

تحلیل اگزرژی بهینه سازی سیکل رانکین بادی، خورشیدی با الگوریتم PSO

سیدجواد حدادسیسخت^۱، پارسا تهمورسی^۲، مجتبی تهمورسی^{۳*}، وحید رستمی قل زالی^۴

^۱فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه آزاد واحد شهرمجلسی

^۲فارغ التحصیل کارشناسی مهندسی تکنولوژی الکترونیک دانشکده فنی کردکوی

^۳فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه سیستان و بلوچستان

^۴کارشناس تاسیسات بیمارستان خاتم النبیا ابرکوه

*نوسنده مسئول Mojtabatahmorezi@yahoo.com

چکیده

خورشید نه تنها خود منبع عظیم انرژی است، بلکه سر آغاز حیات و منشا تمام انرژی های دیگر است. انرژی خورشیدی از طبیعت سرچشمه می گیرد و به دلیل این که انسان در آن دخالتی ندارند، آلودگی ایجاد نمی کند. مهم ترین موضوع در انرژی خورشیدی جذب و ذخیره آن است. در عصر حاضر از انرژی خورشیدی برای مقاصد همچون استفاده از انرژی حرارتی برای مصارف خانگی، صنعتی و نیروگاهی و همچنین تبدیل نور حاصل از پرتوهای خورشید به الکتریسیته به وسیله تجهیزات فتوولتائیک استفاده می شود. در این مطالعه، ابتدا شبیه سازی ترمودینامیکی سیکل بخار رانکین با ماده تغییر فازدهنده مورد بررسی قرار گرفته و سپس تحلیل انرژی و اگزرژی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی PSO به صورت تک هدفه و چند هدفه با هدف بیشینه کردن راندمان حرارتی و راندمان اگزرژی مورد بررسی قرار گرفته است. الگوریتم PSO یکی از پرکاربردترین الگوریتم های فراابتکاری برای حل مسائل بهینه سازی می باشد. تفاوت الگوریتم PSO با سایر الگوریتم ها این است که برای جلوگیری از همگرایی به جواب نزدیک به بهینه، جستجو را از مجموعه ای از جواب ها و نه از یک نقطه شروع می کند که باعث می شود از این الگوریتم بتوان در بهینه سازی مسائل غیرخطی یا گسسته استفاده کرد. نتایج نشان داد که افزایش دبی جرمی به توربین ۱ و ۲ باعث افزایش راندمان حرارتی و کاهش راندمان اگزرژی در توربین ۱ و افزایش راندمان اگزرژی در توربین ۲ می شود. افزایش فشار ورودی به توربین ۱ باعث کاهش راندمان حرارتی و اگزرژی شده و افزایش فشار ورودی به توربین ۲ موجب افزایش راندمان حرارتی و راندمان اگزرژی شده است. همچنین افزایش زاویه کلکتور باعث افزایش راندمان حرارتی و اگزرژی شده است. علاوه بر این، مشخص گردید که راندمان حرارتی و اگزرژی در حالت تک هدفه نسبت به حالت چندهدفه بیشتر است.

کلمات کلیدی: سیکل رانکین، تحلیل انرژی، تحلیل اگزرژی، الگوریتم PSO، تابع تک هدفه، تابع چندهدفه.

۱-مقدمه

گسترش جوامع و توسعه صنایع باعث افزایش احتیاج بیش از پیش جوامع به انرژی شد. تردیدی نیست که پیشرفت جوامع امروزی بدون انرژی غیر ممکن است. وابستگی اجتماعی، توسعه اقتصادی دولت به درآمد حاصل از صادرات و پالایش سوخت‌های فسیلی جهان در کنار اثرات زیان بار مصرف سوخت‌های فسیلی، ضرورت انجام تحقیقات کاربردی در زمینه کنترل آلاینده‌های آب، هوا، خاک با هدف استفاده دوباره از پسماندها برای حفظ و صرفه‌جویی در هزینه‌ی مواد و انرژی و استفاده‌ی منطقی از آن و اهمیت استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر با توجه به ذخایر ارزشمند موجود در کشور ضرورت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را دو چندان نموده است.

رشدی و همکاران در سال ۲۰۱۰، از آنالیز انرژی به منظور بهبود ترمودینامیکی سیکل ترکیبی قدرت رانکین و سیکل تبرید اجکتوری و از آنالیز پارامتری جهت بررسی اثر مشخصات ترمودینامیکی بر روی عملکرد سیکل استفاده کردند. نتایج نشانگر این امر بود که بیشترین تلفات انرژی، به واسطه برگشت ناپذیری‌ها رخ می‌دهد و اجکتور نیز سهم قابل ملاحظه‌ای در برگشت ناپذیری‌ها دارد. همچنین مشاهده شد که فشار ورودی و خروجی توربین، دمای کندانسور و تبخیرکننده اثرات قابل ملاحظه‌ای بر توان خروجی توربین و بازده انرژی سیکل دارند.

بر اساس مطالعه دادفر و اگیوگلو در سال ۲۰۱۳، کارایی چرخه رانکین و قرار دادن بهینه FWH در سه سیکل تولیدکننده مجدد رانکین از یک گرم کننده آب ورودی تا سه گرم کننده در مورد سیکل رانکین ایده آل و واقعی بررسی شد. پارامترهای مختلفی که کارایی سیکل را تحت تاثیر قرار دادند عبارت بودند از: فشار بویلر، فشار کندانسور، حرارت بویلر، کارایی پمپ، کارایی توربین، درجه سردی آب و تعداد گرم کننده‌های آب ورودی در یک نیروگاه. بر اساس این مطالعه، زمانی که تعداد گرم کننده‌های ورودی افزایش می‌یابد، کارایی نیز افزایش می‌یابد و به سیکل ایده آل نزدیک می‌شود. بر اساس این مطالعه، پارامتری که بیشترین تاثیر را در افزایش کارایی داشت، کارایی توربین و پس از آن دمای توربین بود.

چهارطاقی و بابایی در سال ۱۳۹۳ به تحلیل انرژی و انرژی سیکل رانکین آلی با به کارگیری سیال کاری دو جزیی در شرایط مشخص منبع حرارتی پرداختند. آن‌ها در این تحقیق به بررسی تاثیر استفاده از مخلوط‌های دو جزیی با شیب‌های دمایی متفاوت هنگام تغییر فاز، بر روی عملکرد سیکل رانکین آلی پرداختند. چهار مخلوط دوجزیی انتخاب شده عبارت بودند از: پنتان نرمال/بوتان نرمال، ایزوپنتان/ایزوبوتان، پنتان نرمال/ایزوبوتان و ایزوپنتان/بوتان نرمال. نتایج نشان داد که با توجه به مطابقت شیب دمایی در چگالنده و تبخیرکننده در استفاده از سیال مخلوط دوجزیی، در مقایسه با سیال کاری خالص، افزایش بازده حرارتی و انرژی حدود ۹٪ در پیکربندی ساده و ۱۴٪ در سیکل با مبدل حرارتی داخلی، قابل دسترس است.

تیواری و همکارانش در سال ۲۰۱۳، انرژی چرخه ترکیبی سیکل رانکین-برایتون را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که هدررفت بیشتر انرژی در اتاق احتراق توربین گازی رخ می‌دهد (۳۵٪ هدر رفت انرژی کلی) در حالی که هدررفت انرژی در سایر اجزای نیروگاه بین ۷ و ۲۱ درصد هدررفت کل انرژی در درجه حرارت ورودی ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و نسبت فشار ۱۰ است.

صاحبی و همکارانش در سال ۲۰۱۳ بهینه سازی سیکل رانکین با استفاده از روش انرژی و انرژی مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه برگشت ناپذیری سیکل رانکین و اجزای آن که در روش‌های تحلیل انرژی استفاده شدند معرفی شده است. علاوه بر این، با استفاده از نوشتن کد کامپیوتری بر اساس روابط موجود، نتایج بهینه سازی و تحلیل انرژی ارائه شده است.

Dadfar and Egelioglu

*Tiwari et al.

*Sahebi et al.

میراحمدی و کلتی در سال ۱۳۹۳ به تحلیل انرژی و انرژی سیکل رانکین دو مرحله‌ای با بازیاب پرداختند. بدین منظور، فشار خروجی توربین سیکل بخار و دمای محیط به عنوان دو پارامتر متغیر و مؤثر بر سیکل انتخاب شدند. آنالیز انرژی آن‌ها نشان داد که بازده قانون اول با افزایش فشار خروجی توربین سیکل بخار ابتدا سیر صعودی و سپس در انتها سیر نزولی دارد. این بازده با افزایش دمای محیط در تمامی مراحل مختلف کاهش یافت. در تحلیل انرژی مشاهده شد که اتلاف انرژی مجموع اجزا سیکل (کل) با افزایش دما در مراحل مختلف کاهش می‌یابد. این پارامتر با افزایش مراحل در تمامی سه دمای محیط کاهش یافت. همچنین پمپ سیکل رانکین آلی کم‌ترین اتلاف انرژی و ژنراتور بخار (اوپراتور) بیشترین اتلاف انرژی را نشان دادند.

