مقاله

سیستم‌های تبرید اجکتوری بدون پمپ

ابراهیم افشاری
استادیار گروه مهندسی مکانیک
دانشگاه اصفهان
e.afshari@eng.ui.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۰۴

چکیده

سیکل تبرید اجکتوری، نسبت به سیکل تراکمی، دارای مزایایی چون قابلیت استفاده از منابع گرمایی با کیفیت پایین (مانند حرارت بازیافتی در فرایندهای صنعتی، انرژی خورشیدی)، کاهش انتشار آلاینده‌ها، نداشتن قسمت متحرک (به جز یک پمپ)، عمر طولانی، قابلیت اعتماد بالا، هزینهٔ تعمیر و نگهداری کم، کاسته‌شدن صدا و ارتعاشات ناشی از حذف کمپرسور و صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی، می‌باشد. اما ضریب عملکرد این سیستم پایین است و از یک پمپ نیز استفاده می‌کند. می‌توان با بهینه‌سازی ابعاد اجکتور و استفاده از مبرد مناسب، ضریب عملکرد سیکل را افزایش داد. اما، پمپ که وظیفهٔ انتقال مایع از کندانسور به ژنراتور را دارد، تنها تجهیز با بخش متحرک در این سیستم است. پمپ نه‌تنها به انرژی الکتریکی، بلکه به تعمیر و نگه‌داری دائم نیز نیاز دارد. در کاربردهای واقعی قیمت این پمپ بالاست و ممکن است به‌دلیل عدم سازگاری متریال پمپ با سیال کاری سیکل، پمپ دچار آسیب شود. از اینرو، در این مطالعه به بررسی راه‌کارهایی برای حذف پمپ در سیستم تبرید اجکتوری پرداخته می‌شود. این راه‌کارها شامل استفاده از اجکتورهای گرانشی، سیستم تبرید با دو اجکتور، سیستم تبرید با اثر پمپاژ حرارتی و سیستم تبرید همراه با لوله حرارتی می‌باشد. با حذف پمپ از سیستم هیچ یک از اجزای سیستم تبرید اجکتوری قسمت متحرک نداشته و به برق نیاز ندارند.

واژگان کلیدی: تبرید، اجکتورهای گرانشی، اجکتور گاز - مایع، پمپاژ حرارتی، لولهٔ حرارتی

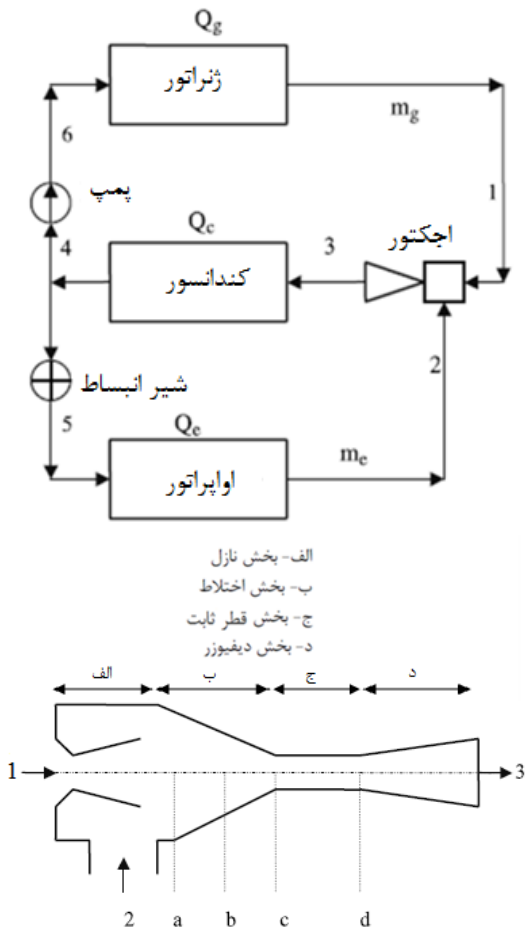
۱. مقدمه

سیکل‌های جذبی و اجکتوری امکان استفاده از انرژی خورشیدی (و یا یک منبع دما پایین دیگر) را دارند و می‌توانند از این منبع تجدیدپذیر به‌منظور تولید سرمایش استفاده کنند. تبرید و تهویهٔ هوا به‌کمک انرژی خورشیدی موضوعهٔ جالب در توسعهٔ فناوری‌های خورشیدی است. برخلاف دیگر کاربردهای انرژی خورشیدی (مانند گرمایش)، بیشترین نیاز به سرمایش وقتی است که خورشید می‌تابد؛ در حالی‌که در کاربردهای گرمایش عموماً در شب، که خورشید غروب کرده است، به انرژی گرمایی خورشید نیاز است. اما در میان انواع کاربردهای انرژی خورشیدی،

ایجاد سرمایش یکی از پیچیده‌ترین سیستم‌هاست. این پیچیدگی هم در اجزاء و هم در فناوری می‌باشد. سیستم‌های تبرید جذبی که از انرژی خورشیدی استفاده می‌کنند، در طراحی و ساخت بسیار پیچیده‌اند و از اینرو هزینه‌های این سیستم‌ها بالاست. تبرید اجکتوری می‌تواند یک سیستم جایگزین برای سیستم‌های تبرید جذبی باشد. در مقایسه‌ای کلی بین سیکل اجکتوری و جذبی می‌توان گفت هرچند سیکل‌های اجکتوری ضریب عملکرد پایین‌تری دارند؛ اما تجهیزات کمتر، عدم نیاز به روغن‌اری و در نتیجه نگهداری آسان از ویژگی‌های متمایز سیکل‌های اجکتوری است. علاوه بر این امکان استفاده از سیالات عامل سازگار با محیط زیست مانند آب مهم‌ترین مشخصهٔ آن است.

