



پوران نظریان سامانی^{*}، زینب زمانی، نواب خدائی، سید علی معلمی، پژوهشگاه صنعت نفت

چکیده

با کاهش تولید از مخازن متعارف نفت و گاز و افزایش تقاضا برای سوخت فسیلی، تولید گاز اقتصادی از منابع نامتعارف به طور چشمگیری توجه صنایع نفتی دنیا را به خود جلب کرده است. حجم زیاد، پتانسیل دراز مدت، قیمت مناسب و جاذبه بی سابقه در بازارهای جهانی موجب شده تا گاز نامتعارف، طلایه دار انرژی های آینده شود. مخازن متراکم گازی را با داشتن تراوایی کمتر از ۰/۱ میلی داری تعریف می کنند. تراوایی کم، فشار غیرعادی، مخزن اشباع از گاز و فقدان زون آب تحتانی، چهار معیاری است که تجمع های گاز نامتعارف در یک مرکز حوضه دارا می باشد. ماسه های متراکم گازی نوع مهمی از مخازن گازی مرکز حوضه به شمار می آیند. تولید گاز از سنگ های متراکم با تراوایی بسیار پایین نیاز به شناخت پارامترهایی از قبیل ویژگی های پتروفیزیکی، مجموعه رخساره های سنگی، توزیع رخساره ها، تخلخل برجا، اشباع شدگی، تراوایی موثر گاز در شرایط مخزن و ساختار توزیع این خصوصیات در مخزن دارد. پیشرفت در فناوری حفاری و تکمیل چاه سبب می شود تا نفتگیرهای زمین شناسی به خوبی مشخص و به طور کامل کشف و مورد بهره برداری قرار گیرند. چاه های چندشاخه ای و مدیریت پس مانده های سرچاهی، دو مولفه کلیدی در فناوری های جدید در توسعه مخازن متراکم گازی به شمار می روند.

در ایران در منطقه کمر بند چین خورده ساده در ناودیس های عمیق می توان مخازن متراکم گازی کم تراوا را در شکل ساختارهای مرکز حوضه امکان سنجی نمود.

واژگان کلیدی: مخازن نامتعارف آینده، تراوایی میکرودرسی، مخازن ماسه ای متراکم گازی مرکز حوضه

مقدمه

امروزه با کاهش تولید از مخازن متعارف نفت و گاز و افزایش تقاضا برای سوخت فسیلی، تولید گاز اقتصادی از منابع نامتعارف (مخازن متراکم گازی، زغال گازدار، هیدرات گازی و شیل های گاز) یک چالش بزرگ برای صنایع نفتی به شمار می آید. حجم زیاد، پتانسیل دراز مدت، قیمت مناسب و جاذبه بی سابقه در بازارهای جهانی موجب شده تا گاز نامتعارف طلایه دار انرژی های آینده شود. گاز موجود در مخازن متراکم زیرزمینی با تراوایی میکرودرسی، پتانسیل زیادی برای تولید در آینده دارد. تراوایی کم، فشار غیرعادی، مخزن اشباع از گاز و فقدان زون آب تحتانی، چهار معیاری است که تجمع های گاز نامتعارف در یک مرکز حوضه دارا می باشد. ماسه های متراکم گازی نوع مهمی از مخازن گازی مرکز حوضه به شمار می آیند اما همه مخازن گازی از نوع مرکز حوضه ماسه ای نیستند. فناوری متمرکز برای شناخت بهتر ویژگی های منابع متراکم گازی و همچنین توسعه روش های مهندسی قابل اطمینان جهت افزایش چشمگیر تولید از این منابع گسترده و کم تراوا لازم و ضروری به نظر می رسد. مفهوم تولید گاز از سنگ های متراکم با تراوایی بسیار پایین نیاز به شناخت چندین پارامتر از قبیل ویژگی های پتروفیزیکی، مجموعه رخساره های

* نویسنده عهده دار مکاتبات (Samanip@ripi.ir)



سنگی، توزیع رخساره‌ها، تخلخل برجا، اشباع‌شدگی، تراوایی موثر گاز در شرایط مخزن و ساختار توزیع این خصوصیات دارد. پیشرفت در فناوری حفاری و تکمیل چاه سبب می‌شود تا نفتگیرهای زمین‌شناسی به خوبی مشخص و به‌طور کامل کشف گردند. چاه‌های چندشاخه‌ای و مدیریت پس‌مانده‌های سرچاهی، دو مولفه کلیدی در فناوری‌های جدید در توسعه مخازن متراکم گازی به‌شمار می‌روند.

به دلیل نیاز به شناخت بهتر و پیش‌بینی خصوصیات مخزن در مخازن با تراوایی کم و استفاده از اطلاعات مربوط در ارزیابی منابع به‌علمی مانند، زمین‌شناسی، مهندسی مخزن،

