

مدلسازی و تحلیل انرژی پمپ حرارتی جذبی یک اثره و دو اثره لیتیم برماید و آب

سپهر صنایع^۱، محسن آریانا^۲، عباسعلی فرداد^۳

آزمایشگاه بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی، دانشکده مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

^۱دانشیار، دانشگاه علم و صنعت ایران؛ sepehr@iust.ac.ir

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران؛ m_ariana@mecheng.iust.ac.ir

^۳استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران؛ fardad@iust.ac.ir

چکیده

در این تحقیق به بررسی ترمودینامیکی و انرژی پمپ حرارتی جذبی یک اثره و دو اثره لیتیم برماید و آب می‌پردازیم. در ابتدا با کمک روابطی که مبنای آنها قانون اول ترمودینامیک می‌باشد به محاسبه خصوصیات ترمودینامیکی سیال در نقاط مختلف سیکل‌های یک اثره و دو اثره جذبی پرداخته شده است. در این بین کمیت‌های مهمی نظیر ضریب عملکرد سیکل جذبی محاسبه شده و حساسیت این کمیت با سایر پارامترهای کارکردی و طراحی سیکل سنجیده شده است. در ادامه با بهره‌گیری از قانون دوم ترمودینامیک و محاسبه جریان انرژی در هر یک از نقاط سیکل و سپس تعریف انرژی سوخت-محصول-اتلافی^۱ برای هر یک از اجزای سیکل پرداخته و در نهایت انرژی تخریبی برای هر یک از اجزای سیکل‌های یک اثره و دو اثره محاسبه شده است. در این بین ایزوثرم، ژنراتور، اواپراتور و مبدل دما بالا بیشترین میزان تخریب انرژی را در بین کلیه اجزای سیکل دارا هستند.

کلمات کلیدی: انرژی، پمپ حرارتی جذبی، لیتیم برماید و آب،

مقدمه

سیستم‌های سرمایش و گرمایش جذبی به شکلی روزافزون مورد توجه قرار می‌گیرند. این سیستم‌ها دارای مزایایی می‌باشند که استفاده از آنها را در مواردی معین بسیار سودمند می‌کند. اولین مزیت این گونه از سیستم‌ها قابلیت این سیستم‌ها در استفاده از منابع حرارتی با دمای کم، نظیر منابع خورشیدی، ژئوترمال و بازمانده‌های حرارتی ناشی از تولیدات دیگر می‌باشد. در مقابل، میزان استفاده این سیستم‌ها از انرژی‌های سطوح بالا^۲ مانند الکتريسته بسیار محدود و ناچیز می‌باشد؛ این پدیده به خصوص در کشورهای نظیر ایران که از کمبود منابع تولید انرژی الکتریکی و نیز در کشورهای که سوخت فسیلی دارای بهای بالا می‌باشد بسیار مقرون به صرفه و اقتصادی است [۱،۲]. با این وجود مهمترین ویژگی این دسته از سیستم‌های گرمایش-سرمایش رفتار دوستانه و عاری از خطر این سیستم‌ها با محیط زیست می‌باشد. این سیستم‌ها موافق با پروتوکل "پتانسیل صفر برای تخریب لایه‌ی اوزون"^۳ موسوم به پروتوکل مونترئال و نیز پروتوکل "پتانسیل صفر برای گرمایش

جهانی"^۴ موسوم به پروتوکل کیوتو می‌باشند؛ مبردهای به کار رفته در این سیستم‌ها حاوی هیچ یک از ترکیبات مضر برای محیط زیست و لایه‌ی اوزون نظیر CFCها و HCFCها نمی‌باشد. با توجه به نیاز روز افزون به کاهش آلاینده‌های سوختی که بخشی از آنها ناشی از گرمایش توسط سوخت‌های فسیلی می‌باشد، استفاده از این سیستم‌ها را می‌توان در حیطه‌ی حفاظت از محیط زیست قلمداد کرد. [۳]

همانگونه که ذکر شد از مزیت‌های این سیستم‌ها امکان به کار گرفتن آنها به کمک منابع دما پایین انرژی و منابع هدر رفته حرارتی که از تولید محصولات اصلی باقیمانده می‌باشد. لذا استفاده از سیستم‌های به صورت ترکیبی در دیگر پلنت‌های صنعتی برای سرمایش و گرمایش اقتصادی می‌باشد.

