Archive of SID

بهینه سازی ترمواکونومیک سیکل تبرید جذبی بازگشت پذیر به صورت ۴ منبع حرارتی

داوود دلداده: کارشناس ارشد مهندسی مکانیک-دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی
غلامرضا صالحی: عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی نوشهر
کامران خدابخشی: کارشناس ارشد مهندسی مکانیک-دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی

چکیده

در این مقاله چیلرهای جذبی به صورت چهار منبع حرارتی شامل: ژنراتور، اواپراتور، کندانسور و جذب کننده فرض می شود و به بررسی ترمواکونومیک چیلر بوسیله روابط موجود پرداخته می شود. برای ساده سازی محاسبات فرض را بر بازگشت پذیر بودن فرآیندها گذارده می شود. از آنجا که مبدل ها ابزار و وسایل گران قیمتی هستند پس کاهش سطح کل انتقال حرارت به عنوان معیار طراحی مد نظر می باشد. دراین مقاله ابتدا معیار ترمواکونومیک، تحت عنوان قیمت کل واحد بار سرمایش که شامل هزینه سرمایه گذاری اولیه و قیمت انرژی مصرفی می باشد، تعریف می شود. در ادامه بوسیله روابط موجود، مقدار بیشینه معیار ترمواکونومیک و بار تبرید ماکزیمم بدست آورده شده است. سپس شرایط کارکرد بهینه چیلر های جذبی مشخص گشته و در نهایت به بررسی اثر پارامتر ترمواکونومیک بر معیار ترمواکونومیک بیشینه، ضریب عملکرد و بار تبرید مخصوص متناظر با معیار ترمواکونومیک بیشینه پرداخته می شود.

مقدمه

امروزه هزینه مصرف انرژی و قیمت بالای انرژی الکتریسیته در قیاس با انرژی حاصل از سوخت های فسیلی در اغلب کشورها مهندسین را به فکر استفاده از چیلرهای جذبی به جای چیلرهای تراکمی انداخته است. اما هزینه های مصرف سوخت نیز باید به گونه ای مهار شود از این رو به طور پیوسته بر روی مساله بهینه سازی چیلر های جذبی و کم کردن هزینه های آنها از لحاظ اقتصادی مطالعه می شود.

در سال های اخیر برای اندازه گیری میزان بهینه بودن سیکل های ترمودینامیکی از معیار جدیدی به نام معیار ترمواکونومیک استفاده می شود. معیار ترمواکونومیک به بررسی اقتصادی ترمو دینامیکی پدیده ها می پردازد. در این بررسی ها با در نظر گرفتن مساله هزینه های اولیه و هزینه های مصرف انرژی بوسیله روابط ترمودینامیکی موجود شرایط را به گونه ای طراحی می کنند که از لحاظ اقتصادی بهینه باشد. در راستای اینگونه تحقیقات چن[1] و اسکوتن[2] در سال ۱۹۹۸ به بررسی و یافتن مقدار بهینه ضریب عملکرد سیستم های جذبی غیربازگشت پذیر پرداختند[۱]. سپس چن در سال ۱۹۹۹ مقدار بهینه ضریب عملکرد سردکننده جذبی ۴سطح حرارتی بازگشت ناپذیر را در بار سرمایش مخصوص بیشینه بدست آورد[۲]. در ادامه تحقیقات دیگری نیز باری بهینه سازی فرآیندهای چیلرهای جذبی و دیگر انواع آنها انجام شد من جمله می توان به بهینه سازی ترمواکونومیک سیکل هیت پمپ استرلینگ بازگشت ناپذیر توسط تیاگی[3]،چنا[4] و کوشیب[5] اشاره کرد[۳].

[1] Chen
[2] Schouten
[3] Tyagi

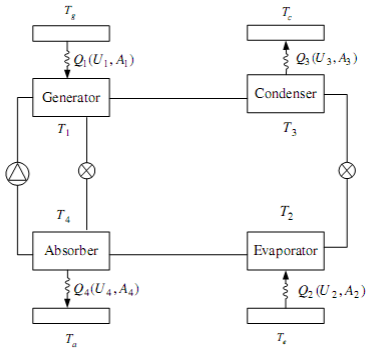
www.SID.ir

Archive of SID

در چیلر های جذبی بیشترین هزینه های اولیه چیلر از لحاظ ترمو دینامیکی مربوط به تهیه مبدل های حرارتی بکار رفته در آن در ژنراتور، کندانسور، اواپراتور و جذب کننده می باشد.

