

تحلیل ترمودینامیکی نیروگاه چرخه ترکیبی گازسازی یکپارچه: انرژی و انرژی

مجید جان‌باز

علی بهبهانی نیا*

کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

چکیده

نیروگاه چرخه ترکیبی گازسازی یکپارچه با استفاده از سوخت‌های هیدروکربنی به تولید برق پاک‌تر و بهینه‌تر از طریق گازسازی، در مقایسه با سوختن مستقیم سوخت می‌انجامد. در این مقاله، این نیروگاه با توجه به ویژگی‌های نیروگاه توسط نرم‌افزار Thermoflow شبیه‌سازی و اعتبارسنجی شده است. فرضیات موردنظر اعمال و تحلیل انرژی با نرم‌افزار EES انجام شده است. نتایج تحلیل انرژی و توان مصرفی اجزاء به دست آمده و تحلیل انرژی برای یافتن مقادیر و محل بازگشت‌ناپذیری‌های سیستم اعمال شده است. توان خالص خروجی و راندمان الکتریکی خالص به ترتیب ۲۳۴/۸۹ مگاوات و ۳۰/۶۹ درصد شد. بازدهی انرژی ۴۵/۵۷ درصد و بیشترین مقدار بازگشت‌ناپذیری هم از محل‌های گازساز، واحد پاک‌سازی گاز و بویلر بازیاب به ترتیب ۲۱۶/۶ و ۲۱۰/۶ و ۱۱۳/۶ مگاوات است. در نهایت هم چرخه به صورت پارامتریک تحلیل شده است و تأثیرات تغییر دمای گازساز و فشار چگالنده بر راندمان‌ها و توان نهایی نیروگاه بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی: چرخه ترکیبی گازسازی یکپارچه، گازسازی، زغال‌سنگ، تحلیل انرژی، تحلیل انرژی.

Thermodynamic analysis of Integrated Gasification Combined Cycle power plant: Energy, Exergy

M. Janbaz

Department of Mechanical Engineering (MSc), K. N. Toosi university of technology, Tehran, Iran

A. Behbahania

Department of Mechanical Engineering (Associate Professor), K. N. Toosi university of technology, Tehran, Iran

Abstract

The integrated gasification combined cycle power plant using hydrocarbon fuels produces cleaner and more efficient electricity through gasification, compared to direct fuel burning. In this paper, the power plant has been simulated and validated by Thermoflow software according power plant characteristics. The assumptions are applied and exergy analysis is done using EES software. The results of energy and power consumption analysis of the obtained components and exergy analysis are applied to find the values and locations of system irreversibility. The net output of the cycle and thermal efficiency are 234.89 MW and 30.69% respectively. The exergy efficiency of the power plant is 45.57%. Maximum amount of irreversibility is from the gasifier, gas cleanup system, and HRSG, respectively 216.600, 210.607 and 113.653 MW. Finally, the cycle is analyzed parametrically and the effects of the gas temperature change and pressure of the condenser on the efficiency and final power of the power plant have investigated.

Keywords: Integrated Gasification Combined Cycle, Gasification, coal, Energy Analysis, Exergy Analysis.

۱- مقدمه

گازسازی روشی پاک برای تبدیل زغال‌سنگ به برق، مواد شیمیایی و سایر انواع سوخت می‌باشد [۱]. اساس این فناوری تبدیل زغال‌سنگ به گاز است که یک فناوری قدیمی است و در آمریکا و اروپا تا قبل از دسترسی آسان به گاز طبیعی، در سطح وسیعی جهت تولید گاز شهری استفاده می‌شد. در نیروگاه‌هایی که از این فناوری استفاده می‌کنند، گاز مورد استفاده در توربین گاز توسط واحد گازساز یا اکسید شدن زغال‌سنگ تولید می‌شود. انجام فرآیندهای شیمیایی مختلف، این نیروگاه‌ها را به واحدهای ایده‌آل چندمنظوره مبدل ساخته است، در سال‌های گذشته نیروگاه‌های چرخه ترکیبی گازسازی یکپارچه با اندازه‌های بزرگ برای تولید برق و هیدروژن از باقیمانده‌ی پالایشگاه‌ها احداث شده است [۲].

