بهینه سازی سیکل ترکیبی با استفاده از الگوریتم های ژنتیک(GA) و بهینه سازی دسته ذرات (PSO)

احسان طاهری پور
دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول
taheripour.ehsan@gmail.com

محمدرضا عصاری
استادیار دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول
Mr.aszsari@yahoo.com

افشین قنبر زاده
استادیار دانشگاه شهید چمران
ghanbarz@yahoo.com

سید سجاد موسوی اصل
دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول
s.mousaviasl@gmail.com

* دریافت: شهریور ماه ۹۱ ،* اصلاح: مهرماه ۹۱، * تایید: آبان ماه ۹۱
صفحه های: ۶۵تا ۷۱

چکیده:

در این مقاله، سیکل ترکیبی بصورت کامل مدلسازی شده و پس از تحلیل انرژی و اگزرژی، تابع برازش مناسب تعریف و بهینه سازی آن توسط الگوریتم های ژنتیک و بهینه سازی دسته ذرات انجام شده است. لازم به ذکر است سیکل های ترکیبی از طراحی پیچیده ای برخوردار بوده و اعمال هر تغییر در طراحی، بر متغیرهای زیادی به صورت مستقیم و غیر مستقیم تاثیر گذار می باشد. اگرچه در گذشته تلاشهای زیادی به منظور بهینه سازی تک تک اجزاء اینگونه سیکل ها انجام شده ولی بهینه سازی کامل سیکل ترکیبیبخاطر پیچیدگی های موجود، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. صحت مدلسازی انجام شده در این مقاله توسط مقایسه نتایج بدست آمدهاز مدل، با نتایج آزمایشی سیکل واقعی به اثبات رسیده اند. از جمله نتایج قابل توجه در اعمال محدودیت های در نظر گرفته شده در حل مسئله حذف برخی محدودیتهای بهینه سازی پینچ میباشد که پس از بررسی نتایج مشاهده شده است که حذف این محدودیت ها در نتایج بهینه سازی اثرات مطلوبی داشته است و همچنین تحلیل هایی در خصوص مقایسه نتایج الگوریتم ها و کاهش تلفات و نابودی اگزرژی انجام پذیرفته که منجر به طراحی بهینه ی نقاط بحرانی سیکل شده است.

کلمات کلیدی: سیکل ترکیبی ، مدلسازی، تحلیل اگزرژی، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه سازی دسته ذرات

۱. مقدمه

اجرای برنامه های مدون در زمینه بهینه سازی بخش انرژی، به طور قطع می تواند به شکوفایی هر چه بیشتر اقتصاد کشور و نیز ارتقا جایگاه ایران در بازارهای جهانی انرژی بینجامد. هدف از بهینه سازی مصرف انرژی، افزایش راندمان و بهبود عملکرد سیکل های تولید توان و همچنین کاهش اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از تولید انرژی است.از این رو اهمیت دادن به مباحث صرفه جویی انرژی با توجه به سهم بالای مصرف انرژی در صنایع، تاثیرات قابل توجهی درپیشرفت وتوسعه کشورها به دنبال خواهدداشت. تولید همزمان برق و حرارت روشی برای صرفه جویی انرژی است که در آن برق و حرارت به شکل توأم تولید می شوند.در فرایندهای نیروگاهی مقدار قابل توجهی حرارت از تجهیزات مختلف به هدر می رود که عمده این حرارت قابل بازیافت است و می تواند به منظور بر طرف نمودن نیاز های گرمایی در بخش های مختلف مورد استفاده قرار گیرد. در بیشتر موارد آنچه که با هدف بهینه‌سازی انجام می‌شود صرفا بهبود است و تفاوت روشنی بین فرایندبهبود و یافتن نقطه بهینه وجود دارد.[۱، ۲]

۲. تحلیل سیکل ترکیبی

سیکل ترکیبی مورد بررسی شامل دو بخش اصلی میباشد که عبارتند از سیکل گاز و سیکل بخار که در شکل ۱ نشان داده شده است. در آغاز تحلیل انرژی فرض مینماییم هوا شامل چهار جز نیتروژن، اکسیژن، دی اکسید کربن و بخار آب میباشد و همچنین خواص هریک از اجزا با دما متغییر در نظر گرفته میشود و نیز از روابط درونیابی شده به منظور تعیین انتالپی و انتروپی اجزا استفاده مینماییم.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1389.1.3.8.1]

