

بهینه سازی ترمودینامیکی پارامترهای عملکردی سیکل تولید همزمان با استفاده از الگوریتم ژنتیک

محمد رضا عساری

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد
دزفول

Mr.assari@yahoo.com

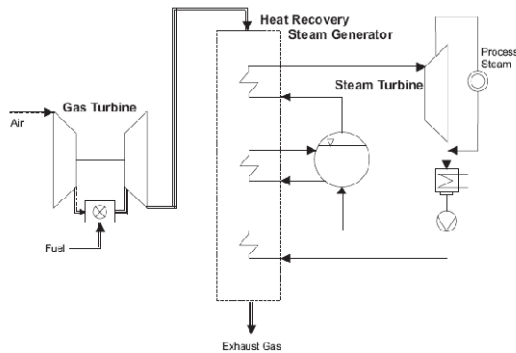
افشین قنبر زاده

استادیار دانشگاه شهید چمران
دزفول
ghanbarz@yahoo.com

سید سجاد موسوی اصل

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه
آزاد اسلامی واحد دزفول
s.mousaviasl@gmail.com

احسان طاهری پور

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

شکل ۱- اجزای کلی سیکل CHP

با توجه به اینکه بهینه سازی براساس توابع هدف متفاوتی مانند افزایش بازدهی، کاهش هزینه ها و یا افزایش سوددهی صورت می گیرد لازم به ذکر است که در این مقاله به بهینه سازی ترمودینامیکی سیکل بخار در نیروگاه های سیکل تولید همزمان می پردازیم. بدین منظور سیکل تولید همزمان با بویلر بازیاب سه فشاره مدلسازی شده و پس از تکمیل مدل، سیکل بخار، با توجه به مفاهیم قانون دوم ترمودینامیک بهینه میشوند. از آنجا که سیستم مورد بررسی، یک سیستم تولید توان می باشد؛ لذا هدف گذار ی در تحلیل این سیستم، تولید توان ماکزیمم و افزایش راندمان انرژی و انرژی می باشد و ما ناگزیر به بررسی کل سیکل بخار می باشیم [۲].

مدلسازی سیکل تولید همزمان

از آنجا که تشریح کامل مدلسازی سیکل بسیار مفصل و پیچیده می باشد در این بخش به اختصار به مبانی مدل سازی اشاره میگردد. برای مدلسازی خواص آب- بخار از آخرین استاندارد مربوطه تحت عنوان یاپس ۸ استفاده شده است. همانطور که در شکل (۲) ملاحظه می گردد، این استاندارد، منحنی فشار - دمای آب را به ۵ ناحیه تقسیم می کند و در هر ناحیه، یک چند جمله ای برای محاسبه خواص، بر مبنای توابع استاندارد گیبس و هلمهولتز، ارائه شده است که بقیه خواص به طور کامل بر مبنای آن محاسبه می گردند.

چکیده

طراحی سیکل تولید همزمان بسیار پیچیده بوده که علت این امر وجود دو سیکل تولید توان متفاوت است که توسط بویلر بازیاب به یکدیگر مرتبطند و هرگونه تغییری در طراحی، مستقیماً توان، بازدهی، هزینه ها و بسیاری از متغیرهای دیگر را تحت الشعاع قرار می دهد. محققین همواره در تلاش بوده اند راهی برای بهینه سازی اجزا و بخش های مختلف سیکل های تولید همزمان ارائه نمایند ولی بررسی کامل سیکل به دلیل پیچیدگی های منحصر بفرد خود کمتر مورد توجه بوده است. در این مقاله به مدلسازی کامل سیکل تولید همزمان، ارائه نتایج تحلیل انرژی، انرژی تعریف تابع برازش مناسب و سپس بهینه سازی مدل ارائه شده توسط ابزار توانمند الگوریتم ژنتیک میپردازیم همچنین صحت نتایج محاسبه شده توسط مقایسه با نتایج عملی سیکل دانشگاه بیلکنت به اثبات رسیده اند. لازم به ذکر است در این پژوهش برای اولین بار سیکل کامل تولید همزمان توسط الگوریتم ژنتیک بهینه شده است.

