، در بالا آمدن سطح آب باید عوامل کوتاه‌مدت طبیعی (مانند چرخه‌های آب و هوایی، افزایش دمای زمین) و عوامل مصنوعی (جلوگیری از تبخیر در قره‌بغاز، ورود پساب شهرها، تغییر مسیر رودهای بزرگ به داخل دریاچه) اثر عمده‌تری داشته باشند [۲].

## ◆ منابع تأمین‌کننده آب دریای خزر

مجموع آبی که سالانه به خزر وارد می‌شود، حدود ۴۵۰ کیلومتر مکعب است که این حجم آب می‌تواند سطح دریا را حدود ۱۲۵ تا ۱۳۵ سانتیمتر بالا ببرد. ولی در حالت عادی، این افزایش حجم با عمل تبخیر جبران می‌شود. بیش از ۹۵ تا ۹۷ درصد آب دریای خزر از رودهای ولگا، امبا، اورال، کوما، ترک، کورا و حدود ۲ تا ۳ درصد آن از سفیدرود و اترک تأمین می‌شود. مجموع آبی که رودها به خزر می‌ریزند، سالانه حدود ۳۵۰ کیلومتر مکعب است که بیش از ۷۶ درصد آن سهم رود ولگا است.

## ◆ پی‌سنگ دریای خزر

دریای خزر، ناهمگن و قابل تقسیم به سه بخش شمالی، مرکزی و جنوبی است. این بخش‌ها با گسل‌های اصلی موجود در پی‌سنگ از یکدیگر جدا شده‌اند. پی‌سنگ بخش شمالی از نوع پوسته نیمه‌اقیانوسی - سکوی قاره‌ای پرکامبرین روسیه است که چین‌هایی با روند شمالی - جنوبی دارد. بخش مرکزی دارای پی‌سنگ هرسی‌نین، با ویژگی‌های قاره‌ای و روند شمال باختری - جنوب خاوری است. بخش جنوبی دارای پی‌سنگ بازالتی با ضخامت ۱۵ تا ۲۰ کیلومتر است که با پوسته گرانیتی محصور شده است. داده‌های لزرهای بیان‌گر آن است که پوسته بازالتی خزر جنوبی از دو لایه اصلی تشکیل شده و در بخش زیرین، سرعت عبور امواج P حدود ۶/۶ کیلومتر در ثانیه است و ویژگی‌های مشابه با پوسته اقیانوسی دارد. در بخش فوقانی سرعت امواج P حدود ۳/۵ تا ۴ کیلومتر در ثانیه بوده و مشخصاتی شبیه لایه گرانیتی دارد.

## ◆ ترکیب شیمیایی دریای خزر

آب دریای خزر متشکل از یون‌های منیزیم، کلسیم و سولفات است و میزان نمک‌های محلول در آن بین ۱۲ تا ۱۳ گرم در لیتر است که به تقریب، یک سوم شوری آب دریاهای آزاد و اقیانوس‌هاست. شیرین‌ترین بخش آب دریای خزر مربوط به نواحی نزدیک به مصب رودخانه ولگا و شورترین بخش آن مربوط به خلیج قره‌بغاز است (در مجاورت کشور ترکمنستان).

