مجله رویکردهای نوین در تحقیقات علوم پایه، فنی و مهندسی
سال اول، شماره ۲، بهمن ۱۳۹۷
ISSN: ۲٦٤٥-٥٤٣٩
www.jonarbset.ir

# بررسی و امکان یابی نیروگاه ذخیره انرژی (CAES)با توجه به مطالعات زمین شناسی و استعداد منطقه ای در استان یزد

**جمال غلامی آهنگران [۱] ، مهدی صباغی هرندی [۲]**

[۱] عضو هیئت علمی گروه برق دانشگاه نایین
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد برق دانشگاه آزاد نایین

**چکیده**

نیروگاه ذخیره انرژی با قابلیت شارژ از شبکه و انرژی خورشیدی یکی از روشهای تامین انرژی پایدار در زمان اوج مصرف بار میباشد . در این مقاله با توجه به امکان سنجی و مطالعه جغرافیایی مکان احداث پروژه به معرفی و بررسی نیروگاه ذخیره انرژی پرداخته شده است. تامین انرژی اولیه جهت شارژ نیروگاه میتواند از روشهای مختلفی صورت بگیرد ،در این مقاله هدف تامین انرژی ارزان و از طریق نیروگاه خورشیدی که مناسب شرایط نقطه مورد نظر است منظور می باشد.

**واژه‌های کلیدی:** حفره های نمکی ، نیروگاه ذخیره، انرژی، زمین شناسی، استان یزد

## ۱- مقدمه

فشرده سازی هوا از سال ۱۸۷۰ به عنوان یک سیستم مناسب در زیرساخت های شهری مورد توجه قرار گرفت. شهر هایی چون پاریس، بیرمنگام، ریکسدورف، آفنباخ، درسن و بوینس آیرس شهرهای پیشگام در این عرصه بودند. در سال ۱۸۹۶، ۲/۲ مگاوات برق پاریس با این سیستم تامین می شد، هوای فشرده در فشار ۵۵۰ کیلو پاسکال در مسیر ۵۰ کیلومتری لوله های هوا حرکت میکرد و انرژی مورد نیاز موتورها و روشنایی و صنایع سنگین را تامین میکرد. دندانپزشکی، خیاطی و نانوایی اولین مشاغلی بودند که از این تکنولوزی بهره برداری نمودند اولین ایستگاه ذخیره سازی هوای فشرده در هونتورف آلمان ساخته و راه اندازی شد. این نیروگاه با حجم تولید ۲۹۰ مگاوات از سال ۱۹۷۸ در شهر برمن آلمان شروع به کار کرد. از این سیستم جهت پیک سایی و کنترل توان راکتیو شبکه و SPINNIG REVERCE استفاده می شود. منبع ۱۱ میلیون فیت مکعبی این نیروگاه هوا را تا فشار Psi ۱۰۰۰ در دو حفره بزرگ نمکی که در عمق ۲۱۰۰ و ۲۶۰۰ فیت زیر زمین هستند ذخیره می نماید. برای شارژ کامل نیروگاه ۱۲ساعت کامل برق شبکه مورد نیاز است تا نیروگاه کاملاً شارژ شود. این سیستم با یک سیکل ساده گاز ایده آل در کنار احتراق گاز طبیعی جهت افزایش راندمان آزاد سازی کار می کند. در جدول زیر مشخصات این نیروگاه مشخص شده است.

جدول (۱-۱) مشخصات فنی نیروگاه هونتورف

| | |
|---|---|
| Air cavern volumes | ≈۱٤۰۰۰۰ m |
| | ≈۱۷۰۰۰۰m |
| Total cavern volume | ≈۳۱۰۰۰۰m |
| Cavern location top | ≈٦٥۰m |
| Bottom | ≈۸۰۰m |
| Maximum diameter | ≈٦۰m |
| Cavern pressure | ≈۷۰ bar |
| Output Turbine operation | ۲۹۰ MW≤۳ hrs |
| Compressor operation | ٦۰ MW≤۱۲ hrs |

درسال ۱۹۹۱ میلادی نیروگاه مکینتاش در آلاباما ایالات متحده با ظرفیت ۱۱۰ مگاوات راه اندازی شد. این ریسک بزرگ اقتصادی برای ذخیره سازی انرژی کم باری و تولید برق در ساعات پیک مورد استفاده قرارگرفت.