واژه های کلیدی: سیکل تولید همزمان، بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک، مدلسازی

مقدمه

امروزه انرژی یکی از مهمترین مباحث مطرح شده در بخش مهندسی است. با توجه به قیمت بالای انرژی و روند رو به کاهش منابع سوخت های فسیلی، توجه همگان به استفاده بهینه از انرژی و کنترل مصرف آن از طریق استفاده از سیستم های راندمان بالاتر و یا فناوری های جدیدتر معطوف شده است. شکل (۱) جزای کلی یک نیروگاه سیکل تولید همزمان بر پایه توربین گاز را نشان می دهد. در یک نیروگاه سیکل تولید همزمان تجهیزات به کار رفته از جمله کمپروسورها، توربین ها، پمپها و شیرآلات اکثراً به صورت کالاهای استاندارد تجاری در اندازه های مختلف وجود دارند و این در حالی است که بویلر بازیاب گرمای تولید کننده بخار^۷ از معدود اجزایی است که برای هر نیروگاه خاص و با توجه به شرایط آن ساخته میشود [۱].

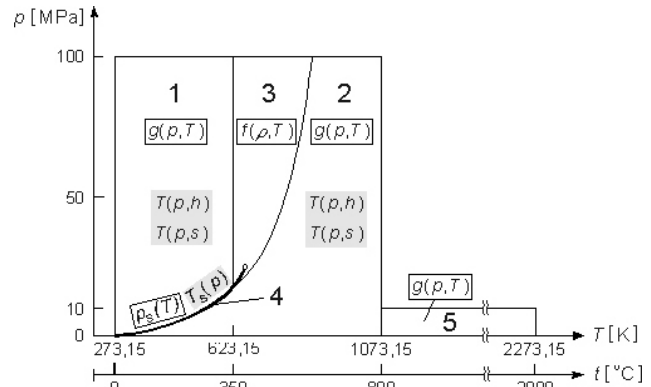
^۸ - IAWPS 97: International Association for Properties of Water and Steam 97

^۷ - Heat Recovery Steam Generator(HRSG)

جدول ۱-مقادیر خطا بر اساس استاندارد IAWPS97

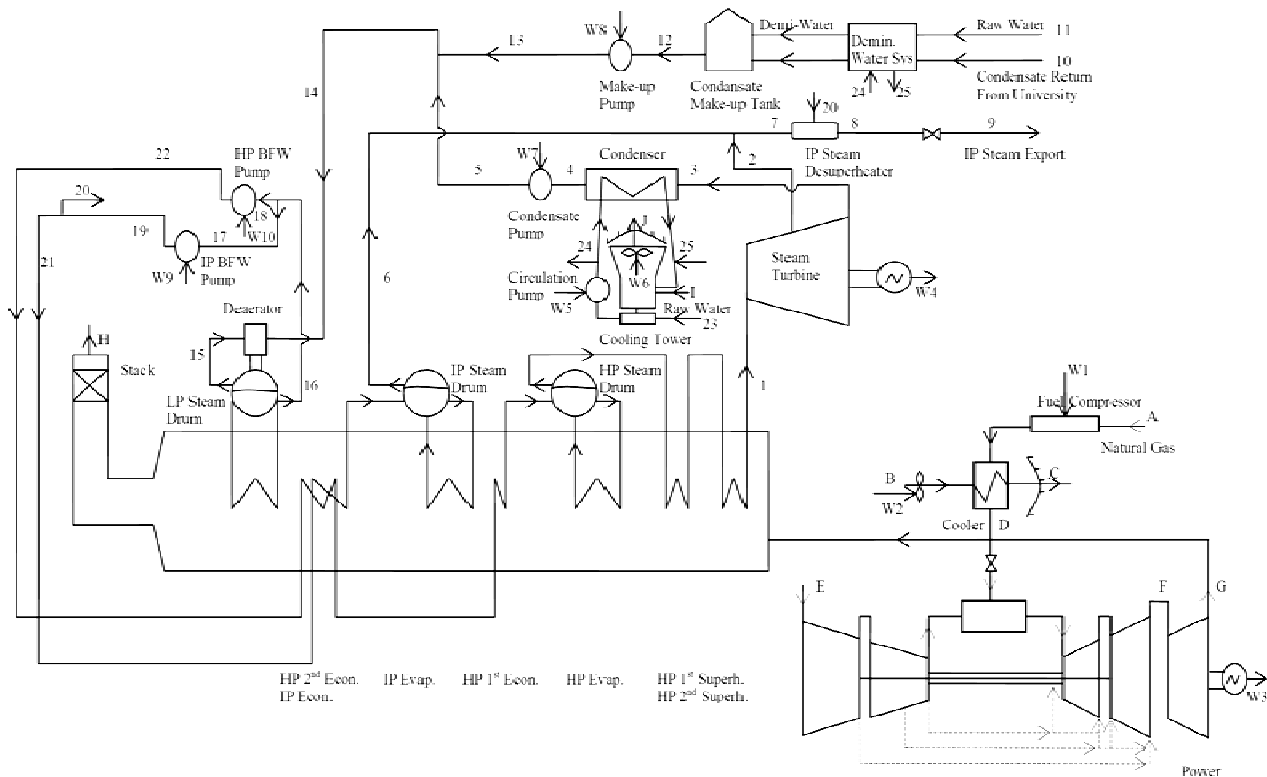
ناحیه تک فاز		ناحیه اشباع	
حجم ویژه	0.05 %	فشار اشباع	0.05 %
انتالپی	0.2 kJ/kg		
گرمای ویژه	1 %	دمای اشباع	0.02 %
انترپنی	0.0002kJ/(kg.k)		
انرژی آزاد گیبس	0.2 kJ/kg	انرژی آزاد گیبس	0.2kJ/kg

