سیکل سرمایش با استفاده محیط متخلخل دوار

حسن پهلوان زاده – سید حسین مظفری

بخش مهندسی شیمی – دانشگاه تربیت مدرس صندوق پستی: ۱۱۱-۱۴۱۱۵

E-mail:pahlavzh@modares.ac.ir

چکیده

سیستمهای سردسازی دسیکنت دارای بازده انـرژی بـالا و شـرایط محیطـی مناسـب هسـتند. اسـتفاده از سیسـتمهای سردسازی دسیکنت در حدود ۲۵٪ (یا بیشتر در مناطق مرطوب) از کل انرژی الکتریکی مصرفی در اماکن مسکونی و تجاری را کاهش میدهد و همچنین با توجه به خاصیت جذب انتخابی دسیکنتها، آلاینده های هوا را جذب کرده و شرایط محیطی مناسبی را برای اماکن مسـکونی بـا صـرف انـرژی پـایین بوجـود مـیآورد. سیسـتمهای سردسـازی دسیکنت را همچنین میتوان جایگزین سیستمهای سردسازی براساس کلروفلوئوروکربن (که موجـب تخریـب لایـه اوزون زمین میشود) کرد. در این سیستمها، دسیکنت رطوبت را طی فرآیندی که جذب نامیده میشود، از هوا گرفته و دمای هوا با آزادسازی گرمای نهان تبخیر آن افزایش می یابد. ترکیبی از مبدلهای حرارتی و کویلهای سردسازی تبخیری میتواند هوای خشک را سرد نماید. برای کامل شدن سیکل سردسازی دسیکنت بوسیله گرمـای حـاصل از سوختن گاز طبیعی، گرمای مازاد یا گرمای حاصل از خورشید بازیابی(خشک) میشود.

در این مقاله، ما به بررسی استفاده از سیستمهای سردسازی دسیکنت پرداختـه و راه حـل کـاربردی اسـتفاده از ایـن سیستمها در ایران مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین پروفایلهای رطوبت و دما برای رطوبتزدای دسیکنت دوار بـا اســـتفاده از حـــل مـــدل ریـــاضی ارائـــه شـــده توســـط برنامـــه کـــامپیوتری ارائـــه میشـــود.

واژه های کلیدی: سیکل سردسازی؛ دسیکنت؛ رطوبتزدای دوار؛

مقدمه

کاهش منابع انرژی و افزایش آلودگیهای محیطی، توجه همه محققان دنیا را به استفاده از سیسـتمهای محیطـهای متخلخـل در تهویـه مطبـوع وسردسـازی معطـوف سـاخته اسـت زیـرا سیستمهای تراکم بخار رایج مشکلات زیادی به همراه دارند ازجمله، مصرف انرژی بالا، مصرف و استفاده از CFCها که باعث آسیب رساندن به لایه اوزون میشود[۱].

سیستمهای سردسازی تبخیری بطور وسیعی در آب و هـوای گرم و خشک که بیشتر مناطق کشور را شامل میشود مناسب اسـت. در منـاطق گرم و مرطـوب ایـران مـانند اسـتانهای هرمزگان، بوشهر، خوزستان و اسـتانهای شـمالی کشـور کـه

دارای درصد رطوبت زیادی هستند سیستمهای سردسازی تبخیری نمیتوانند شرایط محیطی مناسبی را فراهم آورد همین علت موجب استفاده وسیعی از کولرهای گازی در این مناطق شده است. این کولرها که جز سیستمهای سردسازی تراکم بخار است دارای مصرف انرژی زیاد و مشکلات زیست محیطی هستند. مصرف انرژی الکتریسته و هزینه ان در این سیستمها در زمانهای پیک بار بیشتر مشهود است. یکی از سیستمهایی که میتواند بخوبی جایگزین این سیستمها شود استفاده از سیستمهای سردسازی دسیکنت است که علاوه بر کاهش مصرف انرژی، شرایط محیطی مناسبی را فراهم میکنند. بنابراین در کشور ایران که نواحی وسیعی از آن دارای آاب و هوای گرم و مرطوب است لازم است استفاده از این سیستمها مورد بررسی قرار گیرد.

