

بررسی قانون اول و دوم ترمودینامیک سیستم تبرید جذبی دو اثره آمونیاک نمک با استفاده از کلکتور خورشیدی

در این مقاله به بررسی سیستم تبرید جذبی دو اثره که با محلول های آمونیاک لیتیوم نیترات و آمونیاک سدیم تیوسیانات کار می کند پرداخته شده است. انرژی مورد نیاز این سیستم ها توسط کلکتور خورشیدی تأمین می شود. بازده قانون اول و دوم سیستم تبرید جذبی در سه آرایش سری موازی و موازی معکوس به دست آمده و با یکدیگر مقایسه شده است. در این مطالعه نشان داده شده است که مقدار بازده انرژی و انرژی و انرژی سیستم دو اثره در آرایش سری کمترین مقدار در بین سه آرایش است سیستم با محلول آمونیاک لیتیوم نیترات در دمای پایین تری نسبت به محلول آمونیاک سدیم تیوسیانات کار می کند. انرژی مصرفی از دو طریق پیش گرمایش و انرژی خورشیدی کلکتور تأمین می شود. سیستم با محلول آمونیاک لیتیوم نیترات از انرژی خورشیدی بیشتری استفاده می کند که در کمترین حالت این مقدار ۲۹/۶۴٪ بیشتر از سیستم با محلول آمونیاک سدیم تیوسیانات است. سوختن گاز طبیعی، گرمایی است که به کمک انرژی خورشیدی می آید تا انرژی مصرفی ژنراتور را به دست آید. مقدار دی اکسید کربن تولید شده بوسیله سوختن در پیش گرمایش به عنوان گاز مضر محیط زیست در این مطالعه به دست آمده است که کمترین حالت برای سیستم با آرایش سری با محلول آمونیاک لیتیوم نیترات است که ۷۲/۱۶٪ کمتر از آرایش سری با سیال عامل آمونیاک سدیم تیوسیانات است.

صادق اسدی^۱

دانشجوی دکتری

واژه‌های راهنما: تبرید جذبی، آمونیاک نمک، انرژی خورشیدی، انرژی، انرژی، انرژی

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر با توجه به کاهش منابع سوخت فسیلی، بروز مشکلات زیست‌محیطی ناشی از سوختن منابع فسیلی و آلودگی شهرهای بزرگ توجه میل و رغبت به استفاده از سیستم‌هایی که از منابع انرژی تجدید پذیر (انرژی خورشیدی [۱] انرژی زیست‌توده [۲، ۳] انرژی زمین‌گرمایی [۴]) استفاده می‌کنند، بیشتر شده است. سیکل تبرید جذبی با سیال‌های عامل آمونیاک لیتیوم نیترات ($NH_3/LiNO_3$) و آمونیاک سدیم تیوسیانات

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران sadeghasadi@uma.ac.ir

(NH₃/NaSCN) یکی از این سیستم‌هایی هستند که قابلیت استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر و حتی انرژی حرارتی اتلافی سیستم‌های دیگر را دارد در این بین انرژی خورشیدی در دسترس‌ترین انرژی است که در سیستم‌های مختلف می‌تواند به راحتی مورد استفاده قرار گیرد [۵]. سیستم‌های تبرید جذبی رایج با سیال‌های عامل همچون آمونیاک/آب و آب/لیتیوم بروماید کار می‌کنند که این سیستم‌ها در مقایسه با سیستم تبرید جذبی آمونیاک/نمک دارای محدودیت‌هایی هستند. در سیستم آب/لیتیوم بروماید چون مبرد سیستم آب است و آب در دماهای زیر صفر منجمد می‌شود پس امکان ایجاد دماهای زیر صفر برخلاف سیستم آمونیاک/نمک با مبرد آمونیاک وجود ندارد و ایجاد دمای منفی یک مزیت برای سیستم آمونیاک/نمک است [۶]. در سیستم آمونیاک/آب همچون سیستم آمونیاک/نمک مبرد سیستم آمونیاک است پس این سیستم قادر به ایجاد دماهای منفی است ولی در این سیستم چون جاذب آب است و بخار آب تولید شده در ژنراتور می‌تواند با آمونیاک ترکیب شود و باعث ناخالصی مبرد گردد، این امر باعث کاهش عملکرد سیستم می‌شود که برای رفع این مشکل به یک دستگاه یکسو کننده نیاز است که باعث افزایش هزینه‌های سیستم می‌گردد که نیاز نبودن این دستگاه در سیستم آمونیاک/نمک بازم مزیتی برای این سیستم است با توجه به این ویژگی‌های سیستم تبرید جذبی آمونیاک/نمک روزبه‌روز مورد توجه بیشتر قرار می‌گیرد [۷].

سیستم جذبی انرژی ورودی را از منبع گرما به صورت مستقیم دریافت می‌کند و در حالی که در سیستم تراکمی انرژی ورودی به صورت مکانیکی است که این ویژگی سبب می‌شود از کلکتور خورشیدی به طور مستقیم در تأمین انرژی سیستم تبرید جذبی بتوان استفاده کرد. سیستم تبرید جذبی قابلیت اطمینان بالا، نگهداشت پذیری پایین، بدون سروصدا و بدون هیچ ارتعاشات است [۸]. سان و همکاران عملکرد سیستم‌های تبرید جذبی با سیال‌های عامل آمونیاک/آب و آمونیاک/نمک (NH₃/Salt) را مطالعه و نتیجه گرفت که سیستم تبرید جذبی با سیال آمونیاک/نمک عملکرد بهتری دارد و می‌تواند جایگزین سیستم‌های رایج تبرید جذبی شود [۹]. بست و همکاران سیستم تبرید جذبی آمونیاک/لیتیوم نیترات را آنالیز و پارامترهای عملکردی سیستم را در شرایط مختلف عملکردی مقایسه کردند [۱۰-۱۲]. زهو و همکاران سیکل تبرید جذبی را از لحاظ قانون اول ترمودینامیک مورد ارزیابی قرار داده‌اند [۱۳]. عبدالعافت و همکاران سیستم‌های تبرید جذبی آمونیاک/لیتیوم نیترات، آمونیاک سدیم تیوسیانات (NH₃/NaSCN) و آمونیاک/آب را بررسی و مقادیر COP را بر حسب پارامترهای عملکردی سیستم بر روی نمودارهای ارائه کرده است [۱۴]. فرشی و همکاران سیستم‌های تبرید جذبی آمونیاک/لیتیوم نیترات و آمونیاک سدیم تیوسیانات را از نظر قانون اول و دوم شبیه‌سازی کرده و شرایط کریستالیزاسیون را نیز مورد مطالعه قرار داده‌اند [۱۵]. زهو و همکاران سیستم تبرید جذبی تک اثره آمونیاک/نمک را از لحاظ قانون اول و دوم ترمودینامیک مورد ارزیابی قرار داده‌اند [۱۶]. برای سیستم تبرید جذبی دو اثره آمونیاک/نمک عملکرد سیستم توسط دومینیکو و همکاران محاسبه و با عملکرد سیستم تک اثره، دو اثره سری و سه اثره با سیال عامل آمونیاک/لیتیوم نیترات مقایسه شده است. ضریب عملکرد سیستم دو اثره آمونیاک/لیتیوم نیترات در دمای بالای ۱۴۰°C ژنراتور توسط دومینیکو و همکاران بیشتر از ۱/۲ به دست آمده است [۱۷]. واسه لیوس و همکاران با توجه به ویژگی سیستم‌های تبرید جذبی که توان استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر است به بررسی سیستم تبرید جذبی دو اثره جریان موازی با استفاده از سیستم خورشیدی با سیال عامل آمونیاک/لیتیوم نیترات از لحاظ قانون اول ترمودینامیک پرداخته است [۱۸].

دهو و همکاران به بررسی قانون اول سیکل تبرید جذبی دو اثره سری با سیال‌های عامل آمونیاک/لیتیوم نیترات و آمونیاک/سدیم تیوسیانات پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که سیکل دو اثره سری دارای عملکردی بهتر نسبت به سیکل تک اثره است و در مورد سیکل با محلول‌های آمونیاک/نمک، عملکرد سیکل آمونیاک/سدیم تیوسیانات ۱۵-۱۰ درصد بیشتر از عملکرد سیستم با محلول آمونیاک/لیتیوم نیترات است [۱۹]. ژیاو و همکاران در یک سیستم جذبی ویژگی‌های محلول آمونیاک سدیم تیوسیانات را به صورت آزمایشگاهی بررسی کرده‌اند، آن‌ها نتیجه گرفتند که فشار جذب و شدت جریان ورودی محلول به عنوان عامل ارتقا فرایند جذب است [۲۰].

اگرچه در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای روی سیستم تبرید جذبی آمونیاک نمک (بخصوص با سیال عامل آمونیاک لیتیوم نیترات) انجام شده است ولی عمدتاً این تحقیقات روی قانون اول ترمودینامیک تمرکز داشته و عمدتاً روی سیکل تک اثره تبرید جذبی تحلیل‌ها انجام گرفته است. با توجه به پتانسیل سیستم‌های تبرید جذبی در استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر، مطالعه روی این موارد بسیار با اندک است و در مطالعات انرژی خورشیدی بیشتر برای یک روز آفتابی شبیه‌سازی انجام شده است. در مطالعه حاضر، سیستم تبرید جذبی با کلکتور خورشیدی کوپل شده و انرژی موردنیاز این سیستم از طریق کلکتور خورشیدی تأمین می‌شود، همچنین یک پیش گرم‌کن با گاز طبیعی در سیستم تعبیه شده که در مواقعی که انرژی خورشیدی قادر به تأمین انرژی موردنیاز سیستم نیست وارد مدار می‌شود این تحلیل برای یک هفته انجام شده است. علاوه بر این به مقایسه انواع آرایش‌های سیستم دو اثره (سری، موازی، موازی معکوس) و همچنین به بررسی تأثیر پارامترهای مختلف روی عملکرد سیستم و مقایسه این تأثیر روی بازده قانون اول و دوم سیستم پرداخته شده است مقدار انرژی خورشیدی استفاده شده توسط سیستم و همچنین مقدار گاز آلاینده دی‌اکسید کربن ناشی از سوختن گاز طبیعی در این سیستم مورد ارزیابی قرار گرفته است. ویژگی‌های برجسته‌ای که این مطالعه را از مطالعات گذشته متمایز می‌کند عبارت‌اند از:

