J. Energy Conversion
Volume: 11, Issue: 2, 2024: 83-101

نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)

دوره ۱۱، شماره ۲، تابستان۱۴۰۳، ص: ۸۳-۱۰۱

بررسی انرژی ، اگزرژی و اقتصادی یک سیستم جدید تولید همزمان توان، حرارت و سرما ترکیب شده با توربین گازی و انتقال گرمای جذبی

علی عیوضی[1*]

*۱ - دانشجو دکتری، گروه مکانیک، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، alieyvazi1996@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۷، بازنگری: ۱۴۰۳/۲/۲۰، پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۲۴

چکیده

در این تحقیق یک سیستم خنک کننده‌ی ترکیبی گرمایش و الکتریسیته را پیشنهاد و یک تحلیل ترمودینامیکی کامل ارایه شده است. این سیستم شامل یک توربین گاز، یک سیستم خنک کننده با حرارت، سیستم تولید همزمان برق و یک مبدل حرارتی آب گرم است.. گرمای اضافی در توربین گاز در ابتدا توسط سیستم تولید همزمان تولید می‌شود و از طریق یک توربین بخار آمونیاک به قدرت تبدیل می‌شود. سپس بخار خروجی توربین بخار آمونیاک در یک سیستم تبرید جذبی تک اثره آب برای تولید انرژی خنک کننده استفاده می‌شود. استفاده موثر از انرژی مازاد تولید شده و بازیابی انرژی اتلافی می‌تواند باعث کاهش مصرف گاز طبیعی در مقایسه با سیستم های قدرت مستقل، سرمایش و گرمایش شود. بازده انرژی و اگزرژی سیستم مورد مطالعه به ترتیب ۲۰ و ۲۱ درصد به دست می‌آید که مقدار مناسب و معقولی می‌باشد. نتایج تحلیل‌های اقتصادی نشان می‌دهد که با هزینه کل ۵۶/ ۹۳ دلار بر ثانیه و هزینه سرمایه گذاری و نگهداری کل ۱۷۳۲ دلار بر ثانیه با به کارگیری توابع هزینه به روز برای اجزای مختلف، سیستم پیشنهادی در عمل صرفه اقتصادی بالایی دارد. این کار ممکن است یک روش جدید را برای افزایش راندمان و بهره وری عملکرد ترمودینامیکی سیستم های تولید همزمان فراهم کند.

***عهده‌دار مکاتبات** : alieyvazi1996@gmail.com

کلمات کلیدی: تولید همزمان، ارزیابی اقتصادی، ارزیابی اگزرژی، توربین گازی، سرمایش جذبی

.

نحوه استناد به این مقاله علی عیوضی. بررسی انرژی ، اگزرژی و اقتصادی یک سیستم جدید تولید همزمان توان، حرارت و سرما ترکیب شده با توربین گازی و انتقال گرمای جذبی. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۳; ۱۱ (۲) : ۸۳-۱۰۱.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۱- مقدمه

امروزه با توجه به نیاز روز افزون و گسترده جامعه بشری به تولید توان و انرژی الکتریکی، استفاده از منابع طبیعی و سوخت های فسیلی جهت دستیابی به این مهم افزایش یافته است. پایان پذیر بودن سوخت‌های فسیلی در کنار آلایندگی این سوخت ها توجه سیاست گذاران انرژی و حاکمان سیاسی در کشور های مختلف دنیا را بر استفاده از منابع تجدید پذیر و بهبود کارایی و بهره وری تجهیزات و امکانات مبتنی بر سوخت‌های فسیلی جذب کرده است. سیستم های تولید همزمان برق، گرما و سرما یکی از تکنولوژی های مبتنی بر سوخت های فسیلی هستند که علاوه بر تولید برق، از گرمای تلف شده نیاز گرمایشی و سرمایشی مصرف کنندگان خانگی و صنعتی را تامین می‌کنند و موجب ذخیره انرژی، افزایش بازده اقتصادی و کاهش آلودگی محیط زیست می‌شوند. سیستم تولید همزمان تحت استراتژی تامین بار الکتریکی دارای مزایای بسیاری نسبت به سیستم تولید توان جداگانه و حتی سیستم تولید همزمانی که تحت استراتژی تامین بار حرارتی کار می‌کند می‌باشد. انرژی الکتریکی مورد نیاز ساختمان ها و کارخانه ها را می‌توان در همان محل مصرف به کمک سیستم تولید همزمان ایجاد کرد که از نظر اقتصادی بسیار به صرفه است. سیستم تولید سه گانه با مصرف سوخت در یک محرک اولیه که این محرک می تواند توربین گازی، توربین بخار، موتور رفت و برگشتی و یا پیل سوختی باشد، انرژی لازم را به دست آورده و الکتریسیته مورد نیاز را تهیه می‌نماید و از حرارت اتلافی برای تامین گرمای مورد نیاز استفاده می‌شود. در قبال سوخت ورودی به مولد الکتریسیته، حرارت مورد نیاز تولید می شود و می‌توان الکتریسیته بیشتری تولید کرد و مازاد آن را به شبکه برق فروخت. انرژی بازیابی شده از حرارت اتلافی در کاهش مصرف سوخت و آلودگی محیط زیست بسیار موثر است. در سیستم تولید همزمان انرژی شیمیایی سوخت به انرژی مکانیکی و گرمایی تبدیل می شود که انرژی مکانیکی برای تولید برق و انرژی حرارتی برای تامین گرما به کار می‌رود. کمبود انرژی و آلودگی محیط زیست منجر به تحقیق و توسعه فناوری و به دست آوردن روش های نوین برای بهبود بهره وری انرژی شده است. سیستم های ترکیبی سرمایش، گرمایش و توان اخیرا توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند و به عنوان گسترش دهنده سیستم‌های ترکیبی سرمایش و گرمایش در نظر گرفته می‌شوند. به طور معمول در این سیستم گاز خروجی دما بالا برای تولید برق در توربین گازی استفاده می‌شود و پس از آن تولید خنک کننده در چیلر جذبی و تولید حرارت در مبدل حرارتی با استفاده از انرژی حرارتی باقیمانده در گاز خروجی ادامه می‌یابد. بهره برداری همزمان و چند جانبه از یک وسیله برای رسیدن به چند هدف، سیاست انسان در ساخت سیستم های تولید انرژی است که سیستم تولید سه گانه به بهترین شکل ممکن از عهده این مهم بر می‌آید. سیستم‌های تولید همزمان پتانسیل بالایی در کمک به صرفه جویی انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست دارد و مورد توجه فعالان تجاری و اقتصادی قرار گرفته است[1]. سیستم تولید همزمان دارای دو ویژگی برجسته امکان پذیر بودن و انعطاف پذیر بودن است که در هر زمان و مکانی تحت شرایط و عوامل گوناگون، نیاز های مصرف کنندگان را برطرف می‌کند. سیستم تولید همزمان روشی موثر برای صرفه جویی در مصرف انرژی در مقایسه با سیستم‌های اولیه خنک کننده و گرمایش جداگانه است، چون از موتور محرک اصلی برای گرم کردن و خنک کردن ساختمان استفاده می‌کند. این امر یک جایگزین برای جهان معرفی می‌کند تا مشکلات مربوط به انرژی مانند کمبود انرژی ، تامین انرژی و کنترل انتشار را حل می‌کند. عملکرد انرژی سیستم به شدت به آب و هوای منطقه بستگی دارد به صورتی که اگر محل نصب دارای تقاضای گرمایشی بالاتر باشد، صرفه جویی در انرژی به میزان قابل توجهی بالا خواهد بود. ساختمان‌ها مخزن اصلی مصرف کننده انرژی هستند که ۴۰ درصد کل مصرف انرژی را تشکیل می‌دهند . صرفه جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌ها اغلب با منافع اقتصادی و زیست محیطی همراه