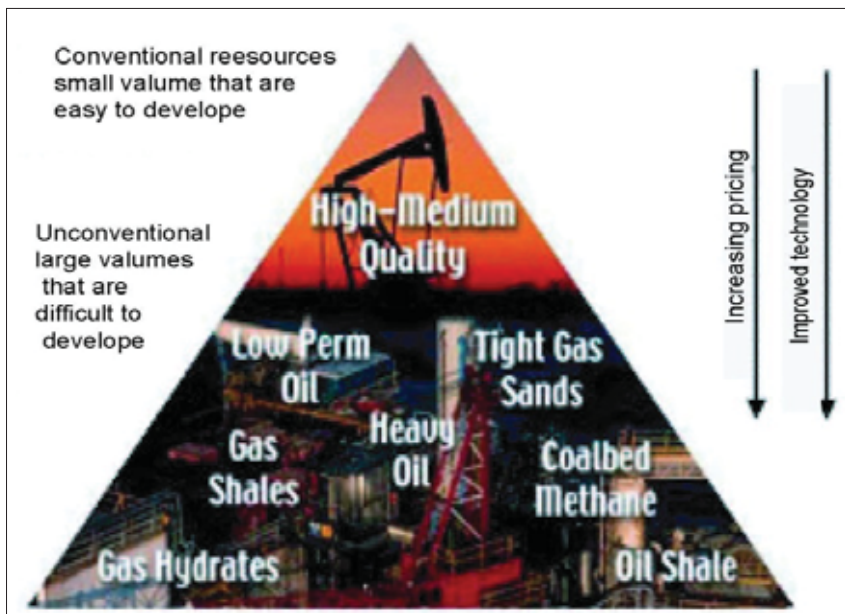
تفسیر نمودارهای چاه‌پیمایی و سایر رشته‌های وابسته نیاز است تا بتوان این مهم را مدیریت نمود. به‌این ترتیب هیچ‌گونه نگرانی در استخراج نفت و گاز طبیعی باقی نمی‌ماند و حجم هنگفتی از نفت و گاز نامتعارف وجود خواهد داشت که بتواند با نفت متعارف که در ۵ تا ۲۰ سال آینده رو به کاهش می‌گذارد، جایگزین گردد.

مطالعه حاضر یک بررسی جهانی از کارهای مختلف و تحقیقات جاری مرتبط با مخازن متراکم گازی ارائه می‌دهد و در نظر دارد تا یک سابقه عملی منسجم در این چشم‌انداز بدست آورد و بتواند این دستاوردها را در ارزیابی‌های کاربردی استفاده نماید. ماهیت

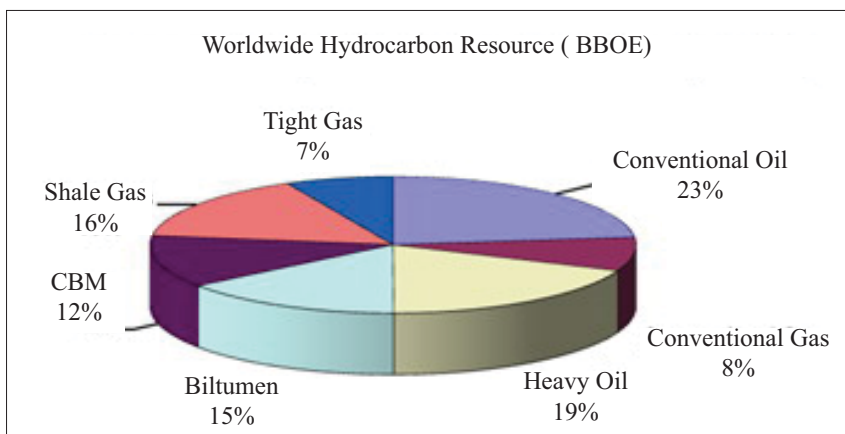
مطالعه، یک بازبینی سیستماتیک از مخازن متراکم گاز عمده در نقاط مختلف دنیا است و در این بررسی خصوصیات زمین‌شناسی (محیط رسوبگذاری، سنگ‌شناسی و دیاژنز)، پتانسیل شکستگی مخازن و دانسیته منابع هدف واقع شده است. علاوه‌براین، نظر اجمالی بر تعاریف مخازن متراکم گازی، مفاهیم مرتبط با آن از قبیل گاز مرکز حوضه و حوضه عمیق را در بر می‌گیرد. همچنین مفهوم نقاط بهینه و هر دو پارامتر چینه‌ای و ساختاری مخزن را بازگو می‌نماید.

۱- از مخازن متعارف تا نامتعارف، آینده تجارت نفت و گاز

مخازن متعارف مخازنی هستند که می‌توانند نرخ جریان اقتصادی ایجاد نمایند و میزان اقتصادی نفت و گاز بدون عملیات تحریک آمیز و یا هیچ فرایند بازیافت خاصی تولید شود. یک مخزن متعارف با تراوایی بالا تا متوسط تعریف می‌شود به‌طوری‌که بتوان در آن چاه قائم حفاری کرد و یا اینکه در فواصل عمقی از مخزن آن چاه شبکه‌گذاری نمود و سرانجام آن چاه دارای نرخ تولید اقتصادی بوده و میزان بازیافت نفت و گاز از آن اقتصادی باشد. درحالی‌که یک مخزن نامتعارف مخزنی است که نرخ جریان اقتصادی نداشته و یا اینکه حجم اقتصادی نفت و گاز بدون روش‌های بازیافت مخصوص و یا عملیات کمکی مانند تکنولوژی تزریق بخار تولید نمی‌گردد. از مخازن نامتعارف بارز می‌توان ماسه‌های متراکم گازی، زغال‌تان‌دار، نفت سنگین و شیل‌های گازی را نام برد. افزایش قیمت و پیشرفت تکنولوژی، کلیدی برای توسعه آنها در آینده است. منابع نامتعارف احتمالاً خیلی بزرگ هستند اما خصوصیات پراکندگی آنها هنوز به خوبی شناخته شده نیست. چیزی که مشخص است این است که در کمیت بزرگ وجود دارند ولیکن از جنبه بازیافت اقتصادی به آسانی به سمت چاه جریان پیدا نمی‌کنند [۱]. شکل ۱ مثلث منابع متعارف و نامتعارف و شکل ۲ میزان منابع هیدروکربوری دنیا را نشان می‌دهد.



شکل ۱ | مثلث منابع متعارف و نامتعارف [۲]



شکل ۲ | میزان منابع هیدروکربوری دنیا [۳]

در یافته‌اند که به کار بردن تکنیک‌هایی مانند نقشه رخساره‌های ناحیه‌ای و چینه‌شناسی توالی‌ها که برای یافتن و ترسیم مخازن متعارف مفید و عملی است، برای مخازن نامتعارف شکاف‌دار موثر نیست. ارزیابی این گونه مخازن مشکل است و تکنیک‌های بازیافت در آنها باید به‌طوری خردمندانه انتخاب و با دقت به کار گرفته شوند تا از بروز هرگونه مشکل تولید اجتناب گردد. لذا مهندسان نفت نگاه مساعدی به مخازن نامتعارف متراکم شکاف‌دار ندارند. با این وجود، تکنولوژی‌های جدید توسعه یافته در سال‌های اخیر سبب شده تا این منابع روزبه روز بیشتر اقتصادی شوند.