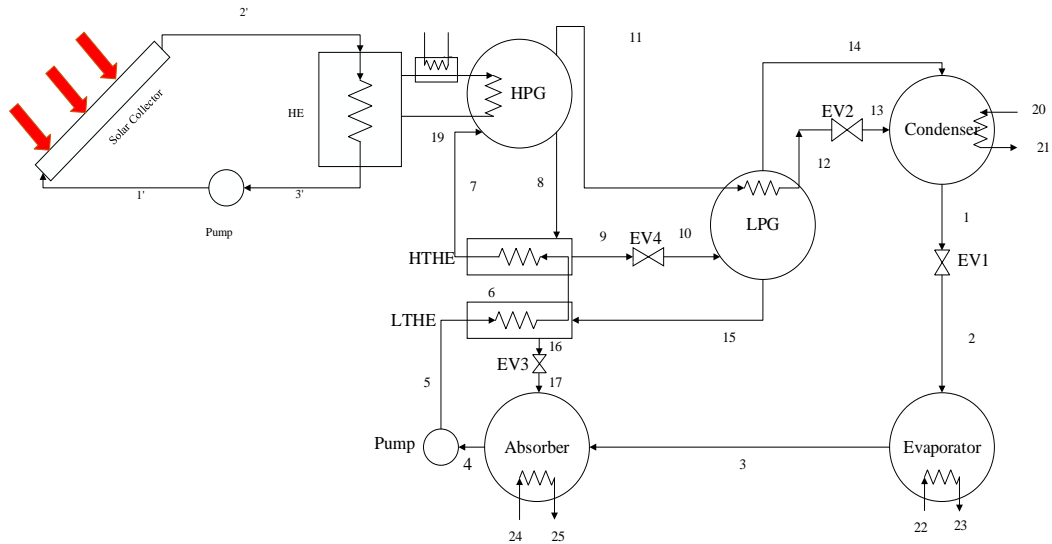
۱. بررسی کامل سیستم تبرید جذبی دو اثره در سه حالت سری، موازی و موازی معکوس
۲. بررسی انرژی و انرژی سیستم تبرید جذبی دو اثره
۳. استفاده از سیستم کلکتور خورشیدی برای تأمین انرژی مورد استفاده در سیکل تبرید جذبی دو اثره
۴. بررسی یک هفته‌ای انرژی دریافتی از خورشید
۵. استفاده از کلکتور تجاری موجود در بازار برای مراحل بعدی مطالعه همچون ساخت و آزمایش عملی
۶. بررسی مقدار گاز آلاینده دی‌اکسید کربن تولید شده در پیش گرم‌کن
۷. تعیین بهترین سیستم با توجه به بررسی انرژی و انرژی و آلاینده‌گی گاز مخرب دی‌اکسید کربن

۲- تشریح و آنالیز سیستم

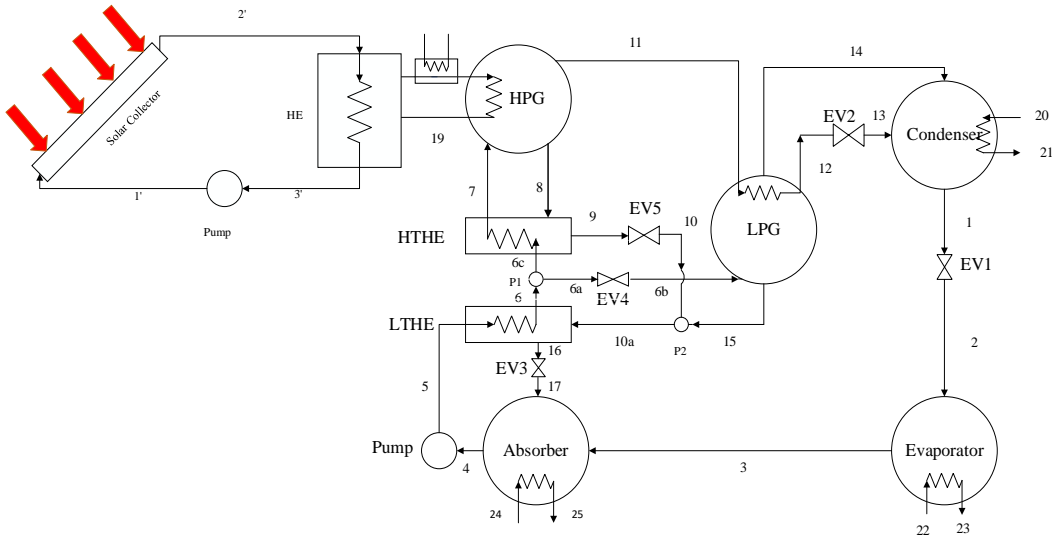
۲-۱- تشریح سیستم

شکل (۱- الف) نشان‌دهنده سیستم تبرید جذبی دو اثره جریان سری است. سیستم دو اثره شامل سه سطح فشار است فشار بالا (PHPG) که در ژنراتور دمابالا (HPG)، فشار میانی (PLPG) که در ژنراتور دمپایین (LPG) و کندانسور و فشار پایین (P_{abs}) که در اواپراتور و جاذب اتفاق می‌افتند. محلول غلیظ (غلظت از نظر مبرد)

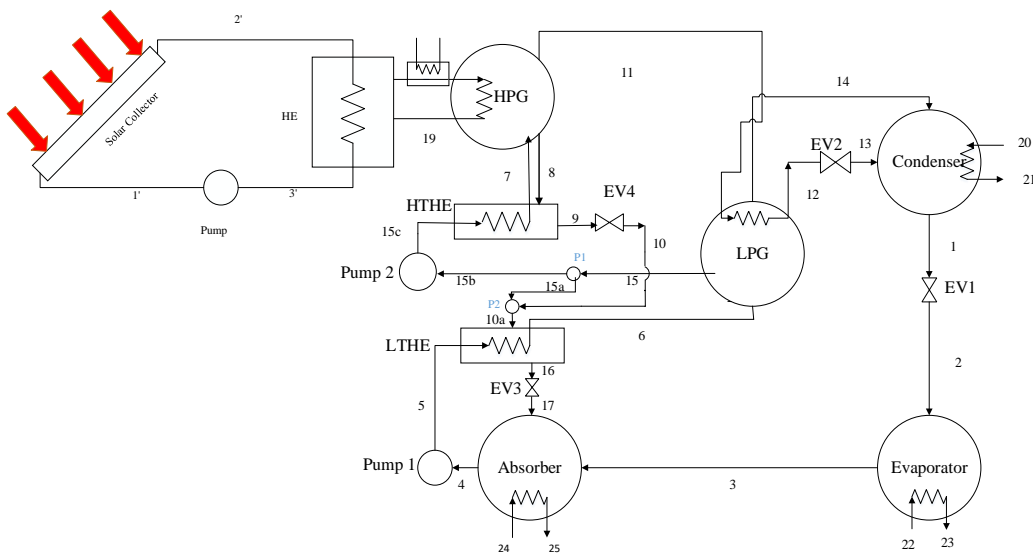
جاذب را ترک کرده و از طریق پمپ به فشار بالا برده می‌شود بعد از گذر از دو مبدل حرارتی به ژنراتور دمابالا می‌رسد در ژنراتور دمابالا گرمایی که از طریق از کلکتور خورشیدی جذب شده و از طریق مبدل حرارتی به سیال خارجی داده شده است به ژنراتور دمابالا داده می‌شود، در این سیستم یک پیش گرم کن در سیستم تعبیه شده است که اگر انرژی خورشیدی توان تأمین انرژی مورد نیاز سیستم را نداشته باشد پیش گرم کن وارد مدار شود و انرژی مورد نیاز سیستم را تأمین کند با گرفتن گرما توسط ژنراتور دمابالا، بخار آمونیاک تولید می‌شود که این بخار از یکسو و محلول رقیق از سوی دیگر ژنراتور دمابالا را ترک می‌کنند. محلول رقیق خروجی از طریق شیر انبساط (EV4) به فشار ژنراتور دمابالین (LPG) می‌رسد و وارد آن می‌شود. در ژنراتور دمابالین با استفاده از گرمای حاصل از بخار آمونیاک تولید شده در ژنراتور دمابالا بخار آمونیاک اضافی تولید و به کندانسور می‌رود. جریان آمونیاک خروجی از ژنراتور دمابالا با گذر از شیر فشار شکن (EV2) به کندانسور وارد می‌شود. محلول رقیق تر ژنراتور دمابالین را ترک کرده و با گذر از شیر انبساط (EV3) و مبدل حرارتی دمابالین وارد جاذب می‌شود. آمونیاک ورودی به کندانسور، در آنجا گرما از دست داده و به صورت مایع با گذر از شیر انبساط (EV1) وارد اواپراتور می‌شود. در اواپراتور با گرفتن گرما از محیط به صورت بخار سرد وارد جاذب شده و در آنجا با گرفتن گرما با محلول رقیق مخلوط می‌شود. در هر سه آرایش فرایند از کندانسور تا جاذب همچنین نحوه دریافت انرژی از کلکتور خورشیدی توسط ژنراتور دمابالا یکسان است. شکل (۱-ب) سیکل جریان موازی را نشان می‌دهد. در این سیکل محلول غلیظ خروجی از جاذب در پمپ تا فشار P_{HPG} فشارش افزایش می‌یابد بعد از عبور از اولین مبدل حرارتی (LTHE) به دو جریان تقسیم می‌شود. جریان اول از طریق مبدل حرارتی دمابالا (HTHE) به سمت ژنراتور دمابالا می‌رود و جریان دوم از طریق شیر انبساط (EV4) به ژنراتور دمابالین می‌رود. در ژنراتور دمابالا یک کلکتور خورشیدی همانند سیستم سری، برای جدا کردن بخار آمونیاک از محلول غلیظ بکار می‌رود بخار آمونیاک جدا شده از محلول به سمت ژنراتور دمابالین می‌رود و در آن به عنوان منبع حرارتی برای ایجاد بخار آمونیاک خالص از محلول بکار می‌رود محلول وارد شده به ژنراتور دمابالین با از دست دادن آمونیاک خود رقیق تر شده و در خروج از آن با محلول خروجی ژنراتور دمابالا که از مبدل حرارتی دمابالا (HTHE) گذشته و با گذر از شیر انبساط (EV5) فشارش کاهش یافته در نقطه *P*₁ مخلوط می‌شود و این مخلوط با عبور از مبدل حرارتی (LTHE) و شیر انبساط (EV3) به جاذب برمی‌گردد. شکل (۱-ج) سیکل جریان موازی معکوس را نشان می‌دهد. در این سیکل محلول غلیظ خروجی از جاذب به وسیله پمپ یک Pu₁ فشارش تا فشار میانی (PLPG) افزایش پیدا می‌کند و بعد از عبور از مبدل حرارتی دمابالین (LTHE) به ژنراتور دمابالین (LPG) وارد می‌شود. در این ژنراتور با گرفتن گرما از بخار آمونیاک خروجی از ژنراتور دمابالا (HPG) بخار آمونیاک را از محلول جدا کرده و محلول رقیق تر از ژنراتور خارج می‌شود. محلول خروجی از ژنراتور دمابالین (LPG) در نقطه *P*₁ به دو جریان تقسیم می‌شود فشار جریان اول به وسیله پمپ دوم Pu₂ تا فشار ژنراتور دمابالا (P_{HPG}) افزایش می‌یابد و از طریق عبور از مبدل حرارتی دمابالا (HTHE) به ژنراتور دمابالا وارد می‌شود در این ژنراتور با گرفتن انرژی حرارتی از منبع حرارتی دمابالا بخار آمونیاک از محلول جدا شده و محلول رقیق از ژنراتور خارج شده با گذر از مبدل حرارتی دمابالا (HTHE) و کاهش فشار در شیر انبساط (EV4) در نقطه *P*₂ با جریان دوم حاصل از نقطه *P*₁ مخلوط می‌شود. این محلول با گذر از مبدل حرارتی دمابالین (LTHE) و کاهش فشار در شیر انبساط (EV3) وارد جاذب می‌شود.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱- دیاگرام شما تیک سه آرایش سیکل تبرید جذبی دو اثره (الف) جریان سری (ب) جریان موازی (ج) جریان معکوس

۲-۲- کلکتور خورشیدی

کلکتورهای انرژی خورشیدی انواع خاصی از مبدل‌های حرارتی هستند که انرژی تشعشعی خورشید را به انرژی داخلی سیال انتقال‌دهنده تبدیل می‌کنند. جز اصلی هر سیستم خورشیدی، بخش کلکتور آن است. این جز وسیله‌ای است که تشعشع ورودی خورشید را جذب و آن را به گرما تبدیل می‌کند و این گرما را به سیالی (معمولاً هوا، آب یا روغن) که درون کلکتور در جریان است، انتقال می‌دهد. انرژی خورشیدی جمع شده از طریق سیال در گردش یا به‌طور مستقیم برای گرم کردن آب یا تجهیزات تهویه محیط استفاده می‌شود و یا به مخزن ذخیره‌سازی انرژی حرارتی که در شب یا روزهای ابری استفاده می‌شود، انتقال می‌یابد.