در آغاز تحلیل انرژی فرض مینماییم هوا شامل چهار جز نیتروژن، اکسیژن، دی اکسید کربن و بخار آب میباشد و همچنین خواص هریک از اجزا با دما متغییر در نظر گرفته میشود و نیز از روابط درونیابی شده به منظور تعیین انتالپی و انتروپی اجزا استفاده مینماییم.[۴]

برخی از فاکتورهای سنجش عملکرد سیکل شامل، بهره وری سوخت و نسبت انرژی الکتریکی تولیدی به بخار تولیدی و بازده اگزرژی به صورت زیر تعریف میگردند.[۵-۶]

$$FUE = \frac{\left(\dot{w}_{Net}\right)_{Plant} + \Delta\dot{H}_{Process}}{\dot{m}_{Fuel}.LHV} \quad (۱)$$

$$PHR = \frac{\left(\dot{w}_{Net}\right)_{Plant}}{\Delta\dot{H}_{Process}} \quad (۲)$$

$$\varepsilon_{Plant} = \frac{(\dot{W}net)_{Plant} + \Delta\dot{E}_{Process}}{\dot{E}_F} \quad (۳)$$

۳. تابع برازش

تابع برازش را برای سیکل نمونه به صورت زیر تعریف می کنیم:

$$Fitness\ Fun. = w_{FUE}(1 - FUE) + w_{PHR}(\frac{1}{PHR}) + w_{\varepsilon}(1 - \varepsilon_{Plant}) + w_{Process\ EX.}\left|\dot{E}_{Process} - \dot{E}_{Process\ Original\ Cycle}\right| + w_{T_{Out\ HRSG}}\left|T_{Out\ HRSG} - T_{Out\ HRSG\ Original\ Cycle}\right| \quad (۴)$$

در جمله آخر $\dot{E}_{Process}$ میزان اگزرژی ارسالی به فرایند جانبی بوده و تعیین شرایط آن از پیش، در واقع تعیین دما و فشار بخار ارسالی می باشد و آزادی عمل را از الگوریتم بهینه سازی در تعیین مقادیر بهینه فشار و دمای بخار فشار متوسط می گیرد، از این رو سعی شده تا حد ممکن مقدار کل اگزرژی ارسالی به فرایند توسط الگوریتم به اگزرژی ارسالی در سیکل واقعی (اگزرژی مورد نیاز) نزدیک بوده ولی فشار و دمای جریان بخار آزاد باشند. در مورد دمای خروجی از دودکش مبدل بازیاب حرارتی نیز به همین روش عمل می کنیم. در صورتی که بخواهیم آن را از پیش تعیین کنیم لازم است محاسبات را از سمت انتهای مبدل بازیاب انجام دهیم. این عمل باعث می شود مقادیر اکثر پارامترهای سیکل از پیش تعیین و غیر قابل تغییر باشند که در آن صورت آزادی عمل لازم برای بهینه سازی وجود نخواهد داشت. لازم به ذکر است که جملات تشکیل دهنده تابع برازندگی به گونه ای تعریف شده اند که در صورت کمینه کردن مقدار این تابع، مقادیر بیشینه آنها بدست آید.

به منظور بررسی صحت مدلسازی انجام شده، از نتایج اندازه گیری شده سیکل بیلکنت۳۸ که توسط کولپان۳۹ ارائه شده است استفاده مینماییم.لازم به ذکر است که سیکل تولید همزمان در این پروژه به نحوی انتخاب شده است که با سیکل بیلکنت تشابه کامل داشته و تمامی اجزای سیکل ها در شرایطی کاملا مشابه عمل مینمایند. دلیل این انتخاب در دست بودن اطلاعات اندازه گیری شده کافی از سیکل مورد نظر بوده است که این اطلاعات برای تایید صحت مدلسازی انجام شده لازم و ضروری میباشند. در جدول ۱ نتایج اندازه گیری شده سیکل بیلکنت، نتایج محاسبه شده توسط مدلسازی و درصد خطای مدلسازی برای تمامی نقاط سیکل نشان داده شده است.

