نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۹، شماره ۵، زمستان ۱۴۰۱، ص: ۵۳- ۶۷

J. Energy Conversion
Volume: 9, Issue: 5, 2023: 53-67

DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2

تحلیل انرژی و اگزرژی نیروگاه حرارتی خورشیدی سهموی خطی با استفاده از نانو سیال اکسید آلومینیوم-آب

یگانه سادات تهامی[۱]، پریسا جعفری[۱]، متینه ناصری فیجانی[۱] ، اشکان عبدالی سوسن[۱و۲*]

۱- گروه صنعت و انرژی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- گروه فنی و مهندسی، واحد آستارا، دانشگاه آزاد اسلامی، آستارا، ایران

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۴، بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۰۱، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۶

چکیده

یکی از معضلات اصلی امروزه بشر، استفاده از سوخت های فسیلی است. برای رفع این معضل و نگرانی از بحران انرژی در اثر کمبود این منابع، می‌توان انرژی های تجدیدپذیر را جایگزین نمود. یکی از بزرگترین منابع انرژی های پاک، انرژی خورشیدی است که از آن می توان در نیروگاه های حرارتی خورشیدی استفاده کرد. در این مطالعه ، از نانوسیال اکسید آلومینیوم با آب در نیروگاه ترکیبی حرارتی خورشیدی سهموی خطی با سیکل رانکین استفاده شده است و میزان راندمان انرژی و اگزرژی این نیروگاه توسط نانوسیال استفاده شده و مخزن ذخیره سازی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین این نیروگاه، دارای مخزن ذخیره ساز انرژی با نمک مذاب است تا بتوان میزان انرژی مورد نیاز شب، در نبود تابش خورشید را تامین کرد. معادلات تحلیل انرژی و اگزرژی این نیروگاه به کمک نرم افزار EES انجام شده است. نتیجه این تحلیل، راندمان اگزرژی سیستم خورشیدی ۱۶/۲۷ درصد و میزان راندمان انرژی، ۵۹/۷۲ درصد بدست آمده است.

* **عهده‌دار مکاتبات:** a.abdali@srbiau.ac.ir

کلمات کلیدی: نانو سیال اکسید آلومینیوم _ آب، کلکتور سهموی خطی، مخزن حرارتی نمک مذاب ، لوله جاذب، تحلیل اگزرژی

۱- مقدمه

با توجه به افزایش روز افزون جمعیت و به تبع آن، سیر صعودی مصرف انرژی باعث ایجاد نگرانی هایی درباره محدود بودن منابع تجدیدناپذیر، گرمایش جهانی و آلودگی هوا شده است. برای رفع این مشکل، استفاده از انرژی های تمام نشدنی و تجدید پذیر راه حلی برای جایگزینی این نوع از منابع به جای منابع انرژی تجدید ناپذیر است.[۱] سیستم های حرارتی متمرکز کنندهٔ خورشیدی به سه گونه تقسیم بندی می شوند که عبارتند از:

۱) کلکتور های دما پایین (کمتر از ۱۰۰ درجهٔ سانتی گراد) : مانند لوله های خلأ، حوض خورشیدی ، کلکتورهای مسطح خورشیدی، لوله های گرمایی ، تقطیر خورشیدی

۲) کلکتورهای دما متوسط (از ۱۰۰ تا ۴۰۰ درجهٔ سانتی گراد) : مانند کلکتور های متمرکزکنندهٔ سهموی خطی و کلکتورهای خطی فرنل

نحوه استناد به این مقاله: یگانه سادات تهامی، پریسا جعفری، متینه ناصری فیجانی، اشکان عبدالی سوسن. تحلیل انرژی و اگزرژی نیروگاه حرارتی خورشیدی سهموی خطی با استفاده از نانو سیال اکسید آلومینیوم-آب. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۱; ۹ (۵) :۵۳-۶۷. DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2]

۳) کلکتورهای دما بالا (بالاتر از ۴۰۰ درجهٔ سانتی گراد) : مانند کلکتورهای متمرکز کنندهٔ نقطه ای بشقابی و برج های نیرو [۲]

استفاده از دانش فنی نانوتکنولوژی جهت بهبود کارایی کلکتور های خورشیدی در سال های اخیر متداول شده است ؛ از جمله این روش ها بهره گیری از نانوسیال برای سیال عامل داخل لولهٔ جاذب است. تحقیقاتی که در سال های اخیر در این حوزه صورت گرفته است ، ثابت کرده است که افزودن ذرات نانو به سیال های عامل معمولی ، امکان افزایش راندمان کلکتور خورشیدی فراهم شده است[۳]. در این تحقیق نانوذرات اکسید آلومینیوم(AL_2O_3) در آب به منظور سیال مبنا به کار رفته است که در نانوسیالات به علت اندازه نانو آن ها در درون سیال معایبی از جمله رسوب ، انسداد لوله ها ، کاهش اصطکاک وجود خواهد داشت . از فواید نانوسیالات ، افزایش ضریب هدایت حرارتی و همچنین ضریب جابجایی انتقال حرارت بدون افزایش قابل توجه در افت فشار می باشد[۴]. هدف از نگارش این مقاله بررسی میزان کارایی انرژی و اگزرژی کلکتور سهموی خطی با به کار بردن نانو سیال اکسید آلومینیوم-آب و مخزن ذخیره سازی است.در واقع، علاوه بر نانو سیال، از مخزن ذخیره ساز دارای نمک مذاب برای ذخیره انرژی مورد نیاز استفاده شده تا بتوان در طول شبانه روز و بدون محدودیت از آن استفاده نمود.

۲- پیشینهٔ پژوهش

آرانی و منفردی، مقاله ای تحت عنوان تجزیه و تحلیل انرژی و اگزرژی کلکتور خورشیدی سهموی با نانو سیال و با لوله جاذب غیر مرکزی و سقف عایق در سال ۲۰۲۰ نگارش کرده اند. یکی از اهداف این مقاله، طراحی کلکتور خورشیدی سهموی با نانو سیال با استفاده از روش حجمی fnite (محدود) است. از دیگر اهداف این مقاله، شبیه سازی نانو سیال با استفاده از مدل مخلوط تک فازی (SPM)و مدل مخلوط دو فازی (TPM) و همچنین بررسی تاثیرات این دو مدل بر نانو سیال استفاده شده در کلکتور خورشیدی سهموی است. طبق نتایج بدست آمده از این شبیه‌سازی بر روی PTSC معمولی و جدید دریافتند که مقدار عدد ناسلت و راندمان انرژی PTSC جدید و مدل شبیه سازی مخلوط دو فازی، بیشتر است.در این مطالعه، با مقدار ۲۰ میلی متر غیر مرکزی، زاویه قوس ۷۰ درجه، قطر نانو سیال ۲۰ میلی متر و حجم نانوذرات با کسری از یک درصد پرشده، می‌توان نتیجه گرفت که میزان راندمان انرژی و اگزرژی این کلکتور به ترتیب ۷۳,۱۰ و ۳۱,۵۵ درصد بدست آمده است[۵].