هدف احتراق تولید حرارت است، درحالی‌که هدف گازسازی تولید سوخت یا مواد شیمیایی است، بنابراین، در طول فرایند احتراق، مقدار استکیومتری اکسیدکننده به‌طور کامل با مواد اولیه اکسید شده و باعث

تولید حداکثر خروجی حرارتی می‌شود [۳]. درحالی‌که در فرآیند گازسازی، انرژی حرارتی کمی برای تبدیل مواد اولیه به سوخت‌های مفید تولید می‌شود. به دلیل عملکرد این واحدها در فشار بالا، فرآیند پاک‌سازی گاز قبل از احتراق، بسیار کارآمد و مقرون‌به‌صرفه است، زیرا جریان کمی از سوخت با فشار جزئی بالا پاک‌سازی می‌شود، نسبت به فرآیندهای پاک‌سازی بعد از احتراق، که باید تمام گازهای احتراق را با جریان‌های بسیار بزرگ‌تر در فشارهای محیطی تمیز کند.

در سال ۲۰۱۱ کونز و همکاران بر روی آنالیز انرژی ساختاریافته چرخه ترکیبی گازساز تحقیق کردند [۴] و به منظور شناسایی هویت چرخه ترکیبی گازسازی یکپارچه و بهینه‌سازی آن، تجزیه و تحلیل دلایل تلفات انرژی در فرآیند انجام شد. در سال ۲۰۱۳، گرابنر و همکاران به تحلیل عملکرد چرخه‌های IGCC کنونی با گازسازی زغال‌سنگ پرداختند [۵] که نتایج منجر به مقاله‌ای شد که شامل تحولات اخیر در گازسازی زغال‌سنگ بود و زیربنای تحقیق روی چرخه‌های کنونی شد. بین‌شی و همکاران در سال ۲۰۱۸ طراحی جدید

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: alibehbahania@kntu.ac.ir

هستند که باید دفع شوند. این واحد می‌تواند گازی با ناخالصی‌های بسیار کمی را فراهم کند [۱۱]. چرخه ترکیبی شامل توربین گاز، بویلر بازیاب، توربین بخار و سیستم‌های کمکی مربوطه می‌شود.

۳- تحلیل انرژی و انرژی

نرم‌افزار استفاده‌شده در این مطالعه *GTpro* یکی از ماژول‌های نرم‌افزار *Therflow* است. *GTpro* یک نرم‌افزار تجاری برای طراحی انواع چرخه‌های ترکیبی است که برای تحلیل انرژی چرخه نیروگاهی در اینجا استفاده‌شده است.

انرژی بالاترین پتانسیل انجام کاری است که بدون نقض قوانین ترمودینامیکی می‌توان تولید کرد تا به تعادل ترمودینامیکی با محیط رسید [۱۲]. در غیاب اثرات هسته‌ای، مغناطیسی، الکتریکی و کشش سطحی، انرژی یک سیستم به چهار جزء فیزیکی شیمیایی جنبشی و پتانسیل طبق رابطه‌ی (۱) تقسیم می‌شود.

$$ex_{sys} = ex_{sys}^{PH} + ex_{sys}^{KN} + ex_{sys}^{PT} + ex_{sys}^{CH} \quad (1)$$

با توجه به شکل ۱ روابط انرژی برای اجزای چرخه نوشته‌شده است که به‌طور کلی تخریب انرژی هر جز برابر اختلاف انرژی سوخت و محصول جز است که در زیر آورده شده است.

