



## ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی، ضرورت یا انتخاب

علی تمپوری یادگوری<sup>۱</sup> شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی  
منصوره بصیرت<sup>۲</sup> مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی گاز ایران

امیر عباس مسکزی<sup>۳</sup> پژوهشگاه صنعت نفت  
غلامعلی رحیمی<sup>۴</sup> شرکت ذخیره‌سازی گاز طبیعی

چکیده

کشور ایران به‌عنوان دومین کشور دارای ذخایر عظیم گاز طبیعی (با بیش از ۳۰ تریلیون مترمکعب گاز قابل استحصال) و بر طبق افق چشم انداز ۱۴۰۳، در حوزه گاز طبیعی اهداف مهمی چون رسیدن به دومین تولیدکننده گاز در جهان، افزایش سهم سبد انرژی گاز در کشور، افزایش صادرات گاز، افزایش تزریق گاز به مخازن نفتی کشور را دنبال می‌کند. ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی به‌عنوان یک ضرورت مطرح بوده به‌طوری که طبق این سند، مقدار ذخیره‌سازی برابر با ۱۰۰ میلیون مترمکعب در روز برآورد شده است. رسیدن به این اهداف به برنامه‌ریزی و مدیریت کلان در حوزه زنجیره ارزش صنعت گاز کشور نیاز دارد. در این میان، ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی با شناخت کامل از بازار مصرف می‌تواند به‌عنوان بهترین گزینه استراتژیک، اقتصادی و پدافند غیر عامل مناسب برای نیل به اهداف چشم‌انداز، مخصوصاً تأمین نیاز مصرف داخلی در شرایط بحرانی از جمله ماه‌های سرد سال و در هنگام قطع خطوط شبکه انتقال گاز مؤثر باشد.

در این راستا و برای انجام این طرح ملی، مشارکت و همکاری حداکثری تمامی واحدها و ارگان‌های مرتبط که به نحوی داده‌ها و اطلاعات اولیه را در اختیار دارند، لازم و ضروری است. امید می‌رود با درک ضرورت ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی، زمینه‌های مساعدت برای رشد این صنعت مهم فراهم شود.

واژگان کلیدی | ذخیره‌سازی زیرزمینی، برنامه‌ریزی، بازار مصرف

### مقدمه

دیگری نیز در ماه‌های گرم به‌منظور تأمین برق سیستم‌های خنک‌کننده، تقاضای گاز افزایش می‌یابد. هم‌اکنون، در جهان به مدیریت عرضه و تقاضای گاز طبیعی به‌عنوان یک ابزار در بازار تجاری و بنگاه‌های اقتصادی نگریسته می‌شود. بدین صورت، تولیدکنندگان گاز با افزایش تقاضا، گاز را با قیمت بالا به فروش می‌رسانند و با کاهش تقاضا آنرا ذخیره می‌کنند.

ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی به‌عنوان یک روش مهم در مدیریت تقاضا و نوسانات قیمت گاز و همین‌طور اقتصادی‌ترین و ایمن‌ترین روش ذخیره‌سازی گاز در جهان مطرح است.

انرژی بجز انرژی هسته‌ای، رشد افزایشی تقاضا را شاهد خواهند بود که در این میان، گاز طبیعی با شیب تقاضای بالاتری دیده می‌شود. ذخایر گازی جهان با حجم قابل استحصال ۱۴۶ تریلیون مترمکعب عمدتاً در کشور روسیه و منطقه خاورمیانه واقع شده‌اند. مطالعات نشان می‌دهد از سال ۲۰۲۰ به بعد شتاب تولید گاز از تولید نفت (معادل بشکه نفت خام) پیشی می‌گیرد [۱].

عمده استفاده از گاز طبیعی به دو شیوه است: تولید برق و گرمایش. در بیشتر کشورهای جهان تقاضای گاز دارای ماهیت فصلی (رشد مصرف در ماه‌های سرد سال) است، اما در مناطق

همانطور که می‌دانیم، در سال‌های آینده به دلایل گوناگونی چون رشد جمعیت، اقتصاد و صنایع، با روند افزایشی تقاضای انرژی در دنیا مواجه خواهیم بود. در بسیاری از کشورها، درخواست برای توقف استفاده از انرژی هسته‌ای به علت مسائل زیست‌محیطی، روند فزاینده‌ای را شاهد است. در این راستا، انرژی پاکي چون گاز طبیعی مورد توجه و منبع مناسبی برای احتیاجات بشر در اوایل قرن ۲۱ است. شکل ۱ پیش‌بینی مصرف انرژی دنیا تا سال ۲۰۲۰ را نشان می‌دهد. بر اساس این برآورد، تمامی منابع تأمین‌کننده

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات (askariaa@ripi.ir)

برای نیل به اهداف چشم‌انداز، مخصوصاً تأمین نیاز مصرف داخلی در شرایط بحرانی و در ماه‌های سرد سال و یا هنگام قطع خطوط شبکه انتقال گاز مؤثر باشد. شکل ۲ نقش ذخیره‌سازی گاز را در متعادل کردن عرضه و تقاضا نشان می‌دهد [۲].

### ۱- جایگاه ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی در جهان

اولین سایت ذخیره‌سازی جهان، سال ۱۹۱۵ در آنتاریو کانادا مورد بهره‌برداری قرار گرفت و تاکنون نزدیک به ۷۰۰ سایت ذخیره‌سازی در ۳۷ کشور جهان فعالیت دارند. در این پروژه‌ها گاز در تابستان به مخازن مورد نظر، تزریق، و در زمستان برای استفاده باز تولید می‌شود. بر مبنای بانک اطلاعات جهانی ذخیره‌سازی (ارائه شده توسط شرکت CEDIGAS)، حجم کل گاز عملیاتی در این سایت‌ها تا سال ۲۰۱۱ مقدار ۳۰۳ میلیارد مترمکعب بوده است. شکل ۳ حجم گاز عملیاتی در این کشورها را نشان می‌دهد. طبق این شکل، ایالات متحده در بالاترین ظرفیت حجم گاز عملیاتی و بعد از آن روسیه، اکراین و آلمان قرار گرفته‌اند. همچنین، سهم حجم گاز عملیاتی در ناحیه اروپای شرقی ۴۲ درصد، آمریکای شمالی و جنوبی ۳۵ درصد، اروپای غربی ۱۹ درصد و خاورمیانه و آسیا هر یک ۲ درصد است [۴].