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

نیست. علاوه بر این استفاده بهینه از انرژی و جلوگیری از اتلاف انرژی در ساختمان‌ها می‌تواند چالش‌ها و معضلات بیشتری به همراه داشته باشد. سیستم تولید همزمان الکتریسیته، حرارت و برودت نه تنها به دلیل ظرفیت برتر آن برای مصرف بهینه انرژی بلکه به خاطر مزایای اقتصادی و زیست محیطی بهینه‌ی آن در ساختمان‌ها به کار گرفته می‌شود. بدیهی است که تکامل سیستم تولید همزمان و کاهش هزینه سرمایه گذاری در این سیستم‌ها ، آن‌ها را برای استفاده وسیع در ساختمان‌ها سودمندتر می‌سازد. یک سیستم تولید همزمان با محرک اولیه یا میکروتوربین مزایای قابل توجهی را از نظر انرژی، ملاحظات اقتصادی و زیست محیطی برای ساختمان‌ها نشان می‌دهد[2]. از زمان آغاز عصر الکتریسیته، نیروگاه های برق گرمای بیشتری نسبت به الکتریسیته تولید کردند. در سال ۱۸۸۲ توماس ادیسون از تولید همزمان برق و توان در اولین نیروگاه تجاری در نیویورک استفاده کرد. سپس در ابتدا قرن بیستم ، بخار منبع اصلی نیروی مکانیکی شد. در همین زمان ، انرژی قابل کنترل و ارزیابی بود و بسیاری از خانه‌های کوچک و کارخانه‌ها و کارگاه‌ها که از بخار و انرژی حرارتی برای گرم کردن استفاده می‌کردند، به امکان تولید برق نیز پی بردند. بعد از جنگ جهانی دوم، پیشرفت قابل توجهی در کارخانه‌های برق متمرکز وجود داشت که می‌توانستند الکتریسیته را در یک منطقه وسیع تحویل دهند. جیانگ و همکاران یک سیستم تولید همزمان مجهز شده به سیستم رطوبت گیری و سیستم هیبرید تبرید را ارزیابی کردند. سیستم هیبرید تبرید شامل سیستم جذبی و تراکمی می شود. طراحی و بهینه سازی آن‌ها بر اساس یک مدل حرارتی – اقتصادی می‌باشد. مدل پیشنهادی آن ها در تصمیم گیری در جهت کاهش هزینه های جاری و سرمایه گذاری بسیار موثر واقع شد [3]. اساره و همکاران بر روی یک سیستم تجدیدپذیر بر مبنای استفاده از انرژی خورشیدی و زمین گرمایی تقویت شده با ژنراتورهای ترموالکتریک برای تولید برق، سرمایش و تولید آب شیرین کار کردند .این سیستم متشکل از زیرسیستم هایی شامل یک چاه زمین گرمایی، یک چیلر جذبی، کلکتور خورشیدی سهموی (PTCs) سیکل رانکین بخار و واحد نمک زدایی اسمز معکوس بود .دو تابع هدف این پژوهش نرخ هزینه و بازده اگزرژی عنوان شد .برای تعیین مقادیر بهینه توابع هدف، از الگوریتم بهینه سازی چند هدفه ژنتیک استفاده شد .نتایج نشان داد نرخ هزینه نهایی بعد از بهینه سازی 10.41دلار بر گیگاژول و بازده اگزرژی 20.52 درصد است[4]. علی رحیمی و همکاران بر روی تجزیه و تحلیل انرژی، اگزرژی و بهینه سازی چندهدفه و آنالیز اقتصادی برای یک سیستم تولید چندگانه انرژی شامل محصولات تولید برق، هیدروژن، آب شیرین، سرمایش و گرمایش برای شهر دزفول کار کردند .سیستم مورد بررسی از زیرسیستم های سیکل رانکین بخار، سیکل ارگانیک رانکین، چیلر جذبی، کلکتور خورشیدی سهموی، چاه زمین گرمایی، الکترولایزر PEM و اسمز معکوس تشکیل شد . در این پژوهش از الگوریتم بهینه- سازی چندهدفه ژنتیک NSGA-II ، برای بهینه سازی توابع هدف استفاده شد و نتایج نشان دادکه بازده اگزرژی سیستم 31.66 درصد است[5]. هو و همکاران بر روی بهینه سازی اقتصادی حرارتی سیستم انرژی ترکیبی زمین گرمایی خورشیدی کار کردند .برای اولین بار در این مطالعه یک روش جدید برای تحقق پیش بینی سریع و دقیق عملکرد سیستم پیشنهاد شد که امکان طراحی طول عمر سیستم انرژی ترکیبی زمین گرمایی خورشیدی را با توجه به واقعی بودن آن فراهم ساخت .در این پژوهش ثابت شد که رویکرد جدید به ترتیب در بهبود تولید برق در زمان عمر مفید سیستم در تولید برق و ارزش فعلی خالص تا 17 و 14 درصد کارآمدتر است .علاوه بر این، در مقایسه با نیروگاه های زمین گرمایی مستقل، این سیستم ترکیبی بهره وری توربین پمپ را بهتر نشان داد و مزایای بالقوه اقتصادی بهتری دارد، زیرا قیمت کلکتورهای خورشیدی زیر 75 دلار در هر متر مربع کاهش یافت[6]. بوشنگ و همکاران مطالعه ای بر روی بهینه سازی عملکرد یک سیستم تولید سه گانه جدید بر اساس استفاده مصنوعی از بیوگاز و انرژی خورشیدی انجام دادند. آنها ظرفیت موتور بهینه و زمان نگهداری

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

هیدرولیک را به ترتیب ۱۰۵۲ کیلووات و ۲۶۰.۲ ساعت به دست آوردند [7]. جیانگ جیانگ و همکاران یک سیستم ترکیبی تولید سه گانه را پیشنهاد کردند که از زیست توده و انرژی خورشیدی نیرو می گیرد. آنها از طریق تجزیه و تحلیل تکمیلی دریافتند که زیرسیستم تبدیل به گاز زیست توده سهم بیشتری در نسبت انرژی اولیه و کارایی سیستم دارد. با این حال، آنها تاکید کردند که زیرسیستم خورشیدی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای سیستم مساعدتر است[8]. محمد و همکاران اخیراً ارزیابی‌های اگزرژتیک و حرارتی یک سیستم تولید چندگانه مبتنی بر احتراق همزمان زیست توده و گاز طبیعی ارائه کرده است. نتایج آنها نشان داد که وقتی نسبت گاز طبیعی به گاز سنتز از ۰.۵ به ۱ افزایش یافت، خروجی کار خالص سیستم ۹۰.۷۷ درصد افزایش یافت در حالی که ضریب اکولوژیکی اصلاح شده عملکرد سیستم ۹.۴۹ درصد افزایش یافت [9]. شیائوفنگ و همکاران ارزیابی‌های اگزرژی و اگزرژو اقتصادی یک سیستم تولید چندگانه بر اساس شلیک همزمان گاز سنتز و گاز طبیعی را گزارش کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که معرفی گاز طبیعی راندمان اگزرژی سیستم را بهبود می بخشد. به طور خاص، آنها اشاره کردند که وقتی نسبت جرمی گاز از ۰ به ۱ تغییر می کند، هزینه اکسرژی واحد برق تولید شده توسط توربین گاز، آب سرد و آب گرم کاهش می یابد[10]. بر اساس بررسی بازار ارائه شده توسط ویلاند و همکاران ظرفیت نصب چرخه رانکین الی انباشته تا به امروز بیش از ۴ گیگاوات است. مطالعات متعددی بر روی ارزیابی فنی و اقتصادی برای تولید برق با چرخه ارگانیک رانکین متمرکز شده‌اند که نتیجه می‌گیرند که این یک فناوری قابل دوام برای تبدیل حرارت با دمای متوسط پایین به برق است[11]. لی و همکاران چرخه های ارگانیک رانکین تبخیر تک فشاری و دو فشاری را با استفاده از سیالات کاری خالص با دمای منبع حرارت در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد و بدون محدودیت در دمای اواپراتور خروجی ارزیابی و مقایسه کردند. نتایج نشان داد که برای دمای منبع حرارت بالاتر از یک مقدار معین، چرخه رانکین الی با اواپراتور فشار دوگانه هیچ مزیتی ندارد [12]. به طور خاص برای برنامه های کاربردی چرخه رانکین الی خورشیدی، لونی و همکاران اخیراً یک بررسی کامل در مورد استفاده از طیف گسترده ای از کلکتورهای خورشیدی مختلف برای جفت شدن به سیستم های رانکین الی ارائه کرده است. نویسندگان به این نتیجه رسیدند که بازده کلی سیستم را بالای ۲۰٪ ارائه می دهند[13]. ترکیب چرخه های انرژی رانکین الی مبتنی بر انرژی خورشیدی با کاربردهای خنک کننده و گرمایش ترکیبی مبتنی بر فناوری جذب، به اصطلاح تولید سه گانه مبتنی بر جذب رانکین الی هدایت شده خورشیدی، اخیرا توسط کاسیان و همکاران تحت بررسی قرار گرفته است [14]. گارسیا دومینگز و مارکوس شش پیکربندی جایگزین تولید سه گانه مبتنی بر جذب رانکین الی گرمایشی خورشیدی را که از طرح‌بندی سیستم رانکین الی تک فشاری و دو فشاری با سیالات آلی مختلف مشتق شده‌اند، مقایسه کردند. نتایج نشان داد که برای یک منبع حرارتی در محدوده ۱۸۰-۲۴۰ درجه سانتیگراد، سیستم رانکین الی تبخیر با فشار دوگانه مناسب نیست، و کارآمدترین طرح، رانکین الی فوق‌گرم شده بازسازی‌کننده تک فشار با تولوئن به عنوان سیال کار است. بازده کلی انرژی و اکسرژی یافت شده به ترتیب ۱۶۳.۷٪ و ۱۲.۳٪ بود[15]. آقازیارتی و اقدم یک سیستم تبرید آبشاری یکپارچه رانکین الی خورشیدی جدید را پیشنهاد و بررسی کردند که هم شامل یک سیستم تبرید جذب بخار و هم یک سیستم تبرید فشرده‌سازی بخار برای برآورده کردن نیازهای گرمایشی، سرمایشی و برقی یک بیمارستان است. نسبت بازده انرژی و اگزرژی سیستم تولید چندگانه یافت شده به ترتیب ۸۹.۴٪ و 81.5٪ بود[16]. هان و همکارانش یک سیستم تبرید حرارت محور جدید با یک زیر سیستم تراکمی حرارت محور و یک زیر سیستم تبرید جذبی ایجاد کردند و دریافتند که با همان حرارت ورودی سیستم ۴۶/۷ درصد سرمای بیشتر نسبت به سیستم تبرید جذبی متداول آب امونیاک تولید می‌شود. سیستم تبرید هیبریدی گرما محور می تواند از گرمای اضافی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