مدلسازی سیکل و روابط

برای ساده کردن محاسبات سیکل تبرید جذبی شامل ۴ منبع حرارتی جذب کننده، ژنراتور، اواپراتور و کندانسور همانطور که در شکل-۱ نشان داده شده است در نظر گرفته می شود.



شکل-۱: مدلسازی سیکل

فرض می کنیم که فرآیند ها به صورت بازگشت پذیر انجام پذیرد. فرض می شود که جریان در اجزای در حال کار سیکل ثابت است و انتقال حرارت اجزا با منابع حرارتی در طول زمان سیکل کامل τ، دماهای T_a, T_c, T_e, T_g در ژنراتور، کندانسور، اواپراتور و جذب کننده باشد. بین منابع حرارتی خارجی و اجزای در حال کار مقاومت حرارتی وجود دارد. دمای اجزای در حال کار در ژنراتور، اواپراتور، کندانسور و جذب کننده T_4, T_3, T_2, T_1 می باشد. ضرایب انتقال حرارت کل در ژنراتور، اواپراتور، کندانسور و جذب کننده مطابقا U_4, U_3, U_2, U_1 هستند. و همچنین سطوح انتقال حرارت در ژنراتور، اواپراتور، کندانسور و جذب کننده A_4, A_3, A_2, A_1 هستند. کار ورودی لازم برای پمپ محلول در سیستم در مقایسه با حرارت ورودی به ژنراتور قابل صرفنظر کردن در نظر گرفته می شود.

فرض می شود انتقال حرارت بین اجزای در حال کار و منابع حرارتی خارجی از قانون انتقال حرارت خطی (نیوتنی) پیروی کند و هر چهار فرآیند انتقال حرارت به صورت همدما باشند. بنابراین روابطانتقال حرارت چهار فرآیند انتقال حرارت بدین صورت نوشته می شود:

$$Q_1 = U_1 A_1 (T_g - T_1)\tau \quad (۱)$$

$$Q_2 = U_2 A_2 (T_e - T_2)\tau \quad (۲)$$

$$Q_3 = U_3 A_3 (T_3 - T_c)\tau \quad (۳)$$

[4] Chena
[5] kaushikb

www.SID.ir

Archive of SID

$$Q_4 = U_4 A_4 (T_4 - T_a)\tau \quad (۴)$$

که Q_4, Q_3, Q_2, Q_1 انتقال حرارت در ژنراتور، اواپراتور، کندانسور و جذب کننده هستند. از قانون اول ترمودینامیک داریم:

$$Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 = 0 \quad (۵)$$

با توجه به قانون دوم و بازگشت پذیری سیکل داریم:

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} - \frac{Q_3}{T_3} - \frac{Q_4}{T_4} = 0 \quad (۶)$$

از آنجا که مبدل ها جزء گران قیمت چیلرهای جذبی هستند. بنابراین کاهش سطح کل انتقال حرارت (A) به عنوان معیار طراحی مد نظر می باشد. در نتیجه با بهینه کردن مقدار سطح انتقال حرارت کل می توان به معیار بهینه دست پیدا کرد.

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \quad (۷)$$

پارامتر (a) به عنوان نرخ توزیع کل خروج حرارت بین کندانسور و جذب کننده تعریف می شود:

$$a = \frac{Q_3}{Q_4} \quad (۸)$$

با توجه به تعاریف استاندارد از ضریب عملکرد (COP) و بار سرمایشی اختصاصی (r) چیلر های جذبی و روابط ۱تا۸ میتوان ضریب عملکرد را بدین صورت بدست آورد:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_4^{-1} + aT_3^{-1} - (1+a)T_1^{-1}}{(1-a)T_2^{-1} - T_4^{-1} - aT_3^{-1}} \quad (۹)$$

و بار سرمایشی اختصاصی با استفاده از رابطه زیر بدست می آید:

$$r = \frac{Q_2}{A\tau} = \left\{ \frac{1}{U_2(T_e - T_2)} + \frac{T_2^{-1} - T_4^{-1} + a(T_2^{-1} - T_3^{-1})}{U_1(T_g - T_1)\left[T_4^{-1} - T_1^{-1} + a(T_3^{-1} - T_1^{-1})\right]} + \left[\frac{1}{U_4(T_4 - T_a)} + \frac{a}{U_3(T_3 - T_c)} \right] \frac{T_2^{-1} - T_1^{-1}}{T_4^{-1} - T_1^{-1} + a(T_3^{-1} - T_1^{-1})} \right\}^{-1} \quad (۱۰)$$

روابط۹و۱۰ روابط کلی برای چیلر های جذبی ۴ منبع حرارتی بازگشت پذیر هستند. از این روابط می توان برای بدست آوردن عملکرد بهینه ترمواکونومیک چیلر های جذبی چهار منبع حرارتی بازگشت پذیر استفاده کرد[۴].