تا کنون تلاش‌های بسیاری در جهت تحلیل و بهینه‌سازی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی جذبی صورت پذیرفته که عمده‌ی این تلاش‌ها بر اساس قوانین اول و دوم ترمودینامیک صورت پذیرفته است. با این وجود تحلیل‌هایی که بر محور قانون دوم ترمودینامیک صورت پذیرفته است محدود به سیستم‌های بسیار ساده سرمایشی و گرمایشی بوده است. علاوه بر این توجه بسیار کمتری در جهت تحلیل و بهینه‌سازی پمپ‌های حرارتی نسبت به سیستم‌های سرمایشی صورت پذیرفته است. [۴، ۵، ۶]

در این تحقیق به بررسی ترمودینامیکی پمپ‌های حرارتی جذبی لیتیم برماید و آب پرداخته شده است.

این تحقیق به بررسی سیستم پمپ حرارتی جذبی یک اثره و دو اثره لیتیم برماید و آب پرداخته شده است. بررسی انجام شده با کمک قوانین اول و دوم ترمودینامیک صورت پذیرفته است. قانون اول ترمودینامیک به توصیف قانون بقای جرم، قانون بقای انرژی و قانون بقای انرژی می‌پردازد. در مقابل قانون دوم ترمودینامیک به مقوله انرژی از نقطه نظر کیفی پرداخته و میزان قابل استفاده بودن آن را ملاک قرار می‌دهد.

تحلیل قانون اول ترمودینامیک شامل محاسبه‌ی حالت و خواص ترمودینامیکی سیال جاری در سیکل و نیز محاسبه جریان جرم و انرژی به داخل و یا خارج از اجزای سیکل می‌باشد. در سوی دیگر قانون دوم ترمودینامیک با اعمال مفهوم انرژی به یک سیستم، قابلیت کاردهی این سیستم را نسبت به محیط مورد بررسی قرار می‌دهد. [۷، ۸]

^۱ Fuel-product-loss

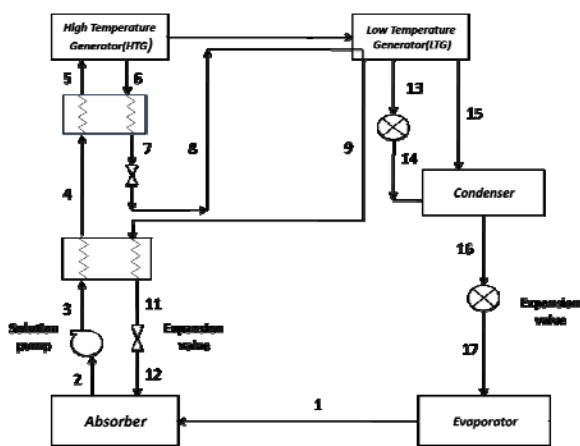
^۲ High level energy sources

^۳ Montreal 'zero ozone layer depletion potential' Protocol

^۴ Kyoto 'zero global warming potential' Protocol

می‌شد. بالاترین فشار فشاری است که ژنراتورها در آن فشار کار می‌کنند. فشار میانی فشاری است فشاری که کندانسور در آن کار می‌کند و در قسمت فشار پایین سیکل ایزوربر و اواپراتور کار می‌کنند.

