امکان سنجی سیستم ذخیره‌ساز انرژی هوای فشرده با هدف پایداری شبکه برق و افزایش قابلیت اطمینان برق تجدیدپذیر

عقیق مریخی [۱]، فاطمه مرادی [۲*]

۱. دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران (aghighmerrikhi@gmail.com)
۲. دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران (f.morady2000@gmail.com)

چکیده

نیاز به ذخیره انرژی الکتریکی در کنار سیستم‌های قدرت، امری اجتناب ناپذیر در شبکه برق‌رسانی کشور است. از طرفی در میان فناوری‌های موجود، فن‌آوری ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی به روش هوای فشرده به لحاظ عملکرد و هزینه جایگاه مناسب و قابل توجهی دارد. در این مقاله ضمن معرفی ساختار کلی فناوری، تاریخچه، معایب و مزایای آن چه از نظر اقتصادی و چه از نظر عملی مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر آن در این مقاله سیستم‌ها نسل اول و دوم مورد بررسی ترمودینامیکی قرار گرفته و به لحاظ پتانسیل مکانی بعضی نقاط در ایران معرفی شدند و در نهایت از منظراقتصادی امکان سنجی آن در نرم‌افزار کامفار در ایران انجام شده است. نتایج بدست آمده در این مقاله حاکی از آن است که این سیستم می‌تواند با راه اندازی در سطح کلان سهم زیادی در مدیریت سمت تقاضا داشته باشد.

کلمات کلیدی:
فناوری CAES[۱]، مدیریت سمت تقاضا ، کامفار

***نویسنده مسئول**

[۱] سیستم های ذخیره انرژی هوا فشرده

بررسی فنی اقتصادی سیستم ذخیره‌ساز انرژی هوای فشرده در ایران

۱ - مقدمه

فلات ایران در منطقه ی معتدله‌ی خشک شمالی و ناحیه‌ی جنب استوایی و استوایی قرار دارد و به دلیل دوری از اقیانوس‌ها و جریلنات هوایی، آب و هوای ایران خشک و بَری می‌باشد، اما به سبب پهناوری و وجود عوارض گوناگون طبیعی، ایران از اقلیم‌های مختلف و آب و هوای متنوع برخوردار است و همین تنوع آب و هوایی باعث وجود پتانسیل‌های فراوان در امر تنوع بخشی به سبد عرضه انرژی، در شرایط افزایش تقاضای انرژی در ایران شده است.

یکی ازعوامل مهم در توانمندسازی امنیت انرژی در یک کشور ، موضوع تنوع بخشی به سبد عرضه برای پاسخگویی مناسب و منعطف به تقاضا به خصوص در زمان اوج مصرف انرژی است. مشکلات ناشی تامین انرژی برق در ساعات پرمصرف، مشکلات زیست محیطی ناشی از انتشارات آلاینده‌های سوخت‌های فسیلی و هم چنین کاهش هزینه تولید برق تجدیدپذیر به خصوص برق خورشیدی و بادی، نگاه سرمایه‌گذاران و دولتمردان را به شبکه توزیع برق با قابلیت اطمینان و تاب‌آوری بالا شامل عرضه برق تجدیدپذیر و فسیلی، منعطف کرده است

با توجه به ذات نوسانی تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر همواره این مشکل وجود داشته که چگونه انرژی برق را در مازاد تولید ذخیره کنیم و در ساعات کمبود برق، با مشکلات پاسخگویی مواجه نشویم. سیستم‌های ذخیره‌سازی مختلفی از جمله نیروگاه‌های پمپ ذخیره‌ای و سیستم‌های الکتروشیمیایی در کنار نیروگاه‌های تولید برق یا در محل مصرف‌کننده نهایی به طور پراکنده تعبیه شده‌اند. با توجه به محدودیت‌های توپولوژی که در احداث نیروگاه پمپ ذخیره‌ای داریم این سیستم روز به روز به بلوغ خودش در کشور نزدیک و نزدیک‌تر می‌شود. از طرفی در مناطقی از کشور که نیاز داریم نوسانات تولید را بپوشانیم، در مراحل نخست تصمیم‌گیری برای اجرای سیستم، چه به لحاظ دسترسی به کوه و رودخانه و چه به لحاظ کم یا پرآبی منطقه با محدودیت‌های اجتناب ناپذیری مواجه هستیم، از طرفی مشکلات ناشی از استفاده از سیستم‌های الکتروشیمیایی به لحاظ زیست‌محیطی و توجیه ناپذیری اقتصادی باعث می‌شود که گزینه مناسبی برای ذخیره‌سازی در سطح کلان نباشند.