واحد جداساز هوا:

$$\dot{E}_{asu}^P = \dot{E}_4 + \dot{E}_5 \quad (2)$$

$$\dot{E}_{asu}^F = \dot{W}_{asu} + \dot{E}_3 - (\dot{E}_2 - \dot{E}_1) \quad (3)$$

گازساز:

$$\dot{E}_{gf}^F = \dot{E}_6^{ch} + \dot{E}_7 + \dot{E}_8^{ch} - \dot{E}_{10}^{ch} \quad (4)$$

$$\dot{E}_{gf}^F = \dot{E}_9 + \dot{E}_{10}^{ph} + \dot{E}_8^{ph} - \dot{E}_6^{ph} \quad (5)$$

واحد پاکسازی گاز:

$$\dot{E}_{gcs}^F = \dot{E}_9 + \dot{E}_{14} + \dot{E}_{11} \quad (6)$$

$$\dot{E}_{gcs}^P = \dot{E}_{13} + \dot{E}_{15} + \dot{E}_{16} + \dot{E}_{12} \quad (7)$$

توربین بخار HPTA:

$$\dot{E}_{hpta}^F = \dot{E}_{25} - \dot{E}_{26} \quad (8)$$

$$\dot{E}_{hpta}^P = \dot{W}_{hpta} \quad (9)$$

توربین بخار HPTL:

$$\dot{E}_{hptl}^F = \dot{E}_{27} - \dot{E}_{28} \quad (10)$$

$$\dot{E}_{hptl}^P = \dot{W}_{hptl} \quad (11)$$

توربین بخار LPTL:

$$\dot{E}_{lptl}^F = \dot{E}_{29} - \dot{E}_{30} \quad (12)$$

$$\dot{E}_{lptl}^P = \dot{W}_{lptl} \quad (13)$$

چگالنده:

$$\dot{E}_{cond}^F = \dot{E}_{30} - \dot{E}_{31} \quad (14)$$

$$\dot{E}_{cond}^P = \dot{E}_{33} - \dot{E}_{35} \quad (15)$$

پمپ ۳۱:

$$\dot{E}_{pu31}^F = \dot{W}_{pu31} \quad (16)$$

$$\dot{E}_{pu31}^P = \dot{E}_{35} - \dot{E}_{34} \quad (17)$$

پمپ ۳۲:

$$\dot{E}_{pu32}^F = \dot{W}_{pu32} \quad (18)$$

$$\dot{E}_{pu32}^P = \dot{E}_{23} - \dot{E}_{31} \quad (19)$$

چرخه‌های IGCC را ارائه دادند و با اضافه کردن واحدهای جداسازی هوای پیشرفته، نشان دادند که این کار منجر به تولید اکسیژن خالص تر، توان بیشتر و افزایش ۱۲/۲ درصدی راندمان نیروگاه شد [۶]. الزار و همکاران در سال ۲۰۱۸ [۷] نیز با روش جدید بهینه‌سازی چرخه‌های IGCC برای تولید هیدروژن و الکتریسیته، نتیجه گرفتند که استفاده از زغال‌سنگ‌های درجه پایین باعث تولید هیدروژن و الکتریسیته ارزان‌تری می‌شود که می‌توان با این چرخه تولید کرد.

با توجه به پیچیدگی بسیار زیاد این نوع نیروگاه‌ها و ناقص بودن تحلیل انرژی به‌تنهایی جهت بهینه‌سازی چرخه، شناخت کامل این نیروگاه و اجزای آن از لحاظ انرژی جهت بهینه‌سازی و شناخت مقدار و محل بازگشت‌ناپذیری‌ها و اتلافات انرژی بسیار حائز اهمیت است. در این مقاله ابتدا یک نیروگاه با استفاده از نرم‌افزار ترموفلو شبیه‌سازی و با مرجع [۸] اعتبار سنجی شده است و سپس تحلیل انرژی نیروگاه انجام‌شده و نتایج آن به‌دست‌آمده است.

