ماهنامه علمى پژوهشى



mme.modares.ac.ir

بهینه سازی و تحلیل اگزرژی پیشرفته سیکل کلاسیوس-رانکین با پیش گرم کن آب تغذیه برای استفاده در نیروگاههای خورشیدی

 2 نو ذر اکبری 1* ، سهبل شیخی

1- استادیار، مهندسی هوا فضا، دانشگاه هوایی شهید ستاری، تهران 2- دانش اموخته ی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

* تهران، صندوق پستى nozar@ssau.ac.ir ،1384673411

چکیدہ	اطلاعات مقاله
با توجه به قیمت رو به رشد انرژی، کمبود منابع و مسایل محیط زیستی، اهمیت کاهش مصرف انرژی و بهینهسازی صنایع مرتبط با انرژی بیش	مقاله پژوهشی کامل
از پیش آشکار شده است. انرژی خورشیدی نیز از جمله راهحا های مناسب برای بهدست اوردن انرژی پاک و ارزان هستند. در مرحلهی اول از	دريافت: 10 فروردين 1396
ایت هاست. برای شینه برای سیکل مورد نظر استفاده شده است. در ادامه آنالنا اگناش روی سیکل انجام گرفته است که براساس نتایج سه	پذیرش: 28 خرداد 1396 بند
ایس میسیس برای سید سری سید کرد کسر مستور مستور مستور مستور است این برازری روی سید کی کرد است که براساس کینی مست	ارائه در سایت: 06 مرداد 1396
جزء 12 لمه 15 لما 15 مل و مماتا بیسرین میزان تحریب افرزی سیستم را شمل می شوند و از این معطر در اونویت بازد کری فراد دارند. شپس با	کلید واژکان:
انجام انالیز اکزرژی پیشرفته سعی در تحلیل دقیق تر نتایج انالیز اکزرژی شده است. در این بخش با جداسازی تخریب اکزرژی اجزای سیستم به	اسپن هایسیس
چهار بخش درونزا/برونزا و قابل اجتناب/غیرقابل اجتناب، به بررسی عامل اصلی بروز تخریب اگزرژی در اجزا پرداخته شده است. بر طبق نتایج،	انرژی خورشیدی
سه جزئی که دارای بیشترین میزان تخریب اگزرژی هستند، عامل اکثر تخریب اگزرژی برونزای سیستم نیز میباشند که در واقع میتوان با	آنالیز اگزرژی پیشرفته
بهبود عملکرد این اجزاء، تخریب اگزرژی در اجزای دیگر را نیز کاهش داد. در نهایت با انتخاب متغیرها و توان خروجی سیکل به عنوان تابع	بهینه سازی
هدف و به کارگیری نرمافزار اسپن هایسیس برای بهینهسازی، سیستم بهینهسازی و پارامترهای بهبود یافتهی ان با حالت پایه مقایسه شده است	
که براساس آن توان استحصالی سیستم افزایش و تخریب اگزرژی و هزینه محصولات کاهش یافته است.	

Optimization and advanced exergy evaluation of a Clausius-Rankine cycle to be used in solar power systems

Nozar Akbari^{1*}, Soheil Sheikhi²

1- Department of aerospace engineering, Shahid sattari aeronatical university of science and technology, Tehran, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

* P.O.B. 1384673411, Tehran, Iran, nozar@ssau.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper Received 30 March 2017 Accepted 18 June 2017 Available Online 28 July 2017

Keywords: Aspen HYSYS Solar energy Advanced exergy analysis Optimization

ABSTRACT

Regarding the growing cost of energy, shortage of resources, and environmental issues, the importance of reducing energy consumption and optimization of related industries is more evident than ever before. Solar energy is one of the suitable solutions to acquire clean and cheap energy. The first step is to design the cycle using Aspen HYSYS simulator. After that exergy analysis is carried out on the proposed system. Results show that LPT2, LPT3 and HEX2 have the highest exergy destruction and should be considered for revision. Results of exergy analysis are then examined more deeply with the help of advanced exergy analysis. In this section exergy destruction is divided into four parts, endogenous/exogenous and avoidable/unavoidable to investigate the precise reason of the components' exergy destruction. Results show that the three components which had the most exergy destruction are the real reason behind exogenous exergy destruction of the system, so by optimizing these components we can also decrease the total exergy destruction of the system too. At last, by choosing the right variables and total produced work as the primary function, the optimization is done using the Aspen HYSYS optimizer and the optimized parameters are compared to the basic parameters which resulted in more power production and less exergy destruction and production cost.

1- مقدمه

و كاهش آلودگي به تدريج افزايش يافته است [1]. نیروگاه خورشیدی وظیفهی جمعآوری انرژی خورشیدی، به وسیلهی متمرکز نمودن آن و ایجاد دمای بالا را برعهده دارد. ابن نیروگاهها براساس نوع متمرکز کنندهی استفاده شده به دو دستهی کلی تقسیم میشوند که شامل نیروگاههای با کلکتور سهموی خطی و نیروگاههای دیش استرلینگ می باشد. از برترین روش های تولید برق از انرژی خورشیدی، استفاده از

مسأله تأمين انرژی مورد نياز، همواره از مشكلات پيش روی بشر بوده و پیشرفت صنایع و تکنولوژی باعث افزایش توجه به این مساله شده است. با توجه به محدودیت منابع تأمین کننده انرژی و مسایل زیست محیطی، توجه به منابع جایگزین انرژی طی دو دهه گذشته بیشتر شده است. در این راستا استفاده از انرژیهای تجدیدپذیر، بهمنظور جایگزین نمودن سوختهای فسیلی

Please cite this article using:

Please cite this article using: برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید: N. Akbari, S. Sheikhi, Optimization and advanced exergy evaluation of a Clausius-Rankine cycle to be used in solar power systems, Modares Mechanical Engineering, Vol. 17, No. 1, W pp. 333-342, 2017 (in Persian)

کلکتورهای سهموی خطی می، اشد. در این نوع نیروگاه نخست روغن حرارتی به دمایی حدود 400 درجه سانتی گراد می رسد، سپس با استفاده از یک مبدل حرارتی می توان گرمای حاصله را به سیال عامل منتقل کرد و از طریق توربین انرژی الکتریکی به دست آورد. استفاده از بازیاب حرارتی و پیش گرمایش در افزایش بازده سیکل بسیار موثر است.

خلیلزاده و محمودی مهر [2] به بهینهسازی عملکرد روزانه ییک نیروگاه خورشیدی مجهز به سیستم ذخیرهسازی گرما پرداختهاند. آنها ابتدا از طریق حل معادلات غیرخطی حاکم مدلسازی را انجام دادهاند و سپس با تعریف توابع هدف و استفاده از الگوریتم ژنتیک، سیستم را بهینهسازی کردهاند. کالوگیرو و همکاران [3] به تحلیل اگزرژی انواع کلکتورهای خورشیدی پرداختهاند و در نهایت آنالیز اگزرژی را بهعنوان یک ابزار موثر در تحلیل آرایش این سیستمها دانستهاند.

روشهای جدید صرفهجویی در مصرف و جلوگیری از هدر رفت انرژی، باعث به وجود آمدن روشهای تحلیلی براساس قانون دوم ترمودینامیک شده است که این روشها در قالب مفهوم اگزرژی بیان میشوند. قوانین کلی و روش تحلیل اگزرژی را میتوان در کوتاس [4] و بژان [5] یافت. تحلیل اگزرژی یک ابزار کارآمد برای طراحی، بهینهسازی و سنجش عملکرد سیستمهای انرژی است. برتری تحلیل اگزرژی در قابلیت استفاده از تمامی خواص جریان (دما، فشار و ترکیب) است. تخریب اگزرژی یا برگشتناپذیری در واقع مقادیری هستند که برگشتناپذیری سیتم بهوسیلهی آنها نشان داده میشود.

