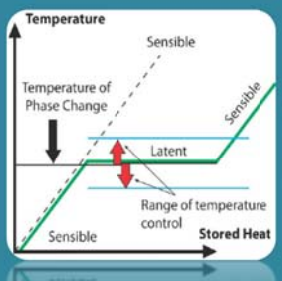
وزارت نیرو
پژوهشگاه نیرو
Niroo Research Institute
NRI

بروندادهای تخصصی

گروه پژوهشی سیکل و مبدل های حرارتی

شماره ۳، زمستان ۱۳۹۵

- تعیین اولویت سرمایه‌گذاری در طرح‌های توسعه واحدهای حرارتی
- ارزیابی فنی اقتصادی بکارگیری بسته‌های ارتقاء منتخب برای بهبود راندمان و توان تولیدی واحدهای گازی GE-F9
- الکتروهیدرودینامیک (EHD)، روشی فعال برای کنترل جریان – بخش دوم
- بهره‌گیری از منابع درجه حرارت پایین در تلفیق با سیستم‌های تولید همزمان



www.nri.ac.ir
TC&HX@nri.ac.ir

اهداف:

«برونداد‌های تخصصی گروه پژوهشی سیکل و مبدل های حرارتی» با هدف معرفی و ترویج دانش تخصصی گروه، مستندسازی یافته های نوین پژوهشی و انتشار به موقع دستاوردهای علمی و عملی گروه، به‌صورت داخلی منتشر می‌شود.

ناشر:

نشانی الکترونیکی: TC&HX @nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، گروه سیکل و مبدل های حرارتی

تلفن: ۸۸۵۹۰۱۷۲-۰۲۱

دورنگار: ۸۸۵۹۰۱۷۱-۰۲۱

همکاران این شماره:

فرشته رحمانی

محمد تاجیک منصوری

اکبر نمازی تجرق

حمید معصومی

برونداد‌های تخصصی

گروه پژوهشی سیکل و مبدل های حرارتی

شماره ۳، زمستان ۹۵

صاحب‌امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیرمسئول: فرشته رحمانی

سردبیر: فرشته رحمانی

مدیر اجرایی: حمید معصومی

ویراستار و صفحه‌آرا: حمید معصومی

اعضای هیئت‌تحریریه:

فرشته رحمانی

شبنم منصوری

محمد تاجیک منصوری

اکبر نمازی تجرق

حمید معصومی

فهرست مطالب

سخن سردبیر ۱

تعیین اولویت سرمایه‌گذاری در طرح‌های توسعه واحدهای حرارتی
اکبر نمازی تجرق ۲

ارزیابی فنی اقتصادی بکارگیری بسته‌های ارتقاء منتخب برای بهبود راندمان و توان تولیدی واحدهای گازی GE-F9 ۱۵
محمد تاجیک منصوری، اکبر نمازی تجرق

آشنایی با انجمن فنی VGB PowerTech ۲۶

الکتروهیدرودینامیک (EHD)، روشی فعال برای کنترل جریان – بخش دوم
حمید معصومی ۲۸

بهره‌گیری از منابع درجه حرارت پایین در تلفیق با سیستمهای تولید همزمان
محمد تاجیک منصوری ۳۳

واژه های علمی ۳۷

سخن سردبیر

یکی از اسناد تدوین سند راهبردی که در سال‌های ۹۳ و ۹۴ در پژوهشگاه نیرو به انجام رسید سند راهبردی افزایش راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور بود. در شماره گذشته نشریه به اهمیت بازتوانی واحدهای بخار قدیمی به عنوان یکی از راهبردهای مطرح شده در این سند اشاره شد. یکی دیگر از راهبردهای افزایش راندمان در این سند، بهره‌برداری بهینه از کندانسور و برج خنک کن می‌باشد. با توجه به تاثیر قابل توجه سیستم خنک‌کن در راندمان واحد و به دنبال آن در کاهش مصرف سوخت و نشر آلاینده‌ها، ضرورت بررسی راهکارهای بهینه‌سازی سیستم خنک‌کن بیشتر مشخص می‌شود. یکی از مشکلاتی که در حال حاضر برای سیستم‌های خنک‌کن کشور مطرح است، میزان مصرف آب سیستم‌های خنک‌کن تر است. با توجه به مشکل کمبود آب در برخی مناطق کشور، عملکرد واحدهای دارای این نوع سیستم خنک‌کن دچار اشکالات جدی شده است. تبدیل برج خنک‌کن به نوع خشک یا هیبریدی و استفاده از پساب از جمله راهکارهایی هستند که در حال حاضر در برخی از نیروگاه‌ها بکار گرفته می‌شوند. با توجه به این که تبدیل برج تر به خشک یا هیبریدی می‌تواند در عملکرد کندانسور و توربین بخار نیز تاثیرگذار باشد، بنابراین تصمیم‌گیری در این مورد نیازمند بررسی دقیق می‌باشد.

از جمله مشکلات دیگر سیستم‌های خنک‌کن، افت عملکرد سیستم‌های خنک‌کن خشک (هلر و هواخنک) هنگام وزش باد و در دمای بالا می‌باشد. مطالعات متعددی تاکنون برای کاهش اثر باد صورت گرفته است ولی در حال حاضر برای هیچ‌یک از واحدهای موجود در کشور اقدامی صورت نگرفته است. استفاده از دیواره‌های بادشکن در برج‌های هلر و صفحات windscreen در کندانسورهای هوایی از جمله راهکارهای عملی قابل اجرا برای این سیستم‌های خنک کن می‌باشند.

پروژه‌های متعددی در دانشگاه‌ها، پژوهشگاه نیرو، سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی و توسط بسیاری محققین دیگر در کشور جهت بهینه‌سازی عملکرد سیستم‌های خنک‌کن انجام گرفته و یا در حال انجام است. آنچه که بسیار مهم است مدیریت، هدایت و جهت‌دهی مناسب به این پژوهش‌ها برای رسیدن به نتایج مطلوب و کاربردی می‌باشد که امید است پژوهشگاه نیرو با توجه به رسالت مدیریت پژوهش که برعهده گرفته است بتواند در این راستا کارگشا بوده و این پژوهش‌ها را در جهت درست هدایت نماید تا راه‌گشای مشکلات موجود در این زمینه باشد.

مقاله پژوهشی

تعیین اولویت سرمایه‌گذاری در طرح‌های رقیب واحدهای نیروگاهی حرارتی

اکبر نمازی تجرق

پژوهشگاه نیرو، گروه سیکل و مبدل های حرارتی

چکیده

تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز با به کارگیری اقتصادی‌ترین فناوریها از جمله اهداف صنعت برق در ایران است. جهت نیل به این هدف، افزایش ظرفیت واحدهای موجود در کنار احداث واحدهای جدید از جمله راهکارهای تامین برق مورد نیاز در کشور می‌باشد. بدین منظور در این مطالعه، طرح‌های رقیب توسعه ظرفیت انرژی الکتریکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. طرح‌های بازتوانی کامل یکی از واحدهای بخاری نیروگاه بندرعباس، تکمیل بخش بخار سیکل ترکیبی نیروگاه خلیج فارس و احداث یک بلوک سیکل ترکیبی تیپV94.2 به عنوان طرح‌های رقیب مورد بررسی قرار گرفته است. برای این مهم،در ابتدا مقادیر پارامترهای فنی و اقتصادی طرح‌های فوق‌الذکر تعیین گردید و در ادامه طرح‌های مورد مطالعه با استفاده از شاخص‌های اقتصاد مهندسی ارزیابی گردیدند ودر نهایت با لحاظ کردن سناریوهای قیمتی سوخت مورد مقایسه قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: بازتوانی کامل[1]، ارزش فعلی خالص[2]، قیمت تمام شده[3]، نرخ بازده داخلی[4]، دوره بازگشت سرمایه[5]

[1] Full Repowering
[2] Net Present Value
[3] Levelized Energy Cost
[4] Internal Rate Of Return
[5] Payback Period

مقدمه

امروزه این واقعیت در همه جای دنیا پذیرفته شده است که تعمیق فرآیند رشد صنعتی به فراهم بودن انرژی لازم و متناسب آن، بستگی دارد، بطوری که یکی از شاخص‌های پیشرفته بودن صنایع کشورها میزان تولید و مصرف انرژی برق آنهاست و بیشتر کشورها برای تامین و توسعه این انرژی حیاتی سرمایه گذاری های فراوانی را انجام می‌دهند.تعیین اولویت سرمایه گذاری در طرح های رقیب تولید برق یکی از چالش‌هایی است که ذهن متخصصین این حوزه را در کشور به خود مشغول کرده است. تصمیم‌گیری در خصوص تعیین اولویت طرح های رقیب به عواملی نظیر سرمایه گذاری اولیه، قیمت سوخت، قیمت برق، طول عمر طرح، راندمان واحد و ... مربوط می‌باشد. طرح بازتوانی کامل یکی از واحدهای بخاری نیروگاه بندرعباس و مقایسه آن با گزینه‌های رقیب از جمله اهداف انجام مطالعه حاضر می‌باشد. از جمله طرح‌های قابل مقایسه با طرح بازتوانی، تکمیل بخش بخار یک بلوک سیکل ترکیبی نیروگاه خلیج فارس و احداث یک بلوک سیکل ترکیبی V94.2 با هدف افزایش ظرفیت تولید و راندمان در آن ناحیه است.

در این مقاله بعد از ارائه مشخصات فنی و اقتصادی طرح‌های رقیب پیش گفته، شاخص‌های اقتصادی مورد استفاده ارائه می‌گردد و سپس بر اساس این شاخص‌ها، اولویت طرح‌های پیش گفته در سناریوهای مختلف قیمت سوخت تعیین می‌گردد.

۱-مشخصات فنی و اقتصادی طرح های رقیب افزایش ظرفیت

در این تحقیق سه طرح رقیب در نظر گرفته شده است که در ادامه مشخصات فنی و اقتصادی این طرح‌ها مرور می‌گردد.

۱-۱-بازتوانی کامل نیروگاه بندرعباس

نیروگاه بندر عباس در ۱۷ کیلومتری شمال غربی بندرعباس و در مسیر جاده اصلی بندرعباس – اسکله شهید رجایی و در کنار دریا واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریا ۵.۵ متر و دمای اولیه طراحی برای آن ۳۲ درجه می‌باشد. این نیروگاه دارای چهار واحد به قدرت نامی ۳۲۰ مگاوات می‌باشد که واحدهای ۱ تا ۴ آن به ترتیب در سالهای ۱۳۵۹، ۱۳۶۲، ۱۳۶۳و ۱۳۶۴ به بهره‌برداری رسیده‌اند. استفاده از فناوری بازتوانی کامل یکی از روش‌های افزایش توان و راندمان در واحدهای بخاری است. در بازتوانی کامل، گاز خروجی از توربین گاز به درون یک مولد بخار بازیاب حرارت (HRSG) جهت تولید بخار

(برای واحد بخار) هدایت می‌گردد. این مولد بازیاب حرارت عملاً جایگزین بویلر واحد بخار می‌گردد. بدین ترتیب از انرژی دود خروجی توربین گاز جهت تولید بخار برای چرخهٔ بخار استفاده می‌گردد.

مقادیر پارامترهای فنی و اقتصادی طرح بازتوانی کامل واحد ۴ نیروگاه بندرعباس در جدول (۱) خلاصه شده است.

جدول ۱ مقادیر پارامترهای فنی و اقتصادی طرح بازتوانی واحد (۴) بندرعباس

پارامتر	مقدار واحد فعلی	مقدار واحد بازتوانی شده
راندمان(٪) [۳].	۳۶.۱	۵۵.۷۴
توان نامی(مگاوات) [۳].	۳۲۰	۹۰۳.۲
توان عملی(مگاوات) [۳].	۲۷۸	۷۳۰.۴۷۵
ضریب بهره‌برداری(٪) [۳].	۶۴	۷۵
سرمایه گذاری اولیه(هزار یورو) [۱].	–	۲۶۴٫۷۴۸
هزینه O&M(درصدی از سرمایه‌گذاری اولیه) [۲].	۲	۱.۵

۱-۲-طرح تکمیل بخش بخار یک بلوک سیکل ترکیبی نیروگاه خلیج فارس

نیروگاه گازی خلیج فارس در استان هرمزگان، در فاصله ۴۵ کیلومتری شمال شرقی بندرعباس و ۱۱ کیلومتری میدان گازی سرخون واقع شده است. واحدهای این نیروگاه طی سالهای ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ به بهره‌برداری رسیده است. این نیروگاه دارای ظرفیت نامی ۹۹۰ مگاوات شامل ۶ واحد گازی ۱۶۵ مگاواتی مدل GT13E2 ساخت شرکت آلستوم است که در زمینی به مساحت ۱۰ هکتار واقع شده است.