در سال‌های اخیر و با پیشرفت انرژی های تجدیدپذیر، سیستم ذخیره‌ساز هوای فشرده (CAES) به طور فزاینده‌ای به عنوان روشی برای توسعه پیوستن انرژی‌های تجدیدپذیر به شبکه برق در دنیا مورد توجه قرار گرفته است. در واقع سیستم CAES منطبق بر اصول کارکردی سیکل برایتون است وبا هدف پایداری بیشتر شبکه عرضه، مسطح کردن بار و افزایش قابلیت اطمینان و تاب‌آوری در سیستم‌های قدرت پیشنهاد می‌شود.

همچنین از مزایای سیستم ذخیره سازی هوای فشرده، ارائه خدمات پشتیبانی شبکه از جمله کاهش پیک بار، تامین توان راکتیو، تنظیم فرکانس و کاهش قیمت برق است.[1] [2] [3]

همچنین در شرایط وجود تقاضای جزیی در شبکه می‌توان از قابلیت تغییر حالت سریع سیستم CAES از حالت شارژ به دشارژ بهره برد و با نگه داشتن دیگر سرویس‌های عرضه در نقطه بهینه و کاهش بازدهی، برای تقاضاهای جزیی و بومی، سیستمی منعطف با عملکرد بهتر داشت. توان تولیدی توسط این نیروگاه ها بین ۵۰ تا ۳۰۰ مگاوات است که جز از سیستم پمپ ذخیره‌ای از سایرفناوری‌های ذخیره بیشتر است.

از معایب این سیستم میتوان به اتلافات حرارتی در حین فشرده‌سازی هوا، تزریق حرارت ناشی از سوخت‌های فسیلی برای انبساط هوای فشرده در هنگام دشارژ، مشکلات ناشی از نویز سیستم‌های مکانیکی و ملاحظات مکانی و تانک

ذخیره‌ساز هوا برای جلوگیری از نشت و... می‌توان نام برد; مشکلات و معایب سیستم CAES که نام برده شد همگی پتانسیل تبدیل به نقطه قوت برای شبکه هستند، پیشرفت‌های چشم‌گیری برای ارتقای سیستم، و طراحی بهینه شدند .

در ابتدا در سال ۱۹٤۰ ایده ذخیره‌سازی انرژی به روش هوای فشرده شکل گرفت. [4] تا سال ۱۹٦۰ اهمیت ایده ذخیره‌سازی سیالات برای تولید برق در اکادمی و صنعت همچنان پنهان بود تا اینکه صنعت، با ورود فناوری هسته‌ای برای تولید برق، با مازاد تولید مواجه شد و اولین نیروگاه‌های ذخیره‌ای در این سال‌ها توسعه یافتند، ولی باز هم محدودیت‌های توپولوژیکی و اثرات سوء بر طبیعت مانع از نصب این نیروگاه‌ها می شد تا اینکه در سال ۱۹٦۹ ایده ذخیره هوای فشرده درگنبدهای نمکی در آلمان قوت گرفت و نیروگاه CAES در هانتورف آلمان‌با ظرفیت ۳۹۰ مگاوات و پس از آن نیروگاه CAES در ایالات متحده آمریکا‌با ظرفیت ۱۱۰ مگاوات ساخته شد و نیروگاه‌های بسیاری در دنیا در حال برنامه ریزی و در دست ساخت هستند. [5]