به‌دلیل ضریب عملکرد نسبتاً پایین سیستم تبرید اجکتوری، محققان و مهندسان در تلاش برای ارتقای ضریب عملکرد این سیستم می‌باشند. در دههٔ گذشته، نوآوری‌هایی برای ارتقای عملکرد سیستم تبرید اجکتوری شامل کاهش کار پمپ مکانیکی، استفاده از مبردهای خاص و استفاده از ذخیرهٔ انرژی تجدیدپذیر در دسترس، انجام شده است. بسیاری از گروه‌های تحقیقاتی به‌طور گسترده از محاسبات تئوری، شبیه‌سازی‌های کامپیوتری و فعالیت‌های آزمایشگاهی در این زمینه سود برده‌اند [۱-۳].

طرح سیستم تبرید اجکتوری همراه با ساختمان اجکتور در شکل ۱ نمایش داده شده است. این سیستم از ژنراتور، اواپراتور، کندانسور، شیر انبساط، پمپ و اجکتور فراصوت تشکیل شده است. اجکتور جزء اصلی این سیستم است و قلب سیستم نامیده می‌شود که همراه با پمپ به‌عنوان جایگزین کمپرسور مکانیکی در سیستم تبرید تراکمی عمل می‌کند. اجکتور وسیله‌ای است که از یک سیال فشاربالا (سیال محرک)که از ژنراتور آمده است استفاده می‌کند تا یک سیال فشار پایین (جریان ثانویه)؛ یعنی سیال خروجی از تبخیر کننده را دنبال خود به‌حرکت درآورد. مطابق شکل ۱، اجکتور از چهار قسمت عمدهٔ نازل ابتدایی، محفظهٔ اختلاط، قسمت قطر ثابت و دیفیوزر تشکیل شده است. سیال فشاربالا وارد نازل ابتدایی شده و با عبور از نازل ابتدایی سرعتش به‌شدت افزایش و فشارش کم می‌شود. با این عمل فشار داخل اجکتور نسبت به بیرون کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد و باعث ایجاد خلأ شده، سیال ثانویه به محفظهٔ اختلاط اجکتور کشیده می‌شود و با سیال داخل اجکتور مخلوط شده و با عبور از دیفیوزر و قسمت تخلیه از اجکتور خارج می‌شود.



شکل ۱. سیستم تبرید اجکتوری و ساختمان اجکتور

سیال خروجی از اجکتور وارد چگالنده می‌شود. بخشی از سیال خروجی از چگالنده از طریق شیر اختناق وارد تبخیرکننده می‌شود تا سیکل تبرید وظیفهٔ اصلی خود (ایجاد سرمایش) را انجام دهد. بخش دیگر مایع خروجی از چگالنده از طریق پمپ به ژنراتور بخار منتقل می‌شود.

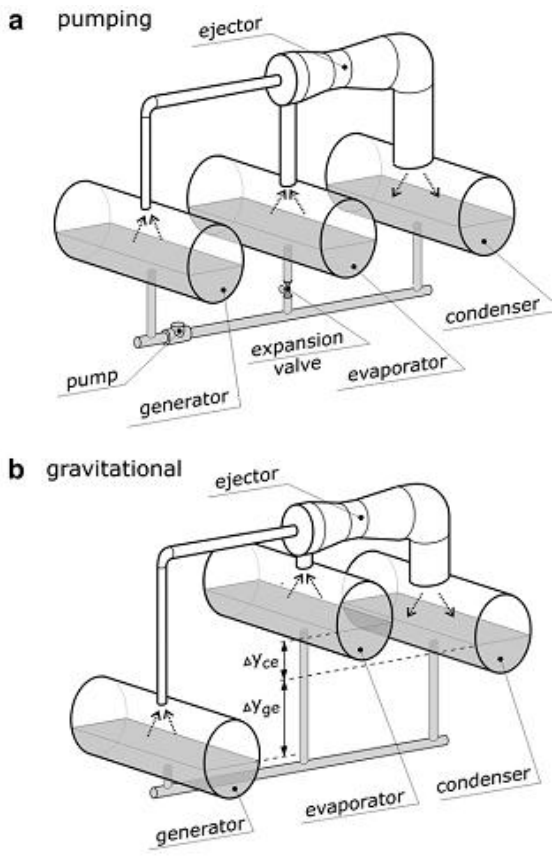
هرچند در سیستم تبرید اجکتوری کمپرسور حذف گردیده است؛ اما یک پمپ به سیستم اضافه شده است. کار الکتریکی مورد نیاز پمپ نسبت به کمپرسور بسیار کمتر است. اما یک تجهیز با بخش متحرک است. پمپ وظیفهٔ انتقال مایع چگالیده در کندانسور به‌سمت ژنراتور را برعهده دارد و تنها تجهیز با بخش متحرک در سیستم تبرید اجکتوری است. پمپ نه‌تنها به انرژی مکانیکی اضافی نیاز دارد، بلکه به تعمیر و نگه‌داری دائم نیز نیاز دارد. در کاربردهای واقعی سیکل تبرید قیمت این پمپ بالا بوده و ممکن است به این دلیل که متریال پمپ با سیال کاری سیکل سازگاری نداشته باشد، پمپ دچار شکستگی و آسیب شود. از اینرو بسیاری از محققان سعی کرده‌اند از روش‌هایی دیگر به‌جای استفاده از پمپ بهره گیرند تا این کاستی‌های سیستم حذف گردد.