جدول ۲ مقادیر پارامترهای فنی و اقتصادی طرح تکمیل بخش بخار نیروگاه خلیج فارس

پارامتر	واحدهای گازی خلیج فارس	واحد سیکل ترکیبی بعد از تکمیل بخش بخار نیروگاه خلیج فارس
راندمان(٪) [۳].	۳۲.۹	۵۰.۰۸
توان نامی(مگاوات) [۳].	۳۳۰	۴۶۸
توان عملی(مگاوات) [۳].	۳۰۲.۸	۴۳۴.۵۹۵
ضریب بهره‌برداری(٪) [۳].	۶۱	۷۵
سرمایه‌گذاری اولیه (هزار یورو) [۴].	–	۱۳۳٫۰۴۵
هزینه O&M (درصدی از سرمایه‌گذاری اولیه) [۲].	۲.۵	۱.۵

مقادیر پارامترهای فنی و اقتصادی طرح تکمیل بخش بخار یک بلوک سیکل ترکیبی نیروگاه خلیج فارس در جدول(۲) خلاصه شده است.

۱-۳-بلوک سیکل ترکیبی V94.2

بررسی گزینه احداث واحدهای جدید نیروگاهی سیکل ترکیبی V94.2 از جمله گزینه‌های مورد بررسی در این مطالعه می‌باشد که مقادیر پارامترهای فنی و اقتصادی این طرح در جدول (۳) خلاصه شده است.

جدول۳ مقادیر پارامترهای فنی و اقتصادی طرح یک بلوک سیکل ترکیبی تیپ V94.2

پارامتر	واحد سیکل ترکیبی بعد از تکمیل بخش بخار نیروگاه خلیج فارس
راندمان(٪) [۲].	۵۱.۹۰
توان نامی(مگاوات) [۳].	۴۸۴
توان عملی(مگاوات) [۳].	۴۳۱
ضریب بهره‌برداری(٪) [۳].	۷۵
سرمایه‌گذاری اولیه (هزار یورو) [۲].	۲۸۵,۳۴۴
هزینه O&M (درصدی از سرمایه‌گذاری اولیه) [۲].	۱.۵

۲- روشهای ارزیابی اقتصادی برای مقایسه طرحهای رقیب توسعه ظرفیت توان نامی واحدهای حرارتی

در این بخش روش‌های ارزیابی اقتصادی برای انتخاب اقتصادی‌ترین طرح از بین طرحهای مختلف بررسی می‌گردد.

۲-۱-روش ارزش فعلی[۶] [۵]

در این روش جریان‌های وجوه چه به صورت درآمد و چه به صورت هزینه، به مبدا زمان انتقال می‌یابند. این امر با توجه به حداقل نرخ قابل قبول، که به آن نرخ تنزیل می‌گویند و نشان دهنده ارزش زمانی پول است، صورت می‌گیرد. پس از تبدیل جریان نقدی طرح‌های مختلف به زمان حاضر، ارجحیت

[6] Net present value(NPV)

انتخاب با گزینه‌ای‌است که دارای بیشترین ارزش فعلی خالص باشد ارزش فعلی خالص مطابق رابطهٔ (۱) قابل محاسبه می‌باشد.

$$NPV = \sum_{t=1}^{T} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \qquad (۱)$$

که در آن B_t و C_t به ترتیب منافع و هزینه ها در سال t، i نرخ تنزیل و T گستره زمانی هستند. بر اساس ملاک ارزش فعلی خالص، تصمیم‌گیری در خصوص اجرا یا عدم اجرای یک پروژه به شرح زیر خواهد بود:

-اجرای پروژه از نظر اقتصادی دارای توجیه بوده و سودآور است $\Rightarrow$ NPV > ۰

-اجرای پروژه با عدم اجرای آن یکسان میباشد $\Rightarrow$ NPV = ۰

-پروژه قابل قبول نبوده و اجرای آن زیان ده است $\Rightarrow$ NPV < ۰

۲-۲-روش نرخ بازدهی داخلی[۷] [۵]

روش ارزش فعلی، روش دقیقی می‌باشد که به محاسبات نسبتا ساده‌ای نیاز دارد. اما برای محاسبه معیارهای اقتصادی از طریق این روش‌ها، لازم است که حداقل نرخ قابل قبول یا نرخ تنزیل معلوم باشد. در بعضی شرایط، تعیین این نرخ مشکل و بحث انگیز می‌باشد. یکی از متداول‌ترین روش‌های تحلیل اقتصادی پروژه‌ها که این مشکل را بر طرف می سازد، روش نرخ بازده داخلی است.

نرخ بازده داخلی، نرخی است که در ازای آن ارزش فعلی کلیه درآمدها با ارزش فعلی کلیه هزینه‌ها مساوی گردد. بعبارت دیگر نرخ بازده داخلی، نرخی است که در آن ارزش فعلی خالص (NPV) مساوی صفر می شود. پس از محاسبه نرخ بازده داخلی، آن را با حداقل نرخ بازده نرخ قابل انتظار مقایسه کرده و در صورتی که نرخ بازده داخلی بیشتر از حداقل نرخ قابل انتظار باشد طرح پذیرفته و در غیر اینصورت رد می‌گردد. نرخ بازده داخلی(IRR) از طریق رابطه (۲) قابل محاسبه است:

$$\sum_{t=1}^{T} \frac{B_t - C_t}{(1+IRR)^t} = 0 \qquad (۲)$$

۲-۳-روش مدت دوره بازگشت[۸] [۵]

در روش دوره بازگشت هدف تعیین طول دوره‌ای است که سرمایه‌گذاری اولیه باز خواهد گشت.

[7] Internal Rate of Return(IRR)
[8] Payback period

۲-۴-قیمت تمام شده هر کیلووات ساعت برق تولیدی[9] [۶]

قیمت تمام شده هر کیلووات ساعت برق تولیدی برای انتخاب یک فناوری از بین فناوری‌های تولید برق مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع هزینه تمام شده هر کیلووات ساعت برق تولیدی هر فناوری را در طول عمر آن طرح محاسبه می‌کند و فناوری با کمترین قیمت تمام شده هر کیلووات ساعت برق تولیدی اقتصادی‌ترین فناوری می‌باشد. روش قیمت تمام شده هر کیلووات ساعت برق تولیدی را می‌توان به صورت عبارت (۳) بیان کرد.

$$LEC = \frac{\sum_{t=1}^{T} \frac{I_t + O\&M_t + F_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^{T} \frac{E_t}{(1+i)^t}} \qquad (۳)$$

که:

I_t: هزینه سرماه گذاری اولیه بر روی طرح مورد نظر در سال tام

$O\&M_t$: هزینه تعمیرات و نگهداری و بهره‌برداری طرح مورد نظر در سال tام

F_t: هزینه سوخت مصرفی طرح مورد نظر در سال tام

E_t: مقدار برق تولیدی طرح مورد نظر در سال tام

۳-تعیین اولویت طرح‌های رقیب بر اساس شاخص‌های اقتصادی تبیین شده

همانگونه که پیشتر مطرح شد، مقایسه طرح بازتوانی کامل واحد چهار نیروگاه بندرعباس با گزینه‌های رقیب از جمله اهداف مطالعه حاضر می‌باشد. از جمله طرح‌های قابل مقایسه با طرح بازتوانی کامل واحد چهار بندرعباس، تکمیل بخش بخار یک بلوک سیکل ترکیبی نیروگاه خلیج فارس و احداث یک بلوک سیکل ترکیبی V94.2 با هدف افزایش ظرفیت تولید و راندمان در آن ناحیه است. با توجه به محدودیت منابع مالی در دسترس برای سرمایه‌گذاری در صنعت برق، تعیین اولویت سرمایه‌گذاری طرح‌های رقیب اقدامی ضروری است که در این بخش ابتدا بر اساس مدل و شاخص‌های اقتصادی ارائه شده در بند ۲، به تعیین اولویت طرح‌های رقیب مطرح شده در این تحقیق پرداخته می‌شود.

در تعیین اولویت طرح‌های رقیب افزایش ظرفیت واحدهای حرارتی کشور دو رویه مدنظر قرار می‌گیرد:

[9] Levelized Energy Cost (LEC)

- **رویکرد ملی**: در این رویکرد طرح‌هایی که دارای ارزش فعلی خالص مثبت هستند انتخاب می‌گردند و طرح‌های منتخب بر اساس شاخص قیمت تمام شده به صورت صعودی مرتب می‌گردند که در این صورت ترتیب صورت گرفته اولویت سرمایه‌گذاری از دیدگاه ملی و وزارت نیرو را نشان می‌دهد چون که در فضای دولتی شاخص قیمت تمام شده گویای هزینه‌های تامین هر کیلووات ساعت برق توسط وزارت نیرو می‌باشد، بنابراین بهینه سازی شاخص قیمت تمام شده برق تولیدی هر کیلووات ساعت برق تولیدی از دیدگاه ملی مطلوب است چون این شاخص کمترین هزینه به ازای واحد تولید برق را تبیین می‌کند.

- **رویکرد خصوصی**: شاخص‌های ارزش فعلی خالص، نرخ بازدهی داخلی و دوره بازگشت سرمایه برای سرمایه‌گذاران بخش خصوصی نسبت به شاخص قیمت تمام شده مطلوب‌تر هستند، زیرا بخش خصوصی دنبال طرح‌های سودآور با جذابیت اقتصادی بیشتر می‌باشد. در این رویه تعیین اولویت طرح‌ها بدین ترتیب صورت می‌گیرد که طرح‌هایی که دارای ارزش فعلی خالص مثبت باشند از لحاظ اقتصادی انجام طرح مزبور به صرفه هستند، در مرحله بعد از شاخص‌های نرخ بازده داخلی و مدت بازگشت سرمایه استفاده می‌شود بدین ترتیب که هر طرحی که دارای بیشترین نرخ بازده داخلی و کمترین مدت بازگشت سرمایه باشد از این لحاظ اقتصادی‌تر است.

با توجه به عدم قطعیت در قیمت سوخت‌های مصرفی واحدها، دو سناریو برای قیمت سوخت و برق لحاظ شده است.

- **سناریوی اول**: این سناریو که شرایط بین‌المللی نامیده می‌شود قیمت هر متر مکعب گاز طبیعی ۱۵سنت دلار لحاظ گردیده است و قیمت هر کیلووات ساعت برق تولیدی نیروگاه ۷ سنت دلار لحاظ گردیده است. قابل ذکر است که قیمت گاز بر اساس بشکه نفت ۵۰ دلاری محاسبه شده است.

- **سناریو دوم**: در این سناریو که قیمت‌های داخلی لحاظ گردیده است، قیمت گاز طبیعی ۸۰۰ ریال بر متر مکعب (۲.۷ سنت دلار) لحاظ شده است و قیمت هر کیلووات ساعت برق تولیدی نیروگاه ۷۰۰ ریال بر کیلووات ساعت(۲.۳ سنت دلار) در نظر گرفته شده است. قابل ذکر است که قیمت سوخت مصرفی و برق بر اساس نرخ تبدیل دلار ۳۰۰۰۰ ریالی صورت گرفته است.

- لازم به ذکر است در مقایسه اقتصادی سه طرح رقیب پیش گفته، هزینه‌های زیست محیطی در نظر گرفته نشده است و همچنین نرخ تنزیل برای هر دو سناریو ۱۰ درصد لحاظ شده است

۳-۱-تعیین اولویت طرح‌های رقیب مطرح شده در مطالعه با شرایط سناریو یک

مقادیر چهار شاخص اقتصادی پیش گفته برای سه طرح رقیب پروژه حاضر در شرایط سناریو یک در جدول(۴) نشان داده شده است. در این جدول طرح‌های رقیب بر اساس شاخص قیمت تمام شده به صورت صعودی مرتب شده‌اند، بدین صورت که طرح‌ها از کمترین قیمت تمام شده به بیشترین مرتب گردیده‌اند. قابل ذکر است که در محاسبه این شاخص در طرح‌های افزایش ظرفیت مقدار هزینه‌ها و تولید برق اضافی واحد جدید نسبت به واحد فعلی لحاظ می‌گردد، بدین معنا که به ازای تولید هر کیلووات ساعت برق تولیدی اضافی نسبت به حالت موجود در طرح بازتوانی کامل واحد چهار بندرعباس ۳.۱۸ سنت و در طرح تکمیل بخش بخار سیکل ترکیبی خلیج فارس ۳.۰۲ هزینه می‌گردد. در طرح احداث سیکل ترکیبی V94.2 کل هزینه ناشی از سرمایه‌گذاری اولیه، سوخت مصرفی و تعمیرات و نگهداری و بهره‌برداری لحاظ می‌گردد. همچنین در ارزیابی اقتصادی این طرح کل درآمد ناشی از فروش برق لحاظ می‌گردد. اگر در بررسی طرح‌های رقیب دیدگاه ملی وجود داشته باشد، این شاخص بهترین نتیجه را می‌دهد زیرا این شاخص مقدار هزینه لازم برای تولید هر کیلووات ساعت برق تولیدی را نشان می‌دهد و درآمدها را مد نظر قرار نمی‌دهد. بنابراین در صورت مد نظر قرار دادن دیدگاه ملی اولویت سرمایه‌گذاری به ترتیب تکمیل بخش بخار سیکل ترکیبی خلیج فارس، بازتوانی کامل واحد چهار بندرعباس و احداث سیکل ترکیبی V94.2 می‌باشد. شایان ذکر است بر اساس این شاخص، تکمیل بخش بخار سیکل ترکیبی خلیج فارس، بازتوانی کامل واحد چهار بندرعباس اختلاف ناچیزی با یکدیگر دارند.

