

## بهینه‌سازی عملکرد دینامیکی چیلر جذبی دو بستره با کنترل‌کننده‌های دما- فشار

سید عباس سادات سکا، قزوین، بلوار نوروزیان، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، گروه مکانیک، کدپستی ۱۶۸۱۸-۳۴۱۹۴، صندوق پستی ۲۸۸؛

[sadatsakak@gmail.com](mailto:sadatsakak@gmail.com)

فرامرز اولادی سلخوری، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)؛ [faramaz.oladi@gmail.com](mailto:faramaz.oladi@gmail.com)

### چکیده

کنترل عملکرد چیلرهای جذبی معمولاً به صورت زمانی انجام می‌گیرد. این روش ساده و مقرون به صرفه می‌باشد و لذا روش مورد استفاده غالب تولید کنندگان چیلر است. در این نوشته امکان بهینه‌سازی عملکرد چیلر با استفاده از دما و فشار اندازه‌گیری شده، مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل عددی رفتار دینامیکی چیلر جذبی با هر دو روش کنترل دما-فشار و زمانی انجام شده است تا مقایسه بین این روشها امکانپذیر گردد. ظرفیت خنک‌کنندگی و ضریب عملکرد پمپ حرارتی بدست آمده نشان می‌دهد که روش کنترلی نسبت به روش زمانی ارجحیت داشته و باعث افزایش ضریب عملکرد چیلر می‌شود، ضمن آنکه کاهش ظرفیت سرمایی ناچیز می‌باشد. البته استفاده از روش کنترلی به دلیل استفاده از سنسورهای دما و فشار منجر به پیچیده‌تر شدن سیستم می‌گردد.

**کلمات کلیدی:** چیلر جذبی دو بستره، تحلیل دینامیکی، کنترل دما-فشار

### مقدمه

افزایش دمای کره زمین یکی از اساسی‌ترین موضوعات مورد توجه در جهان امروز است. علت اصلی این افزایش تولید انرژی از سوخت‌های فسیلی و همچنین افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. تبرید تراکمی از طریق مصرف انرژی و همچنین استفاده از گازهای گلخانه‌ای، نقش مضاعفی در تشدید اثر گلخانه‌ای دارد.

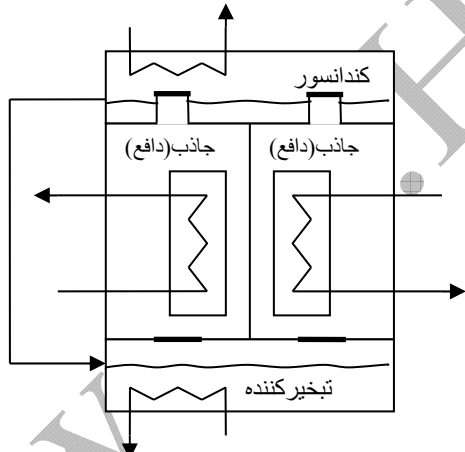
با انتشار مقاله Rowland و همکارش [۱] تهویه و تبرید بعنوان یکی از عوامل تخریب محیط زیست شناخته شد که بیشتر بدلیل تخریب لایه اوزون بود. پس از آن در نتیجه پروتکل مونترال [۲] در سال ۱۹۸۷، کلروفلوروکربن‌ها و هیدروکلروفلوروکربن‌ها که از مواد مبرد با کاربرد وسیع بودند ممنوع اعلام شدند. در نتیجه با تلاش دانشمندان مواد مبرد جدیدی بنام هیدروفلوروکربن‌ها عرضه شدند که فاقد کلر می‌باشند. اگرچه هیدروفلوروکربن‌ها هم همچنان باعث افزایش آلودگی گازهای گلخانه‌ای می‌شوند و لذا در پروتکل کیوتو در سال ۱۹۹۸ [۳] تصمیم به محدود کردن استفاده هیدروفلوروکربن‌ها گرفته شد. سرمایش جذبی بعنوان جایگزین سرمایش تراکمی می‌تواند اثرات مخرب زیست محیطی را کاهش دهد. سیستم‌های جذبی توسط حرارت عمل می‌کنند و برخلاف سیستم تراکمی، به مواد مبرد مخرب محیط زیست نیاز ندارند. اگرچه در مورد پدیده گرم شدن زمین، بایستی تاثیر عوامل مستقیم و غیر مستقیم در نظر گرفته شود. تاثیر مستقیم سیستم‌های جذبی در گرم شدن کره زمین ناچیز است، ولی تاثیر غیر مستقیم آنها می‌تواند با توجه به بازده کمتر آنها نسبت به سیستم تراکمی، قابل ملاحظه باشد که لزوم مطالعه دقیق آنها را توجیه می‌کند. البته برای کاهش اثرات غیر مستقیم می‌توان از انرژیهای نو از قبیل انرژی زمین گرمایی و یا انرژی خورشیدی سود برد. در سال‌های اخیر در زمینه بهینه