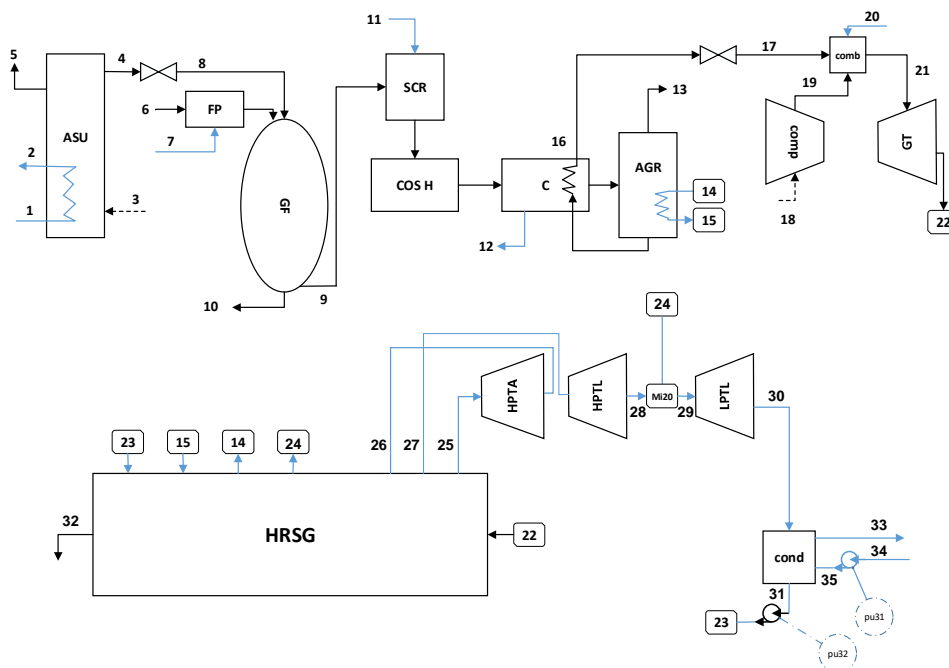
۲- طرح سیستم

چرخه ترکیبی گازساز ی یکپارچه شامل مبانی و زیرساخت‌هایی مطابق شکل ۱ است. پیکربندی و ویژگی‌های خاص این نیروگاه‌ها بستگی به شرایط مرزی خاص خود دارد. قسمت جداساز هوا وظیفه‌ی رساندن اکسیژن به قسمت گازساز و نیتروژن به توربین گاز به‌عنوان گازی برای پاکسازی و رقیق‌کنندگی دارد. جریان گاز باید قبل سوختن در قسمت سیکل ترکیبی تصفیه شود [۹].

اکثریت قریب به‌اتفاق گازسازها در نیروگاه‌های IGCC از اکسیژن با خلوص حداقل ۸۵ درصد به‌عنوان عامل گازساز استفاده می‌کنند. خلوص اکسیژن موردنیاز در عملکرد IGCC حدود ۸۵ تا ۹۹.۵ درصد هست. هوای محیط وارد قسمت جداسازی هوا شده و با صرف توان قابل‌ملاحظه‌ای اکسیژن آن جداسازی و به گازساز ارسال می‌شود و باقی نیز به محیط تخلیه می‌شود.

در قسمت گازساز زغال‌سنگ آسیاب شده و با آب مخلوط و وارد گازساز می‌شود. اکسیژن خالص نیز بعد از عبور از شیر فشارشکن و تنظیم فشار با فشار گازساز، وارد آن می‌شود. ویژگی‌های مختلف و موضوعات مربوط به واحدهای زیرشاخه یک واحد گازساز به‌طورقطع بستگی به تکنولوژی راکتور دارند [۱۰]. اغلب از این گرما به‌منظور تولید بخار برای تولید توان در توربین‌های بخار استفاده می‌شود. درنهایت قسمت دفع خاکستر وجود دارد که یکی از واحدهای قسمت گازساز است.

در واحد دفع گاز اسیدی و بازیابی سولفور، گاز سنتز تولیدی پس از عبور از اسکرابرها وارد قسمت هیدرولیز سولفور شده و سپس خنک شده و گازهای اسیدی آن جدا می‌شود و به توربین گاز فرستاده می‌شود. تصفیه اولیه گاز شامل جداسازی مواد جامد مانند آمونیاک و کلریدها است. ترکیبات سولفور مانند H_2S و جیوه مهم‌ترین ناخالصی‌ها