نواخان و همکارانش^۴ در سال ۲۰۱۴ انرژی و انرژی فوق بحرانی سیکل رانکین تحلیل نمودند. بر اساس این مطالعه، فشار فوق بحرانی از ۲۰ تا ۵۰ مگاپاسکال و درجه حرارت از ۵۵۰ تا ۸۰۰ درجه سلسیوس متغیر بود. نتایج آنالیز نشان داد که چرخه بازده انرژی و انرژی با افزایش درجه حرارت ورودی و فشار توربین افزایش می‌یابد. در حالی که محاسبه کسر هدررفت انرژی و عدم بازگشت آن نشان داد که بیشترین عدم بازگشت در بویلر، سپس در توربین و کندانسور و در نهایت در پمپ رخ می‌دهد. کالوگرو و همکاران^۵ در سال ۲۰۱۶ به تحلیل انرژی انواع جمع‌کننده‌های خورشیدی پرداخته‌اند و در نهایت آنالیز انرژی را به عنوان یک ابزار مؤثر در تحلیل آرایش این سیستم‌ها معرفی نمودند.

اکبری و شیخی در سال ۱۳۹۵، انرژی سیکل کلاسیوس-رانکین تحلیل نمودند. بر اساس نتایج به دست آمده سه جزء LPT2، LPT3 و HEX2 بیشترین میزان تخریب انرژی سیستم را شامل می‌شوند و از این منظر در اولویت بازنگری قرار دارند. علاوه بر این، با انجام تحلیل انرژی پیشرفته تحلیل دقیق‌تر نتایج آنالیز انرژی انجام شد. بدین منظور تخریب انرژی اجزای سیستم به چهار بخش درون‌زا/برون‌زا و قابل اجتناب/غیرقابل اجتناب جداسازی شدند و عامل اصلی بروز تخریب انرژی در اجزا بررسی شد. بر طبق نتایج، سه جزئی که دارای بیشترین میزان تخریب انرژی بودند، عامل اکثر تخریب انرژی برون‌زای سیستم نیز بودند. در واقع می‌توان با بهبود عمل کرد این اجزاء، تخریب انرژی در اجزای دیگر را نیز کاهش داد. با انتخاب متغیرها و توان خروجی سیکل به عنوان تابع هدف و به کارگیری نرم افزار اسپن هایسیس^۶ برای بهینه سازی، سیستم بهینه سازی و پارامترهای بهبود یافته آن با حالت پایه مقایسه شد که بر اساس آن توان استحصال سیستم افزایش و تخریب انرژی و هزینه محصولات کاهش یافت.

سنوسا و همکارانش^۷ در سال ۲۰۱۶، انرژی و انرژی سیکل رانکین در نیروگاه‌های خورشیدی با ذخیره حرارتی و جمع‌کننده سهموی تحلیل نمودند. در این مطالعه مدار ثانویه (جهت تبدیل ترمودینامیکی) نیروگاه خورشیدی با چرخه ترمودینامیکی آنالیز شد. بدین منظور جمع‌کننده سهموی با استفاده از روغن سیلیکون در مدار اولیه استفاده شد که حداکثر درجه حرارت را پایین‌تر از ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد حفظ می‌کند. مدار اولیه، ذخیره حرارتی را استفاده می‌نماید که منجر به تاخیر بین تولید برق و جذب انرژی خورشیدی می‌شود. در این مطالعه چرخه آب-بخار انتخاب شد. این چرخه جهت افزایش کارایی دارای آب ورودی و بخار از پیش گرم شده بود. انرژی و انرژی هر دو چرخه مقایسه شد. با استفاده از مدل عددی و ساختار تکراری، نتایج نشان داد که طرح ساده به اندازه مدل پیشرفته کارایی ترمودینامیکی دارد.

کیم و هان^۸ در سال ۲۰۱۶، به بررسی انرژی و انرژی کندانسور در سیکل رانکین آلی وابسته به دمای چگالش پرداختند. در این آنالیز تاثیرات انتخاب مایع استفاده شده، دمای چگالش بر کارایی کندانسور (شامل کارایی انتقال حرارت، اتلاف انرژی، بازده قانون

Nawaz Khan et al.

Kalogirou et al.

Aspen HYSYS

Çenusa et al.

Kim & Han

دوم ترمودینامیک) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کارایی، اتلاف انرژی و بازده قانون دوم ترمودینامیک نسبت به نوع مایع استفاده شده و دمای چگالش حساس هستند؛ به طوری که با افزایش دمای چگالش موارد اشاره شده نیز افزایش می یابند. بهینه سازی نیروگاه های بخار همیشه مورد توجه بوده زیرا افزایش در بهره وری حتی به میزان یک درصد در یک نیروگاه منجر به صرفه جویی زیادی در هزینه ها می گردد. تحقیقات و مقاله هایی که تاکنون منتشر شده است حاکی از بررسی یا مطالعه بهینه سازی اقتصادی سیکل رانکین آلی بوده و با توجه به اهمیت و نقش به سزای سیکل رانکین در نیروگاه ها و نقش تحلیل انرژی جهت افزایش بهره وری، بهینه سازی به کمک الگوریتم PSO و آنالیز انرژی به صورت خاص پرداخته نشده است، لذا اهداف این تحقیق عبارتند از:

1. بهینه سازی سیکل رانکین بادی، خورشیدی با استفاده از الگوریتم PSO
 2. تحلیل انرژی جهت تعیین مکان و منبع و شدت ناکارآمدی ترمودینامیکی نیروگاه ها
 3. بهبود و افزایش راندمان نیروگاه ها
- نتایج حاصل از این تحقیق برای وزارت نیرو، سازمان ساتبا، بهینه سازی مصرف سوخت کاربردی خواهد بود.
- فرض های به کار رفته در شبیه سازی و تحلیل سیکل تولید توان
- تحقیق حاضر بر مبنای شبیه سازی عددی می باشد. معادلات حاکم بر مسئله توسط نوشتن تحلیل انرژی و انرژی برای اجزای مختلف سیکل ترمودینامیکی مربوطه حاصل می شود. ماهیت معادلات حاکم غیرخطی می باشد، لذا جهت حل آن ها در صورت امکان کد کامپیوتری نوشته شده یا از نرم افزارهای تجاری حل معادلات مهندسی (EES) استفاده خواهد شد.
- در تحلیل سیکل بیان شده، فرض های زیر در نظر گرفته شده است:
- ۱- کلیه فرآیندها در سیکل ترمودینامیکی مربوطه حالت دائم است.
 - ۲- سیال عامل سیکل ترمودینامیکی مورد نظر آب فرض می شود اما با توجه به محدوده دمایی کاری ما، می توان سیال عامل را با توجه به سیکل ترمودینامیکی مربوطه (سیکل بخار رانکین یا سیکل ارگانیک رانکین) تغییر داد.
 - ۳- از انتقال حرارت مستقیم اجزای سیستم با محیط صرف نظر شده است.
 - ۴- از تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل در اجزای مختلف صرف نظر شده است.
 - ۴- پمپ و توربین آدیاباتیک می باشند.
 - ۵- پمپ و توربین بازده آیزونتروپیک مشخصی دارند.
 - ۶- سیال عامل خروجی از کندانسور و ورودی به پمپ مایع اشباع می باشد.

۲- تعریف مساله و مدل ریاضی

در این بخش مدل سازی ریاضی مساله برنامه ریزی امکانی محدودیت شانس جهت برنامه ریزی روزانه تقاضای برق ارائه می شود. در این مدل، تامین تقاضای روزانه (در ۲۴ ساعت پیشرو) از سیکل رانکین بادی، خورشیدی و یا انرژی ذخیره شده در باتری صورت می گیرد.

پارامترها	
i	اندیس ساعت در یک روز $i = 1, 2, 3, \dots, 24$
C_i^{PV}	هزینه تامین یک کیلووات انرژی در ساعت i ام توسط منبع خورشیدی.
C_i^W	هزینه تامین یک کیلووات انرژی در ساعت i ام توسط منبع بادی.
C_i^B	هزینه تامین یک کیلووات انرژی در ساعت i ام توسط باتری.