احیایی و همکاران(۲۰۱۹) در پژوهشی با عنوان تجزیه و تحلیل انرژی، اگزرژی و اقتصادی برای انتخاب سیال عامل و نانوسیالات اکسید فلزی در یک کلکتور سهموی ، تحلیل انرژی، اکسرژی و اقتصادی سیستم PTC واقع در تهران انجام شده است . مدل عددی با داده های تجربی از ادبیات تایید شد. دو سیال پایه (آب و روغن) و نانوذرات اکسید فلز (AL_2O_3 و CuO) با نسبت‌های حجمی مختلف (۱٪، ۳٪ و۵٪) مورد بررسی قرار گرفته است . پارامترهای کلیدی بررسی شده در این مقاله عبارتند از: نرخ گرمای به دست آمده توسط PTC[1]، دمای HTF خروجی یک PTC، بازده انرژی و اگزرژی، نرخ تخریب اگزرژی و هزینه نرخ حرارت به دست آمده توسط PTC [۶]. ارده و همکاران، مقاله ای با عنوان اگزرژی و ارزیابی‌های اقتصادی سیستم چرخه رانکین آلی خورشیدی با گیرنده حفره V شکل خطی در سال ۲۰۱۹ مورد بررسی قرار گرفته است. یک متمرکزکننده سهموی خورشیدی با گیرنده حفرهV شکل خطی که منبع گرمایش را از طریق سیکل رانکین آلی خورشیدی تامین می‌کند. سیال عامل این سیستم روغن حرارتی است و اتانول به عنوان سیال عامل برای زیر ورودی های توربین مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق دریافتند که با افزایش تابش خورشیدی و دمای ورودی همچنین با کاهش سرعت جریان سیال عامل خورشیدی باعث افزایش راندمان اگزرژی این سیستم می‌شود. از لحاظ اقتصادی، دوره بازگشت سرمایه این سیستم تقریبا ۸,۷۹ سال و مقدار هزینه آن ۰,۰۷۱۶ کیلووات ساعت بر یورو محاسبه شده است[۷].

[1]Parabolic Through Collectors

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2]

الاوران و همکاران، درسال ۲۰۲۰ مقاله ای با موضوع بهبود اگزرژی و انرژی برای کلکتور سهموی با استفاده از نانو سیال های مونو و هیبریدی نگارش کرده اند. هدف از این مقاله، بهبود مدل سهموی LS-2 و مقایسه نانو سیالات مورد استفاده قرار گرفته در این سیستم است. نانو سیال مونو یعنی فقط از یک نوع نانو سیال عامل استفاده شده ولی هیبریدی به معنای آن است که ترکیبی از چند نانو سیال به عنوان سیال عامل در نظر گرفته شده است. نانوذرات مونو CUO AL_2O_3 و CeO_2 مورد استفاده قرار گرفته است. از نانوذرات هیبرید مانند ترکیب نانوذرات AL_2O_3 با CeO2 یا CUO استفاده شده است. در این تحقیق، برای متغیر دماهای ورودی و رژیم آشفته با نرم افزار سیمولینک متلب انجام گرفته شده است. طبق تحقیقات صورت گرفته مشاهده شده است که کارایی نانوذرات هیبریدی AL_2O_3 با CeO2 نسبت به نانو ذرات هیبریدی AL_2O_3 با CUO و همچنین نانوذرات مونو بیشتر است. مورد دیگری که درباره نانوذرات هیبریدی میتوان گفت، با دارابودن افت فشار کمتر نسبت به نانوذرات مونو، دارای مزیت بیشتری نسبت به آن ها هستند. میزان راندمان حرارتی و اگزرژی بدست آمده از نانوذرات کارآمدتر یعنی AL_2O_3 با CeO_2 به ترتیب ۱،۰۹ درصد و ۱،۰۳ درصد است که مقدار عدد ناسلت و ضریب انتقال حرارت آن به ترتیب ۱۶۷،۸ درصد و ۲۰۰،۷ درصد افزایش یافته است.[۸]. اصلی عسکری ارده ها و همکاران(۲۰۲۰) در پژوهشی با عنوان اثرات اندازه و کسر حجمی نانوذرات آلومینا در مورد عملکرد یک چرخه رانکین آلی خورشیدی که هدف اینکار بررسی یک چرخه رانکین آلی خورشیدی است،همچنین سطوح به خصوص دیش کلکتورهای سهموی به عنوان یک تکنیک موثر برای تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی حرارتی است،که در این مقاله یک نقطه کانونی را به صورت محاسباتی شبیه سازی کرده است و تاثیر سرعت و جهت باد بررسی شده است.و همچنین قانون اول و دوم ترمودینامیک در پژوهش اعمال شده است،نتایج اصلی نشان می‌دهد که افزایش حرارت حفره ، بازده حرارتی خورشیدی و خروجی حفره ۴۳۹ و افزایش دما با کاهش اندازه نانوذرات آلومینا می باشد [۹]. دکتر طارق چاودری(۲۰۲۱) در پژوهشی با عنوان عملکرد انرژی و اکسرژی تحلیل تطبیقی یک سیکل رانکین آلی مبتنی بر خورشید چرخه با استفاده از مواد آلی مختلف مایعات به بررسی عملکرد یک کلکتور سهموی با یک چرخه رانکین برای بهینه و ارزیابی تخریب اکسرژی در اجزای مختلف سیستم می پردازد.در این مقاله نتیجه گرفته شد که سیستم توسعه یافته زمانی پایدار و سودآور خواهد بود که یارانه های دولتی و تعرفه های ویژه برای انرژی تجدیدپذیر هزینه یکسان باشد.نتیجه گیری نشان می‌دهد که یک سیستم سهموی با استفاده از سیالات آلی مختلف بازده های متفاوتی داشته است،هرسیال دارای فشار و درجه حرارت بهینه برای سطح خاصی از تابش خورشیدی است.و عملکرد برتر در دمای ورودی توربین بالاتر ۵۵۰ کلوین و راندمان انرژی ۲۴ درصد و راندمان اگزرژی ۶۳ درصد را نشان می‌دهد [۱۰].

۳-توضیحات سیستم

در پژوهش موجود ، سیستم انرژی گرمایی خورشیدی از PTC ، مخزن ذخیره ساز نمک مذاب و پمپ به منظور چرخش نانو سیال اکسید آلومینیوم- آب تشکیل شده است [۱۱]. نیروگاه های گرمایی خورشیدی از نوع سیستم کلکتور سهموی خطی ، از دسته های موازی و طویل متمرکزکننده ها تشکیل شده اند. قسمت متمرکز کننده ، تشکیل شده از سطح های منعکس کنندهٔ سهموی است که از جنس آینه های شیشه ای هستند. گیرنده از لوله های جاذب با محافظ خاص شکل گرفته شده است که شیشهٔ پیرکس آن را دربرگرفته و در طول خط مرکزی جای گرفته است. سیستم جستجوگر خورشید تک محوره است و جستجوی خورشید از شرق به غرب اجرا می گردد.این مدل از نیروگاه ها با ذخیرهٔ گرما می توانند برق را حتی در زمان هایی که خورشید غروب شده است ، تولید می کنند [۱۲].

۳-۱-کلکتور سهموی خطی

کلکتور خورشیدی سهموی ، اشعهٔ خورشید را که به گیرنده تابیده شده است ، بازتاب می کند . گیرنده انرژی گردآوری شده را به سیالی که در درون آن گردش شده است ، انتقال می دهد . با ازدیاد تابش خورشیدی ، دمای حاصل شده از کلکتور خورشیدی سهموی و انرژی مفید کلی ، افزایش پیدا می کند که در نهایت منجر به کارایی بهتر سیستم می شود. همین رویه را می توان در مورد بازده کلی اگزرژی نیروگاه گرمایی خورشیدی ، ملاحظه کرد [۱۳].

۳-۲-تجزیه و تحلیل اگزرژی

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2]

اگزرژی در واقع کار مفید و کاری است که می توان از سیستم دریافت کرد . هر چه بیشتر از سیستم کار دریافت شود ، اگزرژی افزایش می یابد و اگر نتوان از سیستم کار دریافت کرد ، اگزرژی کاهش می یابد. آنالیز اگزرژی بر اساس قانون دوم ترمودینامیک است که مشتمل بر محاسبهٔ کل روند اگزرژی ورودی و خروجی است [۱۴].

