۱۵-۱۴ سفند ۱۳۸۷
دانشگاه فردوسی مشهد

استفاده از چرخ آنتالپی راه حلی در کاهش هزینه تهویه هوای گلخانه ها

جلال برادران مطیع[۱]، محمد حسین عباسپور فرد[۲]، سعید رضا سبحانی پور[۳]، حسن دروگر[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- عضو هیأت علمی گروه مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

تولید محصولات کشاورزی در گلخانه ها به دلیل افزایش تولید در واحد سطح، استفاده بهینه از نهاده ها و غلبه بر شرایط نا مساعد محیط کشت رواج یافته است. در این روش، شرایط گیاه در گلخانه، باید به دقت کنترل شده و همواره دما و رطوبت محیط در مقدار استاندارد حفظ شود. تهویه هوا خصوصاً در زمستان مستلزم صرف انرژی و هزینه جهت کنترل دما و رطوبت محیط کشت گیاه می باشد. به منظور صرفه جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه های تولید، نیاز به استفاده از سیستم های بازیاب انرژی احساس می شود.

در این مقاله سیستم چرخ آنتالپی به عنوان بازیاب انرژی در تهویه هوا مورد بحث قرار می گیرد. پس از بررسی میزان کاهش هزینه ها، با ارائه طرحی شرایط محل نصب و تجهیزات مورد نیاز در یک گلخانه جهت استفاده از چرخ آنتالپی بررسی می شود.

واژگان کلیدی: چرخ انتالپی، بازیاب انرژی، سیستم تهویه، گلخانه، هزینه.

مقدمه

امروزه اکثر گلخانه های مدرن آنقدر درز بندی می شوند که آلاینده های داخلی نظیر باکتری ها، ویروسها، گازها نمی توانند خارج شده و در نتیجه با گذشت زمان، سیر صعودی تولید آلاینده ها موجب می شود. میزان آلودگی از حد مجاز در استاندارد[۱] ها فراتر رود و برای سلامت گیاهان مضر باشد. یکی از بهترین راههایی که می توان بوسیله آن میزان آلاینده های بدام افتاده در هوای گلخانه را کاهش داد، وارد کردن هوای تازه از خارج ساختمان و رقیق کردن آلاینده های موجود می باشد تا از حد استاندارد فراتر نروند. حدود ۵۰ درصد از هوای مصرفی تجهیزات تهویه مطبوع را باید هوای تازه تشکیل دهد(سمکو[۲] ۲۰۰۷).

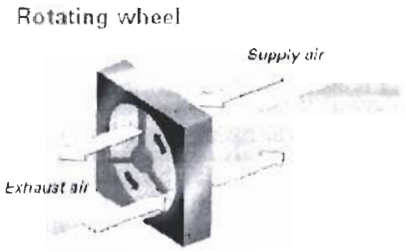
از طرفی ورود هوای خارج گلخانه بداخل، مستلزم صرف انرژی برای رساندن آن به دما و رطوبت هوای داخل می باشد. همچنین هوایی که از این طریق خارج می شود دارای مقدار زیادی انرژی می باشد که با خروج آن این انرژی هدر می رود. بدین جهت بمنظور صرفه جویی در مصرف انرژی و کاهش هزینه های تولیدات گلخانه ای، استفاده از سیستم های بازیاب انرژی پیشنهاد می شود. این سیستم ها عبارتند از چرخ های حرارتی[۳]، صفحات حرارتی[۴]، چرخه های حرارتی[۵] و لوله های حرارتی[۶]. در این مقاله چرخ های حرارتی را مورد بررسی قرار می دهیم و در پایان استفاده از چرخ آنتالپی[۷] را پیشنهاد می کنیم.