همین‌طور، براساس شاخص "نسبت حجم گاز عملیاتی به تعداد سایت‌های ذخیره‌سازی"، روسیه بالاترین نسبت و ایالات متحده در رتبه ۲۵ ام است.

### ۲- انواع مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی

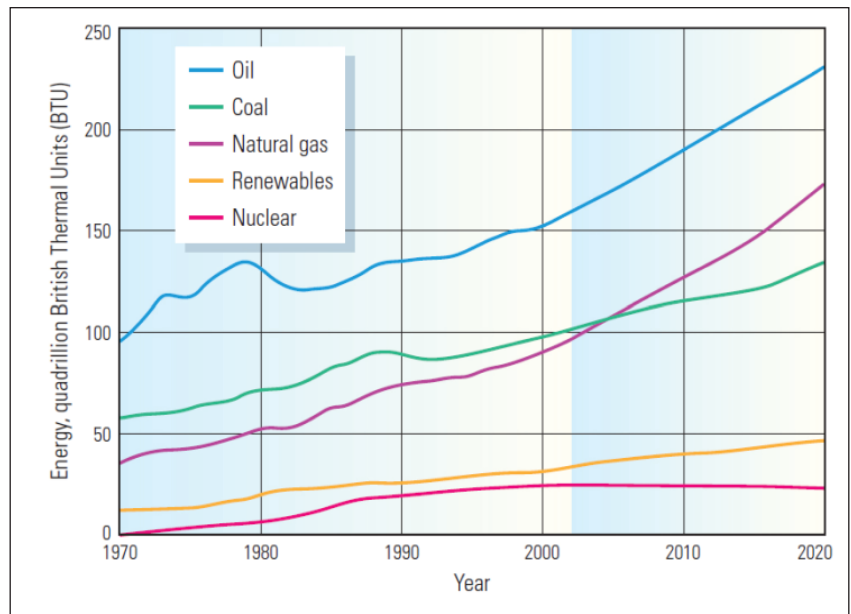
مخازن زیرزمینی اصلی و عمده گاز طبیعی در جهان به سه شکل وجود دارند: میادین تخلیه شده گاز یا نفت، آبخوان‌های شور و عمیق زیرزمینی و مغارهای نمکی. خصوصیات زمین‌شناسی هر یک از این مخازن متفاوت و انتخاب هر یک بستگی به شرایط استفاده و هزینه‌های توسعه‌ای دارد. شکل ۴ سهم هر یک از این نوع مخازن را در سایت‌های ذخیره‌سازی جهان بر حسب حجم گاز عملیاتی نشان می‌دهد [۵].

#### ۲-۱- میادین تخلیه شده گاز یا نفت<sup>۸</sup>

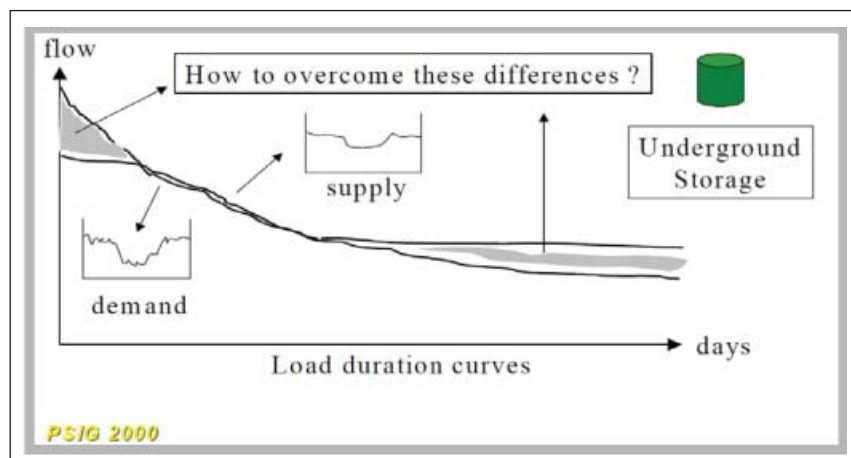
استفاده از این نوع میادین بیشترین و

گاز و افزایش تزریق گاز به مخازن نفتی کشور را دنبال می‌کند. براین اساس، ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی به‌عنوان یک ضرورت مطرح بوده و طبق این سند حجم ذخیره‌سازی موردنیاز برابر با ۱۰۰ میلیون مترمکعب در روز برآورد شده است. رسیدن به این اهداف نیازمند برنامه‌ریزی و مدیریت کلان در حوزه زنجیره ارزش صنعت گاز کشور است. در این میان، ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی با شناخت کامل از بازار مصرف می‌تواند به‌عنوان بهترین گزینه استراتژیک، اقتصادی و پدافند غیرعامل مناسب

ذخیره‌سازی، بخش حیاتی از زنجیره‌ای است که فعالیت‌های بالادستی نفت و گاز را به شبکه‌های پایین‌دستی (مصرف کنندگان) متصل می‌کند. به‌طورمعمول، در جهان فعالیت‌های ذخیره‌سازی توسط شرکت‌های مستقل تجاری انجام می‌گیرد. کشور ایران به‌عنوان اولین کشور دارای ذخایر عظیم گاز طبیعی (با بیش از ۳۰ تریلیون مترمکعب گاز قابل استحصال) درافق چشم‌انداز ۱۴۰۳، اهداف مهمی چون رسیدن به جایگاه دومین تولیدکننده گاز در جهان، افزایش سهم سبد انرژی گاز در کشور، افزایش صادرات



شکل ۱ | پیش‌بینی مصرف انرژی دنیا تا سال ۲۰۲۰ از حامل‌های انرژی [۲]



شکل ۲ | نقش ذخیره‌سازی گاز را در تعادل نمودن عرضه و تقاضا [۳]



نگهداری گاز، هزینه‌های توسعه‌ای به مرتب بالاتری نسبت به مخازن تخلیه شده گاز یا نفت دارند.