بسیاری ممکن است فکر کنند که در حال حاضر مخازن نامتعارف مهم نیستند و در آینده حائز اهمیت می‌گردند؛ اما باید گفت در حال حاضر برای بسیاری از کشورها این مخازن از اهمیت خاصی برخوردار است. امروزه کشور امریکا حجم قابل توجهی گاز طبیعی از مخازن ماسه‌ای متراکم گازی، شیل‌های گازی و زغال‌متان‌دار تولید می‌کند و تنها کشوری است که تولید آن در مقیاس وسیع از مخازن متراکم گازی صورت می‌گیرد [۴]. در حال حاضر بیش از ۲۵ درصد تولید گاز روزانه امریکا از مخازن نامتعارف تولید می‌شود، همچنین در کانادا بیش از ۲۵ درصد تولید نفت روزانه از ماسه‌های حاوی نفت سنگین بدست می‌آید. تولید نفت سنگین بخصوص در کالیفرنیا برای اقتصاد ملی آن کشور ارزش حیاتی دارد. در کشورهایی مانند استرالیا، آرژانتین، مصر، کانادا و ونزوئلا گاز از مخازن با تراوایی کم تولید می‌شود. بنابراین تولید اقتصادی گاز از این منابع نامتعارف امروزه چالشی بزرگ است و زمان آن رسیده تا این مخازن به دقت مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند و روش‌ها و تکنیک‌های جدید برای یافتن و توسعه آنها کشف و بکار گرفته شود.

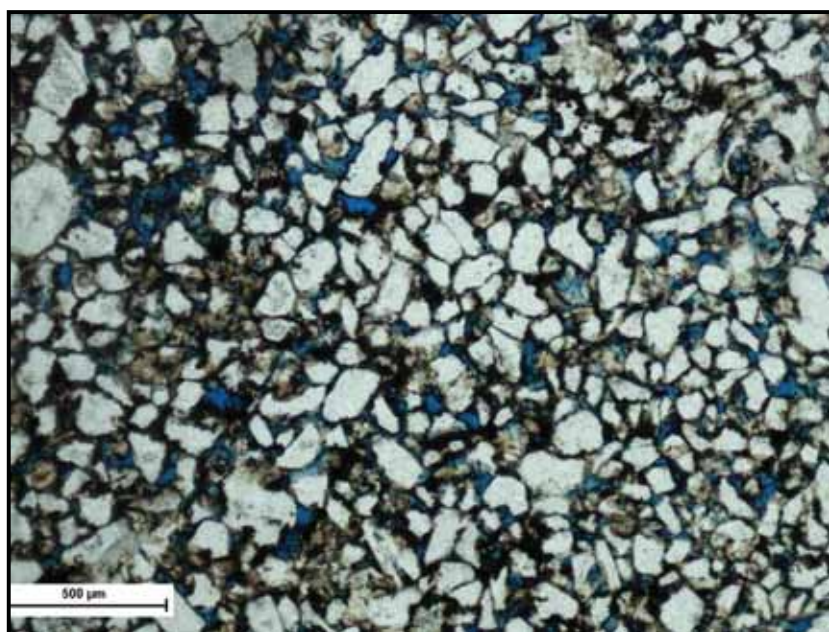
۳- مخازن متراکم گازی چیست؟

مخازن متراکم گازی فاقد یک تعریف رسمی است. لا و کورتیس [۵]، مخازن متراکم گازی را با داشتن تراوایی کمتر از ۰/۱ میلی داریسی تعریف می‌کنند. اخیراً انجمن علوم و تکنولوژی

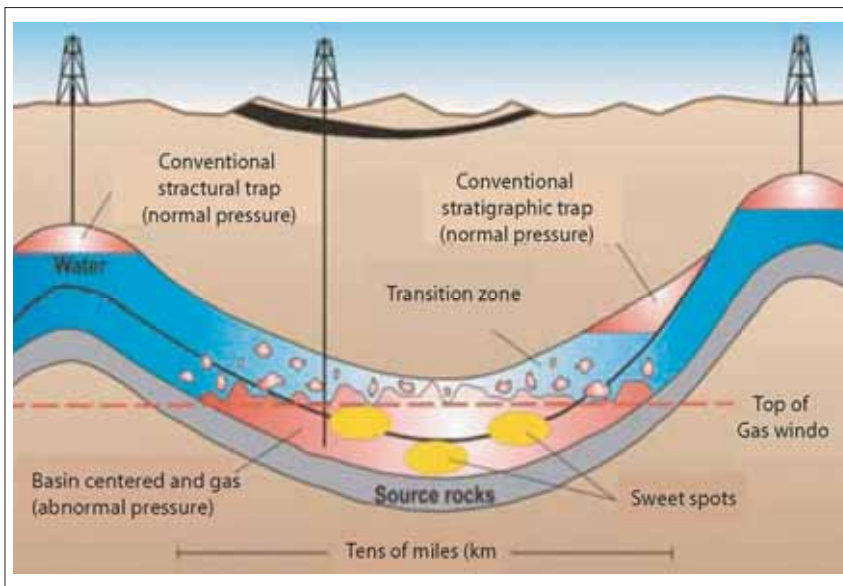
مخازن متراکم هیچگونه شکستگی طبیعی ندارند و بدون شکستگی هیدرولیکی نیز نمی‌توانند به‌طور اقتصادی تولید داشته باشند. مخازن نامتعارف متراکم شکاف‌دار غالباً مستلزم هزینه و ریسک بالاتری نسبت به مخازن متعارف هستند. تاریخچه این نوع مخازن برای زمین‌شناسان و مهندسان نفت شناخته شده نیست. زمین‌شناسان