در این مقاله، به بررسی راه‌کارهای حذف پمپ در سیستم تبرید اجکتوری پرداخته شده است. این راه‌کارها شامل استفاده از اجکتورهای گرانشی، سیستم تبرید با دو اجکتور، سیستم تبرید با اثر پمپاژ حرارتی و سیستم تبرید همراه با لوله حرارتی می‌باشد. بدین‌وسیله دیگر هیچ کدام از اجزای سیستم تبرید اجکتوری قسمت متحرک نداشته و به برق نیز نیاز ندارند.

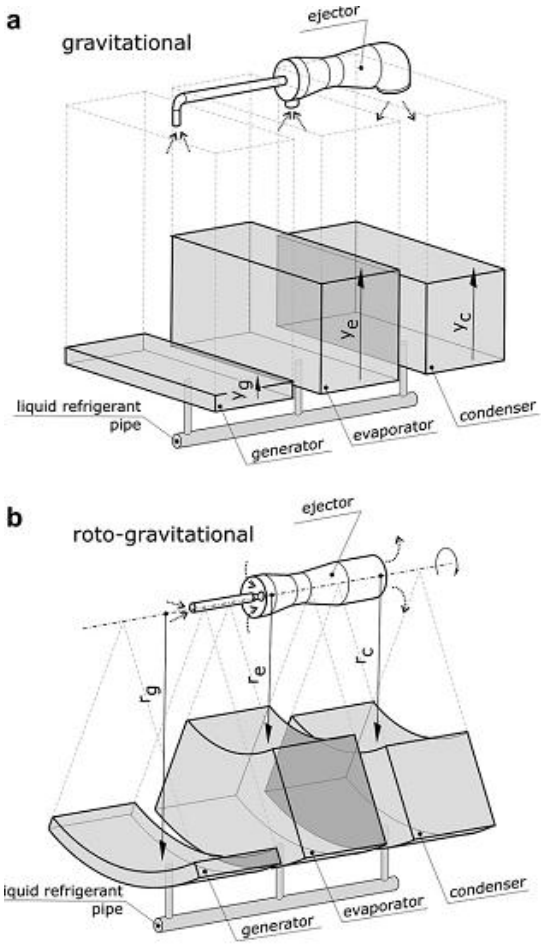
۲. اجکتورهای گرانشی

در یک سیستم تبرید اجکتوری با پمپ، (شکل ۲ الف) پمپ برای جریان پیداکردن سیال بین مبدل‌های حرارتی استفاده می‌شود. در این سیستم، مبدل‌های حرارتی در هر سطحی نسبت به هم قرار می‌گیرند. جریان مبرد مایع از چگالنده به‌سمت ژنراتور بخار، به‌وسیلهٔ پمپ انجام می‌شود. یک شیر اختناق بین چگالنده و تبخیرکننده در هر موقعیت دلخواه قرار می‌گیرد. پمپ تنها بخش سیکل است که بخش‌های متحرک دارد و ممکن است سبب نشتی در تجهیزات شود. اگر فشار عملکرد مبرد بالاتر از فشار اتمسفر باشد، نشتی معمولاً مشکل‌ساز نمی‌شود. اگر فشار عملکرد مبرد پایین‌تر از فشار اتمسفر باشد، حتی مقدار کمی نشتی هوا (از هوای بیرون) می‌تواند فرایند تبخیر و چگالش (به‌خصوص برای آب) را مختل و بی‌ثبات کند. در مواردی که محیط اشتعال‌پذیر است (مانند هیدروکربن‌ها، اترها، الکل‌ها) مکش هوا سبب خطر قابل توجه انفجار می‌شود. کاسپرسکی [۴-۵] یک مدل سیستم تبرید اجکتوری گرانشی ارائه و آن را شبیه‌سازی کرده است. برخلاف سیستم تبرید اجکتوری با پمپ، در این ساختار اجازه نداریم اجکتور و مبدل‌های حرارتی را هرگونه که خواستیم قرار دهیم؛ بلکه مبدل‌های حرارتی (کندانسور و تبخیرکننده) در سطوح (ارتفاع‌های) مختلف قرار دارند (شکل ۲ ب). از اینرو فشار هیدرواستاتیکی مبرد، آرایش عمودی مبدل‌های حرارتی را قادر می‌سازد تا اختلاف فشار بین مبدل‌ها را تأمین کند و مبرد از چگالنده به‌سمت ژنراتور انتقال یابد. پایین‌ترین فشار در نصب این سیستم، در تبخیرکننده است و این امر باعث جریان‌یافتن مایع به بالاترین سطح تأسیسات سیستم می‌گردد. بالاترین فشار در ژنراتور است که باعث مکش پایین‌ترین سطح سیال به داخل اجکتور می‌شود. فشار سیستم عمدتاً وابسته به نوع مبرد استفاده شده و دما در ژنراتور بخار می‌باشد. در این سیستم، مبردهایی که در سیکل تراکمی بخار استفاده می‌شود، کاربرد ندارند. اما آب، الکل‌ها، اترها، هیدروکربن‌های سنگین‌تر (پنتان، هگزان، هپنان و اکتان) و برخی حلال‌های آلی قابل استفاده‌اند. انتخاب قطر بزرگ برای لوله‌های مایع، نیاز به فرایند خفگی جریان مبرد را نیز منتفی می‌کند. در ورودی و در داخل فضای تبخیرکننده محدودیت این سیستم قرارگیری تجهیزات آن در اختلاف ارتفاع‌های خیلی زیاد (به‌عنوان مثال بیشتر از ۱۰۰ متر) و طول زیاد خط لوله است که این امر افت اصطکاکی و تلفات گرمایی را زیاد می‌کند. از اینرو مفهوم تبرید اجکتوری گرانشی می‌تواند به یک سیستم چرخشی تبدیل شود. با یک تکنیک مشابه آنچه در یک پمپ سانترفیوژ اتفاق می‌افتد، با قراردادن کل تجهیزات سیکل تبرید اجکتوری در یک حرکت چرخشی، می‌توان