کلکتورهای خورشیدی دارای دو نوع اساسی هستند: غیرمتمرکز کننده یا ساکن (تخت) و متمرکز کننده. یک کلکتور غیرمتمرکز کننده دارای مساحت یکسانی برای دریافت و جذب تشعشع خورشیدی است. درحالی‌که یک کلکتور متمرکز کننده دارای ردیابی خورشیدی است و معمولاً دارای یک سطح بازتاب‌کننده مقعر هست که تشعشع پرتویی خورشید را به یک سطح دریافت‌کننده کوچک متمرکز می‌کند، بنابراین شار تشعشعی را افزایش می‌دهد. کلکتورهای متمرکز کننده برای کاربردهای دمابالا مناسب هستند. با توجه به دمای ژنراتور و با توجه محدوده دمایی کلک‌تورها به نظر می‌رسد کلکتورهای غیرمتمرکز کننده برای استفاده در سیستم‌های تبرید جذبی مناسب‌تر هستند، همین‌طور باید در نظر گرفت که استفاده از کلکتورهای متمرکز کننده و متحرک هزینه‌گزافی را تحمیل سیستم می‌کند، بنابراین باید از کلکتورهای ثابت یا همان تخت استفاده کنیم.

با توجه به مطالعات کالوگیرو و همکاران [۱۹] می‌توان دریافت که دمای کارکرد هر کدام از کلکتورها نسبت مستقیمی با بازدهی آن‌ها خواهد داشت. به‌طوری‌که با افزایش این دما در کلکتورهای صفحه تخت، نرخ بازدهی آن‌ها به‌شدت کاهش می‌یابد و با گذر دما از حدود 72°C بازدهی این کلک‌تورها از نصف هم کمتر خواهد شد. درحالی‌که در کلکتورهای لوله‌خلأ با رسیدن دما به 100°C بازدهی حدود ۶۲٪ خواهد شد [۱۹]. از سوی دیگر، کارایی کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت در شرایط نامطلوب آب و هوایی مانند روزهای سرد، ابری و طوفانی کاهش می‌یابد. همچنین تأثیر شرایط جوی مانند تقطیر و رطوبت باعث خرابی زودهنگام قطعات داخلی و در نتیجه کاهش کارایی سیستم می‌شود درحالی‌که کلکتورهای لوله‌خلأ به‌گونه‌ای متفاوت از این نوع کلکتورها هستند. به علت تخلیه هوای بین لوله و شیشه و جذب‌کننده این نوع کلکتور دارای افت کم انتقال حرارت از طریق جابجایی، حتی در دمای بالا است. این فرایند تخلیه هوا مهم‌ترین عامل در عملکرد کلکتورهای لوله‌خلأ است و به‌طور کلی می‌توان گفت که خلأ عایق بسیار خوبی است و اگر این عمل به‌صورت صحیح انجام شود وقتی دمای داخل لوله به ۱۵۰ درجه سلسیوس می‌رسد، لایه خروجی لوله را می‌توان با دست لمس کرد و در مجموع این نوع کلکتورها ترکیبی از یک سطح انتخابی و یک مانع مؤثر انتقال حرارت جابجایی می‌باشند و علاوه بر تابش مستقیم خورشید تابش‌های پراکنده را نیز جذب می‌کنند. پس با شرایط فوق می‌توان گفت مناسب‌ترین کلکتور برای استفاده در سیستم‌های جذبی کلکتورهای لوله‌خلأ است [۱۹].

۲-۳- فرضیات تحلیل ترمودینامیکی سیستم تبرید جذبی

تحلیلی ترمودینامیکی با فرضیات زیر در این مطالعه انجام شده است:

- شرایط پایا برای سیستم در نظر گرفته شده است.

- افت فشار در سیستم ناچیز فرض شده است.
 - اتلاف حرارت بین سیستم و محیط ناچیز فرض شده است.
 - محلول در خروجی جاذب و ژنراتور در دمای دستگاه فرض شده است.
 - در ژنراتور دمایی (LPG) انتقال حرارت با اختلاف دمای ۵ فرض شده است.
 - مقدار ظرفیت سرمایشی برای سیستم برابر $Q_{eva}=5 \text{ kw}$ فرض شده است.
 - دستگاه‌های سیستم (کندانسور ژنراتور، اواپراتور، جاذب) در حالت ایده‌آل خود فرض شده‌اند.
- دمای ورودی و خروجی جریان‌های خارجی به دستگاه‌ها در جدول (۱) آورده شده است. در اواپراتور به دلیل ایجاد دماهای منفی از سیال عامل اتانول و در سایر دستگاه‌ها از آب به‌عنوان سیال عامل جریان خارجی استفاده شده است.
- در این مطالعه کلکتور لوله خلأ مدل ETC-30 ساخته شرکت اپریکیوس مورد استفاده قرار گرفته است که مشخصات این کلکتور در جدول (۲) آمده است [۲۰]. میزان شدت تابش خورشید و دمای محیط در شهر اردبیل با مختصات جغرافیایی $38/2537^{\circ}N$ و $48/3000^{\circ}E$ از طریق اداره هواشناسی استان به‌دست‌آمده که برای یک هفته به‌صورت میانگین روزانه از تاریخ ۱۲ تیر تا ۱۸ تیرماه سال ۱۳۹۷ در جدول (۳) آمده است.

جدول ۱- دمای ورودی و خروجی جریان خارجی

حالت مرجع	دمای ورودی و خروجی خارجی
$T_{con}=T_{abs}=35$	$T_{con}-8$ دمای ورودی جریان خارجی به کندانسور $T_{con}-3$ دمای خروجی جریان خارجی از کندانسور $T_{abs}-8$ دمای ورودی جریان خارجی به جاذب $T_{abs}-3$ دمای خروجی جریان خارجی از جاذب
$T_{eva}=-5$	$T_{eva}+8$ دمای ورودی جریان خارجی به اواپراتور $T_{eva}+3$ دمای خروجی جریان خارجی از اواپراتور
$\eta_{HX} = 0.7$	
$\eta_p = 0.95$	

جدول ۲- مشخصات کلکتور لوله خلأ مدل ETC-30 [23]

پارامتر	اندازه
η_0	۰/۷۱۴
a_1	$1/243(w/m^2^{\circ}C)$
a_2	$0/009(w/m^2^{\circ}C)$
A_c	$2/84(m^2)$
\dot{m}_{col}	۰/۰۱(kg/s)
P_{col}	۳۰۰(kPa)

جدول ۳- میزان شدت تابش خورشید و دمای محیط به صورت میانگین روزانه در شهر اردبیل

زمان	شدت تابش خورشید (w/m^2)	دمای محیط ($^{\circ}C$)
۱۳۹۷/۰۴/۱۲	۲۹۱۷	۲۶/۳
۱۳۹۷/۰۴/۱۳	۲۹۱۴	۲۴/۱
۱۳۹۷/۰۴/۱۴	۲۸۸۴	۲۲/۳
۱۳۹۷/۰۴/۱۵	۲۷۹۷	۲۱/۵
۱۳۹۷/۰۴/۱۶	۲۵۸۷	۱۹/۱
۱۳۹۷/۰۴/۱۷	۲۱۵۴	۱۹/۹
۱۳۹۷/۰۴/۱۸	۲۷۵۴	۲۰/۷

۳- تحلیل ترمودینامیکی

سه آرایش سیکل دو اثره (سری، موازی، موازی معکوس) از لحاظ قانون اول و دوم ترمودینامیک در این مطالعه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. خواص ترمودینامیکی استفاده شده در این تحلیل‌ها، برای محلول آمونیاک لیتیوم نیترات از مرجع [۱۵] و برای محلول آمونیاک سدیم تیوسیانات از مرجع [۵] استفاده شده است.

۳-۱- قانون اول ترمودینامیک

در تحلیل سیکل دو اثره با صرف نظر کردن از انرژی پتانسیل و انرژی جنبشی معادلات پایستگی جرم و انرژی برای حالت پایا به شکل معادلات (۱) و (۲) و (۳) خواهند بود:

معادله پایستگی جرم:

$$\sum_{m^{\bullet}} m_i^{\bullet} = \sum m_e^{\bullet} \quad (1)$$

$$\sum m_i^{\bullet} x_i = \sum m_e^{\bullet} x_e \quad (2)$$

معادله پایستگی انرژی:

$$\sum Q^{\bullet} - \sum W^{\bullet} = \sum m_e^{\bullet} h_e - \sum m_i^{\bullet} h_i \quad (3)$$

در این معادلات Q گرمای مبادله شده و W کار انجام شده در هر جز است. این سه معادله برای هر جز نوشته شده و مقادیر مجهول با استفاده از آن‌ها به دست می‌آیند. ضریب عملکرد سیکل تبرید دو اثره از رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$COP = \frac{Q_{eva}^{\bullet}}{Q_{HPG}^{\bullet} + W_p^{\bullet}} \quad (4)$$

جدول ۴- مقدار D در سیکل موازی و موازی معکوس

	موازی	موازی معکوس
سیکل آمونیاک لیتیوم نیترات	D=0.4	D=0.6
سیکل آمونیاک سدیم تیوسیانات	D=0.5	D=0.7

در آرایش‌های موازی و موازی معکوس سیکل دو اثره، یک تقسیم جریان انجام می‌شود که نسبت جریان خروجی به جریان ورودی در این تقسیم به ترتیب در معادلات (۵) و (۶) نشان داده شده است.

$$D = \frac{m_4}{m_{6c}} \quad (۵)$$

$$D = \frac{m_{15}}{m_{15c}} \quad (۶)$$

در این مقاله برای آرایش‌های موازی و موازی معکوس برای هر یک از محلول‌های آمونیاک لیتیوم نیترات و آمونیاک سدیم تیوسیانات با توجه به مطالعات فرشی و همکاران مطابق جدول (۴) در نظر گرفته شده است.