## ◆ توان هیدروکربنی دریای خزر

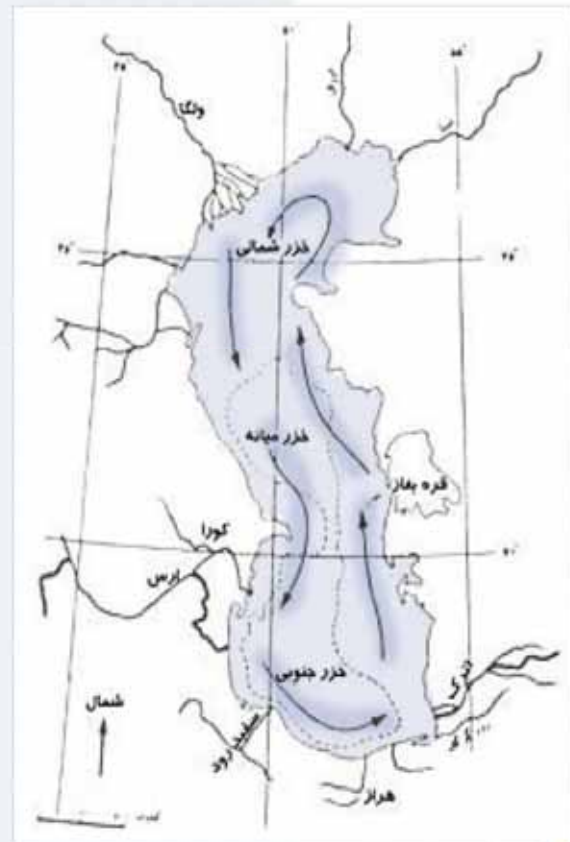
نخستین گزارش مستند درباره توان هیدروکربنی خزر، به سده سیزدهم میلادی باز می‌گردد. نفت، به‌طور رسمی در سال ۱۸۶۹ از بخش خشکی و در سال ۱۹۴۵ از بخش آبی باکو استخراج شد و تاکنون بیش از ۲۱۰۰۰ حلقه چاه در مناطق اکتشافی

(خشکی و دریا) حفر شده است. جدا از میدان‌های نفتی خزر شمالی و خزر میانی، خزر جنوبی یکی از منابع اصلی اکتشاف و تولید نفت و گاز این دریا است. در خزر جنوبی، سنگ مخزن اصلی بهره‌ده، Productive Series به سن پلیوسن زیرین - میانی و سنگ مخزن فرعی آن، نهشته‌های ماسه‌ای سازند آپشرون به سن کواترنر پیشین تعلق دارد که به دلیل اهمیت آن به‌طور کامل در ذیل به آن اشاره می‌شود.

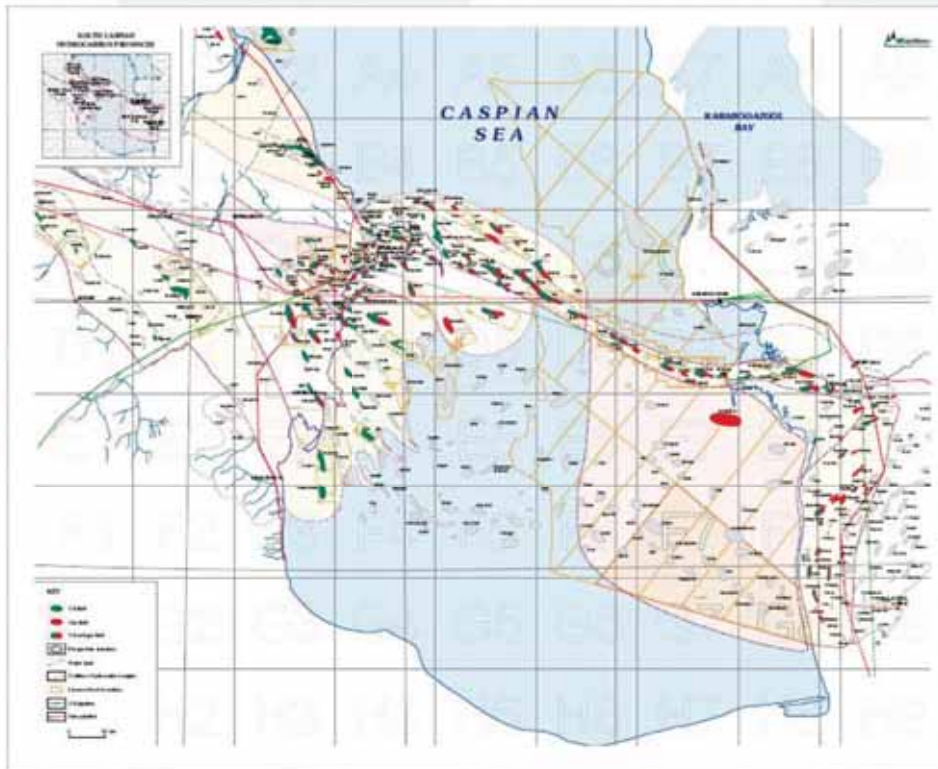
## ۲- زمین‌شناسی نفت ناحیه جنوبی دریای خزر