سازی چیلرهای جذبی با جاذب جامد مقالات متعددی منتشر شده است که در آن بهینه‌سازی براساس کنترل زمان سیکل، فشار و دمای اجزای سیکل انجام شده است. Aristov و همکاران بهینه‌سازی سیکل جذبی جامد را براساس اختصاص زمان جذب و دفع مطلوب بخار مبرد توسط سیلیکاژل مطرح کرده‌اند. [۴]

El- Sharkawy بهینه‌سازی زمان سیکل را با مدل سازی ریاضی مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که زمان دفع مبرد توسط سیلیکاژل دو تا سه آیتم کمتر از زمان جذب مبرد توسط سیلیکاژل می‌باشد. [۵] در این مقاله ابتدا اصول کار چیلر جذبی دو بستره توضیح داده می‌شود. سپس روابط حاکم و مدل دینامیکی مناسب برای هر یک از اجزاء آن بیان می‌شود. با استفاده از مدل‌های معرفی شده، یک چیلر دو بستره با دو روش ۱- کنترل دما-فشار و ۲- زمانی مدلسازی می‌شود. تاثیر روش کنترل بر روی پارامترهای مهم ظرفیت پمپ حرارتی و ضریب عملکرد آن تعیین و تحلیل می‌شود.

### اصول عملکرد چیلر جذبی دو بستره

فرآیندهای اصلی یک سیکل کامل چیلر جذبی دو بستره که در شکل ۱ نشان داده شده است، در این قسمت تشریح می‌شود. [۶] و [۷]



شکل ۱: شکل شماتیک یک چیلر جذبی دو بستره

در ابتدا با استفاده از منبع گرمایی خارجی سیلیکاژل حاوی آب در بستر ۱ گرم می‌شود و شیر بین بستر ۱ و کندانسور باز است در حالیکه شیر بین بستر ۱ و تبخیر کننده بسته است. بخار جدا شده از سیلیکاژل به کندانسور منتقل شده و توسط آب خنک کن در آنجا سرد شده و تقطیر می‌شود. همزمان در بستر ۲ تحول جذب آب در فشار Pevap انجام می‌شود. چون تحول جذب گرمازا است، گرمای ایجاد شده توسط آب خنک کن از سیستم به بیرون منتقل می‌گردد. سیال مبرد در تبخیر کننده با جذب گرما، تبخیر

جاذب همانند یک مبدل حرارتی با لوله های پره دار در نظر گرفته شده است که لوله ها از جنس فولاد و پره های آن مسی می باشند. سیلیکاژل در بین لوله ها و پره ها جاسازی شده اند. بخار آب در دمای  $T_{evap}$  در سیلیکاژل جذب می شود، که دارای جرم خشک  $m_{sg}$  و مقدار آب  $Q_{ads}$  بر واحد جرم سیلیکاژل می باشد. در طی فرآیند جذب، گرمای جذب  $h_{ads}$  آزاد می شود، که این گرما به سیال خنک کننده (htf) با دبی  $\dot{m}_{ads}^{htf}$  و دمای ورودی  $T_{ads,i}^{htf}$  منتقل می گردد. مبدل حرارتی دارای جرم  $m_{ads}^{hx}$  می باشد.  $T_{ads}$  بعنوان دمای سیلیکاژل و مبدل حرارتی یکسان در نظر گرفته می شود. موازنه جرم سیال مبرد بصورت زیر نوشته می شود:

$$\dot{m}_V = m_{sg} \cdot \frac{dq_{ads}}{dt}$$

که در آن  $\dot{m}_V$  نرخ جرم بخار آب که جذب می شود، است. موازنه انرژی نیز بصورت زیر نوشته می شود:

$$m_{sg} \cdot (c_{sg} + q \cdot c_w) \frac{dT_{ads}}{dt} - m_{sg} \cdot \frac{dq}{dt} \cdot h_{ads} + m_{ads}^{hx} \cdot c_{ads}^{hx} \cdot \frac{dT_{ads}^{hx}}{dt} + k_{ads}^{hx} \cdot A_{ads}^{hx} \cdot (T_{ads} - T_f) + m_{sg} \cdot \frac{dq}{dt} \cdot (h_w^v - h_{w,in}^v) = 0$$