۳-۳-لولهٔ جاذب

صفحهٔ منعکس کنندهٔ سهموی به یک لولهٔ جاذب تجهیز شده است که این لوله در نقطهٔ مرکزی صفحه قرار داده شده است . در درون لولهٔ جاذب سیالی وجود دارد که تشعشعات خورشیدی به وسیلهٔ منعکس کنندهٔ سهموی به سمت لولهٔ گیرنده در خط کانونی بازتابنده قرار گرفته شده است . لولهٔ جاذب حد میانی بین تابش خورشیدی است و سیال مورد نظر با جذب انرژی خورشیدی سبب گرم شدن لولهٔ جاذب می شود ؛ آنگاه این گرما از سطح بیرونی به سطح داخلی لولهٔ جاذب منتقل می شود. لولهٔ جاذب توانایی جذب پرتو نوری را دارد. بقیهٔ ابعاد لولهٔ جاذب تاثیر بسزایی بر راندمان حرارتی و نوری سهموی دارد [۱۵].

۳-۴- مخزن ذخیره ساز انرژی حرارتی نمک مذاب

مخازن ذخیره سازی انرژی در نیروگاه های حرارتی خورشیدی مانند متمرکز کننده ها و کلکتور های سهموی خطی برای ذخیره انرژی کاربرد دارند. از دو مخزن ذخیره ساز انرژی با نمک مذاب یعنی مخزن سرد و مخزن گرم استفاده می‌شود. با پیشرفت روز افزون در حوزه مهندسی، می‌توان با استفاده از یک مخزن ذخیره ساز دارای عایق، نمک های سرد و گرم را از هم جدا کرد. در این سیستم نمک مذاب و با دما بالا همچنین برای انرژی خورشیدی ، زمین گرمایی و زیست توده قابل استفاده هستند .]۱۶[در این مقاله از یک مخزن ذخیره ساز حرارتی نمک مذاب، برای نگهداری و ذخیره نانوسیال اکسید آلومینیوم با آب مورد استفاده قرار گرفته شده است. با این امر، تجهیزات مرتبط با ساخت این بخش از نیروگاه، کمتر، ساده تر و نیز باعث صرفه جویی در هزینه می‌گردد [۱۷].

۴-نانو سیالات

در این پژوهش نتیجهٔ به کار بردن نانو سیال بر کارایی گرمایی کلکتور خطی سهموی (PTC) مطالعه شده است [۱۸]. بعضی از نانو سیالات شامل ذرات معلق آلومینیوم ، اکسید آلومینیوم ، مس ، نانو لوله های کربنی چند جداره با سیال پایهٔ آب ، ذرات گرافیت با سیالات پایهٔ ترمینول (روغن صنعتی) و پروپیلن گلیکول است. افزودن نانوذرات اثر ترموفیزیکی سیال مبنا و انتقال گرما بین سیال را افزایش می‌دهد . سیالات مبنا(پایه) در بیشتر اوقات شامل آب ، اتیلن گلیکول ، دی فنیل و دی فنیل اکسید، روغن های حرارتی صنعتی و نمک مذاب می باشند. از وجه مشترک این سیالات توانایی حرکت حرارتی پایینشان است که توانایی سیستم های انتقال گرما بهره گیری از آن ها محصور می شود ..از فواید مهم آن ها می توان هزینه در بازار رقابت ، مقاومت بالا در هنگام افزایش دما و مشکلات زیست محیطی محدود شوند مانند کاهش نسبی ویژگی‌های گرمایی و دانسیته ذخیره انرژی و خورندگی از معایب آنها به شمار می آید [۲]. از مضرات آن ها ، بالا بودن قیمت برای تهیه نانو ذرات و تولید نانوسیالات - بدلیل ازدیاد چگالی نانوسیالات در نتیجه دبی بالایی در مقایسه با آب دارند - با توجه به خوردگی و فرسایش اجزا فلزی و بلوک سیال ها جریان نانو ذرات بشود - سمی بودن نانو ذرات برای سلامت و حیات انسان و باید اقدامات احتیاطی اجرا بشود [۱۱]. با توجه به تمام مطالب استفاده از نانو سیالات نه تنها کارایی را بهبود می‌بخشد بلکه درجه گرمایی افزایش یافته است [۱۸].

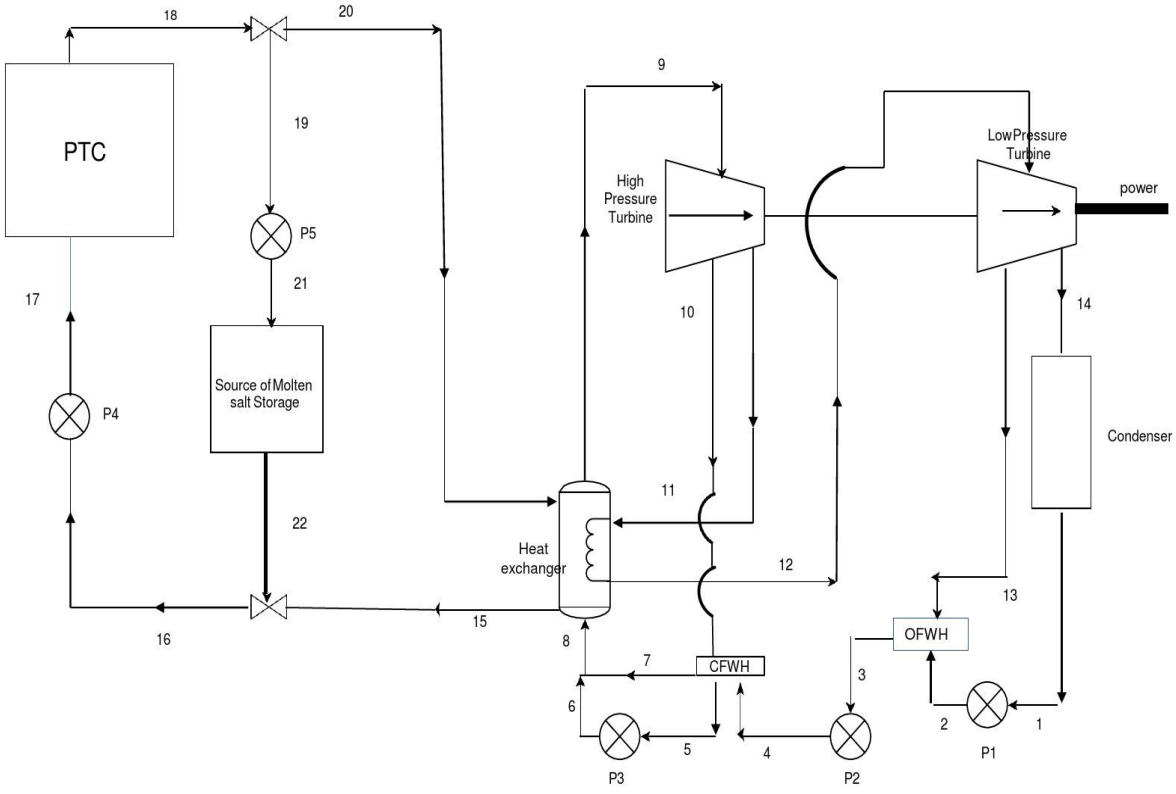
۵-نیروگاه حرارتی خورشیدی سهموی

کلکتورهای خورشیدی، تابش خورشید را به دریافت کننده خورشیدی انعکاس می‌دهند تا حرارت به نانوسیال اکسید آلومینیوم که به عنوان سیال عامل در قسمت مربوط به کلکتورهای خورشیدی سهموی خطی مورد استفاده قرار گرفته است، با آب موجود در لوله های نصب شده در مرکز کلکتورها منتقل شود. پس از افزایش دمای آن، قسمتی از نانوسیال توسط شیر نصب شده بعد از کلکتور های خورشیدی وارد پمپ ۵ می‌شود تا با فشار بیشتری نانوسیال را به مخزن ذخیره ساز انرژی با نمک مذاب انتقال دهد. بخش دیگری از نانوسیال، از شیر به طرف جریان ۲۰ حرکت می‌کند تا در این جریان وارد مبدل حرارتی شود.