۲- مخازن نامتعارف متراکم شکاف‌دار

اگرچه مخازن نامتعارف متراکم شکاف‌دار کمتر معمول هستند و نسبت به مخازن کربناته و ماسه‌سنگ‌های متعارف کمتر شناخته شده‌اند، اما به‌طور چشمگیری به یک منبع مهم انرژی تبدیل شده‌اند. مخازن شکاف‌دار از سنگ‌های شکسته شده طبیعی تشکیل شده‌اند، در حالیکه



شکل ۳ | تصویر میکروسکوپی از ماسه‌های متراکم با تخلخل بسیار پایین در یک مخزن متراکم گازی



شکل ۴ | برش عرضی از مجموعه مخازن متراکم گاز مرکز حوضه (BCGAs) با تراوایی کم [۸].

نفث و زغال آلمان (DGMK) تعریف جدیدی از مخازن متراکم گازی ارائه نموده که در این تعریف میانگین تراوایی مفید را برای این مخازن ۰/۶ میلی داری در نظر گرفته است.

یک مخزن متراکم گازی اغلب یک مخزن ماسه‌سنگ یا سنگ کربناته‌ای (دارای شکستگی یا فاقد شکستگی) است که تراوایی در جای آن کمتر از ۰/۱ میلی داری می‌باشد. در بسیاری از مخازن کاملاً متراکم، تراوایی در جای آنها ممکن است کمتر از ۰/۰۰۱ میلی داری نیز باشد. تراوایی ماتریکس این ماسه‌سنگ‌ها بسیار

پایین است. ارتباط بسیار ضعیف خلل و فرج و موینه‌های باریک، تراوایی بسیار پایین را موجب می‌گردد (شکل ۳). گازی که در این نوع سنگ جریان می‌یابد، معمولاً نرخ پایینی دارد و روش‌های خاصی برای تولید آن لازم است.

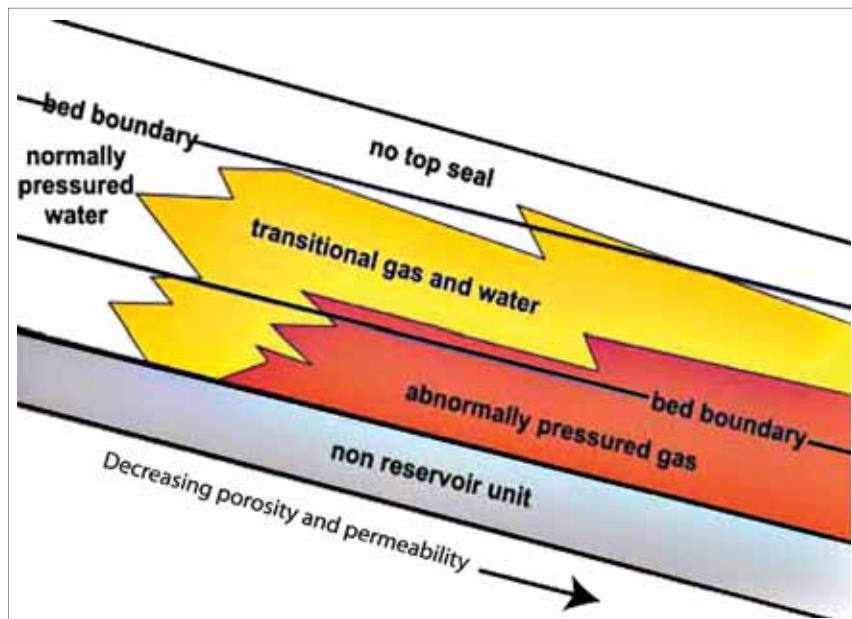
۴- توزیع و پراکندگی مخازن متراکم گازی

بسیاری از محققین بر این باورند که مخازن متراکم گازی تنها درون مرکز حوضه و یا در حوضه عمیق وجود دارند، درحالی‌که انواع متفاوت این مخازن با سن‌های مختلف که تحت تاثیر

دگرشکلی‌های ساختاری دارای سیستم شکستگی طبیعی شده‌اند در حاشیه، دامنه حوضه یا دشت قرار دارند. همچنین مخازن متراکم نامتعارف گازی می‌توانند در حوضه‌های تکنونیک کششی، فشارشی یا چین‌ها و گسل‌های پیچشی واقع شوند. علاوه بر این، دیاژنز تدفینی در ماسه‌سنگ‌ها نیز می‌تواند باعث تشکیل این نوع مخازن گردد. اگرچه ماسه‌های متراکم گازی یک نوع مهم از مخازن متراکم گازی مرکز حوضه هستند، اما همه مخازن متراکم گازی جزو مخازن مرکز حوضه (BCGAs) نیستند.