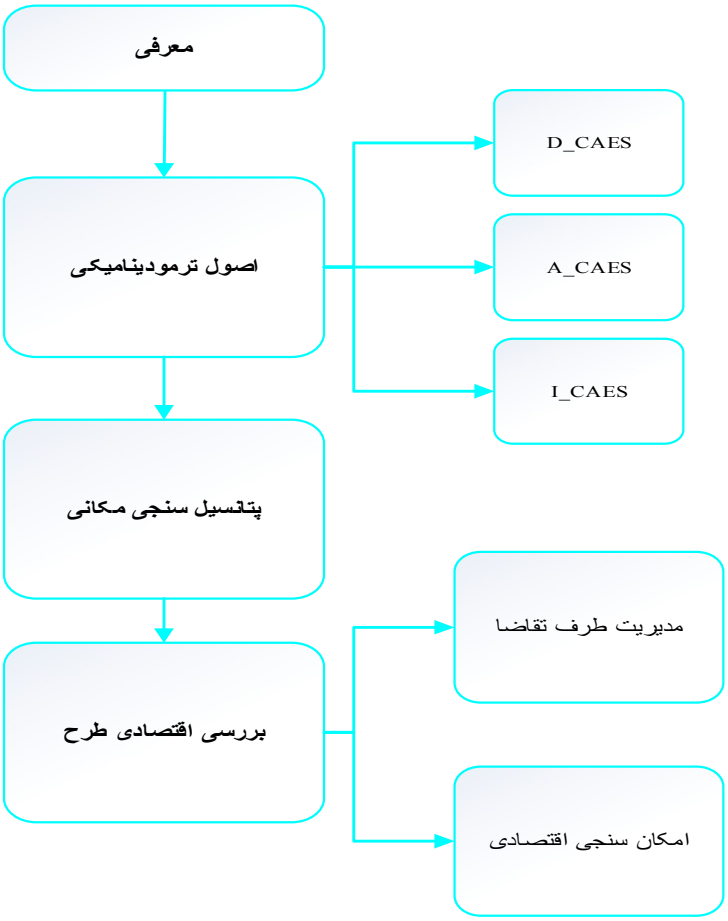
در رقابت این تکنولوژی با دیگر فناوری‌ها تحقیقات زیادی انجام شده است. لوو و همکاران[۲] در تحقیقات خود نشان داده‌اند که تکنولوژی CAES در مقایسه با سیستم الکتروشیمیایی از جمله باتری در مقیاس خرد دارای کارایی بهتر، قیمت ارزان‌تر، بازدهی بیشتر وآلایندگی کمتر است. [6]بادت و همکاران[۳] ثابت کردند که تکنولوژی CAES نسبت به PEHS[٤] به لحاظ توان ذخیره ای نتوانسته با کارایی بیشتر عمل کند. [7]

در این مقاله در ابتدا به بررسی اصول کلی ترمودینامیکی سیستم CAES و سیستم‌های ارتقا یافته A-CAES[٥] و I-CAES[6] پرداخته می‌شود و بازدهی هر سه سیستم با هم مقایسه می‌شود. در ادامه به کمک نقشه و اطلس ها نقاط کاندید احداث نیروگاه ذخیره‌ساز در ایران معرفی می‌شود و درنهایت با هدف بررسی اقتصادی سیستم در ایران امکان سنجی نصب نیروگاه‌به کمک نرم افزار کامفار انجام می‌شود. نتایج حاصل از کامفار دید دقیق‌تری از سودآوری سیستم در اختیار سرمایه‌گذار قرار می‌دهد.