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به مطالعات کودال[6] و شاهین[7] که در مرجع[۵] آمده است، معیار ترمواکونومیک چیلر های جذبی چهار منبع حرارتی بازگشت پذیر تحت عنوان قیمت کل واحد بار سرمایش که شامل هزینه سرمایه گذاری اولیه و قیمت انرژی مصرفی می باشد، تعریف می شود. بنابراین تابعی که باید بهینه شود به صورت زیر می باشد:

$$F = \frac{\frac{Q_2}{\tau}}{C_i + C_e} \qquad (۱۱)$$

که C_i, C_e نشان دهنده هزینه های سرمایه گذاری و مصرف انرژی در هر واحد زمان می باشد.هزینه سرمایه گذاری چیلر های جذبی متناسب با اندازه مبدل های حرارتی آن در نظر گرفته می شود. که می توان به عنوان مساحت کل سطح انتقال حرارت در نظر گرفت:

$$C_i = k_1 A \qquad (۱۲)$$

که ضریب k_1 برابر با فاکتور برگشت سرمایه، هزینه سرمایه گذاری در واحد مساحت سطح انتقال حرارت است. هزینه مصرف انرژی رابطه مستقیم با نرخ ورود حرارت دارد:

$$C_e = k_2 \frac{Q_1}{\tau} \qquad (۱۳)$$

که ضریب k_2 برابر با قیمت هر واحد انرژی است.
با استفاده از روابط۱۲و۱۳ و قرار دهی در رابطه۱۱ داریم:

$$F = \frac{Q_2/\tau}{(k_1 A + k_2 Q_1/\tau)} = (k_1 r^{-1} + k_2 \varepsilon^{-1})^{-1}. \qquad (۱۴)$$

با تعریف پارامتر $k = \frac{k_1}{k_2}$ به عنوان پارامتر ترمواکونومیک و با دیمانسیون $\frac{KW}{m^2}$. هنگامی که هزینه سرمایه گذاری بالا می رود و نسبت هزینه مصرف انرژی کاهش می یابد؛ پارامتر ترمواکونومیک k افزایش می یابد. رابطه۱۴ وقتی که $k \to \infty$ از معیار ترمواکونومیک به معیار بار سرمایش ویژه تغییر پیدا می کند و معیار COP می شود وقتی که $k \to 0$.
رابطه بهینه کل بین بار سرمایش ویژه و COP چیلر های جذبی بازگشت پذیر به صورت زیر است:

[6] Kodal
[7] Shahin

www.SID.ir

Archive of SID

$$r = U_2\left[T_eT_c + aT_eT_a - (T_g\varepsilon + T_e)\frac{T_cT_a(1+a)}{T_g(1+\varepsilon)}\right] \times \left\{\left[(1+b_2)^2T_c + a(1+b_3)^2T_a - \frac{a}{1+a}(b_2-b_3)^2T_e\right] - (1-b_1)^2\frac{(1+a)T_aT_c}{(1+\varepsilon)T_g} + \frac{T_e}{\varepsilon T_g}\left[(b_1+b_2)^2T_c + a(b_1+b_3)^2T_a - \frac{a}{1+a}(b_2-b_3)^2T_g\right]\right\}^{-1}, \quad (۱۵)$$