تشخیص این که کدام یک از اجزای سیستم هزینهی تخریب اگزرژی بیشتری دارند قابلیتهای پیشرفت سیستم را به ما نشان میدهد. ترمو اکونومیک ابزاری قوی برای بهینهسازی و تحلیل اقتصادی سیستمهای انرژی در اختیار ما قرار میدهد. ترمواکونومیک شاخهای از ترمودینامیک است که در آن مفهوم اگزرژی با قوانین اقتصادی ترکیب میشود و در واقع برای برگشتناپذیریها شاخصی ملموستر در قالب هزینه یافت میشود [6]. در سالهای اخیر بررسیهای زیادی در زمینهی تحلیل اگزرژی انجام شده است. جواهرده و همکاران [7] ابتدا سیکل ترکیبی رانکین بخار و رانکین آلی با بررسی کردهاند. حنیفی و همکاران [8] تحلیل اگزرژی و اگزرژواکونومی را برای سیکل تولید همزمان تحت مدل دینامیکی تابش خورشیدی انجام دادهاند.

برای بررسی این که چه میزان از تخریب اگزرژی قابل اجتناب است و یا چه میزان از آن ناشی از اجزای دیگر میباشد، از آنالیز اگزرژی پیشرفته استفاده می گردد. تقسیم بندی تخریب اگزرژی باعث فهم عمیق تر از نتایج آن و افزایش دقت تحلیل می شود. تخریب اگزرژی صورت گرفته در یک جزء، تنها ناشی از عملکرد جزء مورد بررسی نمی باشد (تخریب اگزرژی درونزا)، بلکه به عملکرد سایر اجزا نیز بستگی دارد (تخریب اگزرژی برونزا). همچنین بررسی این که آیا می توان از تخریب اگزرژی یک جزء جلوگیری به عمل آورد (تخریب اگزرژی قابل اجتناب) یا این امکان وجود ندارد (تخریب اگزرژی غیر قابل اجتناب). در جمع بندی انواع تحلیل اگزرژی می توان گفت که تحلیل اگزرژی و اقتصادی سیستم را از دو دید مختلف بررسی می کنند و فقط در بحث فاکتور اگزرژوکونومیکه. تحلیل اقتصادی از نتایج اگزرژی استفاده می کند. همچنین تحلیل اگزرژی پیشرفته نیز در واقع قدم بعدی تحلیل اگزرژی و تحلیل بیشتر نتایج آن می باشد.

بویاقچی و سباقیان [9] عملکرد سیکل کالینا را بهمنظور یافتن پتانسیلهای ارتقا سیستم و بر هم کنش اجزا، توسط تحلیل اگزرژی اقتصادی و پیشرفته بررسی کردهاند. مهرپویا و شفایی [10] دو فرایند بازیابی هلیوم از گاز طبیعی را تحلیل کردهاند و سپس با استفاده از آنالیز اگزرژی پیشرفته به بررسی نقاط ضعف فرایندها پرداختهاند.

هدف از این مقاله مدلسازی سیکل به کار رفته در نیروگاه 30 مگاواتی سگز-6، برای رسیدن به توان بهینهی 10 مگاواتی و انجام تحلیل اگزرژی، اگزرژی اقتصادی و اگزرژی پیشرفته برای شناسایی پتانسیلهای ارتقای ان میباشد. این نیروگاه در صحرای موجاوه در جنوب کالیفرنیا واقع شده است. در خود نیروگاه سگز-6، از یک بویلر جهت حرارتدهی به سیال عامل در هنگام عدم وجود انرژی خورشیدی کافی استفاده می شود که در این کار به دلیل کاهش هزینهها از آن صرفنظر شده است.

قابل ذکر است سیکل به کار رفته در این کار, سیکل خاص استفاده شده در نیروگاه سگز-6 است و با سیکلهای استفاده شده در مراجع متفاوت است. همچنین علاوه بر اگزرژی و اگزرژی اقتصادی از منظر اگزرژی پیشرفته نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

2- تشریح فرایند، مدل سازی و اعتبارسنجی 2-1- تشریح فرایند

سیکل مدلسازی شده در این مقاله براساس سیکل ارائه شده توسط اشتوتزل و همکاران [11] میباشد و در "شکل 1" قابل مشاهده است. این سیکل در واقع سيكل كلاسيوس-رانكين با پيش گرمكن آب تغذيه مي باشد. سيال عامل که همان آب یا بخار است، از کندانسور به صورت آب اشباع خارج شده و توسط پمپ به فشار موردنیاز برای عبور از پیش گرم کنهای تغذیهی فشار پایین و دی اریتور رسانده میشود. سپس آب در پیش گرمکنهای آب تغذیه و توسط بخار گرفته شده از توربینهای فشار پایین حرارت داده میشود. بعد از آن آب وارد دی اریتور شده و در آنجا با بخار داغ گرفته شده از اولین توربین فشار پایین ترکیب می گردد. از آنجا که فشار خروجی از دی اریتور نمی تواند از فشار جریان گرفته شده از توربین فشار پایین بیشتر باشد، یک پمپ فشار موردنیاز برای عبور آب از پیش گرم کن آب تغذیه ی فشار بالا و ورود به مبدل را تأمین می کند. سپس آب وارد مبدل شده و پس از تبادل حرارت با سیال داغ شده توسط انرژی خورشیدی، در حالت بخار سوپرهیت از مبدل خارج و وارد توربین فشار بالا می شود. پس از توربین، بخار توسط سیال داغ تا حدود همان دمای بخار سوپرهیت قبل از توربین فشار بالا حرارت دیده و وارد توربین فشار پایین می شوند. در نهایت بخار وارد کندانسور شده و تا رسیدن به حالت آب اشباع خنک می شود.

همانطور که از چرخهی کارنو برآمده است، در دمای کندانسهی ثابت، انتقال حرارت در دمای بالاتر باعث افزایش راندمان سیکل میشود. حرارت انتقال یافته در مبدل سوپرهیت، عمدهی حرارت انتقال یافتهی این چرخه را شامل میشود. پیش گرم کنهای آب تغذیه دمای آب ورودی به مبدلها را افزایش میدهند، بنابراین میانگین دمایی که دران انتقال حرارت صورت می گیرد بالا می رود و در نتیجه راندمان سیکل افزایش می یابد.

2-2- مدلسازی و اعتبارسنجی

برای مدلسازی این سیکل از نرمافزار اسپن هایسیس استفاده شده است. پکیج خواص استفاده شده برای تحلیل سیال، اسمه استیم است که مناسب ترین انتخاب برای تحلیل حالتهای مختلف آب می باشد. همان طور

Sunday May 13th 2018

Downloaded from mme.modares.ac.ir at 15:12 IRDT on



Fig. 1 Solar power plant Clausius-Rankine cycle modeled in Aspen HYSYS simulator Aspen HYSYS شکل 1 سیکل کلاسیوس-رانکین نیروگاه خورشیدی مدل سازی شده در نرمافزار Aspen HYSYS

که بیان شد، طراحی سیکل براساس دادههای ارائه شده در "شکل 2" انجام شده است. همچنین دبی ورودی H1 نیز طبق [11]، 35Kg/s در نظر گرفته شده است و دبیهای خروجی از TEE1، TEE2 و TEE3 نیز به وسیلهی دستور اجاست تنظیم شدهاند، به این صورت که دبی جریان جدا شده را تا حدی بهطور خودکار افزایش میدهد که خروجی میکسر و مبدل به دما و فشار موردنظر برسد و در حالت مایع اشباع باقی بماند.

در این حالت مجموع خروجی توربینها به میزان 29.6MV که با نتیجهی حاصل از [11] که 30MW است مطابقت دارد. همچنین از آنجا که مشخصات ترمودینامیکی نقاط مختلف سیکل با تغییر دبی تغییر چندانی نمیکند و تنها تغییر در سایز اجزا (توربین ها و مبدل و ..) می باشد, میتوان با استفاده از همین مشخصات ترمودینامیکی و کاهش دبی سیستم به توان موردنیاز رسید. حال با کاهش دبی تا میزان 21Kg/s میزان توان خروجی توربینها را تا 10.1MW که حدود میزان موردنظر برای این پژوهش است کاهش داده می شود.