این دما که در نمودار، کمترین اختلاف دمای ممکن است، در محاسبات مربوط به سطح انتقال حرارت به شدت تاثیر می گذارد. هر چند از لحاظ ترمودینامیکی بهتر است که این دما در حداقل مقدار ممکنه خود باشد اما از لحاظ اقتصادی به دلیل نیاز به سطح تبادل گرمای بیشتر، مقداری بین ۸ تا ۲۵ کلونین را دارد [۴ و ۵]. اختلاف دمای بعدی که در شکل (۴) نشان داده شده است، دمای نقطه نزدیکی ۱۰ می باشد. اهمیت دمای نزدیکی، تقریباً در حدود دمای نقطه پینچ است و لذا در محاسبات باید این مساله نیز در نظر گرفته شود. لازم به ذکر است در این پژوهش بهینه سازی در دو حالت مختلف یکی با فرض ثابت در نظر دمای پینچ و نزدیکی و دیگری با فرض تخمین این دماها توسط الگوریتم ژنتیک بررسی شده است.



شکل ۲- ناحیه های عملکردی استاندارد IAWPS 97

حداکثر خطا برای هر یک از مقادیر مورد نظر به صورت جدول (۱) می باشد، با توجه به این جدول و پس از محاسبه خواص ترمودینامیکی آب-بخار در تمامی نقاط سیکل بخار با مبدل بازیاب سه فشاره که در شکل (۳) نشان داده شده است و با در نظر گرفتن دبی و دمای گازهای خروجی و ترکیب شیمیایی آن در خروج از توربین گاز؛ محاسبات را انجام می دهیم [۳].
با توجه به شکل (۴) اختلاف دمای نقطه پینچ ۹ به عنوان اختلاف دمای بین بخش خروجی تبخیر کننده گاز و بخش تبخیر کننده آب تعریف می شود [۱۱].



شکل ۳- شماتیک سیکل مورد بررسی

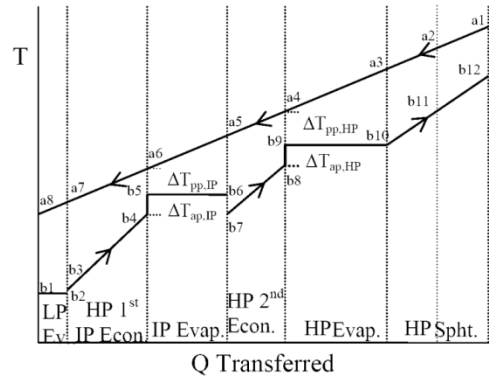
۱۰ - Approach point(ap.)