۵- یک سیستم مخزن متراکم گازی مرکز حوضه-حوضه عمیق چیست؟

مخازن نهشته‌های گازی موجود در مرکز حوضه-حوضه عمیق (> ۱۵۰۰۰ فوت) یک مولفه از BCGAs هستند که آقای "لا" [۶] آنها را به صورت مخازن دارای فشار غیرعادی، اشباع از گاز و فقدان آب تحتانی تعریف می‌کند (شکل ۴). اصطلاح "مرکز حوضه" شامل سیستم‌های گازی متنوعی است که می‌توان به سیستم گازی حوضه عمیق، سیستم متراکم گازی و سیستم گاز نوع پیوسته اشاره نمود. در بسیاری مخازن مرکز حوضه، سنگ منشاء و سنگ مخزن خواص فیزیکی تقریباً نزدیکی دارند و تله‌های ساختمانی و چینه‌ای، به مفهوم سیستم‌های هیدروکربوری معمول، اهمیت چندانی ندارد. ویژگی‌های مرتبط با سیستم‌های گازی مرکز حوضه به‌طور خلاصه در جدول ۱ آورده شده است. به‌طور کلی تولید اقتصادی گاز از BCGA با تولید/تراوایی بهبود یافته مرتبط است. تولید از این نقاط به نقاط بهینه معروف می‌باشد. به‌عبارتی، تولید اقتصادی گاز در مناطق با سیستم تراوایی کم از نقاطی است که کیفیت مخزنی آنها افزایش یافته است. این نقاط به‌عنوان نقاط بهینه شناخته می‌شوند [۷]. سوردم [۲] نقاط بهینه را آن دسته از سنگ‌های مخزنی تعریف می‌کند که میزان تخلخل و تراوایی شان بیشتر از مقدار میانگین تخلخل و تراوایی ماسه‌های متراکم در یک فاصله عمقی مشخص است. تولید اقتصادی از BCGA به‌شدت به وجود شکستگی‌های طبیعی باز و قابلیت ارتباط این سیستم‌های شکستگی مرتبط می‌باشد.



شکل ۵ | برای مخازن گازی با تراوایی کم / سیستم مرکز حوضه، لایه‌های فراشیب حاوی آب در نقش تله برای لایه‌های فروشیب حاوی گاز عمل کرده‌اند [۶].

۱ | خلاصه ویژگی‌های مرتبط با تجمع‌های گازی با تراوایی کم مرکز حوضه

گسترش جغرافیایی	ده‌ها تا صدها مایل، غالباً در بخش‌های مرکزی و عمیق‌تر حوضه رسوبی در مناطق وسیعی از اشباع گاز، بسیار بزرگتر از تله‌های نفت و گاز متعارف، واقع شده است.
اندازه منابع	منابع درجای خیلی بزرگ با ضریب بازیافت کم
ارتباط با آب	معمولاً فاقد سطح تماس آب تحتانی، فاقد تأثیر نیروی ارشمیدس، عموماً در فروشیب (پایین) سنگ‌های اشباع از آب قرار گرفته است. به‌طور کلی تولید آب، خیلی کم یا اصلاً وجود ندارد.
نوع تله هیدروکربوری	تله‌های ساختمانی و چینه‌ای (تصور بر این است که اهمیت چندانی ندارند).
فشار مخزن	فشار بالا و فشار پایین هر دو معمول است.
سنگ منشاء	فیزیک نزدیک به سنگ مخزن
تراوایی مخزن	معمولاً کمتر از ۰/۱ میلی داری

۷- مدل تجمع گاز پرفشار در مخازن کم تراوا در ارتباط با رسوب گذاری

تمرکز گاز و نفت در غالب مخازن، تحت نفوذ پوش سنگ صورت می گیرد. پوش سنگ از مواد تبخیری، شیل و یا به طور کلی از لایه های کم تراوا تشکیل می شود.

در ناحیه کوه های سنگی واقع در ایالات متحده، تعدادی مخزن حاوی گاز بسیار پرفشار وجود دارد. نفتگیرهای مذکور فاقد پوش سنگ می باشند. در این مخازن هیچ گونه تغییر سنگ شناسی و چینه شناسی شاخص که نقش پوش سنگ را انجام دهد، مشاهده نمی شود. بررسی این مخازن حاکی از تجمع گاز با فشار بسیار بالا در لایه های کم تراوا می باشد. لایه های کم تراوا در زیر لایه هایی که دارای تراوایی بیشتر، تخلخل و فشار آب زیاد هستند، قرار گرفته است (شکل ۶). نفتگیرهای مذکور منحصر به کوه های سنگی بوده و در نوع خود بی نظیر می باشد. تجمع گاز در مرکز حوضه و در جهت پایین شیب سنگ های آغشته به آب و در بخش های کم تراوای نفتگیر به وقوع پیوسته است. در تراوایی و تخلخل پس از دفن شدگی رسوبات، فرایندهای متراکم شدن دانه ها، تغییر شکل دانه ها، پُرشدگی خلل اولیه و سیمان خلل توسط کلسیت، کوارتز، سیدریت و غیره صورت گرفته است. عوامل چینه ای (اولیه) و ساختمانی در ایجاد چنین نفتگیرهایی فاقد نقش موثر می باشد [۹].

مدل تجمع گاز پرفشار در مخازن کم تراوا در مناطق کوه های سنگی امریکا در شکل ۶ بازسازی شده و وضعیت سیال درون خلل در ارتباط با رسوب گذاری مورد مقایسه قرار گرفته است. افت فشار مخزن در مرحله چهارم به عملکرد فرسایش و کاهش وزن لایه های فوقانی و استخراج گاز از مخزن نسبت داده می شود [۹].

۸- روش های مختلف در مطالعه و تعیین مخازن متراکم (شکافدار-ماتریکس استاندارد)

شکستگی های قائم طبیعی عامل مهمی در تولید اقتصادی گاز از مخازن متراکم هستند. زیرا تراوایی شکستگی های طبیعی تقریباً همیشه بیشتر از سنگ های فاقد شکستگی است. بیشترین