یکی از مهم‌ترین مراحل تشخیص صحیح خواص مخزنی یک میدان هیدروکربوری، کسب اطلاعات لازم و تعیین مشخصات محیط‌رسوبی ناحیه مورد مطالعه است. به‌طور کلی عواملی چون رخساره‌ها و ارتباط آن‌ها با محیط‌های رسوبی و فرآیند سخت‌شدن رسوبات ته‌نشین شده<sup>۱</sup> در حوضه رسوبی، سبب تغییرات بسیار زیادی در مشخصات رسوبات آواری از قبیل: اندازه و شکل ذرات، شکل هندسی فضای حفرات، تخلخل و تراوایی می‌گردد. در حوضه رسوبی ناحیه جنوبی دریای خزر (در مجاورت کشورهای آذربایجان و ایران) طاق‌دیس معروف آپشرون - بالکان، مهم‌ترین زون حاوی نفت و گاز به‌شمار می‌رود. اصلی‌ترین سازند مخزنی که در این قسمت از دریای خزر دارای منابع نفت و گاز است، به Productive Serie پلیوسن میانی مربوط می‌شود [۲]. این زون‌ها اغلب به ۲ بخش پایینی و بالایی و همچنین به سری‌های متوالی از لایه‌های مختلف از جمله رس و ماسه تقسیم می‌گردند. جنس اغلب سنگ‌های ناحیه یاد شده ماسه سنگ، سیلتستون، رسوبات مخلوط از رس و شن به‌همراه بقایای گیاهان پوسیده، رس، شیل و سنگ‌های جور نشده<sup>۲</sup>

1 diagenesis and catagenesis  
2 chlidolites



۱ | جهت جریان‌های دریایی در دریای خزر



به‌شمار می‌رود. Productive Series شامل ۷ لایه، به‌صورت سیکل‌های transgression/regression در طول توسعه حوضه رسوبی تشکیل شده‌اند.

• کانی‌شناسی بخش مرتبط با دوران پلیوسن میانی نشان می‌دهد که این بخش بیش‌تر شامل ۲ نوع کانی مختلف سبک و سنگین است. کانی‌های سبک شامل کوارتز، فلدسپار، گلوکونیت و قطعات خردشده دیگر سنگ‌ها است. با پیشروی به سوی ناحیه جنوبی دریای خزر، مقدار کانی کوارتز، کاهش یافته در صورتی که حجم قطعات خرد شده ناشی از رسوبات کوارتز-فلدسپار که در سکوی روسیه واقع در شمال دریا ته نشین شده است، افزایش می‌یابد. قطعات خرد شده فوق اغلب از سنگ‌های آتشفشانی ناحیه greater and lesser Caucasus تشکیل شده است. کانی‌های سنگین از ۵ گروه که شامل کانی‌های

نشده است. Productive Series به دو بخش بالایی و پایینی تقسیم می‌شوند که جنس اغلب آن‌ها از نوع ماسه‌سنگ و شیل می‌باشد (۱).