---

[1] ASHRAE 62
[2] SEMCO
[3] Heat Wheels
[4] Heat Plates
[5] Runaround Loops
[6] Heat Pipes
[7] Enthalpy Wheels

مواد و روشها

چرخ های حرارتی تشکیل شده اند از یک استوانه پره دار از جنس آلومینیم، فولاد یا مس . در این سیستم جریان هـوای ورودی و جریان هوای خروجی هرکدام با نیمی از مساحت مقطع استوانه برخورد می کنند. در اثـر اخـتلاف دمـای هـوای ورودی و هـوای خروجی، استوانه پره دار بعنوان یک رابط انرژی عمل کرده و گرما را بین هوای ورودی و خروجی منتقل می کند. به عنـوان مثـال در فصل زمستان گرما از هوای خروجی گرفته شده و به استوانه منتقل می شود، سپس بـا چـرخش اسـتوانه نیمـه گـرم آن مقابـل جریان هوای ورودی قرار می گیرد و گرما را به هوای ورودی می دهد.



شکل (۱): شماتیک جریان هوا در چرخ آنتالپی

چرخ های حرارتی به دو دسته تقسیم می شوند :

چرخ حرارتی: نوع معمول چرخ حرارتی می باشند که فقط توانای انتقال حرارت بین هوای ورودی و خروجی را دارند. بازده ای بین ۵۰ تا ۸۵ درصد دارد و با سرعت ۲۵ تا ۵۰ دور در دقیقه می چرخد.

چرخ آنتالپی: در این نوع سطح استوانه با ماده ای جاذب رطوبت پوشانده شده است بنابراین چرخ آنتالپی علاوه بر انتقال حرارت، رطوبت را نیز می تواند بین هوای ورودی و خروجی منتقل کند. سرعت چرخش آنها بین ۲۵ تا ۵۰ دور در دقیقـه مـی باشـد. در جدول ۱ مقایسه ای بین انواع بازیاب انرژی انجام می دهیم.

جدول (۱): مقایسه ای بین انواع بازیاب های انرژی

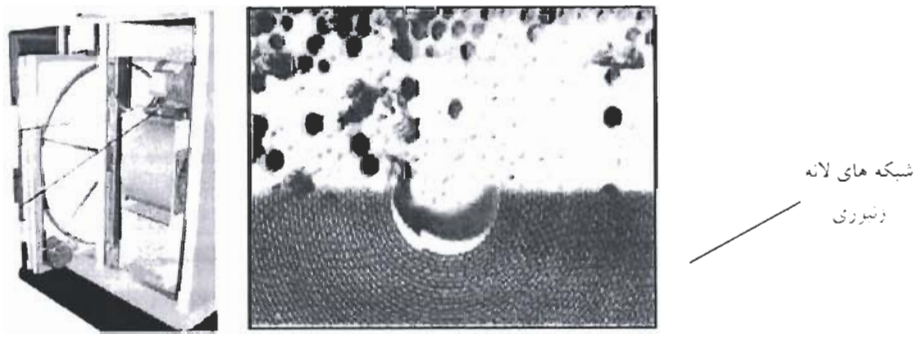
	صفحات حرارتی	چرخ های حرارتی	لوله های حرارتی	چرخه های حرارتی
نشت جانبی	۰-۵٪	۰.۵ -۱۰٪	بسیار کم	صفر
بازده انتقال انرژی	۵۰ تا ۸۰ درصد	۵۰ تا ۸۵ درصد	٤٥ تا ٦٥ درصد	٥٥ تا ٦٥ درصد
کنترل ظرفیت	کنترل میزان هوای عبوری	کنترل سرعت چرخش و هوای عبوری	زاویه بین لوله ها	کنترل سرعت جریان مایع
محدودیت	ابعاد بزرگ	نشت جانبی	افت فشار هوا	نیاز به طراحی دقیق
مزیت	بدون قطعات متحرک	تجهیزات مجتمع و فشرده	بدون قطعات متحرک	هوای ورودی و خروجی از هم جدا هستند

یک سیستم بازیاب انرژی مجهز به چرخ آنتالپی، از ۵ بخش اصلی به عنوان اجزاء عامل تشکیل شده است : ۱- استوانه پره دار، ۲-ماده جاذب رطوبت، ۳-صفحات لانه زنبوری، ٤-آب بند ها، ۵-فیلتر ها.