3- تحلیل اگزرژی

اگزرژی بیشترین کار موجود در هنگام انتقال برگشت پذیر اشکال مختلف انرژی به سیستم مرجع است، که خود سیستم در تعادل ترمودینامیکی با محیط است و قابلیت انجام کار ندارد. اگزرژی همچنین معیار مشخص کردن فاصلهی سیستم از تعادل کلی است، به این صورت که هر چقدر اگزرژی مصرف میشود، مقادیر حالت دما، فشار و ترکیب سیستم به محیط نزدیک میشود. به همین منظور به حالت مرجع حالت مرده نیز گفته میشود که در واقع همان شرایط محیط است [12]. کل اگزرژی جریانهای چندجزیی برابر با دو جزء است: اگزرژی شیمیایی، و اگزرژی فیزیکی که در رابطهی (1)



Fig. 2 T-s diagram for the power plant Clausius-Rankine cycle [11] ([11] [11] شکل 2 نمودار ۲-s برای سیکل کلاسیوس–رانکین نیروگاه

$$e = e^{\mathrm{ph}} + e^{\mathrm{ch}} \tag{1}$$

اگزرژی فیزیکی جریان نیز طبق رابطهی (2) تعریف می شود [14]:

$$e^{\rm ph} = h - h_0 - T_0(s - s_0) \tag{2}$$

که در آن زیرنویس 0 مربوط به شرایط در دما و فشار محیط است. اگزرژی شیمیایی جریان نیز از رابطهی (3) بهدست می آید [15]: $e^{ch} = \sum x_i e_i^0 + RT_0 \sum x_i lnx_i$ (3)

که x_i^0 و x_i به ترتیب عبارتاند از اگزرژی شیمیایی استاندارد در دما و فشار x_i محیط و جزء مولی جزء i ام در جریان. در محاسبه ی اگزرژی فیزیکی اختلاف حالت ترمودینامیکی سیستم با حالت مرجع در نظر گرفته می شود و در محاسبهی اگزرژی شیمیایی خود سیستم باید به حالت مرجع برسد و در واقع تعادل مرده داشته باشیم. البته در این تحقیق بهدلیل این که نرمافزار شبیهساز مورد استفاده اگزرژی کل هر جریان را در اختیار ما قرار میدهد، تنها به محاسبهی اگزرژی فیزیکی اکتفا کرده و اگزرژی شیمیایی را از تفاضل اگزرژی کل و فیزیکی بهدست می آوریم.

در تحلیل اگزرژی دو شاخص مورد توجه هستند، تخریب اگززژی و راندمان اگزرژی. تخریب اگزرژی برابر با اختلاف سوخت ورودی به هر جزء، و راندمان اگزرژی با استفاده از تعریف کلی رابطهی (4) محاسبه می گردد [16]:

$$\varepsilon_{i} = \frac{\dot{E}_{P,k}}{\dot{E}_{F,k}} \tag{4}$$

نتایج تحلیل اگزرژی در جداول 1 و 2 آورده شده است. منفی یا مثبت بودن مقادیر فاقد هر گونه معنی خاصی است و به دلیل مبدا انتخابی نرمافزار برای مقادیر آنتالپی می باشد. گفتنیست تنها اختلاف اگزرژی جریانها که برای بهدست آمدن سوخت و محصول محاسبه می شوند, برای تحلیل اهمیت و کاربرد دارد.

4- مدل اقتصادی

1-4- تحليل اگزرژی اقتصادی

این روش تمامی هزینه های مربوط به پروژه، از جمله کمترین میزان بازگشت سرمایهی موردنیاز را محاسبه میکند. کل سود سالیانهی موردنیاز براساس کل سرمایهی اولیه و پارامترهای اقتصادی، راهاندازی و بازاری ورودی آولیه، به صورت سال به سال محاسبه میشود و در آخر ارزش مالی سالیانهی غیریکنواخت سالیانهی مرتبط با سرمایه گذاری، راهاندازی، نگهداری و هزینهی سوخت سیستم بررسی و دستهبندی میشوند [17].

مجموعه هزینههای مرتبط با نگهداری (*CC*_j) و دستمزدها (*OMC*_j) و *FC*_i)

جدول 1 نتايج أناليز اگزرژى

برای سال *j* ام یک سیستم یکنواخت نیستند. به طور کلی با گذشت چند سال از راهاندازی، هزینههای حمل و نقل کاهش و هزینههای سوخت افزایش پیدا میکند. بنابراین برای بررسی اقتصادی سیستم نیاز به محاسبهی هزینههای طبقهبندی شده است. ارزش طبقهبندی شده TRR_l [18] براساس تخمین هزینهی خرید تجهیزات (PEC) و هزینهای سرمایه گذاری اعمال می شود.

برای تخمین هزینهی خرید هر کدام از تجهیزات از رابطهی جداگانهای استفاده می شود که وابسته به دما یا فشار گاز در ورود یا خروج جزء موردنظر هستند و از دادههای خروجی نرمافزار استخراج میشوند. برای محاسبهی هزینهی خرید توربین, از رابطهی (5) که در مرجع [19] آمده استفاده مىشود:

$$PEC_T = \left(\frac{479.34m_g}{0.92 - \eta_T}\right) \ln\left(\frac{P_{\text{in}}}{P_{\text{out}}}\right) (1 + \exp(0.036T_{\text{in}} - 56.4))$$

همچنین از رابطهی (6) موجود در مرجع [20] برای محاسبهی هزینهی خرید مبدل استفاده می شود:

$$PEC_{\rm HEX} = 0.322 \times (30000 + 0.75A_{\rm surface}^{0.8})$$
(6)

سیس با استفاده از رابطهی (7) به تخمین هزینهی خرید پمپها میپردازیم :[21]

$$PEC_{\text{Pump}} = 1.55 \exp[8.883 - 0.6019 \ln(\dot{m}\sqrt{H})] + 0.0519 (\ln(\dot{m}\sqrt{H}))^2$$
(7)

درنهایت هزینههای طبقهبندی شدهی جزء k ام که شامل هزینههای نگهداری و راهاندازی سالانه (\dot{Z}_{k}^{OM}) از روابط (8) و (9) محاسبه می شود [22]. در (\dot{Z}_{k}^{CL}) این روابط CC_L برابر هزینههای نگهداری سالانهی کل سیستم و OMC برابر هزینههای راهاندازی کل سیستم میباشد که نحوهی محاسبهی آنها در مرجع [5] آمده است:

$$\dot{Z}_{k}^{\text{CL}} = \frac{CC_{L}}{\tau} \frac{PEC_{k}}{\Sigma PEC_{k}}$$
$$\dot{Z}_{k}^{\text{OM}} = \frac{OMC_{L}}{\tau} \frac{PEC_{k}}{\Sigma PEC_{k}}$$

						is of exergy analysis	Table I Result
جريان	اگزرژی فیزیکی (kJ/h)	اگزرژی شیمیایی (kJ/h)	اگزرژی کل (kJ/h)	جريان	اگزرژی فیزیکی (kJ/h)	اگزرژی شیمیایی (kJ /h)	اگزرژی کل (kJ/h)
1	-625759526.1	625862008	102481.52	13	-649616090.4	688383770	38767680
2	-625759526.1	625864011	104484.8	14	-58991757.47	62512257.7	3520500.2
3	-625542543.4	625921320	378777.04	15	-590669445.2	625919317	35249872
4	-854238879	860438079	6199200	16	-607600794.6	625968123	18367328
5	-854238879	860443479	6204600	17	-273482231.4	281749399	8267168
6	-849112686	860479686	11367000	18	-334118563.2	344218723	10100160
7	-796779639	860283639	63504000	19	-340972491.6	344085052	3112560
8	-805121397	860201397	55080000	20	-619947500.2	625705948	5758448
9	-161024279.4	172040279	11016000	21	-167749477.2	172007917	4258440
10	-644097117.6	688161118	44064000	22	-277408747.2	281772171	4363424
11	-650312733.6	688337374	38024640	23	-167775267.6	172008868	4233600
12	-642239884.8	688377485	46137600	24	-279129205.7	281774134	2644928

(5)

(8)

(9)

جدول 2 محاسبه سوخت و محصول اجزای سیکل

Table 2 Fuel	and prod	luct calcula	ation of c	vcle com	ponent
I ubic a I uc	i una proa	act curcun		gene com	ponent