جمله اول تغییر انرژی داخلی سیلیکاژل و آب را بیان میکند. جمله دوم بیانگر مقدار انرژی آزاد شده در حین فرآیند جذب است. جمله سوم نمایانگر تغییر انرژی داخلی مبدل حرارتی بوده و جمله چهارم حرارت منتقل شده به سیال خنک کن در دمای  $T_f$  می باشد. جمله آخر برای در نظر گرفتن حرارت لازم جهت افزایش دمای بخار آب از دمای تبخیر کننده به دمای جاذب است.

۲- مدل فیزیکی دافع

دافع شامل یک مبدل حرارتی است که سیلیکاژل بین پره ها و لوله های آن جاسازی شده است. آب داغ با جریان جرمی  $\dot{m}_{des}^{htf}$  و دمای  $T_{des,i}^{htf}$  وارد می شود و سیلیکاژل را گرم می کند که باعث آزاد شدن بخار آب می شود. این بخار آب به کندانسور رفته و در آنجا تقطیر می شود. موازنه جرمی آب بصورت زیر نوشته می شود:

$$\dot{m}_V = m_{sg} \cdot \frac{dq_{des}}{dt}$$

که در آن  $\dot{m}_V$  نرخ جرم بخار آب که جذب می شود، است. موازنه انرژی مشابه با موازنه انرژی جاذب:

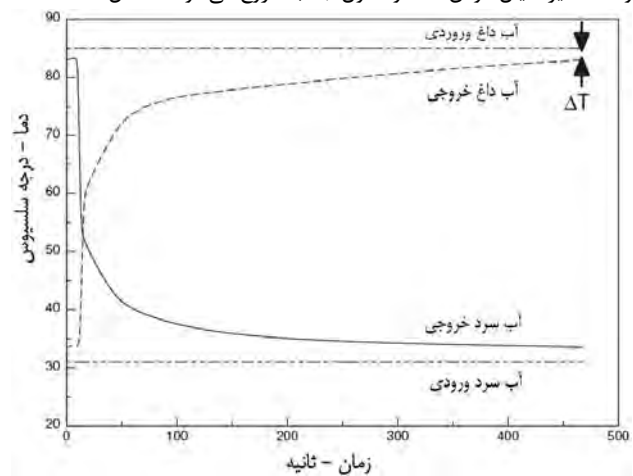
$$m_{sg} \cdot (c_{sg} + q \cdot c_w) \frac{dT_{ads}}{dt} - m_{sg} \cdot \frac{dq}{dt} \cdot h_{ads} + m_{des}^{hx} \cdot c_{des}^{hx} \cdot \frac{dT_{des}^{hx}}{dt} + k_{des}^{hx} \cdot A_{des}^{hx} \cdot (T_{ads} - T_f) = 0$$

جمله اول تغییر انرژی داخلی سیلیکاژل و آب را بیان میکند. جمله دوم بیانگر مقدار انرژی جذب شده در حین فرآیند دفع است. جمله سوم نمایانگر تغییر انرژی داخلی مبدل حرارتی بوده و جمله چهارم حرارت منتقل شده از سیال گرم کن در دمای  $T_f$  می باشد. جمله آخر برای در نظر

می شود و فرآیند جذب در بستر ۲ تا حداکثر مقدار ممکن ادامه پیدا می کند. پس از کامل شدن فرآیند نخست، شیرها بسته می شوند و بستر ۱ توسط مایع خنک کن سرد می شود، در حالیکه بستر ۲ با استفاده از منبع حرارتی گرم می شود. وقتی بستر گرم بعد کافی خنک شد و بستر سرد بعد کافی گرم شد، شیر بین بستر سرد و تبخیر کننده باز می شود تا عمل جذب صورت گیرد. همچنین شیر بین تقطیر کننده و بستر ۲ باز می شود تا عمل دفع صورت گیرد. در نهایت دوباره بسترهای ۱ و ۲ در حالت شیرهای بسته بترتیب گرم و سرد می شوند تا سیکل کامل گردد.