---

[1] Lou et al
[3] Budt el al

[٤] نیروگاه پمپ_ذخیره ای
[٥] فرآیند بی دررو هوا فشرده
[6] فرآیند هم دما هوا فشرده

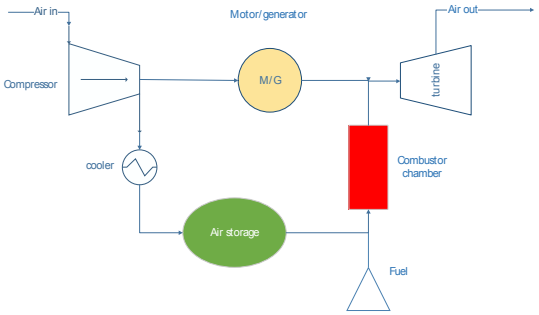


شکل ۱ – روند کلی مقاله

۲ – بررسی ترمودینامیکی سیستم ذخیره سازی هوای فشرده

سیستم ذخیره‌سازی هوای فشرده به طور کلی از انرژی درونی ذخیره شده در هوای فشرده برای ذخیره‌سازی استفاده می‌کند. همانگونه که گفته شد چرخه ترمودینامیکی آن به نوعی برگرفته از چرخه برایتون است. در نوع متداول ذخیره‌سازی هوای فشرده، برق در زمان شارژ برای فشرده کردن هوا در کمپرسور مصرف می‌شود و هوای فشرده در مخازن ذخیره می‌شود. در زمان تخلیه هوای ذخیره شده در توربین منبسط می‌شود و توسط ژنراتور تولید برق می‌کند و به شبکه انتقال داده می‌شود.

در مرحله شارژ ابتدا هوا وارد کمپرسور می‌شود و با مصرف برق تولید شده از منابع تجدیدپذیر یا برق شبکه در زمان غیر پیک فشرده می‌شود. همچنین قبل از اینکه وارد مخزن ذخیره شود در مبدل‌های حرارتی یا با استفاده از منابع خارجی دمای آن کاهش پیدا می‌کند و سپس وارد مخازن ذخیره (برای مثال گنبدهای نمکی) می‌شود. در زمان تخلیه، هوای فشرده شده، قبل از ورود به توربین توسط منبع خارجی یا در مبدل گرمایی دمای آن افزایش می یابد و سپس در توربین تولید کار می‌کند و ژنراتور برق تولید شده را به شبکه منتقل می‌کند.

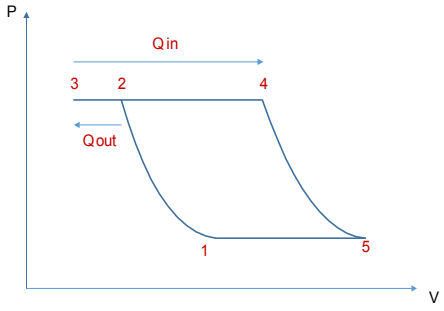


شکل ۲ – چرخه شماتیک سیستم CAES

به‌طور کلی سه روش برای ذخیره هوای فشرده وجود دارد . CAES دیاباتیک (D-CEAS)، CAES آدیاباتیک A-CAESو CAES ایزوترمال (I-CAES) . تمامی این روش ها مراحل پیش‌تر ذکر شده را دارا هستند و در ادامه به بررسی تک تک این روش‌ها می‌پردازیم.

D-CEAS – ۱ – ۲

این سیستم مشابهت زیادی با چرخه توربین گازی دارد. در این سیستم با توجه به اینکه هرچه اختلاف دمای بین منابع سرد و گرم بیشتر باشد، بازده و همچنین کار تولید شده بیشتر خواهد بود، لذا قبل از ورود به توربین ، هوای فشرده شده به وسیله احتراق سوخت‌های فسیلی، گرما داده می‌شود و طبق شکل ۳ وضعیت آن از نقطه ۳ به ٤ تغییر داده می‌شود. دمای آن افزایش می‌یابد و همچنین این کار باعث افزا یش کار تولید شده توربین می‌شود و وابستگی این سیستم به سوخت‌های فسیلی را از بین می‌برد.[8] بازده این نوع سیستم حدود ۵۰ درصد است اما می‌توان با استفاده از بازیاب حرارتی این بازده را افزایش داد[9] .