اگزرژی محصول (kJ/h)	اگزرژی سوخت (kJ/h)	اگزرژی محصول	اگزرژی سوخت	اجزا	اگزرژی محصول (kJ/h)	اگزرژی سوخت (kJ/h)	اگزرژی محصول	اگزرژی سوخت	اجزا
-619947500.2	-620101697.3	$\dot{m}_{20}(e_{20})$	$\dot{m}_{19}(e_{19}) + \dot{m}_{24}(e_{24})$	MIX2	5812025.92	6145455.907	$\dot{m}_1(e_{20}-e_1)$	$Q(1-\frac{T_0}{T})$	C1
7075000	8341758	W	$\dot{m}_7(e_7-e_8)$	HPT1	52333047	54462025.78	$\dot{m}_1(e_7-e_6)$	$Q(1-\frac{T_0}{T})$	H1
5016000	6215616	W	$\dot{m}_{10}(e_{10} - e_{11})$	HPT2	4149098.2	4242169.421	$\dot{m}_{22}(e_{22}-e_3)$	$Q(1-\frac{\dot{T}_0}{T})$	RH1
-804316275.6	-805121397	$\dot{m}_9(e_9) + \dot{m}_{10}(e_{10})$	$\dot{m}_8(e_8)$	TEE1	0	2645	$\dot{m}_1(e_1-e_2)$	W	Pump1
-648966474.3	-649616090.4	$\dot{m}_{14}(e_{14}) + \dot{m}_{15}(e_{15})$	$\dot{m}_{13}(e_{13})$	TEE2	0	4012	$\dot{m}_4(e_4-e_5)$	W	Pump2
-606993193.8	-607600794.6	$\dot{m}_{17}(e_{17}) + \dot{m}_{18}(e_{18})$	$\dot{m}_{16}(e_{16})$	TEE3	216982.72	280465.4171	$\dot{m}_2(e_3-e_2)$	$\dot{m}_{17}(e_{17}-e_{22})$	HEX1
6048000	7376205.6	W	$\dot{m}_{12}(e_{12} - e_{13})$	LPT1	5126193	6725197.8	$\dot{m}_5(e_6-e_5)$	$\dot{m}_9(e_9-e_{21})$	HEX2
13300000	16931349.4	W	$\dot{m}_{15}(e_{15} - e_{16})$	LPT2	-279129205.7	-277408747.2	$\dot{m}_{24}(e_{24})$	$\dot{m}_{22}(e_{22})$	VLV1
5016000	6853928.4	W	$\dot{m}_{18}(e_{18} - e_{18})$	LPT3	-167775267.6	-167749477.2	$\dot{m}_{23}(e_{23})$	$\dot{m}_{21}(e_{21})$	VLV2
-	-	-	-	-	-854238879	-852309568.5	$\dot{m}_4(e_4)$	$\dot{m}_3(e_3) + \dot{m}_{14}(e_{14}) + \dot{m}_{23}(e_{23})$	MIX1

عبارت Z_k بیانگر هزینههای مرتبط با سرمایه گذاری و راهاندازی و نگهداری است که از رابطهی (10) بهدست میآید و نتایج آن در جدول 3 مشاهده میشود [22]:

(10) $Z_k = Z_k^{\text{CL}} + Z_k^{\text{OM}}$ (10) دیگر متغیر مورد اهمیت در این تحلیل، فاکتور اگزرژوگونومیک است که نشاندهندهی نسبت هزینه سرمایهگذاری به مجموع هزینههای سرمایهگذاری و تخریب و اتلاف اگزرژی میباشد. اما همانطور که گفته شده در این سیستم مصرف سوخت وجود ندارد و به همین علت هزینهی اگزرژی ناچیز میباشد و محاسبه نمیشود.

4-2- مدل ترمواكونوميك

معادلهی مدل ترمواکونومیک برای بالانس هزینهی یک جزء سیستم انرژی به صورت رابطهی (11) است [23]:

 $\sum_{j=1}^{n} (c_{i}E_{j)k.nn} + \dot{Z}_{k}^{\dot{c}L} + \dot{Z}_{k}^{OM} = \sum_{j=1}^{m} (c_{j}E_{j)k.out}$ (11) $\sum_{k=1}^{n} (c_{i}E_{j)k.nn} + \dot{Z}_{k}^{\dot{c}L} + \dot{Z}_{k}^{OM} = \sum_{j=1}^{m} (c_{j}E_{j)k.out}$ (11) $\sum_{k=1}^{n} (c_{i}E_{j})_{k.out} + \dot{Z}_{k}^{\dot{c}L} + \dot{Z}_{k}^{OM} = \sum_{j=1}^{m} (c_{j}E_{j})_{k.out}$ (11) $\sum_{k=1}^{n} (c_{i}E_{j})_{k.out} + \dot{Z}_{k}^{\dot{c}L} + \dot{Z}_{k}^{OM} + \dot{Z}_{k$

جدول 3 هزینه های سرمایه گذاری، راه اندازی و نگهداری اجزا

Table 5 Investment and maintainence cost of components				
\dot{Z}_k (\$/hr)	اجزا			
4.70	C1			
8.67	H1			
6.93	RH1			
3.19	HEX1			
98.31	HEX2			
40.06	HPT1			
31.92	HPT2			
22.46	LPT1			
85.18	LPT2			
119.46	LPT3			

(12) تا (35) میانجامد. با حل این معادلات قیمت واحد جریان های اگزرژی در سیستم مورد بررسی بهدست میآید: كندانسور: $c_{20}\dot{E}_{20} + \dot{Z}_{c1} = c_1\dot{E}_1$ (12) مبدل HEX1: $c_2 \dot{E}_2 + c_{17} \dot{E_{17}} + \dot{Z}_{\text{HEX1}} = c_3 \dot{E}_3 + c_{22} \dot{E}_{22}$ (13) $c_2 \dot{E}_3 = c_3 \dot{E}_2$ (14) مبدل HEX2: $c_9 \dot{E}_9 + c_5 \dot{E}_5 + \dot{Z}_{\text{HEX2}} = c_6 \dot{E}_6 + c_{21} \dot{E}_{21}$ (15) $c_{6} = c_{5}$ (16) هيتر H1: $c_6 \dot{E}_6 + c_{\text{QH1}} \dot{E}_{\text{QH1}} + \dot{Z}_{H1} = c_7 \dot{E}_7$ (17) توربين HPT1: $c_7 \dot{E}_7 + \dot{Z}_{\rm HPT1} = c_8 \dot{E}_8 + c_{\rm QHPT1} \dot{E}_{\rm QHPT1}$ (18) توربين HPT2: $c_{10}\dot{E}_{10} + \dot{Z}_{HPT2} = c_{11}\dot{E}_{11} + c_{QHPT2}\dot{E}_{QHPT2}$ (19) هيتر RH1: $c_{11}\dot{E}_{11} + c_{\text{QRH1}}E_{\text{QRH1}} + \dot{Z}_{\text{RH1}} = c_{12}\dot{E}_{12}$ (20) توربين LPT1: $c_{12}\dot{E}_{12} + \dot{Z}_{LPT1} = c_{13}\dot{E}_{13} + c_{OLPT1}\dot{E}_{OLPT1}$ (21) توربين LPT2: $c_{15}\dot{E}_{15} + \dot{Z}_{LPT2} = c_{16}\dot{E}_{16} + c_{QLPT2}\dot{E}_{QLPT2}$ (22) توربين LPT3: $c_{18}\dot{E}_{18} + \dot{Z}_{LPT3} = c_{19}\dot{E}_{19} + c_{OLPT3}\dot{E}_{OLPT3}$ (23)

> میکسر MIX1: (24) میکسر MIX2:

مورد بررسی هستند. نوشتن این معادله برای همه اجزای سیستم به همراه

معادلات كمكي (با توجه به قوانين P و F، مراجعه به مرجع [5]) به روابط

$$c_4 \dot{E}_4 = c_3 \dot{E}_3 + c_{14} \dot{E}_{14} + c_{23} \dot{E}_{23}$$

$c_{20}\dot{E}_{20} = c_{19}\dot{E}_{19} + c_{24}\dot{E}_{24}$	(25)
	جداکننده TEE1:
$c_8 \dot{E}_8 = c_9 \dot{E}_9 + c_{10} \dot{E}_{10}$	(26)
$c_9 = c_{10}$	(27)
	جداکننده TEE2:
$c_{13}\dot{E}_{13} = c_{14}\dot{E}_{14} + c_{15}\dot{E}_{15}$	(28)
$c_{14} = c_{15}$	(29)
	جداکننده TEE3:
$c_{16}\dot{E}_{16} = c_{17}\dot{E}_{17} + c_{18}\dot{E}_{18}$	(30)
$c_{17} = c_{18}$	(31)
	شیر فشار شکن VLV1:
$c_{22}\dot{E}_{22} = c_{24}\dot{E}_{24}$	(32)
	شير فشار شكن VLV2:
$c_{21}\dot{E}_{21} = c_{23}\dot{E}_{23}$	(33)
	پمپ Pump1:
$c_1 + \dot{Z}_{\text{Pump1}} = c_2$	(34)
	پمپ Pump2:
$c_4 + \dot{Z}_{\text{Pump}2} = c_5$	(35)

که طبق مصوبه ی وزارت نیرو خروجی توربین ها 4900 ریال بر کیلووات ساعت [24] و با دلار 3600 تومان محاسبه شده است. در مجموع 24 جریان وجود دارد که با 24 معادلهی بالا توسط اکسل کل می شوند و تاثیر بهینهسازی بر مجموع هزینههای محصولات تعیین می گردد.

5- تحليل اگزرژي پيشرفته

تحلیل اگزرژی پیشرفته براساس نتایج تحلیل اگزرژی انجام میگیرد. ایدهی اصلی تحلیل اگزرژی پیشرفته، تقسیم برگشتناپذیری یک دستگاه میباشد. برگشتناپذیری که در یک دستگاه رخ میدهد، تنها ناشی از سوء عملکرد ترمودینامیکی خود دستگاه نبوده و به عملکرد سایر دستگاههای فرآیندی که با آنها در ارتباط است نیز بستگی دارد. به عبارت دیگر، تحلیل اگزرژی در تعیین بخشی از برگشتناپذیری دستگاهها که منشأیی به جز عملکرد خود دستگاه دارد ناتوان است. این تقسیم بندی در تحلیل اگزرژی پیشرفته صورت می گیرد.

در این تحلیل، برگشتناپذیری تجهیزات از دو دیدگاه تقسیمبندی می شود: یکی از دیدگاه منشأ پیدایش برگشتناپذیری و دیگری از دیدگاه توانایی برطرف نمودن برگشتناپذیری. از دیدگاه نخست، برگشتناپذیری هر دستگاه به دو دسته تقسیم می شود [25]، بر گشتناپذیری درونزا^۲ و بر گشت-ناپذیری برونزا^۳ (رابطه 36).

$$\dot{E}_{\mathrm{D},k} = \dot{E}_{\mathrm{D},k}^{\mathrm{EN}} + \dot{E}_{\mathrm{D},k}^{\mathrm{EX}}$$

برگشتناپذیری درونزا، بخشی از برگشتناپذیری است که به عملکرد ذاتی خود دستگاه و نوع فرآیند تبدیل انرژی رخ داده در آن مربوط بوده و حتّی اگر سایر تجهیزات فرآیندی در شرایط ایدهآل خود عمل کرده و برگشتناپذیری نداشته باشند، این بخش از برگشتناپذیری در دستگاه مربوطه وجود خواهد داشت. برگشتناپذیری برونزا نیز بخشی از برگشتناپذیری است که اثر القائی برگشتناپذیری در سایر دستگاهها میباشد.

⁴ Hybrid cycle

5 Theoretical condition

تقسیم برگشتناپذیری از این دیدگاه اهمیت زیادی داشته و نتایج آن گویای چگونگی کیفیت چیدمان و ساختار فرآیندی به شمار میرود؛ با این حال، انجام آن و محاسبهی برگشتناپذیری درونزای تجهیزات، پیچیدگی و دشواری بیشتری نسبت به محاسبهی برگشتناپذیری غیر قابل اجتناب آنها داشته و در واقع مسئلهی اصلی تحلیل اگزرژی پیشرفته بهحساب می آید. در نتیجه تعیین دقیق آن میتواند تأثیر زیادی در دقت نتایج حاصله از تحلیل داشته باشد. در این تحقیق از روشی که توسط ستسرانیس و همکاران [26] ایجاد شده استفاده شده است. در این روش ابتدا یک سیکل هایبرید^۴ طراحی می کنیم. سیکل هابرید سیکلی است که در آن تمامی اجزا، بجز جزء مورد مطالعه، در شرایط تئوری^۵ کار میکنند. برگشتناپذیری درونزای جزء مورد نظر از محاسبهی تخریب اگزرژی آن در این سیکل بهدست میآید. سپس به سادگی تخریب اگزرژی برونزا را از رابطهی (37) بهدست آورده می شود: $\dot{E}_{\mathrm{D}k}^{\mathrm{EX}} = \dot{E}_{\mathrm{D}k} - \dot{E}_{\mathrm{D}k}^{\mathrm{EN}}$ (37)

در این تحقیق شرایط تئوری برای مبدلها $\Delta T_{
m min}=0$ و برای توربینها بازده 100% در نظر گرفته شدهاست.

از دیدگاه توانایی برطرف نمودن برگشتناپذیری نیز برگشتناپذیری هر دستگاه به دو دسته تقسیم میشود [27]، برگشتناپذیری قابل اجتناب⁹ و برگشتناپذیری غیرقابل اجتناب^۷ (رابطه 38): $\dot{E}_{\mathrm{D},k} = \dot{E}_{\mathrm{D},k}^{\mathrm{AV}} + \dot{E}_{\mathrm{D},k}^{\mathrm{UN}}$

(38)

برگشتناپذیری غیرقابل اجتناب، بخشی از برگشتناپذیری است که بهدلیل وجود محدودیتهای فنّی و اقتصادی نمی تواند برطرف گردد و همواره وجود خواهد داشت و برگشتناپذیریهای قابل اجتناب، بخشی از برگشتناپذیری است که با کمی سرمایه گذاری و بهبود نوع دستگاه قابل برطرف شدن میباشد. تعیین برگشتناپذیری غیرقابل اجتناب به محدودیتهای فنی و اقتصادی در نظر گرفته شده در طراحی فرآیند بستگی دارد و ملاکهای فرضی آن توسط خود تحلیل گر ارائه می شود [25]؛ در حقیقت این خود تحلیل گر است که با در نظر گرفتن شرایط فرآیند، قیمت تجهیزات فرآیندی، مقادیر موجود در منابع کتابخانهای مانند مقالات و ... ملاک غیرقابل اجتناب بودن برگشتناپذیری را که همان بالاترین راندمان یک دستگاه میباشد، فرض مىكند.

در این تحقیق فرضهای تعیین برگشتناپذیری غیرقابل اجتناب 90% تجهیزات مختلف، برای مبدلها $^\circ C$ $\Delta T_{
m min} = 0.5$ و برای توربینها بازده در نظر گرفته شده است.

عبارت $(E_D/E_P)_k^{UN}$ عبارت $(E_D/E_P)_k^{UN}$ عبارت ازای واحد اگزرژی تولیدی دستگاه k به کار می رود. این عبارت، وقتی بهترین شرایط عملکرد دستگاه k با در نظر گرفتن محدودیتهای فنی و اقتصادی در شرایط کنونی در نظر گرفته شود، محاسبه شده و بهدنبال آن برگشتناپذیری غير قابل اجتناب از رابطهی (39) بهدست می آيد [27]:

 $\dot{E}_{\mathrm{D},k}^{\mathrm{UN}} = \dot{E}_{\mathrm{P},k} \left(\frac{E_{\mathrm{D}}}{\dot{E}_{\mathrm{D}}}\right)_{k}^{\mathrm{UN}}$ (39)

با محاسبهی این مقدار، مقدار برگشتناپذیری قابل اجتناب را میتوان از معادلهی (38) محاسبه نمود.