هزینه‌ها و درآمد طرح‌ها در محاسبات شاخص‌های ارزش فعلی خالص ، نرخ بازده داخلی و دوره بازگشت سرمایه با هم دیگر مد نظر قرار می‌گیرند. مقادیر این شاخص‌های برای سرمایه گذاران بخش خصوصی بسیار با اهمیت است. چون بخش خصوصی دنبال طرح‌هایی با سودآوری بالا و بازگشت سرمایه در کوتاهترین زمان ممکن است.

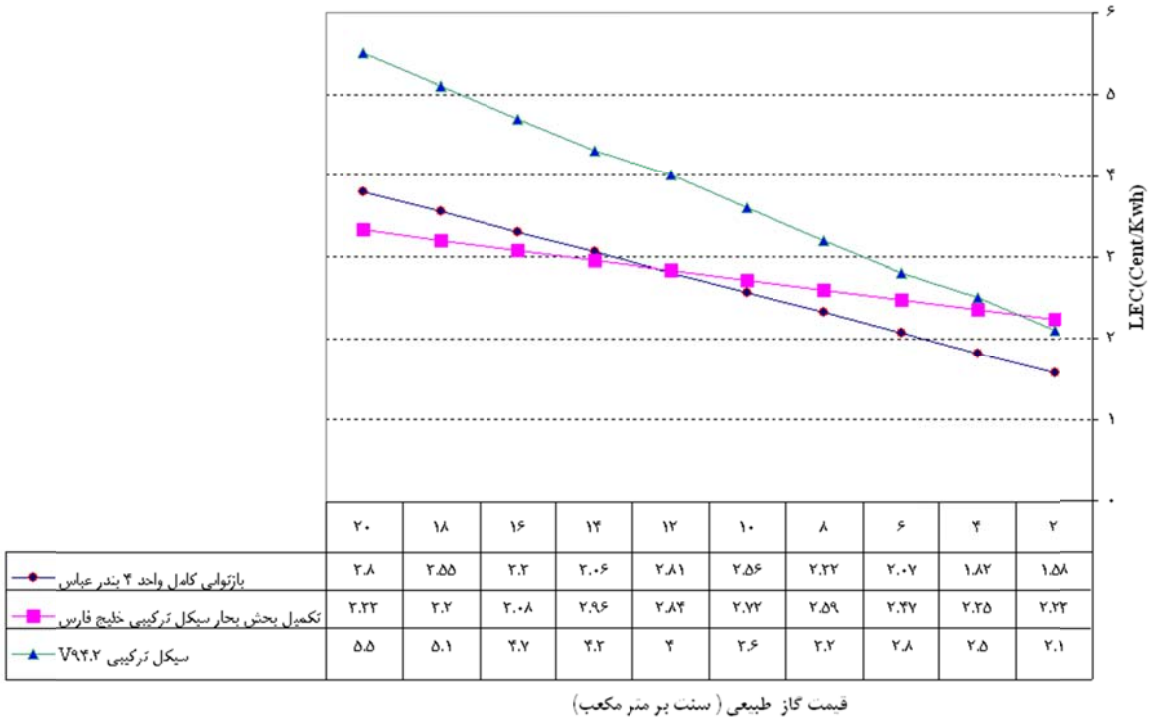
هر سه طرح مطرح شده در این تحقیق با دید بخش خصوصی و سودآوری از لحاظ اقتصادی به صرفه هستند. چون مقدار ارزش فعلی خالص برای هر سه طرح مذکور مثبت می‌باشد، بدین ترتیب در صورت تعیین اولویت با سه شاخص مذکور بازتوانی کامل واحد چهار نیروگاه بندرعباس، تکمیل بخش بخار سیکل ترکیبی خلیج فارس و احداث سیکل ترکیبی V94.2 به ترتیب دارای اولویت سرمایه‌گذاری هستند.

جدول ۴۰ مقایسه اقتصادی طرح‌های رقیب در قیمت‌های گاز طبیعی سناریو یک

طرح	شاخص اقتصادی			
	LEC	NPV	IRR	Payback Period
	سنت بر کیلووات ساعت	دلار	درصد	سال
تکمیل بخش بخار خلیج فارس	۳.۰۲	۳۳۸٫۰۰۲٫۱۵۰	۲۷.۷	۷.۰۲
بازتوانی کامل واحد ۴ بندرعباس	۳.۱۸	۹۰۲٫۲۴۴٫۵۷۲	۴۰.۲	۴.۷۶

احداث سیکل ترکیبی V94.2	۴.۵	۵۳۹,۴۶۶,۲۲۸	۲۵.۴۸	۷.۲۷

شکل (۱) نمودار تحلیل حساسیت قیمت تمام شده برق تولیدی طرح‌های رقیب مطرح در مطالعه حاضر را نسبت به تغییرات قیمت گاز طبیعی نشان می‌دهد که قیمت گاز طبیعی از ۲ الی ۲۰ سنت لحاظ شده است، همان طور که مشاهده می‌گردد تا گاز طبیعی ۱۳ سنت قیمت تمام شده طرح بازتوانی کامل واحد چهار بندر عباس از دو طرح دیگر کمتر است و برای قیمت‌های ۱۳ تا ۲۰ سنت، طرح تکمیل بخش بخار سیکل ترکیبی خلیج فارس دارای کمترین قیمت تمام شده در بین طرح‌های رقیب است. همچنین تا گاز طبیعی ۴ سنت احداث سیکل ترکیبی V94.2 دارای قیمت تمام شده کمتری نسبت به طرح تکمیل بخش بخار سیکل ترکیبی است و طرح احداث سیکل ترکیبی V94.2 ، برای قیمت‌های ۴ سنت تا ۲۰ سنت به ازای هر متر مکعب گاز طبیعی بیشترین قیمت تمام شده را داراست.



	۲۰	۱۸	۱۶	۱۴	۱۲	۱۰	۸	۶	۴	۲
بازتوانی کامل واحد ۴ بندر عباس	۲.۸	۲.۵۵	۲.۲	۲.۰۶	۲.۸۱	۲.۵۶	۲.۲۲	۲.۰۷	۱.۸۲	۱.۵۸
تکمیل بخش بخار سیکل ترکیبی خلیج فارس	۲.۲۲	۲.۲	۲.۰۸	۲.۹۶	۲.۸۴	۲.۷۲	۲.۵۹	۲.۴۷	۲.۲۵	۲.۲۲
سیکل ترکیبی V۹۴.۲	۵.۵	۵.۱	۴.۷	۴.۲	۴	۳.۶	۳.۲	۲.۸	۲.۵	۲.۱

شکل ۱۰ نمودار قیمت تمام شده برق برای طرح‌های رقیب در قیمت‌های مختلف سوخت(گاز طبیعی)

۳-۲-تعیین اولویت طرح‌های رقیب مطرح شده در پروژه حاضر با شرایط سناریو دو

نتایج خروجی حاصل از اجرای مدل اقتصادی در شرایط سناریو دو (گاز طبیعی ۲.۷ سنت بر متر مکعب و قیمت برق ۲.۳ سنت بر کیلووات ساعت) در جدول (۵) نشان داده شده است. از دید هزینه‌ای و نگاه ملی اولویت سرمایه‌گذاری به ترتیب بازتوانی کامل واحد چهار نیروگاه بندرعباس، تکمیل بخش بخار

سیکل ترکیبی نیروگاه خلیج فارس و احداث سیکل ترکیبی V94.2 است که مقدار شاخص قیمت تمام شده به ترتیب ۱.۵، ۱.۸۳ و ۲.۲ سنت به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی می‌باشد.

با توجه به اینکه مقدار ارزش فعلی خالص برای هر سه طرح مثبت است بنابراین در شرایط سناریو دو هر سه طرح از لحاظ اقتصادی سودآور و به صرفه است. با لحاظ کردن شاخص مدت بازگشت سرمایه، طرح بازتوانی کامل واحد چهار نیروگاه بندرعباس کمترین مقدار را در بین سه طرح داراست که مقدارش برابر با ۱۰.۶ سال می‌باشد که مقدار جذابی برای سرمایه‌گذاری نیست چون در این شرایط مدت بازگشت سرمایه بیش از ده سال می‌باشد که با شرایط تورمی و سود بالای پرداختی بانک‌ها به سپرده‌ها چندان منطقی نیست سرمایه‌گذار سرمایه خود را در چنین پروژه‌ای سرمایه‌گذاری کند.

همچنین مقدار شاخص مدت بازگشت سرمایه برای طرح‌های تکمیل بخش بخار سیکل ترکیبی نیروگاه خلیج فارس و احداث سیکل ترکیبی V94.2 به ترتیب ۱۸.۷ و ۲۳.۴ سال می‌باشد. بنابراین در شرایط سناریو دو، با وجود اینکه سرمایه‌گذاری در هر سه طرح رقیب با مدنظر قرار دادن مقدار مثبت شاخص ارزش فعلی خالص، اقتصادی است، ولی جذابیت کافی برای جذب سرمایه‌گذار را ندارد، چون که برگشت سرمایه اولیه در بهترین حالت که برای طرح بازتوانی کامل واحد چهار نیروگاه بندرعباس اتفاق می‌افتد، بیشتر از ده سال است که با توجه به تورم موجود در کشور و نرخ سود پرداختی بانک‌ها به سپرده‌ها، مقدار جذابی برای سرمایه‌گذاری نیست.

جدول ۱ مقایسه اقتصادی طرح‌های رقیب در قیمت‌های گاز طبیعی سناریو دو

طرح	شاخص اقتصادی			
	LEC	NPV	IRR	Payback Period
	سنت بر کیلووات ساعت	دلار	درصد	سال
بازتوانی کامل واحد ۴ بندرعباس	۱.۵	۱۷۵٫۶۲۱٫۱۳۴	۱۷	۱۰.۶
تکمیل بخش بخار خلیج فارس	۱.۸۳	۲۶٫۹۶۳٫۲۴۸	۱۲	۱۸.۷
احداث سیکل ترکیبی V94.2	۲.۲	۲۲٫۴۵۰٫۲۹۰	۱۰.۷۹	۲۳.۴

۴-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در یک جمع‌بندی کلی اهم نتایج بدست آمده از این تحقیق به شرح زیر قابل جمع‌بندی است:

- مدل اقتصادی قیمت تمام شده برق تولیدی از دیدگاه وزارت نیرو به عنوان متولی تامین برق شاخص تعیین کننده و مهمی به شمار می‌رود. در فضای دولتی این شاخص گویای هزینه‌های تامین برق

توسط وزارت نیرو می باشد. طبیعی است که هر یک از مراکز هزینه نظیر هزینه سرمایه‌گذاری، تعمیرات و نگهداری، سوخت و هزینه‌های اجتماعی می‌تواند مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و در تصمیم‌سازی مورد توجه قرار گیرد. جهت همراستا کردن منافع ملی و منافع ذینفعان، شاخص‌های دیگری نظیر نرخ بازده داخلی، دوره بازگشت سرمایه و ارزش فعلی خالص می‌تواند مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. در این شرایط عواملی نظیر قیمت فروش برق و سایر عوامل تاثیر گذار در اقتصاد تولید برق به عنوان اهرم سیاستگزاری مورد استفاده متولیان مربوطه قرار می‌گیرد.