### ۲-۳- مغارهای نمکی<sup>۱۱</sup>

فرایند ایجاد این نوع مخازن با معدنکاری انحلالی انجام می‌گیرد. بدین صورت که آب شیرین توسط یک چاه به گنبد نمکی تزریق، و شورابه از آن تخلیه می‌شود. ظرفیت، تعداد و فاصله ایمن مغارهای این نوع مخازن بر اساس شرایط زمین‌شناسی و ژئومکانیکی خاص نمک طراحی و محاسبه می‌شود. در مقایسه با دیگر مخازن ذخیره‌سازی، دارای بالاترین هزینه توسعه از لحاظ حجم گاز عملیاتی به ازای هر متر مکعب هستند. ظرفیت و حجم گاز عملیاتی پایین و تحویل‌دهی گاز بالا از خصوصیات این نوع مخازن است. این نوع مخازن در طول سال می‌توانند تا ۱۰ مرتبه پر و خالی شوند و در روزهایی با تقاضای بالای گاز<sup>۱۲</sup> به کار روند [۳]. شکل ۶، نمایی از این نوع مخازن را نشان می‌دهد.

هزینه‌های توسعه و ایجاد یک مخزن ذخیره‌سازی بر حسب نوع مخزن و دیگر شرایط عملیاتی متفاوت است. این نوع پروژه‌های توسعه‌ای معمولاً بین ۵ تا ۱۰ سال به طول می‌انجامد. هزینه تأمین گاز پایه<sup>۱۳</sup>، حفاری چاه، خطوط لوله، لوله کمپرسور و تأسیسات پالایشی سطح‌الارضی، از جمله هزینه‌های اصلی در این گونه طرح‌هاست. شکل ۷ هزینه توسعه این نوع مخازن را به‌زای ایجاد ظرفیت ۱۰۰ میلیون متر مکعب نشان می‌دهد.

### ۳- معیارهای مناسب در انتخاب یک مخزن

#### ذخیره‌سازی زیرزمینی

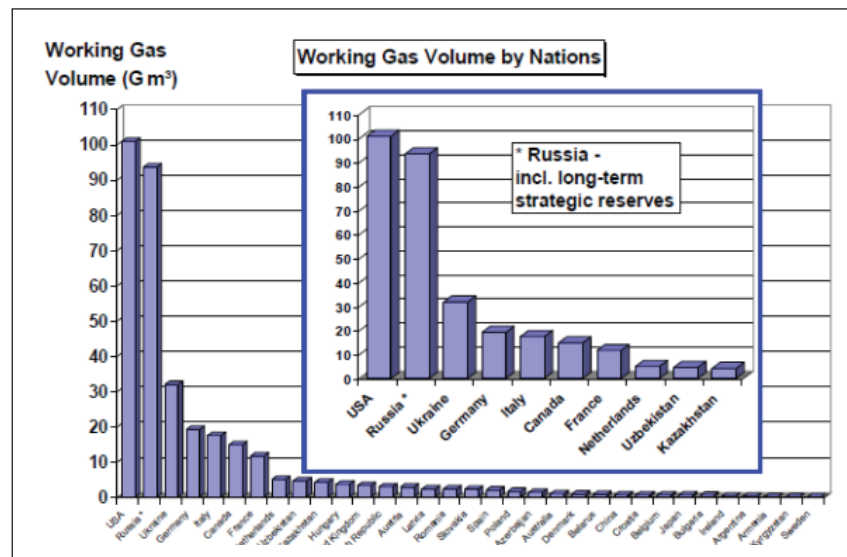
انتخاب مخزن مناسب ذخیره‌سازی، مرحله اساسی در موفقیت یک پروژه ذخیره‌سازی است. بجز میادین کاملاً تخلیه شده، انواع دیگر مخازن مخصوصاً آبخوانها باید بر اساس داده‌ها و اطلاعات موجود، در یک فرآیند غربال‌گری قرار گیرند که البته، نیازمند صرف هزینه و زمان است. معیارهای انتخاب ساختار موردنظر شامل عوامل متعددی است که به‌طور خلاصه چهار هدف اساسی از انتخاب این معیارها را می‌توان

حجم گاز عملیاتی این مخازن در مقایسه با نوع مغار نمکی بالاست اما تحویل‌دهی<sup>۱۴</sup> پاینتری دارد و یک سیکل کامل آن تنها در یک دوره یکساله به اتمام می‌رسد (شکل ۵).