۲-۳- قانون دوم ترمودینامیک

ارزیابی عملکرد سیستم از نظر قانون دوم ترمودینامیک با استفاده از تجزیه و تحلیل انرژی سیستم صورت می‌پذیرد. انرژی پتانسیل انجام کار است که به سبب انتقال حرارت به محیط تحت یک اختلاف دما و انبساط (unrestricted expansion) به وجود می‌آید [۲۱].

با توجه به صرف نظر کردن از انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل، از مقادیر انرژی آن‌ها نیز صرف نظر می‌شود؛ بنابراین انرژی تنها از مقادیر انرژی فیزیکی و شیمیایی تشکیل شده است. با توجه به مطالعات پیشین انجام شده در محلول آمونیاک لیتیوم نیترات و آمونیاک سدیم تیوسیانات با توجه به اینکه هیچ واکنش شیمیایی رخ نمی‌دهد، مقدار انرژی شیمیایی محلول قابل صرف نظر کردن است [۲۱، ۲۲]. انرژی مخصوص هر جز با استفاده از آنتالپی و آنتروپی مخصوص و با صرف نظر کردن از انرژی‌های شیمیایی و جنبشی و پتانسیل توسط معادله (۷) ارائه می‌شود.

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (۷)$$

عملکرد سیستم از لحاظ قانون دوم ترمودینامیک را می‌توان با استفاده از بازده قانون دوم که به صورت نسبت انرژی ورودی به انرژی خروجی تعریف کرد. در این مطالعه، بازده انرژی سیستم به صورت نسبت انرژی ورودی اواپراتور به مجموع انرژی ژنراتور و کار ورودی سیستم تعریف می‌شود:

$$\eta_{II} = \frac{Q_{eva} \cdot (1 - \frac{T_0}{T_{cold}})}{Q_{HPG} \cdot (1 - \frac{T_0}{T_{Hot}}) + W_p} \times 100 \quad (8)$$

در رابطه (۸)، دمای T_{hot} به صورت میانگین دمای منبع حرارتی دمابالا (جریان خارجی به ژنراتور دمابالا) و دمای T_{cold} به صورت میانگین دمای منبع دماپایین (جریان خارجی به کندانسور) تعریف می‌شود.

۳-۳- کلکتور خورشیدی

بازده کلکتور خورشیدی نسبت انرژی داده شده به سیال توسط کلکتور به میزان انرژی تابش ورودی خورشید به سطح کلکتور تعریف می‌شود که به طور خلاصه شده بازده یک کلکتور خورشیدی لوله خلأ از رابطه زیر به دست می‌آید [۲۳].

$$\eta_{col} = \eta_0 - a_1 \frac{T_i - T_a}{G} - a_2 \frac{(T_i - T_a)^2}{G} \quad (9)$$

که در این رابطه، T_i دمای ورودی کلکتور، T_a دمای محیط، G (W/m^2) شدت تابش خورشیدی و η_0 و a_1 و a_2 ضرایب ثابتی هستند که با توجه به مشخصات کلکتور تعیین می‌شوند. ما در این سیستم کلکتور لوله خلأ مدل ETC-30 ساخته شرکت اپریکیوس^۲ را در نظر گرفته ایم که مشخصات آن در جدول (۲) آمده است [۲۴]. انرژی که کلکتور به سیال انتقال می‌دهد برابر است با [۲۳].

$$Q_{col} = \eta_{col} \times G \times A_{col} \quad (10)$$

و از طرفی این انرژی برابر است با:

$$Q_{col} = \dot{m}_{col} \times C_p \times (T_o - T_i) \quad (11)$$

هرگاه مقدار انرژی موردنیاز سیستم را کلکتور خورشیدی نتواند تأمین کند، یک پیش گرمایش وارد سیستم می‌شود که با سوخت گاز طبیعی کار می‌کند و در صورت نیاز مقدار کمبود انرژی سیستم را تأمین می‌کند. این محفظه احتراق با سوزاندن گاز طبیعی مقداری CO_2 تولید و به محیط زیست آزاد می‌کند که برای محیط زیست مضر است. مقدار تولید گاز دی‌اکسید کربن از رابطه (۱۲) به دست می‌آید [۷]:

$$\dot{m}_{CO_2} = (1.8564 / 3723)Q \quad (12)$$

که در این رابطه Q مقدار گرمایی است که از سوختن گاز طبیعی به سیستم منتقل می‌شود.

^۲ Apricus

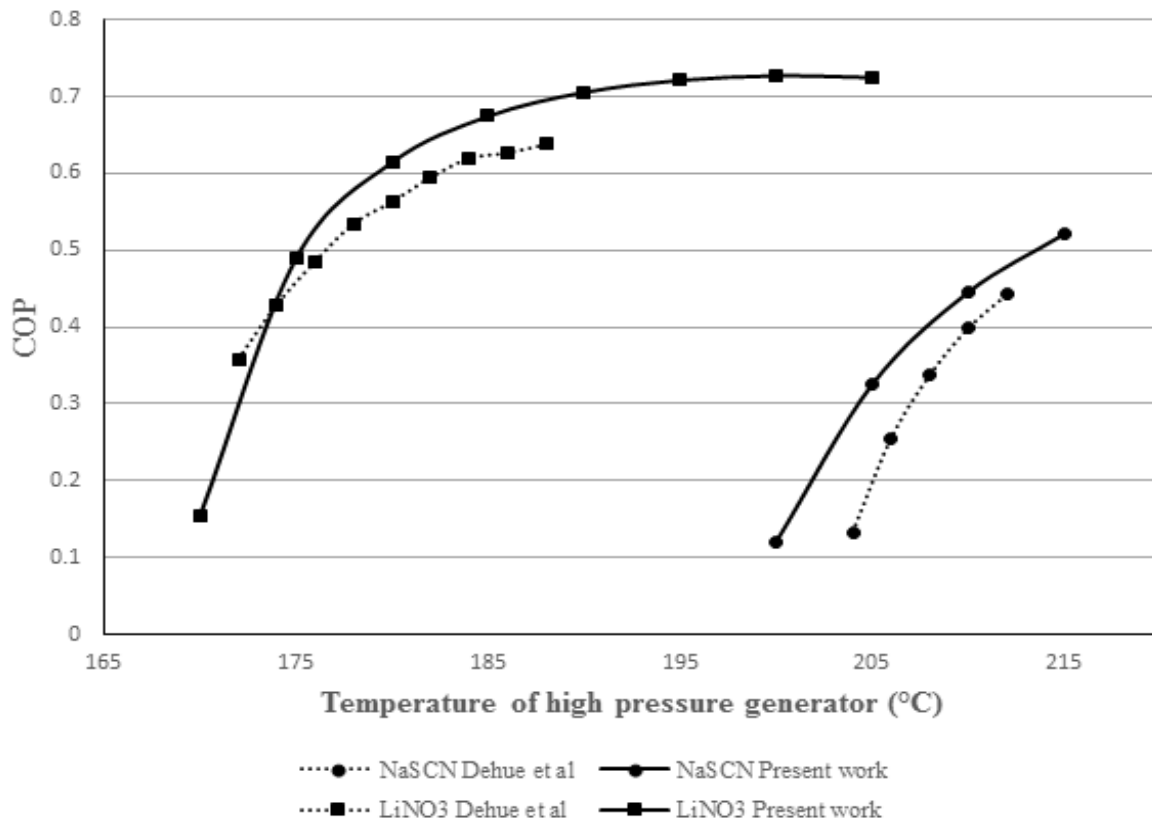
۴- نتایج و شبه سازی

۴-۱- شبیه سازی

شبیه سازی کار حاضر با استفاده از نرم افزار EES [۲۷] انجام شده است. با توجه به فرضیات انجام گرفته در قسمت (۳-۲) معادلات مربوط به قوانین ترمودینامیکی که در بخش (۳) به طور کامل توضیح داده شده است برای سیستم بکار برده شده است، اطلاعات ورودی سیستم مطابق جدول (۱) است، همچنین برای سیکل های موازی و موازی معکوس حالت بهینه D از جدول (۴) بکار برده شده است. کلکتور تجاری انتخاب شده و دلایل انتخاب آن در قسمت (۲-۲) توضیح داده شده است و ورودی های مربوط به کلکتور که در محاسبات استفاده شده است در جدول (۲) ارائه شده است. برای مقدار انرژی تابشی مقادیر برای یک هفته به طور میانگین در جدول (۳) ارائه شده است و در تحلیل ترمودینامیکی از این مقادیر استفاده شده است. تحلیل ترمودینامیکی با استفاده روابط و فرضیات و جداول مذکور برای حالت های مختلف دمای کندانسور، دمای اوپراتور، دمای ژنراتور و باری هر یک از داده های هواشناسی بررسی شده و نتایج این بررسی های ارائه شده است.

۴-۲- اعتبار سنجی

جهت اعتبار دهی مدل، نتایج حاصل با نتایج گزارش شده توسط دهو و همکاران [۱۹] برای سیکل دو اثره جریان سری مقایسه شده و در نمودار (۱) با توجه به مفروضات ورودی در جدول (۱) ارائه شده است. مشاهده می شود که توافق خوبی بین نتایج مدل سازی حاضر و نتایج کار دهو و همکاران [۱۹] وجود دارد.



نمودار ۱- مقایسه نتایج تحلیل انرژی سیکل تبرید جذبی دو اثره سری به دست آمده از کار حاضر و نتایج دهو و همکاران [۱۹]

۳-۴- نتایج

نتایج به دست آمده از تحلیل آرایش‌های مختلف سیکل تبرید جذبی دو اثره با کلکتور خورشیدی از شبیه‌سازی در EES، ارائه می‌شود. همچنین تأثیر پارامترهای مختلف روی عملکرد دستگاه‌ها بر اساس قانون اول و دوم ترمودینامیک در نمودارهای (۲) و (۳) ارائه شده است. درصد انرژی خورشیدی استفاده شده و همچنین درصد انرژی جبرانی از پیش گرم‌کن در نمودار (۴) برای هر یک از آرایش‌های سیستم تبرید جذبی ارائه شده است. مقدار گاز CO₂ تولیدی از سوختن گاز طبیعی نیز در نمودار (۴) در روزهای مختلف ارائه شده است که با توجه به تأثیرات زیست‌محیطی پارامتر مهمی در بررسی عملکرد سیستم است.