- مدل اقتصادی توسعه یافته شامل چهار شاخص قیمت تمام شده هر کیلووات ساعت برق تولیدی، ارزش فعلی خالص، نرخ بازده خالص و مدت بازگشت سرمایه می‌باشد. هر یک از شاخص‌های اقتصادی مورد اشاره، طرح‌های رقیب را از نظر اقتصاد تولید از یک زاویه خاص مورد توجه قرار می‌دهند.
- قیمت تمام شده تمامی هزینه‌های طول عمر طرح را به ازای هر کیلووات ساعت برق تولیدی محاسبه می‌کند که طرحی که کمترین قیمت تمام شده را داشته باشد از لحاظ هزینه‌ای اقتصادی‌ترین گزینه می‌باشد که در سناریو یک طرح تکمیل بخش بخار سیکل ترکیبی خلیج فارس و در سناریو دو طرح بازتوانی کامل واحد چهار نیروگاه بندرعباس دارای کمترین هزینه تولید برق اضافی هستند.
- به ازای قیمت گاز طبیعی کمتر از ۱۵ سنت، طرح بازتوانی کامل واحد چهار نیروگاه بندرعباس اقتصادی‌ترین طرح از دیدگاه قیمت تمام شده است و در قیمت‌های بالای ۱۵ سنت گاز طبیعی، طرح تکمیل بخش بخار نیروگاه خلیج فارس از لحاظ شاخص اقتصادی پیش گفته دارای بالاترین اولویت می‌باشد.
- سه شاخص ارزش فعلی خالص، نرخ بازده خالص و دوره بازگشت سرمایه با لحاظ کردن جریان هزینه و درآمد در طول عمر طرح‌ها، معیاری از سودآوری را به سرمایه‌گذاران ارائه می‌کند. طرح بازتوانی کامل واحد چهار نیروگاه بندرعباس در هر دو سناریو بالاترین اولویت را در صورت مقایسه با سه شاخص پیش گفته داراست.
- با وجود اینکه در سناریو دو(قیمت گاز طبیعی ۸۰۰ ریال بر متر مکعب و قیمت فروش برق ۷۰۰ ریال بر کیلووات ساعت) هر سه طرح اقتصادی هستند اما با توجه به مدت بازگشت سرمایه اولیه از لحاظ اقتصادی زیاد جذاب نیستند، به طوری که در اقتصادی‌ترین طرح بیش از ۱۰ سال طول می‌کشد تا سرمایه اولیه باز گردد.
- در یک جمع بندی کلی با توجه به ناچیز بودن اختلاف قیمت تمام شده برق تولیدی طرح بازتوانی واحد شماره ۴ نیروگاه بندر عباس و طرح تکمیل بخش بخار نیروگاه خلیج فارس و برتری محسوس طرح بازتوانی نیروگاه بندرعباس نسبت به طرح‌های دیگر در سایر شاخص‌های اقتصادی، انجام طرح بازتوانی

کامل این نیروگاه از اولویت بالاتری نسبت به سایر گزینه ها برخوردار است. در صورت محدودیت منابع، انجام طرح بازتوانی نیروگاه بندر عباس به عنوان اولویت اول توسعه ظرفیت در بین سه طرح رقیب می‌باشد.

مراجع

[۱] گزارش مرحله چهارم تدوین استراتژی بازتوانی و رفع محدودیتهای تولید نیروگاههای بخاری قدیمی کشور، پژوهشگاه نیرو، گروه بهره‌برداری، ۱۳۸۹

[۲] گزارش تدوین استراتژی توسعه تولید انرژی الکتریکی کشور در افق ۳۰ ساله با درنظرگرفتن کلیه حاملهای انرژی، پژوهشگاه نیرو، پژوهشکده تولید، گروه بهره‌برداری، ۱۳۹۰

[۳] گزارش آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه تولید در سال ۱۳۹۲، شرکت مادر تخصصی توانیر

[۴] اطلاعات دریافتی از سازمان توسعه برق ایران، ۱۳۸۹

[۵] دانشگاه صنعتی امیرکبیر; اقتصاد مهندسی ارزیابی اقتصادی پروژهای صنعتی; تالیف دکتر محمدمهدی اسکونژاد

[۶] Expansion Planning for Electrical Generating Systems. A Guidebook, IAEA,1984.

Determination of investment priorities for development of thermal power plants

A. Namazi[1]

1: Thermal Cycles and Heat Exchangers

Abstract

Generally a useful life of approximately 30 years for steam and combined cycle, 15 years for large gas turbines and 20 years for small gas turbines is considered. Accordingly, units of Bandar Abbas thermal power plant have passed their useful life. On the other hand, because of growing electricity demand of Hormozgan province, every year a great amount of investment is allocated to implement repowering and refurbishment even with current limitations.

Making decision about repowering, refurbishment, rehabilitation, replacement and other applicable options depends on efficiency of plant, reliability, economic and environmental considerations.

Tavanir Co. as the main decision maker and instructor for power supply in that region is faced with the problem of old power plants. Considering the investment in thermal power plants in Hormozgan province, study of repowering or refurbishment for continuous utilizing those power plants and comparison with other plans like building new power plants and completing Khalij Fars combined cycle power plant.

In this article, above mentioned plans will be compared based on engineering economy techniques in different scenarios of fuel price.

مقاله پژوهشی

ارزیابی فنی اقتصادی بکارگیری بسته های ارتقاء منتخب برای بهبود راندمان و توان تولیدی واحدهای گازی GE-F9

محمد تاجیک منصوری، اکبر نمازی تجرق

پژوهشکده تولید نیرو، پژوهشگاه نیرو

mtajik@nri.ac.ir, anamazi@nri.ac.ir

چکیده

نیروگاههای گازی از ارکان مهم بخش تولید صنعت برق هستند. با توجه به نیاز فزاینده به برق در کشور، نقش واحدهای مذکور در در تأمین برق از اهمیت ویژه ای برخوردار گردیده است. در دهه های گذشته، بخش مهمی از توسعه ظرفیت بخش تولید صنعت برق به واحدهای GE-F9 اختصاص داشته است که ارتقای عملکرد آنها به اجرای طرح های سرمایش هوای ورودی محدود شده است در حالی که با افزایش عمر واحدهای مذکور، بهبود عملکرد آنها در قالب بسته های ارتقا به عنوان یکی از گزینه های قابل بررسی مطرح می باشد. علاوه بر این، با لحاظ محدودیتهای بخش تولید صنعت برق اعم از محدودیتهای مالی و زمانی، راهکارهایی نظیر ارتقای واحدهای GE-F9 که از نظر اجرایی نسبت به احداث واحدهای جدید از سرعت بیشتری برخوردار باشد، در اولویت مطالعه قرار گیرد. به همین دلیل مقایسه فنی و اقتصادی گزینه های ارتقای واحدهای گازی F9 و تاثیر آن بر ظرفیت و راندمان در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: توربین گاز، ارتقاء، افزایش راندمان، GE Frame 9

مقدمه

سیستمهای نیروگاهی به عنوان یکی از صنایع پیشرفته که شامل مجموعه گسترده‌ای از تجهیزات صنعتی هستند، دارای یک عمر مفید مشخص می باشند که پس از آن، تولید توان توسط آنها با توجه به هزینه‌های تعمیر و نگهداری مقرون به صرفه نخواهد بود. به همین منظور لازم است موضوع ارتقاء[1] یا توان‌افزایی نیروگاههای قدیمی وکم بازده مورد بررسی قرار گیرد.

در یک واحد نیروگاهی توربین‌گاز، ارتقاء عملکرد به معنای افزایش امکانات جدید یا ایجاد تغییراتی در تجهیزات جانبی یا اصلی توربین‌گاز می باشد، به طوری که تغییرات اساسی در نحوه فعالیت و اجزای اصلی آن ایجاد نشود، ولی عملکرد و راندمان آن بهبود یابد. شرکت GE به عنوان یکی از تولید کنندگان توربین‌گازهای صنعتی برای اکثر محصولات خود، بسته های ارتقاء عملکرد پیش بینی نموده است، که مطابق دستورالعمل‌های این شرکت برای توربین‌گازهای صنعتی بزرگ، موارد زیر به عنوان اهداف اصلی این بسته ها بیان شده است:

- بهبود عملکرد سیکل توربین‌گاز در نسبت توان خروجی به نرخ حرارتی[2]
- افزایش فواصل بین بازرسی های فنی از سیکل و کاهش مدت زمان تعمیرات
- بهبود قابلیت دسترسی و قابلیت اطمینان
- کاهش تولید آلاینده های محیط زیست و رعایت استانداردهای مربوطه
- افزایش طول عمر سیستم و اجزای آن
- بررسی جزء به جزء اجزای توربین‌گاز برای سازگاری بهتر آنها
- محافظت و جلوگیری از فرسایش و خستگی قطعات وکاهش میزان خاموشی های اجباری توربین‌گاز [۱]

اولین مدل توربین‌گاز فریم ۹ در سال ۱۹۷۵ و بر اساس دستاوردهای حاصل از طراحی توربین‌گازهای صنعتی موفق فریم ۷ (MS7001B) طراحی و ساخته شد و با مدل MS9001B وارد عرصه صنعت گردید. این مدل با وجود اینکه همانند مدل متناظر از سری ۷ در دمای ورودی توربین ۱۸۴۰ فارنهایت (۱۰۰۴ سانتیگراد) کار می‌کند، اما حدود ۴۲ درصد توان بیشتری نسبت به آن تولید می‌کند. همچنین طراحی آن در

[1] Uprate
[2] Output/heat rate

مقایسه با مدل متناظر از سری ۷، با توجه به طراحی سیستم خنک‌کاری هوایی پره‌های نازل و روتور طبقه اول توربین و بهبود مواد سازنده پره های روتور طبقه دوم، به نوعی دارای طراحی قابل قبول‌تری می باشد. با تلاشهای بسیار در ارائه برنامه‌های ارتقاء عملکرد توربین‌گار فریم ۹ مدل B، سرانجام از سال ۱۹۷۸ اولین توربین گاز مدل E فریم ۹ برمبنای تجربیات بدست آمده از توربین‌گاز مدل E سری ۷ به بازار عرضه شده است، که دارای دمای ورودی توربین حدود ۱۹۵۵ فارنهایت (۱۰۶۸ سانتیگراد) می‌باشد. پس از آن تا حدود اوایل دهه ۹۰ میلادی این مدل ارتقاء یافت، بطوریکه درآخرین بسته ارتقاء ارائه شده به دمای ورودی توربین حدود ۲۰۵۵ فارنهایت (۱۱۲۴ سانتیگراد) رسید و پس از آن مدل EC جایگزین مدل E شد، که در جدول ۱، روند این تغییرات مشاهده می‌شود [۲]. بنابراین در ادامه با مرور اجمالی بسته‌های ارتقایی صورت گرفته برای این توربین‌گاز، برنامه‌های ارتقائی جدیدتر بر مبنای گزارش سال ۲۰۰۸ شرکت GE معرفی خواهد شد.

Model	Ship Dates	ISO Performance* kW	Firing Temp °F/°C	Air Flow 10³ lbs/hr 10³ kg/hr	Heat Rate BTU/kWhr kJ/kWh	Exhaust Temp °F/°C
PG9113B	1975-81	86,200	1060/1004	2736/1241	10,990/11,592	946/507
PG9141E	1978-81	105,600	1966/1063	3,156/1431	10,700/11,286	953/512
PG9167E	1981-83	108,300	1985/1085	3,183/1444	10,700/11,286	968/520
PG9171E	1983-87	112,040	2000/1093	3,214/1458	10,570/11,149	977/525
PG9261E	1988-91	116,930	2020/1104	3,222/1461	10,290/10,854	980/527
PG9171E	1992	123,450	2055/1124	3,231/1466	10,080/10,632	988/537
	2003 - Current	126,300	2055/1124	3,231/1466	10,200/10,660	1009/543
PG9221EC	1996	165,700	2200/1204	4,064/1,844	9,870/10,411	1037/558
PG9101F	1989-94	208,740	2100/1260	4,804/2179	10,080/10,632	1082/583
PG9311FA	1994	223,760	2350/1288	4,810/2,186	9,630/10,158	1097/592

نمونه‌های عملی

در سالهای گذشته، نمونه های زیادی از ارتقاء واحدهای GE-F9 در دنیا انجام شده است. به عنوان نمونه، در یک نیروگاه در ایتالیا با مالکیت E.ON Produzione، شرکت GE توربین‌های گاز سی ساله کلاس 9B را با هدف کاهش انتشار گازهای آلاینده، بهبود راندمان، قابلیت اعتماد و توان خروجی، به توربین‌های کلاس 9E جهت ارتقاء داده است [۳]. این شرکت توان خروجی دو توربین گاز با توان‌های ۸۵ و ۸۹ مگاوات را به ۱۰۷۸ مگاوات افزایش داده است. این بروزرسانی شامل افزایش دمای ورود به توربین، استفاده از نشتبندهای پیشرفته جدید، استفاده از پره‌های جدید در روتور و استاتور کمپرسور و نصب محفظه احتراق DLN 1 می‌باشد. به عنوان نمونه‌ای دیگر، شرکت GE در سال ۲۰۱۱ طی یک قرارداد به ارزش ۱۴ میلیون دلار، ۴ واحد توربین گاز مدل 9E در نیروگاه KAPCO در پاکستان با عمر ۲۲ سال از

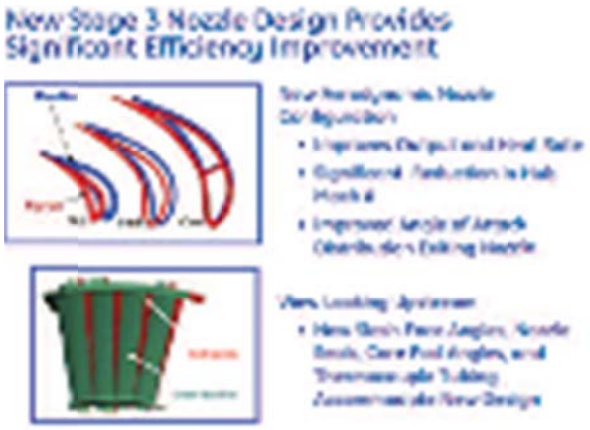
لحظات قطعات و تجهیزات بروز کرد [۴]. با انجام این پروژه راندمان کلی نیروگاه حدود ۰.۴۴ درصد افزایش یافته و همچنین توان خروجی هر کدام از توربین‌ها ۳ مگاوات (جمعا برای کل نیروگاه ۱۲ مگاوات) افزایش پیدا کرده است. میزان صرفه‌جویی سوخت ناشی از ارتقاء توربین‌ها، ۱.۵ میلیون دلار در سال برای هر توربین و بازگشت سرمایه پروژه ۲/۵ سال می‌باشد. بسته ارتقاء شامل پیشرفته‌ترین نشتبندها و اجزاء مسیر گاز داغ شامل نازل‌ها و باکت‌ها می‌باشد.