سیستمهای سردسازی

اساس کار سیستمهای سردسازی تبخیری مستقیم، تبخیر آب در جریان هوا عبوری است که با توجه به اینکه گرمای نهان تبخیر آب از جریانهای هوا گرفته میشود باعث سردشدن آن میشود. هرچه اختلاف فشارجزیی بخار آب در هوا با فشاربخار آب بیشتر باشد عملکرد این سیستمها بهتر است بهمین خاطر استفاده از این سیستمها در مناطق گرم و خشک که دارای هوایی با رطوبت نسبی کمی هستند بیشتر است. مشکل اصلی این سیستمها اینست که حداقل درجه حرارتی که میتوانند ایجاد کنند درجه حرارت مرطوب(T_w) هوای ورودی است و بخاطر اینکه اختلاف این دو دما, T_w و T, در مناطق گرم و مرطوب کم است این سیستمها در چنین مناطقی بصورت مفید قابل استفاده نیستند.

تفاوت سیستم سردسازی تبخیری غیر مستقیم با سیستم سردسازی تبخیری (IEC) مستقیم دراینست که در IEC دمای جریان هوا بدون افزایش میزان رطوبت آن، کاهش می یابد و این فرآیند توسط یک مبدل حرارتی که امکان انتقال حرارت بین جریان هوای ورودی و جریان هوایی سردشده با سرمایش تبخیری مستقیم، فراهم می آورد انجام میشود.

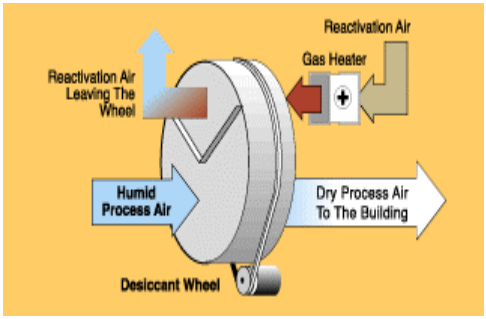
سیستم سردسازی تراکم بخار برای سردسازی هوا از مواد سردساز(Refrigrant) استفاده میکند. مصرف بالای انرژی الکتریکی و همچنین استفاده از CFCها (کلروفلوئوروکربنها) که باعث تخریب لایه اوزون میشود استفاده از این سیستمها را محدود می‌کند. از دیگر معایب استفاده از این سیستمها در آب و هوای گرم و مرطوب، کندانس بخار آب روی لوله‌های حامل مبرد و ایجاد خوردگی است.

استفاده از سیستمهای سردسازی دسیکنت در سرمایش و رطوبت‌زدایی برای تامین آسایش در ساختمانهای مسکونی و فراهم‌آوردن شرایط محیطی مناسب در بیمارستانها و سوپرمارکتها در دو دهه اخیر رشد زیادی داشته است. با توجه به پیشرفتهای اخیر در زمینه مواد دسیکنت این تکنولوژی بیشتر مورد توجه محققان قرار گرفته است.

بطورکلی مزیتهای روش سردسازی دسیکنت نسبت به روشهای دیگر شامل کاهش مصرف انرژی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، بهبود کیفیت هوای فضای تهویه‌شونده، افزایش میزان تعویض هوا، حذف یا کاهش استفاده از CFCها و کاهش هزینه و مصرف برق در زمانهای پیک بار می شود.

رطوبت‌زدای دسیکنت دوار (شکل۱) بعنوان جزء اصلی سیستمهای سردسازی دسیکنت، وظیفه کاهش رطوبت هوای ورودی(بار حرارتی نهان) را دارد[۲]. در ادامه فرآیند سردسازی، دمای هوای ورودی(بار حرارتی محسوس) که در مرحله رطوبت‌زدایی افزایش یافته است با استفاده از خنک‌کنهای تبخیری مستقیم یا غیر مستقیم کاهش می‌یابد. در بازیابی مواد دسیکنت می‌توان از گرمای مازاد، انرژی خورشیدی و گاز طبیعی استفاده کرد که این منابع دمای هوای ورودی به بخش بازیابی دسیکنت را تا میزان مورد نیاز افزایش می‌دهند. با توجه به امکان استفاده از گاز طبیعی بعنوان منبع انرژی برای افزایش دمای هوای بازیابی مؤسسه تحقیقات گاز آمریکا(GRI) از سال ۱۹۸۳ آمادگی خود را برای توسعه

تکنولوژی دسیکنت در زمینه کاربرد آن در صنایع سردسازی و تهویه مطبوع اعلام کرد. سرمایه‌گذاری GRI در تکنولوژی دسیکنت، بعلت استفاده آن در سیستمهای سردسازی دسیکنت است که باعث می‌شود از حداکثر ظرفیت خط لوله در تابستان استفاده شود با توجه به اینکه در تابستان بعلت عدم وجود وسایل گرمایشی که از گاز طبیعی بعنوان سوخت استفاده می‌کنند مصرف آن کاهش زیادی می‌یابد. وفور منابع گاز طبیعی در ایران و نزدیکی این منابع به مناطق گرم و مرطوب کشور(استانهای بندرعباس، بوشهر و خوزستان) اهمیت تحقیق در این زمینه را آشکار می‌سازد.