شیرهای بین بسترها و تقطیر کننده و همچنین شیرهای بین بسترها و تبخیر کننده را می توان بصورت زمانی و یا بر اساس فشار حاکم کنترل کرد. باز شدن شیر بین تبخیر کننده و بستر خنک، قبل از اینکه فشار بستر با فشار تبخیر کننده برابر شود، باعث ورود بخار آب به تبخیر کننده شده و در نتیجه منجر به گرم شدن تبخیر کننده و کاهش توان سرمایی می شود. در روش کنترلی شیرهای رابط با توجه به فشار حاکم انجام گرفته و این نقیصه بر طرف می گردد.

در روش زمانی بدون توجه به اینکه بستر جاذب به حد کافی خنک شده است و یا اینکه بستر دافع به حد کافی گرم شده است، شیرها باعث تغییر مسیر سیالهای سرد کننده و گرم کننده می شوند. در روش کنترلی اختلاف دمای سیال گرم کننده بستر دافع بعنوان پارامتر کنترل کننده مسیر سیالهای سرد کننده و گرم کننده استفاده می شود. بدینصورت که پس از اینکه اختلاف دمای ورود و خروج کمتر از حد معینی گردید، فرض می شود که بستر دافع دارای حداقل آب ممکن بوده و امکان دفع بیشتر آب را ندارد و لذا مسیر سیال عوض شده و تحول جذب شروع می شود. (شکل ۲)



شکل ۲: دمای سیالات خنک/گرم کننده جاذب/دافع

روش کنترلی بر اساس دما و فشار نیاز به اندازه گیری این دو پارامتر دارد، که باعث پیچیده تر و گرانتر شدن در مقایسه با روش زمانی است، ولی در ادامه نشان داده می شود که این روش عملکرد بهینه چیلر را تحت شرایط مختلف ورودی تضمین می کند.

### مدلسازی ترمو دینامیکی

مدلسازی ترمودینامیکی چهار جزء جذب کننده، دفع کننده، کندانسور و تبخیر کننده که در محیط Matlab انجام گرفته است که در این قسمت توضیح داده می شود. [۷]

۱- مدل فیزیکی جاذب

جمله اول تغییر انرژی داخلی تبخیرکننده را بیان می‌کند. جمله دوم بیانگر مقدار تغییر انرژی داخلی آب مایع موجود در تبخیر کننده است. جمله سوم بیانگر مقدار انرژی منتقل شده توسط سیال گرم کننده است. جمله آخر برای در نظر گرفتن حرارت ناشی از تبخیر است. فرض می‌شود که آب مایع در فشار تبخیر کننده و دمای  $T_{cond}$  وارد می‌شود و تحول تبخیر فقط تا نقطه بخار اشباع ادامه می‌یابد. که در نتیجه:

$$h_W^V = (r_0 + c_W^V \cdot T_{evap})$$

$$h_W^l = c_W^l \cdot T_{cond}$$

که در آن  $r_0$  گرمای نهان تبخیر در صفر درجه سلسیوس می‌باشد.

۵- مدل انتقال جرم

مدل خطی که توسط Sakoda و Suzuki [۸] برای توصیف مقاومت در برابر انتقال جرم در ذرات جاذب ارائه شده است، در این نوشته استفاده شده است. طبق این مدل داریم:

$$\frac{dq}{dt} = k_{Sp} a_p (q - q^*)$$

که در آن  $q$  ظرفیت متوسط جذب درون ذرات و  $q^*$  ظرفیت جذب در حالت تعادل می‌باشد که بستگی به دما و فشار جاذب دارد. ضریب کلی نفوذ  $K_S$  حاصل ضرب ضریب انتقال جرم ( $K_S$ ) و نسبت سطح به حجم ذرات  $a_p$  جاذب می‌باشد. Glueckauf [۹] رابطه زیر را برای ضریب کلی نفوذ پیشنهاد کرده است:

$$k_{Sp} a_p = \frac{15 D_S}{R_p^2}$$

که در آن  $D_S$  ضریب نفوذ سطحی و  $R_p$  شعاع متوسط ذرات می‌باشد.  $D_S$  بستگی به دمای جاذب دارد و رابطه زیر برای آن ارائه شده است:

$$D_S = D_{S0} \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right)$$

که در آن  $R$  ثابت عمومی گازها است. برای پارامترهای  $D_{S0}$  و  $E_a$  برای سیستم سیلیکاژل و آب مقادیر زیر پیشنهاد شده است [۱۰]:

$$D_{S0} = 2.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$E_a = 4.2 \cdot 10^4 \text{ J/mol}$$