اجازه داد که ارتفاع (شعاعی) متناسب با ارتفاع سیستم تبرید اجکتوری گرانشی ایجاد شود. قراردادن تجهیزات سیکل تبرید در یک حرکت چرخشی اجازه می‌دهد تا ارتفاع آنها نسبت به سیستم تبرید اجکتوری گرانشی بسیار کمتر شود. این امر یعنی اینکه اجکتور روی یک محور ثابت و مبدل‌های حرارتی متحدالمرکز در اطراف آن چرخش کنند. مفهوم یخچال گرانشی در شکل ۳ با یک روش ساده به‌صورت یخچال گردشی نشان داده شده است. در سیکل تبرید گرانشی، به‌دلیل اختلاف چگالی، مایع به پایین‌ترین بخش جریان می‌یابد. اتصالات لوله‌ای اجازه می‌دهد مبرد از چگالنده به تبخیرکننده و ژنراتور انتقال یابد. براساس تغییرات دمای محیط، یک جریان برگشتی موضعی از تبخیرکننده به چگالنده و یا از ژنراتور به چگالنده اتفاق می‌افتد. با توجه به عدم شیر یک‌طرفه، جریان بین ژنراتور و تبخیرکننده امکان‌پذیر است. در قسمت‌های بالایی سیستم، اجکتور سه فضای پرشده با گاز را به‌هم متصل می‌کند. استفاده از سیستم چرخشی سبب آرایش متقارن سطح‌های مایع می‌شود (شکل ۲ ب). مشابه با سیکل تبرید اجکتوری گرانشی، فشار بخار بالاتر، سطح مایع را به بیرون هل داده و فشار بخار پایین‌تر مایع را به داخل می‌مکد. فشار کل مبرد در ژنراتور، چگالنده و تبخیرکننده بالانس می‌شود. شتاب حرکت چرخشی می‌تواند مهم باشد؛ اما توزیع فشار در امتداد y همواره تابعی خطی و در طول r یک تابع درجه دوم است.



شکل ۲. نمایی شماتیک از تجهیزات سیستم تبرید اجکتوری
الف) سیستم همراه با پمپ، ب) سیستم گرانشی



شکل ۳. نمایی از سطح‌های مبرد مایع در سیستم تبرید اجکتوری؛
الف) گرانشی، ب) گرانشی -چرخشی [٤]

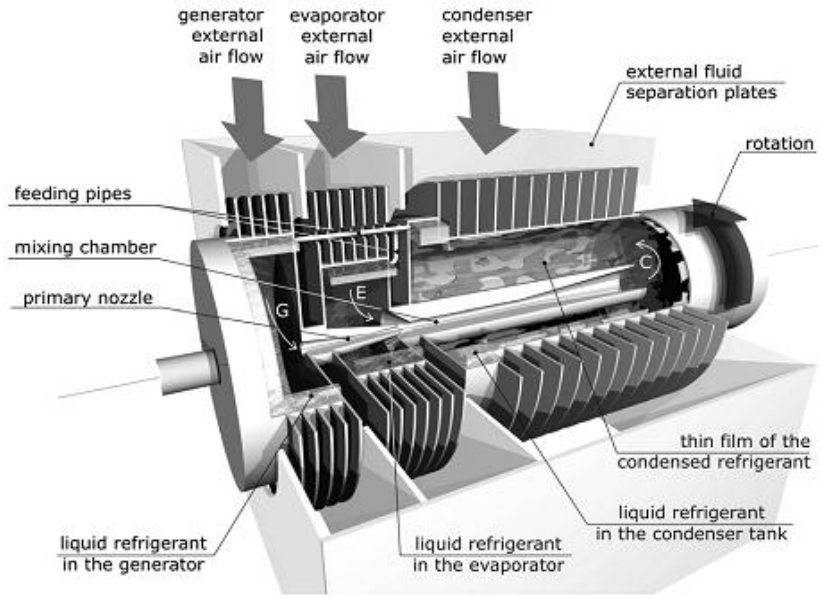
در شکل ۴ یک ساختار سادهٔ سیکل تبرید اجکتوری گرانشی - چرخشی نمایش داده شده است. مبدل‌های حرارتی با آرایش شکل ۳ نصب شده‌اند. سیستم یک سیلندر چرخان است. در این سیستم سه مسیر جریان بخار آنجا وجود دارد:

۱. بخار خارج‌شده از ژنراتور به لولهٔ اجکتور جریان می‌یابد.
۲. بخار از تبخیرکننده به‌داخل اجکتور کشیده می‌شود.
۳. سیال مخلوط به چگالنده منتقل و چگالیده می‌شود.

۳. سیستم تبرید با دو اجکتور

به‌منظور حذف پمپ در سیستم تبرید اجکتوری، یک سیکل تبرید دو اجکتوری پیشنهاد می‌شود. یک اجکتور گاز – مایع استفاده می‌شود تا جایگزین پمپ گردد. این اجکتور، فشار مایع چگالیده را بالا برده و آن را به‌کمک یک سیال فشاربالا، که از ژنراتور آمده است، به ژنراتور برمی‌گرداند. در شکل ۵ ساختار سیستم نمایش داده شده است.

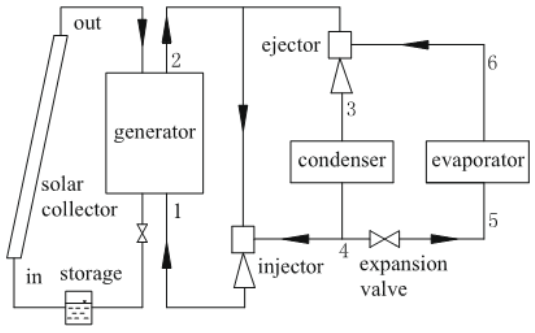
سه حلقه در این سیستم وجود دارد: حلقهٔ اول دریافت‌کننده و جذب‌کنندهٔ انرژی است که شامل جمع‌کننده‌های خورشیدی، ژنراتور و یک پمپ گردش سیال است. نقش این حلقه این است که انرژی را به‌وسیلهٔ کلکتورهای خورشیدی جمع و آن را به گرما تبدیل و به ژنراتور منتقل می‌کند. حلقهٔ دوم، که سیکل محرک هم نامیده می‌شود، شامل دو جزء ژنراتور و اجکتور گاز – مایع است. در ژنراتور، مبرد با جذب گرما از حلقهٔ اول تبخیر می‌شود. بخار مبرد، سیال محرک برای هر دو اجکتور حلقهٔ دوم و حلقه سوم است. در اجکتور گاز - مایع، سیال محرک به سرعت فراصوت می‌رسد و یک ناحیهٔ کم‌فشار در محفظهٔ مکش اجکتور ایجاد می‌شود. مبرد مایع از سیکل تبرید (حلقهٔ سوم) به داخل اجکتور کشیده می‌شود.



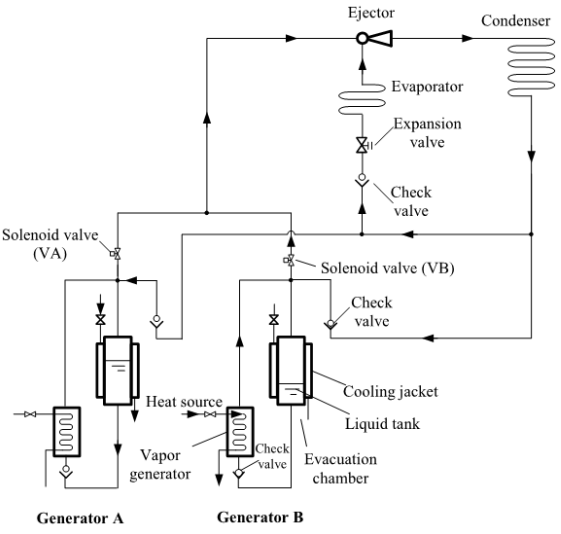
شکل ٤. سیستم تبرید اجکتوری گرانشی -چرخشی [٤]

در محفظهٔ اختلاط اجکتور گاز – مایع، سیال محرک (که از ژنراتور آمده) چگالیده می‌شود و با مایع کشیده شده به داخل اجکتور مخلوط می‌گردد. چون فشار خروجی می‌تواند بزرگتر از فشار سیال محرک باشد، مبرد خروجی از اجکتور گاز - مایع به ژنراتور بازمی‌گردد. دلیل اینکه فشار خروجی از اجکتور گاز – مایع می‌تواند از فشار محرک بالاتر رود این است که در واقع یک مقدار زیادی حرارت (ناشی از چگالیده‌شدن بخار ورودی اولیه به اجکتور) می‌تواند به کار