تأثیر دمای ژنراتور، دمای کندانسور و دمای اواپراتور بر روی ضریب عملکرد سیستم در نمودارهای (۳-الف) و (۳-ب) نشان داده شده است

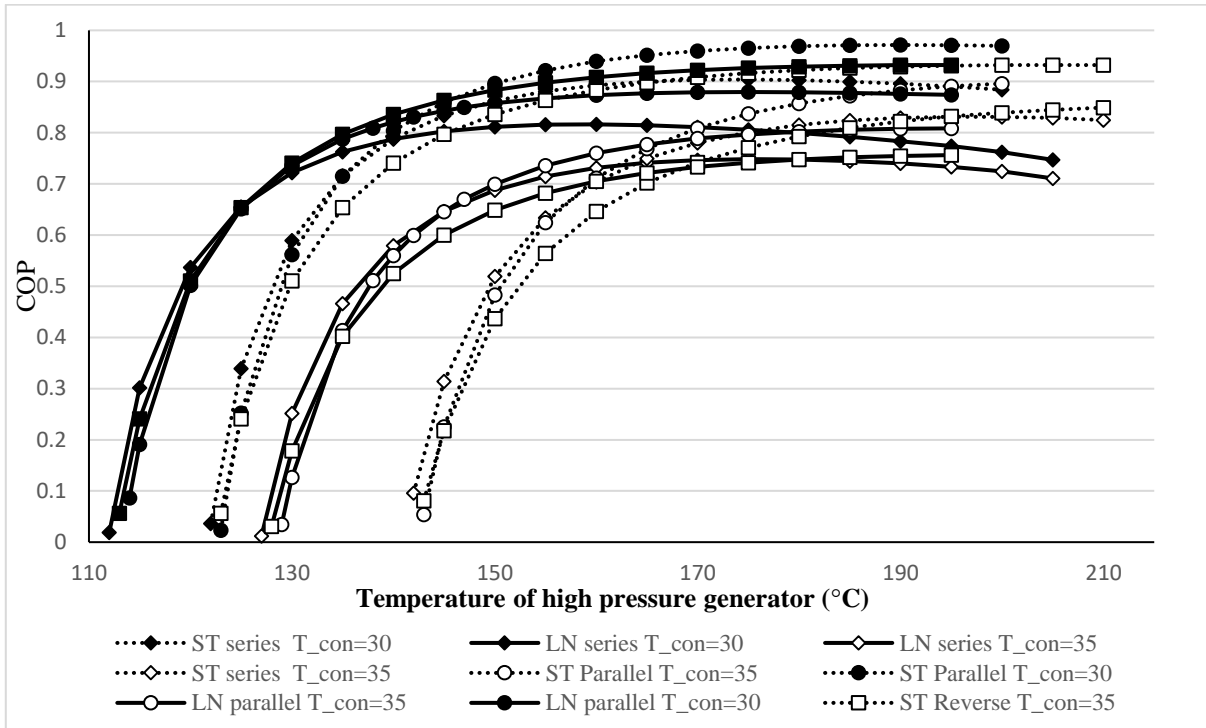
همان‌طور که از نمودارهای (۳-الف) و (۳-ب) مشخص است با افزایش دمای ژنراتور ضریب عملکرد سیستم افزایش می‌یابد و در دماهای بالا تقریباً ثابت می‌ماند. سیستم دو اثره با محلول آمونیاک/لیتیوم نیترات در دماهای ژنراتور پایین‌تری نسبت به سیستم دو اثره با محلول آمونیاک/سدیم تیوسیانات عمل می‌کند و این می‌تواند برای این سیستم مزیت به شمار آید. با افزایش دمای کندانسور و اواپراتور، دمای ژنراتور فشار بالا مورد نیاز برای سیکل افزایش می‌یابد. همان‌طور که از نمودارهای (۳-الف) و (۳-ب) مشخص است بعد از افزایش دمای ژنراتور به دمای مشخص عملکرد سیستم با افزایش دمای ژنراتور بهبود نمی‌یابد و در دمای ژنراتور معین مقدار ضریب عملکرد سیستم بیشینه است. افزایش دمای اواپراتور و کاهش دمای کندانسور باعث افزایش ضریب عملکرد سیستم می‌شود؛ بنابراین مقدار بیشینه ضریب عملکرد در سیستم در یک دمای ژنراتور خاص و بیشینه دمای اواپراتور و کمینه دمای کندانسور، اتفاق می‌افتد.

تغییرات بازده انرژی سیکل‌ها نسبت به دمای ژنراتور در دماهای مختلف اواپراتور و کندانسور در نمودارهای (۴-الف) و (۴-ب) نشان داده شده است، نمودارهای (۴-الف) و (۴-ب) نشان می‌دهند که با افزایش دمای ژنراتور بازده قانون دوم سیکل‌ها در هر سه آرایش ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابند. مطابق نمودار (۴-ب) با کاهش دمای اواپراتور بازده قانون دوم سیستم افزایش می‌یابد. همچنین نمودار (۴-الف) نشان می‌دهد که برای افزایش بازده قانون دوم سیکل‌ها باید دمای کندانسور افزایش یابد؛ بنابراین برای اینکه مقداری بازده قانون دوم بیشینه شود به دمای کندانسور بالا و دمای اواپراتور پایین و دمای ژنراتور خاص نیازمند است مطابق نمودارهای (۴-الف) و (۴-ب) برعکس ضریب عملکرد سیستم در مورد بازده قانون دوم سیکل‌های تک اثره دارای مقادیر بازده قانون دوم بیشتری نسبت به سیکل دو اثره می‌باشند.

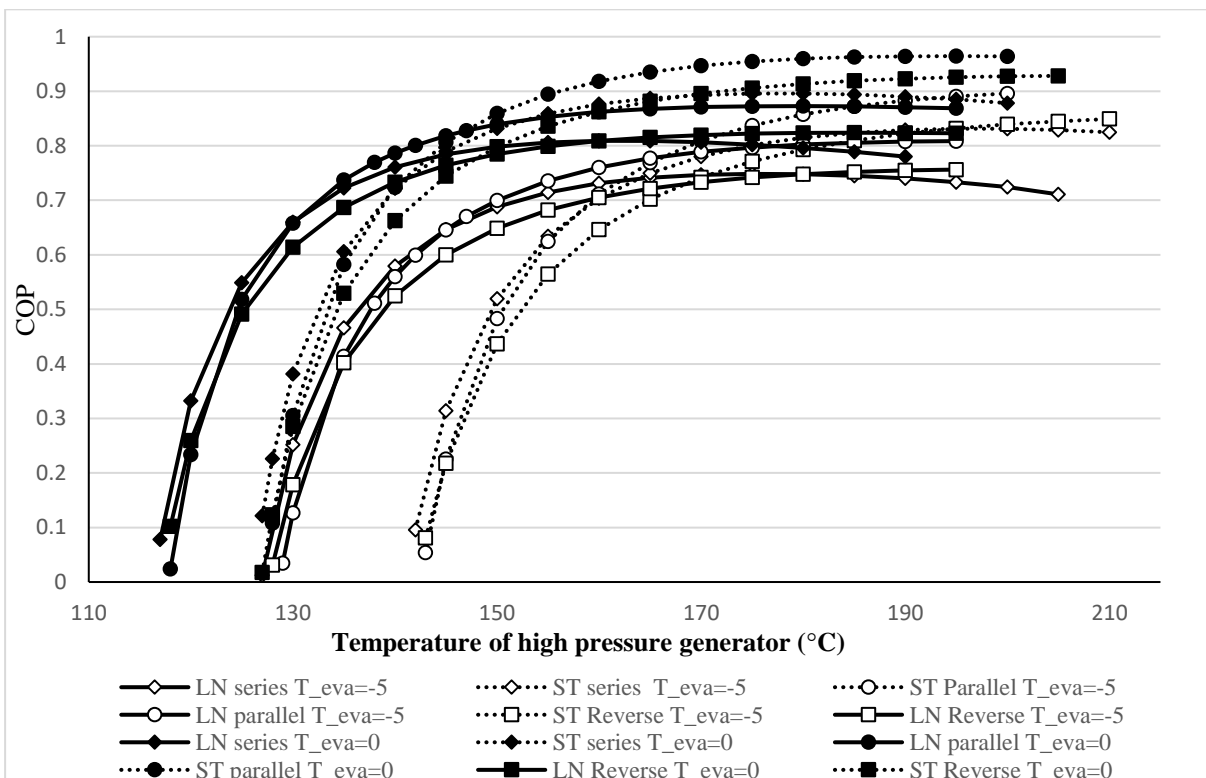
در نمودار (۵) درصد انرژی خورشیدی مورد استفاده در سیستم و درصد انرژی که از طریق پیش‌گرمایش به سیستم وارد می‌شود برای هر سه آرایش سیستم تبرید جذبی دو اثره نشان داده شده است.

با توجه به شکل (۵) مشخص است که مقدار استفاده از انرژی خورشیدی در سیستم با محلول آمونیاک/لیتیوم نیترات به‌طور میانگین برای آرایش سری در حدود ۲۹/۶۴٪ و برای آرایش موازی ۷۳/۳۴٪ و برای آرایش موازی معکوس در حدود ۳۰/۵۷٪ بیشتر از سیستم با محلول آمونیاک/سدیم تیوسیانات با همان آرایش‌ها است.

با توجه به نمودار (۵) آرایش سری کمترین مقدار استفاده از انرژی ناشی از سوختن گاز طبیعی به دلیل استفاده بیشتر از انرژی خورشیدی در بین آرایش‌های سیکل دو اثره دارد.



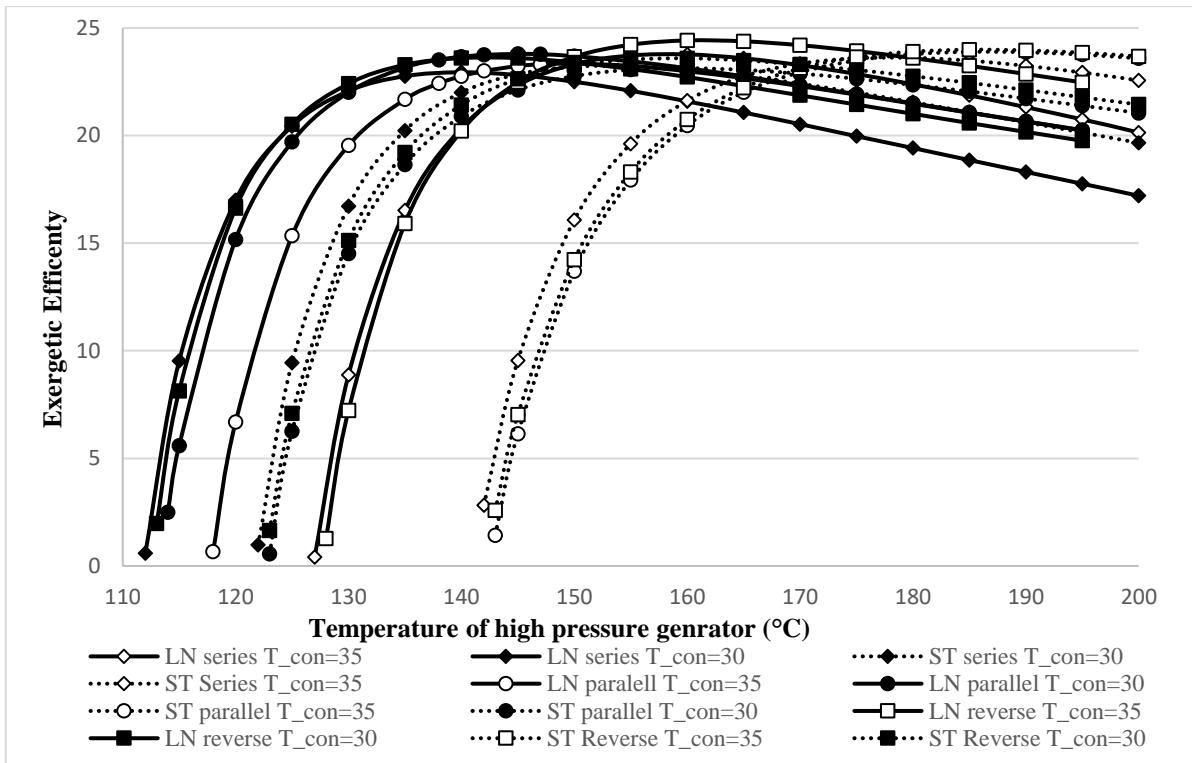
(الف)