۴. نتیجه گیری

مقادیر ورودی یا پارامترهای ترمودینامیکی سیکل (متغیرهایی که با تعیین صحیح مقدار آنها، فاکتورهای سنجش سیکل بهینه می شوند)،در واقع همان متغیرهایی هستند که توسط الگوریتم های بهینه سازی و پس از تکرارهای متوالی به عنوان مقادیر بهینه تعیین شده اند. این مقادیر در حالت اول که اختلاف دماهای پینچ و نزدیکی ثابت و مشخص فرض می شوند به تعداد ۱۰ پارامتر شامل (P5، P16، P19، P22، x1، x2، x3، T1، Excess Air، rp) و یا به ترتیب: فشار هوازدا، فشار بخار کم فشار، فشار بخار فشار متوسط، فشار بخار فشار بالا، نسبت دبی آب پمپ فشار بالا به مجموع دبی پمپ های آب تغذیه فشار متوسط و بالا، نسبت دبی بخار خروجی از طبقه میانی به کل دبی عبوری از توربین بخار، نسبت دبی آب ارسالی به دی سوپرهیتر به کل آب تغذیه فشار متوسط، دمای بخار ورودی به توربین، درصد هوای نظری احتراق در سیکل گاز و نسبت فشار سیکل گاز می باشد. و در حالت دوم با آزاد فرض نمودن اختلاف دماهای پینچ و نزدیکی (تعیین مقدار آنها توسط

38- Bilkent Cycle
39- Can OzourColpan

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1389.1.3.8.1]

الگوریتم) تعداد متغیرها به ۱۴ عدد افزایش می یابد. چهار متغیر اضافی نسبت به حالت قبل در واقع همان اختلاف دماهای پینچ و نزدیکی در هر یک از مبدل های (تبخیر کننده ها) مربوط به دیگ های تولید فشار متوسط و بالا می باشند ($IPp.p = Ta6 - Tb5$، $HPp.p = Ta4 -$ $Tb9$، $IPa.p = Tb5 - Tb4$، $HPa.p = Tb9 - Tb8$) که برای سیکل واقعی تماما مقدار ثابت ۱۰°C را دارا می باشند. نتایج محاسبه شده در جدول ۲ آمده است. همانطور که در جدول ۲ می بینیم روند مشخصی برای تغییر این پارامترها در الگوریتم های مختلف وجود ندارد. بنابراین نمی توان تغییر یک پارامتر را به تنهایی عامل بهبود عملکرد سیکل تلقی نمود. البته در تمام حالت های ذکر شده تنها نسبت فشار سیکل گاز است که مقدار ثابتی را اختیار نموده و تقریبا برابر حداکثر مقدار مجاز ممکن تعیین شده است. این امر نشان دهنده تاثیر این پارامتر در بهبود توابع هدف می باشد. یعنی افزایش نسبت فشار سبب افزایش راندمان سیکل می گردد. البته محدودیت های ساخت را نیز باید در نظر داشت. نکته دیگری که از مقادیر بدست آمده نتیجه می شود، امکان دستیابی به مقادیر بهینه توابع هدف به ازاء ورودی های مختلف است. با مقداری توجه در میبابیم که نتایج حاصله از حالت هایمختلف بالا در فضای جستجو پراکنده هستند. اگر چه تفاوت هایی بین جوابهای مختلف وجود دارد، اما در شرایط طراحی واقعی سیکل ها، محدودیت های اقتصادی نیز می تواند در ارجحیت یک جواب بر دیگری موثر باشد. تفاوت دیگری که در نتایج خروجی الگوریتم ها وجود دارد، دستیابی به مقادیر بالاتر توابع هدف در کنار استفاده از اختلاف دماهای پینچ و نزدیکی بالاتر می باشد. این امر امکان استفاده از مبدل های با سطح تبادل حرارت کمتر و در واقع کوچکتر و ارزانتر را ممکن می سازد که خود سبب کاهش هزینه های ساخت و تعمیر در استفاده و بکارگیری این مبدل ها می باشد.

۵. نتیجه گیری

۵-۱. نتایج الگوریتم های ژنتیک و بهینه سازی دسته ذرات در بهبود توابع

در جدول ۳ نتایج بدست آمده از هریک از الگوریتم ها در دو هر حالت ارائه شده است. حالت اول با ثابت در نظر گرفتن اختلاف دماهای پینچ و نزدیکی و در حالت دوم با آزاد در نظر گرفتن این دماها. قابل توجه میباشد که در هر دو الگوریتم بهینه سازی که در بهینه کردن این سیکل به کار گرفته شده اند، نتایج در حالت دوم یعنی با فرض آزاد بودن دماهای پینچ و نزدیکی بسیار بهتر از حالت اول که دماها ثابت فرض شده اند می باشد. این نتایج برتری استفاده از الگوریتم های هوشمند بهینه سازی بر روش بهینه سازی پینچ را در افزایش کارایی سیکل های تولید همزمان نشان می دهد. همچنین نتایج مذکور را میتوان در نمودارهای ۱ الی ۴ مشاهده نمود.