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2]

سپس با جریان ۸ تبادل حرارتی صورت می‌گیرد و از جریان ۱۵ خارج می‌شود. از جریان ۹، سیال وارد توربین بخار با فشار بالا می‌شود و قسمتی از این بخار از جریان ۱۰ عبور می‌کند و به سمت آبگرمکن آب تغذیه بسته هدایت می‌شود تا گرمای لازم برای آبگرمکن تامین گردد. قسمت دیگر این بخار، از جریان توربین بخار فشار بالا خارج و در جریان ۱۱ وارد مبدل حرارتی برای گرمایش مجدد می‌شود. از مبدل حرارتی و جریان ۱۲ خارج می‌شود. از جریان ۱۲ به سمت توربین بخار فشار پایین می‌رود. بخشی از آن، برای تولید برق استفاده می شود. بخش دیگری از بخار در جریان ۱۳ وارد آبگرمکن آب تغذیه باز می‌شود تا گرمای مورد نیاز برای آبگرمکن از این طریق فراهم شود. قسمت دیگری از این بخار، در جریان ۱۴ وارد کندانسور می‌گردد. دمای آن کاهش می‌یابد و خنک می‌شود همچنین، به صورت مایع اشباع از کندانسور خارج و از جریان اول به سمت پمپ اول هدایت می‌شود. سپس، در جریان ۲ وارد آب گرمکن آب تغذیه باز میگردد. هر دو جریان ۲ و۱۳ در آبگرمکن باهم ترکیب می‌شوند. سپس، در جریان ۳ وارد پمپ دوم می‌شود. فشار سیال با عبور از پمپ افزایش یافته و به آب گرمکن آب تغذیه بسته هدایت می گردد. هر دو جریان ۴ و ۱۱ با هم مخلوط شده و در مرحله ۵ وارد پمپ ۳ می‌شود. پس از عبور از پمپ ۳، در جریان ۶ بالاترین فشار را دارد. در جریان ۷ با آب تغذیه ترکیب و در جریان ۸ به عنوان سیال فشار بالا وارد مبدل حرارتی می‌شود. سپس نانوسیال از جریان ۱۵ از شیر نصب شده عبور می‌کند تا وارد پمپ ۴ در جریان ۱۶ با فشار بیشتری نانوسیال وارد کلکتور های PTC شود [۲۰]. ولی بقیه ساعات روز که دیگر تابش خورشیدی وجود ندارد، هر دو شیب های نصب شده از سمت چپ برای ذخیره سازی انرژی در منبع، بسته می‌شود تا PTC از مدار خارج گردد و به مدت ۱۵ ساعت برق توسط این منبع ذخیره ساز تامین شود [۱۷].



شکل (۱): شماتیک نیروگاه حرارتی خورشیدی سهموی

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2]

۶-معادلات پژوهشی

به معادلات استفاده شده از این قرار است:

مفروضات: ۱- دمای محیط ۲۹۸ کلوین و فشار محیط ۱۰۰ کیلو پاسکال در نظر گرفته شده است. ۲- از انرژی پتانسیل و جنبشی صرف نظر گردیده است. ۳- از اگزرژی پتانسیل و جنبشی نیز صرف نظر شده است.

تحلیل انرژی و اگزرژی برای محاسبه مساحت گیرنده خورشیدی، از فرمول زیر استفاده می‌شود که در آن D_(r,o) قطر بیرونی گیرنده و L طول را نشان داده میشود:

$$A_r= \pi .D_(r,o) .L \quad (۱)$$

مساحت ناحیه پوشش شیشه ای نیز به این صورت محاسبه می شود:

$$A_c= \pi .D_(c,o) .L \quad (۲)$$

مساحت دیافراگم کلکتور به این گونه محاسبه می‌شود که در این معادله نماد W عرض دهانهٔ کلکتور را نشان می‌دهد:

$$A_ap=(W- D_(c,o)).L \quad (۳)$$

برای محاسبه عدد رینولدز از این معادله استفاده می‌شود که 〖D〗_(c,o) قطر بیرونی گیرنده، V سرعت، μ ویسکوزیته دینامیکی و ρ چگالی هوا می‌باشد:

$$R_e= (\rho . V . D_(c,o))/\mu \quad (۴)$$

عدد رینولدز بدست آمده در محاسبه معادله بالا ۱۳۲۲۶ است که می‌توان عدد ناسلت را در این معادله بدست آورد:

$$N_u = 0/3 . R_e^{0/6} \quad (۵)$$

ضریب همرفت حرارت توسط فرمول زیر محاسبه می‌شود :

$$h_{c,ca} = N_u . \frac{K_{air}}{D_{c,o}} \quad (۶)$$

برای ضریب انتقال حرارت تشعشع از پوشش شیشه ای بدین گونه محاسبه می‌شود:

$$h_{r,ca} = \varepsilon_c . \sigma . (T_c + T_o) . (T_c . T_c + T_o . T_o) \quad (۷)$$

و برای محاسبه ضریب انتقال حرارت از طریق شیشه به گیرنده از این طریق می‌توان بدست آورد :

$$h_{r,cr} = \frac{\sigma .(T_c+ T_{r,av}) .(T_c . T_c+ T_{r,av} . T_{r,av})}{\frac{1}{\varepsilon_r}+ \frac{A_r}{A_c} . [\frac{1}{\varepsilon_{ov}}-1]} \quad (۸)$$

ضریب تلفات کلکتور توسط معادله زیر حاصل می‌شود:

$$U_L = [\frac{A_r}{A_c . (h_{c,ca}+ h_{r,ca})} + \frac{1}{h_{r,cr}}]^{-1} \quad (۹)$$

ضریب حذف انتقال حرارت بدین صورت می توان نوشت :

$$F_r = \frac{\dot{m}_r . C_p}{A_r . U_L} [1 - \exp\left(\frac{A_r . U_L . F'}{\dot{m}_r . C_{p_r}}\right)] \quad (۱۰)$$

میزان انرژی مفید می‌توان با استفاده از این فرمول بدست آورد:

$$\dot{Q}_g = F_r . [S . A_{ap} - A_r . U_L . (T_{r,i} - T_o)] \quad (۱۱)$$

نرخ انتقال حرارت به وسیله این معادله محاسبه میگردد:

$$\dot{Q}_{prod} = \frac{\dot{Q}_g}{1000} \quad (۱۲)$$

نرخ حرارت خورشیدی بدین گونه محاسبه میگردد:

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2]

$$\dot{Q}_{solar} = \frac{F_r \cdot A_{ap} \cdot S}{1000} \quad (۱۳)$$

ضریب انتقال حرارت کل کلکتور با معادله زیر بدست می‌آید:

$$U_0 = [\frac{1}{U_L} + \frac{D_{r,o}}{h_{c,r,in} \cdot D_{r,i}} + \frac{D_{r,o}}{2K_r} \cdot \ln(\frac{D_{r,o}}{D_{r,i}})]^{-1} \quad (۱۴)$$