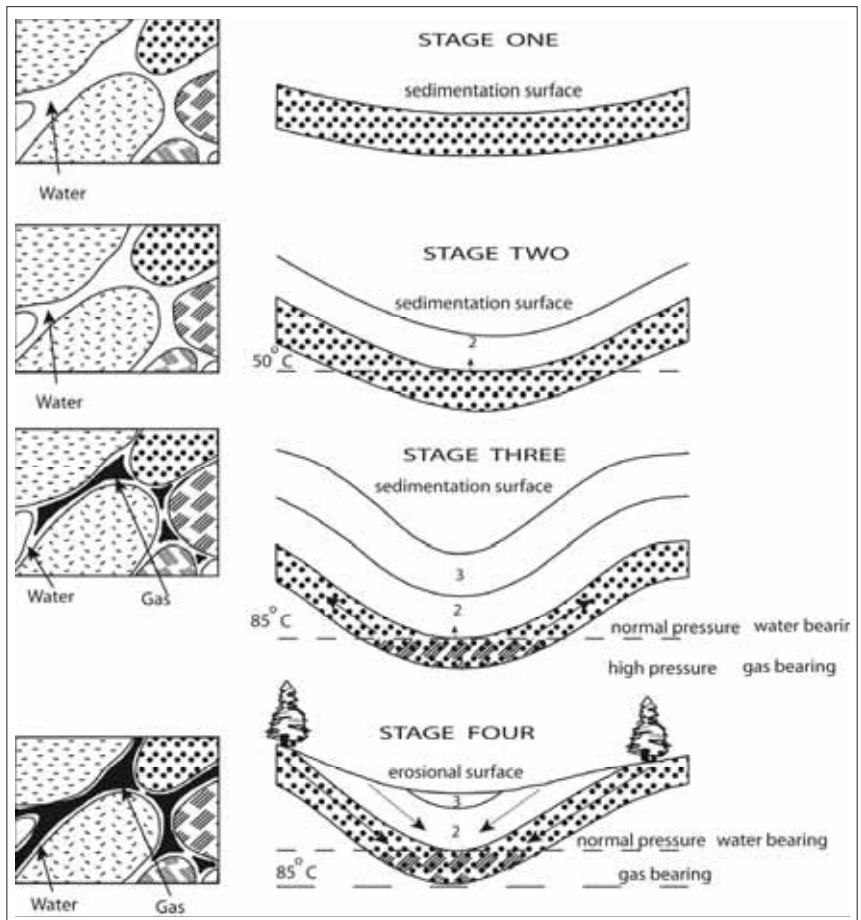
هیدروستاتیک و موینه بوجود می آید. توازن مواد، نیرویی است که بین میزان تأمین گاز با فرار آن حاصل می شود. اگر میزان تأمین و شارژ گاز به مخزن بیشتر از میزان فرار آن باشد، نرخ توزیع تجمع تا حدی توسعه یافته و با توازن فشارشی محدود می گردد. در نقطه مقابل، تأمین و شارژ کم گاز به درون مخزن سبب زهکشی مخزن خواهد شد.

توازن فشاری، حد تجمع گاز حوضه عمیق را تعیین می کند. در این محدوده گاز تراوش شده از منشاء می تواند به شکل یک میدان گاز حوضه عمیق ذخیره گردد. بنابراین هر چه میزان گاز خارج شده از سنگ منشاء بیشتر شود، محدوده توزیع گاز ذخیره شده بیشتر خواهد شد. اگر گاز خارج از این محدوده از سنگ منشاء تراوش نماید تحت تاثیر نیروی ارشمیدسی مهاجرت نموده و تجمع گاز نرمال را تشکیل می دهد.

۶- مکانیسم به تله افتادن گاز در حوضه عمیق

مخزن گازی حوضه عمیق یک نهشته غیرعادی گاز است که شرایط تشکیل، مکانیسم به تله افتادن و توزیع آن کاملاً با یک نهشته گازی معمول متفاوت است. مخزن گاز حوضه عمیق توسط زاویه شیب ملایم، فشار غیرعادی، سطح تماس آب و گاز معکوس و همزمانی سنگ مخزن و منشاء متمایز می گردد (شکل ۵). فرایندهای اصلی همراه با تجمع هیدروکربور حوضه عمیق به تولید و پراکنندگی نهشته مربوط می شود. شرایط اساسی مطلوب در تشکیل گاز حوضه عمیق شامل فراوانی منشاء، مخزن و تله متراکم می باشد.

برای تشکیل و تجمع گاز در یک حوضه عمیق، دو نیروی پیش نیاز شامل توازن فشارشی و توازن مواد ضروری است. نیروی فشارشی بین نیروهای به سمت جلو مانند فشار انبساطی گاز و ارشمیدسی با نیروهای به سمت پایین مانند فشار



شکل ۶ | مدل تجمع گاز پرفشار در مخازن کم تراوا [۹]

مقدار گاز باقیمانده در فضای خالی سنگ با استفاده از کانال شکستگی از سنگ خارج شده و به درون چاه راه پیدا می‌کند. تکنیک‌های مختلفی در تعیین و مطالعه مخازن گازی متراکم فاقد شکاف و دارای شکاف بکار برده می‌شود.

۸-۱- پتروگرافی

در این روش تاکید خاصی است بر مطالعه سیمان‌ها و کانی‌های در جزا مانند کانی‌های رسی که فضاهای خالی اولیه و ثانویه سنگ را پر می‌کنند. بدین منظور، استفاده از میکروسکوپ نوری و الکترونی همراه با آنالیزهای XRD و اندازه‌گیری کربن آلی ضروری است. این داده‌های زمین‌شناسی توصیفی با داده‌های کمی پتروفیزیکی مانند اندازه‌گیری‌های هدایت الکتریکی سطحی تکمیل و تقویت می‌شوند. کانی‌های سیمانی عامل اصلی بستن گلوگاه‌ها در شکستگی‌های هیدرولیکی سنگ می‌باشند. بنابراین مقطع نازک میکروسکوپی دید کاملاً روشنی از ارتباط بین دانه‌های رسوبی، کانی‌های سیمانی و دیاژنز این کانی‌ها فراهم نموده و اطلاعات مفیدی از سنگ مخزن حاصل می‌کند (شکل ۷).

