اقتصاد انرژی
شماره ۱۳۰- ۱۲۹ مرداد و شهریور ماه ۱۳۸۹

استفاده از گنبدهای نمکی ایران
برای تولید بهینه الکتریسیته

تهیه سوخت لازم برای نیروگاه‌های ایران در زمان‌های پیک مصرف برق و گاز مشکلی است که در سال‌های اخیر مخصوصاً زمستان سال ۸۶ مناطق متعددی از کشور را دچار خاموشی، قطع گاز، برق و اختلال کرده است. این مسئله نمایانگر عدم موفقیت در برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری صحیح و نیز هماهنگی لازم می‌باشد. چالش‌های تهیه و مصرف بهینه انرژی مختص ایران نیست بلکه معضلاتی است که جهان امروز به شدت با آن گریبان‌گیر می‌باشد. اما آیا واقعاً ریشه مشکلات ایران در تهیه انرژی و برق مصرفی با بقیه کشورهای جهان یکی است؟ بسیاری از صاحب‌نظران مدیریت نارسائی در برنامه‌ریزی کلان تولید و مصرف کشور را مهمترین علت این مشکلات می‌دانند نه عدم دانش فنی و سرمایه‌گذاری لازم. روند تقاضای انرژی در سال‌های اخیر رشد فزاینده‌ای را نشان داده است. آنچه مسلم است این که معضل مدیریت بار شبکه برق در رابطه با مصرف پیک انرژی با توجه به رشد و توسعه صنعتی ۵ تا ۷ درصد در سال در دهه ۸۰ در مقایسه با توانائی‌های تولید و سرمایه‌گذاری‌های لازم برای آن بحرانی‌تر می‌شود. مشکلات شرایط اضطراری اقتصاد کشور، تحریم‌های بین‌المللی، رشد جمعیت، عدم عزم ملی برای ایجاد سیستم‌های مالیاتی پایدار و در نتیجه تورم سنگین، هم این مشکلات را تشدید می‌نمایند. در این راستا لازم است که به جای پرداخت یارانه از محل درآمدهای نفت برای هزینه‌های مصرف انرژی به دنبال پایه‌ریزی فرهنگ‌سازی مناسب مصرف بوده و روش‌های جدید و کم‌ضرر و حتی‌المقدور سازگار با طبیعت و محیط زیست ایران را مورد توجه قرار داد.

استفاده از حفرات ناشی از معدنکاری نمک به روش انحلال که از قرن ۱۹ در آمریکا وجود داشته و در ایران هم تقریباً بی‌سابقه‌اند، پیرو افزایش ناگهانی قیمت نفت و بحران انرژی در اوائل دهه ۷۰ میلادی، برای ذخائر استراتژیک سوخت، مورد توجه سیاستمداران آمریکائی و آلمانی قرار گرفت. پیرو آن تحقیقات و اطلاعات وسیع و دامنه‌داری در این رابطه کسب شده است که منجر به طراحی نیروگاه‌های Compressed Air Energy Storage (CAES) – ذخائر انرژی هوا فشرده– گردیده است. متأسفانه ایران در طی این چند دهه نسبت به این تحولات علمی و صنعتی کم توجه بوده است. در این مقاله سعی شده است که پتانسیل استفاده از گنبدهای نمکی به عنوان مخازن سوخت و انرژی در قالب هوای فشرده که در طی سه دهه برای تولید بهینه الکتریسیته در نیروگاه‌های CAES مورد توجه قرار گرفته معرفی شوند تا شاید لزوم انجام تحقیقات مناسب در ساخت یک نیروگاه پایلوت CAES نسل دوم در دستور کار دولت قرار گیرد.