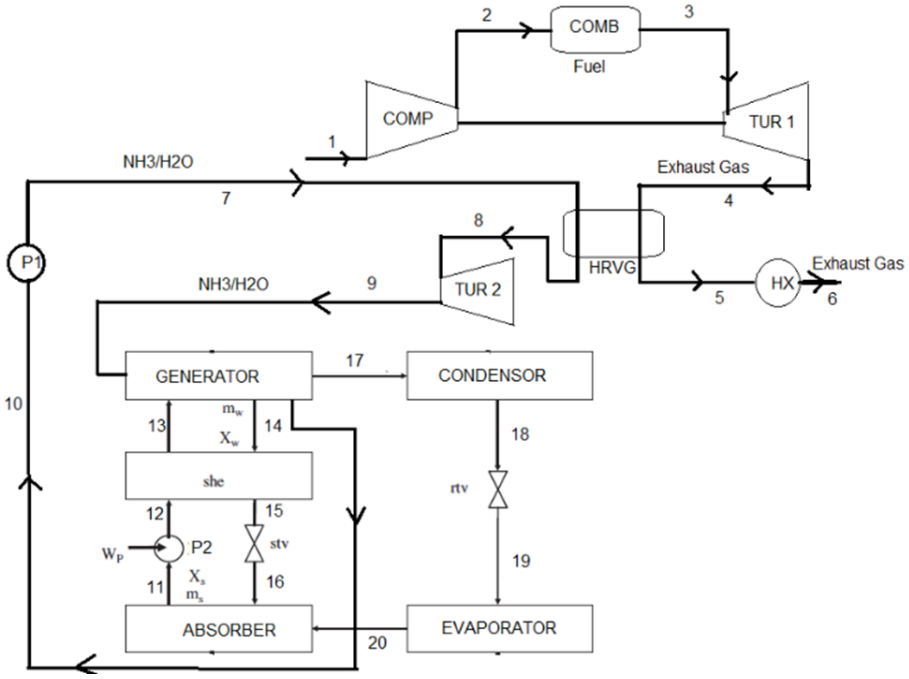
استفاده کند. در این پژوهش به منظور استفاده بیشتر از گرمای دما بالای گاز خروجی از توربین گاز و ترویج استفاده از آبشار انرژی یک سیستم جدید تولید همزمان پیشنهاد و ارزیابی می‌شود. این سیستم شامل یک توربین گاز ، یک توربین آب امونیاک ، یک یخچال جذب لایبر آب تک جداره و یک مبدل آب داغ است [17]. چوا و همکاران پیکر بندی های مختلف سیستم تولید همزمان را با انواع مختلف تکنولوژی‌های مختلف حرکت متحرک همچون میکرو توربین، ظرف استرلینگ خورشیدی و سیستم پیل سوختی در کمک پانل‌ها و زیست توده تراشه های چوبی را بررسی کرده اند. این سیستم ها برای جزیره توریستی در سنگاپور طراحی شده اند . در بین ترکیبات مختلف فناوری‌ها، مورد بهینه از نظر اقتصادی منجر به ۲۰ درصد نفوذ انرژی تجدید پذیر و صرفه جویی تا هزار تن کربن دی اکسید در سال می‌شود [18]. کالیز و همکاران یک سیستم تولید چندگانه مبتکرانه بر اساس انرژی زمین گرمایی و همچنین انرژی خورشیدی برای تامین برق، گرمایش، سرمایش و آب آشامیدنی برای جزیره آتشفشانی در جنوب دریای مدیترانه را شبیه سازی کردند. جمع کننده های خورشیدی فتوولتائیک / حرارتی می‌توانند حداکثر ۸۰۰ کیلووات برق الکتریکی با ظرفیت گرم کردن فضای ۷۰۰ کیلو وات، ظرفیت خنک کنندگی ۹۰۰ کیلووات و آب گرم خانگی با ظرفیت اسمی ۳۹۰۰ کیلووات را تأمین کنند. این سیستم همچنین می تواند ۲/۷۱ کیلوگرم بر ثانیه آب آشامیدنی با استفاده از گرمای حاصل از سیستم های خورشیدی و زمین گرمایی تولید کند. این به معنای صرفه جویی در حدود ۵۰۰۰ تن انتشار کربن دی اکسید در سال و تولید ۴۱۸۰۰ تن در سال آب شیرین است [19]. تجزیه و تحلیل اقتصادی-حرارتی دیگر از یک سیستم تولید هم زمان در مقیاس کوچک واقع در یک جزیره یونان، توسط کارلا و همکاران ارایه شد. یک چرخه ارگانین ارگانیک که توسط دیگ بخار زیست توده و جمع کننده های حرارتی خورشیدی اداره می‌شود می‌تواند ۱/۴۲ کیلووات برق و حدود ۵۰ کیلووات قدرت حرارتی را تأمین کند. دوره بازپرداخت برآورد شده بسته به هزینه های سرمایه گذاری و قیمت زیست توده بین چهار تا ۱۸ سال متفاوت است [20].

۲- توصیف سیستم مورد بررسی

این سیستم از یک توربین گاز، سیستم فرعی ترکیبی سرمایش و توان و یک مبدل حرارتی تشکیل شده است که در شکل ۳-۱ نشان داده شده است. در نقطه ۱ هوا از طریق کمپرسور به فشار و دمای بالاتر فشرده می‌شود. هوای فشرده در نقطه ۲ وارد محفظه احتراق می‌شود که در آن فرایند احتراق رخ می‌دهد. در نقطه ۳ مخلوط احتراق به توربین وارد می‌شود تا برق تولید کند. در سیکل رانکین آب-آمونیاک محلول پایه آب –آمونیاک در نقطه ۱۰ ابتدا توسط پمپ ۱ در نقطه ۷ پمپ می‌شود و سپس به درون یک لوله مارپیچ جریان می یابد. مولد بخار بازیابی شده که در آن به بخار آمونیاک فوق گرم نقطه ۸ با گرمای اگزوز خارج شده از تولید برق تبدیل می شود. بخار آمونیاک فوق گرم نقطه ۸ در توربین جریان محوری ۲ برای تولید توان الکتریکی منبسط می شود. سپس گرمای متراکم بخار آمونیاک نقطه ۹ و بخار و مایع نقطه ۱۰ گرمای مورد نیاز برای تولید زیر سیستم تبرید جذبی آب لیتیم برماید را فراهم می‌کند. نقاط ۷ ، ۸ ، ۹ ، ۱۰ تغییر حالت چرخه رانکین آمونیاک را نشان می‌دهد. سیکل تبرید جذبی تک اثره آب – لیتیم برماید از یک کندانسور، ژنراتور، اواپراتور، ابزوربر، مبدل حرارتی، پمپ و دو شیر انبساط تشکیل شده است. محلول رقیق شده لیتیم برماید در کف ابزوربر جمع می‌شود. از این قسمت یک پمپ محلول را به یک مبدل پوسته لوله هدایت می‌کند تا پیش گرم شود. بعد از خروج از مبدل ، محلول رقیق به سمت قسمت بالایی چیلر هدایت می‌شود. محلول رقیق لیتیم برماید توسط لوله های مسی که بخار یا آب داغ و یا آب گرم در آن ها جریان دارد ، احاطه می شوند. آب گرم، بخار