Pinch point(pp.)-۹

جدول ۲- ورودی ثوابت و توابع هدف

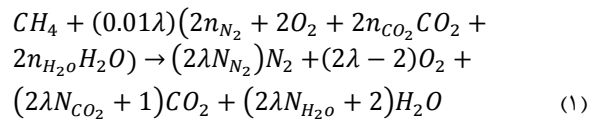
ورودی های برنامه		
محدودیت	واحد	متغیر
$0 < P5 < 10$	bar	فشار پمپ بعد از کندانسور P5
$0 < P16 < 10$	bar	فشار دیگ بخار کم فشار P16
$10 < P19 < 20$	bar	فشار دیگ فشار متوسط P19
$30 < P22 < 100$	bar	فشار دیگ فشار بالا P22
$0 < X1 < 1$	-	نسبت دبی بخار فشار بالا به فشار متوسط
$0 < X2 < 1$	-	نسبت جرمی بخار طبقه میانی به کل بخار ورودی توربین
$0 < X3 < 1$	-	نسبت جریان جرمی خنک کننده بخار دیسوپر هیتر به بخار فشار متوسط
$200 < T1 < 650$	OC	دمار بخار ورودی به توربین
$200 < \lambda < 400$	-	در صد جرمی هوای نظری توربین گاز
$2 < r_p < 5$	-	نسبت تراکم توربین گاز بخش مولد گاز
$Tb3 < Tb4 < Tb5$	OC	دمای بخار خروجی پیشگرمکن فشار متوسط و مرحله ی دوم فشار بالا Tb4
$Tb5 < Ta6 < Ta5$	OC	دمای گازخروجی تبخیر کننده ی فشار متوسط
$Tb7 < Tb8 < Tb9$	OC	دمای بخار خروجی پیشگرمکن فشار بالا
$Tb9 < Ta4 < Ta3$	OC	دمای گازخروجی تبخیر کننده ی فشار بالا
ثوابت		
ثابت	مقدار	ثابت
بازده پمپ های D, C, E و پمپ آب جبرانی	15	80 %
بازده توربین بخار	60 %	80 %
بازده کپرسورهای بخش تولید گاز	0.02	85 %
بازده کمپرسور تزریق سوخت	0.05	80 %
بازده توربین بخش تولید گاز	130	82 %
بازده توربین تولید توان سیکل گاز	0.98	91 %
بازده ژنراتورهای توربین بخار و گاز	30 %	98 %
فشار چگالنده	60	0.07
دبی سوخت	40	1.45
توابع هدف		
FUE		راندمان انرژی
εp		راندمان انرژی
PHR		نسبت کار تولیدی کل سیکل به انرژی ارسالی به فرایند

در این پژوهش هوا شامل چهار جز اکسیژن، نیتروژن دی اکسید کربن و بخار آب در نظر گرفته میشود و خواص هر یک از اجزا را نسبت به دما متغیر در نظر گرفته و از روابط درونیابی شده به منظور تعیین انتالپی و انتروپی استفاده مینماییم. سوخت مصرفی سیکل، گاز متان در نظر گرفته میشود.



شکل ۴ - منحنی دما بر حسب گرمای مبادله شده در سیکل سه فشاره

ورودی، ثوابت و توابع هدف برنامه نوشته شده به منظور بهینه سازی سیکل تولید همزمان مدلسازی شده، شامل پارامترها و متغیرهایی است که در جدول (۲) ارائه شده است. با مشخص بودن شرایط ورودی سیکل که در جدول (۲) به آنها اشاره شد و داشتن نسبت تراکم و روابط درونیابی شده میتوان به ترتیب شرایط بعد از مراحل اول و دوم کمپرسور را محاسبه نمود [۷و ۶]. از رابطه (۱) به منظور محاسبه ی دبی هوای مورد نیاز احتراق با داشتن درصد هوای تئوری و دبی جرمی سوخت مصرفی استفاده مینماییم



رابطه فوق بیانگر واکنش گاز متان با درصد هوای تئوری λ و هوای ورودی سیکل با ترکیب مولی مشخص میباشد. دمای آدیاباتیک شعله با نوشتن بالانس انرژی روی محفظه احتراق و با فرض عدم وجود تلفات حرارتی بدست می آید. گاز خروجی از محفظه احتراق در دو مرحله در توربین های فشار بالا و فشار پایین منبسط شده به نحوی که فقط کار کمپرسور نظیر خود را تامین مینماید و سپس گاز خروجی از توربین دوم وارد توربین تولید توان میشود و تا اندکی بالاتر از فشار محیط منبسط میشود این اختلاف فشار جزئی صرف غلبه بر مقاومت مسیر بویلر بازیاب میگردد [۸] استفاده از روابط ترمودینامیکی حاکم بر سیکل و استفاده از جداول ترمودینامیکی، نوبت به تعیین کار و بازده کل سیکل توسط روابط (۲) الی (۵) میگردد [۹].

$$\dot{W}_{\text{bottoming-cycle}} = \dot{W}_{\text{Generator}} - (\sum \dot{W}_{\text{Pumps}}) \quad (2)$$

$$(\dot{W}_{\text{net}})_{\text{plant}} = (\dot{W}_{\text{net}})_{\text{Gas cycle}} - \dot{W}_{\text{Bottoming cycle}} \quad (3)$$

$$FUE = \frac{(\dot{W}_{\text{net}})_{\text{plant}} - \dot{W}_{\text{Bottoming cycle}}}{(\dot{m}_{\text{fuel}}) \cdot LHV} \quad (4)$$