## جایگاه ذخیره سازی در سیاست های کلان صنعت برق

به تعبیری امروزه زنجیره صنعت برق در ۵ گام خلاصه می شود منبع انرژی، تولید، انتقال، توزیع و در نهایت مشتری، به هر حال برای ایجاد یک بازار رقابتی پویا که در آن قیمت ها منعطف، شبکه پایدار و تقاضا در اوج خود باشد لازم است بخشی از

انرژی ذخیره شود تا در بهترین زمان در بازار عرضه شود. انرژی الکتریکی در مقیاس مورد نیاز به خودی خود قابل ذخیره سازی نیست اما می توان انرژی مورد نیاز برای تولید برق را ذخیره کرد. شکل (۱-۳) زنجیره مذکور را با توجه به موضوع ذخیره سازی انرژی نشان می دهد.

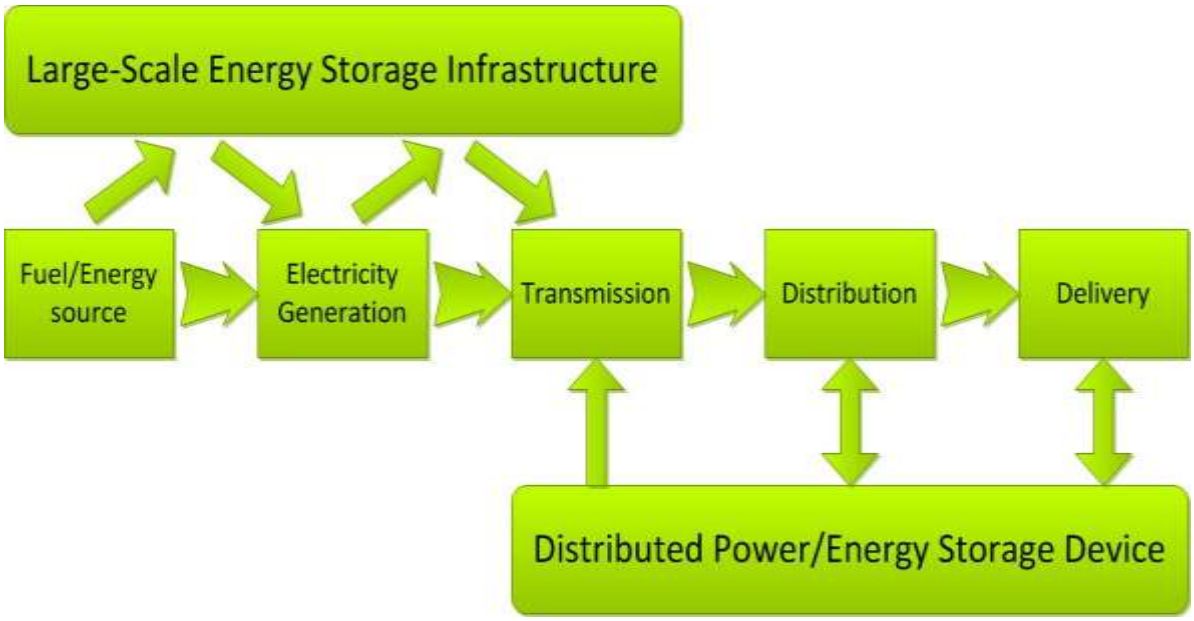
**شکل (۱-۲) زنجیره صنعت برق**

همانطور که در شکل (۲-۲) قابل مشاهده است در سیکل ۵ مرحله ای صنعت برق به شکل کلی دو گونه ذخیره سازی قابل تصور است

**۲-۱**-ذخیره سازی با ظرفیت های بزرگ. در واقع نیروگاه های بزرگ در این دسته قرار می گیرند به طور کلی نیروگاه های بیش از یک مگاواتی در این دسته قرار می گیرند و با توجه به پتانسیل این تکنولوژی حداکثر ظرفیت ۱۰ گیگا وات هم براین این نیروگاه ها قابل تصور است.