۵-۲. نابودی و اتلاف اگزرژی

در این بخش به بررسی میزان نابودی اگزرژی در اجزای مختلف سیکل تولید همزمان میپردازیم. در جدول ۴ نابودی اگزرژی محاسبه شده تک تک اجزای سیکل نمونه نشان داده شده است. کل نابودیاگزرژی برابر با مجموع نابودی اگزرژی تک تک اجزاء یا زیر مجموعه های سیکل میباشد. پس از بهینه سازی توسط الگوریتم ژنتیک میزان کلی اتلاف اگزرژی در دوحالت(اختلاف دمای پینچ و نزدیکی ثابت و آزاد) بهبود یافته است و البته نتایج با آزاد فرض نمودن دماهای مذکور مطلوبتر میباشند. همانطور که به وضوح دیده میشود تاثیر آزاد بودن دماهای پینچ و نزدیکی و تعیین مقدار بهینه آنها توسط الگوریتم های بهینه سازی بر کاهش میزان نابودی اگزرژی کاملا مشهود است. نکته دیگری که از نتایج ارئه شده در جدول ۴ قابل برداشت است شناسایی تجهیزاتی است که در نابودی اگزرژی سهم عمده ای دارند. این تجهیزات عبارتند از: مجموعه تولید کننده گاز، مبدل بازیافت حرارت، توربین بخار، برج خنک کننده و توربین تولید توان سیکل گاز. گرچه پس از بهینه سازی توسط هریک از الگوریتم ها میزان کلی نابودی اگزرژی سیکل کاهش چشمگیری داشته است ولی همچنان بخش قابل توجهی از اگزرژی به خاطر بازگشت ناپذیر بودن فرایند احتراق قابل استحصال نخواهد بود. نابودی اگزرژی در بعضی از تجهیزات مستقل از دبی بخار ارسالی به فرایند جانبی است. مثلا کمپرسور تزریق متان به محفظه احتراق و نیز بخش تولید کننده گاز و توربین تولید توان از سیکل گاز مستقل از دبی بخار فرایند و بصورت سیکل بالادستی عمل می نمایند. از این رو تغییرات مشاهده شده در میزان نابودی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1389.1.3.8.1]

اگزرژی تجهیزات فوق در جدول ۴ مستقل از دبی بخار و فقط به دلیل تغییر دبی هوای نظری (تاثیر گذار روی ترکیب جریان) و یا حتی تغییرات جزیی نسبت فشار میباشد. لازم به ذکر است که نتایج الگوریتم بهینه سازی گروهی از الگوریتم ژنتیک مطلوب تر میباشد. در سیکل تولید همزمان مورد بررسی،با صرف نظر از اتلافات اجزاء سیکل، دفع حرارت به محیط از چند طریق انجام می شود: دودکش خروجی مبدل بازیافت حرارت، برج خنک کننده و کولر خنک کننده متان. باید توجه نمود که اگر چه میزان انرژی دفع شده از برج خنک کننده نسبتا زیاد است، ولی به علت دبی بالای هوای در حال گردش در برج، تغییر دمای هوا در آن نسبتا ناچیز است. چنانچه حجم کنترل اطراف آن به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفته شود، هوا تقریبا در دمای محیط با هوای محیط مخلوط می گردد و از این رو اتلاف اگزرژی چندانی نخواهد داشت. در مورد کولر خنک کننده متان نیز همین اصل صادق است. پس تنها محل عمده اتلاف اگزرژی از سیکل جریان خروجی از دودکش مبدل بازیافت حرارت می باشد. میزان اتلاف اگزرژی و درصد بهبود آن در حالات مختلف در جدول ۵ نشان داده شده است.