محمد رضا مزدیان فرد - صادق ندیمی

گنبدهای نمکی

نمک در طبیعت به دو صورت آبی و سنگی، در دریاها یا در لایه‌های زیرزمینی به صورت کانی‌هالیت متبلور تشکیل می‌شود. وجود نمک سنگی در اعماق زمین، تا بیش از ۱۱ کیلومتر زیر رسوبات گزارش شده است. در صورت وجود منافذی، این‌گونه نمک به دلیل چگالی پائین به سمت بالا حرکت کرده و توده‌های قائم لوله‌ای شکل تشکیل می‌دهد که اصطلاحاً آنها را گنبد نمکی می‌نامند. در برخی موارد ضخامت سنگ نمک در لایه رسوبی تا بیش از ۱۰۰۰ متر دیده شده است. احتمالاً حرارت و فشار زیادی که در اعماق زمین روی رسوبات تبخیری تأثیر می‌گذارند، نمک را به صورت محلول جاری ساخته و به واسطهٔ حرکت‌های تکتونیکی گازهای فراری مانند کلر تشکیل می‌شود که باعث سهولت صعود گنبد می‌گردد. هنگام رسیدن به سطح زمین مجدداً به فاز کریستالی برگشته و ضمن شکوفائی به صورت قارچ، سنگ‌های رسوبی و آذرین بالای خود را دگرگون می‌کند.

در صنعت برای تولید نمک خوراکی با خلوص بسیار بالا (۹۹/۹ درصد) از روش تبلور مجدد استفاده می‌شود. اگر مرحله انحلال مستقیماً در معدن سنگ نمک (چه به صورت گنبد یا لایه) صورت گرفته و سپس مایع اشباع به کارخانه‌ای در جوار آن منتقل شود به این روش استخراج، معدن‌کاری انحلال گفته می‌شود که مزایای فراوانی بر دیگر روش‌های استخراج نمک (روباز-پلکانی، زیرزمینی-اتاق پایه) دارد. در این روش با حفر چاهی از لایه سطحی زمین تا عمق لایه نمکی و تزریق آب شیرین و پمپاژ آب شور اشباع شده از طریق همان چاه یا چاه‌های مجاور، اقدام به بازیابی نمک در اعماق کانسار نمکی می‌شود. این روش که از اواسط قرن نوزدهم در مقیاس صنعتی وسیع در آمریکا مورد استفاده قرار گرفت، منجر به ایجاد حفره‌های نمکی بسیار بزرگ در کانسارهای نمک شده است.

ذخیره‌سازی در گنبدهای نمکی

با توجه به این که ذخائر محبوس شده نفت و گاز که اغلب در جوار گنبدهای نمکی مشاهده شده است، استفاده از حفرات گنبدهای نمکی در جنگ جهانی دوم به منظور ذخیره سازی نفت و گاز مورد توجه قرار گرفت. این ذخیره‌سازی برای اولین بار در کانادا مطرح و با توجه به خصوصیات سنگ نمک در بین گزینه‌های موجود جدول (۱) بدین منظور انتخاب شد و اولین مخزن زیرزمینی گاز در سال ۱۹۴۰ در کانادا به بهره‌برداری رسید. استفاده از حفرات گنبدهای نمکی برای ذخیره‌سازی نفت، گاز و مواد هیدروکربنی در اوائل دهه ۷۰ میلادی مقارن با اولین بحران افزایش قیمت نفت، به صورت خیلی جدی مورد توجه دولت آمریکا قرار گرفت و سرمایه‌گذاری زیادی برای مطالعات تحقیقاتی در رابطه با چگونگی تشکیل، شکل، خواص فیزیکی، زیست محیطی و کاربردهای ویژه این ذخائر به عمل آمد. برخی کاربردهای گنبد نمکی در شکل(۱) به اختصار معرفی شده است.