برای  $q$  نیز مدل‌های تجربی مختلفی ارائه شده است، که سه مدل مهم آن در [۷] با یکدیگر مقایسه شده اند و نشان داده شده است که استفاده از مدل ارائه شده توسط Chua و همکارانش [۱۰] که بر پایه نتایج تجربی بدست آمده است، تطابق بهتری با نتایج عملی دارد:

$$q = \frac{K_0 \exp\left(\frac{\Delta h_{ads}}{RT}\right) P}{1 + \left\{ \frac{K_0}{q_m} \exp\left(\frac{\Delta h_{ads}}{RT}\right) P \right\}^t}^{1/t}$$

که در آن  $P$  فشار تعادل جاذب در حالت گازی،  $T$  دمای تعادل در حالت گازی،  $R$  ثابت عمومی گازها می‌باشد. بقیه پارامترها مقادیر ثابتی هستند که مقدار آنها در مرجع ذکر شده [۱۱] آمده است. لذا در این نوشته از مدل ذکر شده استفاده می‌شود.

گرفتن حرارت لازم جهت افزایش دما بخار آب از دمای تبخیر کننده به دمای جاذب است.

۳- مدل فیزیکی کندانسور

بخار آب با جریان جرمی  $\dot{m}_V$  و دمای  $T_{des}$  وارد کندانسور می‌شود. مبدل حرارتی کندانسور دارای جرم خشک  $m_{cond}^{hx}$  و دمای  $T_{cond}^{hx}$  است. دمای آب تقطیر شده برابر با دمای مبدل  $T_{cond}^{hx}$  در نظر گرفته می‌شود. آب خنک کن با دبی  $\dot{m}_{cond}^{htf}$  و دمای ورودی  $T_{cond,i}^{htf}$  وارد می‌شود. می‌توان فرض کرد که در شروع، حداکثر آب تقطیر شده در کندانسور وجود دارد که در نتیجه موازنه جرم آب در کندانسور بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$\dot{m}_V = \dot{m}_W$$

که در آن  $\dot{m}_V$  جرم بخار آب وارد شده به کندانسور و  $\dot{m}_W$  جرم آب مایع خارج شده از آن می‌باشد. و موازنه انرژی:

$$\left( m_{cond}^{hx} \cdot c_{cond}^{hx} + m_W \cdot c_W \right) \frac{dT_{cond}}{dt} + k_{cond}^{hx} \cdot A_{cond}^{hx} \cdot (T_{cond} - T_f) + m_{sg} \cdot \frac{dq_{des}}{dt} (h_W^l - h_W^V) = 0$$

جمله اول تغییر انرژی داخلی کندانسور و آب موجود در آن را بیان می‌کند. جمله دوم بیانگر مقدار انرژی منتقل شده توسط سیال خنک کننده است. جمله آخر برای در نظر گرفتن حرارت ناشی از تقطیر است. فرض می‌شود که بخار آب در فشار کندانسور و دمای دافع  $T_{des}$  وارد می‌شود و تحول تقطیر فقط تا نقطه مایع اشباع ادامه می‌یابد. که در نتیجه:

$$h_W^V = (r_0 + c_W^V \cdot T_{cond}) + c_W^V (T_{des} - T_{cond})$$

$$h_W^l = c_W^l \cdot T_{cond}$$

که در آن  $r_0$  گرمای نهان تبخیر در صفر درجه سلسیوس می‌باشد.

۴- مدل فیزیکی تبخیر کننده

در حین تحول تبخیر، ارتباط بین جاذب و تبخیر کننده برقرار می‌باشد. در تبخیر کننده جرم  $m_{evap}^W$  آب مایع وجود دارد که بعنوان مستهلک کننده نوسانات دما که ناشی از عملکرد ناپیوسته چیلر جذبی است، عمل می‌کند. آب داغ با دمای  $T_{evap,i}^{htf}$  و دبی  $\dot{m}_{evap}^{htf}$  وارد لوله های مسی تبخیر کننده می‌شود، در حالیکه آب تقطیر شده در کندانسور با دمای  $T_{cond}$  و دبی  $\dot{m}_W$  وارد تبخیر کننده شده و روی لوله های مسی آن جریان دارد. با جذب حرارت این آب در فشار کم تبخیر شده و بخار ایجاد شده با دبی  $\dot{m}_V$  بسمت جاذب جهت جذب می‌رود. موازنه جرمی عبارت است از:

$$\frac{dm_{evap}^W}{dt} = \dot{m}_W - \dot{m}_V$$

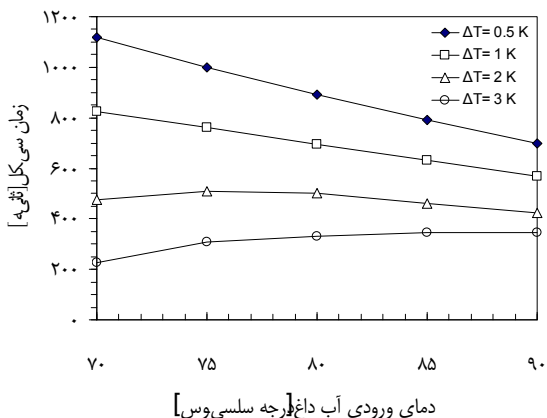
و موازنه انرژی:

$$m_{evap}^{hx} \cdot c_{evap}^{hx} \frac{dT_{evap}}{dt} + c_W^l \frac{d(m_{evap}^W \cdot T_{evap})}{dt} + k_{evap}^{hx} \cdot A_{evap}^{hx} \cdot (T_{evap} - T_f) - (\dot{m}_V h_W^l - \dot{m}_W h_W^V) = 0$$

نتایج

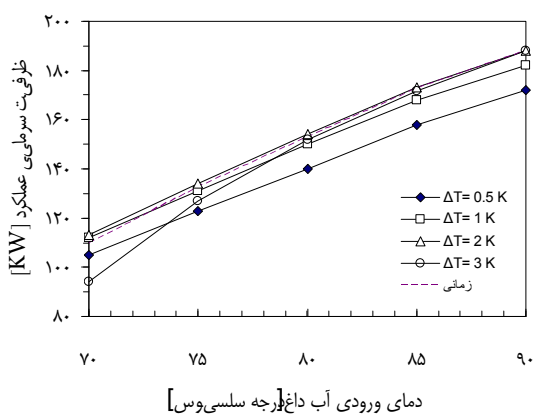
در این نوشته برای مدل‌سازی دینامیکی یک چیلر جذبی با ظرفیت اسمی ۱۷۰ KW از مقادیر ارایه شده توسط Decker [۱۲] استفاده شده است. این مقادیر شامل دبی های جرمی و دماهای ورودی سیالات گرم و سرد کننده، ضرایب انتقال حرارت در کندانسور، تبخیر کننده و سیلیکاژل و خواص فیزیکی سیلیکاژل می‌باشد. لازم بذکر است که نتایج بدست آمده توسط این مدل، برای یک چیلر ۱۷۰ KW با نتایج تجربی Nishiyodo [۱۳] مقایسه شده و همخوانی خوبی را نشان می‌دهد [۷]. لذا از این مدل برای بررسی تاثیر روش کنترل بر روی عملکرد چیلر استفاده می‌شود. در تمامی نتایج دمای ورودی آب خنک کننده جاذب، ۳۱ درجه سانتیگراد و دمای آب خنک کننده تبخیر کننده، ۱۴ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است.

در شکل ۳ ضریب عملکرد چیلر بر حسب دمای آب داغ ورودی برای مقادیر مختلف  $\Delta T$  (اختلاف دمای ورودی و خروجی سیال گرم کننده سیلیکاژل) رسم شده است. مشاهده می‌شود که با کاهش  $\Delta T$ ، ضریب عملکرد افزایش می‌یابد. این افزایش در دماهای ورودی کمتر قابل ملاحظه‌تر است. اختلاف قابل توجه ضریب عملکرد برای  $\Delta T = 2 K$  و  $\Delta T = 1 K$  نشان‌دهنده ارجحیت فوق العاده روش کنترلی نسبت به روش زمانی است. این نتیجه مخصوصاً در صورت استفاده از جمع‌کننده‌های خورشیدی مسطح جهت تولید حرارت لازم، بسیار حایز اهمیت می‌باشد، زیرا این جمع‌کننده‌ها قادر به تولید دمای بالا نیستند.