شمایی از سیکل پمپ حرارتی جذبی دو اثره لیتیم برماید و آب در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: سیکل پمپ حرارتی جذبی دو اثره لیتیم برماید و آب

فرضیات

- برای تحلیل سیکل مورد نظر تعداد زیادی از فرضیات به صورت زیر در نظر گرفته شده است.
- دمای ایزوربر، ژنراتور، اواپراتور و کندانسور ثابت و یکنواخت می‌باشد.
- فشار، دما و غلظت محلولهای رقیق و غلیظ که به ترتیب ژنراتور و ایزوربر را ترک میکنند در حالت تعادل ترمودینامیکی می‌باشد.
- فشار، دما و غلظت سیال خروجی از کندانسور و اواپراتور در حالت تعادل ترمودینامیکی می‌باشد.
- غلظت مبردی که رکتیفایر را ترک میکند، تقریباً برابر با ۱ فرض شده است.
- در سیکل یک اثره دمای کندانسور، اواپراتور، ژنراتور به ۳۳ و ۸۰ سانتیگراد فرض شده، ۵، ترتیب برابر با ۳۵ است.
- در سیکل دو اثره دمای ژنراتور دما بالا برابر با ۱۵۷، ژنراتور دما پایین برابر با ۹۴ و دمای اواپراتور و کندانسور به ترتیب برابر با ۴ و ۴۰ فرض شده است.
- میزان بار حرارتی کندانسور در یک اثره برابر با ۱۰۵ و در دو اثره برابر با ۱۲۰۰ کیلووات در نظر گرفته شده است.
- کارایی مبدل حرارتی محلول و مبدل حرارتی مبرد مساوی با یکدیگر و برابر با ۰.۶ فرض شده است.
- از افت فشار بین رکتیفایر و کندانسور و همچنین بین اواپراتور و ژنراتور صرف نظر شده است.

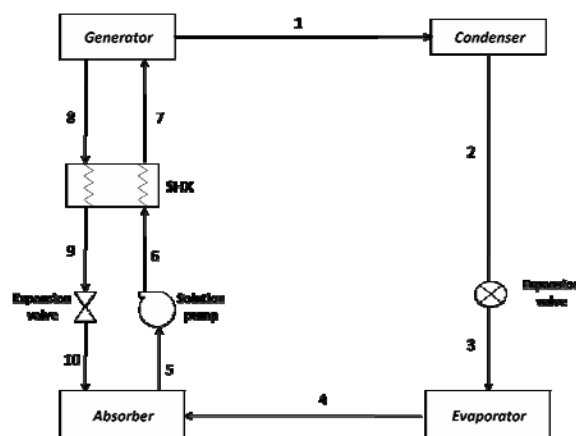
همانگونه که پیشتر بیان شد، تا کنون تلاش‌های زیادی در جهت تحلیل سیستم‌های جذبی صورت پذیرفته که تعداد کمی از آنها در جهت تحلیل پمپ‌های حرارتی بوده است.

سیکل پمپ حرارتی جذبی تک اثره لیتیم برماید و آب

سیکل پمپ حرارتی جذبی لیتیم برماید و آب را می‌توان به دو بخش عمده تقسیم کرد. بخش نخست از ایزوربر، ژنراتور، پمپ و شیر انبساط تشکیل شده است. بخش دوم سیکل ترکیبی از کندانسور، اواپراتور و شیر انبساط می‌باشد که این قسمت‌ها به صورت مشترک در کلیه سیکل‌های تبرید اعم از تراکمی و جذبی یافت می‌شود. اواپراتور به مانند ژنراتور با کسب انرژی از یک منبع حرارتی سیال خروجی را به گاز تبدیل می‌کند، حال آنکه فرایندهای صورت گیرنده در کندانسور و ایزوربر گرماده می‌باشند که از گرمای خروجی برای گرمایش مورد نظر در پمپ‌های حرارتی استفاده می‌شود.