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

و یا آب داغ گرما را به محلول رقیق انتقال می دهند. محلول می جوشد و بخار آب از محلول جدا شده وبه کندانسور که در قسمت بالایی ژنراتور قرار دارد، راه پیدا می‌کند و محلول باقی مانده در ژنراتور غلیظ می‌گردد. محلول غلیظ به سمت مبدل حرارتی منتقل می‌شود تا در تبادل با محلول که به ژنراتور پمپ می شود دمای خود را از دست می‌دهد. بخار مبرد تولید شده در ژنراتور با انتقال به کندانسور توسط لوله های مسی که در آن آب برج خنک کننده جریان دارد، سرد شده و به اصطلاح میعان پیدا می‌کند و در تشتک کف کندانسور جمع می‌شود. مایع مبرد از کندانسور به اواپراتور انتقال می‌یابد و بر اساس مدل و سازنده چیلر معمولا بر روی لوله‌های مسی اواپراتور اسپری می‌گردد و با توجه به وکیوم در دمای ۳/۹ درجه سانتی گراد آب به جوش می‌آید. این امر باعث به جوش آمدن آب شده و آب سیستم تهویه که داخل لوله های مسی است با از دست دادن دما و انتقال دما به مبرد خنک شده و مبرد به جوش می‌آید و بخار آب در اواپراتور تولید می‌شود. از آن جایی که قسمت اواپراتور و ابزوربر به یک دیگر راه دارند، بخار آب تولید شده در اواپراتور به ابزوربر منتقل می‌شود و با پاشش لیتیم برماید غلیظی که از ژنراتور به مبدل حرارتی و سپس به اسپری‌های ابزوربر منتقل می‌شود و به دلیل خاصیت جاذب بودن لیتیم بخار تولید شده در قسمت اواپراتور جذب لیتیم برماید شده و محلول رقیق می‌شود. باید توجه داشت که جذب رطوبت توسط لیتیم برماید گرما تولید می‌کند که به وسیله لوله های مسی که در آن ها آب برج خنک کننده جریان دارد، این گرما دفع می گردد و حال محلول لیتیم برماید در پایین ترین قسمت چیلر جمع شده و دوباره توسط پمپ محلول پمپ می‌شود .



شکل ۱: سیستم تولید همزمان برق ، حرارت و سرمایش مورد بررسی

۳ -تحلیل انرژی

برای مدلسازی ریاضی و شبیه سازی چرخه هر عضو از سیستم به عنوان حجم کنترل در نظر گرفته می شود. معادله تعادل انرژی در معادله ۱ نشان داده شده است به صورتی که جریان سیال داخلی و خارجی و نابودی اگزرژی نشان داده شده است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

$$-\sum m_{in}\, h_{in} Q_{cv} - W_{cv} = \sum m_{out}\, h_{out} \quad (۱)$$

چهار نوع اگزرژی فیزیکی، جنبشی، پتانسیل و شیمیایی وجود دارد که در این تجقیق اگزرژی فیزیکی و شیمیایی مورد بررسی قرار گرفته است. رابطه اگزرژی فیزیکی در معادله ۲ نشان داده شده است [21].

$$ex_{ph} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (۲)$$

برای محاسبه راندمان کل سیستم از رابطه ۳ استفاده می شود که m_{fuel} جرم سوخت و LHV_{fuel} ارزش حرارتی سوخت می باشد.

$$\eta_{cchp} = \frac{Q_{heating} + Q_{cooling} + W_{net_total})}{m_{fuel} \times LHV_{fuel}} \quad (۳)$$

۴-تحلیل اگزرژی سیستم

معادله نابودی اگزرژی اجزای مختلف سیستم در جدول ۱ نشان داده شده است [24]،[23]، [22]، [21] .

جدول ۱ : نابودی اگزرژی اجزای سیستم

اجزای سیستم	معادله نابودی اگزرژی
کمپرسور	$E_{dist_comp} = m_{dot}(h_1 - T_0 \times s_1) - m_{dot}(h_2 - T_0 \times s_2) + m_{dot}(w_{a_{comp}})$
محفظه احتراق	$E_{dist_comb} = m_{dot}(h_2 - T_0 \times s_2) - m_{dot}(h_3 - T_0 \times s_3) + Q_{comb}\left(1 - \frac{T_0}{T_H}\right)$
توربین گازی	$E_{dist_turb_1} = m_{dot}(h_3 - T_0 \times s_3) - m_{dot}(h_4 - T_0 \times s_4) - m_{dot}(w_{a_{turb}})$
مبدل حرارتی	$E_{dist_hx} = m_{dot}(h_5 - T_0 \times s_5) - m_{dot}(h_6 - T_0 \times s_6)$
توربین بخار	$E_{dist_turb_2} = m_{dot}(h_8 - T_0 \times s_8) - m_{dot}(h_9 - T_0 \times s_9) - m_{dot}(w_{a_{turb_2}})$
جاذب	$E_{dist_abs} = m_{20}(h_{20} - T_0 \times s_{20}) + m_{16}(h_{16} - T_0 \times s_{16}) - m_{11}(h_{11} - T_0 \times s_{11}) - Q_{abs}\left(1 - \frac{T_0}{T_{abs}}\right)$
ژنراتور	$E_{dist_gen} = m_{13}(h_{13} - T_0 \times s_{13}) - m_{14}(h_{14} - T_0 \times s_{14}) - m_{17}(h_{17} - T_0 \times s_{17}) - Q_{gen}(1 - \frac{T_0}{T_{gen}})$
کندانسور	$E_{dist_cond} = m_{17}(h_{17} - T_0 \times s_{17}) - m_{18}(h_{18} - T_0 \times s_{18}) - Q_{cond}(1 - \frac{T_0}{T_{cond}})$
اواپراتور	$E_{dist_evap} = m_{19}(h_{19} - T_0 \times s_{19}) - m_{20}(h_{20} - T_0 \times s_{20}) - Q_{evap}(1 - \frac{T_0}{T_{evap}})$
شیر انبساط	$(s_{19} - E_{dist_{rtv}} = m_{18} T_{10}\, s_{18}\ )$

کارایی اگزرژی با رابطه 4 محاسبه می شود که w توان تولید شده در سیستم بوده و E_c اگزرژی سرمایشی خروجی و E_H اگزرژی گرمایشی خروجی سیستم می باشد که با روابط ۵ و ۶ محاسبه می شوند[25].

$$\eta ex = \frac{W + E_c + E_H}{m_{fuel} \cdot \varepsilon_{fuel}} \quad (۴)$$

$$E_c = m_{ref}[\left(\left(h_{EVA,in} - h_{EVA,out}\right)\right) - T_0\left(S_{EVA,in} - S_{EVA,out}\right)] \quad (۵)$$

$$E_H = Q_H\left(1 - \frac{T_0}{T_H}\right) \quad (۶)$$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۵-تحلیل اقتصادی

سیستم تولید همزمان برق، حرارت و سرمایش به دلیل پتانسیل اقتصادی آن در سود اقتصادی طولانی مدت با بازگشت سرمایه کوتاه مدت مورد توجه قرار گرفته است. با این حال سود اقتصادی بستگی به هزینه تجهیزات، بهره وری تجهیزات، برق و هزینه سوخت، شرایط آب و هوایی و محدودیت بودجه دارد. تابع هزینه کل نشان دهنده نرخ هزینه کل کارخانه بر حسب دلار در هر واحد زمان است که با رابطه ۷ نشان داده می‌شود[26] .

$$C_T = C_{env} + C_{fuel} + \sum C_{CIM} \quad (۷)$$

عبارت اول هزینه کربن دی اکسید، عبارت دوم هزینه سوخت و عبارت سوم نرخ سرمایه گذاری و نگهداری سرمایه است. که در آن c هزینه نقطه ای سوخت در هر واحد انرژی، m نرخ جریان جرم سوخت است. برای تبدیل سرمایه گذاری سرمایه به نرخ هزینه و محاسبه نرخ سرمایه گذاری و نگهداری سرمایه از رابطه 8 برای اجزای مختلف سیستم استفاده می‌شود .

$$C_{CIM} = CRF \times \frac{\varphi_r}{(N\times 3600)} \times PEC_k \quad (۸)$$

که در آن PEC تابع هزینه خرید است که بر حسب پارامتر های ترمودینامیکی سیستم بیان می‌شود. ضریب بازیابی سرمایه CRFیک پارامتر اقتصادی است که به نرخ بهره و طول عمر تجهیزات تخمین زده شده بستگی دارد. که با رابطه9 به دست می‌آید.

$$CRF=\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1} \quad (۹)$$

که در آن I نرخ بهره و N کل دوره عملیاتی سیستم در سال است. φ_r ضریب نگهداری است. توابع هزینه اجزای سیستم در جدول۲ نشان داده شده است[29]،[28]،[27]، [26] ، [25].