معین کردن غلظت حجمی نانو ذرات برای تهیه و بدست آوردن نانوسیال اکسید آلومینیوم آب از فرمول زیر مورد استفاده قرار می گیرد:

$$\eta_{en,PTC} = F_r \cdot [\eta_r - U_L \cdot (\frac{T_{r,i} - T_o}{G_b \cdot C})] \quad (۱۵)$$

میزان کارایی انرژی PTC به کمک معادله زیر بدست می‌آید:

$$\eta_{en,PTC} = F_r \cdot [\eta_r - U_L \cdot (\frac{T_{r,i} - T_o}{G_b \cdot C})] \quad (۱۶)$$

مقدار دمای میانگین را می‌توان به صورت معادله زیر نوشت:

$$T_{ave} = \frac{(T_{in} + T_{out})}{2} \quad (۱۷)$$

با کمک این معادله اگزرژی حرارتی کلکتور خورشیدی حاصل می شود :

$$\dot{Q}_{prod}\, \dot{Ex}_{col} = \left(1 - \frac{T_o}{T_{ave}}\right) \quad (۱۸)$$

همچنین اگزرژی خورشیدی نیز از این طریق محاسبه می شود :

$$\dot{Ex}_{solar} = \left(1 - \frac{T_o}{T_{sun}}\right) \cdot \dot{Q}_{solar} \quad (۱۹)$$

معادله کارایی اگزرژی PTC به شرح زیر است:

$$\eta_{ex,PTC} = \frac{\dot{Ex}_{col}}{\dot{Ex}_{solar}} \quad (۲۰)$$

تحلیل انرژی و اگزرژی سیکل رانکین کارایی توربین های کم فشار و پر فشار در نقاط ۹ و۱۰ محاسبه می‌شود:

$$\eta_{hpt} = \frac{h_9 - h_{10}}{h_9 - h_{s,10}} \quad (۲۱)$$

$$\eta_{lpt} = \frac{h_{12} - h_{13}}{h_{12} - h_{s,13}} \quad (۲۲)$$

کار ورودی پمپ اول از تفاضلP_OFWH فشار آب گرمکن آب تغذیه باز و P_cond فشار کندانسور بدست می‌آید:

$$w_{p1} = V_1[\frac{P_{OFWH} - P_{cond}}{\eta_P}] \quad (۲۳)$$

$$\dot{W}_{p1} = \dot{m}_1 \cdot w_{p1} \quad (۲۴)$$

توان خالص برای سیستم به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{W}_{net} = \dot{W}_{T,out,high} + \dot{W}_{T,out,storage} - (\dot{W}_{p1} + \dot{W}_{p2} + \dot{W}_{p3} + \dot{W}_{p4} + \dot{W}_{p5}) \quad (۲۵)$$

کارایی انرژی و اگزرژی مخزن ذخیره ساز انرژی به شکل زیر بدست می‌آید:

$$\eta_{en} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{in,solar}} \quad (۲۶)$$

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{in,solar}(1 - \frac{T_o}{T_{sun}})} \quad (۲۷)$$

اگزرژی سیکل بخار و اگزرژی کلی سیستم یکپارچه به شرح زیر است:

$$\eta_{ex.st} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Ex}_{th,boil}} \quad (۲۸)$$

$$\eta_{ex,ov} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Ex}_{solar}} \quad (۲۹)$$

معادله اگزرژی و نرخ عمومی اگزرژی توسط معادلات زیر بدست می‌آیند:

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2]

$$Ex = (h - h_0) - T_o(s - s_0) \quad (۳۰)$$

$$\dot{X}_{in} - \dot{X}_{out} - \dot{X}_D = \frac{dx_{sys}}{dt} \quad (۳۱)$$

اگزرژی حرارتی بویلر و کندانسور بدین صورت محاسبه می‌شود:

$$\dot{E}x_{th,boil} = \left[1 - \frac{T_o}{T_{boil}}\right] . \dot{Q}_{boil} \quad (۳۲)$$

$$\dot{E}x_{th,cond} = \left[1 - \frac{T_o}{T_{cond}}\right] . \dot{Q}_{cond} \quad (۳۳)$$

میزان نرخ حرارت کندانسور توسط معادلهٔ زیر محاسبه می شود :

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_{14} . (h_{14} - h_1) \quad (۳۴)$$

معادلات انرژی و اگزرژی مربوط به مخزن ذخیره ساز انرژی به صورت زیر محاسبه می شود :

$$\dot{E}x_{21} = \dot{E}x_{22} + \dot{E}x_{D,storage} + \dot{Q}_{loss,storage}\left(1 - \frac{T_o}{\frac{T_{22}+T_o}{2}}\right) \quad (۳۵)$$

$$\dot{m}_{21}h_{21} = \dot{m}_{22}h_{22} + \dot{Q}_{loss,storage} \quad (۳۶)$$

جدول (۱): اطلاعات مربوط به شماتیک

خاصیت	نماد	مقدار	واحد
طول کلکتور	L	۲۴	m
عرض دهانه کلکتور	W	۳,۴	m
قطر بیرونی گیرنده	$D_{r,o}$	۱,۳	m
قطر پوشش بیرونی	$D_{c,o}$	۱/۴	m
مساحت گیرنده خورشیدی	A_r	۹۸,۰۲	m^2
مساحت پوشش شیشه ای	A_c	۱۰۵/۶	m^2
مساحت دیافگرام	A_{ap}	۴۸	m^2
دمای محیط	T_o	۲۹۸	K
دمای خورشید	T_{sun}	۶۰۰۰[۲۰]	K
فشار محیط	P_o	۱۰۰	kPa
نسبت غلظت	C	۱۰,۵	-
شدت تابش خورشیدی	G_b	۱۰۰۰	W/m^2
ضریب هدایت حرارتی هوا	K_{air}	۰,۰۲۷۶[۲۱]	W/(mK)

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2]

جدول (۲): خواص ترمودینامیکی سیکل رنکین در نیروگاه

مواد	$\rho(kg/m^3)$	$C_p(J/kgK)$
اکسید آلومینیوم	۳۸۹۰	۷۸۸/۲
آب	۹۹۷	۴۱۷۵
نانو سیال آلومینیوم اکسید	۱۰۷۰	۳۸۱۵

جدول (۳): خواص ترموفیزیکی نانوسیال اکسید آلومینیوم و آب[۲۲]

جریان	شرح جریان	s (kJ/kg. K)	h(kJ/kg)	T(K)	P(kPa)	$\dot{m}$(kg/s)
۱	مایع اشباع خروجی کندانسور	۰/۵۳۰۱۸	۱۵۴/۳۸	۳۱۰	۷	۱
۲	مایع اشباع ورودی به آبگرمکن آب تغذیه باز	۰/۵۳۰۱۴	۱۵۴/۴۸	۳۱۰	۱۲۰	۱
۳	مخلوط بخار فشار پایین و مایع اشباع ناشی از آبگرمکن آب تغذیه باز	۱/۲۸۸۳	۴۱۲/۱۶	۳۷۱/۵	۱۲۰	۱
۴	مایع اشباع خروجی از پمپ ۲	۱/۳۲۳۵	۴۳۱/۰۱	۳۷۵	۵۶۰۰	۱
۵	مخلوط بخار فشار بالا و مایع اشباع ناشی از آبگرمکن اب تغذیه بسته	۲/۶۰۸۶	۹۸۹/۵۲	۵۰۳	۲۸۸۰	۰/۴۷
۶	مایع اشباع خروجی پمپ ۳	۲/۶۱۲۴	۹۹۴/۷۲	۵۰۴	۵۶۰۰	۰/۴۷
۷	مایع ورودی به مبدل حرارتی	۲/۶۰۳۱	۹۹۰/۰۶	۵۰۳	۵۶۰۰	۰/۴۷
۸	مایع ورودی به مبدل حرارتی	۲/۶۰۵۹	۹۹۱/۴۶	۵۰۳/۳	۵۶۰۰	۱
۹	بخار مایع خروجی از مبدل حرارتی	۶/۳۲۹۵	۳۰۲۲/۸	۶۱۲	۵۶۰۰	۰/۲۳
۱۰	بخار مایع حاصل از توربین فشار بالا	۶/۳۲۸	۲۸۶۸/۱	۵۲۵	۲۸۸۰	۰/۱۲
۱۱	بخار مایع ورودی به مبدل حرارتی	۶/۷۱۹۷	۲۷۸۶/۹	۴۵۰	۷۷۰	۰/۳۲
۱۲	گرمایش مجدد حاصل از مبدل حرارتی	۷/۴۳۵۱	۳۱۶۶/۶	۶۲۵	۷۷۰	۰/۰۴
۱۳	بخار مایع خروجی از توربین بخار فشار پایین	۷/۴۴۹۶	۲۷۴۲/۷	۴۰۷	۱۲۰	۱/۴۵
۱۴	بخار وارد شده به کندانسور	۰/۵۳۰۱۸	۱۵۴/۳۸	۳۱۰	۷	۱