مکانیکی تبدیل شود که برای پمپ‌کردن مایع استفاده می‌شود. از این منظر یک اجکتور گاز - مایع، معادل توربینی است که محرک پمپ می‌باشد؛ یعنی انرژی حرارتی بخار در توربین استفاده می‌شود تا کار توربین به پمپ داده شود و فشار مایع در پمپ افزایش یابد [۶-۷]. اما اختلاف اساسی اجکتور گاز - مایع با توربین - پمپ این است که در سیستم اول هیچ قطعه متحرکی وجود ندارد. حلقهٔ سوم، شامل یک اجکتور گاز - گاز، کندانسور، شیر اختناق و تبخیرکننده است. سیال محرک در اجکتور، بخار مبردی است که از ژنراتور آمده است. این سیال در اجکتور باعث مکیده‌شدن مبرد فشارپایین از تبخیرکننده می‌شود. مبرد چگالیده‌شده در کندانسور به دو قسمت تقسیم می‌شود: یک بخش از جریان به‌داخل اجکتور گاز - مایع مکیده می‌شود و بخش دیگر از طریق یک شیر اختناق به تبخیر کننده وارد می‌شود. مبرد در سیکل تبرید حرارت را جذب کرده و در اواپراتور تبخیر می‌شود تا سیکل تبرید کامل گردد.



شکل ۵. سیستم تبرید اجکتوری با دو اجکتور

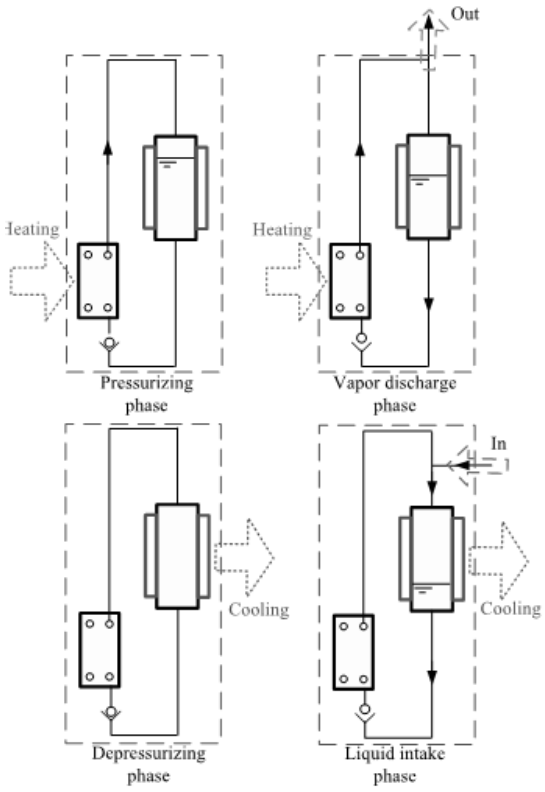


شکل ٦. دیاگرام جریان سیستم اجکتوری با ژنراتور چندمنظوره

٤. سیستم تبرید اجکتوری با اثر پمپاژ حرارتی

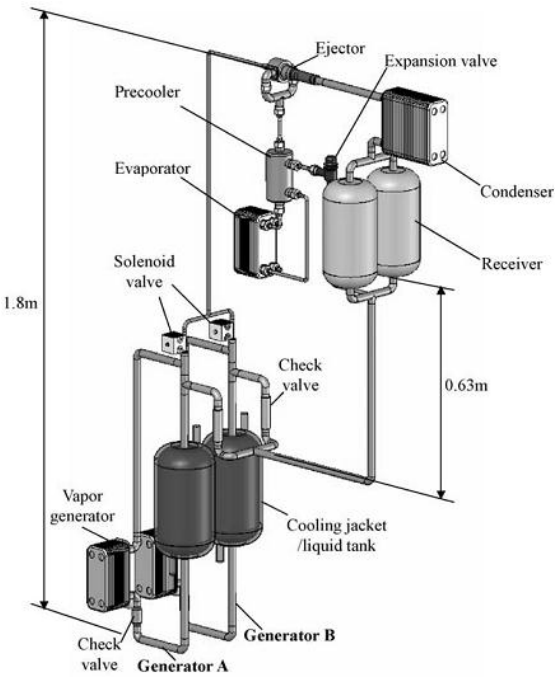
یک سیستم تبرید اجکتوری می‌تواند از یک ژنراتور چندمنظوره استفاده کند تا پمپ مکانیکی را حذف کند. ژنراتور چندمنظوره هم نقش پمپ و هم نقش ژنراتور بخار (تولیدکنندهٔ بخار) را دارد. دیاگرامی از سیستم تبرید اجکتوری با ژنراتور چندمنظوره در شکل ۶ نشان داده شده است. در این سیستم دو ژنراتور وجود دارد. هر ژنراتور شامل یک تولیدکنندهٔ بخار و یک محفظهٔ تخلیه است. تولیدکنندهٔ بخار یک مبدل حرارتی شبیه بویلرهای متداول برای فشارسازی و تولید بخار است. دو ژنراتور از طریق دو سوئیچ ولو (V_A و V_B) و چهار شیر یک‌طرفه به‌صورت متقابل عمل می‌کنند. عملکرد هر ژنراتور به چهار فاز شامل تحت فشار قرار دادن، تخلیهٔ بخار، کاستن فشار و ورود مایع تقسیم شود. در حالی‌که ژنراتور A در فشار پایین کار می‌کند، آب وارد می‌شود و فشارسازی در بویلر انجام می‌شود (در این حالت ژنراتور B در فاز تخلیه بخار کار می‌کند). اثر سرمایش (سیکل تبرید) در فاز تخلیه بخار به‌وجود می‌آید. در فاز فشارسازی (با سوئیچ ولو بسته)، بخار تولیدشدهٔ گرم می‌شود. فشار در کل ژنراتور تا سطحی که برای تحریک اجکتور نیاز است بالا می‌رود. سوئیچ ولو سپس باز می‌شود تا بخار به اجکتور تخلیه شود و ژنراتور به