• با توجه به اطلاعات مغزه، مطالعات دیرین‌شناسی و نگارهای چاه‌بیمایی مشخص شد که Productive Series در آب‌های کم‌عمق در محیط‌های دلتایی-رودخانه‌ای<sup>۵</sup> تشکیل شده‌اند. حجم بسیار زیادی از رسوبات آواری در سری‌های یادشده، نشان‌دهنده آن است که اغلب آن‌ها در نزدیکی منشأ این رسوبات ته‌نشین شده‌اند. سکوی روسیه<sup>۶</sup> و جزایر موجود در آن که در ناحیه شمال شبه جزیره آپشرون واقع هستند، همچنین ناحیه شیب‌دار جنوب شرقی قفقاز به نام greater and lesser Caucasus. منابع بزرگ و تأمین‌کننده رسوبات آواری و مواد تشکیل‌دهنده سازندهای شبه جزیره آپشرون و نواحی مجاور آن در قسمت جنوبی دریای خزر

5 Fluvial-deltaic  
6 Russian-platform

ضخامت دارد. با پیشروی به سمت جنوب دریای خزر (مانند جنوب باکو) این ضخامت افزایش یافته و به حدود ۴۴۰۰ متر خواهد رسید (۱ و ۴).

به‌طور خلاصه می‌توان چگونگی توزیع مخازن نفت و گاز در قسمت خشکی و دریایی و خواص مخازن و تله‌های نفتی سازندهای حاوی نفت و گاز را در قسمت جنوبی حوضه رسوبی دریایی خزر به صورت ذیل بیان نمود:

• یکی از بخش‌های این قسمت از حوضه که دارای بیش‌ترین مخازن نفت و گاز است، ناحیه شرقی آذربایجان، باکو و جزایر آپشرون می‌باشد. این نواحی بیش‌تر به دوران پلیوسن میانی تعلق دارد و از نوع Productive Series است. در غرب کشور ترکمنستان و در ناحیه فلات قاره، لایه‌هایی به نام red-beds وجود دارد که جنس اغلب این سازندها از نوع ماسه سنگ، سیلتستون، شیل‌ها و رسوبات سخت

است. رسوبات دوره پلیوسن میانی اغلب عاری از فسیل و بقایای زیستی هستند؛ بنابراین برای تشخیص موقعیت چینه‌شناسی بخش جنوبی دریای خزر از مشخصات زیستی فسیل‌های بخش زیرین<sup>۱</sup> و بالایی<sup>۲</sup> استفاده شده است. اصولاً جدایش بین بخش‌های بالایی و پایینی و سری‌های متوالی مختلف، بر مشخصات سنگ‌شناسی استوار است. قسمت زیرین زون فوق از پایین به بالا شامل لایه‌های گوناگونی از ماسه و رس (Kala and podkirmaku) و قسمت بالایی شامل لایه‌های مشابهی از لیتولوژی‌های مختلف (مانند سازندهای balakhany و pereryr) می‌باشد. ضخامت Productive Series با پیشروی به سمت مرکز حوضه رسوبی بخش جنوبی دریای خزر افزایش می‌یابد؛ به‌طوری که در شبه جزیره آپشرون<sup>۳</sup> ۱۵۰۰ متر و در مجمع‌الجزایر آپشرون<sup>۴</sup> ۳۱۵۰ متر

1 pontion  
2 akchaglyian  
3 apsheron peninsula  
4 apsheron archipelago

فلزی<sup>۱</sup>، کانی‌های ثابت<sup>۲</sup> کینیت یا گروه دیستن‌ها<sup>۳</sup>، میکاها و گلوکونیت‌ها هستند، تشکیل شده است.

• خواص پتروفیزیکی Productive Series در این ناحیه اغلب خوب و مناسب است؛ به طوری که در نواحی جزایر آپشرون (در قسمت جنوبی دریای خزر که دارای پتانسیل مناسب هیدروکربوری است)، مقدار تخلخل در حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد و میزان تراوایی از ۱۰ تا ۱۰۰۰ md است. جنس سیمان تشکیل دهنده این سازندها اغلب از نوع کریناته و رس بوده ولی اغلب آن‌ها از جنس کانی‌های رسی می‌باشند [۱].