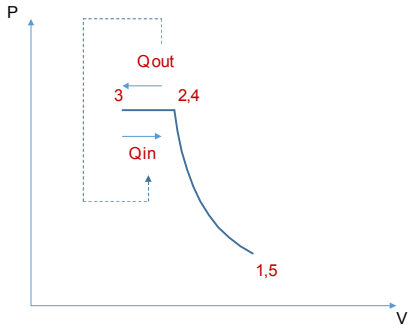


شکل ۳ – نمودار فرآیند سیستم D-CEAS

همانگونه که گفته شد در حال حاضر دو نیروگاه CAES فعال در دنیا وجود دارد. نیروگاه هانتورف در آلمان با ظرفیت ۲۹۰ مگاوات و نیروگاه مکینتاش در آمریکا با ظرفیت ۱۱۰ مگاوات. هر دو نیروگاه از سیستم D-CAES استفاده می کنند و نیروگاه های زیادی نیز در حال ساخت هستند که بر اساس این سیستم طراحی شده‌اند .

A-CEAS – ۲ – ۲

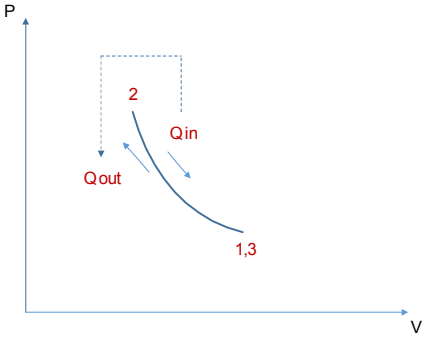
در این سیستم به منظور عدم استفاده از سوخت های فسیلی راهکاری ارائه شده است. در این سیستم بدون کاهش عملکرد با استفاده از ذخیره انرژی حرارتی هوای فشرده شده (TES) و استفاده دوباره آن قبل از ورود هوا به توربین برای افزایش دمای آن، نیاز به سوخت های فسیلی را به صفر رساندیم. با توجه به شکل ٤، انرژی حرارتی آزاد شده از حالت ۲ به ۳ ذخیره شده و از آن در حالت ۳ به ٤ استفاده شده است و تنها انرژی ورودی همان برق در ساعات غیر پیک یا برق تولید شده توسط منابع های تجدید پذیر است. بازده این سیستم وابسته به بازده کمپرسور و TES است. بازده تخمین زده شده برای این سیستم بین ۷۰ تا ۷۵ درصد است است، اما تا به حال به صورت عملی این بازده ممکن نشده است.



شکل ٤ – نمودار فرآیند سیستم A-CAES

I-CEAS – ۳ – ۲

در این سیستم سعی شده است تا فرآیندهای فشرده سازی در کمپرسور و منبسط سازی در توربین به صورت هم‌دما انجام شود. برای رسیدن به این فرایند هم دما از رطوبت موجود در هوا یا اسپری کردن قطرات آب در آن استفاده می شود تا با جذب گرمای فرآیند فشرده سازی و دفع گرما در فرآیند انبساط، دمای هوا را ثابت نگه دارد. این اتفاق باعث کاهش یافتن کار در فشرده سازی و افزایش کار در انبساط می‌شود و به نوعی راندمان به اندازه زیادی افزایش می یابد. مانند سیستم A-CAES وابستگی به سوخت های فسیلی از بین می رود. به صورت ایده‌آل بازده این سیستم می تواند صد درصد باشد ولی به صورت عملی بالای ۸۰ درصد ممکن است[8] .



شکل ٥ – نمودار فرآیند سیستم I-CAES

در این مقاله سعی شده است تا بررسی اقتصادی روش A-CAES مورد تحلیل قرار بگیرد.