شکل ۴: زمان سیکل لازم بر حسب دمای آب داغ ورودی

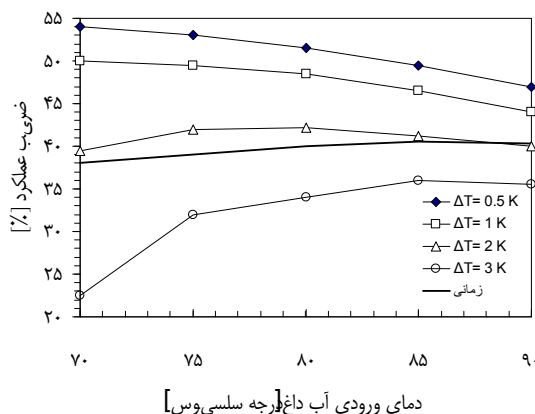
برای بررسی مقدار کاهش ظرفیت سرمایی، در شکل ۵ ظرفیت سرمایی چیلر بر حسب دمای آب داغ ورودی برای مقادیر مختلف  $\Delta T$  ترسیم شده است. جهت مقایسه بین دو روش، ظرفیت سرمایی با کنترل زمانی ( زمان سیکل ۴۵۰ S ) نیز در شکل ۵ ترسیم شده است.



شکل ۵: ظرفیت سرمایی چیلر بر حسب دمای آب داغ ورودی

با توجه به این شکل مشخص است که کاهش ظرفیت سرمایی به ازای  $\Delta T = 1 K$  نسبت به روش زمانی قابل توجه نیست، ولی افزایش ضریب عملکرد قابل ملاحظه می‌باشد ( شکل ۳)، که همانگونه که ذکر شد، نشان‌دهنده مزیت روش کنترلی است.

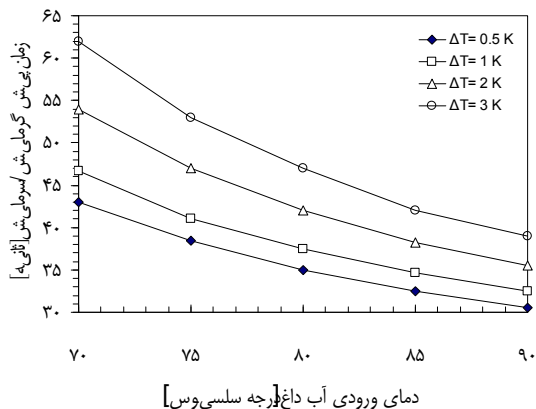
در شکل ۶ زمان پیش‌گرمایش/پیش‌سرمایش بر حسب دمای آب داغ ورودی برای مقادیر مختلف  $\Delta T$  ترسیم شده است. زمان ذکر شده، در روش زمانی مقدار ثابت ۳۰ S توسط سازندگان چیلر استفاده می‌شود [۱۳].



شکل ۳: ضریب عملکرد محاسبه شده بر حسب دمای آب داغ ورودی

همچنین، جهت مقایسه بین دو روش، ضریب عملکرد با کنترل زمانی ( زمان سیکل ۴۵۰ S ) نیز در شکل ۳ ترسیم شده است، که نشان می‌دهد این روش تقریباً معادل  $\Delta T = 2 K$  می‌باشد. اگرچه کاهش  $\Delta T$  باعث افزایش زمان سیکل و در نتیجه کاهش ظرفیت چیلر می‌شود. زمان سیکل بر حسب دمای آب داغ ورودی برای مقادیر مختلف  $\Delta T$  در شکل ۴ رسم شده است.

$R_p$	شعاع متوسط ذرات (m)
$r_0$	گرمای نهان تبخیر (kJ)
$T$	دما ( $^{\circ}C$ )
$t$	زمان (s)
	<b>زیر نویس ها</b>
$ads$	جاذب
$cond$	کندانسور
$des$	دافع
$f$	سیال
$i$	ورودی
$sg$	سیلیکا زل
	<b>بالا نویس ها</b>
$h_{tf}$	سیال خنک کننده
$h_x$	مبدل
$l$	مایع
$v$	بخار
$w$	آب



شکل ۶: زمان پیش گرمایش/سرمايش بر حسب دمای آب داغ ورودی اما همانطور که در شکل ۶ مشاهده می شود، زمان ۳۰ s فقط در حالت  $\Delta T = 0.5 K$  و دمای آب داغ ۹۰ درجه سلسیوس کافی می باشد در بقیه موارد شیر بین تبخیر کننده و بستر خنک، قبل از اینکه فشار بستر با فشار تبخیر کننده برابر شود، باز می شود که در نتیجه آن بخار آب به تبخیر کننده راه یافته و باعث گرم شدن آن می شود. در نهایت این عمل موجب کاهش توان سرمایی می شود. این نکته، مخصوصاً در مواردی که دمای آب ورودی ثابت نیست، حایز اهمیت است.