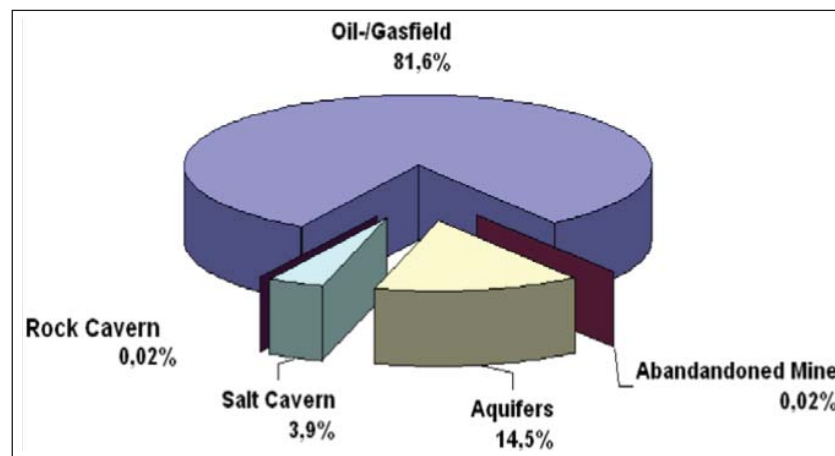
### ۲-۲- آبخوانهای شور عمیق زیرزمینی<sup>۱۵</sup>

این نوع مخازن، سازندهای زیرزمینی آبدار و تراوا را شامل می‌شوند و خصوصیات زمین‌شناسی آنها مشابه میادین نفت و گاز است اما با توجه به نبود گاز پایه در مخزن و ریسک بالای زمین‌شناسی و امکان نشت و مشکلات

معمولترین نوع ذخیره‌سازی گاز زیرزمینی در جهان است. از مزیت‌های اصلی این نوع مخازن می‌توان به شناخت کامل مخزن از لحاظ زمین‌شناسی و مخزنی اشاره کرد زیرا تا حد زیادی نسبت به امکان نگهداری هیدروکربور در آن اطمینان وجود دارد. همین‌طور، در نزدیکی این نوع مخازن، زیرساخت‌ها و تأسیسات سطح‌الارضی، از قبل موجود است که هزینه‌های اجرای طرح را به مراتب کاهش می‌دهد. در این میان، میادین تخلیه‌شده گازی به لحاظ عدم نیاز به گاز پایه اولیه، بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند.



شکل ۳ | حجم گاز عملیاتی در کشورهای جهان بر حسب میلیارد مترمکعب [۴]



شکل ۴ | سهم هر یک نوع مخزن در سایت‌های ذخیره‌سازی جهان بر مبنای حجم گاز عملیاتی [۵]

برشمرده [۷/۸]:

### ۱-۳- بهینه‌سازی عملکرد مخزن ذخیره‌سازی

جهت نیل به این هدف، باید پارامترهایی را شناسایی کرد که بر اساس آن، بیشترین ظرفیت<sup>۱۴</sup> و بالاترین تزریق‌پذیری<sup>۱۵</sup> در مخزن انتخابی حاصل شود. معیارهای زمین‌شناسی و مخزنی مانند تخلخل، ضخامت، ابعاد مخزن، شرایط فشار و دمای اولیه و جاری مخزن، نفوذپذیری مطلق و نسبی، فشار حد آستانه، خواص ژئومکانیکی مخزن و پوش سنگ از جمله این پارامترهاست.

### ۲-۳- حداقل کردن ریسک‌های موجود

این فرآیند احتمال وقوع ریسک‌های ناشی از نشت گاز را در مخزن ذخیره‌سازی به حداقل می‌رساند. شرایط پوش سنگ شامل: ضخامت، تراوایی، حد آستانه تحمل و پیوستگی جانبی است. شناسایی مسیرهای نشت گاز از قبیل چاه‌های متروکه، پشت لوله‌های جداری، گسله‌های فعال، مسیرهای فرار و مکانهای مهاجرت گاز<sup>۱۶</sup> و نیز، شناسایی مخاطرات طبیعی که ناحیه سطحی سایت‌های ذخیره‌سازی را تهدید می‌کند مانند: زمین‌لرزه، زمین لغزش و نزدیکی

زیاد به مناطق جمعیتی از لحاظ پدافند غیر عامل در این خصوص موثر است.

### ۳-۳- رعایت مقررات و محدودیت‌های مکانی

محدودیت‌های زیست‌محیطی و بهره‌برداری مانند قرار نگرفتن در مناطق حفاظت شده و مناطق دارای مجوز بهره‌برداری سطحی و زیرزمینی از اینگونه است.

### ۴-۳- رعایت ملاحظات اجتماعی و اقتصادی

در این خصوص باید هزینه‌های توسعه یک مخزن ذخیره‌سازی از نظر زیرساخت‌های موجود سطحی و زیرسطحی، هزینه‌های سرمایه‌ای، فاصله مبدا تا مقصد و نزدیکی به خطوط لوله و همینطور پذیرش اجتماعی مردم منطقه ارزیابی و شناسایی شود.

در بین این معیارها، پارامترهایی وجود دارد (معیارهای وتوییسی<sup>۱۷</sup>) که عدم وجود هر یک از آنها در مخزن مورد مطالعه، اولویت انتخاب آن را به‌طور کامل از بین می‌برد مانند: سلامت پوش سنگ، وجود گسله‌های فعال در مخزن، ارتباط با ساختارهای مجاور، وجود دی‌اکسید گوگرد بالا (بیش از ۲۰ ppm) و مشترک بودن ساختار مورد نظر.