**۲-۲**-ذخیره سازی در قالب تولید پراکنده در مقیاس کوچک برای نیروگاه های کوچکتر از ۱ مگاوات

همانطور که در شکل (۲-۲) مشخص شده است نیروگاه های CAES در ارتباط با شبکه هم قابلیت استفاده از منابع موجود انرژی مانند باد، خورشید و حتی سوخت های فسیلی و . . . و هم امکان در یافت انرژی از شبکه سراسر را دارند. همانطور که در بخش های قبلی بحث شد در ساعات غیر اوج برق ارزان از شبکه دریافت و در ساعات اوج به شبکه تزریق می گردد.

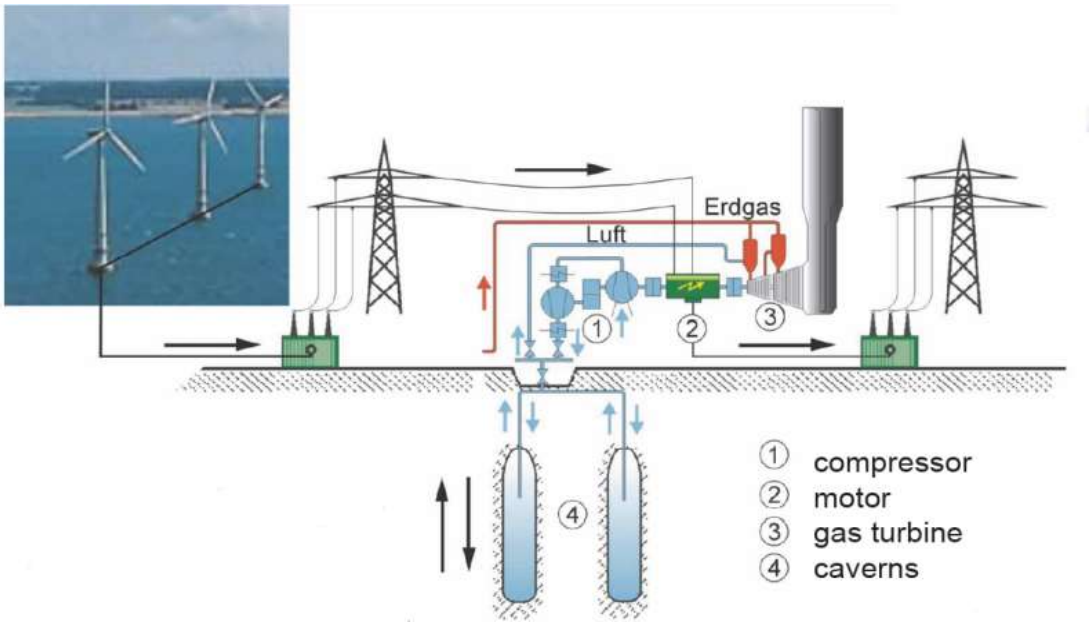



**شکل (۲-۲) مفهوم زنجیره صنعت برق با توجه به موضوع ذخیره سازی انرژی**

در قالب تولید پراکنده هم امکان کوپل سیستم با شبکه جهت ذخیره انرژی درساعات کم مصرف شبکه هم در بخش انتقال و هم درتوزیع می باشد از سوی دیگر امکان استفاده از منابع دیگر انرژی در این قالب وجود دارد.

## ۳- آناتومی CAES

بیش از ۳۵ سال از عمر تکنولوژی CAES می گذرد. یک نیروگاه CAES انرژی الکتریکی را در فرم هوای فشرده ذخیره می کند، در زمان مناسب این پتانسیل ذخیره شده به عنوان ورودی نیروگاه جهت تولید برق استفاده می شود. یک نیروگاه CAES از دید کلی شامل این بخش ها می باشد.




**شکل (۱-۳) بخش های اصلی تشکیل دهنده نیروگاه ذخیره سازی انرژی**

- سیستم قدرت، توربین ها، ژنراتور و recuperator و selective catalytic reduction (SCR)[۱]
- سیستم فشرده سازی، خنک کننده ها
- مخزن ذخیره سازی و لوله های انتقال هوا
- سیستم کنترلی شامل کلید ها، پست ها، سیستم خنک کننده و . .