D_i	تقاضای ساعت i ام بر حسب کیلووات ساعت.
B_{max}	حداکثر ظرفیت مجازی باتری بر حسب کیلووات ساعت.
B_{min}	حداقل ظرفیت مجازی باتری بر حسب کیلووات ساعت.
B_{start}	انرژی اولیه ذخیره شده در باتری بر حسب کیلووات ساعت.
E_{charge}^{PVB}	حداکثر انرژی که در یک ساعت می توان از منبع خورشیدی برای شارژ باتری استفاده کرد بر حسب کیلووات ساعت.
E_{charge}^{WB}	حداکثر انرژی که در یک ساعت می توان از منبع بادی برای شارژ باتری استفاده کرد بر حسب کیلووات ساعت.
$E_{discharge}^B$	حداکثر انرژی که در یک ساعت می توان از باتری دریافت کرد بر حسب کیلووات ساعت.
W_{max}	حداکثر ظرفیت توربین های بادی بر حسب کیلووات ساعت.
PV_{max}	حداکثر ظرفیت صفحات خورشیدی بر حسب کیلووات ساعت.
G_i	میزان تابش خورشید در ساعت i ام بر حسب کیلووات ساعت.
G_{std}	میزان استاندارد تابش خورشید در ساعت i ام بر حسب کیلووات ساعت.
R_c	نقطه تابش شاخص بر حسب وات بر مترمربع.
V_i	میزان سرعت وزش باد در ساعت i ام بر حسب متر بر ثانیه.
r	شعاع پره توربین بر حسب متر.
P_{sn}	نرخ قدرت خروجی از تولیدکننده ها.
Q	ضریب بهره وری توربین بادی که به طراحی آن بستگی دارد.
α	سطح اطمینان در تامین تقاضا.
τ	ضریب بهره وری باتری که به نوع باتری و طراحی آن بستگی دارد.
متغیرها	
E_i^{PV}	مقدار کیلووات ساعت انرژی که در ساعت i ام از منبع خورشیدی به طور مستقیم برای برآورده کردن تقاضا دریافت می شود.
E_i^{PVB}	مقدار کیلووات ساعت انرژی که در ساعت i ام از منبع خورشیدی برای شارژ باتری استفاده می شود.
E_i^W	مقدار کیلووات ساعت انرژی که در ساعت i ام از منبع بادی به طور مستقیم برای برآورده کردن تقاضا دریافت می شود.
E_i^{WB}	مقدار کیلووات ساعت انرژی که در ساعت i ام از منبع باد برای شارژ باتری استفاده می شود.
E_i^B	مقدار کیلووات ساعت انرژی که در ساعت i ام از باتری برای برآورده کردن تقاضا دریافت می شود.
B_i	مقدار کیلووات ساعت انرژی که در ساعت i ام در باتری وجود دارد.

$$\min F = \sum_{i=1}^{24} C_i^{PV} E_i^{PV} + C_i^W E_i^W + C_i^B E_i^B \quad (1)$$

s.t

$$E_i^{PV} + E_i^{PVB} \leq \left[P_{sn} \frac{G_i^2}{G_{std} \times R_c} \right] \quad \forall G_i < R_c, i \quad (2)$$

$$E_i^{PV} + E_i^{PVB} \leq [P_{sn} \frac{G_i}{G_{std}}] \quad \forall G_i \geq R_c, i \quad (3)$$

$$E_i^W + E_i^{WB} \leq 0 \quad \forall V_i \leq V_1 \text{ or } V_i \geq V_3, i \quad (4)$$

$$E_i^W + E_i^{WB} \leq \frac{1}{2} Q \cdot \pi \cdot r^2 \cdot V_i^3 \quad \forall V_1 < V_i \leq V_2, i \quad (5)$$

$$E_i^W + E_i^{WB} \leq W_{max} \quad \forall i \quad (6)$$

$$E_i^{PV} + E_i^{PVB} \leq PV_{max} \quad \forall i \quad (7)$$

$$E_i^B + \frac{E_{discharge}^B}{B_{max} - B_{min}} \sum_{k=1}^i (E_k^B - E_k^{PVB} + E_k^{WB}) \leq E \quad \forall i \quad (8)$$

$$Pr\{(E_i^{PV} + E_i^W + E_i^B) \geq D_i\} \geq \alpha \quad \forall i \quad (9)$$

$$B_i = B_{start} + \sum_{k=1}^i (E_k^{PVB} + E_k^{WB} - E_k^B) \quad \forall i \quad (10)$$

$$B_i \leq B_{max} \quad \forall i \quad (11)$$

$$B_i \geq B_{min} \quad \forall i \quad (12)$$

$$E_i^{PVB} \leq E_{charge}^{PVB} \quad \forall i \quad (13)$$

$$E_i^{WB} \leq E_{charge}^{WB} \quad \forall i \quad (14)$$

$$B_{24} = B_{start} + \sum_{k=1}^{24} (E_k^{PVB} + E_k^{WB} - E_k^B) \geq \gamma B_{start} \quad (15)$$

$$E_i^{PV}, E_i^W, E_i^B, E_i^{PVB}, E_i^{WB} \geq 0 \quad \forall i \quad (16)$$

رابطه (۱) نشان دهنده‌ی تابع هدف مسئله یعنی حداقل کردن هزینه کل تامین تقاضا است. رابطه (۳ و ۲) نشان دهنده کل سیکل رانکین بادی، خورشیدی تولیدی توسط صفحات خورشیدی است که با توجه به میزان تابش محاسبه می‌شود. رابطه (۴ و ۵) نشان دهنده کل انرژی بادی تولیدی توسط توربین‌های بادی است که با توجه به سرعت وزش باد محاسبه می‌شود. رابطه (۶ و ۷) نشان می‌دهد که مقدار انرژی تولیدی از منابع بادی و خورشیدی نباید از ظرفیت نیروگاه‌ها تجاوز نماید (ظرفیت نیروگاه‌های تجدیدپذیر با توجه به نتایج حاصل از نرم‌افزار شبیه‌سازی HOMER تعیین شده‌است). رابطه (۸) نشان می‌دهد که میزان انرژی دریافتی از باتری به میزان انرژی موجود در باتری بستگی دارد. سمت راست این محدودیت برابر است با

$$E = E_{discharge}^B (1 - \tau) + \tau E_{discharge}^B \left(\frac{B_{start} - B_{min}}{B_{max} - B_{min}} \right)$$

یعنی هرچه میزان انرژی ذخیره شده در باتری به بیشترین ظرفیت باتری (B_{max}) نزدیکتر باشد خروجی به حداکثر ظرفیت خروج ($E_{discharge}^B$) نزدیکتر خواهد شد. رابطه (۹) نشان می‌دهد که مجموع انرژی تولیدی از این دو منبع و میزان ذخیره شده در باتری باید حداقل برابر تقاضا باشد. در این مطالعه تقاضا طبق چهار سناریو تحت توزیع احتمال یکنواخت در نظر گرفته شده است که احتمال وقوع هر سناریو بر اساس فراوانی وقوع هر سناریو در داده های روزانه ۱۰ سال گذشته برآورد گردیده است (جدول ۱). اما از آنجا که تقاضا پارامتری غیر قطعی است؛ برای برخورد با این عدم قطعیت از رویکرد برنامه‌ریزی محدودیت شانس با احتمال α استفاده شده است. بطور مثال به ازای α برابر با ۰/۹۸، حداقل در ۹۸ درصد اوقات کل تقاضای برق تامین می‌شود.

جدول ۱: تابع چگالی احتمال تقاضا در هر سناریوها

سناریو	توزیع تقاضای در هر سناریو	احتمال سناریو
۱	$D_i \sim U(10^3, 2.5 \times 10^3)$	0.2

۲	$D_i \sim U(2.5 \times 10^3, 4 \times 10^3)$	0.4
۳	$D_i \sim U(4 \times 10^3, 5.5 \times 10^3)$	0.3
۴	$D_i \sim U(5.5 \times 10^3, 8 \times 10^3)$	0.1

رابطه (۱۰) میزان انرژی ذخیره شده در باتری توسط دو منبع صفحات خورشیدی و توربین بادی در هر ساعت را نشان می‌دهد. رابطه (۱۲ و ۱۱) نشان می‌دهد که مقدار انرژی ذخیره شده در باتری نباید از ظرفیت کمینه و بیشینه باتری تجاوز کند. رابطه (۱۴ و ۱۳) نشان می‌دهد که مقدار انرژی قابل ذخیره سازی در باتری از صفحات خورشیدی و توربین‌های بادی، حداکثر برابر با بیشترین ظرفیت شارژ توسط این دو منبع است. رابطه (۱۵) نشان می‌دهد مقدار انرژی باقیمانده در باتری در آخر هر دوره، باید به اندازه γ درصد ظرفیت شروع در آن دوره باشد. رابطه (۱۶) نامنفی بودن هر کدام از متغیرهای تصمیم را نشان می‌دهد.

۱-۲- بهینه سازی گروه ذرات PSO

PSO از دسته الگوریتم های بهینه سازی است که بر مبنای تولید تصادفی جمعیت اولیه عمل می‌کنند. در این الگوریتم با الگوگیری و شبیه سازی رفتار پرواز دسته جمعی (گروهی) پرندگان یا حرکت دسته جمعی (گروهی) ماهی ها بنا نهاده شده است. هر عضو در این گروه توسط بردار سرعت و بردار موقعیت در فضای جستجو تعریف می‌گردد. در هر تکرار زمانی، موقعیت جدید ذرات با توجه به برار سرعت و بردار موقعیت در فضای جستجو تعریف می‌گردد. در هر تکرار زمانی، موقعیت جدید ذرات با توجه به بردار سرعت فعلی، بهترین موقعیت یافت شده توسط آن ذره و بهترین موقعیت یافت شده توسط بهترین ذره موجود در گروه، به روز رسانی می‌گردد. این الگوریتم ر ابتدا برای پارامترهای پیوسته تعریف شده بود اما با توجه به اینکه در برخی از کاربردها با پارامترهای گسسته سروکار داریم، این الگوریتم به حالت گسسته نیز بست داده شده است. الگوریتم بهینه سازی ازدهام ذرات را در حالت گسسته با ((BPSO معرفی می‌گردد. در این الگوریتم موقعیت هر ذره با مقدار یک تعریف می‌گردد. در این الگوریتم موقعیت هر ذره با مقدار باینری صفر و یا یک نشان داده می‌شود. در BPSO مقدار هر ذره می‌تواند از صفر به یک و یا از یک به صفر تغییر کند. سرعت هر ذره نیز به عنوان احتمال تغییر هر ذره به مقدار یک تعریف می‌گردد. در این فصل بخش های مختلف این الگوریتم معرفی و بررسی خواهد شد.