۳ - پتانسیل‌سنجی مکان احداث نیروگاه CAES

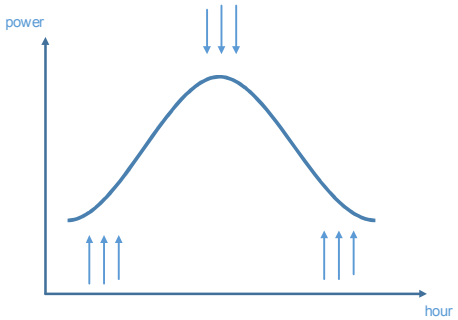
به منظور پتانسیل‌سنجی مکان احداث در ابتدا لازم است با توجه به ویژگی‌های سیستم و به منظور افزایش بازدهی کل به بررسی چند فاکتور برای بررسی‌های نخستین بپردازیم. از آنجایی که نیروگاه ذخیره‌ساز در ساعات کم بار در حالت مصرف‌کننده از شبکه برق دریافت می‌کند به منظور کاهش تلفات بهتر است در کنار نیروگاه های تولید برق باشند، از طرفی به دلیل نویز زیاد توربین باید سیستم‌های مکانیکی به دور از محل سکونت انسان باشند. تحقیقات و آزمایش‌های فراوانی در رابطه با مخزن های ذخیره‌ساز مناسب و طبیعی در سطح جهان انجام شده که نشان می‌دهند سفره های آب زیرزمینی، معادن سنگ‌های صخره ای و معدنی، مخازن گنبد نمکی گزینه‌های مناسبی برای ذخیره‌سازی هستند.[3]

در ایران تراکم گنبدهای نمکی به منظور تمهیدات ذخیره‌ساز هوا بیشتر در استان‌های هرمزگان، بوشهر، فارس، تهران و سمنان را می توان به عنوان گزینه های مناسب احداث برآورد کرد. هم چنین نقشه پراکندگی نیروگاه‌های حرارتی و چاه‌های گازی نشان داده است که در استان‌های هرمزگان، بوشهر، چارمحال بختیاری، یزد، اصفهان، سمنان، آذربایجان غربی و شرقی و قم پتانسیل قوی نصب نیروگاه ذخیره‌ساز به لحاظ مکانی برای CAES وجود دارد که تقریبا ۰.۳٪ مساحت کل کشور را تشکیل می دهد.[10]

٤ - مدیریت طرف تقاضا

مدیریت طرف تقاضا یا DSM به کلیه اقداماتی گفته می‌شود که منجر به افزایش بهره‌وری انرژی و رشد بازدهی سیستم‌های انرژی می گردد .این مفهوم برای اولین بار در سال ۱۹۸۱ توسط یکی از مدیران انستیتو برق آمریکا (EPRI) بنام کلارک گلینگ به نام‌های پیک سایی، دره زدایی، جابجایی بار، انعطاف پذیر کردن منحنی بار، صرفه جویی و رشد بار راهبردی تعریف شد[11] .

هدف این دسته از فعالیت‌ها افزایش کوتاه مدت و بلند مدت قابلیت اطمینان شبکه با یکدست کردن نمودار بار-زمان از طریق کنترل مستقیم مانند قطعی برق در اوج مصرف که پیامدهای منفی اجتماعی و مالی دربر دارد و یا کنترل غیر مستقیم مانند تنظیم تعرفه‌های قیمتی پلکانی متناسب با مصرف و نصب نیروگاه‌های ذخیره ساز برق در زمان کمبود مصرف و مازاد تولید برق و عرضه برق در اوج مصرف با هدف جابه‌جایی قله نمودار بار-زمان به طرف بار پلیه و بالا بردن دره های نمودار به طرف بار پلیه می‌باشد .به بیان دیگر،کنترل غیرمستقیم بار علاوه بر منافع اقتصادی که برای مشتریان برق دارد با تغییر بار از ساعات اوج مصرف به ساعات غیر اوج علاوه بر افزایش امنیت شبکه، نیروگاه‌های تولید برق نیز در نقطه بهینه تولید خود، کار می کنند.[12]



شکل ٦ – نمودار بار ساعتی روزانه و تاثیرات DSM

بررسی های بین المللی نشان می دهد که DSM[7] برای اقتصاد، کار، محیط زیست، امنیت تهیه انرژی و قابلیت اطمینان تاثیرات به سزایی گذاشته است.