جدول ۲ : توابع هزینه اجزای سیستم

اجزای سیستم	توابع هزینه
کمپرسور	$PEC_{comp} = \left(\frac{39.5\times m_2}{0.9-eta_{comp}}\right)(\frac{P_2}{P_1})\ln(\frac{P_2}{P_1})$
محفظه احتراق	$PEC_{comb} = \left(\frac{46.08 \times m_2}{0.995 - \frac{P_3}{P_2}}\right)(1 + \exp(0.018 \times T_3 - 26.4))$
توربین گازی	$PEC_{turb} = \left(\frac{479.34\times m_3}{0.92-eta_{tur}}\right)\ln(\frac{P_3}{P_4})(1 + \exp(0.036 \times T_3 - 54.4))$
مبدل حرارتی بخار	$PEC_{HRVG} = \left(\frac{576.1}{397}\right)C_{0_{HRVG}}(B_{1,HRVG} + B_{2,HRVG} \times F_{M_{HRVG}}F_{P_{HRVG}})$
کندانسور	$PEC_{cond} = 1397 \times A_{cond}^{0.89}$
مبدل حرارتی سرمایش جذبی	$PEC_{she} = 383.5 \times A_{she}^{0.65}$
جاذب	$PEC_{abs} = 16500 \times (0.01 \times A_{abs})^{0.6}$
پمپ آب-آمونیاک	$PEC_{pump_1} = 1120 \times W_{pump_1}^{0.8}$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۶-نتایج

در این تحقیق اعتبار سنجی با کار Arora و همکاران[23] صورت گرفته است. در شرایط کاری به کار رفته فرض شده که دمای سکون ۲۵ درجه سانتی گراد ، فشار سکون ۱۰۱ کیلو پاسکال، دمای ژنراتور ۸۷/۸ درجه سانتی گراد ، دمای اواپراتور ۷/۲ درجه سانتی گراد ، دمای کندانسور و جاذب ۳۷/۸ درجه سانتی گراد می باشد. نتایج به دست آمده در مقایسه با مرجع مورد نظر در جدول ۳ نشان داده شده است که خروجی خوبی را نشان می‌دهد.

جدول ۳ : اعتبار سنجی[23]

پارامتر	نتایج به دست آمده	نتایج مرجع
ضریب عملکرد	۰/۷۹۲۲	۰/۷۶۰۹
نابودی اگزرژی جاذب(kw)	۸۱/۷۹	۷۰/ ۴۷۸
نابودی اگزرژی کندانسور(kw)	۷/۷۰۷	۶/۰۶۶
نابودی اگزرژی اواپراتور(kw)	۱۰۰/۶	۸۶/۲۷۵
نابودی اگزرژی ژنراتور (kw)	۵۸/۱۸	۵۶/۵۵

نتایج تحلیل انرژی مربوط به کار و گرمای اجزای سیستم شبیه سازی شده در نرم افزار (EES) در جدول ۴ و ۵ نشان داده شده است. اواپراتور بیشترین گرمای انتقالی را دارد و توربین دوم در چرخه آب-آمونیاک دارای حداکثر کار تولیدی می باشد.

جدول ۴ : گرمای منتقل شده اجزای سیستم

پارامتر	مقدار(kw)
گرمای مبدل حرارتی	۳۴۵۹
گرمای ژنراتور	۲۷۴۶
گرمای اواپراتور	۴۳۴۶
گرمای ژنراتور مبدل حرارتی بخار	۲۹۲۱
گرمای کندانسور	۳۴۳۰
گرمای جاذب	۷۵۵/۶

جدول ۵ : کار منتقل شده اجزای سیستم

پارامتر	مقدار(kw)
کار پمپ یک	۳۱/۸۵
کار چرخه آب-آمونیاک	۸۸۶/۴
کار پمپ دو	۵/۶۴۱
کار کل سیستم	۳۸۷۴
کار واقعی کمپرسور	۲۶۰/۲
کار ایزونتروپیک کمپرسور	۲۱۸/۶

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

کار واقعی توربین یک	۶۰۴/۲
کار ایزونتروپیک توربین یک	۶۹۴/۵
کار واقعی توربین دو	۹۱۸/۲
کار ایزونتروپیک توربین دو	۱۰۴۳
کار چرخه تبرید جذبی	۵/۶۴۱

نتایج حاصل از محاسبه نابودی اگزرژی سیستم در جدول ۶ نشان داده شده است. محفظه احتراق در چرخه گازی بیشترین نابودی اگزرژی را در مقایسه با سایر اجزای سیستم دارد که ناشی از واکنش های شیمیایی ناشی از فرایند احتراق می باشد و موثرترین راه برای افزایش راندمان سیستم، بهبود عملکرد احتراق در محفظه احتراق در چرخه گازی می باشد.

جدول ۶ : نابودی اگزرژی اجزای سیستم

پارامتر	مقدار(kw)
نابودی اگزرژی کندانسور	۷/۷۰۱
نابودیی اگزرژی شیر انبساط	۸/۰۸۵
نابودی اگزرژی محفظه احتراق	۱۶۲۸
نابودی اگزرژی مبدل حرارتی بخار	۱۰/۳۲
نابودی اگزرژی کمپرسور	۱۹۳/۴
نابودی اگزرژی اواپراتور	۱۰۰/۶
نابودی اگزرژی ژنراتور	۵۸/۱۸
نابودی اگزرژی توربین یک	۵۷/۲۸
نابودی اگزرژی جاذب	۸۱/۷۹
نابودی اگزرژی مبدل حرارتی	۱۸۲/۹
نابودی اگزرژی توربین دو	۸۰/۸

نتایج تحلیل انرژی و اگزرژی سیستم نشان داده شده در جدول 7 بیان کننده راندمان انرژی و اگزرژی معقول و کارکرد مطلوب سیستم می باشد.

جدول ۷ : نتایج تحلیل انرژی و اگزرژی سیستم

پارامتر	مقدار(٪)
راندمان قانون اول ترمودینامیک	۲۱/۲۹
راندمان قانون دوم ترمودینامیک	۲۰/۶۸
ضریب ذخیره سوخت مصرفی	۲۵۸۹۰
ضریب عملکرد سیستم تبرید جذبی	۷۹/۲۴