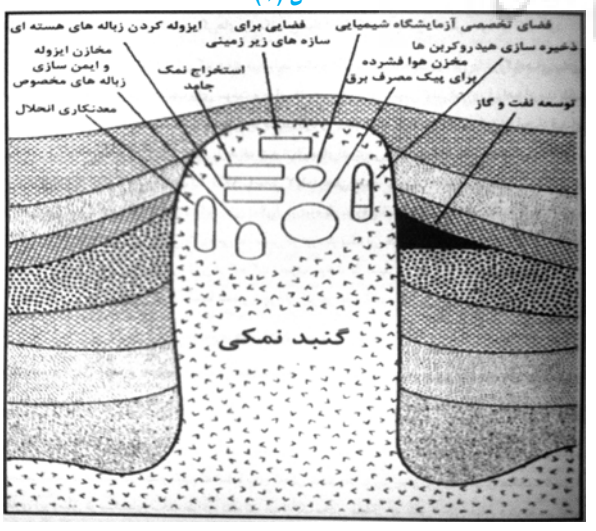
در مدت کوتاهی با تصویب لوایح قانونی ۱ میلیارد بشکه نفت خام تحت عنوان ذخائر استراتژیک نفت در ۱۹۷۵ صورت گرفت و طی چند سال بعد از آن با اضافه نمودن میزان این ذخائر به دو برابر آن اقدام به بررسی‌های فنی، اقتصادی و عملی در طراحی بیش از ۳۵۰ گنبد نمکی در آمریکا صورت گرفت.

نیروگاه‌های CAES

برای پیک‌سائی در مصرف انرژی اکتریکی، جورجویچ در ۱۹۵۲ استفاده از انرژی مازاد شبکه برای فشرده سازی هوا و سپس مصرف آن در توربین‌های گازی در شرایط پیک را پیشنهاد و ثبت نمود. مقامات آلمانی به کارگیری معادن متروکه نمک و پتاس را جهت ایجاد مخازن هوای فشرده و سوخت توصیه نمودند. پیامد افزایش بی‌سابقهٔ هزینهٔ انرژی در دهۀ ۷۰ میلادی، این مطالعات بیشتر مورد توجه قرار گرفت و نیاز جدی به بررسی مدل‌های صنعتی، منجر به طراحی و ساخت دو نیروگاه CAES ابتدا درهانتروف آلمان (۱۹۷۸) و سپس آلاباما آمریکا (۱۹۹۱) شد.

این نیروگاه‌ها به منظور بررسی کاربردی، رفع مشکلات زمین‌شناسی و تکنولوژیکی، درک بهتر ویژگی‌ها، طراحی و توسعه گنبدهای نمکی با توجه به فاکتورهای عملیاتی، اقتصادی و زیست محیطی به صورت پایلوت راه‌اندازی شدند و در طول بیش از دو دهه استفاده مستمر اطلاعات بسیار ارزشمندی را در رابطه با پتانسیل‌های به کارگیری گنبدهای نمکی در مدیریت کلان انرژی فراهم آورده‌اند. از فاکتورهای مهم عملیاتی- طراحی در رابه با

شکل (۱)



جدول(۱): گزینه‌های متفاوت برای ذخیره هیدروکربن‌ها در مقیاس وسیع در طبیعت

جنس مواد	خاک رس	توف	سنگ‌های کریستالی	سنگ نمک
منشأ	رسوبی	رسوبات آتشفشانی	آذرین/دگرگونی	رسوبی و تبخیری
پلاستیسیته	بالا	متوسط	کم	بالا
مقاومت مکانیکی MPa	۲۰-۴۰	۲۰-۱۰۰	۱۵-۲۲۰	۲۰-۳۵
پایداری سینه کار معدن	ضعیف	متوسط	بالا	بالا
معدن‌کاری	آسان	متوسط	آسان	آسان
حلالیت	کم	کم	خیلی کم	خیلی کم
ظرفیت جذب سطحی	بالا	خیلی بالا	بالا تا متوسط	فوق‌العاده کم

گنبدهای نمکی برای مثال می‌توان به میزان توسعه حفره، شکل حفره، پایداری حفره، نشت، آلودگی، بهینه‌سازی کاربردی، انعطاف برای توسعه‌های آینده و جنبه‌های زیست‌محیطی گنبد اشاره کرد. از ویژگی بحرانی گنبدهای نمکی که در انتخاب آنها برای ذخیره‌سازی نفت، گاز و هوای فشرده مورد توجه قرار می‌گیرند و می‌توان به موارد خصوصیت سنگ نمک و ناخالصی‌های همراه آن، شکل هندسی ساختارهای داخلی گنبد، ویژگی‌های ژئومکانیکی مواد احاطه کننده آن، شرایط تنش، نفوذ آب اشاره کرد.