شکل ۱- شمای یک رطوبت زدای دسیکنت دوار

در سیستمهای سردسازی قدیمی رطوبت‌زدایی با عبور هوا از روی یک کویل سرد و کندانس بخارات آب روی آن انجام می‌شده است. دمای کویل باید کمتر از نقطه شبنم هوا باشد تا بخارات هوا روی کویل کندانس شود. هوای خروجی از کویل دارای دمایی سردتر از دمای مطلوب برای فضای تهویه‌شونده است که باید دوباره تا دمای مطلوب گرم شود، این باعث مصرف انرژی زیاد در این سیستمها می‌شود. با بکاربردن سیستم سردسازی دسیکنت همراه با سیستم سرمایش تبخیری در بسیاری از مناطق با تنوع آب و هوا، استفاده از مبردهای CFC منتفی می گردد و از طرف دیگر در حفاظت از لایه اوزون نیز نقش مهمی دارند.

رطوبت‌زدای دسیکنت دوار رطوبت هوا ورودی را جذب کرده و بدین‌طریق رطوبت هوا را کاهش می‌دهد که موجب افزایش ظرفیت سیستم سردسازی می‌شود. درصورتیکه رطوبت‌زدای دسیکنت را بطور سری با یک سیستم سردسازی تراکم بخار(مانند کولرهای گازی) قرار دهیم باتوجه به گرفتن بار نهان توسط دسیکنت، سیستم سردسازی فقط وظیفه دفع گرمای محسوس هوا را خواهد داشت بهمین‌خاطر ظرفیت سردسازی آن افزایش می‌یابد.

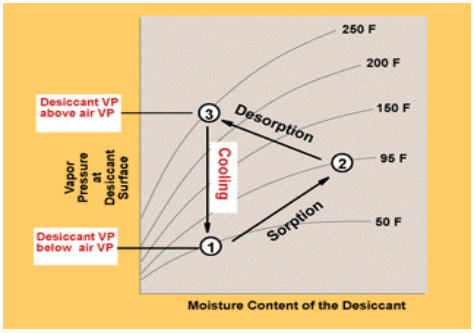
بررسی سیستمهای سردسازی دسیکنت از دیدگاه ترمودینامیکی

دسیکنتها در یک فرآیند آدیاباتیک هوای ورودی را خشک می‌کنند زیرا درطی این فرآیند حرارت به هوا اضافه نمیشود وآنتلپی آن تغییر نمیکند. بنابراین فرآیند جذب سطحی رطوبت هوا توسط دسیکنت در امتداد یک خط آنتالپی ثابت (درجه حرارت مرطوب ثابت) در نمودار سایکومتریک انجام میشود. در دسیکنتها در امتداد یک خط آنتالپی ثابت، حرارت نهان به حرارت محسوس تبدیل میشود و برعکس در سردسازی تبخیری حرارت محسوس به حرارت نهان تبدیل میشود.بررسی ترمودینامیکی سیستم سردسازی دسیکنت را در سه بخش میتوان بررسی نمود: بررسی ترمودینامیکی ماده دسیکنت، بررسی ترمودینامیکی هوای فرآیندی (هوای ورودی به بخش جذب) و بررسی ترمودینامیکی هوای بازیابی (بازیافت دسیکنت).