۵-۳. مقایسه ی الگوریتم ها

مقایسه الگوریتم های بهینه سازی مورد استفاده در این پروژه می تواند از چند منظر انجام گیرد. از دید مقایسه مقدار تابع برازش که هدف کمینه کردن آن است و یا مقادیر کار خالص سیکل، نسبت توان الکتریکی به حرارتی، بازده انرژی و بازده اگزرژی که هدف بیشینه کردن تک تک آنهاست. همانگونه که در جدول ۶ مشاهده می گردد، نتایج پارامترهای ذکر شده برای هر یک از الگوریتم ها در هر دو حالت ثابت و آزاد اختلاف دماهای پینچ و نزدیکی آمده است. اگر چه در هر دو حالت تمامی الگوریتم ها نسبت به سیکل واقعی نتایج بهتری داشته و کارایی آن را بهبود بخشیده اند، ولی کیفیت جوابهای آنها تفاوت نسبتا زیادی دارد. در مقام مقایسه باید گفت الگوریتم زنبورعسل از الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری نشان می دهد. با توجه بیشتر به نتایج در حالت دوم در جدول ۶ در می یابیم که چنانچه اختلاف دمای پینچ و نزدیکی آزاد باشد، فواصل نتایج الگوریتم ها از هم بیشتر شده و درصد های بهبود الگوریتم زنبورعسل و ژنتیک بیشتر خواهد گردید.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1389.1.3.8.1]

جدول۱ نتایج اندازه گیری شده سیکل بیلکنت، نتایج محاسبه شده توسط مدلسازی و خطای مدلسازی

	Bilkent Data			Model Data			Errors		
State	Flow(kg/s)	Pressure(bar)	Temperature	Flow(kg/s)	Pressure(bar)	Temperature	Flow	Pressure	Temperature
fuel A1	1.45	16.00	15.00	1.45	16.00	15.00	0.00	0.00	0.00
fuel A2	N.A	N.A	N.A	1.45	40.00	98.01	-	-	-
fuel D	1.45	40.00	35.00	1.45	40.00	35.00	0.00	0.00	0.00
Air B	N.A	1.01	15.00	208.83	1.01	15.00	-	0.00	0.00
Air C	N.A	1.01	16.00	208.83	1.01	16.00	-	0.00	0.00
G1	84.43	1.01	15.00	84.54	1.01	15.00	0.13	0.00	0.00
G2	N.A	N.A	N.A	84.54	4.65	197.20	-	-	-
G3	N.A	N.A	N.A	83.84	4.65	197.20	-	-	-
G4	N.A	N.A	N.A	83.84	21.30	479.66	-	-	-
G5	N.A	N.A	N.A	73.47	21.30	479.66	-	-	-
G6	N.A	N.A	N.A	74.92	19.59	1152.78	-	-	-
G7	N.A	N.A	N.A	76.75	19.59	1138.48	-	-	-
G8	N.A	N.A	N.A	76.75	7.39	904.60	-	-	-
G9	N.A	N.A	N.A	82.44	7.39	877.92	-	-	-
G10	N.A	N.A	N.A	82.44	3.53	728.97	-	-	-
G11	85.79	3.59	733.60	85.88	3.53	722.82	0.10	-1.72	-1.47
G12	85.79	1.06	494.65	85.88	1.06	489.40	0.10	0.00	-1.06
a1	85.79	1.06	494.65	85.88	1.06	489.40	0.10	0.00	-1.06
a2	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	-	-	-
a3	N.A	N.A	N.A	85.88	1.06	438.76	-	-	-
a4	N.A	N.A	N.A	85.88	1.06	268.78	-	-	-
a5	N.A	N.A	N.A	85.88	1.06	241.96	-	-	-
a6	N.A	N.A	N.A	85.88	1.06	211.38	-	-	-
a7	N.A	N.A	N.A	85.88	1.06	172.02	-	-	-
a8	85.79	1.01	130.00	85.88	1.06	131.76	0.10	5.00	1.35
1	9.53	46.00	450.00	9.53	46.00	450.00	0.00	0.00	0.00
2	2.44	16.00	335.70	2.44	16.00	321.42	0.00	0.00	-4.25
3	7.09	0.07	38.97	7.09	0.07	39.00	0.00	0.00	0.08
4	7.09	0.07	38.97	7.09	0.07	39.00	0.00	0.00	0.08
5	7.09	6.50	39.17	7.09	6.50	39.03	0.00	0.00	-0.35
6	1.38	16.00	201.30	1.38	16.00	201.38	0.00	0.00	0.04
7	3.82	16.00	283.72	3.82	16.00	274.82	0.00	0.00	-3.14
8	4.17	16.00	201.30	4.17	16.00	201.38	0.00	0.00	0.04
9	4.17	13.00	191.64	4.17	13.00	191.38	0.00	0.00	-0.14
10	2.92	3.00	60.00	2.92	3.00	60.00	0.00	0.00	0.00
11	1.25	3.50	15.00	1.25	3.50	15.00	0.00	0.00	0.00
12	4.17	N.A	32.00	4.17	0.05	32.00	0.00	-	0.00
13	4.17	6.50	32.16	4.17	6.50	32.09	0.00	0.00	-0.23
14	11.26	6.50	36.58	11.26	6.50	36.46	0.00	0.00	-0.32
15	1.68	1.70	115.12	1.68	1.70	115.15	0.00	0.00	0.03
16	11.26	1.70	115.12	11.26	1.70	115.15	0.00	0.00	0.03
17	1.73	1.70	115.12	1.73	1.70	115.15	0.00	0.00	0.03
18	9.53	1.70	115.12	9.53	1.70	115.15	0.00	0.00	0.03
19	1.73	16.00	115.57	1.73	16.00	115.36	0.00	0.00	-0.18
20	0.35	16.00	115.57	0.35	16.00	115.36	0.00	0.00	-0.18
21	1.38	16.00	115.57	1.38	16.00	115.36	0.00	0.00	-0.18
22	9.53	46.00	116.50	9.53	46.00	115.79	0.00	0.00	-0.61
23	6.80	3.50	15.00	5.52	3.50	15.00	-18.85	0.00	0.00
24	6.02	3.90	15.12	6.05	3.90	15.07	0.55	0.00	-0.32
25	6.02	3.90	25.12	6.05	3.90	25.07	0.55	0.00	-0.19
b1	N.A	N.A	N.A	11.26	1.70	115.15	-	-	-
b2	N.A	N.A	N.A	1.68	1.70	115.15	-	-	-
b3	N.A	N.A	N.A	9.53	46.00	115.79	-	-	-
b4	N.A	N.A	N.A		16.00	191.38	-	-	-
b5	N.A	N.A	N.A		16.00	201.38	-	-	-
b6	N.A	N.A	N.A		16.00	201.38	-	-	-
b7	N.A	N.A	N.A		16.00	191.38	-	-	-
b8	N.A	N.A	N.A		46.00	248.78	-	-	-
b9	N.A	N.A	N.A		46.00	258.78	-	-	-
b10	N.A	N.A	N.A		46.00	258.78	-	-	-