• سازندهای آرژیلی<sup>۴</sup> (این نوع سنگ‌ها بیش‌تر از شیل و مادستون تشکیل شده‌اند) اغلب بخش‌های مختلف آذربایجان و بخش جنوبی حوضه رسوبی دریای خزر را به خود اختصاص داده و در حدود ۵۰ تا ۹۵ درصد این قسمت از حوضه را شامل می‌شوند. این سازند نقش مهمی را در شناخت اغلب مشخصات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی حوضه جنوبی دریای خزر بازی می‌کند. بیش‌تر کانی‌های رسی در Productive Series شامل اسمکتایت، مونتموریلونیت<sup>۵</sup> و تناوبی از لایه‌های ایلیتی می‌باشند. حضور اسمکتایت سبب کاهش تراوایی سنگ‌های آرژیلی و حفظ هیدروکربور در مخازن نفت و گاز می‌شود. البته لازم به یادآوری است که اغلب سنگ‌های آرژیلی دوران اولیگوسن یا میوسن در نواحی خشکی، از نوع آتشفشانی بوده و آن‌را از این نوع سنگ‌ها در نواحی دریایی (قسمت جنوبی) متمایز می‌سازد [۱]. یکی از

مهم‌ترین و شاخص‌ترین خصوصیات سنگ‌های آرژیلی دوران ترشیاری در بخش‌های جنوبی و نواحی آذربایجان، تحت فشار نبودن این گونه سنگ‌ها است که در نتیجه آن حضور خلل و فرج‌ها با ابعاد مختلف را افزایش می‌دهد. با این وجود میزان تخلخل مؤثر در این سنگ‌ها در حدود ۳ تا ۲۰ درصد می‌باشد. مونتموریلونیت، کانی عمده شیل‌های ناحیه جنوبی (شیل‌های نزدیک باکو) بوده و در بعضی مکان‌ها در این حوضه تا عمق ۶/۵ km به‌طور ثابت دیده می‌شود. دلیل اصلی آن، تبدیل کانی ایلیت به مونتموریلونیت ثانویه است. فشار زیاد و غیر نرمال موجود در شیل‌ها سبب تأخیر فرآیند خروج آب<sup>۶</sup> کانی مونتموریلونیت شده و زمینه مناسب تبدیل کانی ایلیت به مونتموریلونیت ثانویه را به‌راحتی فراهم می‌سازد. این تغییر و تبدیل، عامل اصلی افزایش حرارت نیز می‌باشد. با توجه به مطالب یاد شده افزایش حرارت ناشی از تبدیل کانی ایلیت به مونتموریلونیت نشانگر حوضه‌های رسوبی جوان به‌همراه فرآیند رسوب‌گذاری سریع و ضخیم رسوبات از نوع آرژیلی می‌باشد؛ به طوری که حتی در اعماق بیش‌تر از ۶/۵ km این نوع سازندها دیده شده و با توجه به سرعت زیاد رسوب‌گذاری (۱ کیلومتر در هر ۱ میلیون سال) و ضخامت زیاد آن، فرآیند خروج آب و فشرده شدن حفرات ناشی از فشار لایه‌های فوقانی به‌طور کامل انجام نشده است. در نتیجه، فشار غیرنرمال در درون حفرات سازند به شدت افزایش یافته و مقدار آن تا ۱/۵ برابر و یا بیش‌تر از فشار هیدرواستاتیک می‌شود [۱]. خواص ناتراوایی این‌گونه شیل‌ها که در ناحیه جنوبی حوضه رسوبی دریای خزر تحت فشردگی بسیار زیادی قرار دارند (البته از این شیل‌ها به عنوان پوش سنگ یاد می‌شوند) از دیدگاه مهندسان نفت بسیار مهم و با ارزش است. اطلاعات به‌دست آمده و بررسی