۱- **استوانه پره دار یا روتور**: روتور در چرخ آنتالپی اصلی ترین جزء است و معمولاً از فولاد، آلومینیم، مس و یا مونل[8] که دارای ضریب انتقال حرارتی بالایی هستند ساخته می شود. بدلیل اینکه آلومینیم دارای وزن مخصوص پایین تری نسبت به فولاد است، استفاده از آن موجب کاهش وزن نهایی روتور و سهولت در بالانس و کاهش توان مورد نیاز برای به حرکت در اوردن آن می شود. این امر موجب افزایش عمر قطعات اصطکاکی نظیر یاتاقان ها و همچنین کاهش هزینه مربوط به نگهداری و تعمیرات می شود.

روتور توسط یک موتور الکتریکی بوسیله تسمه و پولی با سرعت کاری بین ۰/۲۵ تا ۵۰ دور در دقیقه به گردش در می آید. وظیفه روتور انتقال گرما و رطوبت از هوای ورودی به جریان هوای خروجی در تابستان و بلعکس انتقال گرما و رطوبت از هوای خروجی به جریان هوای ورودی در زمستان می باشد. قطر روتور بین ٤۰ تا ۱۷۰ اینچ با توجه به ظرفیت سیستم متغیر است. بین پره های استوانه صفحات لانه زنبوری نصب می شوند.

۲- **صفحات لانه زنبوری** : به منظور افزایش سطح تماس روتور و ماده جاذب رطوبت با هوا روی پره های استوانه صفحات مشبکی به شکل لانه زنبور نصب می شود . سطح این صفحات پوشیده از ماده جاذب رطوبت می باشد.



شکل (۲): صفحات مشبک لانه زنبوری و مقایسه آن با شانه زنبور عسل

۳- **ماده جاذب رطوبت**[9] : در چرخ آنتالپی و سیستم های تهویه مطبوع، سه نوع ماده جاذب رطوبه پرکاربرد عبارتند از : کلرید لیتیم[10]، ژل سیلیکات[11] و غربال های ملکولی[12] .

---

[8] آلیاژی از نیکل و کبالت

[9] Desiccant
[10] Lithium chloride
[11] Silica gel
[12] Molecular sieves

- کلرید لیتیم: کلرید لیتیم در دو دهه گذشته کاربرد فراوانی در سیستم های تهویه مطبوع داشته است اما امروزه کمتر از آن استفاده می شود. کلرید لیتیم با جذب رطوبت تحلیل رفته و بصورت محلول در می آید، در نتیجه به مرور از مقدار آن کاسته می شود. این امر عمر کاری سیستم را محدود می کند.

- ژل سیلیکات : ژل سیلیکات تشکیل شده از سیلیکات تیتانیم به همراه مواد افزاینده که ظرفیت جذب رطوبت آنها بسیار زیاد بوده و جزء پر کاربرد ترین مواد جاذب رطوبت مورد استفاده در چرخ آنتالپی می باشد. عیب ژل سیلیکات آن است که به همراه رطوبت هوا، ناخالصی ها و آلاینده ها را جذب کرده و با چرخش چرخ آنتالپی این الاینده ها را به هوای ورودی انتقال می دهد.

- غربال ملکولی : غربال ملکولی از خلل و فرج بین کریستالهای سیلیکات آلومینیم تشکیل شده است. این نوع جاذب الرطوبه تحت خانواده ای به نام « زئولایت[۱۳] » قرار می گیرند. نحوه اتصال ملکول های سیلیکات و آلومینیم ساختاری کریستالی ایجاد می کند که دارای منافذی به قطر ٤ آنگستروم می باشد. ملکول آب کوچکتر از ۳.۸ آنگستروم است و به راحتی درون منافذ می تواند قرار گیرد. از طرف دیگر کوچکترین ملکولی آلی که می تواند به عنوان ناخالصی در هوا موجود باشد متان است که قطر آن حدود ٤.۲ آنگستروم است،در نتیجه درون منافذ ماده جاذب الرطوبه قرار نمی گیرد.