سیالی که ایزوربر را ترک می‌کند به عنوان محلول غلیظ شناخته می‌شود و در برابر سیالی که از ژنراتور خارج می‌شود محلول رقیق خوانده می‌شود. میزان غلظت محلولی که از مبرد که به شکل بخار از ژنراتور خارج می‌شود در حدود یک می‌باشد. در سیستم‌هایی که از لیتیم برماید- آب به عنوان زوج جاذب- مبرد بهره می‌برند به علت اینکه نقطه‌ی ذوب مبرد (لیتیم برماید) بالاتر از نقطه ذوب جاذب (آب) می‌باشد نیازی به استفاده از رکتیفایر احساس نمی‌شود قسمت‌های سیستم جذبی تک اثره در دو فشار بالا و پایین کار می‌کند. کندانسور و ژنراتور در فشار بالا کار می‌کنند، حال آنکه ایزوربر و اواپراتور در قسمت فشار پایین سیکل قرار دارند.

در شکل ۱ شمایی از یک پمپ حرارتی جذبی تک اثره لیتیم برماید- آب مشاهده می‌شود.



شکل ۱: پمپ حرارتی جذبی تک اثره آب و آمونیاک

جهت افزایش راندمان و کارایی سیکل گرمایش و سرمایش جذبی می‌توان از سیستم جذبی دو اثره بهره برد. این گونه سیستم‌ها دارای دو ژنراتور می‌باشند و به صورت معمول ضریب عملکردی بالاتر از انواع یک اثره دارند. در این‌گونه سیستم‌ها سه نوع فشار تعریف

نتایج حاصل از تحلیل ترمودینامیکی به کمک قانون اول در جداول (۱) و (۲) آورده شده است.

جدول ۲: مشخصات ترمودینامیکی نقاط مختلف سیکل پمپ حرارتی جذبی دو اثره لیتیم برماید و آب

point	T °C	h Kj.Kg ⁻¹	m Kg.s ⁻¹	x %	e Kj.Kg ⁻¹
۱	۴/۱	۲۵۰۷/۲۴	۱/۱۷	۰	-۱۲۲/۶۴
۲	۴۶/۸۵	۱۲۱/۷۲	۱۳/۵۳	۵۸/۵۳	۴۶/۵۳
۳	۴۶/۸۷	۱۲۱/۷۷	۱۳/۵۳	۵۸/۵۳	۴۶/۵۴
۴	۶۹/۶۴	۱۶۶/۶۶	۱۳/۵۳	۵۸/۵۳	۵۰/۴۷
۵	۱۲۳/۳۲	۲۷۲/۷۴	۱۳/۵۳	۵۸/۵۳	۷۱/۳۷
۶	۱۵۷	۳۴۵/۵۴	۱۱/۵۴	۶۱/۷۳	۱۱۴/۹
۷	۹۲/۳۵	۲۲۳/۸۶	۱۱/۵۴	۶۱/۷۳	۷۶/۰۲
۸	۹۲/۳۵	۲۲۳/۸۶	۱۱/۵۴	۶۱/۷۳	۷۶/۰۲
۹	۹۴	۲۳۷/۸۲	۱۲/۳۶	۶۴/۰۷	۹۱/۲۸
۱۰	۶۷/۱۴	۱۸۹/۰۶	۱۲/۳۶	۶۴/۰۷	۸۵/۲۱
۱۱	۶۷/۱۴	۱۸۹/۰۶	۱۲/۳۶	۶۴/۰۷	۸۵/۲۱
۱۲	۱۵۷	۲۷۹/۰/۴	۰/۶۳	۰	۵۱۰/۰۸
۱۳	۹۸/۵	۴۱۲/۵۶	۰/۶۳	۰	۳۲/۶۵
۱۴	۴۰/۳	۱۶۸/۹۲	۰/۶۳	۰	۱/۴۹
۱۵	۹۴	۲۶۷/۷	۰/۵۳	۰	۱۳۱/۸۳
۱۶	۴۰/۳	۱۶۸/۹۲	۱/۱۷	۰	۱/۴۹
۱۷	۴/۱	۱۷/۱۸	۱/۱۷	۰	۳/۱۴