که

$$b_1 = \sqrt{\frac{U_2}{U_1}} \quad (۱۶)$$

$$b_2 = \sqrt{\frac{U_2}{U_4}} \quad (۱۷)$$

$$b_3 = \sqrt{\frac{U_2}{U_3}} \quad (۱۸)$$

با ترکیب روابط۱۵و۱۴ نسبت بهینه بین معیار ترمواکونومیک و COP در چیلر های جذبی چهار منبع حرارتی بازگشت پذیر بدست می آید:

$$k_2F = \left\{\frac{k}{U_2}\left[T_eT_c + aT_eT_a - (T_g\varepsilon + T_e)\frac{T_cT_a(1+a)}{T_g(1+\varepsilon)}\right]^{-1} \times \left[(1+b_2)^2T_c + a(1+b_3)^2T_a - \frac{a}{1+a}(b_2-b_3)^2T_e\right] - (1-b_1)^2\frac{(1+a)T_aT_c}{(1+\varepsilon)T_g} + \frac{T_e}{\varepsilon T_g}\left[(b_1+b_2)^2T_c + a(b_1+b_3)^2T_a - \frac{a}{1+a}(b_2-b_3)^2T_g\right] + \varepsilon^{-1}\right\}^{-1}. \quad (۱۹)$$

رابطه۱۹ معیار ترمواکونومیک بهینه برای یک COP معلوم را تعیین می کند و همچنین ضریب عملکرد بهینه را برای یک معیار ترمواکونومیک معلوم در چیلر های جذبی بازگشت پذیر. با بکار بستن رابطه۱۹، می توان دیگر مشخصه های عملکرد ترمواکونومیک چیلر های جذبی بازگشت پذیر با قانون انتقال حرارت خطی (نیوتنی) را بدست آورد. رابطه۱۹ نشان می دهد که معیار ترمواکونومیک $F = 0$ است وقتی که $\varepsilon = 0$ یا $\varepsilon = \varepsilon_c$ ضریب عملکرد چیلر جذبی چهار منبع حرارتی بازگشت پذیر است.

$$\varepsilon_c = \frac{T_a^{-1} + aT_c^{-1} - (1+a)T_g^{-1}}{(1+a)T_e^{-1} - T_a^{-1} - aT_c^{-1}}, \quad (۲۰)$$

www.SID.ir

Archive of SID

وقتی که $\varepsilon < \varepsilon_c$ معیار ترمواکونومیک بیشینه استخراج می شود. با استفاده از رابطه۱۹ و شرط نهایی $\frac{d(k_2 F)}{d\varepsilon} = 0$، میتوان $COP(\varepsilon_r)$ برای حداکثر مقدار معیار ترمواکونومیک بیشینه $(F_{\max})$ را بدست آورد.

$$\varepsilon_F = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(1+a)T_g^{-1} - T_a^{-1} - aT_c^{-1}}{T_a^{-1} + aT_c^{-1} - (1+a)T_e^{-1}} d_1}\right] d_1^{-1} \qquad (۲۱)$$

که

$$d_1 = \frac{(1+a)(T_g - T_e)d_2}{T_e^2[T_a^{-1} + aT_c^{-1} - (1+a)T_e^{-1}]\{d_3 + [T_cT_g + aT_aT_g - (1+a)T_aT_c]U_2/k\}} + \frac{(1-b_1)^2(1+a)T_aT_c - d_3T_e - [T_eT_c + aT_eT_a - (1+a)T_aT_c]T_gU_2/k}{T_e\{d_3 + [T_cT_g + aT_aT_g - (1+a)T_aT_c]U_2/k\}} \qquad (۲۲)$$

$$d_2 = (1+b_2)^2T_c + a(1+b_3)^2T_a - (b_2 - b_3)^2T_ea/(1+a) \qquad (۲۳)$$

و

$$d_3 = (b_1+b_3)^2T_c + a(b_1+b_3)^2T_a - (b_2 - b_3)^2T_ga/(1+a) \qquad (۲۴)$$

با استفاده از رابطه۲۱ در رابطه۱۹، می توان حد ترمواکونومیکی بیشینه یک چیلر جذبی بازگشت پذیر را بدست آورد. با قرار دادن رابطه۲۱ در رابطه۱۵، می توان بار تبرید مختص (r_F) برای معیار ترمواکونومیک بیشینه را بدست آورد. سه پارامتر $F_{\max}, r_F, \varepsilon_F$ برای طراحی ترمواکونومیک بهینه چیلر های جذبی بازگشت پذیر مهم اند. این پارامتر ها کمترین حد COP و کمترین حد بار تبرید مشخصه و حد بالای معیار ترمواکونومیک را بدست می دهد[۵و۶و۷].