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1389.1.3.8.1]

جدول ۲ مقادیر پارامترهای ترمودینامیکی سیکل واقعی و مقادیر بهینه شده توسط الگوریتم ها

Parameter	Description	C.S.	GA 1	GA 2	PSO 1	PSO 2	Unit	Range
P5	Deaerator Pressure	6.50	8.35	0.28	9.84	5.21	bar	0-10
P16	LP Steam Pressure	1.70	1.98	5.21	3.01	4.01	bar	0-10
P19	IP Steam Pressure	16.00	16.70	10.87	12.10	14.32	bar	10-20
P22	HP Steam Pressure	46.00	91.31	92.46	37.51	67.29	bar	30-70
x1	HP BFW to total BFW mass ratio	0.85	0.89	0.88	0.8361	0.99	-	0-1
x2	Steam Turbine IP flow ratio	0.26	0.52	0.31	0.6178	0.31	-	0-1
x3	Deasuperheater IP BFW ratio	0.20	0.06	0.03	0.7621	0.94	-	0-1
T1	Steam Turbine Inlet Temprature	450.00	389.10	515.39	630.26	404.36	˚C	200-650
Excess Air	Gas Turbine Excess Air Percent	293.10	173.21	181.55	160.58	108.16	%	100-400
rp	Gas Cycle Pressure ratio	4.58	4.58	4.58	4.5842	4.58	-	2-4.5848
IP P.P	IP Steam Drum Pinch Point	-	-	33.30	-	125.77	˚C	≥10
HP P.P	HP Steam Drum Pinch Point	-	-	25.91	-	443.42	˚C	≥10
IP A.P	IP Steam Drum Approach Point	-	-	27.25	-	17.76	˚C	≥10
HP A.P	HP Steam Drum Approach Point	-	-	56.27	-	53.76	˚C	≥10