### ۴-۱- عملیات ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز

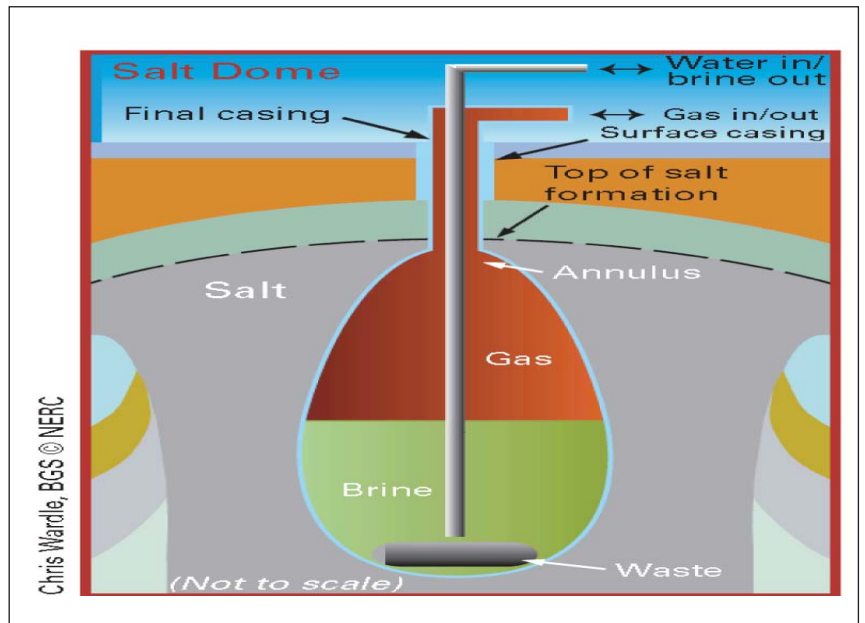
چهار رکن کلیدی در عملیات مخازن زیرزمینی ذخیره‌سازی گاز طبیعی عبارتند از:

#### ۴-۱-۱- پایش<sup>۱۸</sup>

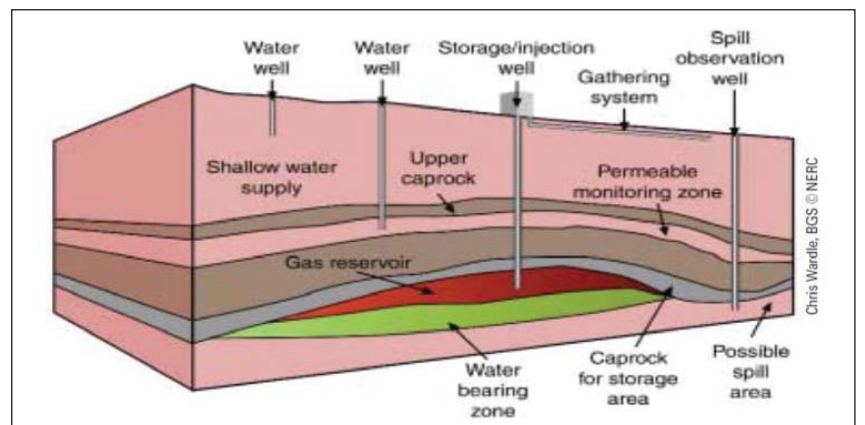
به‌طور کلی پایش را اندازه‌گیری مستمر داده‌ها در یک سیستم گویند که به‌منظور پیش‌بینی و تشخیص به‌موقع رخدادهای ناخواسته (نشت گاز) صورت می‌گیرد. بزرگترین ریسک و خطر در اینگونه سایت‌ها، نشت گاز<sup>۱۹</sup> در زیر سطح و نشت گاز در سطح زمین<sup>۲۰</sup> است. در مخازن ذخیره‌سازی سه ناحیه باید به‌هنگام پایش مورد توجه قرار گیرد:

■ ناحیه سطح‌الارضی (شامل خطوط لوله، سیستم پالایش و مناطق اطراف سایت مورد نظر تا فاصله ۵ کیلومتری)

■ ناحیه چاه<sup>۲۱</sup> و ادوات آن



شکل ۶ | نمایی از مخزن ذخیره‌سازی از مغار نمکی



شکل ۵ | نمایی از مخزن ذخیره‌سازی از نوع میادین تخلیه شده گاز یا نفت



■ ناحیه مخزن (شامل پوش سنگ و کف مخزن) با بکارگیری فناوری‌های نوین و نصب ابزارهای ویژه‌ای در سطح و زیر سطح، می‌توان به‌طور مستمر رفتار مخزن و نشت گاز را در طول مسیر، پایش کرد. شکل ۷ در یک نمودار هزینه-مزیت، انواع فناوری‌های پایش را در این صنعت نشان می‌دهد.

#### ۴-۲- کنترل مستمر حجم ذخیره مخزن ذخیره‌سازی<sup>۲۳</sup>

به‌طور کلی، برای درک درست از تغییرات الگوی عملکرد یک مخزن ذخیره‌سازی گاز در طول سیکل‌های مختلف تزریق و تولید مخزن، کنترل مستمر حجم ذخیره مخزن ذخیره‌سازی ضروری است. مبنای ارزیابی این مقایسه

عملکرد، روش‌های اندازه‌گیری حجم ذخیره مخزن ذخیره‌سازی در زمان حال، به‌طریق حجمی و یافت فشار است. با این روش، به‌نحوی، از عدم نشت گاز و سلامت مخزن اطمینان حاصل می‌شود.

#### ۴-۳- تضمین بازپس‌دهی گاز تزریقی

اندازه‌گیری نرخ‌ی که گاز می‌تواند به/ یا از چاه‌های مخزن ذخیره تولید یا تزریق داشته باشد را بازپس‌دهی یا تحویل‌دهی گاز می‌گویند. این پارامتر بسیار مهمی است که به فشار اولیه و خصوصیات محیط متخلخل مخزن ذخیره وابسته است. این پارامتر تعداد چاهها و حتی میزان توان کمپرسورها را در طراحی اولیه می‌تواند تحت تأثیر قرار دهد. میزان تحویل‌دهی بر اثر تشکیل رسوبات مختلف در سیکل‌های متعدد تزریق و

تولید در دیواره چاه، روند کاهش پیدا می‌کند. معمولاً بازپس‌دهی کلی در یک دوره ۲ تا ۳ روزه پیک کاری برای تمامی چاهها به‌دست می‌آید.