نیروگاه‌های CAES با تولید انرژی کم هزینه در شرایط پیک و قابلیت استفاده هم زمان با نیروگاه‌های بادی، می‌توانند نه تنها امکانات ذخیره مناسب برای سوخت و هوای فشرده در نیازهای عمومی تولید انرژی فراهم آورند، بلکه برای تولید برق در کاربردهای ویژه نظامی و دفاعی نیز قادرند کاربری بسیار داشته باشند. به صورتی که با ایجاد فضای زیرزمینی مناسب برای ماشین‌آلات در داخل یا اطراف گنبد تنها راه‌های دسترسی به سطح گنبد ورودی هوا، خطوط اگزوز و خطوط انتقال برق خواهند بود. یک نیروگاه CAES شامل چهار واحد اصلی است: کمپرسورها، موتور و ژنراتور، توربین گازی و مخزن زیرزمینی هوای فشرده. در دوره بار مصرفی غیرپیک، موتور با مصرف برق ارزان‌تر هوا را فشرده و در مخزن زیرزمینی نمکی ذخیره می‌کند. سپس در دوره پیک این فرآیند معکوس شده، هوای فشرده شده را از مخزن به سطح بازگردانده، پس از گرم شدن در گرم‌کننده صرف سوخت گازطبیعی در محفظه احتراق توربین گازی شده، گاز احتراق در دو مرحله توربین گازی منبسط شده و با چرخش ژنراتور تولید الکتریسیته می‌کند. در یک نیروگاه توربین گازی تقریباً دو سوم توان خروجی برای فشرده‌سازی هوای احتراق مصرف می‌شود، در حالی که در یک نیروگاه CAES هنگام مصرف پیک برق، نیاز به هوای فشرده در عملیات توربین نیست و چون آنتالپی مورد نیاز قبلاً در هوای فشرده ذخیره وجود دارد می‌توان بیشتر از دو سوم برق تولیدی توربین گازی را در اختیار شبکه قرار داد. به طور کلی نیروگاه CAES شامل دو نوع فشار ثابت و حجم ثابت می‌باشند. در سیستم‌های فشار ثابت، که اساساً برای کاهش حجم حفرات زیرزمینی و هزینه‌های هنگفت ناشی از حفاری زیرزمینی در سنگ‌های سخت طراحی شده‌اند، آب از یک مخزن سطحی به داخل مخزن هوای فشرده می‌تواند راه یافته تا جبران افت فشار هوای خارج شده را بکند. در سیستم‌های حجم ثابت، فشار هوا در حفره در حین تولید برق کاهش می‌یابد. این سیستم برای حفرات گنبدهای نمکی به دلیل هزینه بسیار پائین معدنکاری انحلال بسیار مناسب است.