تنها داشتن اطلاعاتی از برگشتناپذیریهای درونزا، برونزا، قابل اجتناب و غیر قابل اجتناب بهطور مجزا برای ارزیابی عملکرد تجهیزات کافی

¹ Excell

²Endogenous Irreversibility ³ Exogenous Irreversibility

Avoidable Irreversibility 7 Unavoidable Irreversibility

نیست، بلکه نیاز به اطلاعات بیشتری در این زمینه وجود دارد. بنابراین کل تخریب اگزرژی به چهار قسمت تقسیم میشود که عبارتند از: تخریب اگزرژی درونزا- قابل اجتناب، درونزا- غیرقابل اجتناب، برونزا- قابل اجتناب، برونزا - غیرقابل اجتناب. در این تحقیق پس از تقسیم برگشتناپذیری از دو دیدگاه بیان شده، برگشتناپذیری درونزای غیرقابل اجتناب مطابق رابطهی (39) تجهیزات تعیین گردیده و با استفاده از آن سایر دستههای برگشتناپذیری محاسبه شده است [28]:

$$\dot{E}_{\mathrm{D},k}^{\mathrm{UN,EN}} = \dot{E}_{\mathrm{D},k}^{\mathrm{EN}} \left(\frac{\dot{E}_{\mathrm{D}}}{\dot{E}_{\mathrm{p}}}\right)_{k}^{\mathrm{UN}} \tag{40}$$

حال با توجه به مقدار برگشتناپذیری درونزای غیرقابل اجتناب باقی را محاسبه میشود (روابط 43-41):

$$\dot{E}_{D,k}^{\text{UN,EX}} = \dot{E}_{D,k}^{\text{UN}} - \dot{E}_{D,k}^{\text{UN,EN}}$$
(41)

$$\dot{E}_{\mathrm{D},k}^{\mathrm{AV,EX}} = \dot{E}_{\mathrm{D},k}^{\mathrm{EX}} - \dot{E}_{\mathrm{D},k}^{\mathrm{UN,EX}}$$
(42)

$$\dot{E}_{\mathrm{D}k}^{\mathrm{AV,EN}} = \dot{E}_{\mathrm{D}k}^{\mathrm{EN}} - \dot{E}_{\mathrm{D}k}^{\mathrm{UN,EN}} \tag{43}$$

نتایج تحلیل اگزرژی پیشرفته در جدول 4 آورده شده است.

6- تحليل نتايج

6-1- تحلیل نتایج اگزرژی و اگزرژی اقتصادی

با بهدست آوردن اگزرژی جریانها، نتایج معادلات بالانس اگزرژی را برای هر جزء در جدول 2 ارائه داده شد که در آن سوخت, محصول، بازده اگزرژی، تخریب و اتلاف اگزرژی برای هر جزء محاسبه شدهاست. تخریب و اتلاف اگزرژی دو معیار بسیار مناسب برای بررسی عملکرد اجزای سیستم هستند.

بهصورت تئوری، تخریب و اتلاف اگزرژی مفاهیم جداگانهای دارند، ولی در اینجا تأثیر هردو یکسان است. همچنین در بسیاری از اجزا ما فرض رفتار آدیاباتیک کردیم، که در نتیجه از اتلاف اگزرژی در آن صرفنظر میشود. در "شکلهای 3 و 4" بازده اگزرژی و تخریب اگزرژی هر جزء نشان داده شده

جدول 4 نتایج ارزیابی اگزرژی پیشرفته

است.

با تحلیل نتایج و مقایسه یتخریب اگزرژی اجزای سیستم مشخص می شود که LPT3 ، H1 ، LPT2 و HEX2 به ترتیب دارای بیشترین میزان تخریب اگزرژی می باشند. در این میان H1 به دلیل راندمان اگزرژی بالا و مقدار سوخت بسیار بالاتر نسبت به بقیه اجزا عملکرد قابل قبول تری دارد. میزان بالاتر تخریب اگزرژی LPT3 نیز به دلیل سوخت بالاتر نسبت به بقیه است و در کل عملکرد مشابهی با LPT3 و HEX2 دارد. تخریب اگزرژی در توربین ها رابطه ی عکس با بازدهی آن ها دارد. همچنین از آن جا که با افزایش دما چگالی کاهش، و کار موردنیاز در نسبت فشار یکسان افزایش می بابد، افزایش دمای محیط باعث کاهش تخریب اگزرژی می شود. از دیدگاه آنالیز وازرژی, اجزای با تخریب اگزرژی بیشتر در اولویت افزایش بازدهی و بازنگری قرار دارند. بنابراین در این جا نیز LPT3 ، H1، LPT3 و HEX2 و LPT3 به ترتیب در اولویت قرار می گیرند.

یک روش برای اولویتبندی اجزا از لحاظ اگزرژواکونومی، مرتب کردن آنها براساس مقدار $C_{\rm D}(f_{\rm c}) + C_{\rm D}(f_{\rm c})$ میباشد. به این صورت که هرکه این مقدار بالاتر باشد ارجحیت بیشتری برای بهینهسازی دارد. در این تحقیق بهدلیل عدم مصرف سوخت در سیستم، $C_{\rm D}(g_{\rm c})$ مفر بوده و این بررسی براساس مقدار $x^{\rm D}$ صورت میگیرد. نتایج در جدول 5 موجود است. همان طور که مشخص است LPT3 LPT2 و HEX2 که تخریب اگزرژی بالایی نیز داشتند، در این جا نیز مورد توجه هستند.

بنابراین با جمعبندی نتایج آنالیز اگزرژی و اقتصادی و با توجه به این که عملکرد H1 نسبت به باقی اجزا قابل قبول تر بود, سه جزء LPT3 LPT2 و HEX2 در اولویت بازنگری و ارتقا قرار می گیرند. در قسمت بعد و در آنالیز اگزرژی پیشرفته مشخص می گردد که چه میزان از تخریب اگزرژی این سه جزء قابل اجتناب است و همچنین اهمیت بازنگری اجزای دیگر با توجه به مقدار تخریب اگزرژی قابل اجتناب انها بررسی می شود.

Table 4 Res	Table 4 Results of advanced exergy analysis							
تقسیم بندی تخریب اگزرژی							1. 1	
$\dot{E}_{\mathrm{D.}k}^{\mathrm{UN.EX}}$	Ė ^{UN.EN} D.k	Ė _{D.k}	$\dot{E}_{\mathrm{D},k}^{\mathrm{AV.EN}}$	$\dot{E}^{ m AV}_{{ m D.}k}$	$\dot{E}_{\mathrm{D}.k}^{\mathrm{UN}}$	$\dot{E}_{\mathrm{D.}k}^{\mathrm{EX}}$	$\dot{E}^{\mathrm{EN}}_{\mathrm{D.}k}$	اجرا —
101425.23	55499.47	114080.76	62424.52	176505.3	156924.7	215506	117924	C1
538463.58	455864.31	614453.42	520197.47	1134651	994327.89	1152917	976061.78	H1
8405.67	37234.4	8735.54	38695.59	47431.14	45640.08	17141.22	75930	RH1
3507.05	35983.79	2130.64	21861.20	23991.84	39490.85	5637.697	57845	HEX1
78144.12	1054744.52	54935.4	741486.48	796421.9	1132888.65	133079.5	1796231	HEX2
18442.2	87682.79	8353.87	39718.20	48072.08	106125	26796.08	127401	HPT1
74303.23	547680.76	77025.76	567748.23	644774	621984	151329	1115429	HPT2
43354.21	404197.79	19573.87	182490.21	202064.1	447552	62928.09	586688	LPT1
48043.7	377556.29	20545.09	161455.7	182000.8	425600	68588.79	539012	LPT2
75554.76	666813.23	59623.83	526213.77	585837.6	742368	135178.6	1193027	LPT3



Fig. 5 Different part of system component's exergy destruction شکل 5 قسمتهای مختلف تخریب اگزرژی اجزای سیستم

برای کاهش آن باید به بهبود خود ان جزء پرداخته شود.

همچنین مقدار زیادی از تخریب اگزرژی اجزای سیستم غیرقابل اجتناب هستند و و در نتیجه با توجه به "شکل 5" در بهترین حالت کارکرد نیز در حدود 50-60٪ تخریب اگزرژی در سیستم وجود خواهد داشت. در ادامه با توجه به "شکل 5" مشاهده میشود که با بازنگری و اصلاح سه جزء LPT3 LPT2 و HEX2 که در آنالیز اگزرژی و اقتصادی در اولویت قرار گرفتند می توان حدود 20 الی 30 درصد از تخریب اگزرژی آنها را کاهش داد.