#### ۴-۴- امنیت و ریسک

در عملیات مربوط به پروژه‌های ذخیره‌سازی، دو نوع ریسک وجود دارد: ریسک اول مربوط به ایمنی افراد و تأسیسات سطح الارضی از خطر انفجار و آتش‌سوزی ناشی از نشت گاز است و دومی گم شدن گاز در زیرزمین و اتمسفر است که یک نوع ریسک اقتصادی محسوب می‌شود. به‌طور کلی، اجزای اصلی یک سایت ذخیره‌سازی شامل: مخزن ذخیره‌سازی، چاه‌های تزریق و تولید، چاه‌های مشاهده‌ای، سیستم جمع‌آوری، بخش فشرده‌سازی، بخش اندازه‌گیری، بخش نم‌زدایی و لوله‌های انتقال به خطوط اصلی و اتاق کنترل است. در شکل ۹، آرایش کلی از اجزای اصلی یک سایت ذخیره‌سازی نشان داده شده است.

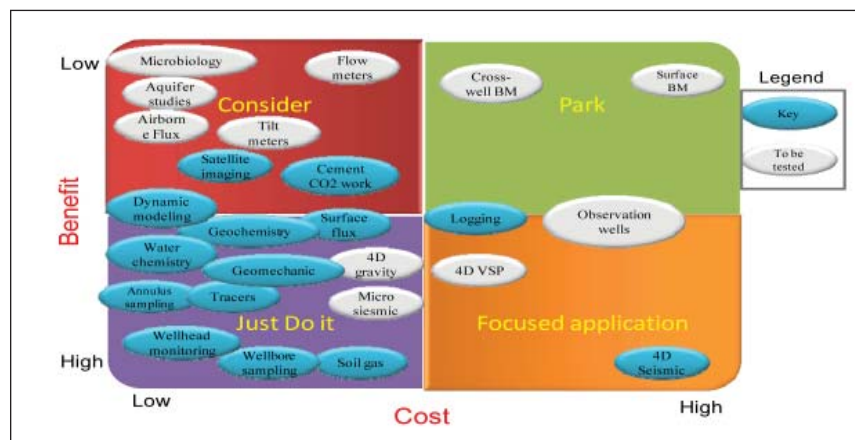
#### ۵- آینده پروژه‌های ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی

ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی به‌عنوان یک صنعت در حال رشد در جهان مطرح است و نقش مهمی را در زنجیره تأمین گاز آینده ایفا خواهد کرد. مدیریت بهینه این بخش از زنجیره تأمین گاز توسط پایش و کنترل بهنگام<sup>۲۴</sup> انتقال گاز از چاه، خطوط لوله و تأسیسات ذخیره‌سازی تارسیدن به مصرف‌کننده به‌صورت هوشمند و از راه دور، با استفاده از سیستم‌های جمع‌آوری داده SCADA<sup>۲۴</sup> و سامانه کنترل توزیع یافته DCS<sup>۲۵</sup> از محل حس‌گرها تا اتاق کنترل صورت خواهد گرفت. در این میان، از فناوری اطلاعات باید به‌عنوان بستر تسهیل‌کننده مدیریت دارایی‌ها<sup>۲۶</sup>، رعایت حقوق مصرف‌کنندگان و بازاریابی و فروش استفاده کرد<sup>[۲]</sup>.

این نوع پروژه‌های بزرگ که به‌طور یکپارچه انجام می‌شود، نیازمند بستر مناسبی از شبکه‌های ارتباطی ماهواره‌ای و اینترنتی است که بتوان تمامی اطلاعات را از میدانی تولیدی گاز، ایستگاه‌های تقویت فشار، خطوط لوله، سایت‌های ذخیره‌سازی و مراکز صادراتی گاز استخراج

Type of UGS facility	Investment costs per working gas volume, €/ m <sup>3</sup>	
	Europe	USA
Aquifer	0.24-0.42	0.10
Depleted field	0.24-0.42	0.09
Salt cavern	0.49-0.70	0.21

۷ هزینه توسعه مخازن ذخیره‌سازی به‌ازای ظرفیت ۱۰۰ میلیون مترمکعب بر حسب یورو بر متر مکعب<sup>[۶]</sup>



۸ انواع فناوری و روش‌های پایش در سایت‌های ذخیره‌سازی گاز

و در یک پایگاه اطلاعاتی، ذخیره و تجزیه و تحلیل کرد. آماده سازی این بستر در مدیریت هوشمند زنجیره تأمین گاز، می تواند نقش ایران را به عنوان توزیع کننده اصلی گاز<sup>۹</sup> در منطقه به طور چشمگیری افزایش دهد.

پیش بینی می شود با افزایش تقاضای گاز در چند دهه آینده، سایت های ذخیره سازی گاز به عنوان بنگاه های اقتصادی و تجاری، مطرح شوند. این، یک فرصت مهم است که استفاده از آن، نیازمند سرمایه گذاری در توسعه فناوری و استفاده از ابزار و تجهیزاتی است که بتواند بهره وری و ارزش افزوده بالایی را ایجاد کند.

## ۶- فناوری های پروژه های ذخیره سازی زیرزمینی گاز طبیعی

اغلب فناوری ها در ذخیره سازی گاز به بلوغ نسبی رسیده و خوشبختانه آمار ثبت خطرات در این صنعت کمترین مقدار را بخود اختصاص داده است. از جمله فناوری های استفاده شده در این صنعت، در حوزه حفاری چاه و تکمیل آن است که به لحاظ تنش هایی که در سیکل های متناوب تزریق و تولید به چاه ها وارد می شود، بسیار با اهمیت است. در این خصوص، پروژه های تحقیقاتی فراوانی روی نحوه سیمان کاری، بندش سیمان، خوردگی لوله های جداری، مشبک سازی،

انگیزش و تمیز کردن دیواره چاه های ذخیره سازی انجام گرفته است. اخیراً نیز حفاری چاه های افقی در افزایش راندمان مخزن ذخیره سازی گاز مورد توجه واقع شده است [۱۰].