بررسی ترمودینامیکی ماده دسیکنت

ماده دسیکنت خشک (نقطه۱ در شکل۲) که دارای دمای پایین و فشاربخار سطحی کمی است با هوای ورودی که دارای فشاربخار بالاتری نسبت به دسیکنت است تبادل جرم و حرارت انجام می‌دهد که تا زمانیکه فشاربخار جزئی آب در هوا با فشاربخار سطحی دسیکنت برابر شود رطوبت از هوا به ماده دسیکنت انتقال می‌یابد، همچنین دمای هوا بخاطر

آزادشدن حرارت جذب افزایش می‌یابد(نقطه۲) برای استفاده مجدد از دسیکنت باید آنرا توسط هوایی که دارای فشارجزئی بخار کمتری نسبت به دسیکنت است بازیابی(Reactivitation) کرد(نقطه۳). با افزایش دمای هوای محیطی(توسط یک هیترگازی یا هرمنبع حرارت دما پایین) می‌توان فشار جزیی بخار در هوا را کاهش داد و



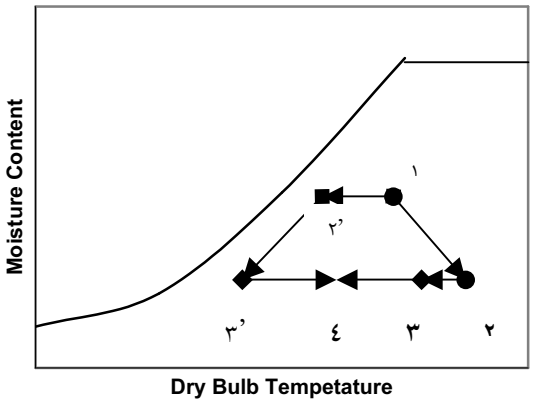
شکل ۲- پروسه ترمودینامیکی ماده دسیکنت جامد

پتانسیل مورد نظر را فراهم آورد. بعد از این مرحله، دسیکنت دارای رطوبت کمتری است ولی با توجه به افزایش دمای سطحی آن، فشار بخار آب در سطح آن نیز افزایش می‌یابد بهمین‌دلیل برای رسیدن دمای آن به حالت اولیه باید آنرا سرد کرد.

فرآیند ترمودینامیکی جریان هوای فرآیندی

هوای ورودی که دارای شرایط محیطی نقطه۱ (شکل۳) است بعد از عبور از چرخ دسیکنت خشک دمای آن افزایش می‌یابد(نقطه۲) که تقریباً دارای درجه‌حرارتی بین ۵۰-۶۰°C است، که این افزایش دما بخاطر آزادشدن حرارت نهان تبخیر مایع است. هوای خشک بعد از عبور از یک مبدل حرارتی (مانند مبدل حرارتی air-to-air) که جریان ثانویه آن می‌تواند جریان هوای برگشتی از فضای تهویه‌شونده باشد سرد می‌شود(نقطه۳). دمای هوا خروجی از مبدل(حدود۲۷°C) هنوز برای ورود به فضای تهویه‌شونده مناسب نیست و باید با استفاده از فرآیندهای سردسازی دیگر(تبخیری یا تراکم بخار) دمای هوای ورودی به فضای تهویه‌شونده را به دمای مطلوب (تقریباً ۱۳°C) کاهش داد (نقطه٤).

برای مقایسه فرآیند سیستم‌های سردسازی دسیکنت با سیستم‌های سردسازی تراکم بخار، فرآیند ترمودینامیکی سیستم های تراکم بخار نیز بررسی می‌شود. سیستم های



شکل۳. فرآیند ترمودینامیکی هوای فرآیندی در سیستمهای سردسازی دسیکنت درمقایسه با سیتمهای سردسازی تراکم بخار

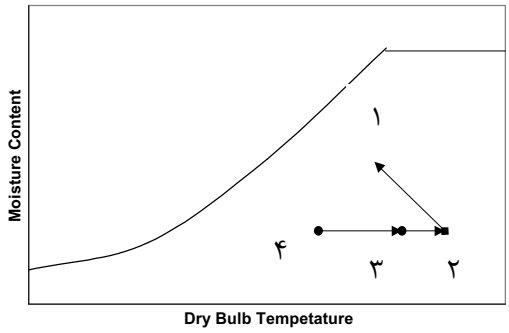
سردسازی تراکم بخار، دمای هوای ورودی(نقطه۱ در شکل۳) تا دمای اشباع کاهش داده میشود (نقطه ۲' در شکل۳) و سپس برای گرفتن رطوبت هوا،آنرا تا پایینتر از دمای اشباع سرد کرده که منجر به کاهش دمای خشک و رطوبت نسبی هوا می‌شود(نقطه ۳' در شکل۳). باتوجه به اینکه دمای هوا در این مرحله پایینتر از دمای مطلوب فضای تهویه‌شونده است بنابراین باید دمای آنرا طی یک فرآیند گرمایش به دمای مطلوب افزایش داد.