تحلیل سیکل به کمک قانون دوم ترمودینامیک

قانون اول ترمودینامیک مفهوم انرژی درونی و آنتالپی را معرفی می کند که در سیستم های فیزیکی-شیمیایی پایدار می باشند؛ این در حالی است که قانون دوم ترمودینامیک به معرفی آنتروپی، انرژی آزاد(انرژی هلمهولتز) و آنتالپی آزاد(انرژی گیبس) به عنوان توابع ترمودینامیکی می پردازد [۹]. به بیان دیگر، قانون دوم ترمودینامیک به بیان تفاوت کمیت و کیفیت انواع مختلف انرژی پرداخته و بیان میکند چرا تعدادی از فرایندها میتوانند به صورت خودبخودی روی دهند در حالی که سایر فرایندها نمیتوانند. قانون دوم ترمودینامیک معمولاً به صورت یک نامعادله بیان می شود و بیان می کند که آنتروپی کل پس از انجام یک فرایند برابر و یا بزرگتر از میزان اولیه آن می باشد [۱۰].

با در نظر گرفتن قانون دوم ترمودینامیک، اگر انرژی پارامتری بسیار مهم برای بررسی فرایندها می باشد. اگر انرژی یک سیستم به عنوان ماکزیمم کاری که آن سیستم می تواند انجام دهد تا به حالت صفر یعنی محیط در آید تعریف می شود. انرژی دارای خاصیتی بدین صورت است که تنها در فرایندی پایدار است که فرایند مذکور فرایندی بازگشت پذیر باشد. هنگامی که یک فرایند بازگشت ناپذیر اتفاق می افتد انرژی تخریب می شود.

معادلاتی که بر مبنای آنها قانون اول ترمودینامیک به سیکل اعمال می شود معادله بقای جرم، معادله بقای غلظت و معادله بقای انرژی می باشند. این معادلات به ترتیب عبارتند از روابط (۴)، (۵) و (۶) که در ذیل آمده است:

$$\sum m_i - \sum m_{out} = 0 \quad (۱)$$

$$\sum (mh)_i - \sum (mh)_{out} + \sum Q_i - \sum Q_{out} + W = 0 \quad (۲)$$

$$\sum (mx)_i - \sum (mx)_{out} = 0 \quad (۳)$$

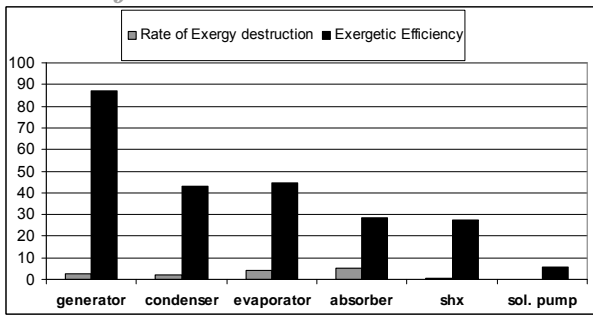
خاطر نشان می شود که کلیه محاسبات انجام شده با استفاده از فرضیات مطرح شده در بخش های قبل و نیز سایر فرضیات مصطلح دیگر در دانش ترمودینامیک نظیر فرایند آنتالپی ثابت در شیر انبساط صورت پذیرفته است. بر اساس فرضیات مطرح شده در بخش فرضیات، می توان خواص ترمودینامیکی تعدادی از نقاط سیکل را به دست آورد، در ادامه با بهره گیری از معادلات مطرح شده می توان حالت ترمودینامیکی کلیه نقاط سیکل و به تبع آن کلیه خواص ترمودینامیکی را به دست آورد.