تحول ۱۷ اقدام به انتخاب ۱۸ براننده ترین کروموزوم ها نمود. این فرآیند موظف به گلچین کردن کروموزوم های براننده در میان والدین و اولاد میباشد بطوریکه تعداد کروموزوم های منتخب برابر با اندازه جمعیت اولیه باشد. فرآیند انتخاب مبتنی بر مقدار برانندگی ۱۹ هر رشته است. در حقیقت فرآیند ارزیابی ۲۰ محوری ترین بحث در فرآیند انتخاب است. تا بدین مرحله یک تکرار یا یک نسل از الگوریتم طی شده است. الگوریتم پس از طی چندین نسل بتدریج به سمت جواب بهینه همگرا می شود. شرط توقف مسئله نیز طی کردن تعداد معینی تکرار است که پیش از آغاز الگوریتم توسط کاربر تعیین می شود [۱۲ و ۱۳].

از آنجا که سیستم مورد بررسی در این پژوهش دارای نقاط بهینه محلی بسیاری میباشد و همچنین برهمکنش میان روابط در آن بسیار پیچیده است، لذا استفاده از الگوریتم های هیوریستیک برای بهینه سازی، بهترین راه ممکن به نظر می رسد که در این مقاله از روش الگوریتم ژنتیک استفاده مینماییم.

متغیرهای تصمیم در بهینه سازی سیکل و دامنه تغییر آنها، در بخش پارامتر های ورودی در جدول (۲) ذکر شده است. در الگوریتم ژنتیک مقدار تابع شایستگی بهینه می شود و این تابع شامل تابع برازش و تعدادی توابع جریمه می باشد، که در این پژوهش تابع برازش به نحوی تعریف شده است که با کمینه شدن آن مقادیر توابع هدف بیشینه میگردد. تابع شایستگی به صورت رابطه (۷) تعریف میگردد.

$$Fitness = w_{FUE} \times (1 - FUE) + w_{\epsilon} \times (1 - \epsilon) + w_{PHR} \times \left(\frac{1}{PHR}\right) + w_{T_{Exhaust}} \times |(T_{a8} - T_{Desirable Exhaust})| + w_{Process Ex.} \times |(E_{Process} - E_{Desirable Process})| \quad (7)$$

توابع هدف و تابع برازش تعریف شده نشان می دهد که در طی فرآیند بهینه سازی، بهترین متغیرهای تصمیم به منظور بدست آوردن توان خروجی بیشتر از سیکل بخار و ارضای محدودیتهای ذکر شده انتخاب می شوند. مقایسه ی نتایج محاسبه شده از مدل شبیه سازی شده و نتایج بدست آمده از تحلیل ترمودینامیکی و سیکل واقعی در جدول (۳) نشان داده شده است.

بحث و نتیجه گیری

باتوجه به داده های موجود سیکل بیلکنت و نیز نتایج تحلیل های ترمودینامیکی انجام شده روند تغییرات توابع هدف نسبت به میزان بخار ارسالی به فرآیند جانبی و همچنین ارتباط میان توابع هدف مطابق شکل های ۵ و ۶ میباشد. با توجه به نتایج ذکر شده در جدول (۴) مشاهده میگردد که تمامی پارامتر های مطلوب به میزان چشمگیری نسبت به حالت واقعی بهبود نشان میدهند و همچنین میتوان ملاحظه نمود چنانچه دماهای پینچ و نزدیکی به عنوان اعداد از پیش تعیین شده مقید نباشند، نتایج بهتری حاصل میگردد.

$$PHR = (\dot{W}_{net})_{plant} / \Delta \dot{H}_{Process} \quad (5)$$

و بازده انرژی به صورت رابطه (۶) تعریف میگردد [۱۰].

$$\epsilon_{Plant} = [(\dot{W}_{net})_{plant} + \Delta \dot{E}_{Process}] / \dot{E}_f \quad (6)$$

مسأله مهمی که در مدلسازی باید در نظر گرفت، اعمال محدودیت هایی است که مسأله را از وضعیت غیر ممکن بیرون می آورد مانند حداقل کیفیت بخار خروجی از توربینها و حداقل دمای خروجی دودکش به منظور جلوگیری از خوردگی، در واقع این محدودیت ها از رسیدن به نتایج بدیهی و یا نتایجی که منجر به نقض قوانین فیزیکی میگرددند جلوگیری مینمایند. از جمله این نتایج میتوانبه منفی شدن دمای گاز در طول مبدل بازیاب اشاره نمود که در این تحقیق با اعمال محدودیت های مناسب مشابه آنچه در جدول (۲) برای ورودی های برنامه بیان شد، از به وقوع پیوستن چنین نتایجی جلوگیری شده است. همچنین با استفاده از توابع مجازات محدودیت هایی به این منظور تعریف شده است که از بیان و توضیح آنها به علت رعایت اختصار خودداری شده است. صحت این امر با مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج سیکل عملی مشابه که در بخش نتیجه گیری به آن اشاره خواهد شد اثبات شده است [۱۴ و ۱۵].