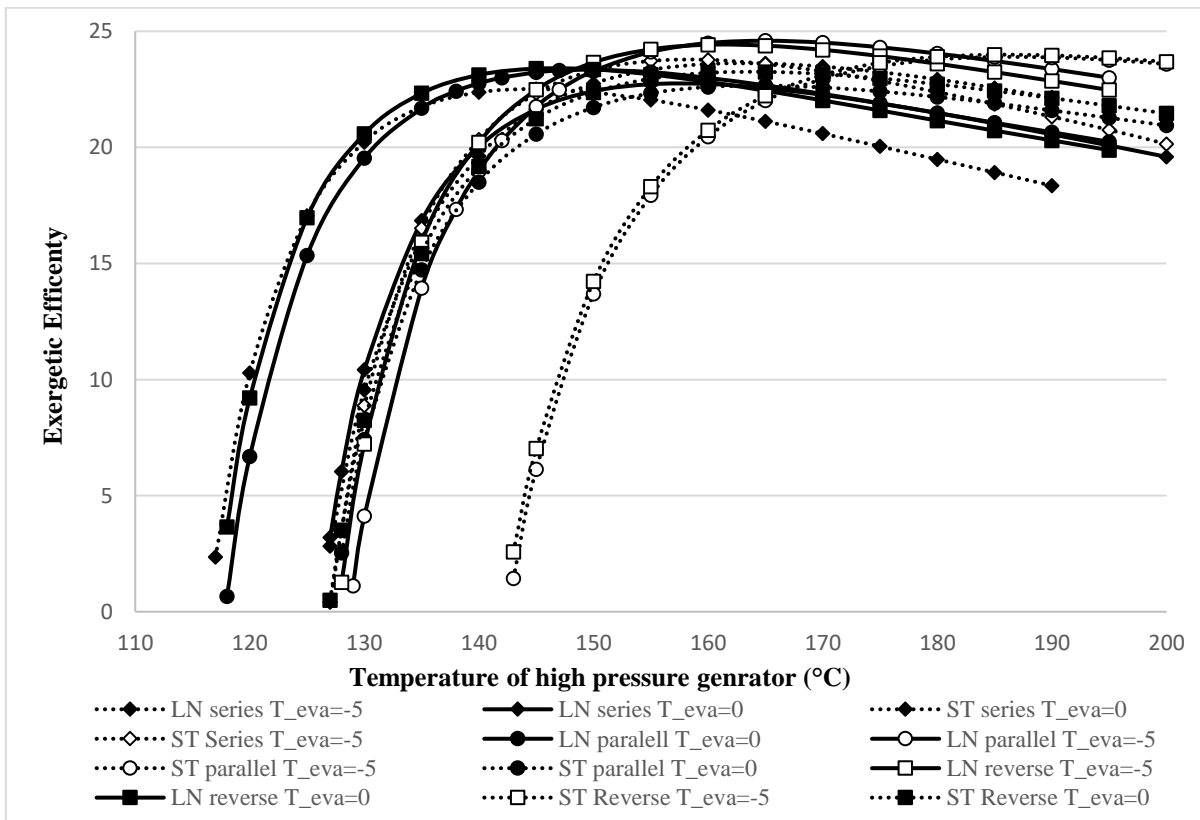
(ب)

نمودار ۲- تغییرات ضریب عملکرد برحسب دمای ژنراتور (الف) تغییر دمای اواپراتور در دمای کندانسور. $T_{Con}=35$.

(ب) تغییر دمای کندانسور در دمای اواپراتور $T_{eva}=-5$



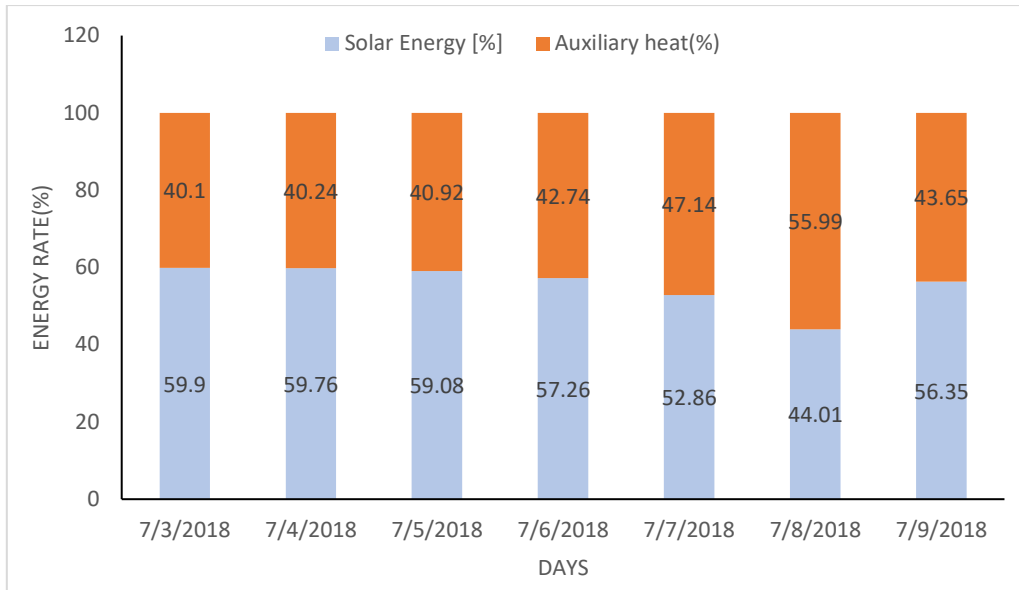
(الف)



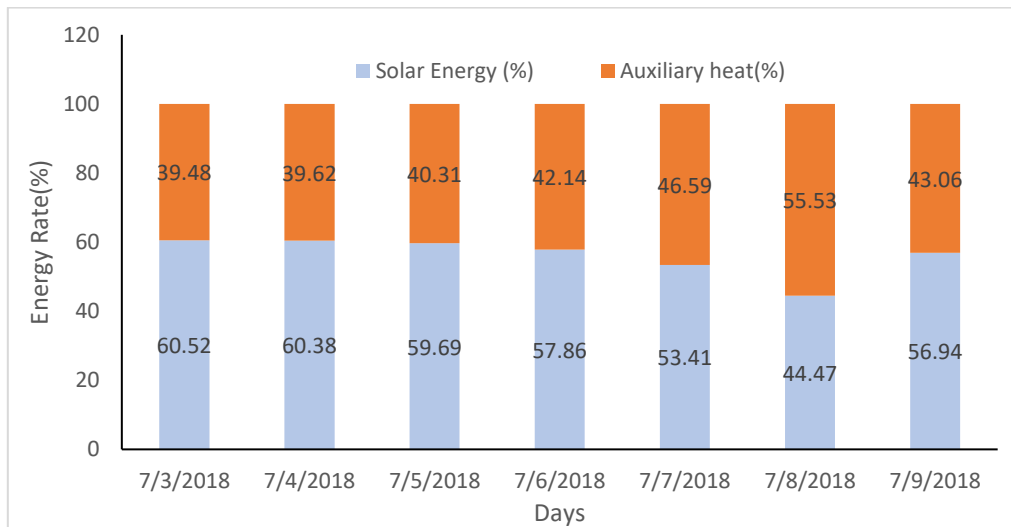
(ب)

شکل ۴- تغییرات بازده انرژی بر حسب دمای ژنراتور (الف) تغییر دمای اواپراتور در دمای کندانسور. $T_{con}=35$

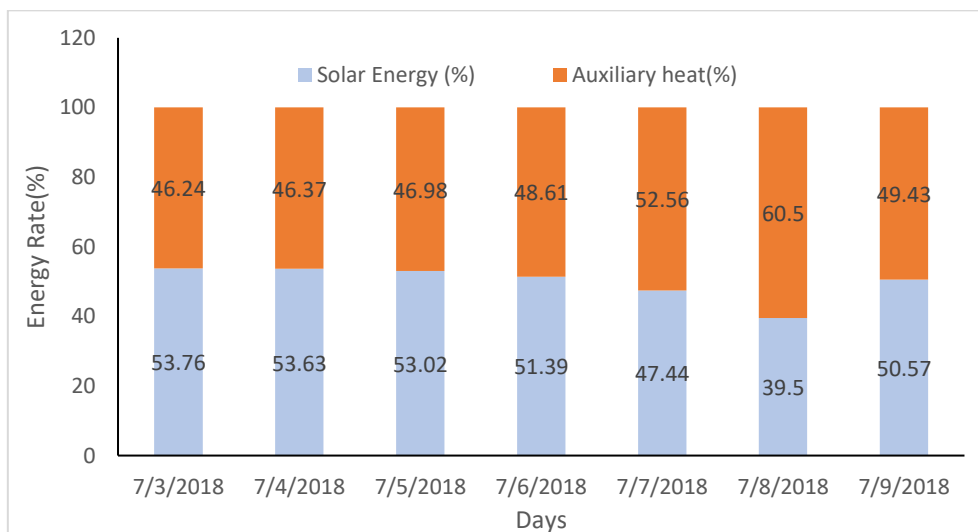
(ب) تغییر دمای کندانسور در دمای اواپراتور $T_{eva}=-5$