از روش های چاه پیمایی در لوله های جداری به منظور شناسایی مشکلاتی چون: نشست و حرکت گاز پشت لوله جداری و سیمان به نحو چشمگیری در این صنعت استفاده می شود. فناوری طراحی و ساخت توربین و کمپرسورهای ذخیره سازی گاز نیز از جمله فناوری هایی است که در اختیار کشورهای محدودی است [۱۱].

از جمله نیازهایی که همیشه در یک مخزن ذخیره سازی زیرزمینی گاز وجود دارد، تأیید مقدار گاز در جای مخزن است که با کمک آن بتوان مقدار نشست ها و مهاجرت های ناخواسته گاز را درون مخزن رصد و شناسایی کرد. این فرایند، مشکل و نیازمند محاسبات دقیق با استفاده از فشارسنج های دقیق است.

در جهان تحقیقاتی از جمله مطالعات فشار پوش سنگ از لحاظ ژئومکانیکی، حرکت آب در آبخوانها، پایش با استفاده از روش میکروسایز میک و در مخزن، پایداری و طراحی مفاک های نمکی و تأثیرات گاز طبیعی بر روی آبهای سطحی در حال انجام است.

برخی اقدامات جدید که در این زمینه انجام

شده است استفاده از گازهای غیر هیدروکربنی مانند CO<sub>2</sub> و N<sub>2</sub> به عنوان جایگزین متان در تزریق گاز پایه به مخزن ذخیره سازی است. این روش از نقطه نظر اقتصادی و زیست محیطی می تواند حائز اهمیت باشد. از دیگر پروژه های نوینی که در این زمینه انجام می شود، ارتباط داده های سطحی و زیرسطحی به منظور مدیریت بهینه این مخازن است. جهت بهبود عملکرد مخزن و چاه نیز انواع روش های کاهش آسیب دیدگی و بالابردن تحویل دهی گاز چاه های موجود به کار می رود (مانند استفاده از روش اولتراسونیک).

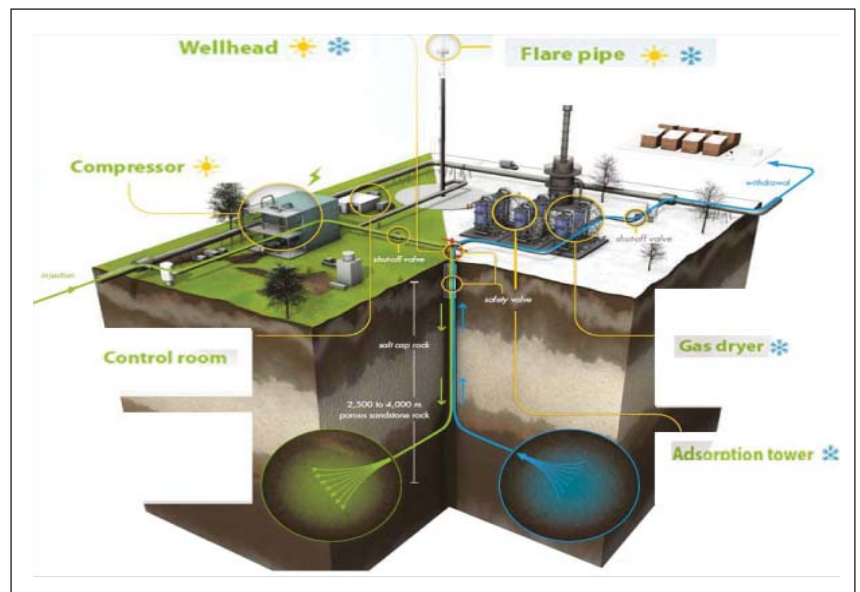
## ۷- کارها و پروژه های انجام شده و یا در حال انجام ذخیره سازی زیرزمینی گاز طبیعی در ایران

خوشبختانه اخیراً شاهد افتتاح بهره برداری اولین سایت ذخیره سازی زیرزمینی گاز کشور در یک مخزن نسبتاً تخلیه گازی در ناحیه سراجیه قم بودیم. پروژه های دیگری نیز هم اکنون در کشور در مرحله آماده سازی و اجراست مانند؛ ذخیره سازی مخزن گازی شورجیه، آبخوان یورتشاه و گنبد نمکی نصرآباد کاشان که متولی بهره بردار آن شرکت ذخیره سازی گاز است.

پروژه های پژوهشی و مطالعاتی متعددی در کشور انجام و یا در حال انجام است. در این میان می توان به پروژه شناسایی ساختارهای مناسب ذخیره سازی غرب کشور که توسط پژوهشگاه صنعت نفت سال ۱۳۸۹ انجام گرفت، اشاره کرد که ماحصل آن، معرفی دو ساختار مناسب به نام ویزنهار و هالوش در ناحیه لرستان برای انجام مطالعات تفصیلی بود. علاوه بر آن، مطالعات امکان سنجی ساختار کوه احمدی در جنوب، توسط دانشگاه شیراز و قزل تپه واقع در دشت گرگان، توسط دانشگاه تهران و امیرکبیر نیز در حال انجام است.

هم اکنون طرح پژوهشی جامعی با نام طرح ذخیره سازی زیرزمینی گاز طبیعی در پژوهشگاه صنعت نفت در حال انجام است. کارفرمای این طرح، مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی گاز ایران و بهره بردار آن شرکت ذخیره سازی گاز طبیعی است. این طرح پژوهشی شامل ۵ فاز و ۱۹ پروژه است.

فاز اول آن شامل تدوین طرح جامع و تهیه



۹ | آرایش کلی از اجزای اصلی عملیات در یک سایت ذخیره سازی [۹]

پایگاه اطلاعاتی در حوزه ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی کشور است که در این فاز ابتدا نقش ذخیره‌سازی در تراز گاز کشور تا چشم انداز ۱۴۰۳ بررسی می‌شود و سپس، تمامی پارامترها و معیارهای فنی، اقتصادی، جغرافیایی، محیط‌زیست و پدافند غیرعامل برای شناسایی ساختارهای مناسب، شناسایی شده و در نهایت با جمع‌آوری و استخراج این داده‌ها در یک پایگاه اطلاعاتی مکانی GIS، تصمیم‌گیری دقیق در معرفی اولویت‌های ذخیره‌سازی گاز در سطح کشور امکان‌پذیر می‌گردد.