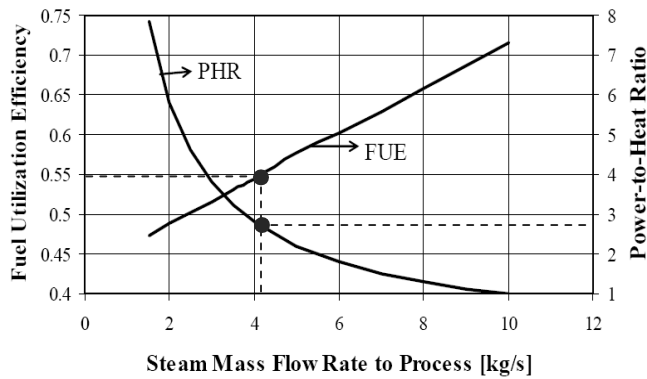
بهینه سازی و الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک در سال ۱۹۷۰ توسط هلند، دیجونگ و گلدبرگ ۱۱ ارایه شد. این الگوریتم جز الگوریتم های بهینه سازی تصادفی ۱۲ است و به خصوص برای بهینه سازی مسایل پیچیده با فضای جستجوی ناشناخته مناسب است. به طور مختصر گفته میتوان گفت که الگوریتم ژنتیک یک تکنیک برنامه نویسی است که از تکامل ژنتیکی به عنوان یک الگوی حل مسأله استفاده می کند. مسئله ای که باید حل شود ورودی است و راه حل ها طبق یک الگو کدگذاری می شود و تابع برانندگی ۱۳ هر راه حل کاندید را ارزیابی می کند که اکثر آنها به صورت تصادفی انتخاب می شوند. ساختار کلی یک الگوریتم ژنتیک را می توان بدین ترتیب تصور نمود که ابتدا مکانیزمی برای تبدیل هر جواب مساله به یک کروموزوم تعریف نمود و پس از آن یک مجموعه از کروموزوم ها که در حقیقت مجموعه ای از جواب های مسئله هستند بعنوان یک جمعیت آغازین ۱۴ تهیه می گردند. این مجموعه که اندازه آن دلخواه است و توسط کاربر تعریف می شود، اغلب بصورت تصادفی ایجاد می گردد. بعد از این مرحله باید با بکارگیری عملیات ژنتیک ۱۵ اقدام به ایجاد کروموزوم های جدید موسوم به فرزندان ۱۶ نمود. پس از تولید یکسری کروموزوم جدید باید با استفاده از عمل

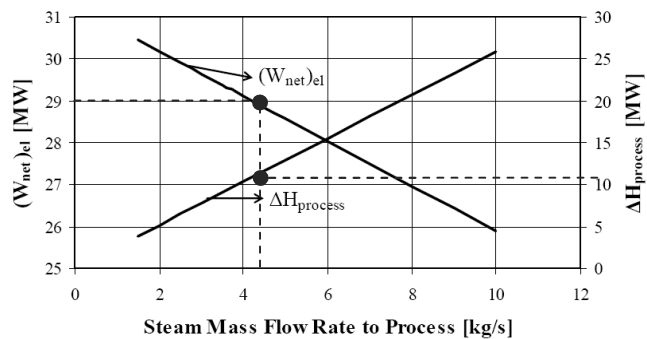
- Holland & Golgberg & Dejong - ۱۱
- Random optimization algorithms - ۱۲
- Fitness function - ۱۳
- Initial Operation - ۱۴
- Genetic Operations - ۱۵
- Offspring - ۱۶

- Evolution Operation - ۱۷
- Selection - ۱۸
- Fitness Value - ۱۹
- Evaluation - ۲۰

پژوهش، میتوان به این نتیجه رسید که میتوان در طراحی سیکل های تولید توان از الگوریتم های هوشمند به نحو موثری استفاده نمود. همچنین پیشنهاد میگردد به منظور دستیابی به نتایج دقیق تر در پیش بینی رفتار سیکل، میتوان پارامتر های بیشتری را در مدلسازی اعمال نمود، به نحوی که مدل هرچه بیشتر از حالت ایدآل به حالت واقعی نزدیک شود که این امر مستلزم ارائه مدل های دقیق تر از مجموعه ی توربین گاز به ویژه فرایند احتراق میباشد. لازم به ذکر است در پژوهش های آتی میتوان از الگوریتم های جدیدتر و یا الگوریتم های ترکیبی به منظور دست یابی به نتایج بهینه تر استفاده نمود.