شکل ۱- طرحواره‌ی کلی نیروگاه چرخه ترکیبی گاز بسازی یکپارچه

۴/۹	۷۲۹۱۰	۷۶۶۷۳	توان چرخه بخار (kW)
-----	-------	-------	---------------------

۲-۴- نتایج تحلیل انرژی

ظرفیت نهایی نیروگاه حدود ۲۳۵ مگاوات است و دارای بویلر بازیاب دو فشاره، هوازا و چرخه بخار بسته با برج خنک‌کننده جریان طبیعی است. نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل انرژی نیروگاه در جدول ۲ به تفصیل بیان شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود راندمان چرخه و ظرفیت ناخالص به ترتیب ۳۰/۶۹ درصد و ۲۸۶/۶۹۱ مگاوات است که مقدار ۵۱/۷۹۵ مگاوات آن مصرف و نهایتاً ظرفیت خالص آن ۲۳۴/۸۹۶ مگاوات است.

جدول ۲- نتایج حاصل از تحلیل انرژی نیروگاه

مقدار	پارامتر
۲۳۴۸۹۶	توان خالص خروجی نیروگاه (kW)
۳۰/۶۹	راندمان الکتریکی (HHV)
۲۵/۱۱	راندمان CHP
۳۷۴۵۰۴	توان توربین گاز (kW)
۱۷۰۵۰۶	توان کمپرسور هوا (kW)
۸۶۶۷۳	توان توربین بخار (kW)
۳۹۸۳۰	توان مصرفی ASU (kW)
۹۰۸	توان پمپ ۳۱ (kW)
۵۱	توان پمپ ۳۲ (kW)

۳-۴- بررسی پارامتری

یکی از تأثیرگذارترین عوامل بر روی عملکرد گازساز و درنهایت راندمان چرخه دمای گازساز است. به‌طوری‌که با استفاده از خنک‌کننده‌های تابشی گاز سنتز می‌توان راندمان چرخه را ۴٪ تا ۵٪ در مقایسه با سیستم‌های خنک‌کننده اطفایی بیشتر کرد، اما گران‌تر

کمپرسور:

$$\dot{E}_{comp}^F = \dot{W}_{comp} \quad (20)$$

$$\dot{E}_{comp}^P = \dot{E}_{19} - \dot{E}_{18} \quad (21)$$

محفظه احتراق:

$$\dot{E}_{comb}^F = \dot{E}_{17} + \dot{E}_{20} \quad (22)$$

$$\dot{E}_{comb}^P = \dot{E}_{21} - 0.93443 * \dot{E}_{19} \quad (23)$$

۶/۵۶٪ هوای فشرده کمپرسور به محفظه‌ی احتراق نمی‌رود و به‌صورت زیرکش، به‌طور مستقیم وارد توربین گاز می‌شود.

توربین گاز:

$$\dot{E}_{gt}^F = \dot{E}_{21} + 0.06557 * \dot{E}_{19} - \dot{E}_{22} \quad (24)$$

$$\dot{E}_{gt}^P = \dot{W}_{gt} \quad (25)$$

بویلر بازیاب:

$$\dot{E}_{hrsg}^F = \dot{E}_{22} + \dot{W}_{hrsg} \quad (26)$$

$$\dot{E}_{hrsg}^P = (\dot{E}_{25} - \dot{E}_{26}) + (\dot{E}_{27} + \dot{E}_{24}) + (\dot{E}_{14} - \dot{E}_{15}) + (\dot{E}_{32} - \dot{E}_{23}) \quad (27)$$

کل سیستم:

$$\dot{E}_{tot}^F = \dot{E}_7 - \dot{E}_{32} \quad (28)$$

$$\dot{E}_{tot}^P = \dot{W}_{gt} + \dot{W}_{tptl} + \dot{W}_{hptl} + \dot{W}_{hpta} - \dot{W}_{comp} - \dot{W}_{pu29} - \dot{W}_{pu30} - \dot{W}_{pu31} - \dot{W}_{pu32} - \dot{W}_{asu} \quad (29)$$

۴- ارائه نتایج و بحث

۱-۴- اعتبار سنجی

نتایج به‌دست‌آمده از مدل توسعه داده‌شده با مرجع [۸] اعتبار سنجی و نتایج در جدول ۱ آورده و مقایسه شده است.