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

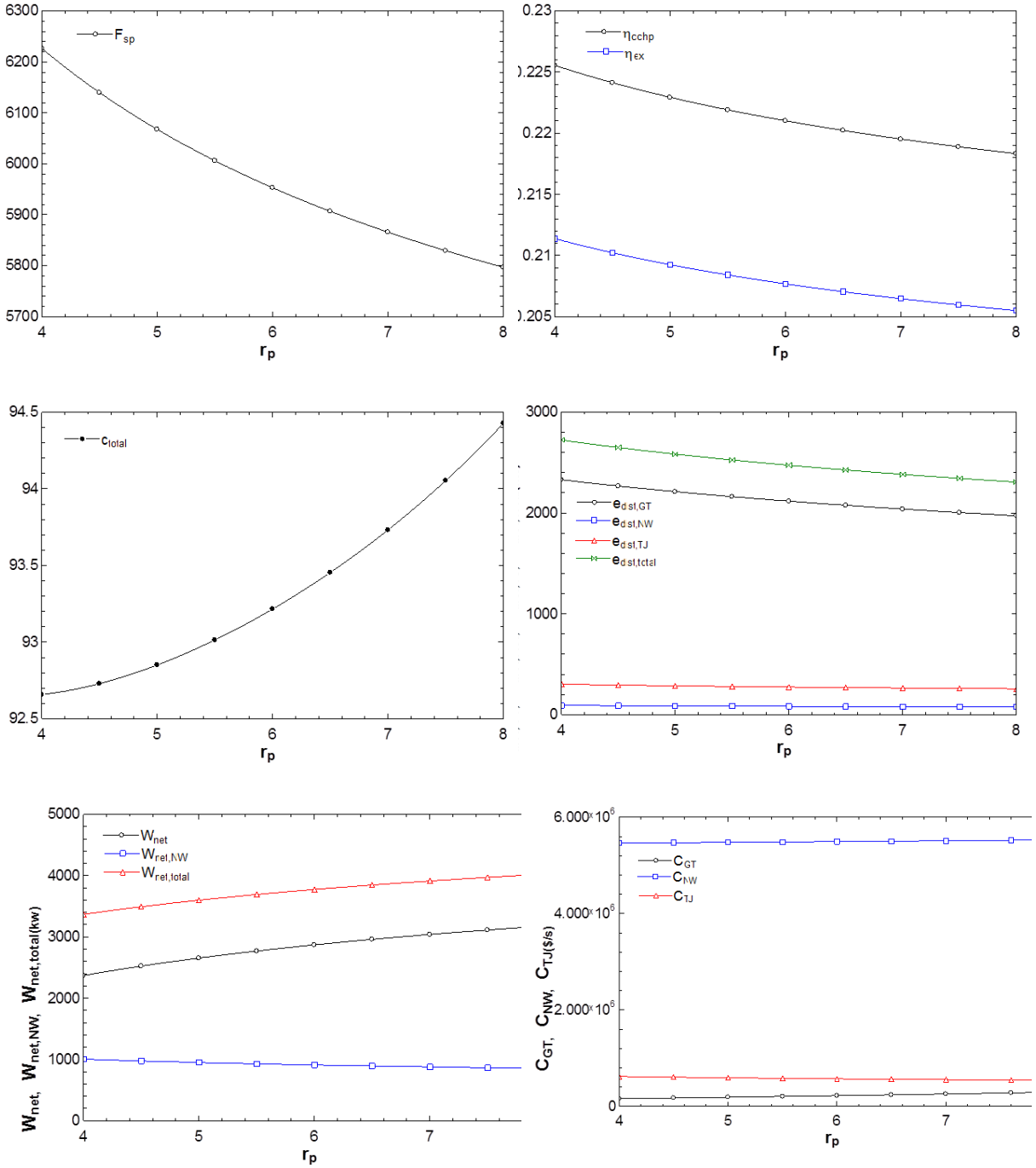
با استفاده از توابع هزینه به روز در سیستم مورد بررسی سعی شده است تا توجیه اقتصادی به کارگیری سیستم افزایش یابد و سیستمی کارامد معرفی گردد به طوری که محاسبه اقتصادی اجزای سیستم و نتایج حاصل از هزینه اجزا با استفاده از توابع هزینه در جدول8 نمایش داده شده است.

جدول ۸: نتایج تحلیل اقتصادی

پارامتر	مقدار ($/s)
هزینه جاذب	۴۰۸۱۶
هزینه توربین یک	۱۶۶۴۸۲
هزینه توربین دو	۱۳۱۱۵۰۶
هزینه کندانسور	۱۶۰۸۳۰
هزینه ژنراتور مبدل حرارتی بخار	۴۱۷۴۴۷۷
هزینه محفظه احتراق	۱۰۳۴۹
هزینه پمپ یک	۱۷۸۵۱
هزینه کمپرسور	۶۵۷۱۳
هزینه پمپ دو	۴۴۷۰
هزینه اواپراتور	۳۲۳۰۰۴
هزینه مبدل حرارتی بخار	۷۶۹۶
هزینه ژنراتور	۱۹۴۸۴
هزینه سوخت	۵۴۶۱
هزینه کربن دی اکسید تولیدی	۸۵/۸۸
هزینه سرمایه گذاری و نگهداری کل	۱۷۳۲
هزینه کل	۹۳/۵۶

تاثیر تغییرات نسب فشار بر پارامتر های مختلف مطابق شکل ۲ نشان داده شده است که با افزایش نسبت فشار، مصرف سوخت کاهش می‌یابد. این به دلیل افزایش دمای هوا است که وارد محفظه احتراق می‌شود. بعلاوه، با افزایش نسبت فشار، تولید سرما افزایش می‌یابد. علاوه بر این، تولید برق افزایش می‌یابد و به حداکثر مقدار خود می‌رسد و سپس کاهش می‌یابد. با افزایش نسبت تراکم در کمپرسور راندمان انرژی و اگزرژی کاهش می‌یابد. افزایش کار کمپرسور هوا در نسبت فشار پایین کمتر از نسبت فشار بالاتر است. بنابراین، تولید خالص برق ابتدا افزایش می‌یابد، و سپس در نسبت فشار بالاتر کاهش می‌یابد. با افزایش نسبت فشار، تخریب اگزرژی در محفظه احتراق به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. نسبت فشار بالاتر منجر به افزایش میزان انرژی احتراق در محصولات احتراق و کاهش میزان گاز خروجی در توربین می شود که نتیجه آن تخریب بیشتر نیرو در توربین است.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



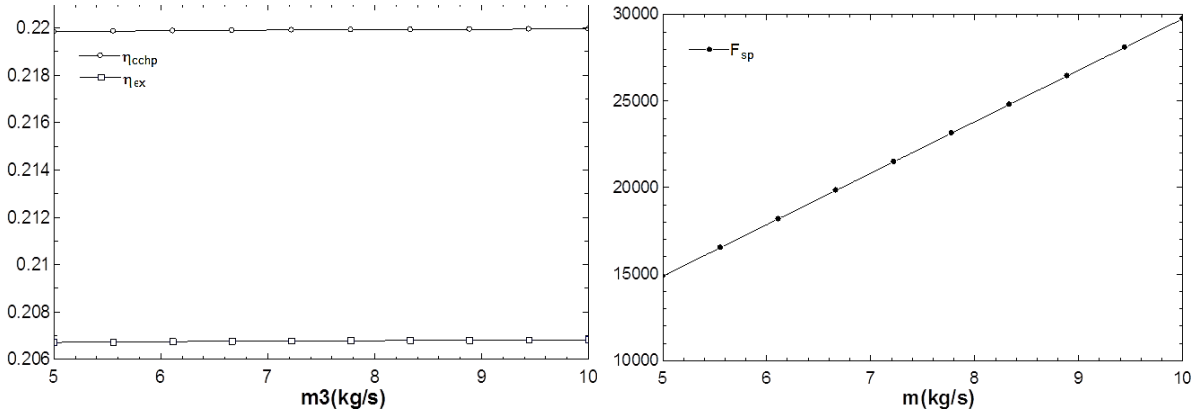
شکل ۲: تاثیر تغییرات نسب فشار بر پارامتر های مختلف

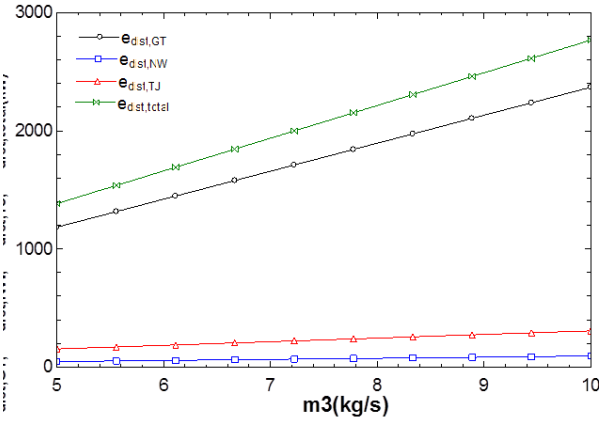
سرانجام، افزایش نسبت فشار منجر به افزایش سرعت جریان بخار می‌شود که به چیلر جذبی وارد می‌شود و این منجر به افزایش تخریب اگزرژی در چیلر می‌شود. با افزایش نسبت تراکم تولید سرما افزایش می‌یابد، تولید گرما و مصرف سوخت کاهش می‌یابد و قدرت خالص ابتدا در مقادیر نسبت تراکم پایین تر افزایش می‌یابد و در مقادیر بالاتر کاهش با افزایش نسبت فشار کار خالص و تابع هزینه چرخه های سیستم افزایش می‌یابد. با افزایش نسبت فشار هزینه کل افزایش می‌یابد و نابودی اگزرژی کل

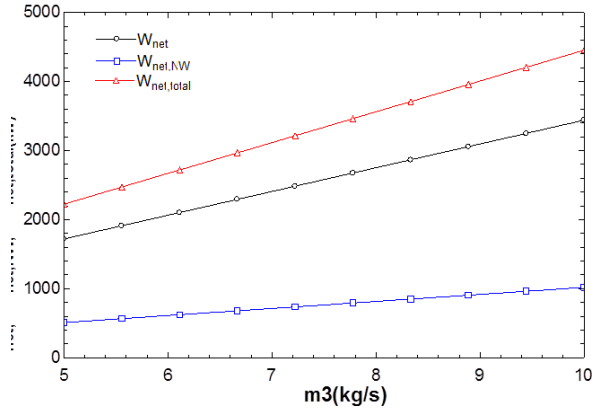
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

و نابودی اگزرژی چرخه‌های سیستم کاهش می‌یابد. علاوه بر این، تخریب اکسرژی در کمپرسور هوا با افزایش نسبت فشار به علت تولید بیشترگرما در کمپرسور هوا با نسبت فشار بالاتر افزایش می‌یابد.