شکل ۵- تغییر PHR و FUE نسبت به دبی بخار



شکل ۶- تغییر انرژی های خروجی نسبت به دبی بخار

جدول ۳- نتایج محاسبه شده از مدل شبیه سازی شده و نتایج سیکل واقعی همانطور که مشاهده میگردد با افزایش ۷/۲ درصدی راندمان انرژی و ۶/۸ درصدی راندمان انرژی میتوان به این نتیجه رسید که در دراز مدت

نقطه	مقادیر اندازه گیری شده سیکل واقعی		مقادیر محاسبه شده از مدلسازی	
	دما (°C)	فشار (MPa)	دما (°C)	فشار (MPa)
A	15.00	16.00	15.00	16.00
B	15.00	1.01	15.00	1.01
C	15.00	1.01	16.00	1.01
D	35.00	40.00	35.00	40.00
E	15.00	1.01	15.00	1.01
F	733.60	3.59	965.24	5.10
G	494.65	1.06	614.34	1.06
H	130.00	1.01	130.00	1.06
1	450.00	46.00	442.64	87.00
2	335.70	16.00	245.73	16.24
3	38.97	0.07	39.00	0.07
4	38.97	0.07	39.00	0.07
5	39.17	6.50	39.03	6.37
6	201.30	16.00	202.10	16.24
7	283.72	16.00	204.18	16.24
8	201.30	16.00	202.10	16.24
9	191.64	13.00	192.10	13.24
10	60.00	3.00	60.00	3.00
11	15.00	3.50	15.00	3.50
12	32.00	n.a.	32.00	0.05
13	32.16	6.50	32.09	6.37
14	36.58	6.50	36.58	6.37
15	115.12	1.70	145.43	4.21
16	115.12	1.70	145.43	4.21
17	115.12	1.70	145.43	4.21
18	115.12	1.70	145.43	4.21
19	115.57	16.00	145.66	16.24
20	115.57	16.00	145.66	16.24

مقادیر قابل توجهی در مصرف انرژی صرفه جویی خواهد شد لذا با توجه به اهمیت ویژه ی طراحی بهینه در سیکل های تولید توان و نتایج این

جدول ۴- مقایسه نتایج مدلسازی

متغیر	مقدار اندازه گیری شده واقعی		مقدار محاسبه شده در مدل		خطا
	مقدار	درصد بهبود	مقدار	درصد بهبود	
(C)	29.1 (MW)	29.3 (MW)	0.7 %	29.3 (MW)	
(Δ)	11.0 (MW)	10.9 (MW)	-0.9 %	10.9 (MW)	
PHR	2.7	2.7	0 %	2.7	
FUE	0.55	0.55	0 %	0.55	
	-	0.44	-	0.44	

P5	فشار پمپ بعد از کندانسور P5
P16	فشار دیگ بخار کم فشار P16
P19	فشار دیگ فشار متوسط P19
P22	فشار دیگ فشار بالا P22
X1	نسبت دبی بخار فشار بالا به فشار متوسط
X2	نسبت جرمی بخار طبقه میانی به کل بخار ورودی توربین
X3	نسبت جریان جرمی خنک کننده بخار دیسوپرهیتر به بخار فشار متوسط
T1	دمار بخار ورودی به توربین
P5	در صد جرمی هوای نظری توربین گاز
$\Delta T_{p,p}$	اختلاف دمای پینچ
$\Delta T_{a,p}$	اختلاف دمای نزدیکی
CH4	متان
N2	نیتروژن
O2	اکسیژن
CO2	دی اکسید کربن
H2O	آب
n	تعداد مول ها در واکنش احتراق
$\dot{W}_{\text{bottoming-cycle}}$	کل کار تولیدی سیکل بخار
$\dot{W}_{\text{Generator}}$	مجموع توان الکتریکی تولیدی ژنراتورها
\dot{W}_{Pumps}	مجموع کار مصرفی پمپ ها
$(\dot{W}_{\text{net}})_{\text{Gas Cycle}}$	نرخ کار خالص تولیدی سیکل گاز
LHV	ارزش حرارتی سوخت (متان)
\dot{m}_{fuel}	دبی جرمی سوخت
FUE	صرفه (بازدهی) سوخت
LP	فشار پائین
HP	فشار بالا
PHR	نسبت توان الکتریکی تولیدی به بخار ارسالی به فرایند جانبی
علائم یونانی	
λ	در صد جرمی هوای نظری توربین گاز
ε_p	بازده اگزرژی کل مجموعه