جدول ۱- اعتبار سنجی نیروگاه شبیه‌سازی‌شده با مرجع

انحراف (%)	مرجع	کار حاضر	پارامتر
۳/۶	۴۱/۰۶	۴۲/۶	راندمان الکتریکی نیروگاه (%)
۹/۴۳	۲۴/۰۱	۲۶/۵۱	راندمان چرخه بخار (%)
۴/۸	۲۷۲۹۲۱	۲۸۶۶۹۱	توان ناخالص نیروگاه (kW)

مختلف به دست آمده و سپس موازنه انرژی برای هر جز بسته می شود. دبی مصرفی زغال سنگ مشخص شده و مقدار گاز سنتز خروجی از گازساز به دست آمده که پس از طی مراحل تصفیه وارد توربین گاز شده است. خروجی توربین وارد بویلر بازیاب شده و به عنوان نیروی محرکه چرخه بخار عمل می کند.

جدول ۳ نتایج تحلیل انرژی را نشان می دهد. بیشترین و کمترین بازده انرژی مربوط به توربین گاز و پمپ ۳۲، به ترتیب با ۹۸/۵۸ درصد و ۴۷/۳۳ درصد است. GCS و GF با ۳۲/۹ درصد و ۳۳/۸ درصد دارای بیشترین مقدار تخریب هستند که به دلیل انجام واکنش های شیمیایی در هر دو تجهیز است.

جدول ۳- نتایج حاصل از تحلیل انرژی نیروگاه

اجزا	\dot{E}_i^p (KW)	y_i^{ex}	η_i^{ex}
جداساز هوا	۱۱۹۵۰	۰/۰۱۸۶۸	۷۰/۱۳
شیر فشار شکن ۴۹	۴۲۵	۰/۰۰۰۶۴۵	-
گازساز	۲۱۶۶۰۰	۰/۳۳۸۶	۶۸/۲۶
واحد پاکسازی گاز	۲۱۰۶۰۷	۰/۳۳۹۲	۷۰/۵۸
کمپرسور	۸۵۳۸	۰/۰۱۳۳۵	۹۴/۹۹
محفظه احتراق	۵۹۶۳۱	۰/۰۹۳۲۲	۸۷/۸۸
توربین گاز	۵۳۵۰	۰/۰۰۸۳۶۴	۹۸/۵۸
بویلر بازیاب	۱۱۳۶۵۳	۰/۱۷۷۷	۵۵/۶۳
توربین بخار HPTA	۲۷۶۹	۰/۰۰۴۳۲۸	۹۰/۵
توربین بخار HPTL	۱۷۰۴۵	۰/۰۰۰۲۷۲	۹۹/۷
توربین بخار LPTL	۵۱۲۹	۰/۰۰۸۰۱۸	۹۱/۵۷
چگالنده	۳۷۰۸	۰/۰۰۵۷۹۷	۶۶/۶۳
پمپ ۳۱	۱۸۲۰۴	۰/۰۰۰۲۸۵۱	۷۹/۹۲
پمپ ۳۲	۲۶۸۸	۰/۰۰۰۰۴۲۰۲	۴۷/۳۳
کل سیستم	۶۳۹۶۸۹	-	۴۵/۵۷