۲-۲- تعاریف اولیه الگوریتم PSO

فرض کنید یک فضای جستجوی d بعدی داریم. i امین ذره در این فضای d بعدی باب بردار موقعیت X_i به شکل زیر توصیف می‌گردد:

$$X_i = (x_{i_1}, x_{i_2}, x_{i_3}, \dots, x_{i_d})$$

بردار سرعت i امین ذره نیز با بردار V_i به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$V_i = (v_{i_1}, v_{i_2}, v_{i_3}, \dots, v_{i_d})$$

بهترین موقعیتی که ذره i ام پیدا کرده است را با $P_{i.best}$ تعریف می‌کنیم:

$$P_{i.best} = (p_{i_1}, p_{i_2}, p_{i_3}, \dots, p_{i_d})$$

بهترین موقعیتی که بهترین ذره در بین کل ذرات پیدا کرده است را با $P_{g.best}$ به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$P_{g.best} = (p_{g_1}, p_{g_2}, p_{g_3}, \dots, p_{g_d})$$

برای به روز رسانی محل هر کدام از ذرات از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$V_i(t) = w * V_i(t-1) + c_1 * rand_1 * (P_{i.best} - X_i(t-1)) + c_2 * rand_2 * (P_{g.best} - X_i(t-1))$$

^۱ Binary Particle Swarm Optimization

$$X_i = X_i(t-1) + V_i(t)$$

W : ضریب وزنی اینرسی (حرکت در مسیر خودی) که نشان دهنده میزان تأثیر بردار سرعت تکرار قبل ($V_i(t)$) بر روی بردار سرعت در تکرار فعلی ($V_i(t+1)$) است.

c_1 : ضریب ثابت آموزش (حرکت در مسیر بهترین مقدار ذره مورد بررسی)

c_2 : ضریب ثابت آموزش (حرکت در مسیر بهترین ذره یافت شده در بین کل جمعیت)

$rand_1, rand_2$: دو عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه ۰ تا ۱

$V_i(t-1)$ بردار سرعت در تکرار ($t-1$) ام

$X_i(t-1)$ بردار موقعیت در تکرار ($t-1$) ام

برای جلوگیری از افزایش بیش از حد سرعت حرکت یک ذره در حرکت از یک محل به محل دیگر (واگرا شدن بردار سرعت)، تغییرات سرعت را به رنج V_{min} تا V_{max} محدود می کنیم؛ یعنی $V_{min} \leq V \leq V_{max}$. حد بالا و پایین سرعت با توجه به نوع مسئله تعیین می گردد.

۲-۳- تست همگرایی

تست همگرایی در این الگوریتم مانند سایر الگوریتم های بهینه سازی است. برای بررسی الگوریتم روش های گوناگونی وجود دارد. برای مثال می توان تعداد مشخصی تکرار را از همان ابتدا معلوم کرد و در هر مرحله بررسی کرد که آیا تعداد تکرارها به مقدار تعیین شده رسیده است؟ اگر تعداد تکرارها کوچکتر از مقدار تعیین شده اولیه باشد، آن گاه باید به مرحله ۲ بازگردید در غیر این صورت الگوریتم پایان می پذیرد. روش دیگری که اغلب در تست همگرایی الگوریتم استفاده می شود، این است که اگر در چند تکرار متوالی مثلاً ۱۵ یا ۲۰ تکرار تغییری در مقدار هزینه بهترین ذره ایجاد نگردد، آنگاه الگوریتم پایان می یابد، در غیر این صورت باید به مرحله ۲ بازگردید. دیاگرام گردش (فلوچارت) الگوریتم PSO در شکل نشان داده شده است.

۳- نتایج

به دلیل اختلاف دما پایین بین منبع گرم و سرد در سیکل رانکین بادی، خورشیدی، بازده حرارتی پایین تری نسبت به نیروگاه فسیلی دارد. بازده در نقاط فوق بحرانی طبق قوانین ترمودینامیکی، برای مقادیر کوچک سیکل رانکین بادی، خورشیدی شامل کندانسور، ژنراتور، پمپ و ... کمتر از سیکل بخار رانکین است. به دلیل بازده قابل قبول برق، به حداقل رساندن برگشت پذیری ترمودینامیکی در سیکل خورشیدی رانکین ضروری است. بنابراین بهینه سازی سیکل رانکین بادی، خورشیدی در این فصل آورده شده است. تلفات حرارتی سیکل رانکین را به چهار بخش می توان دسته بندی کرد: از دست رفتن از طریق فرایندهای حرارتی، انبساط، خنک کاری و فشار که به ترتیب در دستگاه های اواپراتور، منبسط کننده، کندانسور و پمپ رخ می دهد. تلفات انرژی در عملیات خنک کردن به درجه حرارت سوپرهیت خروجی از منبسط کننده بستگی دارد. زمانی که یک مبدل حرارتی داخلی مورد استفاده قرار می گیرد، این تلفات کاهش می یابد. با این حال تلفات انرژی در فرایند انبساط اجتناب ناپذیر است، زیرا بازده انبساط کننده همیشه کمتر از ۰/۸۵ است.

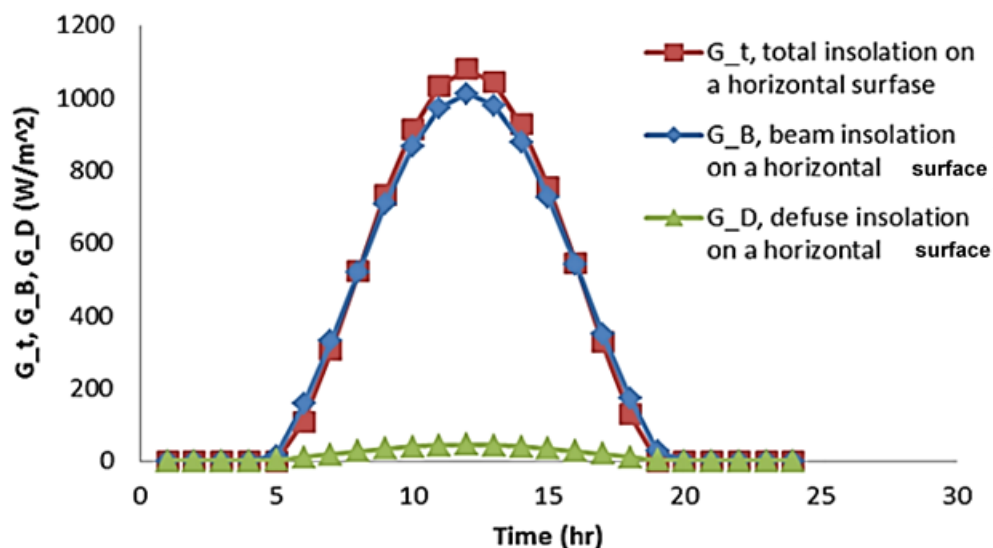
۳-۱- انتخاب سیال عامل

در سیکل های رانکین که در آن از انرژی خورشیدی به عنوان انرژی ورودی استفاده می شود، انتخاب سیال به منظور دست یابی به کارایی مطمئن و موثر، یک فاکتور ضروری به حساب می آید. علاوه بر تناسب خواص ترموفیزیکی باید به پایداری شیمیایی، تاثیرات زیست محیطی و قیمت آن نیز توجه شود. پمپ ها نیز در بازدهی سیکل رانکین در مقادیر پایین می توانند نقش مهمی داشته باشند. معاینات فنی پمپ های رانکین سخت است؛ یکی از مشکل های رایج پمپ های آب، نشتی آن هاست. اکثر مایعات دیگر سیکل رانکین، سمی و قابل اشتعال هستند که موجب تخریب لایه اوزون می شوند و باعث گرم شدن کره زمین می گردند.

در این مقاله از روغن سیلیکون برای سیکل در دمای بالا و از آب برای سیکل با دمایی پایین به عنوان سیال عامل انتخاب شده است.

۳-۲- تحلیل ترمودینامیکی سیکل رانکین

برای تحلیل ترمودینامیکی در گام اول باید شهر انتخابی مورد نظر و سایر اطلاعات مربوط به میزان تابش خورشیدی ارائه شود که برای این منظور از شهر تهران استفاده شده است. سایر مشخصات و شرایط اولیه طراحی از نمودارهای موجود در سایت ناسا گرفته شده است. در نمودار زیر میزان تابش خورشیدی شهر تهران در روز ۸ تیر ماه ارائه شده است. با توجه به نمودار، تحلیل ترمودینامیکی سیستم برای ساعت ۱۱ محلی انجام شده است.