معرفی و بررسی اولیه بسته های ارتقا

بسته های ارتقاء معرفی شده توسط شرکتGE دارای طیف گسترده ای از اقدامات بر روی توربین گاز می باشد [۲]. این دسته اقدامات بر اساس قسمتی که می بایست تغییرات بر روی آن صورت گیرد، تقسیم‌بندی شده اند. با توجه به امکانات داخلی و بررسی های صورت گرفته، این پژوهش بر روی استفاده از آب بندهای پیشرفته در ردیف دوم و سوم متحرک توربین و استفاده از پره پیشرفته در ردیف سوم توربین متمرکز است.

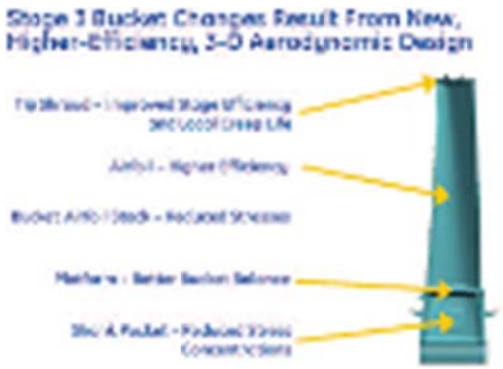
- **استفاده از پره پیشرفته در ردیف سوم توربین**

به منظور بهبود میزان خروجی در سری 9B و 9E و همچنین کاهش هیت‌ریت، نازل ردیف سوم مورد بازبینی طراحی با اصول آیرودینامیک قرار گرفت که در شکل زیر نمایش داده شده است.



شکل ۱: نازل ردیف ۳ Advanced Aero [۲]

این بهبود عملکرد وقتی که با پره پیشرفته در ردیف ۳ همراه شود افزایش پیدا می‌کند که در شکل زیر نمایش داده شده است.



شکل ۲: طراحی جدید پره متحرک ردیف [۲]

ارتقاء مذکور شامل نازل ردیف سوم به همراه دیافراگم و سخت افزار مربوطه است. طراحی مجدد نازل به منظور ارتقاء عملکرد صورت گرفته و شکل سطح داخلی و خارجی تغییر پیدا کرده ولی ضخامت دیواره نازل تغییر نکرده است. برای انجام این ارتقاء نیازی به سایر تغییرات غیر از جابجایی نازل ردیف ۳ (برای ارتقای نازل به تنهایی) نیست و دوره‌های بازبینی و تعمیرات نیز تغییر نمی‌کند. این نازل پیشرفته قابل جابجایی با نازل قبلی GTD-222+ است و همین نازل پیشرفته نیز از جنس GTD-222+ است. درخصوص پره‌ها نیز به همین شکل می‌توان عمل کرد و کافی است که پره‌های ردیف ۳ با پره‌های پیشرفته جایگزین شود. اثرات ناشی از استفاده از نازل و پره پیشرفته در شکل زیر نمایش داده شده است.

جدول ۲: تأثیر استفاده از نازل و باکت پیشرفته ردیف ۳ و تأثیر تجمیعی آن بر روی یک واحد [۲]

Installation of Both Parts Provides the Greatest Benefit

Significant Improvement in Output and Heat Rate

Part	S/C Output	S/C Heat Rate	Exhaust Energy	Exhaust Temp, delta
New S3B/New S3N, Hot Day, 100°F/38°C, Guarantee Pt	+0.7%	-0.7%	-0.8%	-6°F
New S3B/New S3N, ISO Day, 59F°/15°C, Reference Only	+1.0%	-1.0%-	1.0%	-8°F
New S3B/New S3N, Cold Day, 0°F/-18°C, Reference Only	+1.2%	-1.2%	-1.1%	-9°F

Efficiency improvement results in exhaust temperature and exhaust energy decrease. Combined-cycle analysis can be provided to estimate over-all plant impact.

■ **استفاده از آب‌بند پیشرفته در پره متحرک ردیف ۲ و ۳**

ارتقا قطعات شرود ردیف ۲ و ۳ امکان آب‌بندی در نوک پره‌ها را ممکن می‌کند. آب‌بند اولیه در شرود ردیف ۲ و ۳ از جنس لابیرنت است که به منظور آب‌بندی بهتر در این دو ردیف از آب‌بند لانه زنبوری استفاده می‌شود. شکل زیر نمای کلی این آب‌بند را نشان می‌دهد.

شکل ۴: آب‌بند لانه زنبوری

شکل ۵: شرود بلاک با آب‌بند لانه زنبوری

آب‌بند لانه زنبوری طراحی شده تا میزان فاصله نوک پره تا شرود به حداقل رسیده و کارایی واحد به حداکثر برسد. در این سیستم پیش‌بینی می‌شود که ۵۰٪ تعداد پره‌ها در ردیف دارای دندانه برنده باشند تا بهترین عملکرد و کارایی حاصل شود. این ارتقا می‌تواند موجب افزایش کارایی و راندمان واحد شود.

با انجام این ارتقا در ردیف ۲ خروجی و هیت‌ریت به مقدار ۰/۳۵٪ بهبود یافته و با ارتقا در ردیف ۳ این مقادیر ۰/۱۵٪ بهبود می‌یابند. آب‌بند لانه زنبوری امکان تماس بین نوک پره و پوسته شرود را در زمان تغییر

از استارت تا پایداری واحد را ممکن می‌کند و باعث حفظ حداقل فاصله در زمان بهره‌برداری دائم[3] می‌گردد. در مورد آب‌بندهای لابیرنت حتی در حالت سرد نیز باید از هرگونه تماس اجتناب کرد و این موضوع باعث فاصله بیشتر در زمان پایدار بهره‌برداری می‌گردد.

آب‌بند لانه زنبوری از آلیاژ با مقاومت اکسیداسیون در دمای بالا ساخته می‌ود و اندازه هر سلول آن ۱/۸ اینچ و از فویل با ضخامت ۵ میلیمتر بین دندانه‌های شرود محکم می‌شود.

دندانه‌های ردیف ۲ و ۳ پره‌ها یک شیار در آب‌بند ایجاد کرده و این مطلب باعث حفظ آببندی با حداقل نشتی در کارکرد و بهبود خروجی و راندمان واحد می‌گردد. برای استفاده از آب‌بند لانه نبوری نیازمند استفاده از پره‌های با نوک برنده است که در حال حاضر ردیف ۲ و ۳ پره‌های واحدهای در حال تولید دارای این نوک برنده هستند. شکل زیر استفاده از این نوع آب‌بندها را بطور کلی نمایش می‌دهد.

شکل ۶: طراحی شرود داخلی آب‌بند لانه زنبوری در ردیف ۲ واحد **7EA**

تحلیل اقتصادی گزینه‌های منتخب ارتقای واحدهای گازی F9

در این قسمت ارزیابی اقتصادی از اجرای سه طرح ارتقاء مذکور بر روی یکی از واحدهای GE-F9 در نیروگاه سیکل ترکیبی یزد صورت می‌پذیرد. بر این اساس، تعیین اولویت طرح های مذکور بر اساس شاخص نرخ بازده داخلی[4] به عنوان معیار بازگشت سرمایه وشاخص قیمت تمام شده[5] به عنوان هزینه هر کیلووات ساعت انرژی تولیدی طرح های مذکور صورت می‌گیرد.

برای ارزیابی اقتصادی طرح‌های پیش گفته، باید درآمد و هزینه‌های ناشی از اجرای طرح مشخص گردد. درآمد طرح ها شامل درآمد حاصل از فروش برق و آمادگی است، هزینه‌های سوخت، O&M و سرمایه

[3]- Steady State
[4]Internal rate of return
[5]levelized cost of energy

گذاری به عنوان هزینه‌ها ناشی از اجرا و بهره برداری از طرح‌ها، هزینه‌های لحاظ شده در مدل اقتصادی توسعه یافته هستند.

شاخص قیمت تمام شده برق، معمولا برای انتخاب یک فناوری از بین فناوری‌های تولید برق استفاده می‌شود و در واقع هزینه تمام شده هر کیلووات ساعت برق تولیدی هر فناوری را در طول عمر آن طرح می‌باشدو فناوری با کمترین قیمت تمام شده اقتصادی‌ترین فناوری است. قیمت تمام شده برق مطابق رابطه (۱) محاسبه می‌گردد [۵].

$$levelized\ cost\ of\ Energy\ = \frac{\sum_{t=1}^{T} \frac{I_t + O\&M_t + F_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^{T} \frac{E_t}{(1+i)^t}}$$

I_t: هزینه حاصل از سرمایهٔ اولیه در سال tام

$O\&M_t$: هزینه تعمیرات و نگهداری و بهره‌برداری در سال tام

F_t: هزینه سوخت مصرفی واحد در سال tام

E_t: مقدار برق تولیدی واحد در سال tام

با توجه به اینکه قیمت تمام شده فقط بعد هزینه‌ای طرح ها را مدنظر قرار می‌دهد، شاخص اقتصادی دیگر که همزمان هزینه و درآمد را لحاظ کند بررسی شده است که آن شاخص نرخ بازده داخلی است و نرخی است که در ازای آن ارزش فعلی کلیه درآمدها با ارزش فعلی کلیه هزینه‌ها مساوی گردد. بعبارت دیگر نرخ بازده داخلی، نرخی است که در آن شاخص ارزش فعلی خالص[۶] مساوی صفر می‌شود.

پس از محاسبه نرخ بازده داخلی، آن را با حداقل نرخ بازده نرخ قابل انتظار صنعت مقایسه کرده و در صورتی که نرخ بازده داخلی بیشتر از حداقل نرخ قابل انتظار باشد طرح پذیرفته و در غیر اینصورت رد می‌گردد. نرخ بازده داخلی از رابطه (۲) قابل محاسبه است[۶].

$$\sum_{t=1}^{T} \frac{B_t - C_t}{(1+IRR)^t} = 0$$

که در آن B_t ، C_t و IRR به ترتیب درآمد در سال tام، هزینه در سال tام و نرخ بازده داخلی است. در تحلیل اقتصادی صورت گرفته، قیمت سوخت گاز و گازوئیل به ترتیب ۱۵ سنت به ازای هر متر مکعب و ۳۰ سنت به ازای هر لیتر و نسبت سوخت مصرفی نیروگاه نیز بر اساس میانگین سه سال اخیر در نظر گرفته شده است. همچنین محاسبات بر اساس قیمت هر کیلووات ساعت برق و هر کیلووات ساعت آمادگی به ترتیب ۷ و ۱ سنت صورت گرفته است.

[6] Net Present Value

هزینه های اجرای طرح‌های مذکور و همچنین مقدار افزایش توان و راندمان واحد در هر یک از این طرح‌ها، مطابق جدول (۳) است.