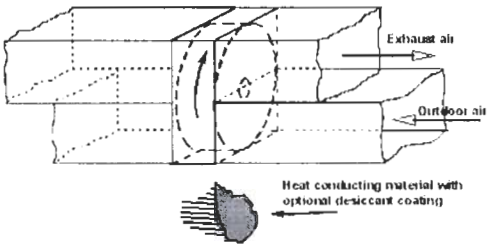
کارایی یک ماده جاذب رطوبت علاوه بر ظرفیت جذب آب، به سطحی از آن که در مقابل جریان هوا قرار می گیرد نیز بستگی دارد.

٤- **آب بند ها** : آب بند ها تجهیزاتی هستند که جهت جلوگیری از اختلات هوای خروجی با جریان هوای ورودی بکار می روند.

٥- **فیلتر ها** : فیلتر ها جزء تجهیزات اختیاری در یک سیستم چرخ آنتالپی هستند و در مکانهایی که کیفیت هوای داخل و خارج گلخانه مناسب نیست استفاده می شوند.

طرز کار چرخ آنتالپی

در سیستم چرخ آنتالپی دو کانال ورود و خروج هوا، از یک محل و به موازات هم عبور می کنند. چرخ آنتالپی طوری قرار می گیرد که هر کدام از کانال های جریان هوا با نیمی از سطح مقطع روتور (استوانه پره دار) برخورد می کنند.

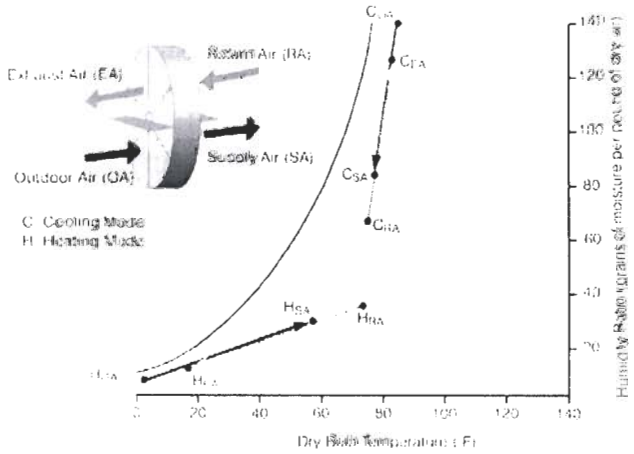


شکل (۳): نحوه قرار گیری کانالهای ورود و خروج هوا نسبت به روتور

در اثر اختلاف دما و رطوبت هوای ورودی و هوای خروجی، و چرخش استوانه، تبادل گرما و رطوبت بوسیله چرخ آنتالپی صورت می گیرد. در فصل زمستان بدلیل اختلاف دمای زیاد هوای خارج و داخل ساختمان، عمل اصلی چرخ آنتالپی رساندن

[۱۳] Zeolites

دمای هوای ورودی به دمای داخل می باشد. ولی در تابستان اختلاف سطح رطوبت هوای داخل و خارج ساختمان گلخانه موجب می شود که بیشتر مانع از ورود رطوبت هوای ورودی به درون اتاق شود تا تعادل دمایی بین دو جریان هوا. این مطلب در نمودار زیر مشهود است.



شکل (٤): تغییرات دما و رطوبت هوا در تابستان و زمستان طی عمل چرخ آنتالپی

امکان سنجی کاربرد چرخ آنتالپی در صنایع کشاورزی

با توجه به بررسی ها و تحقیق انجام گرفته تاکنون موردی از استفاده از چرخ آنتالپی در فعالیت های مربوط به کشاورزی گزارش نشده است. پیش نیاز استفاده از چرخ آنتالپی در کشاورزی ایجاد مکان های در بسته با کنترل کامل ورود و خروج هوا می باشد ، همچنین کانال کشی هایی باید در محیط صورت گیرد طوریکه محل ورود هوا به داخل و خروج هوا از ساختمان از یک نقطه عبور کنند. در این نقطه می توان چرخ آنتالپی را نصب نمود.