٥ – بررسی اقتصادی نصب واحد CAES

جنبه صرفه اقتصادی هر تکنولوژی بخشی است که برای جذب سرمایه‌گذاران این حوزه اهمیت بسیار دارد و به نوعی موتور محرک پیشرفت تکنولوژی است. در این مقاله سعی شده است تا با استفاده از نرم افزار کامفار صرفه اقتصادی واحد ذخیره‌ساز CAES بررسی شود. برای این بررسی، تحلیل اقتصادی به طور نمونه در واحد یک کیلووات ذخیره ساز CAES انجام شده است. هزینه سرمایه گذاری اولیه برای نصب و راه اندازی سیستم ذخیره ساز نوع A-CAES در مقیاس کلان به ازای یک کیلووات ظرفیت واحد ٤٠٠ دلار برآورد شده است. هزینه‌های تولید نیز ۱۰ درصد هزینه‌های اولیه در نظر گرفته شده است.[9]

در کشور ما به طور میانگین روزانه ٤ ساعت اوج بار و ٨ ساعت کم باری داریم.[13] همانگونه که گفته شد بازده سیستم A-CAES حدود ۷۰ تا ۷۵ درصد است. اما این اعداد ایده‌آل هستند و به طور میانگین بازده را ۵۰ درصد در نظر می‌گیریم.[8] از مزیت های دیگر این سیستم این است که نیازی به استفاده از سوخت های فسیلی ندارد و تنها ورودی آن برق شبکه است. با توجه به ساعت اوج بار و کم باری و بازده سیستم مقدار مصرف روزانه آن ٨ کیلووات‌ساعت و مقدار تولید آن ٤ کیلووات ساعت برق است. [13]

در این پژوهش، سرمایه‌گذار خصوصی در نظر گرفته شده است و بررسی اقتصادی بر اساس سودآوری پروژه برای سرمایه گذار مطرح می شود. بنابراین باید با استفاده از سناریوهای مختلف سود اقتصادی را بررسی کنیم. تعرفه قیمت برای برق مصرفی واحد ٤٦٩.٥ ریال بر کیلووات ساعت که برابر با بیشینه تعرفه قیمت برق برای واحدهای صنعتی در ساعت کم باری است در نظر می‌گیریم.[13] از آنجایی که این سیستم کمک زیادی به پیک سایی نمودار توان می‌کند و از طرفی تاکنون سیستمی به این شکل در کشورمان راه‌اندازی نشده است و در نتیجه قیمت گذاری‌ای برای آن انجام نشده است، لذا برای تعرفه قیمت برق تولید شده سناریوهای مختلفی در نظر می‌گیریم. قیمت فروش در ٤ قیمت ۷۰۰۰، ۱۱۰۰۰، ۱۳۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ ریال بر کیلووات ساعت در نظر گرفته شده است و با توجه به این مقادیر سود سالیانه به صورت زیر محاسبه می شود:

مقدار انرژی مصرف شده * تعرفه خرید − مقدار انرژی تولید شده * تعرفه فروش = سود ناخالص سالیانه

با استفاده از رابطه بالا و مقادیر پیش‌تر داده شده و با در نظر گیری نرخ تنزیل ۲۰ درصد و تورم میانگین ۱۹ درصد، در نرم افزار کامفار تحلیل اقتصادی این واحد را بررسی کردیم.[14]

حالت اول با تعرفه ۷۰۰۰ ریال بر کیلووات ساعت از نظر اقتصادی به صرفه نیست و دارای ارزش خالص فعلی (NPV) منفی است. بررسی حالت های دیگر نیز در جدول ز یر نشان داده شده است.

[7] مدیریت طرف تقاضا

تعرفه فروش برق(ریال بر کیلووات‌ساعت)	NPV(هزار ریال)
۱۱۰۰۰	۲۳۹۰۰.۰۳
۱۳۰۰۰	۱۰۱۰۴۵.۶۶
۱۵۰۰۰	۱۷۸۱۹۱.۲۸

جدول ۱ – NPV براساس تعرفه های مختلف

همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش قیمت فروش برق امکان پذیری(Feasibility) پروژه از نظر اقتصادی افزایش می یابد و به نوعی اگر قیمت گذاری ها کمتر از ۱۱۰۰۰ ریال به ازای هر کیلووات‌ساعت در نظر گرفته شود این پروژه دیگر به صرفه نیست. از آنجایی که هزینه راه اندازی این سیستم در مقیاس کلان به نسبت بالا است، بنابراین سیاست گذاری های تشویقی در این حوزه می تواند کمک فراوانی به احداث این سیستم ها داشته باشد.