پارامترهای مهمی که از خلال این محاسبات حاصل می شوند در تحلیل میزان کارایی این دسته از سیکل های سرمایه گذاری و گرمایشی از اهمیت خاصی برخوردارند. مهمترین پارامتری که از تحلیل سیستم حاصل می شود ضریب عملکرد سیکل پمپ حرارتی جذبی آب و آمونیاک می باشد که از رابطه (۱۰) حاصل می شود.

$$COP = \frac{Q_c + Q_a}{Q_g + W_p} \quad (۴)$$

جدول ۱: مشخصات ترمودینامیکی نقاط مختلف سیکل پمپ حرارتی جذبی یک اثره لیتیم برماید و آب

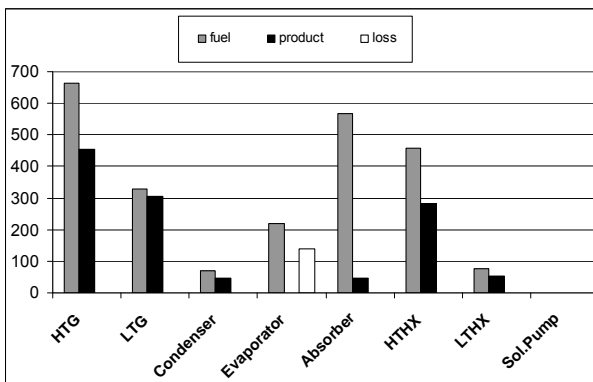
point	T °C	h Kj.Kg ⁻¹	m Kg.s ⁻¹	x %	e Kj.Kg ⁻¹
۱	۸۰	۲۶۵۱/۱۹	۰/۰۴۲	۰	۳/۶۷
۲	۳۶	۱۵۰/۹۴	۰/۰۴۲	۰	۰/۰۳۵
۳	۵	۲۰/۹۶	۰/۰۴۲	۰	۰/۱۲
۴	۵	۲۵۱۰/۷۴	۰/۰۴۲	۰	-۷/۳۷
۵	۳۳/۴۹	۸۵/۷۴	۰/۵۸۶	۵۶/۴۳	۱۹/۱۱
۶	۳۳/۵	۸۵/۷۴	۰/۵۸۶	۵۶/۴۳	۱۹/۱۱
۷	۵۸/۳۵	۱۳۶/۱۸	۰/۵۸۶	۵۶/۴۳	۲۱/۲۲
۸	۸۰	۱۹۶/۲۸	۰/۵۴۴	۶۰/۷۸۷	۳۶/۲۵
۹	۵۱/۳۶	۱۴۲/۱۹	۰/۵۴۴	۶۰/۷۸۷	۳۳/۳۹
۱۰	۵۱/۳۶	۱۴۲/۱۹	۰/۵۴۴	۶۰/۷۸۷	۳۳/۳۹



شکل ۴: میزان انرژی تخریب شده و راندمان انرژی در هر یک از اجزای سیکل پمپ حرارتی جذبی یک اثره لیتیم برماید و آب

همانگونه که در شکل ۴ مشخص است بیشترین میزان تخریب انرژی در ایزوربر و ژنراتور و اواپراتور صورت می‌پذیرد. دلیل این امر را می‌توان به تغییرات موجود در ترکیب محلول در ایزوربر و ژنراتور و نیز فرایند انتقال حرارت در اواپراتور مربوط دانست. این در حالیست که همانگونه که در شکل ۴ آمده است میزان تخریب انرژی در پمپ محلول و نیز در مبدل‌های محلول قابل صرف نظر کردن می‌باشد.

در شکل ۵ میزان انرژی سوخت، انرژی محصولات و انرژی اتلافی به صورت جداگانه برای هر یک از اجزای سیکل ترسیم شده است. همان‌گونه که واضح است بیشترین مقدار انرژی تخریبی در ایزوربر و سپس در ژنراتور دما بالا روی می‌شود، این در حالیست که مبدل حرارتی محلول دما بالا (HTHX) نیز میزان تخریب انرژی بالایی را به خود اختصاص داده است که این امر را می‌توان به اختلاف بالای درجه حرارت جریان‌هایی که وارد این مبدل حرارتی می‌شوند مربوط دانست.