#### نتیجه گیری نهایی

در این نوشته مدلسازی ترمودینامیکی یک چیلر جذبی توضیح داده شده است و سپس بهینه سازی عملکرد آن بروش کنترل دما/فشار تشریح شده است. تاثیر روش کنترل چیلر بر روی عملکرد چیلر بررسی شده و نشان داده می شود که روش کنترلی نسبت به روش زمانی بخصوص وقتی که دمای منبع گرمایی بالا نیست (مثلا در صورت استفاده از جمع کننده های خورشیدی مسطح جهت تولید حرارت لازم) برتری داشته و باعث افزایش قابل ملاحظه ضریب عملکرد چیلر می شود، ضمن آنکه کاهش ظرفیت سرمایی ناچیز می باشد. البته استفاده از روش کنترلی منجر به پیچیده تر شدن سیستم می گردد.

#### فهرست علائم

$A$	مساحت ( $m^2$ )
$a_p$	نسبت سطح به حجم
$D_s$	ضریب نفوذ سطحی
$c$	گرمای ویژه ( $kJ/kg.k$ )
$h$	آنتالپی ( $kJ$ )
$k$	ضریب انتقال حرارت ( $w/m^2.k$ )
$k_s$	ضریب انتقال جرم
$m$	جرم ( $kg$ )
$\dot{m}$	دبی جرمی ( $kg/s$ )
$p$	فشار ( $kp$ )
$q$	مقدار جذب آب ( $kg/kg.sg$ )
$q^*$	ظرفیت جذب در حالت تعادل ( $kg/kg.sg$ )
$R$	ثابت عمومی گازها

#### مراجع

- [1] Rowland F.S. and Molina M.J., *Stratospheric sink for chlorouromethanes : Chlorine-atom catalysed destruction of ozone*, Nature, 249, p. 810, 1974.
- [2] United Nations Environment Programme. *The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*. United Nations Environment Programme.
- [3] United Nation, *Report of the Conference of the Parties on Its Third Session*, United Nation, Kyoto 1-11 December 1997.
- [4] Aristov Yu.I, Sapienza A, Ovoshchnikov D.S , Freni A, Restuuccia.G, *Reallocation of adsorption and desorption times for optimization of cooling cycles*, p 525-531, 2012.
- [5] EL- Sharkawy I.I, Abdelmeguid H, saha B.B., *Towards an optimal performance of adsorption chillers: reallocation of adsorption / desorption cycle times*, p 171-182, 2013.
- [6] Wang R.Z., *Performance improvement of adsorption cooling by heat and mass recovery operation*, Int. Journal of Refrigeration, 24, p. 602, 2001.
- [۷] - سادات سکاک ، سیدعباس، مدلسازی و تحلیل دینامیکی یک چیلر جذبی دوبستره (Silicagel-Water) ، ارائه شده به نشریه علمی پژوهشی دوفصلنامه ارزیابی تجدیدپذیر و نو، ۱۳۸۶
- [8] Sakoda A. and Suzuki M., *Fundamental study on solar powered adsorption cooling System*, Journal of Chemical Engineering Japan, 17(1), p. 52, 1984.
- [9] Glueckauf. *Trans. Faraday Sci.*, 51, p. 1540, 1955.
- [10] Cho S.H. and Kim J.N., *Modeling of a silica gel/ water adsorption cooling system*, Energy, 17(9), p. 829, 1992
- [11] H.T., Ng K.C., Chakraborty A., Oo N.M., and Othman M.A., *Adsorption characteristics of silica gel + water systems*, Journal of Chemical Eng. Data, 47, p.1177, 2002.
- [12] Decker C., Gorres M., Schramek E.R., and Ulbig P., *Modellierung von Adsorptionskaltmaschinen zur Simulation realer Lastanforderungen*, KI Luft- und Kaltetechnik, 11 p. 537, 2000.
- [13] *Techincal Brochure from* <http://www.adsorption.de> GBUmhb Adsorption

Chiller NAK.