پتانسیل استفاده از نیروگاهای CAES در ایران

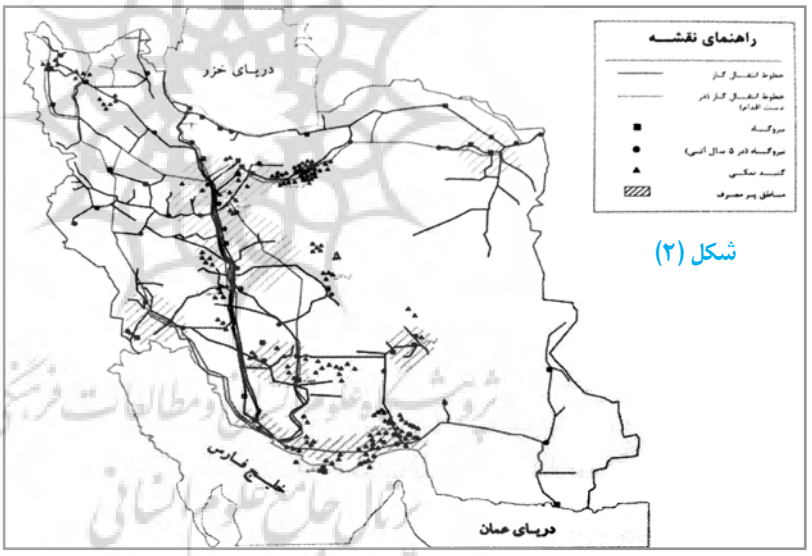
همان‌طور که اشاره شد موفقیت اجرائی نیروگاه CAES در سه دهۀ گذشته کاملاً محرز شده است. در کشورهای مختلف جهان به دنبال چاره‌اندیشی در برطرف کردن بحران انرژی و تولید بهینه برق، ساخت این گونه نیروگاه‌ها را دستور کار خود قرار داده‌اند. متأسفانه در ایران علیرغم شرایط بسیار مناسب، به کارگیری این گونه نیروگاه‌ها مورد کمترین توجه قرار گرفته‌اند. برای توجیه منطقی نیروگاه‌های CAES در ایران می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

تعداد و پراکندگی گنبدهای نمکی در ایران

شکل (۲) گستردگی گنبدهای نمکی را بر اساس نقشه نشان می‌دهد، همان‌طور که از شکل پیداست گستردگی گنبدهای نمکی به طور بسیار مناسبی در اکثر نقاط پرجمعیت و پرمصرف الکتریسیته (که باهاشور نشان داده شده‌اند) به چشم می‌خورند و در نزدیکی اکثر آنها خطوط انتقال گاز عبور می‌کند. لذا این مخازن به خوبی می‌توانند نه تنها به عنوان ذخائر استراتژیک نفت و گاز برای مصارف عمومی مورد استفاده قرار گیرند بلکه می‌توانند سوخت لازم برای نیروگاه‌های گازی را در فصول پیک مصرفی فراهم آورند. لازم به توضیح است که اطلاعات ثبت شده در شکل(۲) در رابطه با گستردگی گنبدهای نمکی مربوط به داده‌های سال ۱۳۷٤ است که فقط نزدیک به ٦۰ گنبد نمکی در آن مشخص شده است. طبق آخرین داده‌ها از سایت اکتشاف معدنی، ژئوتوریسم، گنبدهای نمکی ایران بیش از ۲۰۰ اعلام شده است.

سیاست‌گذاری توسعهٔ شبکه برق

سیاست‌گذاری توسعهٔ شبکه برق کماکان بر اساس استفاده از منابع گازی است. در این راستا تعدادزیادی توربین گازی در مقیاس کوچک در کشور به صورت پراکنده نصب شده‌اند. منابع استحصال گاز بیشتر در جنوب کشور قرار دارد. با توجه به اینکه مصرف گاز در زمستان برای سوخت خانگی بسیار افزایش می‌یابد لزوم وجود ذخائر گاز طبیعی قابل اطمینان در کنار این نیروگاه‌های پراکنده برای رفع تقاضای تولید برق در شرایط بار پیک در این فصول کاملاً محرز شده است. در عین حال، در مدیریت بار شبکه لازم است از افت بازدهی شبکه حتی‌المقدور جلوگیری شود. یکی از روش‌های ارتقاء بازدهی شبکه نزدیک بودن منابع تولید و مصرف می‌باشد. با توجه به پراکندگی گنبدهای نمکی در جوار مناطق پرمصرف، امکان ایجاد منابع تجدیدپذیر انرژی در اکثر نقاط پرمصرف الکتریسیته ایران، و همچنین گستردگی شبکه خطوط انتقال گاز در این مناطق، می‌توانند به کارگیری نیروگاه‌های CAES را در کاهش افت بازدهی شبکه و سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های تجدیدپذیر توجیه کنند.