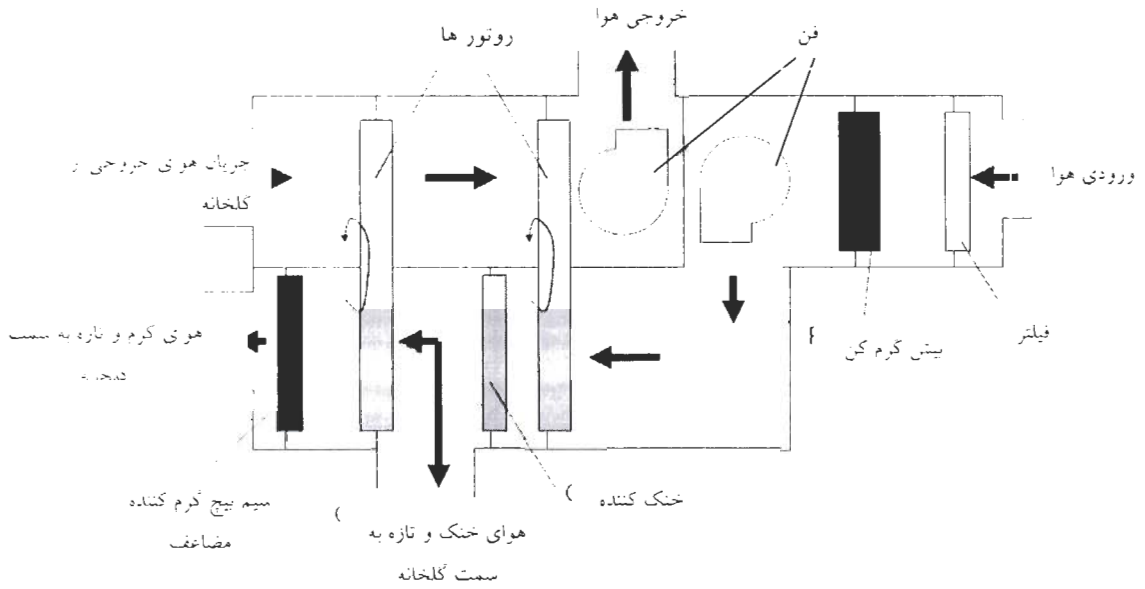
بخش هایی که می توان در آنها از سیستم تهویه هوا مجهز به چرخ آنتالپی استفاده نمود:

۱- گلخانه های مدرن که در آن دما، رطوبت و ورود هوا به دقت کنترل می شود.

۲- سالنهای پروش مرغ گوشتی و تخم گذار

۳- انبار های نگهداری محصولات کشاورزی (میوه جات ، سبزیجات و ...)

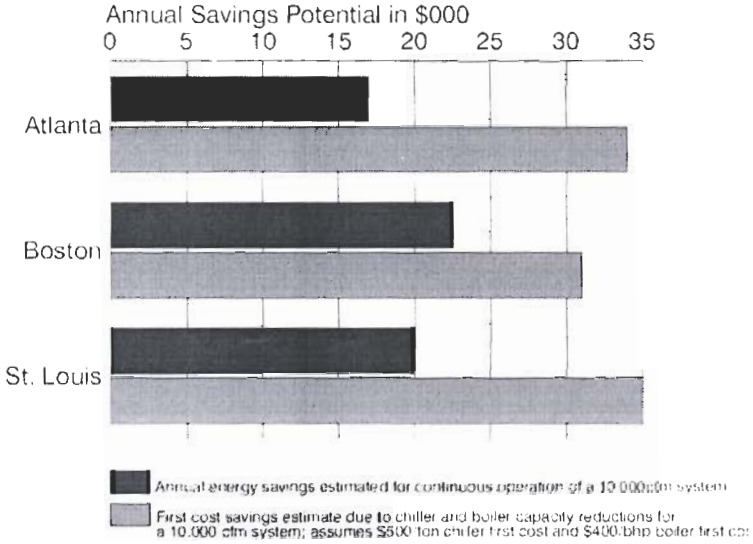
همانطور که در ابتدای بحث بیان شد استفاده از چرخ آنتالپی مستلزم اعمال هزینه اولیه می باشد که باید با توجه به اهمیت پروژه و مزایا، آن را توجیه اقتصادی کرد. در شکل ۲۰ یک طرح پیشنهادی از سیستم تهویه مجهز به چرخ آنتالپی در گلخانه آورده شده است. در این سیستم از دو روتور به همراه پیش گرم کن استفاده شده است. در زمستانهای سرد به دلیل وجود رطوبت روی روتور امکان یخ زدگی وجود دارد. در نتیجه از پیش گرم کن در مسیر جریان هوای ورودی استفاده کرده ایم.