شکل ۵: میزان انرژی سوخت، انرژی محصول و انرژی اتلافی هر یک از اجزای سیکل پمپ حرارتی جذبی دو اثره لیتیم برماید و آب

هنگامی که تحلیل انرژی بر روی یک سیستم اعمال می‌شود، نقص‌ها و نارسایی‌های ترمودینامیکی را می‌توان به صورت تخریب انرژی به صورت کمی محاسبه نمود که در واقع بیانگر اتلاف در کیفیت و یا قابلیت کاردهی انرژی آن سیستم می‌باشد.

در این سیستم مقدار انرژی از دو بخش تشکیل شده است، انرژی فیزیکی و انرژی شیمیایی.

$$e_{total} = e_{physical} + e_{chemical} \quad (5)$$

از آنجا که میزان انرژی شیمیایی مخلوط لیتیم برماید و آب بسیار کوچک می‌باشد، لذا از ترم دوم سمت راست رابطه ۵ صرف نظر کرده و به ترم نخست بسنده می‌کنیم، لذا انرژی کل برابر با انرژی فیزیکی می‌باشد که از رابطه ۶ حاصل می‌شود.

$$e_{physical} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (6)$$

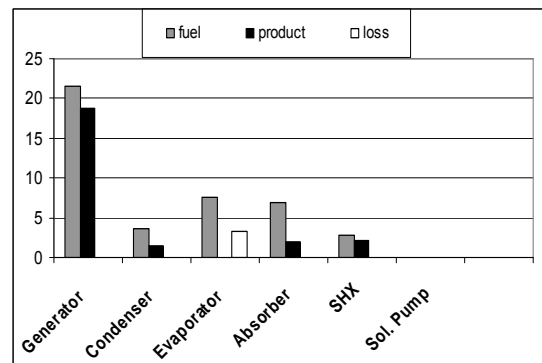
مقادیر ترمودینامیکی نقاط مختلف سیکل که بر اساس قوانین اول و دوم ترمودینامیک محاسبه شده است، برای پمپ حرارتی جذبی تک اثره و دو اثره لیتیم برماید و آب به ترتیب در جدول (۱) و جدول (۲) گرد آورده شده است.

مهمترین پارامتری که در تحلیل انرژی نقشی حیاتی ایفا می‌کند، انرژی تخریبی می‌باشد که توسط رابطه (۷) محاسبه می‌شود [۱۱].

$$\dot{E}_D = \sum_{in} \dot{m}_i e_i - \sum_{out} \dot{m}_{out} e_{out} + \sum_j \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \dot{Q}_j \quad (7)$$

در این رابطه T_0 و T_j به ترتیب دمای محیط و میانگین دماهای جریان‌های ورودی می‌باشند. \dot{Q}_j هم میزان انتقال حرارت به یا از حجم کنترل مورد نظر می‌باشد.

نتایج حاصل از این روابط به صورت میزان تخریب انرژی و نیز درصد تخریب انرژی هر یک از بخش‌های سیکل یک اثره و دو اثره به ترتیب در شکل ۳ و شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۳: میزان انرژی سوخت، انرژی محصول و انرژی اتلافی هر یک از اجزای سیکل پمپ حرارتی جذبی یک اثره لیتیم برماید و آب

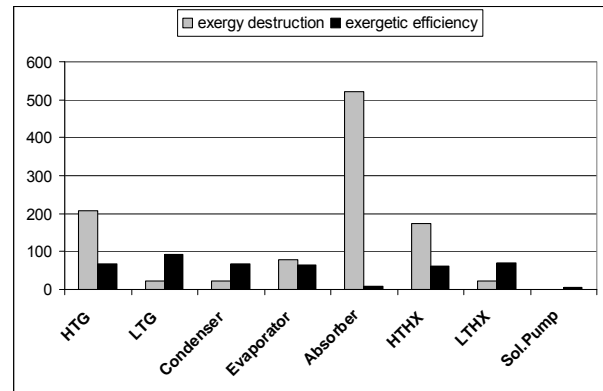
[۷]-Kotas TJ. The exergy method of thermal plant analysis. Great Britain: Anchor Brendon Ltd; ۱۹۸۵.