جدول ۳: هزینه اجرای طرحهای ارتقاء مورد بررسی و درصد افزایش راندمان و توان واحد

فاز	ردیف		پیشنهاد	دستاورد مشتری	قیمت (دلار)
اول	۱	پره متحرک ردیف دوم	پره دارای طرح Cutter teeth	۰.۳۵٪ افزایش توان خروجی ۰.۳۵٪ کاهش Heat rate * به شرط ارتقا همزمان دو مورد	۲۲۱۳۰
	۲	شرود سگمنت ردیف دوم	استفاده از شرود سگمنت ردیف دوم دارای طرح Honey comb		
	۳	پره متحرک ردیف سوم	پره دارای طرح Cutter teeth	۰.۱۵٪ افزایش توان خروجی ۰.۱۵٪ کاهش Heat rate * به شرط ارتقا همزمان دو مورد	۱۷۹۵۰
	۴	شرود سگمنت ردیف سوم	استفاده از شرود سگمنت ردیف سوم دارای طرح Honey comb		
دوم	۱	پره ثابت ردیف سوم	طرح Advanced aero	۱٪ افزایش توان خروجی ۱٪ کاهش Heat rate * به شرط ارتقا همزمان دو مورد	۱،۰۰۰،۰۰۰
	۲	پره متحرک ردیف سوم	طرح Advanced aero		
	۳	شرود سگمنت ردیف سوم	استفاده از شرود سگمنت ردیف سوم دارای طرح Honey comb		

جدول(۴) نتایج ارزیابی اقتصادی طرح های ارتقاء واحدهای F9 را نشان می‌دهد. قابل ذکر است که شرایط واحد موجود به عنوان یک طرح انتخاب شده است تا قیمت تمام شده آن محاسبه شود و اختلاف آن با قیمت تمام شده سایر طرح ها به عنوان شاخص اختلاف قیمت تمام شده معرفی شود، بدین صورت که از بین طرح های کاندیدا، هر طرحی بیشترین اختلاف قیمت تمام شده را داشته باشد اقتصادی‌ترین طرح از لحاظ هزینه ای انتخاب شود، یعنی با انجام طرح مذکور بیشترین کاهش در هزینه های واحد ایجاد شده است. نتایج این بررسی در جدول (۴) نشان داده شده است .

همان طور که مشاهده می‌شود طرح ارتقاء ردیف سوم توربین و جایگزینی آن با پره های پیشرفته شرکت GE نسبت به سایر گزینه‌ها دارای کمترین قیمت تمام شده برق (LCOE) و در حقیقت بیشترین میزان کاهش در قیمت تمام شده برق نسبت به وضعیت موجود می‌باشد. بررسی شاخص‌های اقتصادی بدست آمده برای اجرای طرح ارتقای سیلهای ردیف دوم توربین نشان می‌دهد که میزان قیمت تمام شده این طرح آن در مقایسه با طرح ارتقاء ردیف سوم توربین، آنرا در اولویت پایین‌تری نسبت به طرح مذکور قرار

می‌دهد. در انتها نیز طرح ارتقای سیل‌های ردیف سوم قرار دارد که با توجه به بالاتر بودن قیمت تمام شده برق آن نسبت به سایر طرحها، در رده پایینتری قرار دارد. بر اساس شاخص نرخ بازده داخلی طرح ۲، ۳ و ۴ به ترتیب دارای اولویت اقتصادی هستند که همان طور که ملاحظه می‌گردد با اولویت اقتصادی تعیین شده توسط قیمت تمام شده یکسان نیستند که دلیل این امر هم به هزینه اولیه سرمایه گذاری طرح‌ها بر می‌گردد، بدین صورت که هزینه اولیه طرح‌های ۲ و ۳ در مقایسه با طرح ۴ مقدار به مراتب کمتری است.

جدول ۴: مقدار شاخص های اقتصادی برای طرحهای ارتقاء واحدهای **F9**

شماره طرح	تجهیز	پیشنهاد	تغییرات توان و راندمان	IRR (%)	LCOE (Cent/kwh)	درصد کاهش قیمت تمام شده با اجرای طرح
۱	واحد موجود بدون انجام طرح بهینه سازی	–	–	–	۷.۸۹۶	–
۲	پره متحرک ردیف دوم	پره دارای طرح Cutter teeth	۰.۳۵٪ افزایش توان خروجی ۰.۳۵٪ کاهش Heat rate	۷۵۳٪	۷.۸۷۰۵	۰.۳۱٪
	شرود سگمنت ردیف دوم	استفاده از شرود سگمنت ردیف دوم دارای طرح Honey comb				
۳	پره متحرک ردیف سوم	پره دارای طرح Cutter teeth	۰.۱۵٪ افزایش توان خروجی ۰.۱۵٪ کاهش Heat rate	۲۱۱٪	۷.۸۸۵۷	۰.۱۳٪
	شرود سگمنت ردیف سوم	استفاده از شرود سگمنت ردیف سوم دارای طرح Honey comb				
۴	پره ثابت ردیف سوم	طرح Advanced aero	۱٪ افزایش توان خروجی ۱٪ کاهش Heat rate	۲۳٪	۷.۸۶۲	۰.۴۳٪
	پره متحرک ردیف سوم	طرح Advanced aero				
	شرود سگمنت ردیف سوم	استفاده از شرود سگمنت ردیف سوم دارای طرح Honey comb				

جمع‌بندی

۱- طرح ارتقاء ردیف سوم توربین و جایگزینی آن با پره های پیشرفته شرکت GE نسبت به سایر گزینه‌ها دارای کمترین قیمت تمام شده برق (LCOE) می‌باشد. در واقع بیشترین میزان کاهش قیمت تمام شده انرژی تولیدی با اجرای این بسته ارتقاء بدست می‌آید. بررسی شاخصهای اقتصادی بدست آمده برای

اجرای طرح ارتقای سیل‌های ردیف دوم توربین نشان می‌دهد که میزان قیمت تمام شده آن در مقایسه با طرح ارتقاء ردیف سوم توربین، آنرا در اولویت پایین‌تری نسبت به طرح مذکور قرار می‌دهد. در انتها نیز طرح ارتقای سیل‌های ردیف سوم قرار دارد که با توجه به بالاتر بودن قیمت تمام شده برق آن نسبت به سایر طرح‌ها، در رده پایینتری قرار دارد.

۲- با در نظر گرفتن اهمیت حجم سرمایه‌گذاری اولیه و نرخ بازگشت سرمایه طرح‌ها برای سرمایه-گذار خصوصی، ملاحظه می‌گردد که طرح ارتقاء استفاده از سیل‌های پیشرفته بر روی ردیف دوم متحرک توربین، دارای بالاترین نرخ بازگشت سرمایه می‌باشد. همچنین طرح ارتقاء استفاده از سیلهای پیشرفته بر روی ردیف سوم متحرک توربین در رده بعدی قرار دارد. همچنین بر اساس شاخص نرخ بازدهی داخلی ، طرح ارتقاء (استفاده از پره های پیشرفته در ردیف سوم توربین) نسبت به سایر طرحهای ارتقاء پایین‌تر است.

منابع

[1] J.R. Johnston, “Performance and Reliability Improvements for Heavy-Duty Gas Turbines”, GER-3571H, General Electric, 2000.
[2] T. Ginter, "Uprate Options for the MS9001 Heavy Duty Gas Turbine", GE Energy, Atlanta, GA, May 2008
[3] www.engineerlive.com
[4] www.genewscenter.com
[5]Expansion Planning for Electrical Generating Systems. A Guidebook, IAEA,1984.
[۶] دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛ اقتصاد مهندسی ارزیابی اقتصادی پروژهای صنعتی؛ تالیف دکتر محمدمهدی اسکونژاد

آشنایی با انجمن فنی VGB PowerTech

اکبر نمازی تجرق

VGB PowerTech انجمن فنی بین‌المللی است که در زمینه تولید برق و حرارت فعالیت‌های مهندسی، مشاوره، آموزش و پژوهش انجام می‌دهد و دفتر مرکزی آن در شهر Essen آلمان قرار دارد. VGB از اعضای خود در مسائل عملیاتی و استراتژیک حمایت می‌کند و به عنوان رابط بین‌المللی برای تبادل اطلاعات و ایده‌ها عمل می‌کند.

فعالیت‌های این انجمن در جهت حمایت از اعضاء برای دستیابی به قابلیت اطمینان عملیاتی بالا، در دسترس بودن[1] بهینه واحدها، پایداری و تمایز در حفاظت از محیط زیست، سلامت و ایمنی مطلوب در کار، بهره‌برداری اقتصادی از واحدها و پیاده‌سازی فناوری‌های جدید می‌باشد.

در حال حاضر این انجمن دارای ۴۷۸ عضو از ۳۴ کشور می‌باشد. سه نوع عضویت در این انجمن وجود دارد:

-اعضای عادی[2]: شرکت‌های مالک یا مسئول بهره‌برداری از واحدهای تولید برق و حرارت

-اعضای وابسته[3]: مسئولین، انجمن‌ها و فدراسیون‌های ذینفع در برنامه ریزی، ساخت و بهره برداری از واحدهای تولید برق و حرارت

-اعضای حامی[4]: شرکت‌ها و افرادی که سهم قابل توجهی در برنامه‌ریزی، ساخت و بهره‌بردرای از واحدهای تولید برق و حرارت دارند.

ظرفیت توان نامی نصب شده اعضای این انجمن، ۴۶۶ هزار مگاوات است که ۲۴۶ هزار مگاوات فسیلی، ۱۲۰ هزار مگاوات هسته‌ای و ۱۰۰ هزار مگاوات برقابی و سایر انرژیهای تجدیدپذیر هستند.

[1] availibility
[2] Ordinary members
[3] Affiliated members
[4] Sponsoring members

انجمن VGB از سال ۱۹۷۰ وارد فعالیت در زمینه تحقیقاتی شده است و تاکنون اجرای بیش از ۳۸۰ پروژه تحقیقاتی به ارزش بیش از ۲۵۰ میلیون یورو را در کارنامه خود ثبت نموده است. فعالیت‌های بخش تحقیقاتی این انجمن در چهار محور زیر دسته‌بندی شده است:

- فناوری نیروگاه‌های هسته‌ای
- فناوری‌های نیروگاه
- فناوری تولید پراکنده و تجدیدپذیر
- فناوری محیط زیست، شیمی، ایمنی و سلامت

خدماتی که انجمن فنی VGB برای اعضای خویش انجام می‌دهد عبارتند از:

- ارائه خدمات فنی و مشاوره مهندسی در طراحی، ساخت و بهره‌برداری از واحدهای نیروگاهی
- تحلیل علل ریشه‌ای خرابی‌ها[5]
- تبادل تجربیات و نتایج آزمایشگاه مواد با اعضای انجمن
- نظارت بر ساخت و راه‌اندازی واحدها

این انجمن ماموریت خویش را با استفاده از اقدامات ذیل به انجام می‌رسد:

- ارائه یک پلت فرم بین‌المللی برای ایجاد، تبادل و انتقال دانش فنی
- ارائه دهنده دانش فنی برای اعضای انجمن
- تعریف استانداردهای فنی و عملیاتی دقیق با مشارکت مصرف کننده ها و تامین کننده‌ها
- شناسایی و سازماندهی فعالیت‌های R&D مشترک با حمایت مالی ملی و بین المللی
- فراهم سازی دسترسی اعضا به دانش متخصصین

برای آشنایی بیشتر با این انجمن می‌توان به وب‌سایت https://www.vgb.org/en مراجعه نمود.

[5] Root Cause Analysis

مقاله مروری

الکتروهیدرودینامیک (EHD)، روشی فعال برای کنترل جریان – بخش دوم

حمید معصومی

مقدمه

در بخش اول این مقاله به معرفی الکتروهیدرودینامیک (EHD) به عنوان روشی فعال برای کنترل جریان پرداخته شد و نحوه عملکرد این پدیده مهم در مکانیک سیالات تشریح شد. در این قسمت سعی خواهد شد کاربردهای مهم الکتروهیدرودینامیک در صنایع و علوم مختلف بیان گردد.