جدول ۴ . نسبت اگزرژی محصول به اگزرژی سوخت ، نرخ تخریب اگزرژی ، رابطهٔ اگزرژی ، رابطهٔ انرژی

حجم کنترل	رابطهٔ انرژی	رابطهٔ اگزرژی	y_D	ε
پمپ ۱	$\dot{W}_{p_1} + \dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2$	$\dot{W}_{p_1} + \dot{E}x_1 = \dot{E}x_2 + \dot{E}x_{D,p_1}$	$\frac{\dot{E}x_{D,p1}}{\dot{E}x_{F_{tot}}}$	$\frac{\dot{E}x_2 - \dot{E}x_1}{\dot{W}_{p1}}$
پمپ ۲	$\dot{W}_{p_2} + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_4 h_4$	$\dot{W}_{p_2} + \dot{E}x_3 = \dot{E}x_4 + \dot{E}x_{D.p_1}$	$\frac{\dot{E}x_{D.p2}}{\dot{E}x_{F_{tot}}}$	$\frac{\dot{E}x_4 - \dot{E}x_3}{\dot{W}_{p2}}$
پمپ ۳	$\dot{W}_{p_3} + \dot{m}_5 h_5 = \dot{m}_6 h_6$	$\dot{W}_{p_3} + \dot{E}x_5 = \dot{E}x_6 + \dot{E}x_{D,p_3}$	$\frac{\dot{E}x_{D,p3}}{\dot{E}x_{F_{tot}}}$	$\frac{\dot{E}x_6 - \dot{E}x_5}{\dot{W}_{p3}}$
پمپ ۴	$\dot{W}_{p_4} + \dot{m}_{16} h_{16} = \dot{m}_{17} h_{17}$	$\dot{W}_{p_4} + \dot{E}x_{16} = \dot{E}x_{17} + \dot{E}x_{D,p_4}$	$\frac{\dot{E}x_{D,p4}}{\dot{E}x_{F_{tot}}}$	$\frac{\dot{E}x_{17} - \dot{E}x_{16}}{\dot{W}_{p4}}$
پمپ ۵	$\dot{W}_{p_5} + \dot{m}_{19} h_{19} = \dot{m}_{21} h_{21}$	$\dot{W}_{p_5} + \dot{E}x_{19} = \dot{W}x_{21} + \dot{E}x_{D.p_5}$	$\frac{\dot{E}x_{D.p5}}{\dot{E}x_{F_{tot}}}$	$\frac{\dot{E}x_{21} - \dot{E}x_{19}}{\dot{W}_{p5}}$
توربین فشار بالا	$\dot{W}_{Tur,out,high} = \dot{m}_{10}.(h_9 - h_{10}) + \dot{m}_{11}.(h_9 - h_{11})$	$\dot{E}x_9 = \dot{E}x_{10} + \dot{E}x_{11} + \dot{E}x_{D.hpt}$	$\frac{\dot{E}x_{D_{T,high}}}{\dot{E}x_{F_{tot}}}$	$\frac{\dot{W}_{Tur,high}}{\dot{E}x_9 - \dot{E}x_{10} - \dot{E}x_{11}}$
توربین فشار پایین	$\dot{W}_{Tur,out,low} = \dot{m}_{13}.(h_{12} - h_{13}) + \dot{m}_{14}.(h_{12} - h_{14})$	$\dot{E}x_{12} = \dot{E}x_{13} + \dot{E}x_{14} + \dot{E}x_{D.lpt}$	$\frac{\dot{E}x_{D_{T,low}}}{\dot{E}x_{F_{tot}}}$	$\frac{\dot{W}_{Tur,low}}{\dot{E}x_{12} - \dot{E}x_{13} - \dot{E}x_{14}}$

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2]

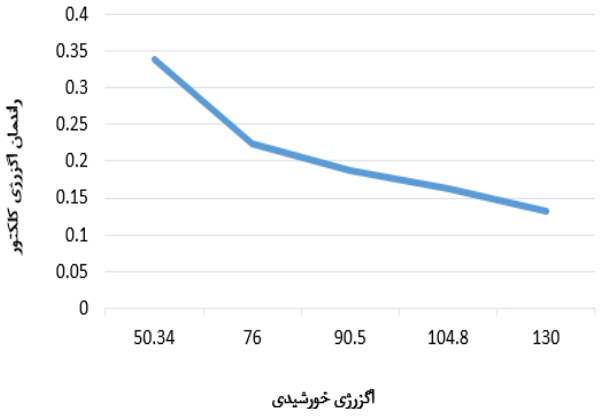
مبدل حرارتی	$\dot{Q}_{boil} = \dot{m}_9.(h_9 - h_8) + \dot{m}_{11}.(h_{12} - h_{11})$	$\dot{E}x_8 + \dot{E}x_{11} + \dot{E}x_{th,boil} = \dot{E}x_9 + \dot{E}x_{12} + \dot{E}x_{D,boil}$	$\frac{\dot{E}x_{D_{boil}}}{\dot{E}x_{F.tot}}$	$\frac{(\dot{E}x_9 - \dot{E}x_8) + (\dot{E}x_{12} - \dot{E}x_{11})}{\dot{E}x_{20} - \dot{E}x_{15}}$
آبگرمکن آب تغذیهٔ باز	$\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_{13} h_{13}$	$\dot{E}x_3 + \dot{E}x_{D_{OFWH}} = \dot{E}x_2 + \dot{E}x_{13}$	$\frac{\dot{E}x_{D_{OFWH}}}{\dot{E}x_{F.tot}}$	$\frac{\dot{E}x_3}{\dot{E}x_2 + \dot{E}x_{13}}$
آبگرمکن آب تغذیهٔ بسته	$\dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_7 h_7 = \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_{10} h_{10}$	$\dot{E}x_5 + \dot{E}x_7 + \dot{E}x_{D_{CFWH}} = \dot{E}x_4 + \dot{E}x_{10}$	$\frac{\dot{E}x_{D_{CFWH}}}{\dot{E}x_{F,tot}}$	$\frac{\dot{E}x_5 - \dot{E}x_7}{\dot{E}x_4 + \dot{E}x_{10}}$

۸ – نتایج

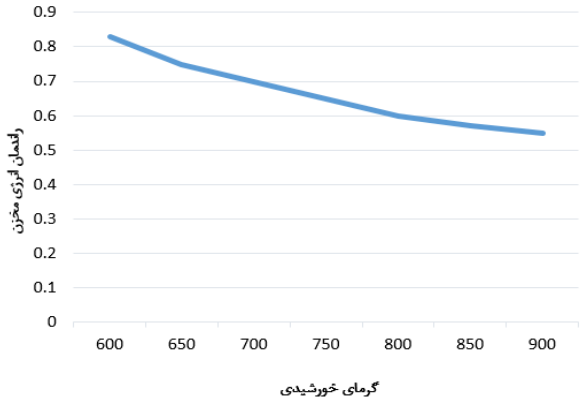
برای تحلیل میزان تغییر راندمان های انرژی و اگزرژی در نمودار های زیر آورده شده است.