۸-۲- نمودارهای چاه‌پیمایی

علاوه بر نمودارهای معمول که ویژگی‌های پتروفیزیکی سنگ را نمایان می‌کند، نمودارهای تصویری سازند، وجود و جهت شکستگی‌های طبیعی را در مخزن نشان می‌دهد. نمودار تشدید مغناطیس هسته (NMR) زون‌های خالی شده احتمالی و تراوایی سازند را مشخص می‌کند. بیشتر مخازن نامتعارف ذاتاً تخلخل و

تراوایی پایینی دارند و به دلیل اینکه ابزارهای نمودارگیری برای ارزیابی سازندهای با تخلخل و تراوایی بالا ساخته شده‌اند، اغلب در مقابل سازندهای با تخلخل و تراوایی پایین حساسیت خود را از دست می‌دهند. پس تکنیک و روش‌های بهتر ارزیابی سازند برای مخازن با تخلخل کم کاملاً ضروری و مورد نیاز است. اگر فناوری بتواند به گونه‌ای توسعه یابد که تخمین بهتری از تراوایی سازند همراه با تخلخل و اشباع آب حاصل نماید، آنگاه توسعه مخازن نامتعارف اساساً پیشرفت نموده است.

۸-۳- رهیافت‌های مبتنی بر افق لرزه‌ای سه‌بعدی برای تعیین نقاط دارای فوج شکستگی بهینه

خصوصیات افق شامل شیب، آزیموت و انحناء مشتق از داده‌های سه‌بعدی لرزه‌ای برای تعیین نقاط دارای فوج شکستگی بهینه در مخازن با تراوایی کم، از پتانسیل قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. اساساً این خصوصیات برای تعیین گسل‌های ظریف بکار می‌رود که می‌تواند نقش مهمی در بخش‌بندی مخازن متعارف داشته باشد؛ با وجود این، در مخازن گازی با تراوایی کم، جایی که تراوایی شکستگی معیاری حیاتی است، همین خصوصیات برای تعیین فوج‌های شکستگی با تراوایی بالا استفاده می‌شود. هارت [۲] بر اساس سه مطالعه موردی (دو میدان آواری و یک میدان کرناته) در شمال غرب نیومکزیکو بر این باور است که برای برنامه‌های پیشرفته حفاری در مخازن با تراوایی پایین باید ناهمگونی‌های زمین‌شناسی که می‌تواند به همراه فوج‌های شکستگی باشد، مورد

توجه قرار گیرد (شکل ۸). داده‌های پردازش شده و آنالیزهای آماری بدست آمده از خصوصیات لرزه‌ای، در تعیین شکستگی‌ها برای تولید اقتصادی گاز تفسیر می‌شوند. این اطلاعات می‌توانند با ویژگی‌های اندازه‌گیری شده مخزنی مانند میزان رس و تراکم شکستگی‌های تفسیر شده از نمودارهای تصویری چاه تلفیق شوند.

۸-۴- حفاری و تکمیل چاه

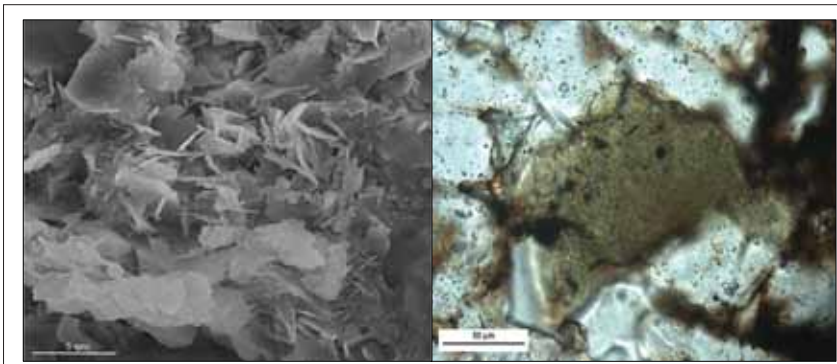
مخازن متراکم گازی به استفاده از روش‌های پیشرفته جهت کم کردن فاصله مهاجرت از سازند به درون چاه نیاز دارد. بنابراین تکنیک‌های مدرن برای تولید از این مخازن از جمله چاه‌های چندشاخه‌ای و افقی و همچنین حفاری تحت توازن می‌تواند کاربری داشته باشد. روش‌های تحریکی و سیمانکاری به‌طور چشم‌گیری تولید اقتصادی را بهبود می‌بخشد. در این مورد تکنیک‌های مدرن و معمول برای توسعه مخازن متراکم گازی گسترش یافته است.

۸-۵- آزمایش چاه در مخازن متراکم گازی

تراوایی کم این مخازن عکس‌العمل سازند را به آزمایش‌های فشار به تأخیر می‌اندازد. بنابراین بدست آوردن ویژگی‌های دینامیکی مخزن و در پی آن، تولید و محاسبه حجم درجای گاز مشکل به نظر می‌رسد. نیاز به ایجاد شکستگی‌های هیدرولیکی در این مخازن برای بدست آوردن نرخ اقتصادی جریان، به مشکلات و پیچیدگی‌های این گونه مخازن می‌افزاید. برای کاهش عدم قطعیت در تخمین میزان گاز درجا و سطح تماس سیال، ادغام داده‌های مغزه و نمودارهای الکتریکی لازم و ضروری است. روش جدید و پیشرفته معادله ارتفاع اشباع‌شدگی به‌طور موفقیت‌آمیزی برای تنظیم آنالیز نمودارهای الکتریکی به کار گرفته شده است تا ویژگی‌های پتروفیزیکی مانند اشباع آب و سطح آب آزاد در مخازن متراکم بهتر تعیین گردد. کاربرد این روش نقش حیاتی در اکتشاف و توسعه مخازن متراکم دارد.

نتیجه‌گیری

۱- حجم زیاد، پتانسیل دراز مدت، قیمت مناسب



۷ | تصویر میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی برای تشخیص سیمان‌های رسی در مخازن گازی با تراوایی کم (نمونه سازند گدوان).



در حوضه‌های تکتونیک کششی، فشارشی یا چین‌ها و گسل‌های پیچشی واقع شوند. علاوه‌براین، دیاژنز تدفینی در ماسه‌سنگ‌ها نیز می‌تواند باعث تشکیل این نوع مخازن گردد. ماسه‌های متراکم گازی یک نوع مهم مخازن متراکم گازی مرکز حوضه هستند.