شکل (۲)

کاربردهای ویژه استراتژیکی در تولید الکتریسیته

ذخائر هوای فشرده به تنهائی می‌توانند در شرایط اضطراری بدون مصرف سوخت برای مدتی محدود انواع توربین‌های مولد برق را به چرخش درآورده و برق تولید کند. با توجه به حساسیت‌های امنیتی در منطقه، معضلات تروریستی، جنگ در کشورهای همسایه و وجود تنش‌های مختلف بین کشورهای تولیدکننده نفت و گاز، در این راستا، حفرات گنبدهای نمکی می‌توانند به عنوان ذخائر انرژی برای کاربردهای حساس نظامی و استراتژیکی مورد استفاده قرار گیرند.

تشویق به معدن‌کاری انحلال و جلوگیری از استفاده نادرست و تخریب نابجای گنبدهای نمکی

متأسفانه صنعت معدنکاری انحلال به طور مستقیم از ذخائر سنگ نمک، در ایران مورد توجه قرار نگرفته است. نمک لازم برای کارخانه تصفیه و تبلور مجدد اغلب از منابع تبخیری یا روش‌های سنتی استخراج روباز با انفجار صورت می‌گیرد و نمک به کارخانه حمل می‌شود. این‌گونه روش‌های استخراج نه تنها باعث تخریب همیشگی گنبدهای نمکی می‌گردد بلکه بازدهی بسیار پائین در استفاده از کانسار نمک دارد. معدنکاری به روش انحلال که بیش از ۱۳۰ سال پیش در نیویورک در مقیاس وسیع صنعتی مورد استفاده قرار گرفت، به دلیل وجود شبکه‌های توزیع برق در جوار گنبدهای نمکی و ذخائر آب، توانست واحدهای تولید نمک کریستالیزه را در جنب گنبد نمکی ایجاد کند و بدین وسیله از هزینه تولید نمک بسیار باکیفیت بکاهد. لذا با توجه به اینکه در صورت جدی گرفتن معدنکاری انحلال در ایران نه تنها قادر خواهیم بود که نمک با کیفیت برای مصارف مختلف صنعتی (مخصوصاً استخراج نفت و گاز که یکی از بیشترین حجم مصرفی نمک در صنایع را دارند) تهیه کنیم، بلکه می‌توانیم اقدام به ایجاد حفرات ذخیره سوخت و هوای فشرده برای نسل‌های آینده با کمترین معضلات زیست‌محیطی، حداقل به مدت چند صد سال، نمائیم.

لزوم بومی کردن صنایع تولیدی نیروگاهی بهینه در کشور

ایران نیز مانند دیگر کشورها در راستای خودکفائی تولید انرژی برای کشور لازم است تا نیروهای متخصص در تکنولوژی‌های جدید و پایدار در کشور تربیت کند. تکنولوژی نیروگاه‌های CAES مسلماً کاندیدای بسیار مناسبی در این رابطه است. اطلاعات لازم برای توسعهٔ نیروگاه‌های CAES در ۳۰ سال گذشته با صرف هزینه‌های بسیار گزاف در آمریکا و اروپا فراهم شده است و با توجه به اهمیت موضوع انرژی خوشبختانه اطلاعات به دست آمده و داده‌های فنی در اختیار عموم قرار دارد. در ایران متأسفانه با اتکاء به منابع عظیم نفتی و گازی کشور در این مقوله کمترین توجه مبذول گشته است و لازم است تا در استراتژی تولید الکتریسیته بازبینی جدی به عمل آید. ■

منبع: نشریه انرژی ایران