شکل (۵): چیدمان اجزاء چرخ آنتالپی در یک گلخانه

نتایج

استفاده از سیستم های بازیاب انرژی به دو طریق موجب کاهش هزینه های مصرف انرژی در گلخانه ها می شود. اولاً استفاده از بازیاب انرژی موجب جلوگیری از هدر رفت انرژی و استفاده مجدد از آن جهت گرم کردن هوای ورودی می شود، در نتیجه مصرف انرژی کم شده و هزینه جاری پرداختی کاهش می یابد. ثانیاً بازیابی انرژی باعث می شود ظرفیت مورد نیاز دستگاههای گرمایشی و سرمایشی کاهش یابد، در نتیجه هزینه اولیه پرداختی برای خرید تجهیزات تهویه هوا کاهش می یابد. در منابع مختلف حداکثر زمان بازگشت هزینه اولیه پرداختی برای یک سیستم چرخ آنتالپی حداکثر ۵ سال می باشد. در نمودار شکل ٦ میزان کاهش هزینه انرژی سالیانه در ساختمان های مجهز به سیستم چرخ آنتالپی در سه منطقه مختلف آب و هوایی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، صرفه جویی سالیانه حاصل از استفاده چرخ آنتالپی رقم قابل توجهی می باشد. این وضعیت به طور مشابه در گلخانه ها نیز قابل پیش بینی می باشد.



شکل (٦): نمودار نشان دهنده میزان صرفه جویی در هزینه های سالیانه

نتیجه گیری و بحث

امروزه باتوجه به کمبود منابع انرژی و تلاش برای بهره وری بیشتر، استفاده از راه حلی جهت کاهش مصرف انرژی و به طبع آن کاهش هزینه ها، امری اجتناب ناپذیر است. با توجه به شکل ٦ ملاحظه می شود که برای یک سیستم تهویه با ظرفیت **cfm** ۱۰۰۰۰ هزینه اولیه ناشی از کاهش ظرفیت مورد نیاز جهت چیلر و بویلر حداقل ۳۰۰۰۰ دلار کاهش یافته است. صرفه جویی حاصل از کاهش مصرف انرژی سالیانه حدود ۱۷۰۰۰ دلار می باشد. در یک گلخانه مدرن که هر متر مربع آن فقط حدود ۱۵ ملیون تومان هزینه ساخت دربر دارد، استفاده از سیستم های بازیاب انرژی کاملاً توجیه پذیر می باشد. چرخ آنتالپی از آنجایی استهلاک کمی داشته و قابلیت منحصر به فرد انتقال رطوبت را نیز دارد، گزینه مناسبی جهت بکارگیری در گلخانه ها است.

پیشنهادات

با توجه به مزایای ذکر شده برای چرخ آنتالپی، آن را می توان جهت کاهش هزینه سیستم تهویه گلخانه ها پیشنهاد کرد. در مواردی که انتقال رطوبت اهمیت چندانی ندارد یا موجب بازگشت باکتری ها و ویروسها به داخل می شود، نظیر سالنهای پرورش مرغ گوشتی و تخم گذار، می توان از چرخ های حرارتی استفاده کرد. این چرخ ها فاقد ماده جاذب الرطوبه روی صفحات روتور می باشند.

منابع

1. Energy Recovery Wheel-Technical Guide,SEMCO, www.semcoinc.com
2. Energy recovery systems,CenterPointEnergy, CenterPointEnergy.com
3. Technical Bulletin 19,Deser Aire, www.desert-aire.com
4. Special components for emerging ventilation systems,Desicant rotors international , www.drirotors.com
5. Enthalpy & Heat Wheels, cipco, cipco.apogee.net
6. Energy recovery ventilators with enthalpy wheels, VenmarCES, www.venmarces.com

7. ENERGY RECOVERY SYSTEMS, Jay R. Meenen, Integrated Environmental Systems, Inc.
8. www.uspto.gov