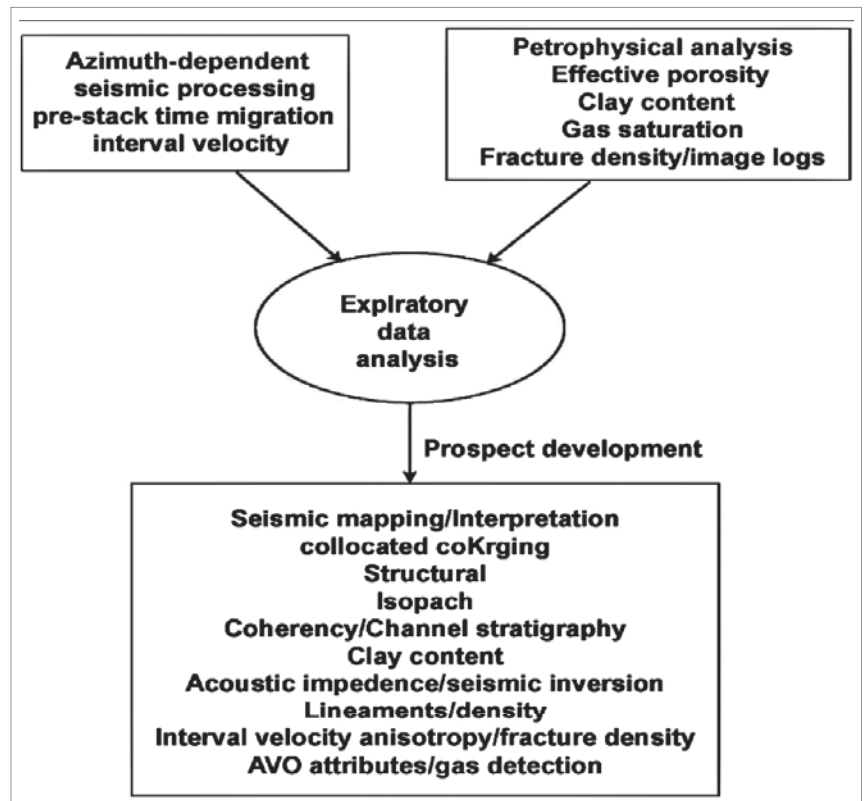
۳- تنها ابزار ترکیب سنگ‌شناسی و ژئومتری گسل‌ها و شکستگی‌ها نمی‌تواند تولید اقتصادی از مخازن متراکم ماسه‌ای را مشخص نماید. اطلاعات لرزه‌ای (داده‌های سه‌بعدی چند مولفه‌ای)، نمودارهای الکتریکی، روش‌های سیمانکاری و تحریکی، حفاری، داده‌های سطح‌الارضی، داده‌های مهندسی مخزن، و مدل‌سازی در شناسایی این نوع مخازن ضروری به نظر می‌رسد.

۴- در توسعه مخازن متراکم تکنیک‌های پیشرفته مانند حفاری افقی و دانش فنی برای ایجاد شکستگی در زون‌های متعدد از هر چاه برای کوتاه‌تر کردن مسیر مهاجرت گاز به درون چاه لازم است تا محلی مناسب برای حفاری چاه مشخص و نهایتاً آن را به تولید برساند.

۵- با توجه به خصوصیات اشاره شده، در ایران در منطقه کمربند چین‌خورده ساده در ناودیس‌های عمیق می‌توان مخازن متراکم گازی کم‌تراوا را در شکل ساختارهای مرکز حوضه امکان‌سنجی نمود. ■

۲- یک مخزن متراکم گازی اغلب یک مخزن ماسه‌سنگ یا سنگ کربناته‌ای (دارای شکستگی یا فاقد شکستگی) است که تراوایی در جای آن کمتر از ۰/۱ میلی داری می‌باشد. مخازن متراکم نامتعارف گازی می‌توانند

و جاذبه بی‌سابقه در بازارهای جهانی موجب شده تا گاز نامتعارف طلایه‌دار انرژی‌های آینده شود. گاز موجود در مخازن متراکم زیرزمینی با تراوایی میکرودارسی، پتانسیل کلانی برای تولید در آینده دارد.



شکل ۸ چشم‌انداز مراحل و روش‌های کاربردی در مطالعه مخازن متراکم گازی.

پانویس‌ها

- ¹Basin
- ²Centered Gas (BCGAs)
- ³Sweet spot
- ⁴Basin-Centered
- ⁵Gas (BCGAs)
- ⁶Deep Basin Gas System
- ⁷Continuous-Type Gas System

منابع

[1] Golden Rules for a Golden Age of Gas, World Energy Outlook Special Report on Unconventional Gas, www.worldenergyoutlook.org/worldenergyoutlook.org, 2012.

[2] Naik, G.C., Tight Gas Reservoirs – An Unconventional Natural Energy Source for the Future.

[3] www.CGGVeritas Unconventional Resources.mht.

[4] بهنام صدایی، س.، ملکی، م.ر.، بررسی اهمیت، چالش‌ها و ویژگی‌های مخازن گازی فشرده، نشریه انجمن نفت ایران، ۱۳۹۰، شماره ۷۵، ۲۳-۲۹.

[5] Law, B. E., and J. B. Curtis, Introduction to unconventional petroleum systems: AAPG Bulletin, 2002, v. 86, p. 1851 1852.

[6] Law, B. E., Basin-centered gas systems: AAPG Bulletin, 2002b, v. 86, p. 1891 1919.

[7] Campbell, I., An Overview Of Tight Gas Resources In Australia, PESA News, 2009.

[8] Schenk, C. J., and Pollastro, R. M., Natural gas production in the United States. US Geological Survey Fact Sheet FS, 2002, 113-01 2p.

[9] صیرفیان، ع.، زمین‌شناسی نفت، انتشارات ذره‌بین، ۱۳۷۱، ۳۰۷ صفحه.