کارشناسان زمین‌شناسی از اعماق بیش‌تر از ۶/۵ km، حاکی از آن است که اکثر خواص شیل‌های آرژیلی (پوش سنگ) به علت حضور مقادیر زیاد کانی مونتموریلونیت هنوز پابرجا است. با توجه به مطالب یاد شده محققان و کارشناسان زمین‌شناسی و مهندسی مخزن به این نتیجه رسیدند که اگر شرایطی از قبیل موارد ذیل در این حوضه موجود باشد، انتظار می‌رود حوضه رسوبی دریای خزر در بخش جنوبی دارای منابع عظیم نفت و گاز در اعماق بیش‌تر از ۹ km باشد (که تاکنون دست نخورده یا در حال اکتشافات مقدماتی می‌باشد):

- ۱- وجود سنگ مخزن مناسب
- ۲- وجود فشار درون حفره‌ای بالا و غیر نرمال<sup>۷</sup> در شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌ها
- ۳- دمای مناسب یا نسبتاً کم سازندی (زیرا باعث می‌گردد تا کرینات‌ها بتوانند در این دما در مقابل هرگونه دگرسانی مقاومت کنند)
- مخازن نفت و گاز موجود در این قسمت از حوضه، در جهت جنوب شرقی دارای افزایش چشمگیری است و اغلب آن‌ها دارای نفت‌گیرهای ساختمانی (از نوع طاق‌دیس و گسل) می‌باشند. در این نفت‌گیرها که عمدتاً از نوع طاق‌دیس هستند، با پیشروی از سمت شمال غربی به بخش جنوب شرقی کاهش چگالی و افزایش گاز اشباع موجود در نفت خام مشاهده می‌شود. مقدار چگالی نفت موجود در مخزن اغلب با پیشروی به سمت سطح تماس آب و نفت افزایش می‌یابد [۳].

• درخصوص آب سازندی می‌توان گفت که آب موجود در Productive Series به وسیله حرکت بسیار کند و محلی، از ناحیه‌ای که تحت فشار زیاد است به سمت بخش‌های فوقانی توصیف می‌گردد. به‌طوری که آن‌ها در بخش زیرین معمولاً به‌وسیله شوری کم آب سازندی و بخش‌های فوقانی

به‌وسیله شوری بالایی آب سازندی (در اثر جانشینی آب شور ثانویه به‌جای آب قلیایی اولیه) تشخیص داده می‌شوند [۲]. شوری آب مجموعاً با افزایش عمق و افزایش خاصیت قلیایی آب سازندی به شدت کاهش می‌یابد. در محیط دریایی، مقدار شوری آب از نواحی تحت فشار به سمت ساختارهای فوقانی و همچنین مهاجرت دیگر آن در جهت جنوب غربی به سمت شمال شرقی افزایش می‌یابد. با توجه به توضیحات داده شده درباره تغییر خواص نفت و گاز و حرکت جانبی و عمودی آب سازندی احتمال می‌رود مهاجرت هیدروکربورها عمدتاً در امتداد لایه‌ها صورت گرفته و در نهایت در نفت‌گیرهای چین‌های به تله افتاده است.

#### منابع

- 1- Leonid A. Buryakovsky, George V. Chilingar, Fred Aminzadeh 'Petroleum Geology of the South Caspian Basin'.
- 2- Nicolai Aladin and Igor Plotnikov 'The Caspian Sea' Lake Basin Management Initiative Thematic Paper, 28 June 2004.
- 3- Buryakovsky, L. A., 1993d. Offshore oil and gas fields in Azerbaijan: History and description, Part II: Houston
- 4- Lee, S., et al., 2000. Illuminating the shadows: tomography, attenuation and pore pressure processing in the South Caspian Sea: Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 24, No. 1.

8 total water salinity

7 abnormally-high pore pressure

6 dehydration

1 ore minerals  
2 stable minerals  
3 kanite or disthene group  
4 argillaceous  
5 montmorillonite