در نمودار شکل ۲، با افزایش میزان نرخ اگزرژی خورشیدی، راندمان اگزرژی نیروگاه خورشیدی سهموی خطی کاهش می یابد.

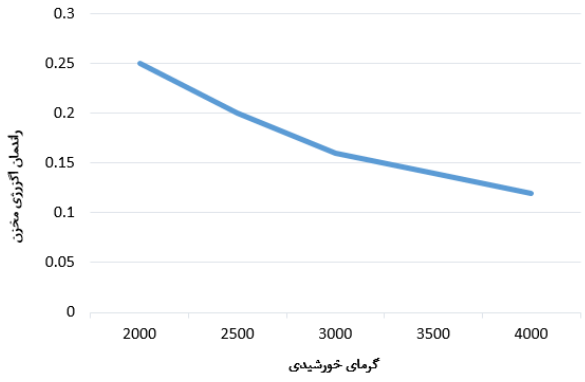
در نمودار شکل ۳، هر چه قدر میزان گرمای خورشیدی مخزن ذخیره ساز انرژی با نمک مذاب بیشتر شود، راندمان انرژی این مخزن کاهش می‌یابد. در نمودار شکل ۴، راندمان اگزرژی نیز، مانند راندمان انرژی مخزن ذخیره ساز انرژی با افزایش میزان حرارت خورشیدی، کاهش می‌یابد.



شکل (۲): راندمان اگزرژی کلکتور نسبت به اگزرژی خورشیدی



شکل (۳): راندمان انرژی مخزن نسبت به گرمای خورشیدی



شکل (۳): راندمان اگزرژی مخزن نسبت به گرمای خورشیدی

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2]

۹- تحلیل اقتصادی

نتایج بدست آمده حاصل از تحلیل، به صورت تقریبی است. یکی از پارامتر های مورد نظر در هزینه، پارامتر هزینه ثابت (FC) است. هزینه ثابت به هزینه ای گفته می شود که تجهیزات مربوطه و نصب آن ها را شامل می شود. که در جدول زیر میانگین قیمت آن ها آورده شده است.

جدول ۵- میانگین قیمت تجهیزات بین المللی[۲۳]

تجهیزات	قیمت (دلار)	جزئیات سایر تجهیزات (%)(PEC)	هزینه (دلار)
توربین	۲۵۰۸۳	نصب تجهیزات (۴٪)	**۳۷۶۲۹,۲**
کندانسور	۷۷۹۳۳	تجهیزات الکتریکی و کنترلی (۵٪)	**۴۷۰۳۷,۲**
پمپ	۴۴۱۳۰	SU (1%)	**۹۴۰۸**
هزینه کل خرید تجهیزات	۱۴۷۱۴۶	هزینه کل	**۹۴۰۷۴,۴**

نوع دیگری از هزینه ها، هزینه های مربوط به عملیات و نگهداری نیروگاه حرارتی $(O\ \&\ M)_{ORC}$ است که هزینه هایی مانند نیروی کار، تعمیرات قطعات آسیب دیده، قطعات یدکی و غیره را شامل می شود. در جدول زیر هزینه های $(O\ \&\ M)_{ORC}$ آورده شده است.

جدول ۶- هزینه های عملیات و نگهداری نیروگاه حرارتی[۲۳]

تجهیزات	درصد هزینه تجهیزات	هزینه (O & M)
مبدل حرارتی	۴	**۴۱۲۰,۷**
پمپ و توربین	۲	**۱۳۶۸۹,۴**
مجموع $(O\ \&\ M)_{ORC}$	۶	**۱۷۸۱۰,۱(دلار)**

یکی دیگر از هزینه های مربوط به نیروگاه، هزینه های کلکتورهای خورشیدی است. هزینه اولیه کلکتور های خورشیدی سهموی خطی تقریبا بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ دلار در متر مربع تخمین زده می شود. [۲۳]

۱۰- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی عددی تاثیر نانوسیال اکسید آلومینیوم _ آب به عنوان سیال عامل بر کارایی نیروگاه حرارتی خورشیدی سهموی خطی پرداخته شده است . افزودن مقدار اندکی از نانو ذرات آلومینیوم در سیال مبنا(پایه) آب ، نتایج این تحقیق نشان دهنده :

۱) میزان انرژی و اگزرژی نیروگاه در این تحقیق به ترتیب ۵۹,۷۲ و ۱۶,۲۷ حاصل شده است.

۲) بر خاصیت جذب تأثیر می‌گذارد و سبب افزایش راندمان های حرارتی و دماهای خروجی می شود.

۳) عملکرد سیستم خورشیدی با افزودن نانو ذرات بیش از مقدار بهینه افزایش نمی یابد.

۴) با ازدیاد تمرکز کلکتور ، میانگین دمای نهایی افزایش می یابد.

۵) با ازدیاد در نسبت حجمی نانو ذرات، ظرفیت گرمایی ویژه نانو سیالات کاهش می یابد .

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2]

۶) با ازدیاد مسافت لوله جاذب ، سبب کاهش بازده حرارتی و افزایش دمای میانگین خروجی می‌شود.

۷) با ازدیاد سرعت جریان ، دمای میانگین خروجی کاهش و بازده حرارتی افزایش می یابد.

در این تحقیق، از نانوذرات اکسید آلومینیوم- آب به منظور سیال مبنا به کار رفته است، که در نانوسیالات به دلیل اندازه نانو در درون سیال معایبی از جمله رسوب انسداد لوله ها و کاهش اصطکاک وجود خواهد داشت. از فواید نانوسیالات، افزایش ضریب هدایتی حرارتی و همچنین ضریب جا به جایی انتقال حرارت بدون افزایش قابل توجه در افت فشار می باشد.

در زمینه استفاده از نانوسیالات وجود مطالعات و تحقیقات بیشتر در مورد آنها در راستای کمک به تجاری سازی و گسترش استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در جامعه ضروری می باشد و در آیند نیاز به کار جامع در مورد این موضوع وجود دارد

فهرست علائم

علائم انگلیسی

مساحت دیافگرام	A_{ap}	اتلاف اگرزژی	$\dot{Ex}_D$
مساحت پوشش شیشه ای	A_c	اتلاف اگزرژی حرارتی	$\dot{Ex}_{th}$
مساحت گیرنده خورشیدی	A_r	فاکتور راندمان کلکتور	F'
نسبت غلظت	C	ضریب دفع حرارت	F_r
ظرفیت گرمایی نانو سیال	C_p	شدت تابش خورشیدی	G_b
قطر پوشش بیرونی	$D_{c,o}$	آنتالپی	h
قطر پوشش گیرنده	$D_{r,o}$	فشار بالا	h_{pt}
اگزرژی	$\dot{Ex}$	ضریب هدایت حرارتی هوا	K_{air}
طول کلکتور	L		
فشار پایین	L_{pt}		
دبی جرمی	$\dot{m}$		
فشار محیط	P_0		
اتلاف گرمایی مخزن ذخیره ساز	$\dot{Q}_{loss,storage}$		
گرمای ورودی	q_{in}		
گرمای خروجی	q_{out}		
آنتروپی	S		
دمای ورودی	T_{in}		
دمای محیط	T_0		
دمای خروجی	T_{out}		
دمای خورشید	T_{sun}		
سرعت باد	V		
عرض دهانه کلکتور	W		
وزن نانو ذرات	w_p		

حروف یونانی

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2]

راندمان	η
ویسکوزیته	μ
چگالی سیال پایه	ρ_f
چگالی نانو ذرات	ρ_p
ثابت بولتزمن	σ
غلظت حجمی نانو ذرات	φ

مراجع

۱- تهرانی، محمد امین مظاهری و وزیری راد، محمد امین، (۱۴۰۰). مروری بر مطالعات اقتصادی (مبتنی بر هزینه انرژی) سامانه های فوتوولتاییک حرارتی، نشریه حفاظت آب، خاک و هوا، دوره دوم، شماره دوم، ص ۱۰۵-۱۱۷

۲- بهنام، سعید، (۱۳۹۵)، کاربرد های فناوری نو در افزایش کارایی سیستم های حرارتی خورشیدی، چهارمین کنفرانس تخصصی فناوری نانو در صنعت برق و انرژی.