شکل (۱): تغییرات نرخ تشعشع کل، نرخ تشعشع پرتو لحظه‌ای و تشعشع پخشی بر حسب ساعت ظاهری خورشیدی در روز ۸ تیر، تهران

۳-۳- بررسی ترمودینامیکی سیکل رانکین

برای تحلیل سیکل رانکین با مواد تغییر فاز، نیاز به تعیین نوع ماده تغییر فازدهنده، شماتیک مسئله که در فصل دوم بیان شد و پارامترهای طراحی سیستم می‌باشد. با استفاده از روابط به دست آمده در فصل سوم، مشخصات ترمودینامیکی از قبیل دبی جرمی، فشار آنتالپی ویژه، اگزرژی محاسبه خواهد شد.

عملکرد ترمودینامیکی که به کمک آن شبیه سازی ترمودینامیکی سیستم انجام شده است، در جدول ۲ آورده شده است.

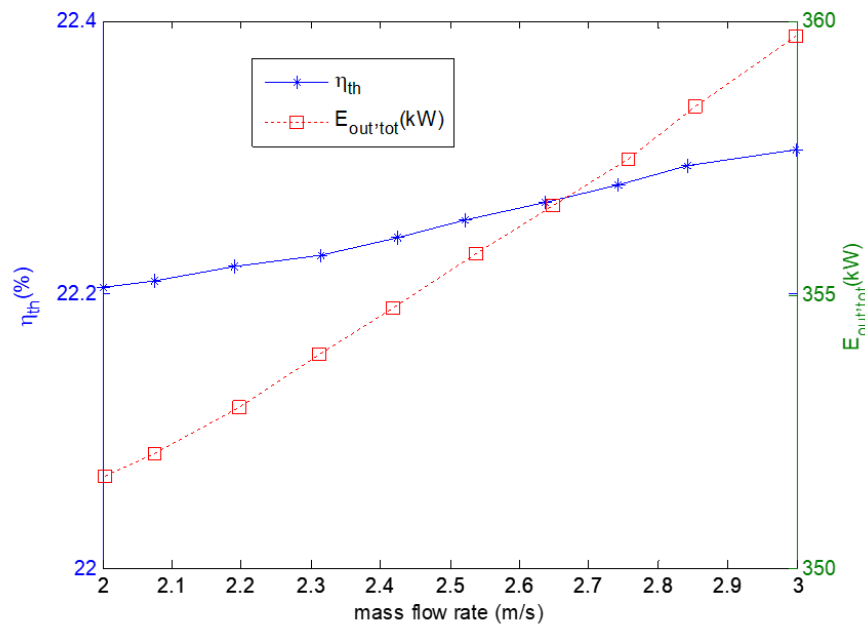
جدول (۲): عملکرد ترمودینامیکی سیستم

۱۷۵۰	مجموع سطح کلکتورها (m^2)
۱۶۲۳	انرژی ورودی به سیستم (kW)
۲۴/۱۸	راندمان حرارتی (%)
۱/۳۲	راندمان اگزرژی (%)
۸۷۰	مجموع سطح مبدلها (m^2)

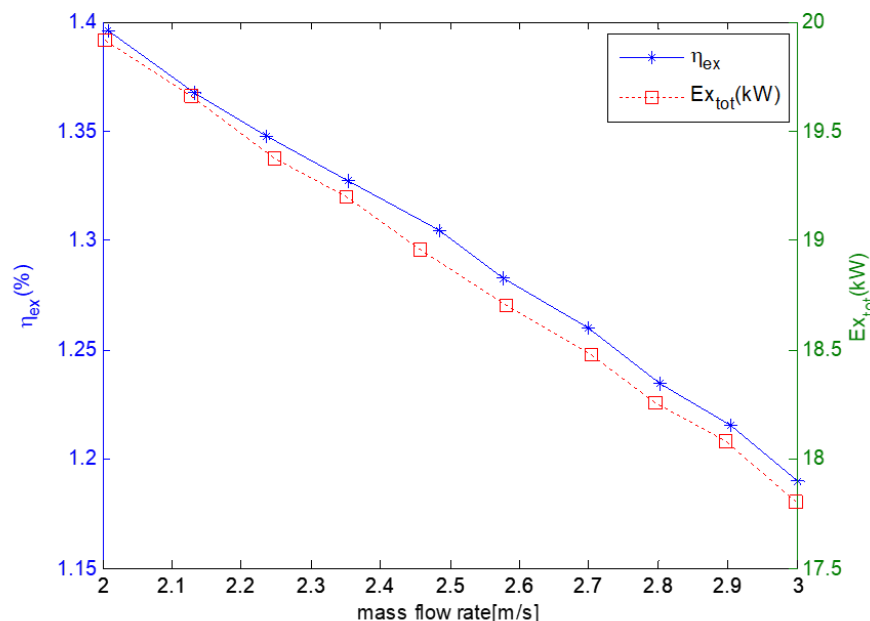
به منظور تحلیل ترمودینامیکی، روی پارامترهای طراحی سیستم، تغییراتی اعمال می‌شود و سپس به بررسی تاثیر این تغییرات بر عملکرد سیکل رانکین پرداخته شده است و اثر آن روی دیگر پارامترها و عملکرد سیکل رانکین مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در این قسمت تاثیر پارامترهای طراحی بر روی راندمان حرارتی و اگزرژی سیستم بررسی شده است.

۳-۳-۱- تاثیر دبی جرمی ورودی توربین ۱

با افزایش دبی جرمی از توربین ۱ به توربین ۲، انرژی ورودی نیز در حال افزایش می‌باشند که در این مورد در شکل (۲) نشان داده شده است. همچنین انرژی خروجی از سیستم از ۳۵۲،۶ kW به ۳۵۹،۸ kW زیاد شده است که در آن حرارت اواپراتور نیز افزایش یافته است که دلیل این افزایش حرارت در واقع افزایش میزان دبی جرمی عبوری از مبدل می‌باشد. لذا توان خروجی از توربین ۱ نیز افزایش پیدا کرده است. میزان راندمان حرارتی سیستم نیز اندکی افزایش پیدا کرده است که در شکل (۲) این امر به وضوح مشاهده می‌شود.

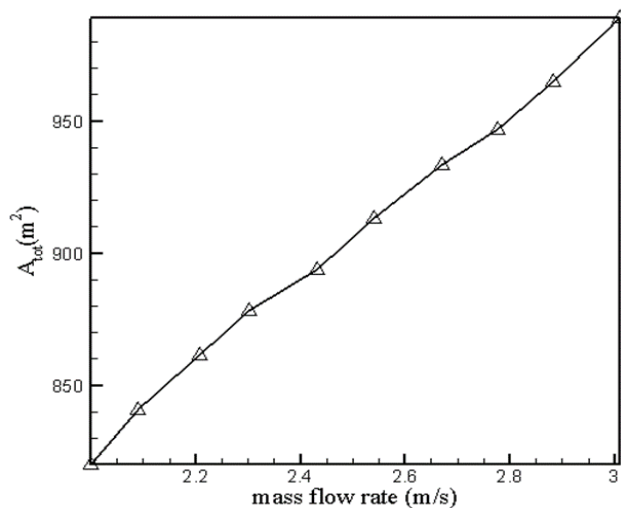


شکل (۲): تغییرات راندمان حرارتی و انرژی خروجی سیستم نسبت به دبی جرمی ورودی به توربین ۱ با افزایش دبی جرمی ورودی به توربین ۱، انرژی کل کاهش می‌یابد. انرژی کل اواپراتور کاهش می‌یابد و انرژی کل از ۱۹،۹۵ به ۱۷،۹۷ kW کاهش می‌یابد. با توجه به ثابت ماندن انرژی خورشیدی، انرژی سوخت کل سیستم ثابت می‌ماند و مقدار آن ۱۵۱۵ kW است. تغییرات راندمان انرژی و انرژی کل نسبت به دبی جرمی ورودی به توربین ۱ در شکل (۳) به صورت نمودار آورده شده است که میزان راندمان انرژی حدود ۱۴/۹ درصد کاهش یافته است.



شکل (۳): میزان انگرژی کل و راندمان انگرژی سیستم نسبت به دبی جرمی ورودی به توربین ۱ با افزایش دبی جرمی به توربین ۱، سطح کل مبدل‌های حرارتی افزایش می‌یابد. سطح اواپراتور افزایش می‌یابد. همچنین سطح کندانسور نیز افزایش خواهد یافت. علاوه بر این، تغییرات میزان حرارت تولیدی از مبدل، به تغییرات ضریب حرارت کلی مبدل و تغییرات دمای سیالات ورودی و خروجی از مبدل نیز وابسته است.