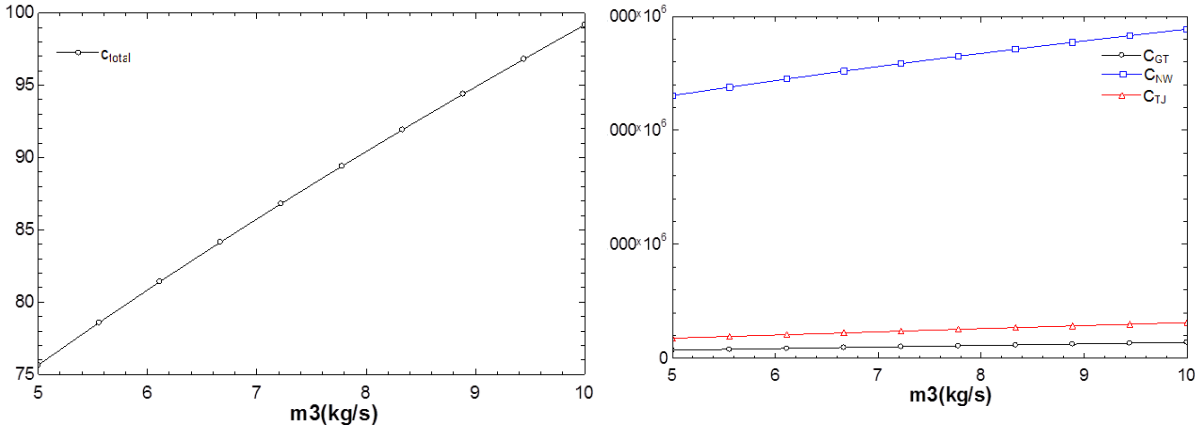
تاثیر تغییرات دبی جرمی ورودی توربین روی پارامتر های مختلف سیستم در شکل ۳ نمایش داده شده است. با افزایش دبی جرمی راندمان قانون اول و دوم ترمودینامیک و ضریب ذخیره انرژی افزایش می‌یابد. تغییرات نابودی اگزرژی و کار خالص نسبت به دبی ورودی توربین در نمودارهای زیر نشان داده شده است. با افزایش دبی جرمی ورودی توربین مقدار نابودی اگزرژی و کار خالص چرخه‌های به کار رفته در سیستم افزایش می‌یابد. افزایش دبی جرمی ورودی توربین ، میزان ضریب ذخیره مصرف انرژی را به میزان ۹۰ درصد افزایش می دهد. همچنین می‌توان دریافت که با افزایش نسبت هوا به سوخت و درجه حرارت محیط، مصرف سوخت خاص افزایش می‌یابد زیرا ورودی جریان هوا به کمپرسور با کاهش دمای محیط افزایش می‌یابد. با افزایش دبی جرمی ورودی توربین نابودی اگزرژی چرخه‌های مختلف سیستم افزایش محسوسی را نشان می‌دهد.







[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]



شکل ۳: تاثیر تغییرات دبی جرمی ورودی توربین بر پارامتر های مختلف

بنابراین، با ثابت نگه داشتن نسبت هوا به سوخت، میزان جریان توده سوخت افزایش می‌یابد. بنابراین، با افزایش دمای محیط، به دلیل از بین رفتن گازهای خروجی، مصرف سوخت افزایش می‌یابد. با افزایش دبی جرمی ورودی توربین هزینه کل و هزینه چرخه های مختلف سیستم افزایش می‌یابد و باعث صرف هزینه بیشتری می‌شود. افزایش نسبت تراکم برای نیروگاه توربین گاز منجر به افزایش مداوم بازده حرارتی می‌شود و این نتیجه نیروگاه توربین گاز را به بالاترین راندمان می‌رساند.

۷-نتیجه گیری

در این پژوهش سعی بر این شد که گامی موثر در جهت بهینه سازی مصرف انرژی و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی برداشته شود. این پژوهش یک سیستم گرمایش و توان ترکیبی جدید متشکل از یک توربین گاز، یک زیر سیستم ترکیبی سرمایش و توان و یک مبدل حرارتی آب گرم را پیشنهاد و تحلیل کرده است.سیستم تولید همزمان توان ، حرارت و سرما از سه چرخه توربین گاز ، آب-آمونیاک و تبرید جذبی آب-لیتیوم بروماید تشکیل شده است. از حرارت اتلافی در توربین گاز برای ایجاد سرمایش توسط اواپراتور در چرخه تبرید جذبی استفاده می شود. با استفاده از این سیستم در محل مصرف انرژی می‌توان هزینه های نقل و انتقال توان تولیدی از شبکه تولید به مکان مصرف و مصرف انرژی های اولیه را کاهش داد. الکتریسیته تولید شده توسط توربین آب- آمونیاک می‌تواند به طور نسبی برای راه اندازی یک چیلر فشاری برای تولید انرژی خنک کننده استفاده شود. مدل سازی ترمودینامیکی جامعی برای یک سیستم تولید سه گانه بر اساس یک چیلر جذبی تک اثره انجام شده است. آنالیز اگزرژی نشان داد که محفظه احتراق و دیگ بخار بازیابی گرما دارای بیشترین نابودی اگزرژی در مقایسه با سایر اجزای سیستم است.این عمدتا به دلیل اختلاف دمای زیاد برای انتقال حرارت در آن ها و واکنش احتراق در محفظه احتراق است. عملکرد سیستم به طور قابل توجهی تحت تاثیر تغییرات در نسبت فشار کمپرسور، دمای ورودی به توربین گاز و بازده ایزونتروپیک ژنراتور دما بالا قرار دارد. اتلاف انرژی در چیلر جذبی کمتر از اجزای دیگر است. با افزایش نسبت فشار کمپرسور، بازده اگزرژی کاهش یافته و انتشار گاز دی اکسید کربن افزایش می‌یابد. راندمان انرژی سیستم ۰/۲۱ و راندمان اگزرژی سیستم ۰/۲ است. با افزایش نسبت فشار ضریب ذخیره مصرف سوخت کاهش می‌یابد، هزینه کل افزایش و نابودی اگزرژی کل کاهش می‌یابد. با

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

افزایش دبی جرمی ورودی توربین گازی ضریب ذخیره مصرف سوخت، هزینه کل، نابودی اگزرژی کل و راندمان انرژی و اگزرژی فزایش می‌یابد. با افزایش دمای محفظه احتراق مصرف سوخت و توان خروجی خالص افزایش می‌یابد. همانطور که دمای ورودی توربین افزایش می‌یابد، نابودی اگزرژی در محفظه احتراق افزایش می‌یابد، چون دمای میانگین افزایش دما افزایش می‌یابد. به دلیل افزایش توان خروجی توربین، اگزرژی توربین افزایش می‌یابد. نابودی اگزرژی در چیلر جذبی کاهش می‌یابد و نابودی اگزرژی کمپرسور ثابت می‌ماند. افزایش دمای ورودی توربین باعث افزایش راندمان اگزرژی و انرژی، توان خروجی، تولید حرارت و مصرف سوخت می‌شود. نابودی اگزرژی کل کاهش و هزینه سوخت افزایش می‌یابد. هزینه کل ابتدا کاهش سپس افزایش می‌یابد. توجه و تحقیقات زیادی در کشور های مختلف در زمینه کاهش مصرف سوخت، بهینه سازی تولید توان، کاهش آلودگی های زیست محیطی و کاهش هزینه های تولید برق صورت گرفته و سیستم تولید همزمان توان، حرارت و سرما در کانون این مهم مورد توجه قرار گرفته است و تلاش های زیادی در این زمینه صورت گرفته است. انسان همیشه به دنبال روش هایی جدید و کارا جهت تامین نیاز های خود بوده و سیستم تولید همزمان به خوبی توانسته از عهده این مهم برآید و در آینده نیز با تحقیقات و پژوهش های جدید و وسیع در این زمینه باعث تکامل و پیشرفت بهره وری انرژی و تولید توان خواهد شد.