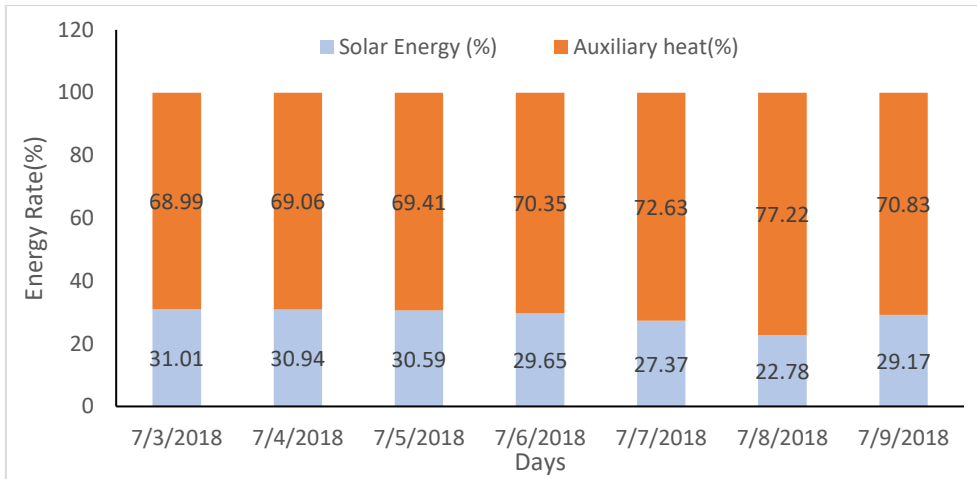
(الف)



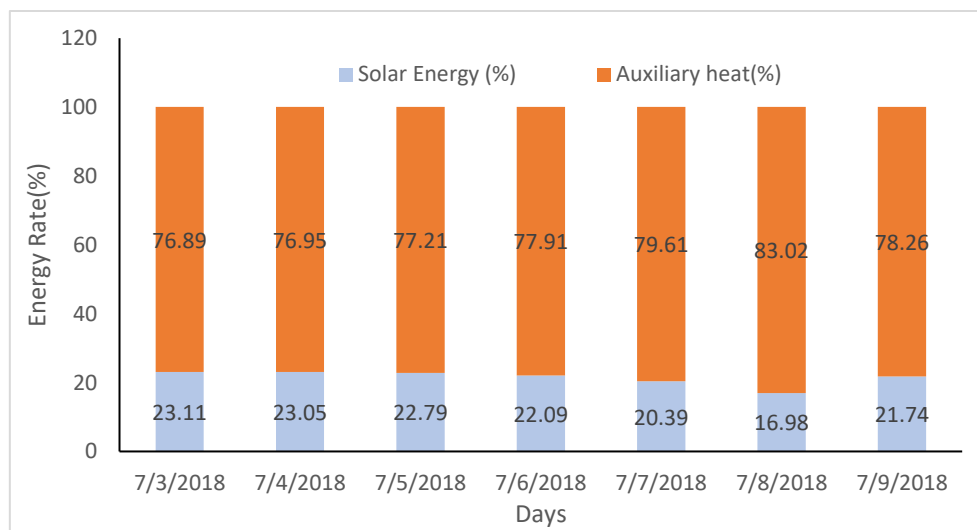
(ب)



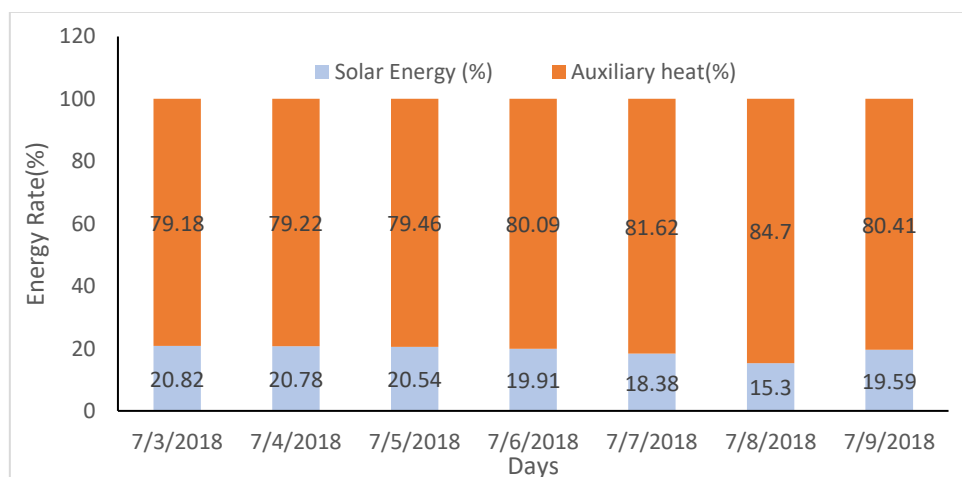
(ج)



(پ)

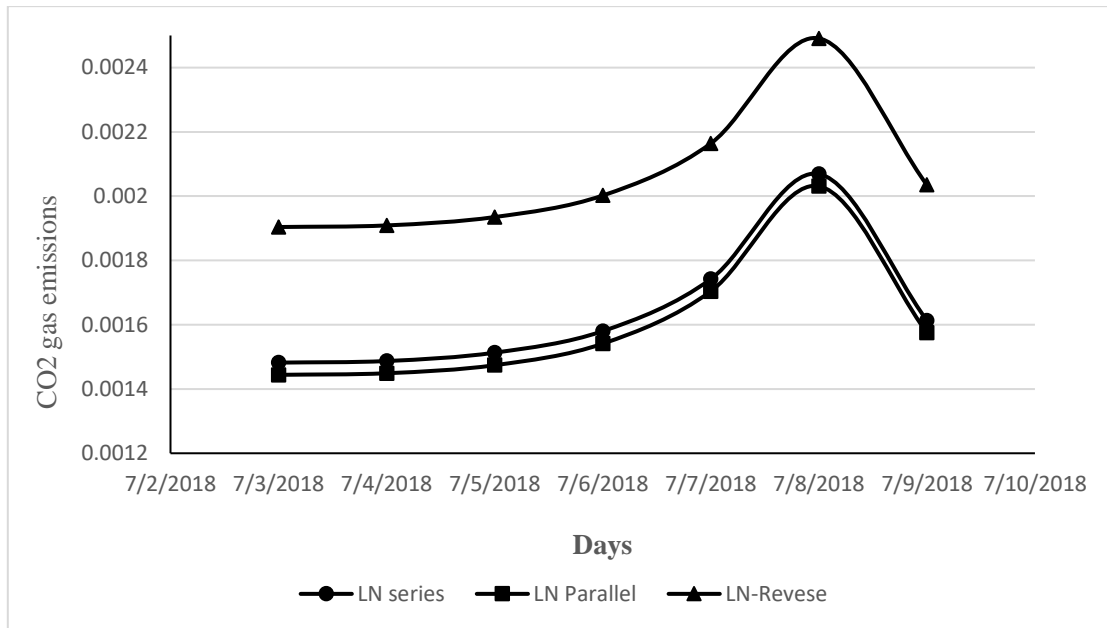


(ب)

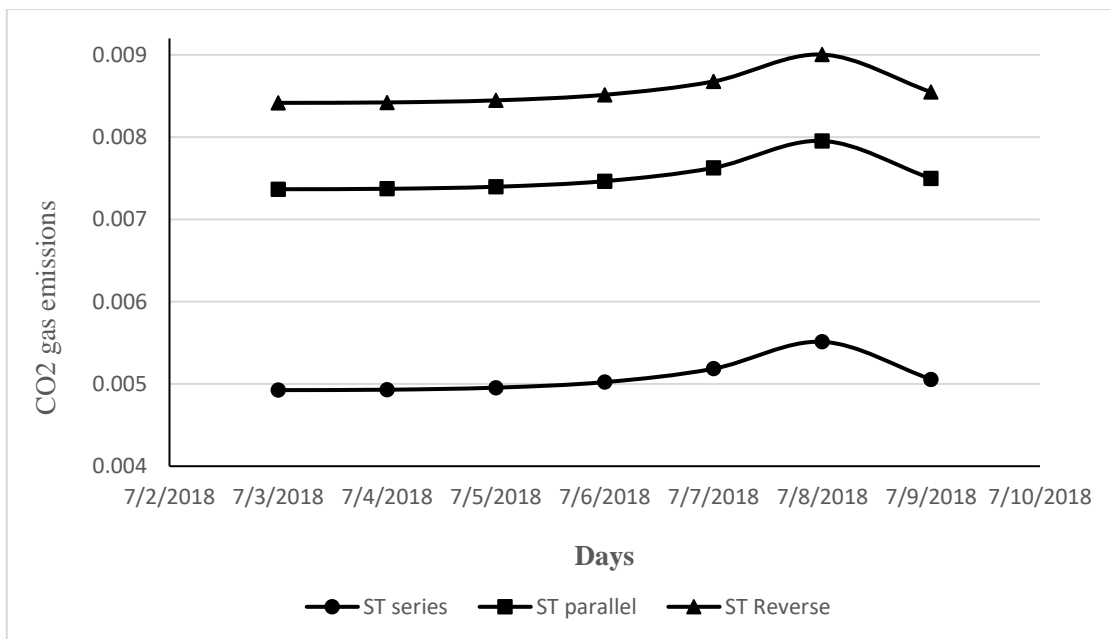


(ج)

شکل ۵- درصد انرژی خورشیدی و انرژی ناشی از سوختن گاز طبیعی مورد استفاده در سیستم (الف) سری آمونیاک لیتیوم نیترات (ب) موازی آمونیاک لیتیوم نیترات (ج) موازی معکوس آمونیاک لیتیوم نیترات (پ) سری آمونیاک سدیم تیوسیانات (ه) موازی آمونیاک سدیم تیوسیانات (د) موازی معکوس آمونیاک سدیم تیوسیانات



(الف)



(ب)

شکل ۶- مقادیر روزانه تولید گاز CO₂ (الف) برای سیستم دو اثره با محلول آمونیاک لیتیوم نیترات (ب) برای سیستم دو اثره با محلول آمونیاک سدیم تیوسیانات

نمودار (۶) تولید گاز دی اکسید کربن را برای سیکل تبرید جذبی دو اثره با محلول های آمونیاک لیتیوم نیترات و آمونیاک سدیم تیوسیانات در هر سه آرایش سری موازی و موازی معکوس نشان می دهد. همان طور که از شکل (۶) مشخص است تولید گاز CO₂ برای آرایش موازی معکوس بیشترین مقدار و برای آرایش سری کمترین مقدار را دارد. تولید گاز CO₂ در بیشترین حالت در بازه ی مورد بررسی برای سیکل آمونیاک سدیم تیوسیانات در حدود ۷۸/۶۳٪ بیشتر از تولید گاز CO₂ در سیکل با محلول آمونیاک لیتیوم نیترات است.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی سیکل تبرید جذبی دو اثره با محلول‌های آمونیاک لیتیوم نیترات و آمونیاک سدیم تیوسیانات که با استفاده از انرژی خورشیدی کار می‌کند پرداخته شده است. هر سه آرایش سیکل دو اثره با استفاده از کلکتور خورشیدی نصب شده شبیه‌سازی شده است هرچایی که مقدار انرژی دریافتی از کلکتور برای عملکرد سیستم کافی نبوده است از یک پیش گرم‌کن برای جبران این انرژی استفاده شده است، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که ضریب عملکرد آرایش موازی و موازی معکوس بیشتر از آرایش سری است به طوری که آرایش سری کمترین مقدار ضریب عملکرد و بازده انرژی را دارا است. سیکل با محلول آمونیاک لیتیوم نیترات می‌تواند در دماهای پایین‌تر نسبت به سیکل با محلول آمونیاک سدیم تیوسیانات کار کند. بازده انرژی سیستم در یک دمای ژنراتور مشخص بیشترین مقدار خود را دارد که برای آرایش سری این دما در دماهای پایین‌تر اتفاق می‌افتد. استفاده از انرژی خورشیدی می‌تواند هزینه سیستم و تولید گاز CO₂ ناشی از سوختن گاز طبیعی در ورودی ژنراتور را به شدت کاهش دهد. برای سیکل سری با محلول آمونیاک لیتیوم نیترات استفاده از انرژی خورشیدی ۲۹/۶۴ درصد بیشتر و تولید گاز دی‌اکسید کربن در حدود ۷۲/۱۶ درصد کمتر از سیکل سری آمونیاک سدیم تیوسیانات است در مورد سیکل موازی با محلول آمونیاک لیتیوم نیترات استفاده از انرژی خورشیدی در حدود ۳۴/۷۳ درصد بیشتر و تولید گاز دی‌اکسید کربن ۷۸/۶۳ درصد کمتر از سیکل موازی با محلول آمونیاک سدیم تیوسیانات است. این مقادیر برای آرایش موازی معکوس آمونیاک لیتیوم نیترات نسبت به سیکل موازی معکوس آمونیاک سدیم تیوسیانات به ترتیب برابر ۳۰/۵۷ درصد و ۷۵/۹۵ درصد است.