بررسی و نتیجه گیری

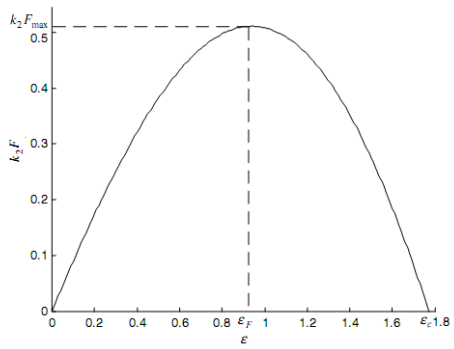
برای بررسی ترمواکونومیک و اثرات پارامتر های سیکل روی مشخصه سیکل، مساله ای نمونه را حل کرده و شرایط بدست آمده را مقایسه می کنیم. معلومات مساله بدین صورت می باشد.

$$T_g = 403K$$
$$T_e = 293K$$
$$T_c = 313K$$
$$T_a = 305K$$
$$a = 1$$
$$U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = 0.5\frac{KW}{K.m^2}$$

www.SID.ir

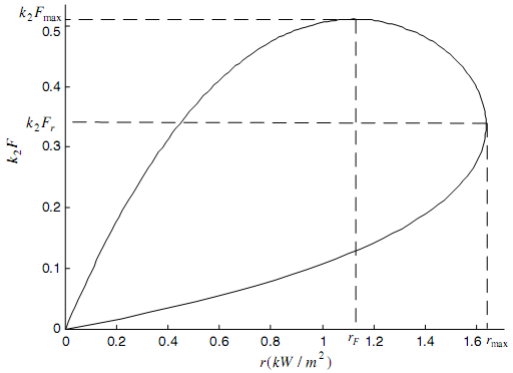
Archive of SID

در صورت تغییر دادن هر یک از پارامتر های فوق فرض می کنیم که بقیه پارامترها ثابت باشند و با مقادیر بالا برابر باشند. برای بررسی نتایج حاصل با قرار دادن مقادیر بالا، نمودار های مشخصه سیکل مورد نظر بدست آمد.شکل-۲ نشان دهنده منحنی معیار ترمواکونومیک نسبت به ضریب عملکرد چیلر جذبی بازگشت پذیر با $k=1\frac{KW}{m^2}$ می باشد. از این نمودار می توان مقدار بیشینه معیار ترمواکونومیک $(F_{\max})$ را بدست آورد.



شکل-۲: معیار ترمواکونومیک نسبت به ضریب عملکرد

همانطور که مشاهده می فرمائید این نمودار از دو قسمت با شیب مثبت و منفی تشکیل شده است. قسمتی که دارای شیب منفی است ناحیه بهینه عملکرد چیلر های جذبی برگشت پذیر را نشان می دهد.
در شکل-۳ منحنی تغییرات معیار ترمواکونومیک نسبت به بار تبرید مشخصه مشاهده می فرمائید. در اینجا هم $k=1\frac{KW}{m^2}$ می باشد. از این شکل به آسانی می توان مقدار بیشینه معیار ترمواکونومیک $(F_{\max})$ و بار تبرید ماکزیمم $(r_{\max})$ را بدست آورد. این منحنی به سه بخش تقسیم می شود. به آسانی می توان فهمید، شرایط کارکرد بهینه چیلر های جذبی همان قسمتی که منحنی دارای شیب منفی است می باشد.



شکل-۳: منحنی معیار ترمواکونومیک نسبت به بار تبرید مشخصه سیستم

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به اشکال۲و۳ می توان به ناحیه بهینه عملکرد چیلر های جذبی بازگشت پذیر که همان مقصود تحقیق است پی برد. این ناحیه باید از روابط زیر پیروی کند.

$$F_r \leqslant F \leqslant F_{\max} \tag{۲۵}$$

$$\varepsilon_F \leqslant \varepsilon \leqslant \varepsilon_r \tag{۲۶}$$

$$r_F \leqslant r \leqslant r_{\max} \tag{۲۷}$$

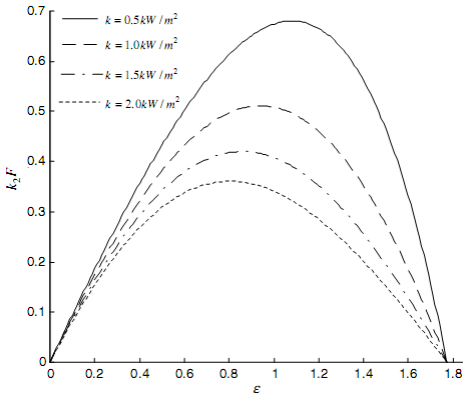
که F_r معیار ترمواکونومیک برای بار تبرید مشخصه بیشینه $(r_{\max})$ است و ε_r ، COP برای بیشینه بار تبرید مشخصه چیلر جذبی بازگشت پذیر است که بوسیله رابطهزیر داده شده است:

$$\varepsilon_r = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{(1+a)T_g^{-1} - T_a^{-1} - aT_c^{-1}}{T_a^{-1} + aT_c^{-1} - (1+a)T_e^{-1}} d_4}\right] d_4^{-1} \tag{۲۸}$$

که

$$d_4 = \frac{(1+a)\{(1-b_1)^2[T_eT_c + aT_eT_a - (1+a)T_aT_c] + (T_g - T_e)d_2\}}{T_e^2[T_a^{-1} + aT_c^{-1} - (1+a)T_e^{-1}]d_3} - 1 \tag{۲۹}$$

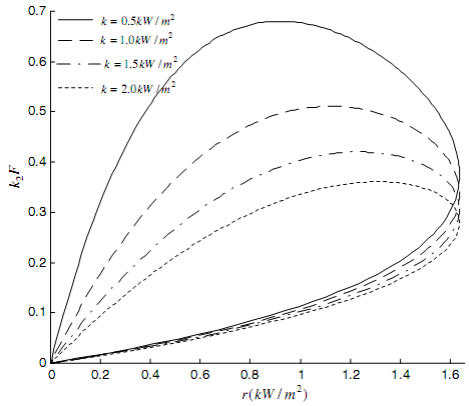
با قرار دادن رابطه۲۸ در رابطه۱۹، می توان بیشینه بار تبرید مشخصه را بدست آورد. و با قرار دادن رابطه۲۸ در رابطه۱۵، می توان معیار ترمواکونومیک (F_r) برای بار تبرید مشخصه بیشینه را بدست آورد.با تغییر دادن پارامترهای موثر بر نحوه عمل سیکل تاثیر آنها مقایسه می شود. با تغییر دادن مقدار پارامتر ترمواکونومیک شکل-۴ به عنوان منحنی مشخصه معیار ترمواکونومیک- ضریب عملکرد را برای چهار مقدار مختلف پارامتر ترمواکونومیک (k) بدست آمد و شکل-۵ منحنی مشخصه معیار ترمواکونومیک- بار تبرید را برای همان چهار مقدار نشان می دهد.



شکل-۴: تاثیر پارامتر ترمواکونومیک بر نسبت معیار ترمواکونومیک و ضریب عملکرد

www.SID.ir

Archive of SID



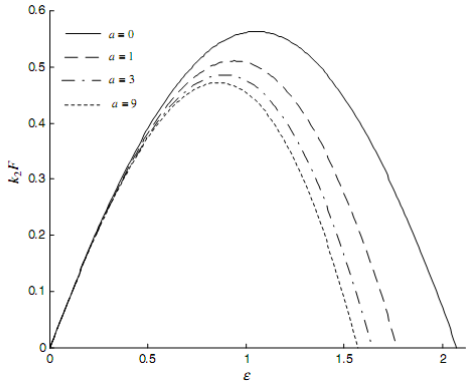
شکل-۵: تاثیر پارامتر ترمواکونومیک بر نسبت معیار ترمواکونومیک و ظرفیت تبرید

می توان از این منحنی ها چنین نتیجه گرفت که معیار ترمواکونومیک بهینه برای COP معلوم، معیار ترمواکونومیکی برای ظرفیت خاصی از تبرید و ضریب عملکرد بهینه و ظرفیت تبرید مشخصه برای معیار ترمواکونومیک معلوم با افزایش پارامتر ترمواکونومیک (k) کاهش می یابند.