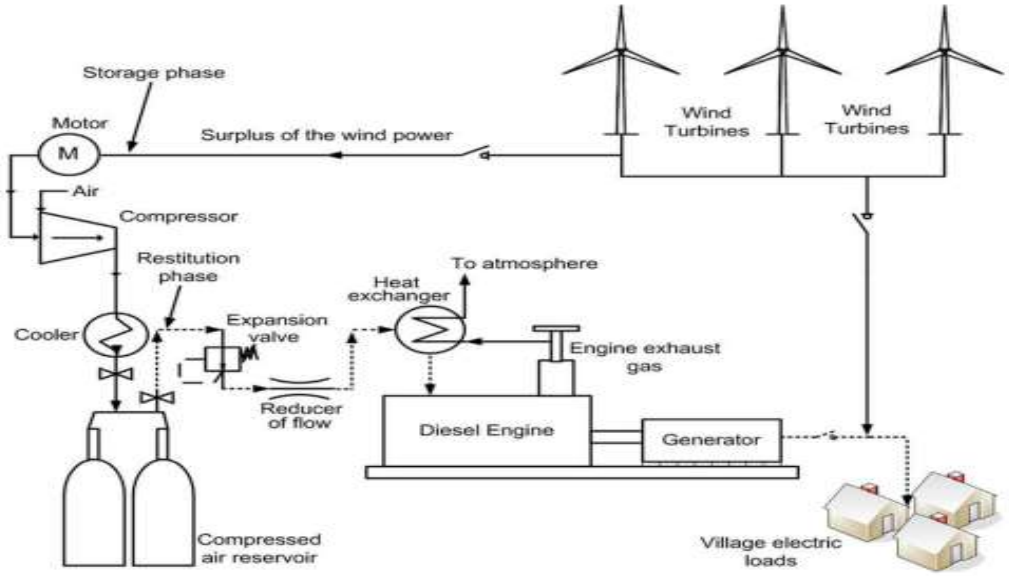
[۱] selective catalytic reduction

## ۴- سیستم ذخیره سازی انرژی هوای فشرده در مقیاس کوچک

همانطور که در بخش های قبل اشاره شد سیستم ذخیره سازی انرژی در کنار یک منبع تولید انرژی به عنوان یک سیستم تولید پراکنده مورد توجه قرار دارند. هدف از راه اندازی یک نیروگاه تولید پراکنده مقیاس کوچک می تواند بسته به کاربری آن متفاوت باشد.

### ۴-۱-تولید پراکنده در مناطق دور افتاده

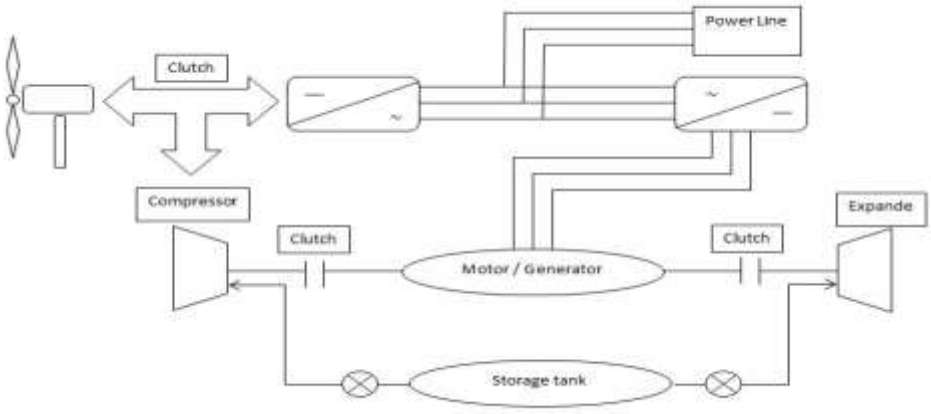
در کشورهایی که پراکندگی زیاد جمعت، مسیر های صعب العبور ، روستا ها و شهرک های دور افتاده و کم جمعیت وجود دارد انتقال انرژی یکی از مشکلات بزرگ است به عنوان مثال کانادا در سال های اخیر جهت تامین انرژی مناطق کم جمعیت و دور افتاده خود بجای احداث خطوط انتقال به فراهم سازی زیر ساخت های لازم نیروگاه های تولید پراکنده روی آورده است و با کوپل یک منبع انرژی تجدید پذیر با یک سیستم ذخیره سازی انرژی، انرژی مطمئن و پایدار در اختیار شهروندان منطقه قرار می دهد. در ایران هم شمار مناطقی که با این مشکلات روبرو هستند کم نیست، بخصوص در مناطق کوهستانی و دامنه ی غربی زاگرس روستا هایی وجود دارد که به دلیل نبود دسترسی آسان با مشکل جدی جهت ارسال حامل های انرژی به این مناطق مواجه هستیم. تامین انرژی الکتریکی و تبدیل آن به سایر انرژی ها بجای انتقال سایر حامل های انرژی یک روش کاملا اقتصادی و مطمئن می باشد.