با مقایسه انرژی‌های مورد نیاز برای مراحل مختلف هر سیستم می‌توان میزان صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های سردسازی دسیکنت را بدست آورد. البته میزان صرفه‌جویی انرژی در سیستم‌های سردسازی دسیکنت به انتخاب منبع انرژی گرمایی سطح‌پایین(هیتر گازی، گرمای مازاد و ...) و

میزان افت فشار هوا(انرژی مورد نیاز فن‌ها) در عبور از چرخ دسیکنت وابسته است[۳].

فرآیند ترمودینامیکی جریان هوای بازیابی

هوای مورد نیاز برای بازیابی دسیکنت به دو صورت تامین می شود یا از هوای محیط ویا از هوای خروجی از فضای تهویه شونده استفاده می کنند که معمولاً از هوای موجود در سیکل (هوای فضای تهویه شونده) استفاده می کنند. دلیل استفاده از هوای موجود در سیکل بعنوان هوای بخش بازیابی، افزایش طول عمر دسیکنت بخاطر کمترقرارگرفتن در معرض آلودگیهای هوای محیطی و همچنین رطوبت کمتر هوای خروجی از فضای تهویه شونده است. هوای خروجی از فضای تهویه‌شونده(نقطه۱ در شکل٤ که منطبق بر نقطه ٤ شکل۳ است)) وارد یک مبدل حرارتی می‌شود و با انتقال حرارت با هوای فرآیندی (هوای

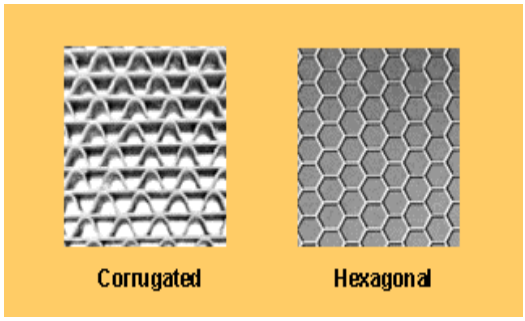


شکل٤. فرآیند ترمودینامیکی هوای بازیابی در سیستمهای سردسازی دسیکنت

خروجی از چرخ دسیکنت) دمای آن افزایش می‌یابد(نقطه۲) و سپس با استفاده از یک منبع انرژی دمای آن تا دمای مورد نیاز برای بازیابی دسیکنت، افزایش می‌یابد(نقطه۳) و هنگام عبور از
چرخ دسیکنت، ماده دسیکنت که تقریباً اشباع از رطوبت است را بازیافت می کند. رطوبت هوای بازیافت بعد از عبور از چرخ دسیکنت افزایش و بعلت تبدیل بار حرارتی نهان به بار حرارتی محسوس دمای آن کاهش میابد (شکل ٤).

ساختمان و طول عمر دسیکنت

ماتریس دسیکنت را بخاطر افزایش سطح تماس هوا با ماده دسیکنت شبیه ساختمان یک لانه زنبور عسل می سازند که باعث افزایش سطح تماس دسیکنت با هوا می‌شود. هوا از چرخ به راحتی عبور کرده و این باعث مینیمم‌کردن مصرف انرژی فن‌ها می‌شود. سازندگان چرخ دسیکنت را به دو صورت موج‌دار و شش‌گوش درست کرده‌اند(شکل۵).



شکل ۵. ساختمان درونی چرخ دسیکنت

در ساختمان موجی‌شکل، صفحات صاف و موجی بوسیله یک چسب سرامیک روی هم قرار گرفته‌اند. صفحات صاف از مخلوطی از شیشه و فیبرهای سرامیک یا از پلاستیک‌های مقاوم در درجه‌حرارت‌های بالا ساخته شده‌اند. طول عمر چرخهای دسیکنت در حدود ۱۰-۷ سال است. دسیکنت‌ها در چندین روش بر روی صفحات قرار می‌گیرند. اغلب مخلوطی از پودر دسیکنت و چسب مخصوص روی سطح پوشیده(Coating) می‌شود. در روشی دیگر، صفحات جاذب را در محلولی از دسیکنت مایع قرار داده و سپس آنرا خشک می‌کنند. کریستالهای مایع خشک‌شده بصورت یک لایه نازک روی صفحات درمی‌آیند[٤و٥].