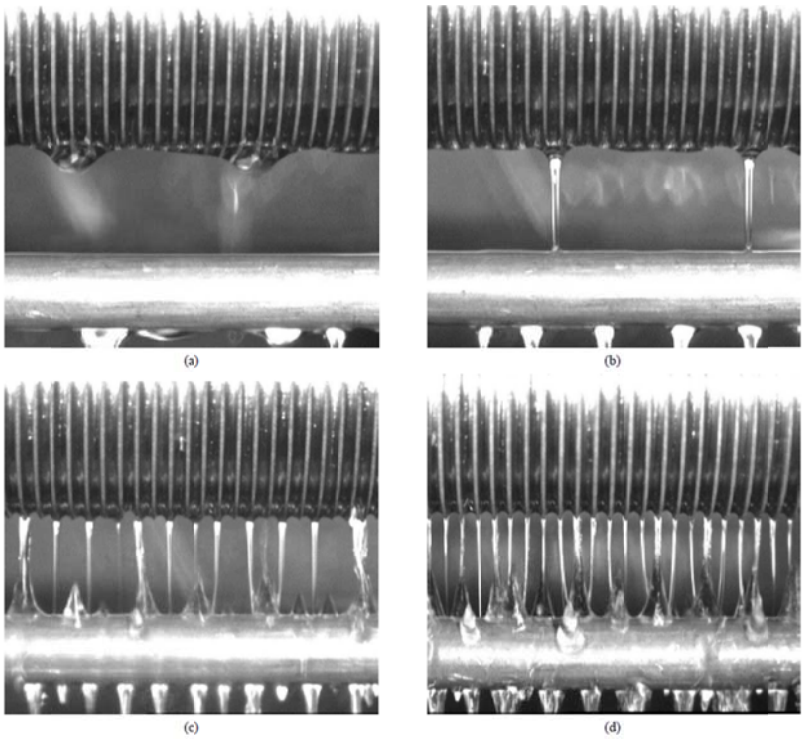
کاربردهای الکتروهیدرودینامیک

کاربردهای الکتروهیدرودینامیک را می‌توان به طور کلی به دو بخش تقسیم کرد: بخشی که امروزه در صنعت بکار می‌رود و بخش دیگر که کاربردهای بالقوه می‌باشد که در حال حاضر تنها در حد کاربردهای آزمایشگاهی بوده و نیازمند تحقیقات بیشتری برای بهره برداری از آنها در صنعت می‌باشد.

کاربردهای صنعتی

اغلب این کاربردها بر اساس باردار کردن ذرات کوچک و سپس شتاب دادن و جدا کردن این ذرات در اثر قرار دادن در میدان الکتریکی قوی استوار می‌باشد. در این زمینه می‌توان به ذرات جوهر در چاپگرها و دستگاه‌های کپی، رنگ و مواد شیمیائی در افشانه‌های الکترواستاتیک و ذرات گرد و غبار در گردگیرهای الکترواستاتیک اشاره نمود. همچنین در زمینه بویلرها و کندانسورها نیز می‌توان با اعمال نیروهای الکتروهیدرودینامیک یاعث بهبود کارائی سیستم و در نتیجه صرفه جوئی در مصرف انرژی شد.

شکل ۱ نمونه‌ای از کاربرد صنعتی الکتروهیدرودینامیک برای انتقال مایع کندانس شده را نشان می‌دهد. شکل سمت چپ انتقال مایع کندانس شده بدون میدان الکتریکی و شکل سمت راست انتقال سیال در ولتاژ ۱۰ کیلو ولت را نشان می‌دهد.



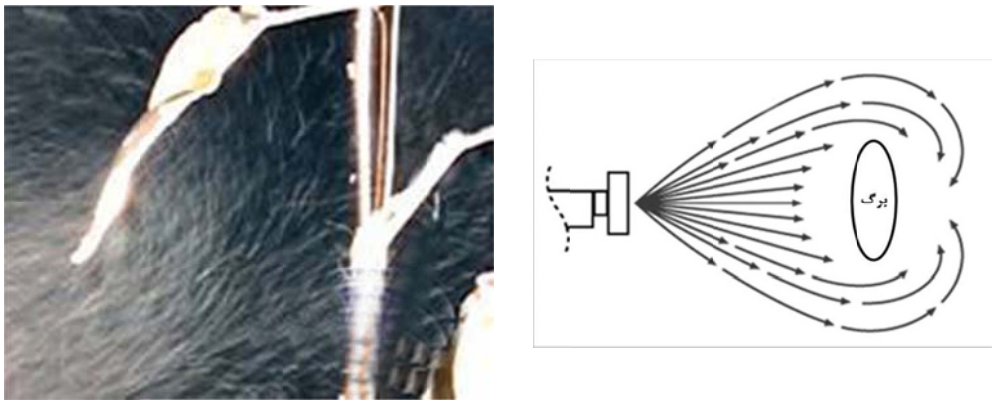
شکل ۱ نمونه‌ای از کاربرد الکتروهیدرودینامیک در یک کندانسوربرای ولتاژهای مختلف از صفر تا ۲۲ کیلوولت [۱]

به عنوان یک نمونه صنعتی دیگر می‌توان به ساخت سمپاش الکترواستاتیک که در شکل ۲ نشان داده شده است، اشاره داشت.

شکل ۲ سمپاش الکترواستاتیک نمونه ای از کاربرد صنعتی الکتروهیدرودینامیک

باردار کردن الکتریکی سبب ایجاد یک نیروی جاذبه بین قطرات محلول سم و گیاه می‌شود تصور آن شبیه جذب جوراب به پیراهن در اثر مالش در رخت خشک‌کن‌ها در نتیجه ایجاد الکتریسیته ساکن است. بار قطرات سم کوچک است ولی نیروی جاذبه به طرف گیاه قوی است چون قطرات و ذرات سم به نسبت

سبک هستند. نیروی الکتریکی که سم را به طرف گیاه می‌کشد ۴۰ بار بزرگتر از نیروی جاذبه زمین است. بدین معنا که به هنگام رسیدن قطرات ریز به سطح برگ جهت آنها عکس شده و بر ضد نیروی جاذبه زمین به طرف بالا حرکت می‌کنند و تشکیل «کمربند الکترواستاتیکی» می‌دهند(شکل ۳).



شکل ۳ جهت حرکت قطرات باردار در مجاورت برگ و تشکیل کمربند الکترواستاتیک

کاربردهای بالقوه

افزایش انتقال حرارت در مبادله‌کن‌های حرارتی (از طریق تغییر نرخ انتقال حرارت در رژیم‌های جوشش، میعان و یا جابجایی) و ساخت پمپ‌های بدون محرک مکانیکی از کاربردهای متداول الکتروهیدرودینامیک می‌باشد. این پمپ‌ها برای پمپ کردن سیال دی‌الکتریک در مقدار کم، بخصوص در کاربردهای فضائی که وجود قطعات مکانیکی متحرک امکان‌پذیر نیست کاربرد دارند. اگرچه بازده پایین، به عنوان ویژگی ثابت همه پمپ‌های EHD معرفی شده است اما عدم وجود قطعات مکانیکی، مزیتی است که توانسته این عیب را بپوشاند و مانع از توقف تحقیق در زمینه گسترش آنها شود. پمپ‌های الکتروهیدرودینامیک که اغلب در مقیاس‌های میکرو و نانو کاربرد دارند به چند دسته تقسیم می‌شوند:

الف: پمپ‌های تزریق یونی[1]

همان‌طور که قبلا نیز گفته شد، وجود بارهای آزاد در سیال لازمه ایجاد نیروی کولمب در داخل سیال می‌باشد. بارهای آزاد در داخل سیال از دو منبع ناشی می‌شوند: تزریق بار از الکترود ولتاژ بالا و بارهای آزاد تولید شده در اثر وجود گرادیان دما یا ناهمگنی در خواص سیال.

1 Ion Drag Pumps

در پمپ‌های تزریق یونی منبع بارهای آزاد موجود در سیال، تزریق از الکترود(های) ولتاژ بالا می‌باشد. عملکرد این پمپ ها بسیار شبیه پدیده کرونا در گازها است. پمپ‌های تزریق یونی به علت این که می‌توانند بر خواص سیال تاثیر بگذارند و عملکرد آنها ممکن است خطرناک باشد، کاربرد زیادی ندارند. برای کسب اطلاعات بیشتر می‌توان به [۲، ۳، ۴] مراجعه نمود.

ب : پمپ القائی[۲]

در این پمپ‌ها منبع تولید بارهای آزاد، وجود گرادیان دما یا ناهمگنی در خواص سیال است. برای کسب اطلاعات بیشتر می توان به [۴، ۵، ۶] مراجعه نمود.

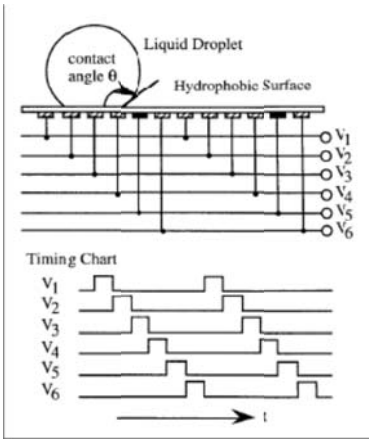
ج: پمپ‌های هدایت الکتریکی[۳]

عملکرد این نوع پمپ ها بر اساس تجزیه ملکول‌ها و تشکیل یون‌های مثبت و منفی استوار است. هنگامی که شدت میدان الکتریکی از حد معینی (معمولا یک کیلووات بر سانتی‌متر بسته به نوع سیال) بیشتر شود نرخ تولید یون‌ها بیشتر از نرخ ترکیب آنها خواهد بود و این نسبت با افزایش ولتاژ الکتریکی افزایش می‌یابد. این عدم تعادل موجب تولید نواحی باردار در سیال و حرکت آنها به طرف قطب مخالف می‌شود که نتیجه آن تشکیل لایه‌های با بار مخالف در همسایگی الکترودها خواهد شد. برای کسب اطلاعات بیشتر می‌توان به [۵، ۶] مراجعه نمود.

کاربردهای ویژه

پمپ قطره در میکرو راکتورها که در شکل ۲ نشان داده شده است، یکی دیگر از دستاوردهای این زمینه علمی است که از مزیت عدم وجود قطعات مکانیکی بهره می‌برد و ساز و کار آن به این گونه است که به الکترودهای روی سطح مورد نظر به نوبت ولتاژ اعمال شده و قطره تحریک می‌شود و در نتیجه به سمت الکترودها کشیده می‌شود.

2 Induction Pump
3 Conduction Pumps



شکل ۲ پمپ قطره در میکروراکتورها

از دیگر کاربردهای ویژه الکتروهیدرودینامیک می‌توان به بالابرها و گردگیرهای الکتروهیدرودینامیک، استفاده در بلندگوها و فیلترهای هوای خانگی، استفاده برای خشک کردن میوه‌ها اشاره داشت [۸، ۹].

مراجع

[1] D. Butrymowicz, M. Trela, J. Karwacki, "Enhancement of condensation heat transfer by means of EHD condensate drainage", Int. J. Therm. Sci. 41 (2002) 646–657

[2] Jeff Darabi, Mihai Rada, Michael Ohadi and John Lawler Design, "Fabrication, and Testing of an Electrohydrodynamic Ion-Drag Micropump**"**, *IEEE JOURNAL OF MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS*, VOL. 11, NO. 6, DECEMBER 2002

[3] J. Darabi, C. Rhodes, "CFD modeling of an ion-drag micropump", *Sensors and Actuators*, 127 (2006) 94–103

[4] Jamal Seyed-Yagoobi, "Electrohydrodynamic pumping of dielectric liquids", *Journal of Electrostatics* 63 (2005) 861–869

[5] Jeff Darabi, and Haixia Wang, "Development of an Electrohydrodynamic Injection Micropump and Its Potential Application in Pumping Fluids in Cryogenic Cooling Systems", *IEEE, JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS*, VOL. 14, NO. 4, AUGUST 2005

[6] Seong-Il Jeong, Jamal Seyed-Yagoobi and Pierre Atten, "Theoretical/Numerical Study of Electrohydrodynamic Pumping Through Conduction Phenomenon", *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS*, VOL. 39, NO. 2, MARCH/APRIL 2003

[7] Seong-il Jeong, Jamal Seyed-Yagoobi, "Experimental study of electrohydrodynamic pumping through conduction phenomenon", *Journal of Electrostatics* 56 (2002) 123–133

[8] Kulacki, F. A. and Daubenmier, J. A., "A Preliminary Study of Electrohydrodynamic Augmented Baking", *Journal of Electrostatics*, Vol. 5, pp.325-336. 1978