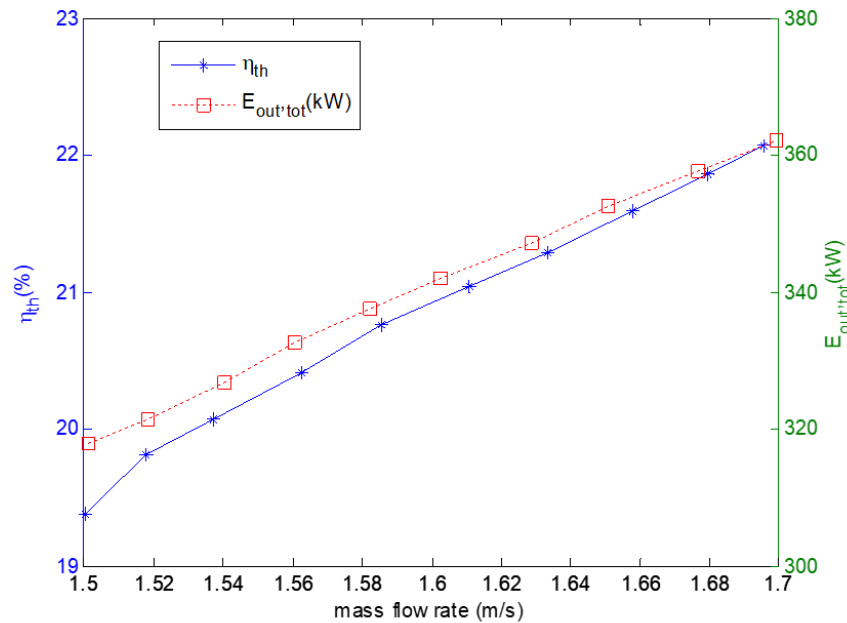
تأثیرات دبی جرمی ورودی به توربین ۱ بر روی مجموع سطح مبدل‌های حرارتی در شکل (۴) آورده شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است با افزایش دبی از جرمی ورودی به توربین ۱، مجموع سطح مبدل‌های حرارتی افزایش خواهد یافت.



شکل (۴): تأثیر دبی جرمی ورودی توربین ۱ روی سطح کل مبدل‌های حرارتی سیستم

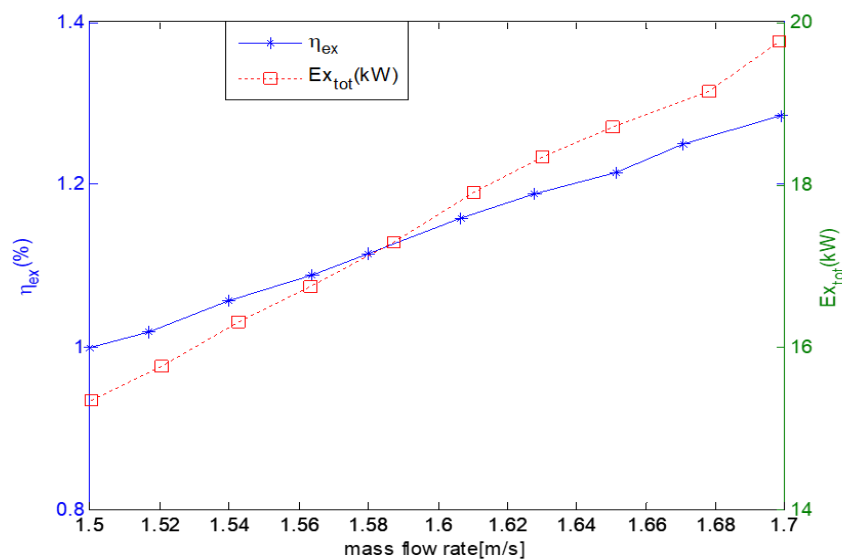
۳-۳-۲- تاثیر دبی جرمی ورودی توربین ۲

با افزایش دبی جرمی ورودی توربین ۲ از ۱,۵ کیلوگرم به ۱,۷ کیلوگرم، انرژی های ورودی به سیستم نیز افزایش می یابد. انرژی خروجی از سیستم از ۳۰۷,۶ kW به ۳۶۱,۷ kW افزایش می یابد. همچنین توان خالص خروجی از سیستم افزایش خواهد یافت. میزان انرژی ورودی به سیستم، انرژی خورشید بوده که با توجه به ثابت بودن میزان تابش خورشید و سطح کلکتور، ثابت باقی خواهد ماند. راندمان حرارتی سیستم نیز از ۱۹,۵ درصد تا ۲۱,۸ درصد افزایش خواهد یافت.



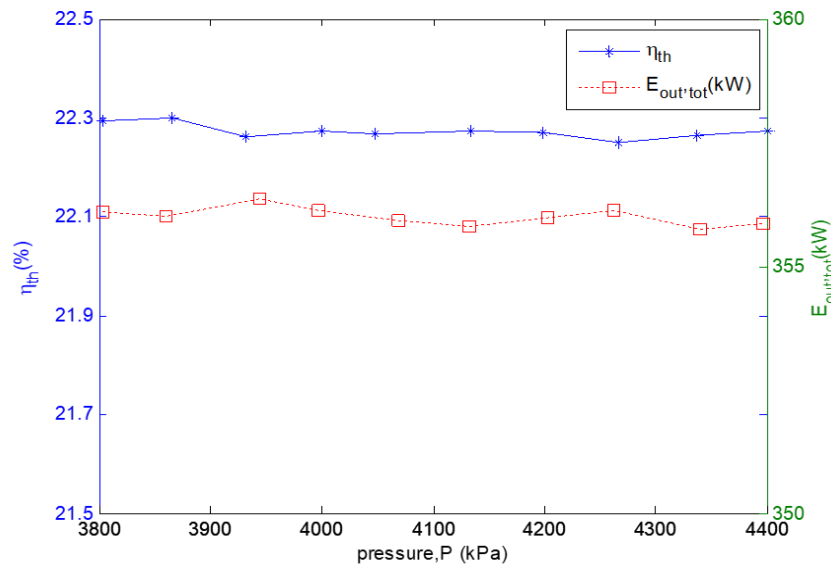
شکل (۵): تاثیر دبی جرمی ورودی به توربین ۲ روی راندمان و انرژی های خروجی از سیستم

تاثیرات دبی خروجی از توربین ۲ بر راندمان انرژی در شکل (۶) نشان داده شده است. همان طور که از شکل مشخص است میزان راندمان انرژی و انرژی کل افزایش یافته است.



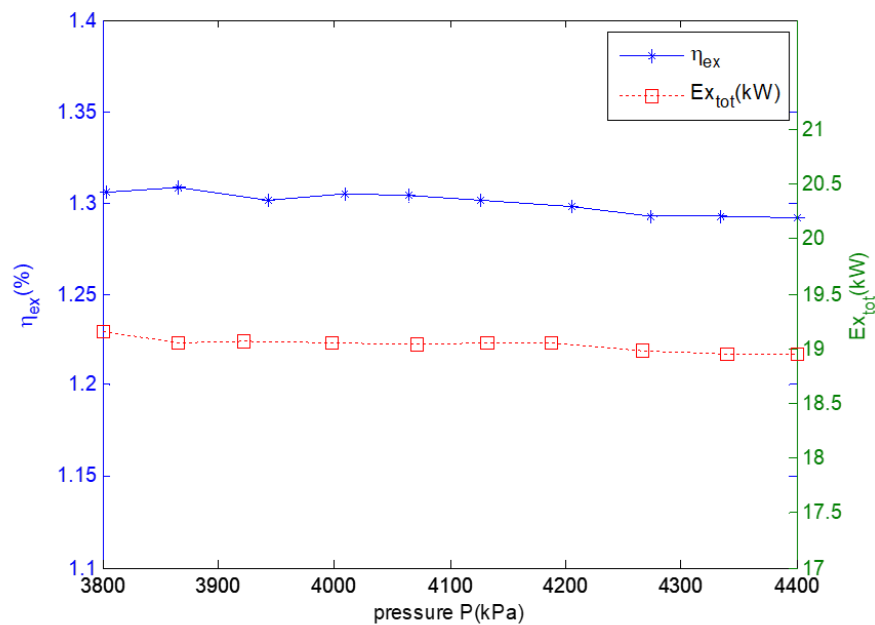
شکل (۶): تاثیر دبی جرمی ورودی به توربین ۲ بر راندمان انرژی

همان گونه که از شکل زیر پیداست، انرژی های خروجی با افزایش فشار به میزان اندکی تغییر می کند و تقریباً می توان گفت نمودار به صورت خط راست است. با این حال تمام پارامترهای تشکیل دهنده انرژی خروجی از سیستم به فشار ورودی وابسته است. انرژی ورودی به سیستم، انرژی خورشیدی بوده که میزان انرژی خورشیدی ورودی به سیستم، بستگی به فشار ورودی به توربین نداشته و ثابت می ماند. راندمان حرارتی به میزان ۰/۱۲ کاهش می یابد.