[۸]-Szargut J, Morris DR, Steward FR. Exergy analysis of thermal, chemical and metallurgical processes: Hemisphere Publishing; ۱۹۸۸.

[۹]-Sato N, "Chemical Energy and Exergy An Introduction to Chemical Thermodynamics for Engineers", Elsevier (۲۰۰۴), ۰۴۴۴۵۱۶۴۵.

[۱۰]-Dincer I, Rosen MA, "Exergy, Energy, Environment and Sustainable Development." Elsevier Science & Technology Books, (۲۰۰۷).

[۱۱]-A. Bejan, G. Tsatsaronis, M. Moran, Thermal design and optimization, Wiley, New York, ۱۹۹۶.



شکل ۶: میزان انرژی تخریب شده و راندمان انرژی در هر یک از اجزای سیکل پمپ حرارتی جذبی دو اثره لیتیم برماید و آب

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، مدل‌سازی و تحلیل ترمودینامیکی پمپ حرارتی جذبی یک اثره و دو اثره لیتیم برماید و آب بر اساس قوانین اول و دوم ترمودینامیک مورد مطالعه قرار گرفته است. مشخصات ترمودینامیکی برای کلیه نقاط به دست آمده است و در نهایت با استفاده از تحلیل انرژی و با به کار بردن مفهوم انرژی‌های سوخت، محصول و اتلافی به محاسبه میزان هر یک از این انرژی‌ها و محاسبه میزان انرژی تخریبی در هر یک از اجزای سیکل پرداخته شده است در این بین اجزای نظیر ژنراتور، ایزوربر، اواپراتور و مبدل حرارتی محلول دما بالا بیشترین میزان تخریب انرژی را دارند. لذا برای بهینه‌سازی این دسته از سیکل‌های سرمایشی و گرمایشی این اجزا در اولویت بوده و لذا بهینه‌سازی و انتخاب شرایط درست کارکرد بر مبنای تحلیل صورت گرفته می‌تواند در کاهش هزینه‌ها موثر باشد.

مراجع

[۱]-Chua HT, Toh HK, Malek A, Ng KC, Sirinivasan K. A general thermodynamic framework for understanding the behavior of absorption chillers. Int J Refrigeration ۲۰۰۰; ۲۳: ۴۹۱-۵۰۷.

[۲]-Pons M, Meunier F, Cacciola G, Critoph RE, Groll M, Puigjaner L, Spinner B, Zeigler F. Thermodynamic based comparison of sorption systems for cooling and heat pumping. Int J Refrig ۱۹۹۹; ۲۲(۱): ۵-۱۷.

[۳]-J.T. McMullan, Refrigeration and the environment issues and strategies for the future, Int J Refrigeration ۲۵ (۱) (۲۰۰۲) ۸۹-۹۹.

[۴]-G. Wall, Optimization of refrigeration machinery, Int J Refrigeration ۱۴ (۱۹۹۱) ۳۳۶-۳۴۰.

[۵]-R.D. Misra, P.K. Sahoo, S. Sahoo, A. Gupta, Thermoeconomic optimization of a single effect water/LiBr vapour absorption refrigeration system, Int J Refrigeration ۲۶ (۱) (۲۰۰۳) ۱۵۸-۱۶۹.

[۶]-Saravanan R, Maiya MP. Thermodynamic comparison of water based working fluid combinations for a vapor absorption refrigeration