**شکل (۱-۴) شمای کلی CAES در قالب تولید پراکنده**

### ۴-۲-تولید پراکنده در کلان شهرها

استفاده از نیروگاه های مقیاس کوچک ذخیره سازی انرژی علاوه بر پیک سایی در شبکه سراسری با افزایش راندمان تولید و کاهش تلفات هزینه تمام شده را به شکل قابل توجهی کاهش می دهد. استفاده از این سیستم در کلان شهر ها و به خصوص در مناطقی که مصرف بالاست کمک ویژه ای به پایداری شبکه، کاهش تلفات و کاهش هزینه های تولید و انتقال شبکه سراسری می کند. در واقع هدف از راه اندازی این سیستم، ذخیره انرژی در ساعات کم باری با قیمت کم و مصرف در ساعات اوج می باشد.




**شکل (۲-۴) شمای کلی سیستم دوسو تغذیه CAES**

## ۵-ترمودینامیک

شکل (۱-۵) سیکل ترمودینامیکی نیروگاه CAES رانشان می دهد. این پروسه شامل این بخش ها می شود:

۵-۱ : پروسه ی فشرده سازی، این بخش شامل (n-۱) واحد خنک کننده است

۵-۲: پس از خروج هوا از ،یک واحد خنک کننده در نهایت وجود دارد که هوای فشرده از آن هم میگذرد.

۵-۳ : هوا در یک پروسه فشار ثابت (تقریباً فشار ثابت) به صورت مقدماتی در ریکاپریتور گرم می شود.

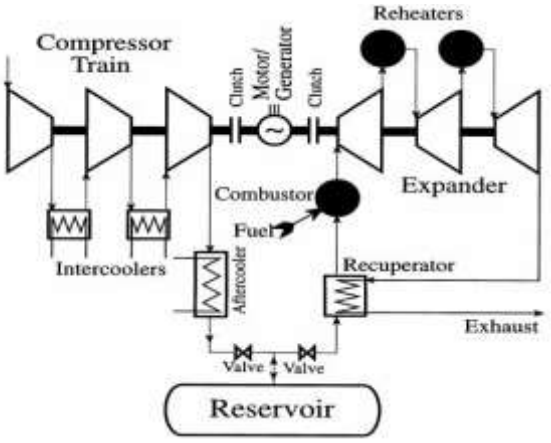
۵-۴ : پروسه ی (تقریباً) فشار ثابت در محفظه احتراق

۵-۵: پروسه آزاد سازی هوای فشرده شامل (m-۱) طبقه گرم کننده

۵-۶ : انتقال گرمایی با فشار ثابت در ریکاپریتور

۵-۷ : انتقال گرمایی و خروج گرما از سیستم توسط اگزوز به محیط آزاد، پروسه اس که سیکل را می بندد

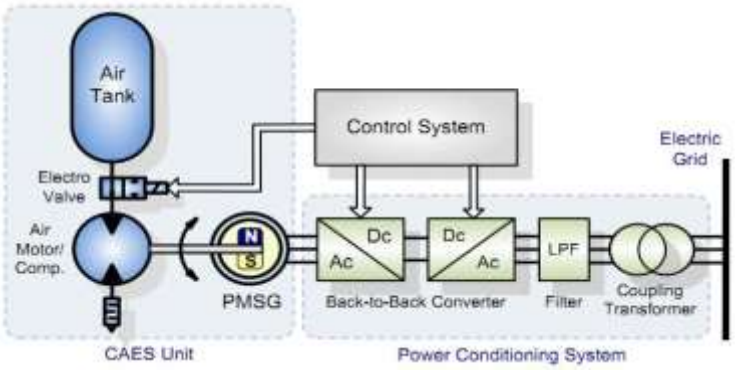
توجه داشته باشید که منبع انتقال دما در مراحل این واکنش می تواند انرژی گرمایی ذخیره شده در مراحل ذخیره سازی باشد و می تواند از منبع خارجی تامین شود.