شکل (۷): تاثیر فشار ورودی به توربین ۱ بر راندمان حرارتی و انرژی های خروجی از سیستم

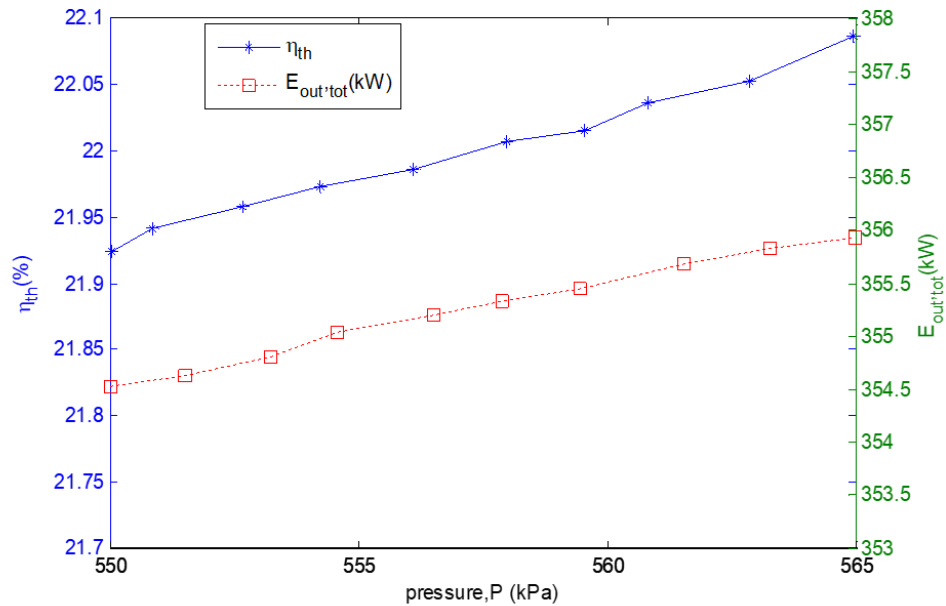
با افزایش فشار ورودی به توربین ۱، میزان انرژی کل کاهش می یابد و این کاهش به میزان ۰/۹۸ درصد می باشد که در شکل زیر نشان داده شده است. میزان انرژی کل نیز نسبت به فشار ورودی به توربین ۱ در شکل (۸) نشان داده شده است. همان طور که از شکل مشخص است میزان اندکی، انرژی کل کاهش خواهد یافت.



شکل (۸): تاثیر افزایش فشار ورودی به توربین ۱ بر روی انرژی کل و راندمان انرژی

۳-۳-۳- اثر فشار ورودی به توربین ۲ بر راندمان حرارتی

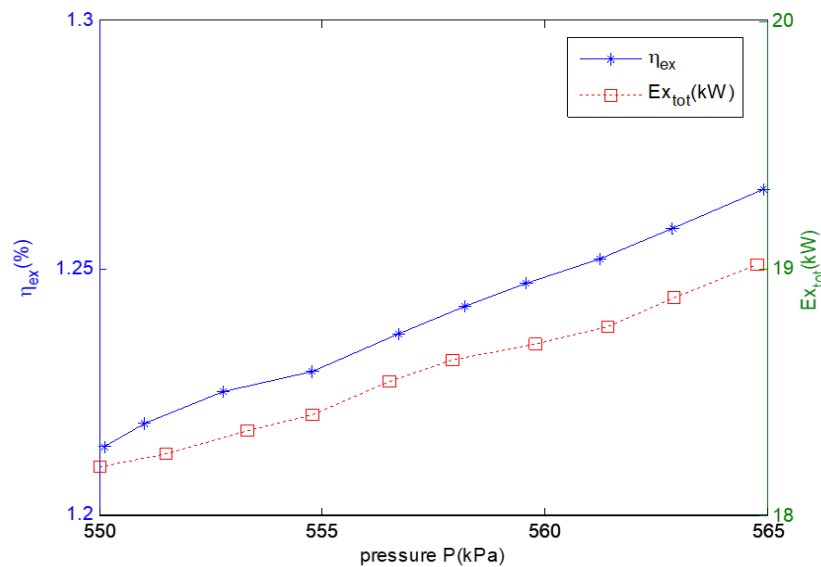
با افزایش فشار، میزان انرژی‌های خروجی افزایش می‌یابد. تاثیرات فشار ورودی به توربین ۲ بر راندمان حرارتی و انرژی خروجی در شکل (۹) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است با افزایش فشار ورودی به توربین، میزان راندمان حرارتی و انرژی خروجی افزایش خواهد یافت.



شکل (۹): تاثیر فشار ورودی به توربین ۲ بر راندمان حرارتی

با افزایش فشار ورودی به توربین ۲، میزان انرژی کل افزایش خواهد یافت که پارامترهای موثر در انرژی کل، انرژی کل اواپراتور، کندانسور و مقدار توان خروجی از سیستم می‌باشد. انرژی سوخت، مربوط به انرژی خورشیدی بوده که همان‌طور که قبلاً بیان شده، میزان آن با توجه به ثابت ماندن انرژی خورشید، ثابت باقی می‌ماند.

شکل (۱۰) تاثیرات فشار ورودی به توربین ۲ بر روی راندمان انرژی و انرژی کل را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، با افزایش فشار ورودی به توربین ۲، میزان راندمان انرژی و انرژی کل افزایش خواهد یافت.

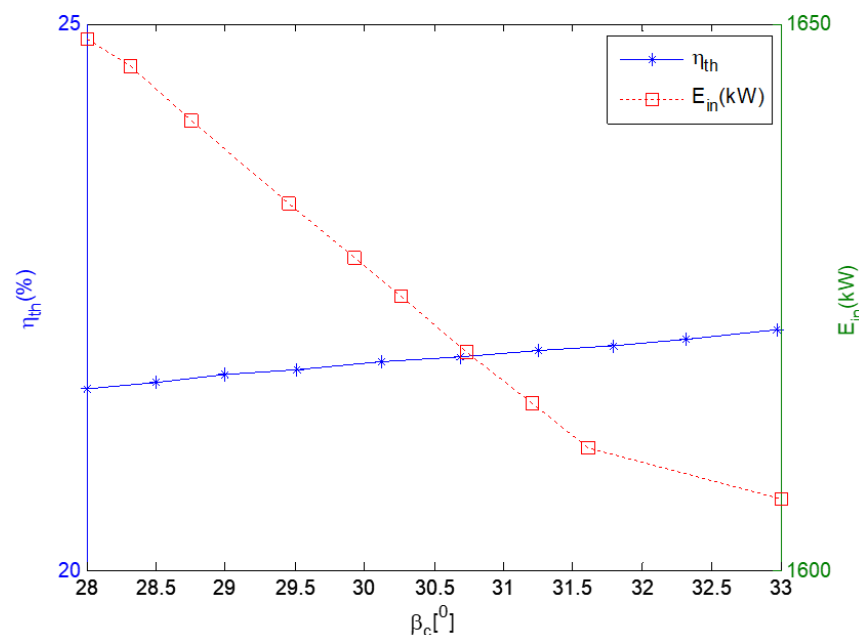


شکل (۱۰): تاثیر فشار ورودی به توربین ۲ بر اگزرژی کل و راندمان اگزرژی

۳-۳-۴- تاثیر زاویه کلکتور نسبت به افق بر راندمان حرارتی

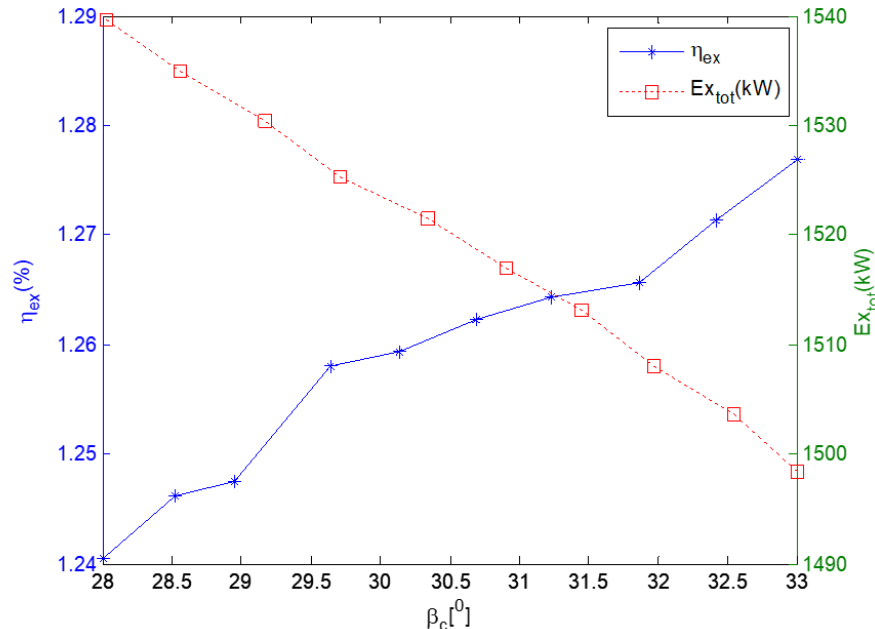
انرژی های خروجی افزایش یافته و همچنین تمام پارامترهای تشکیل دهنده انرژی خروجی از سیستم، به زاویه کلکتور نسبت به افق وابسته می باشد. انرژی ورودی به سیستم، انرژی خورشیدی بوده و انرژی کل ورودی به سیستم از ۱۶۴۸ به ۱۶۱۵ کیلووات کاهش می یابد.