۳- قاسمی، سید ابراهیم و همکاران، (۱۳۹۲)، بررسی عددی اثر نانوسیال آلومینیوم - آب بر عملکرد کلکتور خورشیدی سهموی، سال پنجم، شماره۱۴، صفحه ۱۰۰ تا ۱۰۷

۴- مباشری زاده، سعید و قضاوتی، حمیدرضا، (۱۳۹۵)، مطالعه آزمایشگاهی پارامترهای موثر بر ضریب کلی انتقال حرارت (U) نانوسیال اکسید آلومینیوم- آب، هشتمین همایش پژوهش های نوین در علوم و فناوری

5.Arani, Ali Akbar Abbasian,and,Monfaredi,Farhad, (2020),Energy and exergy analyses of nanofuid- flled parabolic trough solar collector with acentric absorber tube and insulator roof, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry

6.Ehyaei, M.A. et al.(2019), Energy, exergy and economic analyses for the selection of working fluid and metal oxide nanofluids in a parabolic trough collector, Solar Energy,187, pp. 175-184.

7.Ardeh,Asli,E.Askari, etal.(2019),Exergy and Economic Assessments of Solar Organic Rankine Cycle System with Linear V-Shape Cavity,Energy Conversion and Management, 199. 11997. ISSN 0196-8904

8.Al-Oran,Otabeh, and. et al.(2020),Exergy and energy amelioration for parabolic trough collector using mono and hybrid nanofuids, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 140:1579–1596

9.Askari Ardeh.Asli.(2020).Effects of size and volume fraction of alumina nanoparticles on the performance of a solar organic Rankine cycle.School of Mechanical Engineering, National Technical University of Athens

10.Chowdhury.Tareq(2021) and Exergy PerformanceComparative Analysis of aSolar-Driven Organic RankineCycle Using Different Organic Fluids.College of Engineering,King Fahd University of Petroleum and Minerals (KFUPM),P. O. Box 279, Dhahran 31261, Saudi Arabia

11.Akhtar, F. et al.(2021), Experimental Investigation of Solar Compound Parabolic Collector Using Al2O3/H2O Nanofluid in a Subtropical Climate, THERMAL SCIENCE: Vol. 25, No. 5A, pp. 3453-3456

۱۲- خسروی، محمد و سده ئی، سید محمدرضا، (۱۳۹۷)، بهینه سازی سیال، جنس و پوشش لوله انتقال در نیروگاه سهموی خطی، سال پنجم، شماره دوم، صفحه ۶۷ تا ۷۷

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2]

13.Muhammad, Abid, et al. (2018), Comparative Energy, Exergy, and Environmental Analyses of Parabolic Trough Solar Thermal Power Plant Using Nanofluids, Springer International Publishing AG, part of Springer Nature

14.Agrawal, Sanjay, and Tiwari, G.N, (2011), Energy and exergy analysis of hybrid micro-channel photovoltaic thermal module, Solar Energy 85, pp.356–370.

15.Joseph, Albin, et al. (2020), Energy and exergy analysis of SiO2/Ag-CuO plasmonic nanofluid on direct absorption parabolic solar collector, Renewable Energy, 162, pp.1655-164.

16.AlShafi, Manal, and Bicer, Yusuf, (2021), Thermodynamic performance comparison of various energy storage systems from source-to-electricity for renewable energy resources, Energy 219:119626

17.Ushak.S. et. al. (2015), Using molten salts and other liquid sensible storage media in thermal energy storage (TES) systems , Advances in Thermal Energy Storage Systems

18.Soledad Bretado de los Rios, Mariana, (2018) , Thermal Performance of a Parabolic Trough Linear Collector Using Al2O3/H2O Nanofluids, Renewable Energy

19.Reddy, Siva, E. et al. (2015), Experimental Study on Thermal Efficiency of Parabolic Trough Collector (PTC) Using Al2O3/H2O Nanofluid, Applied Mechanics and Materials 1662-7482, Vol. 787, pp 192-196.

20.Abid.M. et al. (2015) Performance assessment of parabolic dish and parabolic trough solar thermal power plant using, International Journal of Energy Research Int. J. Energy Res. nanofluids and molten salts 40. pp. 550–563.

21.Huang, Qi. et al. (2020), Concentrated Solar Powered Novel Multi-Generation System: A Energy, Exergy, and Environmental Analysis, Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 142 / 051005-1.

22.Abid, Mohammad,(2016), Energy and Exergy Analysis of Nanofluid Based Solar Assisted Power Generation and Absorption Cooling Systems, Eastern Mediterranean University, Gazimağusa, North Cyprus

23.Gomaa. Mohamed R. et.al. (2020),A low-grade heat Organic Rankine Cycle driven by hybrid solar collectors and a waste heat recovery system

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2]

چکیده انگلیسی:

Energy and Exergy Analysis of Linear Parabolic Solar Thermal Power Plant Using Aluminium Oxide Nanofluid

Yeganeh Sadat Tahami[1], Parisa Jafari[1], Matineh Naseri Fijani[1], Ashkan Abdalisosan[1,2*]

[1]Department of Industry and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
[2]Department of Technical and Engineering, Astara Branch, Islamic Azad University, Astara, Iran.

Received: May 2022 Accepted: September 2022

Abstract

One of the most important issuses facing human beings today is the use of fossil fuels. To solve this problem and be concerned about the energy crisis caused by the lack of these resources, renewable energy can be replaced. One of the most important sources of clean energy is solar energy, which can be used in solar thermal power plants. In this study, aluminum oxide nanofluid with water has been used in the linear parabolic solar thermal combined heat and power plant with Rankin cycle and the energy and exergy efficiency of this power plant has been used by the nanofluid and the storage tank has been investigated. The plant also has an energy storage tank with molten salt to provide the amount of energy needed overnight in the absence of solarnight. Energy analysis and exergy equations of this power plant were performed using EES software. The results of this analysis demonstrate that the exergy efficiency of the solar system is 16/27% and the energy efficiency is 59/72%.

Key words: Water-Aluminum oxide nanofluid, Linear parabolic collector, Molten salt heat tank, Absorber Tube, Exergy analysis

*corresponding author: a.abdali@srbiau.ac.ir

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

[DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2]

Cite this article as: Yeganeh Sadat Tahami, Parisa Jafari, Matineh Naseri Fijani, Ashkan Abdalisosan, Energy and Exergy Analysis of Linear Parabolic Solar Thermal Power Plant Using Aluminium Oxide Nanofluid. Journal of Energy Conversion, 2023, 9(5), 53-67. DOR: 20.1001.1.20089813.1401.9.5.3.2