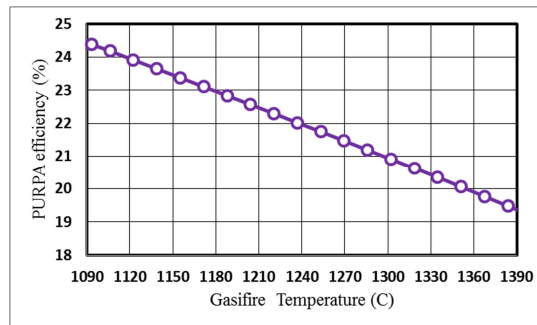
۵- نتیجه گیری

همان طور که بیان شد در این مقاله عملکرد نیروگاه چرخه ترکیبی گازساز یکپارچه برای تولید توانی بسیار پاک تر از نیروگاه های معمول زغال سنگ سوز از دید انرژی و انرژی بررسی شد. آرایش این چرخه به گونه ای است که بجای سوزاندن مستقیم زغال سنگ، ابتدا در گازساز با کمک اکسیژن خالص تولید شده در واحد جداساز هوا، در شرایط کنترل شده گاز سنتز تولید شده و طی گذراندن مراحل تصفیه در واحد پاکسازی گاز وارد توربین گاز شده و از آن پس یک چرخه ترکیبی معمول برای تولید وجود دارد. ابتدا به شبیه سازی نیروگاه در نرم افزار ترمودینامیکی و با اعمال ویژگی های مورد نظر از لحاظ ترمودینامیکی و ویژگی های نیروگاه، تحلیل انرژی چرخه انجام شد. سپس با استفاده از خواص ترمودینامیکی نقاط مختلف چرخه، به کمک نرم افزار EES، چرخه را از لحاظ انرژی تحلیل کردیم و سرانجام با تغییر پارامترهای مهم در نقاط حساس عملکرد کلی نیروگاه را بررسی کردیم که نتایج مهم به دست آمده از این تحلیل ها به شرح زیر است:

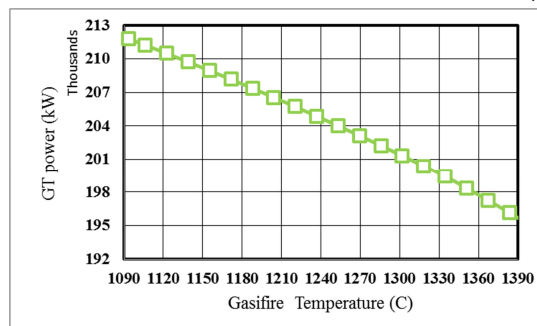
راندمان چرخه و ظرفیت آن به ترتیب ۳۰/۶۹٪ و ۲۸۶/۶۹۱ مگاوات خواهد بود که مقدار ۵۱/۷۹۵ مگاوات آن مصرف و نهایتاً

می شود. در نمودار شکل ۲ الف تأثیر دمای گازساز بر روی راندمان PURPA مشاهده می شود که با افزایش دما به صورت تقریباً خطی کاهش می یابد و در شکل ۲ ب نیز متناوباً کاهش توان نهایی نیروگاه در اثر افزایش دمای گازساز مشاهده می شود.

(الف)

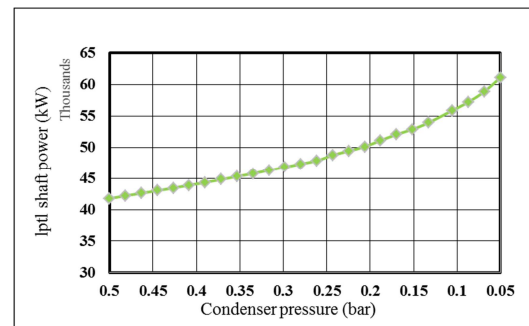


(ب)



شکل (۲): الف- نمودار تغییر راندمان در اثر دمای گازساز. ب- نمودار تغییر توان نهایی چرخه در اثر دمای گازساز

در شکل ۳ نیز تأثیر کاهش فشار چگالنده را بر روی عملکرد توربین بخار $lptl$ می بینیم و همان طور که انتظار داشتیم این کاهش فشار باعث افزایش توان تولیدی توربین و استفاده هر چه بهتر از انرژی سیال پایین دست شده است.



شکل ۳- نمودار تغییر توان توربین بخار در اثر تغییر فشار چگالنده

۴- نتایج تحلیل انرژی

نیروگاه با استفاده از قوانین ترمودینامیکی در نرم افزار EES تحلیل شده است. علت استفاده از این نرم افزار کتابخانه قوی خواص ترمودینامیکی سیال های مختلف و امکان کد نویسی در آن است. با داشتن خواص ترمودینامیکی نقاط مختلف، انرژی جریانی نقاط