جدول ۳ مقایسه توابع هدف سیکل پس از بهینه سازی با سیکل واقعی

	ΔT p.p and ΔT a.p are Locked					**ΔT p.p and ΔT a.p are Free**				
	fitness	Plant net work	PHR	FUE	ε Exergy	fitness	Plant net work	PHR	FUE	ε Exergy
Case Study	27.047	29272.151	2.695	0.553	0.436	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Optimization by GA	17.397	29560.978	2.709	0.558	0.441	15.719	33514.637	2.925	0.620	0.492
Improvement %	35.679	0.987	0.519	0.904	1.147	41.883	14.493	8.534	12.116	12.844
Optimization by PSO	16.879	30635.564	2.780	0.574	0.457	14.784	35185.476	3.180	0.637	0.513
Improvement %	37.594	4.658	3.154	3.797	4.817	45.340	20.201	17.996	15.190	17.661

جدول ٤ نابودی اگزرژی بخشهای مختلف سیکل

		ΔT p.p and ΔT a.p are Locked		**ΔT p.p and ΔT a.p are Free**	
Element	**Case Study**	**GA**	**PSO**	**GA**	**PSO**
Edest_fuelComp_fuelCooler	192.10	192.10	192.10	192.10	192.10
Edest_Gas_Generation	29311.77	21976.07	21314.27	22876.05	16226.55
Edest_Power_Tur_GasCycle	1403.38	1367.64	1357.38	1378.58	1248.21
Edest_HRSG	3162.21	12037.00	13418.70	5717.87	8866.28
Edest_Steam_Tur_Gen	2607.76	1846.27	491.18	2832.34	4252.81
Edest_Condensate_Pump	1126.41	499.38	312.96	1019.28	1396.91
Edest_DesuperHeater	52.89	1.15	270.44	12.42	8.33
Edest_HP_BFW	8.40	11.34	3.58	15.64	15.83
Edest_IP_BFW	0.52	0.26	0.22	0.21	0.04
SUM	37865.43	37931.22	37360.83	34044.49	32207.06

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1389.1.3.8.1]

جدول ۵ اتلاف اگزرژی سیکل در حالت های مختلف

	Exergy Loss	
	ΔT p.p and ΔT a.p are Locked	**ΔT p.p and ΔT a.p are Free**
Case Study	3875.570	N.A
Optimization by Genetic Algorithm	3412.370	3430.010
Improvement %	11.952	11.497
Optimization by PSO Algorithm	3391.160	3424.470
Improvement %	12.499	11.640

جدول ٦ مقایسه کارایی الگوریتم های بهینه سازی

	ΔT p.p and ΔT a.p are Locked					**ΔT p.p and ΔT a.p are Free**				
	fitness	net work	PHR	FUE	ε Exergy	fitness	net work	PHR	FUE	ε Exergy
Genetic Algorithm	17.397	29560.978	2.709	0.558	0.441	15.719	33514.637	2.925	0.620	0.492
PSO Algorithm	16.879	30635.564	2.780	0.574	0.457	14.784	35185.476	3.180	0.637	0.513
Imp. % (PSO to GA)	2.978	3.635	2.621	2.867	3.628	5.948	4.985	8.718	2.742	4.268

منابع:

1. Krishnamoorthy, C.S., Rajeev, S., 1996, Artificial Intelligence and Expert Systems for Engineers, CRC Press
2. Beightler, C.S., Philips, D.T., 1979, Foundations of Optimization, Englewood Cliffs,Printice-Hall.
3. Colpan, C.O., Tulay, Y., 2005, Energetic, Exergetic and Thermoeconomic analysis of Bilkent combined cycle cogeneration plant, international journal of energy research, Vol.30, 875–894.
4. Szargut, J., Morris, D.R., Steward, F.R.,1988,Exergy analysis of thermal, chemical, and metallurgical processes, Hemisphere, New York, pp.297-309.
5. Petchers, N., 2003, Combined Heating, Cooling and Power Handbook: Technologies and Applications, The Fairmont Press, Inc., Lilburn, Georgia.
6. Bejan, A., Tsatsaronis G., Moran M., 1996, Thermal design and optimization, John Wiley and Sons Inc., U.S.A.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-06-25]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1389.1.3.8.1]