حال که قسمتهای مختلف تخریب اگزرژی اجزای سیستم مشخص شد، مرحلهی بعدی پیشنهادهایی برای کاهش این برگشت ناپذیریهاست. در جدول 6 راه حلهایی کلی برای رویارویی با حالتهای مختلف بیان شده است. در مورد برگشت ناپذیریهای درونزای قابل اجتناب، تعویض و یا طراحی دوبارهی جزء مورد بررسی پیشنهاد شده است. در مورد برگشت ناپذیریهای برونزای قابل اجتناب، بهینهسازی فرآیند و یا بالا بردن بازده باقی اجزا پیشنهاد شده است.

6–3– بهینهسازی سیستم

Table 5

در این قسمت نیز از ترمافزار اسپن هایسیس 8.3 و اریجینال اپتیمایزر برای بهینهسازی سیستم استفاده میکنیم. سه قدم کلی برای نتظیم بهینهساز هایسیس وجود دارد. ابتدا انتخاب متغیرهای اصلی^۱ است، که در واقع همان متغیرهایی هستند که برای بهینه کردن تابع هدف باید دستکاری شوند. در این تحقیق نسبت فشار توربینها بهعنوان متغیر اصلی انتخاب شده است. در قدم بعد ابتدا باید تابع هدف را در اسپریدشت نرمافزار تعریف، و سپس به عنوان مقداری که قرار است بهینه شود انتخاب کرد که در اینجا مجموع توان توربینها به عنوان تابع هدف تعریف میشود.

در مرحلهی اخر قیدهای^۲ بهینهسازی مشخص می شوند. مشخص کردن این قیدها در این تحقیق بیشتر برای محکم کاری عملکرد سیستم و مبدل هاست و در صورت پیش نیامدن ایرادی در اجزا پس از بهینهسازی نیازی به تعریف آن ها نیست. در این تحقیق قیدهای زیر در نظر گرفته شده است:

 ΔT_{min} در مبدلها بیشتر از C° 0.5 باشد (کمتر از 0.5 حالت ایدهال و دور از دسترس)



Fig. 3 Exergy destruction of system components





شکل 4 بازدہ اگزرژی اجزای سیستہ

جدول 5 مرتب سازی اجزا براساس اولویت بهبود یابی Arranging the components based on preference of

mprovement			-	
\dot{Z}_k (\$/hr)	اجزا	\dot{Z}_k (\$/hr)		اجزا
8.676241	H1	119.467	LPT3	
6.938762	RH1	98.31	HEX2	
4.705752	C1	85.18	LPT2	
3.199873	HEX1	40.06	HPT1	
2.338696	Pump2	31.92	HPT2	
2.145664	Pump1	22.46	LPT1	

6-2- تحليل نتايج اگزرژی پيشرفته

"شکل 5" تقسیم بندی تخریب اگزرژی برای اجزای مختلف سیستم را نشان میدهد. همان گونه که مشخص است, مقدار زیادی از تخریب اگزرژی کندانسور C1 و هیتر H1 برونزا است که ناشی از تأثیر آنها از برگشت ناپذیریهای توربینهای LPT2 و LPT3 و مبدل HEX2 میباشد که قبل از آنها قرار گرفتهاند میباشد. بنابراین افزایش بازدهی و کارایی این سه جزء که در قسمت قبل نیز به آن اشاره شده علاوه بر کاهش تخریب اگزرژی خود آنها باعث کاهش تخریب اگزرژی برونزای کندانسور و هیتر H1 نیز میشوند. در اجزای دیگر تخریب اگزرژی وابسته به جزء خارجی ناچیز بوده و

¹ Primary variables ² Constraint functions

مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1396، دوره 17 شماره 7

Table 6 Methods to reduce avoidable exergy destruction								
	ای کاهش	روشھ	قسمتھای		خریب اگزرژی	تقسیم بندی ت		
روش پ ^پ	روش ب ^ب	روش الف ^ا	دارای اهمیت	$\dot{E}^{ m AV.EX}_{ m D.k}$	$\dot{E}^{ m AV.EN}_{ m D.k}$	$\dot{E}^{\mathrm{AV}}_{\mathrm{D.}k}$	Ė _{D.k}	اجزا
×	×	×	EN./EX.	114080.76	62424.528	176505.3	333430	C1
×	×	×	EN./EX.	614453.422	520197.47	1134651	2128979	H1
		×	EN.	8735.54344	38695.598	47431.14	93071.22	RH1
		×	EN.	2130.63946	21861.203	23991.84	63482.7	HEX1
		×	EN.	54935.4024	741486.48	796421.9	1929311	HEX2
		×	EN.	8353.8761	39718.204	48072.08	154197.1	HPT1
		×	EN.	77025.7655	567748.23	644774	1266758	HPT2
		×	EN.	19573.8799	182490.21	202064.1	649616.1	LPT1
		×	EN.	20545.0935	161455.7	182000.8	607600.8	LPT2
		×	EN.	59623.8313	526213.77	585837.6	1328206	LPT3

جدول 6 روش،های کاهش تخریب اگزرژی قابل اجتناب

- خروجی H1 و RH1 ثابت در دما و فشار 2°356.9 و 9010KPa
 (خروجی ثابت پس از دریافت انرژی حرارتی سیال داغ شده توسط خورشید)
- خروجی LPT3 در دما و فشار 2°50.64 و آب اشباع
 (خروجی مشخص برای ورودی کندانسور)
 - عدم وجود بخار تا خروجی پمپ دوم.
 - تغییرات پارامترهای بهینهسازی شده در جدول (7) موجود است.

همچنین همان طور که در جدول (8) مشخص است، بهیته سازی سیستم علاوه بر افزایش توان استحصالی ار توربین ها، باعث کاهش تخریب اگزرژی و هزینهی محصولات سیستم (محاسبه شده توسط حل معادلات مدل ترمواکونومیک) می شود.

7- نتیجه گیری

در این پروژه ابتدا یک فرایند سیکل نیروگاه خورشیدی در اسپن هایسیس مدلسازی و پس از اعتبارسنجی، مورد ارزیابی اگزرژتیک و بهینهسازی قرار گرفته است. سپس با توجه به نتایج پیشنهاداتی برای ایجاد تغییرات در این

جدول 7 مقایسه ی پارامترهای بهینهسازی

Table 7 comparison of optimization parameters						
حالت بهينه	حالت پايه	پارامتر				
2.21	2.22	نسبت فشار HPT1				
2.20	2.18	نسبت فشار HPT2				
2.19	2.12	نسبت فشار LPT1				
9.66	10	نسبت فشار LPT2				
9.49	9.05	نسبت فشار LPT3				

جدول 8 مقایسهی ویژگیهای مهم سیستم پایه با بهینهسازی شده **Table 8** comparison of important parameters of basic and optimized system

system		
حالت بهينه	حالت پايه	پارامتر
10.8	10.1	کل توان استحصالی (MW)
18294105.92	19380576.66	تخریب اگزرژی کل (kJ/h)
1493	1532	هزینهی محصولات (h/\$)

سیکل شده است، تا بتوان با ایجاد تغییراتی در برخی از اجزا، اعم از افزایش بازدهی برخی اجزا و یا جایگزینی آنها با تجهیزاتی ارزانتر و با صرفهتر، مصرف انرژی و هزینههای سیکل کاهش پیدا کند. سپس با انتخاب متغیر های اصلی و تابع هدف، بهینهسازی بر روی سیستم انجام شده که به افزایش توان استحصالی و کاهش تخریب اگزرژی و هزینهی محصولات سیستم انجامیده است.

بر طبق نتایج حاصل از تحلیل اگزرژی، LPT2، LPT3 و HEX2 و HEX2 بیشترین میزان اتلاف اگزرژی، جهت افزایش کارآمدی ارجحیت دارند که نتیجهی آن با نتایج حاصل از اولویت،بندی اجزای سیستم بر طبق تحلیل اگزرژی اکونومی مطابقت دارد.