فاز دوم به شناسایی تفضیلی و اولویت‌بندی ساختارهای مناسب جهت ذخیره‌سازی گاز طبیعی و انتخاب مخزن بهینه و انجام شبیه‌سازی‌های مفهومی و مطالعات اقتصادی در این مورد می‌پردازد. فاز سوم نیز شامل بررسی و انجام تست‌های

آزمایشگاهی است که تمامی آزمایش‌های مورد نیاز از جمله آزمایش‌های سنگ و سیال، بررسی گاز تزریقی، بررسی تزریق‌پذیری، ساخت دستگاه اولتراسونیک جهت کاهش اثرات تخریب سازندی، پیش‌بینی شرایط تشکیل هیدرات در خطوط انتقال، آزمایش‌های ژئومکانیک سنگ و نمک و آزمایش‌های شیمیایی ترکیبات و خلوص نمک را در بر می‌گیرد.

فاز چهارم شامل مطالعات ایمنی و زیست محیطی است که پروژه‌های شناسایی مخاطرات محیط‌زیستی، مدیریت شورابه‌های حاصل از آب‌شویی نمک و کنترل و پایش سایت‌های ذخیره‌سازی را شامل می‌شود.

در نهایت، فاز پنجم به رصد فناوری‌های نوین در این عرصه می‌پردازد که امکان‌سنجی به کارگیری استفاده از فناوری چاه هوشمند، پایش میکروسایز میک و تزریق گازهای

غیرهیدروکربوری به‌عنوان جایگزین گاز مینا از جمله پروژه‌های مربوط به این فاز است.

### نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت بحث ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی در جهان و تکالیف وزارت نفت در افق چشم‌انداز بیست‌ساله در زمینه حجم مورد نیاز برای ذخیره‌سازی گاز، در پایان تأکید می‌شود که برای انجام این طرح ملی، مشارکت و همکاری حداکثری تمامی واحدها و ارگان‌های مرتبط که به‌نحوی داده‌ها و اطلاعات اولیه را در اختیار دارند، مانند شرکت انتقال گاز، مدیریت اکتشاف، و شرکت نفت مناطق نفت مرکزی، لازم و ضروری است. یقیناً با درک ضرورت و اهمیت ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی در کشور، زمینه‌های همکاری نهادهای ذیربط فراهم خواهد شد. ■

### پانویس‌ها

- |                                      |                               |  |
|--------------------------------------|-------------------------------|--|
| <sup>1</sup> askariaa@ripi.ir        | <sup>11</sup> Salt cavern     | <sup>21</sup> Wellbore                                 |
| <sup>2</sup> rajabi_gh@nigc.ir       | <sup>12</sup> Peak-day        | <sup>22</sup> inventory Verification                   |
| <sup>3</sup> teymouri@nigc.ir        | <sup>13</sup> Cushion gas     | <sup>23</sup> Real time                                |
| <sup>4</sup> basirat@nigc.ir         | <sup>14</sup> Capacity        | <sup>24</sup> Supervisory Control And Data Acquisition |
| <sup>5</sup> Gas Suppliers           | <sup>15</sup> Injectivity     | <sup>25</sup> Distributed Control System               |
| <sup>6</sup> Peak Shaving            | <sup>16</sup> Spill point     | <sup>26</sup> asset management                         |
| <sup>7</sup> Withdrawal              | <sup>17</sup> Killer criteria | <sup>27</sup> Hub                                      |
| <sup>8</sup> Depleted oil/gas fields | <sup>18</sup> Monitoring      |  |
| <sup>9</sup> Deliverability          | <sup>19</sup> Leakage         |  |
| <sup>10</sup> Aquifers               | <sup>20</sup> Seepage         |  |

### منابع

- ics and Management, August, 2011
- [7] Sandrine E G., Didier B., et al., "A site selection methodology for co2 underground storage in deep saline aquifers: case of Paris basin", Energy procedia, 2009, 1(), 2929-2936
- [8] Orin flanigan, "Gas storage facilities design and implementation", Gulf publishing company, 1995
- [9] NAM Underground Gas Storage, www.nam.nl, Version: May 2011
- [10] G.A. Knepper, "UNDERGROUND STORAGE OPERATIONS", TECHNOLOGY TODAY SERIES
- [11] Steve Horseman, Dave Evans, John Rowely and Andy Chadwick, "Underground gas storage", Geology, Technology, and Regulation, Energy resource
- [۱] تکلیف عاطفه، صنعت نفت و گاز به زبان غیر فنی: مجموعه ۳۲ کارگاه پژوهشی با حضور آقایان دکتر سعید پاک سرشت و... تهران، کمیل، ۱۳۹۱
- [2] Alexandar Bary, Heinz Berger, Kenneth, "Storing Natural Gas Underground", oil field review, summer 2002
- [3] Marco Hoogwerf, Tom van der Hoeven, "Underground Storage Scheduler", N.V. Nederlandse Gasunie Postbus 19, 9700 MA Groningen, The Netherlands, PSIG 2000, Savannah, Georgia
- [4] Joachim Wallbrecht, "23rd World Gas Conference Amsterdam 20065 - 9 June 2006 Amsterdam, the Netherlands", International Gas Union, Working Committee 2- Underground Gas Storage
- [5] V. Bolelli, "ADVANCES IN UNDERGROUND NATURAL GAS STORAGE", Agip S.p.A., Milan, Italy
- [6] Rima Rumbauskaitė, "Investment in Underground Gas Storage: A Real Options Approach", MSc. Economics School of Econom-