**شکل (۱-۵) سیستم ترمودینامیک CAES**

## ۶- نیروگاه CAES در اتصال با شبکه سراسری

عملکرد سیستم کنترلی نیروگاه در عملکرد بهینه نیروگاه در شبکه از اهمیت ویژه ای برخوردار است. شکل (۱-۶) شمای کلی اتصال نیروگاه با شبکه را نمایش می دهد. همانطور که در شکل مشخص است سیستم کنترلی ورود و خروج هوا به تانک از یک سو وعمکلرد مبدل های جریان AC به DC و DC به AC را بر عهده دارد. البته پارامترهای دیگری هم در بخش کنترل چک می شوند اما با توجه به اهمیت پارامتر های ذکر شده در تولید از ذکر آنها خوداری شده است.




**شکل (۱-۶) نحوه اتصال سیستم با شبکه برق**

## ۷- مکان پیشنهادی نیروگاه

گنبدهای نمکی معدن متروکه حاجی آباد و معدن رستاق یزد به دلیل نزدیکی نیروگاه های ۵۰۰ مگاواتی یزد ۱ و ۲، در این مناطق علاوه بر امکان استفاده از پتانسیل سرعت توان باد ،انرژی خورشید هم قابل تامل می باشد.

## ۸- نتیجه گیری وجمع بندی

در این مقاله ذخیره سازی انرژی در قالب نیروگاه مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به منابع طبیعی واستعداد زمین شناسی که در مناطق مختلف ایران وجود دارد این امکان برای مکان پیشنهاد شده به دلیل کاهش هزینه انتقال و بالا بردن پایداری وضریب اطمینان شبکه ملموس و قابل تامل میباشد .

## ۹- مراجع

[۱] 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), February ۲۰۰۹.

[۲] Lund H., G. Salgi, B. Elmegaard, A. N. Andersen,"Optimal operation strategies of compressed air energy storage (CAES) on electricity spot markets with fluctuating prices", Applied Thermal Engineering, Vol: ۲۹, ۷۹۹-۸۰۶, ۲۰۰۹.

[۳] Grazzini G., A. Milazzo, "Thermodynamic analysis of CAES/TES systems for renewable energy plants", Renewable Energy, Vol: ۳۳, ۱۹۹۸-۲۰۰۶, ۲۰۰۸.

[۴] Chen H., T. N. Cong, W. Yang, C. Tan, Y. Li, "Progress in electrical energy storage system: A critical review", Progress in Natural Science, Vol: ۱۹, ۲۹۱-۳۱۲, ۲۰۰۹.

[۵] Ibrahim H, A.Ilinca, J.Perron, "Energy storage systems - Characteristics and comparisons", Renewable and sustainable energy Reviews, Vol: ۱۲, ۱۲۲۱-۱۲۵۰, ۲۰۰۸.

[۶] Mautoux R. D., "Wind Integrated Compressed Air Energy Storage in Colorado", Master of science thesis, Department of Electrical Engineering,University of colorado, ۲۰۰۷.

[۷] John Gardner, Todd Haynes, "Overview of Compressed Air Energy Storage", Office of Energy Research, Policy and Campus Sustainability, Boise State University, E-۰۷-۰۰۱, December ۲۰۰۷.

[۸] Iranian offshore oil company cite: http://www.iooc.co.ir/persian/company/default.asp

[۹]نیک بین، نصرالله.انتشارات نبوی، چاپ وزیری ، ۱۳۷۵-فرهنگ مکتشفین و جغرافی نویسان جهان

[۱۰]پایگاه ملی داده های علوم زمینی کشور