مراجع

- [1] F. R. Siddiqui, M. A. I. El-Shaarawi, and S. A. M. Said, "Exergo-economic Analysis of a Solar Driven Hybrid Storage Absorption Refrigeration Cycle," *Energy Conversion and Management*, Vol. 80, pp. 165-172, 2014 .
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.01.029>
- [2] S. MA., "Optimum Generator Temperatures Infour Absorption Cycles using Different Sources of Energy.," *Energy Conversion and Management*, Vol. 34, pp. 251-66, 1993
[https://doi.org/10.1016/0196-8904\(93\)90109-N](https://doi.org/10.1016/0196-8904(93)90109-N).
- [3] W. Y. Huang Y, Rezvani S, Mcllveen-Wright D, Anderson M, Hewitt N., "Biomass Fuelled Trigeneration System in Selected Buildings," *Energy Conversion and Management*, Vol. 52, pp. 2448-54, 2011 <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.12.053>.
- [4] A. Keçeciler, H. İ. Acar, and A. Doğan, "Thermodynamic Analysis of the Absorption Refrigeration System with Geothermal Energy: An Experimental Study," *Energy Conversion and Management*, Vol. 41, No. 1, pp. 37-48, 1// 2000, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904\(99\)00091-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(99)00091-6).

- [5] L. G. Farshi and S. Asadi, "Ammonia Lithium Nitrate and Ammonia Sodium Thiocyanate Double Effect Absorption Refrigeration Systems: Thermodynamic Analysis," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 138, pp. 374-385, 2018 <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.04.079>.
- [6] L. Garousi Farshi, A. H. Mosaffa, C. A. Infante Ferreira, and M. A. Rosen, "Thermodynamic Analysis and Comparison of Combined Ejector-absorption and Single Effect Absorption Refrigeration Systems," *Applied Energy*, Vol. 133, pp. 335-346, 11/15/ 2014, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.102>.
- [7] R. Gomri, "Simulation Study on The Performance of Solar/Natural Gas Absorption Cooling Chillers," *Energy Conversion and Management*, Vol. 65, pp. 675-681, 2013 <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2011.10.030>
- [8] L. Garousi Farshi, ,, S. M . Seyed Mahmoudi, M. A. Rosen, and M. Yari, "A Comparative Study of the Performance Characteristics of Double Effect Absorption Refrigeration Systems " *International Journal of Energy*, Vol. 36, pp. 182-192, 2012 <https://doi.org/10.1002/er.1791>.
- [9] D.-W. Sun, "Comparison of the Performances of NH₃-H₂O, NH₃-LiNO₃ and NH₃-NaSCN Absorption Refrigeration Systems," *Energy Conversion and Management*, Vol. 39, No. 5-6, pp. 357-368, 3// 1998 ,doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904\(97\)00027-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(97)00027-7).
- [10] R. Best, L. Porras, and F. A. Holland, "Thermodynamic Design Data for Absorption Heat Pump Systems Operating on Ammonia-Lithium Nitrate-Part One. Cooling," *Heat Recovery Systems and CHP*, Vol. 11 , No. 1, pp. 49-61, 1991/01/01 1991, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0890-4332\(91\)90187-9](http://dx.doi.org/10.1016/0890-4332(91)90187-9).
- [11] R. Best, W. Rivera, I. Pilatowsky, and F. A. Holland, "Thermodynamic Design Data for Absorption Heat Pump Systems Operating on Ammonia-Lithium Nitrate—Part Two. Heating," *Heat Recovery Systems and CHP*, vol. 11, no. 2, pp. 103-111, 1991/01/01 1991, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0890-4332\(91\)90123-L](http://dx.doi.org/10.1016/0890-4332(91)90123-L).
- [12] R. Best, W. Rivera, I. Pilatowsky, and F. A. Holland, "Thermodynamic Design Data For Absorption Heat Pump Systems Operating on Ammonia-Lithium Nitrate—Part Three. Simultaneous Cooling and Heating," *Heat Recovery Systems and CHP*, Vol. 11, No. 4, pp. 199-212, 1991/01/01 1991, doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0890-4332\(91\)90064-B](http://dx.doi.org/10.1016/0890-4332(91)90064-B).
- [13] L. Zhu and J. Gu, "Thermodynamic Analysis of a Novel Thermal Driven Refrigeration System," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Article Vol. 56, pp. 351-355, 2009. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-78651526312&partnerID=40&md5=b2ce234471d29854461a477f2d89dc1>.
- [14] J. M. Abdulateef, K. Sopian, and M. A. Alghoul, "Optimum Design for Solar Absorption Refrigeration Systems and Comparison of the Performances using Ammonia-water, Ammonia-Lithium Nitrate and Ammonia-Sodium Thiocyanate Solutions," *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, Article Vol. 3, No. 1, pp. 17-24, 2008. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-49149106389&partnerID=40&md5=0733feefe8073419ff50d5450f909c14>.

- [15] L. G. Farshi, C. A. Infante Ferreira, S. M. S. Mahmoudi, and M. A. Rosen, "First and Second Law Analysis of Ammonia/Salt Absorption Refrigeration Systems," *International Journal of Refrigeration*, Vol. 40, pp. 111-121, 4// 2014, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.11.006>.
- [16] L. Zhu and J. Gu, "Second Law-Based Thermodynamic Analysis Of Ammonia/Sodium thiocyanate Absorption System," *Renewable Energy*, vol. 35, no. 9, pp. 1940-1946, 9// 2010, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.01.022>.
- [17] L.A. Dominguez-Inzunza, J.A. Hernandez-Magallanes, M. Sndoval-Reyes, and W. Rivera, "Comparison of the Performance of Single-effect, Half-effect, Doubl Effect in Series and Inverse and Triple-effect Absorption Cooling Systems Operating with the NH₃eLiNO₃ Mixture," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 66, pp. 612-620, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.02.061>.
- [18] C. Vasilescu and C. Infante Ferreira, "Solar Driven Double-effect Absorption Cycles For Sub-zero Temperatures," *International Journal of Refrigeration*, Vol. 39, pp. 86-94, 3// 2014 ,doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.09.034>.
- [19] S. A. Kalogirou, "Solar Thermal Collectors and Applications," *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 30, No. 3, pp. 231-295, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.02.001>.
- [20] Apricus." <http://www.apricus.com/en/america/products/solar-collectors/ap-30/#.WGgj21N97IU>." Accessed.
- [21] T. J. Kotas, *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*. Melbourne: Krirgt Publishing, 1995 <https://doi.org/10.1016/C2013-0-00894-8>.
- [22] A. Bejan , G. Tsatsaronis, and M. Moran, *Thermal Design and Optimization*. ISBN 10: 0471584673 ISBN 13: 9780471584674 Publisher: Wiley-Interscience, 1995.
- [23] S. A. Kalogirou, *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. Academic Press, 2013. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374501-9.X0001-5>.
- [24] I. J. Esfahani, Y. T. Kang, and C. Yoo, "A High Efficient Combined Multi-Effect Evaporation–Absorption Heat Pump And Vapor-Compression Refrigeration Part 1 :Energy and economic modeling and analysis," *Energy*, vol. 75, pp. 312-326, 2014 <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.081>

فهرست نمادهای انگلیسی

A	مساحت سطح کلکتور
COP	ضریب عملکرد
CP	ظرفیت گرمایی در فشار ثابت
D	نرخ توزیع جریان
EV	شیر انبساط
G	شدت تابش خورشید
h	آنتالپی مخصوص
HPG	ژنراتور فشار بالا
HTHE	مبدل حرارتی دمابالا
LPG	ژنراتور فشار پایین
LTHE	مبدل حرارتی دماپایین
m	نرخ جریان جرمی
P	فشار
Q	نرخ انتقال حرارت
T	دما
Tcold	میانگین دمای سرد سیستم
Thot	میانگین دمای گرم سیستم
S	آنتروپی مخصوص
W	کار
X	غلظت

نمادهای یونانی

η	بازده
ψ	اگرژی جریانی

زیرنویس‌ها

0	محیط یا مرجع
	قانون دوم
Abs	جاذب
CO ₂	دی‌اکسید کربن
Col	کلکتور خورشیدی
CON	کندانسور
e	خروجی
eva	اوپراتور
ts	سمت لوله
hx	مبدل حرارتی
i	ورودی
P	پمپ

Analysis of Energy and Exergy of Ammonia Salt Double Effect Absorption Refrigeration System with Solar Collector

*Corresponding author: **Sadegh Asadi**

PhD Candidate of Mechanical Engineering, Department of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Sadeghasadi@uma.ac.ir

Abstract

In this paper, we investigate a two-effect adsorption refrigeration system that works with ammonium lithium nitrate and sodium ammonia thiocyanate solutions. The energy required by these systems is supplied by a solar collector. The efficiencies of the first and second laws of the absorption refrigeration system are obtained in three parallel and inverse series arrangements and are compared with each other. In this study, we showed that the amount of energy efficiency and exergy of the two-effect system in the series arrangement is the lowest among the three arrangements. The system works with ammonia solution of lithium nitrate at a lower temperature than the ammonia solution of sodium thiocyanate. Energy consumption is supplied through preheating and collector solar energy. The system with sodium thiocyanate ammonia solution uses more solar energy, which in the lowest case is 29.64% more than the system with sodium thiocyanate ammonia solution. Burning natural gas is the heat that comes from solar energy to get the energy consumed by the generator. bring. The amount of carbon dioxide produced by preheating combustion is obtained, which in its lowest case for a series arrangement with ammonia lithium nitrate solution is 72.16% less than the same arrangement with ammonium sodium thiocyanate.

Keywords: Absorption refrigeration, Ammonia salt, Solar energy, Energy, Exergy