- and Environmental Protection, Vol. 89, pp.41-52, 2011.
- [2] Laugwitz A., Grabner M., Meyer B., *Availability analysis of integrated gasification combined cycle (IGCC) power plants*, Power plant life management and performance improvement, pp.110-142, 2011.
- [3] Wang T., Stiegel G., *Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Technologies*, Hughes, s., Woodhead Publishing, chapter 1, United Kingdom, 2017.
- [4] Christian K., Riedl K., Spliethoff H., *Structured exergy analysis of an integrated gasification combined cycle (IGCC) plant with carbon capture*, Korean J. Chem. Eng., Vol. 36, No. 3, pp.1480-1487, 2011.
- [5] Grabner M., Meyer B., *Performance and exergy analysis of the current developments in coal gasification technology*, Fuel, Vol. 116, pp.910-920, 2013.
- [6] Shi B., Xu W., Wu E., WeiWu, Kuo P., *Novel design of integrated gasification combined cycle (IGCC) power plants with CO₂ capture*, Journal of Cleaner Production, Vol. 195, pp. 176-186, 2018.
- [7] Al-Zareer M., Dincer I., Rosen A., *Multi-objective Optimization of an Integrated Gasification Combined Cycle for Hydrogen and Electricity Production*, Computers and Chemical Engineering, 2017.
- [8] Wang T., Henry A Long., *Performance and Economic Analysis of Biomass/Coal Co-Gasification IGCC Systems with Supercritical Steam Bottom Cycle*, Proceedings of the ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Houston, Texas, USA, pp.1-3, 2012.
- [9] Emun F., Gadalla M., Majazi T., Boer D., *Integrated gasification combined cycle (IGCC) process simulation and optimization*, Computers and Chemical Engineering, Vol. 34, pp.331-338, 2010.
- [10] Soltani, S., Mahmoudi, S.M.S., Yari, M., Morosuk, T., Rosen, MA., Zare, V., *A comparative exergoeconomic analysis of two biomass and co-firing combined power plants*, Energy Conversion and Management, Vol. 76, pp.83-91, 2013.
- [11] Melchior, T., Madlener, R., *Economic evaluation of IGCC plants with hot gas cleaning*, Applied Energy, Vol. 97, pp.170-184, 2012.
- [12] Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M., *Thermal Design and Optimization*, John Wiley, Chap. 3, Canada, 1996.

ظرفیت خالص آن ۲۳۴/۸۹۶ مگاوات است. با کاهش دمای گازساز، راندمان کلی چرخه تقریباً به صورت خطی افزایش می‌یابد و همچنین متناوباً افزایش توان نهایی نیروگاه نیز مشاهده می‌شود. بازدهی انرژی نیروگاه ۴۵/۵۷٪ و بیشترین مقدار بازگشت‌ناپذیری هم از محل‌های گازساز، واحد پاکسازی گاز و بویلر بازیاب به ترتیب برابر با ۲۱۶/۶۰۰، ۲۱۰/۶۰۷ و ۱۱۳/۶۵۳ مگاوات است.

۶- نمادها

IGCC	چرخه ترکیبی گازساز یکیارچه
HRSG	بویلر بازیاب
AGR	واحد پاکسازی گاز
m	دبی جرمی (kg/s)
E	انرژی (kW)
ex	انرژی ویژه (kJ/kg)
y	کسرتخریب انرژی %
W	توان (kW)
sys	سیستم
In	ورودی
Out	خروجی
Tot	کل
GF	گازساز
GT	توربین گاز
C	خنک‌کننده
COS H	واحد هیدرولیز COS
SCR	اسکرابر
FP	واحد آماده سازی سوخت
ASU	واحد جداسازی هوا
GCS	واحد پاکسازی گاز
Mi	مخلوطکن
HPTA	توربین بخار فشار بالا
HP TL	توربین بخار
LPTL	توربین بخار فشار پایین
cond	چگالنده
Pu	پمپ
comp	کمپرسور
comb	محفظه احتراق
PH	فیزیکی
KN	جنبشی
PT	پتانسیل
CH	شیمیایی
i	جزء
D	تخریب
L	اتلاف

۷- مراجع

- [1] Sarah E., Sinclair., *The sustainability of clean coal technology: IGCC with/without CCS*, Process Safety