۸-فهرست علائم

علائم انگلیسی	
مساحت،m^2	A
هزینه ،($)	C
قطر،(m)	D
اگزرژی،(W)	Ex
آنتالپی،(kj/kg)	h
دبی جرمی،(kg/s)	$\dot{m}$
آنتروپی،(kj/kg.K)	S
دما،(c)	T
فشار،(kPa)	p
زمان	n
علائم یونانی	
چگالی،kg/m^3	ρ
نسبت اکیووالانس	Ø
اگزرژی سوخت	ε_{fuel}

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

۹- مراجع

[1] F. Al-Sulaiman, I. Dincer, F. Hamdullahpur, "Exergy analysis of an integrated solid oxide fuel cell and organic Rankine cycle for cooling, heating and power production", Journal of Power Sources, 2010; 195(8), 2346-2354.

[2] M. He, X. Zhang, K. Zeng, K. Gao, "A combined thermodynamic cycle used for waste heat recovery of internal combustion engine", Journal of Energy, 2011; 36(12), 6821-6829.

[3] R. Jiang, G.F. Qin, H. Yin, M. Yang, Y. Xu. Thermo-economicassessment and application of CCHP system with dehumidification and hybrid refrigeration. *Applied Thermal Engineering* vol. 125, pp. 928-936, 2017.

[4] Assareh, E., Alirahmi, S. M., Ahmadi, P., 2021, A Sustainable model for the integration of solar and geothermal energy boosted with thermoelectric generators (TEGs) for electricity, cooling and desalination purpose, Geothermics 92, 102042.

[5] Alirahmi S. M., Assareh E., 2020, Energy, exergy, and exergoeconomics (3E) analysis and multi-objective optimization of a multigeneration energy system for day and night time power generation-Case study: Dezful city, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 45, Issue 56, Pages 31555-31573.

[6] Hu, S., Yang, Z., Li, J., Duan, Y., 2021, Thermo-economic optimization of the hybrid geothermal-solar power system: A data-driven method based on lifetime off-design operation, Energy Conversion and Management 229, 113738.

[7] Bosheng Su, Wei Han, Yi Chen, Zefeng Wang, Wanjun Qu, Hongguang Jin, Performance optimization of a solar assisted CCHP based on biogas reforming, Energy Convers. Manag. 171 (2018) 604–617.

[8] Jiangjiang Wang, Ying Yang, Energy, exergy and environmental analysis of a hybrid combined cooling heating and power system utilizing biomass and solar energy, Energy Convers. Manag. 124 (2016) 566–577.

[9] Mohammad Jalili, Roghayeh Ghasempour, Mohammad Hossein Ahmadi, Ata Chitsaz, Shahriyar Ghazanfari Holagh, An integrated CCHP system based on biomass and natural gas co-firing: exergetic and thermo-economic assessments in the framework of energy nexus, Energy Nexus 5 (2022), 100016.

[10] Xiaofeng Zhang, Rong Zeng, Mu Kang, Xiaobo Liu, Xiaoqin Sun, Hongqiang Li, Exergetic and exergoeconomic evaluation of co-firing biomass gas with natural gas in CCHP system integrated with ground source heat pump, Energy Convers. Manag. 180 (2019) 622–640.

[11] Wieland C, Schifflechner C, Dawo F, Astolfi M. The organic Rankine cycle power systems market: recent developments and future perspectives. Appl Therm Eng 2023;224:119980.

[12] Li J, Ge Z, Duan Y, Yang Z, Liu Q. Parametric optimization and thermodynamic performance comparison of single-pressure and dual-pressure evaporation organic Rankine cycles. Appl Energy 2018;217:409–21.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[13] Loni R, Mahian O, Markides CN, Bellos E, le Roux WG, Kasaeian A, et al. A review of solar-driven organic Rankine cycles: recent challenges and future outlook. Renew Sustain Energy Rev 2021;150:111410.

[14] Kasaeian A, Mirjavadi K, Pourmoghadam P, Asgari Sima F, Amirhaeri Y, Borhani S, et al. Organic Rankine cycles powered by parabolic trough collectors: An overview. Sustainable Energy Technol Assess 2022;54:102847.

[15] García-Domínguez J, Marcos JD. Thermodynamic analysis and systematic comparison of solar-heated trigeneration systems based on ORC and absorption heat pump. Energies 2021;14:4770.

[16] Aghaziarati Z, Aghdam AH. Thermoeconomic analysis of a novel combined cooling, heating and power system based on solar organic Rankine cycle and cascade refrigeration cycle. Renew Energy 2021;164:1267–83.

[17] Han W, Sun L, Zheng D, Jin H, Ma S, Jing X. New hybrid absorption– compression refrigeration system based on cascade use of mid-temperature waste heat. Appl Energy;106:383–90, 2013.

[18] K.J. Chua, W.M. Yang, S.S. Er, C.A. Ho. Sustainable energy systems for a remote island community. *Appllied Energy* vol. 31, pp. 1752–1763, 2014.

[19] F. Calise, A. Cipollina, D.M. d'Accadia, A. Piacentino, A novel renewable polygeneration system for a small Mediterranean volcanic island for the combined production of energy and water. *Dynamic simulation and economic assessment* vol. 78, pp. 675–693, 2014.

[20] S. Karellas, K. Braimakis, Energy-exergy analysis and economic investigation of a cogeneration and trigeneration ORC-VCC hybrid system utilizing biomass fuel and solar power. *Energy Conversion and Management* vol. 33, pp. 103–113, 2016.

[21] Haseli Y, Dincer I, Naterer GF. Thermodynamic analysis of a combined gas turbine power system with a solid oxide fuel cell through exergy. Thermochim Acta 2008;480:1–9.

[22] Xu XX, Liu C, Fu X, Gao H, Li Y. Energy and exergy analyses of a modified combined cooling, heating, and power system using supercritical CO2. Energy 2015;86:414e22.

[23] A. Arora, S.C. Kaushik. Theoretical analysis of LiBr/H2O absorption refrigeration systems. *International Journal of Energy Research* vol. 9, pp. 1321–1340, 2009.

[24] Ghaebi H, Amidpour M, Karimkashi S, Rezayan O. Energy, exergy and thermoeconomic analysis of a combined cooling, heating and power (CCHP) system with gas turbine prime mover. Int J Energy Res 2011;35:697–709.

[25] R. Turton. Analysis, synthesis, and design of chemical process. Prentice-Hall international series in the physical and chemical engineering sciences vol. 14, pp. 1169-1174, 2009.

[26] R. Turton. Analysis, synthesis, and design of chemical process. Prentice-Hall international series in the physical and chemical engineering sciences vol. 14, pp. 1169-1174, 2009.

[27] Taheri MH, Mosaffa AH, Garousi Farshi L. Energy, exergy and economic assessments

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

of a novel integrated biomass based multigeneration energy system with hydrogen production and LNG regasification cycle. Energy 2017;125:162–77.

[28] Mosaffa AH, Mokarram NH, Farshi LG. Thermo-economic analysis of combined different ORCs geothermal power plants and LNG cold energy. Geothermics 2017;65:113–25.

[29] Garousi Farshi L, Mahmoudi SMS, Rosen MA, Yari M, Amidpour M. Exergoeconomic analysis of double effect absorption refrigeration systems. Energy Convers Manag 2013;65:13–25.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

Investigating the energy, exergy and economics of a new system of simultaneous production of power, heat and cold combined with gas turbine and absorption heat transfer

Ali Eyvazi[1*]

***1**- PhD student, Department of Mechanics, Faculty of Engineering, Vali Asr University, Rafsanjan

Received: February 2024 Accepted : May 2024

Abstract

In this research, a combined heating and electricity cooling system is proposed and a complete thermodynamic analysis is presented. This system consists of a gas turbine, a thermal cooling system, a cogeneration system and a hot water heat exchanger. The excess heat in the gas turbine is initially produced by the cogeneration system and converted into power through an ammonia steam turbine. will be Then, the output steam of the ammonia steam turbine is used in a single-effect water absorption refrigeration system to produce cooling energy. Effective use of produced surplus energy can reduce natural gas consumption compared to independent power systems, cooling and heating. The energy and exergy efficiency of the studied system is 20 and 21%, respectively, which is a reasonable value. The results of economic analysis show that with the total cost of 93.56 dollars per second and the total investment and maintenance cost of 1732 dollars per second, by using updated cost functions for different components, the proposed system has high economic efficiency. This work may provide a new method to increase the efficiency and effectiveness of the thermodynamic performance of cogeneration systems.

Keywords: Cogeneration, economic evaluation, exergy evaluation, gas turbine, absorption cooling

.

*corresponding author: alieyvazi1996@gmail.com

Cite this article as: Ali Eyvazi. Investigating the energy, exergy and economics of a new system of simultaneous production of power, heat and cold combined with gas turbine and absorption heat transfer, 2024, 11(2), 83-101.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]