۶ - نتیجه گیری

در این مقاله سعی شده است تا اهمیت ذخیره‌سازی انرژی بیان شود و همچنین روش‌های مختلف ذخیره سازی CAES از نظر تکنولوژی و پتانسیل سنجی مکانی بررسی شود. در ادامه نیز سیستم CAES به صورت اقتصادی مورد بررسی قرار گرفت و تاثیرات مختلف آن روی ساختار اقتصادی مشاهده شد. نتایج حاکی از آن بودند که این سیستم می‌تواند با راه اندازی در سطح کلان سهم زیادی در مدیریت سمت تقاضا داشته باشد، اما این سیستم برای امکان-پذیری نیازمند طرح های تشویقی در این حوزه است تا که از طریق آنها سطح مصرف در اوج بار را کاهش داده و قابلیت اطمینان سیستم‌های انرژی را افزایش دهیم. امید است تا با گسترش فناوری‌های پربازده تر هزینه‌های تولید را کاهش داده و به سودآوری بیشتر این سیستم ها کمک کرد.

۷ - مراجع

[1] "http://www.eia.doc.gov/emeu/cabs/Iran/ pdf.pdf:EIA (Energy Information Administration), Iran,Energy Data, Statistics and Analysis (Oil, Gas,Electricity, and Coal), .," 2009. [Online].

[2] G. S. B. E. A. N. A. Lund H., "Optimal operation strategies of compressed air energy storage (CAES) on electricity spot markets with fluctuating prices," *Applied Thermal Engineering,* 2018.

[3] Ibrahim H, A.Ilinca, J.Perron, "Energy storage systems - Characteristics and comparisons," *Renewable and sustainable energy Reviews,* 2008.

[4] Kalhammer FR, Schneider TR, "Energy storage," Ann Rev Energy, 1976.

[5] John Gardner, Todd Haynes, "Overview of Compressed Air Energy Storage," *Office of Energy Research, Policy and Campus Sustainability, Boise State University,* 2007.

[6] Lou, X.;Wang, J.; Dooner, M.; Clarke, J. and C. Krupke, "Overview of Current Development in Compressed Air Energy Storage Technology," *Energy Procedia,* 2014.

[7] Budt, M.; Wolf, D.; Span, R. and J. Yan, "A Review on Compressed Air Energy Storage: Basic Principles, Past Milestones & Recent Developments," *Applied Energy,* 2016.

[8] Wei Hea, Jihong Wang, "Optimal selection of air expansion machine in Compressed Air Energy Storage: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 2018.

[9] Zheming Tong, Zhewu Cheng, Shuiguang Tong, "A review on the development of compressed air energy storage in China: Technical and economic challenges to commercialization," *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 2021.

[10] Mohammad Satkin , YounesNoorollahi , MajidAbbaspour , HosseinYousefi, "Multi criteria site selection model for wind-compressed air energy storage power plants in Iran," *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 2014.

[11] D. D. Crossley, "International Experience in Demand Side Management and Energy Efficiency," *India Electricity Conference New Delhi,* 2007.

[12] A. V. Hamidi, "New Control Methods in Demand Side Management to Improve the Security of Supply in the UK's Electricity Network," *IEEE Trans,* 2007.

[۱۳] **"تعرفه های برق و شرایط عمومی آن ها,"** tavanir.org.ir, 1400.

[14] E. Bozzolani, "Techno-economic analysis of Compressed Air Energy Storage systems," *School of Engineering,* 2010.

Title……

Author[1*], Author2[2], ….. and …

1. Biosystems Engineering Department, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2. ….

Abstract

……
……
……
……
……
……
……
……
……
……

Key words: ……., …..,

*Corresponding author
E-mail: ah_banakar@modares.ac.ir