در شکل (۱۱) تاثیر افزایش زاویه کلکتور نسبت به افق بر روی انرژی کل ورودی و راندمان حرارتی نشان داده شده است. همان طور که از شکل پیداست میزان انرژی کل ورودی به سیستم که همان انرژی خورشیدی می باشد، با افزایش زاویه، کاهش خواهد یافت و میزان راندمان اندکی افزایش خواهد داشت.



شکل (۱۱): تاثیر زاویه کلکتور نسبت به افق بر روی انرژی های ورودی و راندمان حرارتی

شکل (۱۲) تاثیر زاویه کلکتور نسبت به افق بر روی اگزرژی را نشان می‌دهد. پارامترهای موثر بر اگزرژی کل، شامل کندانسور، اوپراتور و مقدار توان خالص خروجی از سیستم می‌باشد. با توجه به نمودار، میزان راندمان اگزرژی نیز افزایش خواهد یافت؛ همچنین میزان اگزرژی کل نیز کاهش خواهد یافت.



شکل (۱۲): تاثیر زاویه کلکتور نسبت به افق بر راندمان اگزرژی و اگزرژی سوخت

۴- نتیجه گیری

در این مقاله، تحلیل انرژی و اگزرژی یک سیستم سیکل رانکین آلی دوگانه با منبع حرارتی انرژی خورشیدی انجام شده است. عملکرد سیستم در طول شبانه روز، بیشترین تابشی که به کلکتور رسیده، مورد بررسی قرار گرفته است و پس از آن تحلیل انرژی و اگزرژی با مواد تغییر فازدهنده بررسی شد. سپس بهینه سازی سیکل رانکین دوگانه با مواد تغییر فازدهنده به کمک الگوریتم بهینه سازی PSO به صورت تک هدفه و چند هدفه مورد بررسی قرار گرفت. هدف از بهینه سازی در واقع بیشینه کردن راندمان حرارتی و راندمان اگزرژی می‌باشد. برخی از دیگر نتایج

پس از حل سیکل رانکین دوگانه با ماده تغییر فازدهنده، مسئله با الگوریتم بهینه سازی PSO به صورت تک هدفه و چند هدفه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، که حاصل این بررسی به شکل زیر می‌باشد:

۱. راندمان حرارتی سیستم، ۲۲/۳ به دست آمده که در حالت بهینه سازی تک هدفه به حداکثر راندمان حرارتی تا ۳۳/۲ بهبود می‌یابد که این میزان بهبود در حالت چند هدفه تقریباً برابر با ۲۷/۲۷ درصد می‌باشد.

۲. راندمان اگزرژی ۱/۳۱ درصد به دست آمده که در حالت بهینه سازی تک هدفه تا ۱/۷۱۹ درصد بهبود یافته است. همچنین این بهبود در حالت بهینه سازی چند هدفه تقریباً برابر با ۱/۵۲۹ درصد شده است.

۳. مجموع سطح مبدل‌ها برابر با ۸۷۸/۷ مترمربع بوده که هدف، کاهش سطح مبدل‌ها به منظور کاهش هزینه ساخت می‌باشد. در بهینه سازی تک هدفه سطح مبدل‌ها تا ۵۲۵ مترمربع کاهش یافته است و در بهینه سازی چند هدفه سطح مبدل‌ها برابر با ۶۵۸/۵ مترمربع شده است.

منابع

۱. اکبری ن، شیخی س. ۱۳۹۶. بهینه سازی و تحلیل انرژی پیشرفته سیکل کلاسیوس-رانکین با پیش گرمکن آب تغذیه برای استفاده در نیروگاه های خورشیدی. ماهنامه علمی-پژوهشی مهندسی مکانیک تربیت مدرس، ۱۵ (۱۰): ۲۴۹-۲۵۸.
۲. باسپور م، عقابی ف، زائری م. ۱۳۷۶. بررسی و مقایسه اقتصادی و امکان سنجی ساخت نیروگاه های بادی در ایران. سمینار کاربرد انرژی های نو، بهمن.
۳. خلیلزاده باویل و محمودی مهر ج. ۱۳۹۶. مدل سازی و بهینه سازی عملکرد شبه پایای یک نیروگاه خورشیدی مجهز به سیستم ذخیره سازی انرژی گرمایی. ماهنامه علمی-پژوهشی مهندسی مکانیک تربیت مدرس، ۱۵ (۱۰): ۲۴۹-۲۵۸.
۴. جهانگیری م. ۱۳۹۰. بهینه سازی چرخه ایده آل رانکین با استفاده از روش الگوریتم PSO. اولین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین نگهداشت انرژی. پژوهشگاه نیرو، تهران.
۵. شعربافیان ن. ۱۳۸۶. برآورد پتانسیل فنی و اقتصادی انرژی خورشیدی حرارتی در ایران: راهکاری برای توسعه پایدار انرژی خورشیدی. فصلنامه مطالعات اقتصادی انرژی، ۴ (۱۵): ۳۵-۵۳.
۶. میراحمدی گلرودباری س ع، کلتی م. ۱۳۹۳. تحلیل انرژی و انرژی سیکل رانکین دو مرحله ای با بازیاب. دومین همایش ملی انتقال حرارت و جرم ایران. سمنان.
۷. نصیری ج. ۱۳۷۶. سیاست وزارت نیرو درباره توسعه کاربرد انرژی باد در ایران، سمینار کاربرد انرژی های نو، بهمن. نیکبخت ناصراباد ص، مبینی ک، مهرپناهی ع، علی گودرز م ر. ۱۳۹۳. بهینه سازی بازتوانی نیروگاه بخار بندرعباس توسط الگوریتم PSO. مجله مهندسی تربیت مدرس (۴۴): ۳: ۶۲-۵۳.
8. Abbaspour M, Atabi F, Hennicke P, Irrek W, Brouns B, Nikolaus S. 2005. Climate Policy and Sustainable Development: Opportunities for Iranian-German Cooperation. Case Study: Solar Thermal Energy in Iran. Center for Environment and Energy Research and Studies, 19-34.
9. Adeli H, Cheng NT. 1993. Integrated genetic algorithm for optimization of space structures. Journal of Aerospace Engineering, 6(4): 315-328.
10. Adeli H, Cheng NT. 1994. Concurrent genetic algorithms for optimization of large structures. Journal of Aerospace Engineering, 7(3): 276-296.
11. Afsharzade N, Papzan A, Ashjaee M, Delangizan S, Passel VS, Azadi H. 2016. Renewable energy development in rural areas of Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 65: 743-755.
12. Boyaghchi FA, Heidarnejad P. 2015. Energy and exergy analysis and optimization of a μ -solar- driven combined ejector-cooling and power system based on organic Rankine cycle using an evolutionary algorithm. Scientia Iranica B, 22(1): 245-257.
13. Bryszewska-Mazurek A, Świeboda T, Mazurek W. 2011. Performance Analysis of a Solar-Powered Organic Rankine Cycle Engine. Journal of the Air & Waste Management Association, 61: 3-6.
14. Cengel YA, Boles MA, Kanoğlu M. 2011. Thermodynamics: an engineering approach vol. 5. McGraw-Hill New York.
15. Huang MW, Hsieh CC, Arora JS. 1997. A genetic algorithm for sequencing type problems in engineering design. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 40(17): 3105-3115.
16. Jenkins WM. 1991. Towards structural optimization via the genetic algorithm. Computers & Structures, 40(5): 1321-1327.
17. Mishra SHR, Khan Y. 2017. Exergy and energy analysis of modified organic Rankine cycle for reduction of global warming and ozone depletion. International Journal of Research in Engineering and Innovation, 1(3): 1-12.

18. Noorpoor AR, Hamedia D, Hashemian N. 2017. Optimization of parabolic trough solar collectors integrated with two stages Rankine cycle. *Journal of Solar Energy Research*, 22: 61-66.
19. Padilla RV, Fontalvo A, Demirkaya G, Martinez A, Quiroga A. G. 2014. Exergy analysis of parabolic trough solar receiver. *Applied Thermal Engineering*, (67): 579-586.
20. Rabl A. 1985. *Active solar collectors and their applications*. Oxford University Press.
21. Rajeev S, Krishnamoorthy, CS. 1992. Discrete optimization of structures using genetic algorithms. *Journal of structural engineering*, 118(5): 1233-1250.
22. Tiwari AK, Hasan MM, Islam M. 2013. Exergy analysis of combined Cycle Power Plant: NTPC Dadri, India. *International Journal of Thermodynamics*, 16(1): 36-42.
23. Tyagi S, Wang S, Singhal M, Kaushik S, Park S. 2007. Exergy analysis and parametric study of concentrating type solar collectors. *International Journal of Thermal Sciences*, 46: 1304 -1310.