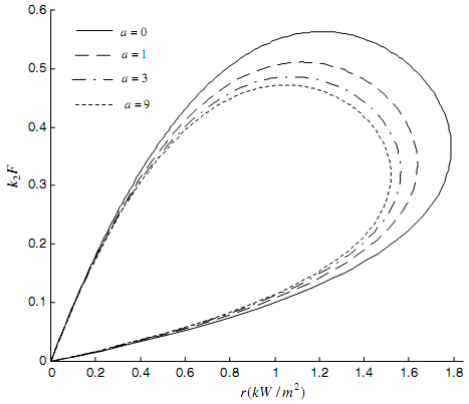
شکل-۶ منحنی مشخصه معیار ترمواکونومیک- ضریب عملکرد را برای چهار مقدار مختلف نرخ توزیع کل خروج حرارت (a) را نشان می دهد و شکل-۷ منحنی مشخصه معیار ترمواکونومیک- بار تبرید را برای همان چهار مقدار نشان می دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل-۶: تاثیر نرخ توزیع کل خروج حرارت بر نسبت معیار ترمواکونومیک و ضریب عملکرد



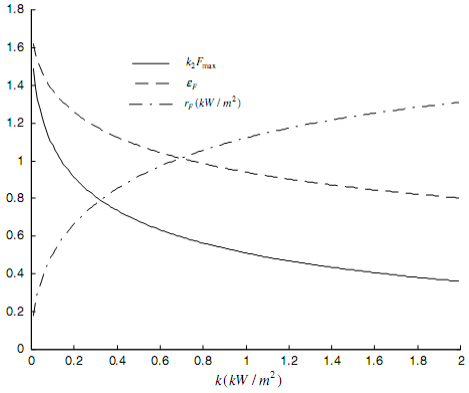
شکل-۷: تاثیر نرخ توزیع کل خروج حرارت بر نسبت معیار ترمواکونومیک و ظرفیت تبرید

می توان از این منحنی ها چنین نتیجه گرفت که معیار ترمواکونومیک بهینه برای COP معلوم، معیار ترمواکونومیکی برای ظرفیت خاصی از تبرید و ضریب عملکرد بهینه و ظرفیت تبرید مشخصه برای معیار ترمواکونومیک معلوم با افزایش نرخ توزیع کل خروج حرارت (a) کاهش می یابند.

همانطور که در شکل-۸ نشان داده شده است معیار ترمواکونومیک بیشینه و ضریب عملکرد متناظر با آن هنگامی که پارامتر ترمواکونومیک (k) افزایش می یابد کاهش یافته و بار تبرید مخصوص متناظر با معیار ترمواکونومیک بیشینه هنگام افزایش پارامتر ترمواکونومیک (k)، افزایش می یابد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل-۸: تاثیر پارامتر ترمواکونومیک روی $F_{\max}, r_F, \varepsilon_F$

فهرست علائم و متغیرها

تعریف	اندیس	تعریف	متغیر	تعریف	متغیر
ژنراتور	g	ضریب عملکرد	ε	دما	T
کندانسور	c	مصرف انرژی در هر واحد زمان	C_e	ضریب انتقال حرارت	U
اواپراتور	e	هزینه های سرمایه گذاری	C_i	سطح انتقال حرارت	A
جذب کننده	a	برگشت سرمایه	k_1	انتقال حرارت	Q
		قیمت هر واحد انرژی	k_2	بار سرمایشی مختص	r
		پارامتر ترمواکونومیک	k	نرخ توزیع کل خروج حرارت بین کندانسور و جذب کننده	a

مراجع

[1] Chen J, Schouten “A. Optimal performance-characteristic of an irreversible absorption-refrigerationsystem”. Energy Convers Manage 1998
[2] Chen J. “The optimal performance-characteristic of a four-temperature-level irreversible absorption-refrigerator at maximum specific-cooling load”. J Phys D: Appl Phys 1999
[3] S.K. Tyagi, Jincan Chena, S.C. Kaushikb “Thermoeconomic optimization and parametric study of an irreversible Stirling heat pump cycle”., International Journal of Thermal Sciences 43
[4] Wang S.K., “Handbook of Air Conditioning and Refrigeration” McGraw-Hill, 2nd Ed, New York, 2000.
[5] Kodal A, Sahin B, Ekmekci I, Yilmaz T. “Thermoeconomic optimization for irreversible absorption-refrigeration and heat pumps”. Energy Convers Manage 2003.
[6] Sahin B, Kodal A. “Finite-time thermoeconomic optimization for endoreversible refrigerators and heat pumps. ” Energy Convers Manage 1999;40(9):951–60.
[7] Chen L, Sun F, Chen W, Wu C. “Optimal performance coeffcient and cooling-load relationship of a three-heat-reservoir endoreversible refrigerator. ” Int J Power Energy Sys 1997;17(3):206–8.

www.SID.ir