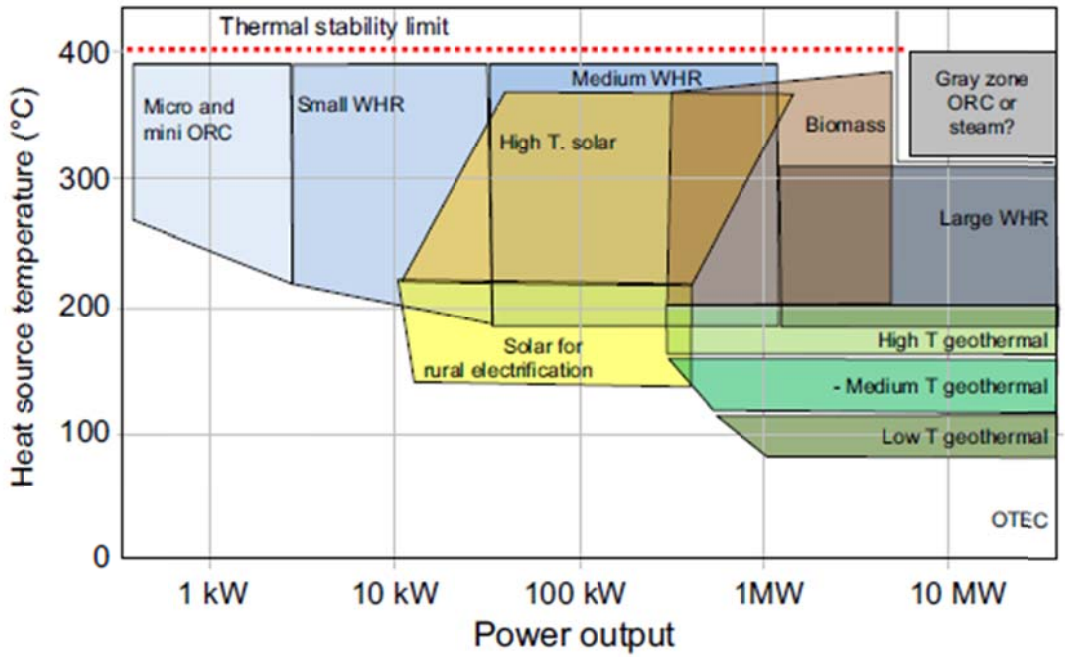
[9] Kirschvink-Kobayashi, A. and Kirschvink, J. L., "Electrostatic Enhancement of Industrial Drying Process," *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development*, Vol. 25, pp. 1027. 1986

مقاله مروری

بهره‌گیری از منابع درجه حرارت پایین در تلفیق با سیستمهای تولید همزمان

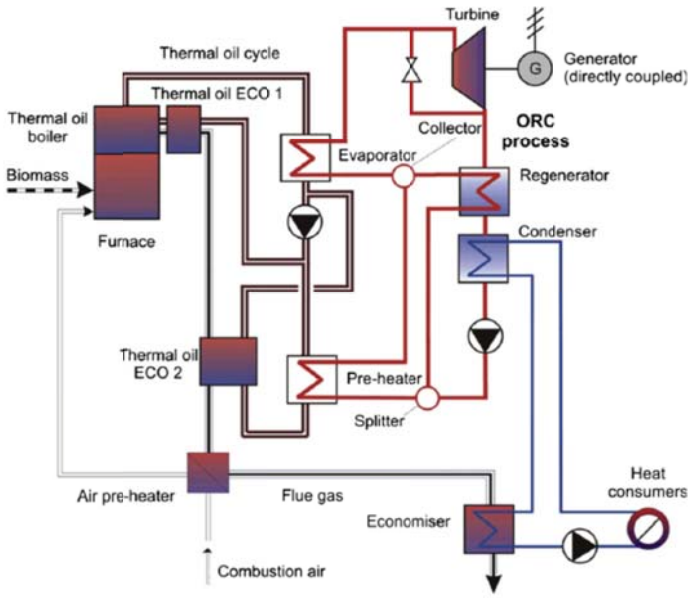
محمد تاجیک منصوری

امروزه، هزینه های بهره برداری، میزان آلایندگی تولیدی و نیز قابلیت اطمینان، از جمله مهمترین پارامترهای طراحی، ارزیابی و بهینه سازی سیستم های انرژی می باشد. علاوه بر این، با توجه به اینکه هزینه سوخت یکی از مهمترین بخشهای هزینه های بهره برداری بسیاری از سیستمهای انرژی است، در سالهای اخیر، توجه بسیاری از محققان به کاهش این بخش از هزینه ها معطوف گردیده است. در بسیاری از صنایع و نیز در بخشهای مختلف در نیروگاههای حرارتی، علیرغم وجود منابع حرارتی متعدد، به دلیل دمای نسبتاً پایین این منابع، در بسیاری از موارد این انرژی اتلاف می شود که بازیافت گرمای اتلافی، می تواند نقش مهمی در مدیریت منابع انرژی ایفا کند. یکی از روشهایی که در سالهای اخیر برای بهبود راندمان انرژی مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از سیکل ارگانیک رانکین به منظور بازیابی حرارت اتلافی از منابع با درجه حرارت متوسط و پایین می‌باشد. این سیکل مشابه سیکل رانکین بوده و فقط از سیالات ارگانیک به عنوان سیال‌کاری در آن استفاده می‌شود. شکل (۱)، محدوده دمایی و توان حرارتی منابع مختلف گرمایی را که سیکل ارگانیک رانکین در آن کاربرد دارد را نمایش می‌دهد.

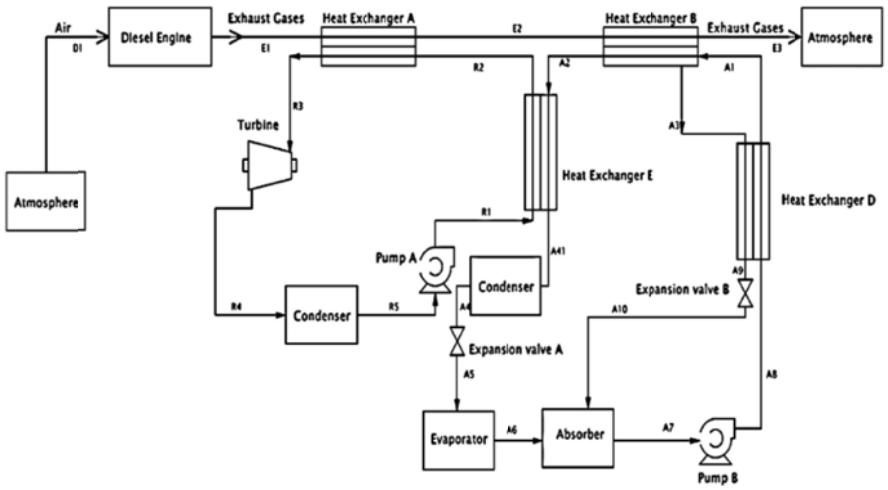


شکل (۱): محدوده دمایی و توان حرارتی منابع مختلف گرمایی با سیکل ارگانیک رانکین [۱]

بر این اساس، منابع حرارتی متنوعی از جمله گرمای اتلافی از سیستمهای پراکنده تولید برق نظیر میکروتوربینها، موتورهای احتراق داخلی، بویلرهای با سوخت زیست‌توده و نیز انرژی خورشیدی، می تواند به عنوان منبع گرم در این سیکل حرارتی مورد استفاده قرار گیرد. از سوی دیگر، در سالهای اخیر، افزایش راندمان انرژی از طریق بکارگیری سیستمهای تلفیقی تولید همزمان برق، حرارت و برودت مورد توجه قرار گرفته و مطالعات متعددی در خصوص بهینه‌سازی سیستمهای مذکور صورت گرفته است (شکلهای ۲ و ۳). به خصوص، این مطالعات در سالهای اخیر، بر توسعه سیستمهای سایز میکرو و برای تأمین مصارف سرمایش، گرمایش و برق خانگی متمرکز گردیده است.



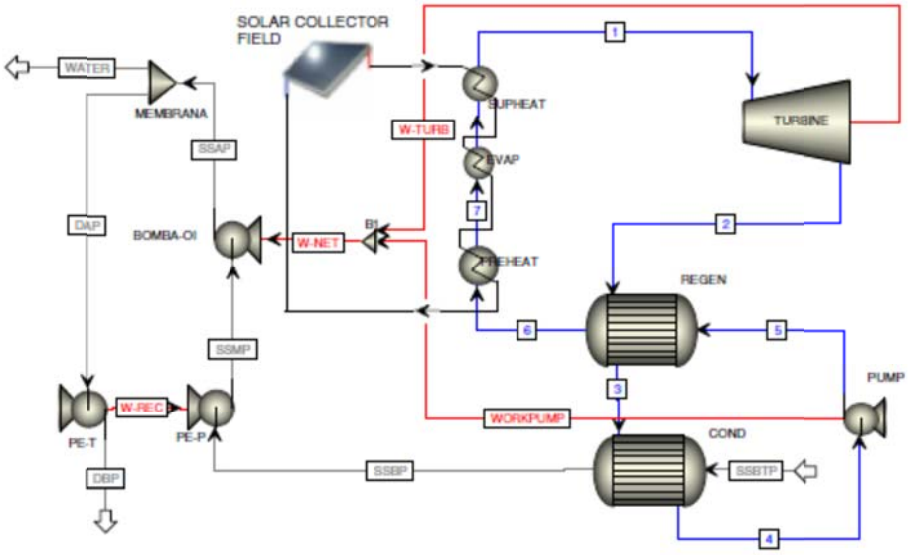
شکل (۲): سیستم تولید همزمان مبتنی بر سیکل ارگانیک رانکین [۲]



شکل (۳): سیستم تلفیقی موتور احتراق داخلی، سیکل ارگانیک رانکین و سیکل تبرید جذبی [۳]

هرچند، در یک نگاه دیگر، با توجه به تغییرات تقاضای حرارت و برودت در طول سال، استفاده از سیکل ارگانیک رانکین می تواند حرارت خروجی از این مولدها را به توان الکتریکی، به عنوان محصولی که در تمام سال مورد نیاز است، تبدیل کند.

راهکار دیگری که برای بالا بردن راندمان انرژی، با توجه به اقلیمی که سیکل ارگانیک رانکین در آن بکار برده می‌شود و مصارف مورد نیاز در سمت تقاضا، پیشنهاد شده است، تولید توان در سیکل ارگانیک رانکین جهت استفاده برای شیرین‌سازی آب توسط سیستمهای غشایی است. در این سیستمها، با استفاده از سیکل ارگانیک رانکین، گرمای منبع حرارتی موجود به توان الکتریکی تبدیل و از آن برای شیرین‌سازی آب توسط سیستمهای غشایی استفاده می شود. لذا هرگونه بهینه سازی و افزایش راندمان در سیکل ارگانیک رانکین، به افزایش تولید آب شیرین در سیستم غشایی منتج می‌گردد. شکل (۴)، شماتیک سیستم تلفیقی خورشیدی و بازیافت حرارت توسط سیکل ارگانیک رانکین از یک سیستم خورشیدی با هدف تولید آب شیرین را نشان می‌دهد.



شکل (۴): شبیه‌سازی سیکل تلفیقی ORC-RO با استفاده از نرم‌افزار Aspen Plus [۴]

همانطور که گفته شد، استفاده از سیستمهای بازیافت حرارت از منابع با دما و توان حرارتی پایین و متوسط توسط سیکل ارگانیک رانکین و تلفیق با سیستمهای تولید همزمان، راهکار مناسبی برای بهبود راندمان انرژی است. با توسعه استفاده از منابع تجدیدپذیر و با توجه به اینکه گرمای استحصال شده از آنها در بسیاری موارد در گروه منابع با درجه حرارت کم و متوسط قرار می‌گیرد، توسعه سیستمهای مذکور دارای اهمیت بالایی خواهد بود.

مراجع

[1] **Ennio Macchi, Marco Astolfi**, "*Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems Technologies and Applications*", Woodhead Publishing, 2017

[2] **Anna Stoppato,** "*Energetic and economic investigation of the operation management of an Organic Rankine Cycle cogeneration plant*", Energy 41 (2012) 3-9

[3] **Farhad Salek, Alireza Naghavi Moghaddam, Mohammad Mahdi Naserian**, "*Thermodynamic analysis of diesel engine coupled with ORC and absorption refrigeration cycle*", Energy Conversion and Management 140 (2017) 240–246

[4] **Joan Carles Bruno, Jesus Lopez-Villada, Eduardo Letelier, Silvia Romera, Alberto Coronas**, "*Modelling and optimisation of solar organic rankine cycle engines for reverse osmosis desalination*", Applied Thermal Engineering 28 (2008) 2212–2226

واژه های مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی

تعریف	حوزه	بیگانه	مصوب
بخشی از یک سامانهٔ فیزیکی همگن با مرزهای مشخص که می‌توان آن را ازلحاظ فیزیکی از بخش‌های دیگر جدا کرد	شیمی، مهندسی بسپار	phase	فاز
فازی که در آن مخلوطی از مایع و جامدات ریز نامحلول وجود دارد	مهندسی محیط‌زیست و انرژی	slurry phase	فاز دوغابی
فازی از یک سامانه، شامل ذرات یا قطرات ماده‌ای که در فاز دیگر پراکنده می‌شود	شیمی، مهندسی بسپار ـ علوم و فنّاوری رنگ	disperse phase, dispersed phase	فاز پراکنده
هریک از فازهای مجرد مواد در ابعاد نانو که ویژگی‌هایی ازقبیل بازتاب و جذب و رسانش آن تابعی از ویژگی‌های ابعاد فضایی همان فاز است	نانوفنّاوری	nanophase	نانوفاز