همچنین با تقسیمبندی تخریب اگزرژی توسط آنالیز اگزرژی پیشرفته به دو جزء درونزا و برونزا، مشاهده میشود که عامل اکثر تخریب اگزرژی برونزا، سه جزء LPT3 LPT2 و HEX2 هستند که این نتیجه گیری از بالا بودن تخریب اگزرژی برون زا در کندانسور C1 و مبدل H1 نسبت به سایر اجزا ناشی میشود. در مرحلهی بعد و تقسیم تخریب اگزرژی به چهار قسمت، راه حلهای موثر برای کاهش بازگشتناپذیری هر جزء ارائه شده است.

همچنین تخریب اگزرژی درونزای سه جزء LPT3 LPT2 و HEX2 و HEX2 و HEX2 و HEX2 نشاندهندهی امکان کاهش 20 الی 30 درصدی از کل تخریب اگزرژی آنها می باشد. بنابراین با بهبود همزمان پنج جزء LPT3 LPT3 LPT3 و H1 و IHEX LPT3 یاعث بهبود عملکرد می تواند با کاستن قابل توجه از تخریب اگزرژی سیستم, باعث بهبود عملکرد و افزایش توان خروجی شود.

در مرحلهی نهایی و با تعریف متغیرها و توابع هدف در اپتیمایزر نرمافزار اسپن هایسیس، سیستم بهینهسازی شد که در نتیجهی آن توان خروجی سیستم افزایش و تخریب اگزرژی و هزینهی محصولات (محاسبه شده توسط اگزرژی اکونومی) کاهش پیدا کرده است.

8- فهرست علايم

قیمت جریان (Tj/\$)	С
اگزرژی (kJ/h)	Ε
آنتالپی	h
عمر سيستم	n
هزینهای راهاندازی و نگهداری (\$)	OMC

Mechanical Engineering, Vol. 23, No. 5, pp. 2247, 2016.

نوذر اکبری و سہیل شیخی

- [10] M. Mehrpooya, A. Shafaei, Advanced exergy analysis of novel flash based Helium recovery from natural gas processes, Energy,
- control of a 30 MWe SEGS VI parabolic trough plant, Solar Energy, Vol. 76, No. 1, pp. 187-193, 2004.
- analysis of C 2+ recovery plants refrigeration cycles, Chemical Engineering Research and Design, Vol. 89, No. 6, pp. 676-689, 2011.
- [13] P. Ahmadi, I. Dincer, M. A. Rosen, Thermodynamic modeling and multi-objective evolutionary-based optimization of a new multigeneration energy system, Energy Conversion and Management, Vol. 76, pp. 282-300, 2013.
- [14]C. J. Brown, Advanced Exergy and Exergoeconomic Analysis of the Major Components of a Combined Cycle Power Plant, Thesis, Texas A&M University, 2015.
- Exergy Approach to Biofuels, Power, and Biorefineries, pp. 37-90, 2016.
- [16]L. Wang, Y. Yang, T. Morosuk, G. Tsatsaronis, Advanced thermodynamic analysis and evaluation of a supercritical power plant, Energies, Vol. 5, No. 6, pp. 1850-1863, 2012.
- refrigeration system in ethylene and propylene production process,
- Exergoeconomic and exergoenvironmental analyses of a combined cycle power plant with chemical looping technology, International Journal of Greenhouse Gas Control, Vol. 5, No. 3, pp. 475-482, 2011.
- [19] D. Igbong, D. Fakorede, Exergoeconomic analysis of a 100 MW unit GE Frame 9 gas turbine plant in Ughelli, Nigeria, International Journal of Engineering and Technology, Vol. 4, No. 8, pp. 463-468, 2014.
- [20] M. Mishra, P. K. Das, S. Sarangi, Optimum design of crossflow plate-fin heat exchangers through genetic algorithm, International Journal of Heat Exchangers, Vol. 5, No. 2, pp. 379-401, 2004.
- [21]S. S. Grossel, Chemical process equipment: Selection and design, Chemical Engineering, Vol. 113, No. 3, pp. 10-12, 2006.
- [22] L. Wang, Y. Yang, C. Dong, Z. Yang, G. Xu, L. Wu, Exergoeconomic evaluation of a modern ultra-supercritical power plant, Energies, Vol. 5, No. 9, pp. 3381-3397, 2012.
- [23] H. Sayyaadi, M. Babaelahi, Thermoeconomic optimization of a cryogenic refrigeration cycle for re-liquefaction of the LNG boiloff gas, International Journal of Refrigeration, Vol. 33, No. 6, pp. 1197-1207, 2010.
- [24] Barghnews, 1395; http://www.barghnews.com.
- [25]S. Kelly, Energy systems improvement based on endogenous and exogenous exergy destruction, Applied Thermal Engineering, Vol. 26, No. 17, pp. 2142-47, 2008.
- [26]G. Tsatsaronis, T. Morosuk, Advanced exergetic analysis of a refrigeration system for liquefaction of natural gas, International Journal of Energy and Environmental Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 1-18, 2010.
- [27] T. Morosuk, G. Tsatsaronis, Advanced exergy analysis for chemically reacting systems-application to a simple open gasturbine system, International Journal of Thermodynamics, Vol. 12, No. 3, pp. 105-111, 2009.
- [28]F. Petrakopoulou, G. Tsatsaronis, T. Morosuk, A. Carassai, Conventional and advanced exergetic analyses applied to a combined cycle power plant, Energy, Vol. 41, No. 1, pp. 146-152, 2012.



- Vol. 114, pp. 64-83, 2016.
- [11]T. Stuetzle, N. Blair, J. W. Mitchell, W. A. Beckman, Automatic
- [12] B. Tirandazi, M. Mehrpooya, A. Vatani, S. A. Moosavian, Exergy
- [15] K. J. Ptasinski, Exergy Analysis, Efficiency of Biomass Energy: An
- [17]F. Fabrega, J. Rossi, J. d'Angelo, Exergetic analysis of the
- Energy, Vol. 35, No. 3, pp. 1224-1231, 2010. [18] F. Petrakopoulou, A. Boyano, M. Cabrera, G. Tsatsaronis,
 - [1] R. Rosa, Carbon Management and Low Carbon Emission Strategies, Proceeding of the first International Exergy, Energy and Environment Symposium, 2003.
 - V. Khalilzadeh Bavil, J. Mahmoudimehr, Modeling and optimization of the quasi-steady operation of Solar Power Plant equipped with thermal energy storage system, Modares Mechanical Engineering, Vol. 15, No. 10, pp. 249-258, 2015. (In (فارسیPersian
 - S. A. Kalogirou, S. Karellas, K. Braimakis, C. Stanciu, et al., [3] Exergy analysis of solar thermal collectors and processes, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 56, pp. 106-137, 2016.
 - [4] T. J. Kotas, The Exergy Method of Thermal Plant Analysis: Elsevier, pp. 29-56, 2013.
 - A. Bejan, G. Tsatsaronis, Thermal Design and Optimization: John Wiley & Sons, pp. 333-405, 1996.
 - [6] S. Sheikhi, B. Ghorbani, R. Shirmohammadi, M. H. Hamedi, Thermodynamic and economic optimization of a refrigeration cycle for separation units in the petrochemical plants using pinch technology and exergy syntheses analysis, Gas Processing Journal, Vol. 2, No. 2, pp. 39-52, 2014.
 - [7] K. Javaherdeh, A. Alizadeh, M. Zoghi, Simulation of combined steam and organic rankine cycle from energy and exergoeconomic point of view with exhaust gas source, Modares Mechanical Engineering, Vol. 16, No. 7, pp. 308-316, 2016. (in Persian فارسى)
 - [8] K. Hanifi, K. Javaherdeh, M. Yari, Exergy, exergoeconomic analysis and optimization of cogeneration cycle under solar radiation dynamic model by using Genetic Algorithm, Modares Mechanical Engineering, Vol. 15, No. 5, pp. 205-216, 2015. (In (فارسی Persian
 - [9] F. Boyaghchi, M. Sabaghian, Advanced exergy and exergoeconomic analyses of Kalina cycle integrated with parabolic-trough solar collectors, Scientia Iranica Transaction B,

دما (K) Т قيمت اجزا (h/\$) Ζ راندمان اگزرژی ε قابل اجتنام Aν ch

علايم يونان

بالانويسھ

9- مراجع

PEC هزينهى تجهيزات (\$)