فاز تخلیه بخار وارد شود. در این حال اجکتور کار می‌کند و عمل سرمایش انجام می‌شود. وقتی فشار ژنراتور کاهش یافته و به سطحی برسد که دیگر نمی‌تواند به‌عنوان سیال محرک در اجکتور عمل کند، فاز تخلیه تمام می‌شود. این عمل وقتی اتفاق می‌افتد که ژنراتور تقریباً خالی است. ژنراتور سپس وارد فاز کاستن فشار می‌شود که در این موقع سوئیچ ولو بسته و محفظه تخلیه سرد می‌شود. فشار تا اندازه‌ای کاهش می‌یابد که مایع را مجبور می‌کند از کندانسور برگردد. در این موقع ژنراتور وارد فاز ورود مایع با سوئیچ ولو بسته می‌شود؛ در حالی‌که محفظهٔ تخلیه هنوز در حال سردشدن است. این کار یک سیکل را برای ژنراتور کامل می‌کند [۸].



شکل ۷. طریقهٔ عملکرد ژنراتور چند منظوره [۹]

عملکرد دو ژنراتور در شکل ۷ برای چهار فاز بیان‌شده نمایش داده شده است. برای هر فاز اشاره‌شده در بالا، هر کدام از ژنراتورها فقط نصف سیکل ایجاد سرمایش را ایجاد کرده و نصف دیگر را ژنراتور دیگر انجام می‌دهد. از اینرو لازم است دو ژنراتور کوپل شوند که به‌طور پیوسته سیکل تبرید کار کند. در این سیستم تبرید، سیستم کنترلی برای بازکردن و بستن شیرها (دورهٔ زمانی برای فازهای قیدشده) بسیار مهم است. شکل ۸ ساختار سیکل تبرید اجکتوری با ژنراتور چندمنظوره را نشان می‌دهد.

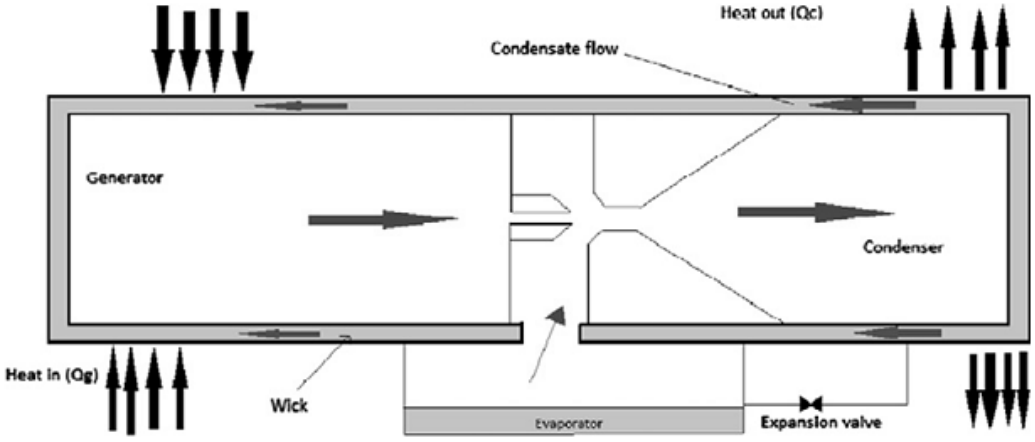


شکل ۸ ساختار سیکل با ژنراتور چندمنظوره [۹]

۵. لولهٔ حرارتی و سیستم تبرید اجکتوری

یکپارچه کردن لولهٔ حرارتی و یک اجکتور، یک سیستم فشرده با عملکرد بالا را نتیجه می‌دهد که به پمپ نیز نیاز نیست. این سیستم می‌تواند از انرژی خورشیدی یا منابع ترکیبی استفاده کنند و درخواست برای الکتریسیته کاهش یافته (یعنی الکتریسیته کمتر مصرف می‌شود) و در نتیجه مصرف سوخت‌های فسیلی کم می‌شود. سیکل پایه لوله حرارتی / سیستم تبرید اجکتوری در شکل ۹ نشان داده شده است. سیستم شامل یک لوله حرارتی، اجکتور، تبخیرکننده و شیر انبساط است. گرمای پتانسیل پایین (مثل گرمای خورشیدی) در ژنراتور به سیستم اضافه می‌شود. به‌کمک این گرما سیال عامل تبخیرشده و در داخل نازل