فهرست علائم

علائم انگلیسی	
$\Delta \dot{H}_{\text{Process}}$	نرخ آنتالپی ارسالی به فرایند جانبی توسط بخار
\dot{E}_f	نرخ اگزرژی سوخت
$(\dot{W}_{\text{net}})_{\text{plant}}$	نرخ کار خالص تولیدی کل مجموعه
W_{FUE}	ضریب وزنی مربوط به پارامتر FUE
W_{ε}	ضریب وزنی مربوط به پارامتر ε
W_{PHR}	ضریب وزنی مربوط به پارامتر PHR
W_{TExhaust}	ضریب وزنی مربوط به پارامتر T_{Exhaust}
$W_{\text{Process Ex.}}$	ضریب وزنی مربوط به پارامتر Process Ex.
T_{a8}	دمای گازهای خروجی از دودکش HRSG
$T_{\text{Desirable Exhaust}}$	دمای مطلوب گازهای خروجی از دودکش HRSG
E_{Process}	اگزرژی ارسالی به فرایند جانبی توسط بخار
P5	فشار پمپ بعد از کندانسور P5
P16	فشار دیگ بخار کم فشار P16
P19	فشار دیگ فشار متوسط P19
P22	فشار دیگ فشار بالا P22
X1	نسبت دبی بخار فشار بالا به فشار متوسط
X2	نسبت جرمی بخار طبقه میانی به کل بخار ورودی توربین
X3	نسبت جریان جرمی خنک کننده بخار دیسوپرهیتر به بخار فشار متوسط
T1	دمار بخار ورودی به توربین
IP	فشار متوسط (میانی)
rp	نسبت تراکم توربین گاز بخش مولد گاز
Tb4	دمای بخار خروجی پیشگرمکن فشار متوسط و مرحله ی دوم فشار بالا Tb4
Ta6	دمای گاز خروجی تبخیر کننده ی فشار متوسط
Tb8	دمای بخار خروجی پیشگرمکن فشار بالا
Ta4	دمای گاز خروجی تبخیر کننده ی فشار

[1]- m. valdes , j. l. rapun , "optimization of heat recovery steam generators for combinedcycle gas turbine powerplants", applied thermal engineering,2001, pp. 1149-1159

[2]-kehlhofer, rolf h., "combined cycle gas and steam turbine power plants", pennwell 1999

[3]-bejan, a., tsatsaronis g., moran m., *thermal design and optimization*, john wiley and sons inc., u.s.a., 1996

[4]-çengel, y.a., boles, m.a., *thermodynamics: an engineering approach*, 4th ed., dubuque, iowa: mcgraw-hill, 2002

[5]-sonntag, r. e., borgnakke, c., van wylen, g. j., *fundamentals of thermodynamics*, fifth edition, john wiley and sons inc., u.s.a., 1998

[6]-moran, m. j., shapiro, h. n., *fundamentals of engineering thermodynamics*, 4th ed., new york, wiley, 2000

[7]-szargut, j., morris, d.r., steward, f.r., *exergy analysis of thermal, chemical, and metallurgical processes*, hemisphere, new york, 1988, pp.297-309

[8]-petchers, n., *combined heating, cooling & power handbook: technologies & applications an integrated approach to energy resource optimization*, new york and basel, marcel dekker, inc., 2003

[9]-sirchis, j., *combined production of heat and power (cogeneration)*, elsevier, new york, 1990

[10]-kemp,i.c., *pinch analysis and process integration*, elsevier, new york, 2007

[11]- randy l.haupt, *practical genetic algorithms*, second edition, john wiley, new jersey, 2004

[12]-rothlauf, f., *representations for genetic and evolutionary algorithms*, springer, new york, 2006

[13]- ozgur colpan c., tulay yes-in, energetic, exergetic and thermoeconomic analysis of bilkent combined cycle cogeneration plant, international journal of energy research, john wiley, 2006; pp: 875–894

[14]- ozgur balli, haydar aras, arif hepbasli, exergetic performance evaluation of a combined heat and power (chp) system in turkey, international journal of energy research, wiley interscience, 2007, pp: 849-866. 98