اولیه اجکتور جریان می‌یابد. این سیال داخل نازل اجکتور منبسط می‌شود و کمک می‌کند تا فشار در تبخیرکننده کاهش یابد و لذا سیکل تبرید کامل می‌شود. بخشی از سیال عامل با عمل فتیله‌ای به ژنراتور برمی‌گردد؛ در حالی‌که بقیهٔ سیال در داخل شیر انبساط منبسط می‌شود و به تبخیرکننده می‌رود. برخلاف دیگر سیستم‌های تبرید تراکمی که از انرژی الکتریکی در اجزای سیکل استفاده می‌کنند؛ سیستم لولهٔ حرارتی / سیستم تبرید اجکتوری به هیچ جریان الکتریکی ورودی نیاز ندارد.



شکل ۹. نمایی شماتیک از سیستم لولهٔ حرارتی / سیستم تبرید اجکتوری [۱۰]

٦. نتیجه‌گیری

در مقایسه‌ای کلی بین سیکل اجکتوری و جذبی می‌توان گفت هرچند سیکل‌های اجکتوری ضریب عملکرد پایین‌تری دارند؛ اما تجهیزات کمتر، عدم نیاز به روغنکاری و در نتیجهٔ نگهداری آسان از ویژگی‌های متمایز سیکل‌های اجکتوری است. همچنین امکان استفاده از سیالات عامل سازگار با محیط زیست مانند آب نیز مهم‌ترین مشخصهٔ آن است. اما به‌دلیل ضریب عملکرد نسبتاً پایین سیستم تبرید اجکتوری و استفاده از پمپ در این سیستم، تلاش‌ها در جهت ارتقای ضریب عملکرد سیستم و حذف پمپ از آن می‌باشد. در این مقاله چهار روش استفاده از اجکتورهای گرانشی و گرانشی چرخشی، سیستم تبرید با دو اجکتور، سیستم تبرید با اثر پمپاژ حرارتی و سیستم تبرید همراه با لولهٔ حرارتی برای حذف پمپ بررسی شد. نصب تجهیزات سیستم در ارتفاع مختلف و گردشی‌بودن مبدل‌های حرارتی حول اجکتور از مشخصات روش اول است که باعث پیچیدگی سیستم می شود. سیستم دوم نیز چون دارای دو اجکتور است دارای ضریب عملکرد پایین می‌باشد. در سیستم سوم، سیستم کنترلی برای بازکردن و بستن شیرها (دورهٔ زمانی برای فازهای مختلف سیکل) بسیار مهم است و باید به‌طور دقیق مشخص شود. سیستم چهارم (سیستم تبرید همراه با لوله حرارتی) هیچ کدام از معایب سه سیستم دیگر را ندارد و عملکرد آن نیز بسیار ساده می‌باشد.

۷. مآخذ

[1] Hemidi, A., F. Henry, S. leclaire, J. M. Seynhaeve, Y. Bartosiewicz. "CFD analysis of a supersonic air ejector, experimental validation of single-phase and two-phase operation." *Applied Thermal Engineering*, 29, 2009, pp. 1523-1531.

[2] Selvaraju, A., A. Mani. "Experimental investigation on R134a vapour ejector refrigeration system." *International Journal of Refrigeration*, 29, 2006, pp. 1160-1166.

[۳] افشاری، ا.، یوسفی، ف.، طباطبایی، ش.، "تأثیر نوع سیال عامل بر عملکرد سیستم تبرید اجکتوری"، *مهندسی مدیریت انرژی*، ۳، ۱۳۹۲، ص. ۶۳-۵۲.

[4] Kasperski, J. "Rotational type of a gravitational ejector refrigerator-A system balance of the refrigerant analysis." *International Journal of Refrigeration*, 33, 2010, pp. 3-11.

[5] Kasperski, J. "Two kinds of gravitational ejector refrigerator stimulation." *Applied Thermal Engineering*, 29, 2009, pp. 3380-3385.

[6] Shen, S., X. Qu, B. Zhang, S. Riat, M. Gillott. "Study of a gas–liquid ejector and its application to a solar-powered bi-ejector refrigeration system." *Applied Thermal Engineering*, 25, 2005, pp. 2891-2902.

[7] Wang, F., S. Shen. "A novel solar bi-ejector refrigeration system and the performance of the added injector with dicerent structures and operation parameters." *Solar Energy*, 83, 2009, pp. 2186–2194.

[8] Chen, X., S. Omer, M. Worall, S. Riffat. "Recent developments in ejector refrigeration technologies." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 2013, pp. 629-651.

[9] Huang, B. J., S. S. Hu, S. H. Lee. "Development of an ejector cooling system with thermal pumping effect." *International Journal of Refrigeration*, 29, 2006, pp. 476-484.

[10] Ziapour, B. M., A. Abbasy. "First and second laws analysis of the heat pipe/ejector refrigeration cycle", *Energy*, 35, 2010, pp. 3307-14.