مدلسازی و شبیه سازی رطوبتزدای دسیکنت دوار

مدل ریاضی حاکم بر دسیکنت دوار براساس معادلات بقـای جرم وانرژی برای هر دو جریان هوای فرآینـدی و بازیـابی و به همراه معادله تعادلی دسیکنت ارائه گردید روابط مذکور با استفاده از روش حل عددی Explicit که دارای پایداری و همگرایی (Converge) نسبتاً خوبی است حل شد.

معادله بقای جرم و حرارت بـرای جریـان هـوا بصـورت زیـر نوشته میشود.

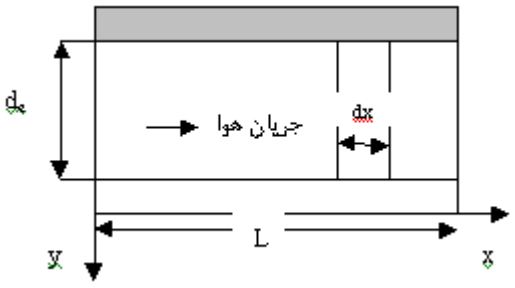
$$\rho_g (Adx)\frac{\partial \omega_g}{\partial t} = \rho u_g A\omega_g|x - \rho u_g A\omega_g|x+dx+ h_m(dx\times 1)(\omega_s - \omega_g) \quad (1)$$

$$\rho_g C_{pg}(Adx)\frac{\partial T_g}{\partial t} = \rho u_g C_{pg} A T_g|x - \rho u_g C_{pg} A T_g|x+dx + h\,(dx\times 1)(T_s - T_g) \quad (2)$$

که بعد از تقسیم بر $\rho C_{pg}(Adx)u_g$ و جـایگزینی $d_e/4$ بجـای A معادلات بصورت زیر درمی آید.

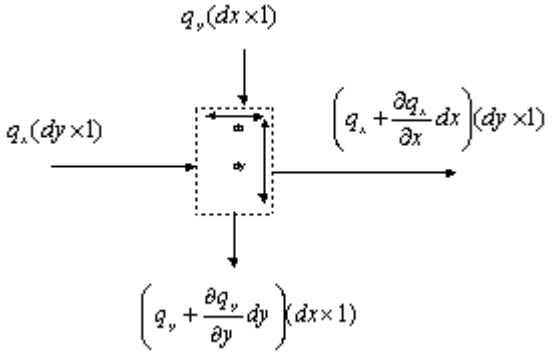
$$\frac{1}{u_g}\frac{\partial \omega_g}{\partial t} + \frac{\partial \omega_g}{\partial x} = \frac{4h_m}{d_e u_g \rho_g}(\omega_s - \omega_g) \quad (3)$$

$$\frac{1}{u_g}\frac{\partial T_g}{\partial t} + \frac{\partial T_g}{\partial x} = \frac{4h}{d_e u_g \rho_g C_{pg}}(T_s - T_g) \quad (4)$$



شکل ٦. نمایش یک المان از یک منفـذ(Pore) از محیط متخلخل

در روابط بالا u_g سرعت هوا(m/sec)، T_g دمای هـوا(^oC) ، ω_g رطوبـت نسـبی هـوا(kg/kg) ، t زمـان(sec) ، x محـور طولها(m) ، d_e قطر هیدرودینامیکی کانال(m) ، ρ_g دانسـیته هوا(kg/m^3) ، C_{pg} حرارت مخصـوص هـوا($kj/kg.^oK$) ، h و h_m بـــترتیب ضرایـــب انتقـــال حـــرارت جابجـــایی($kw/m^2.^oK$) و انتقـــال جـــرم جابجایی($kg/m^2.sec$) بیـن جریـان هـوا و سـطح جـامد هستند.



شکل ٧. المان حرارتی ماده دسیکنت

معادله بقای انرژی در ماده دسیکنت با استفاده از المان نشـان داده شده در شکل ٧ بصورت زیر نوشته میشود.

$$\rho_d C_{tot}(dx\times dy\times 1)\frac{\partial T_d}{\partial t} = q_x(dy\times 1) - \left(q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x}dx\right)(dy\times 1) + q_y(dx\times 1) - \left(q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y}dy\right)(dx\times 1) + q_{st}\rho_d(dx\times dy\times 1)\frac{\partial \omega}{\partial t} \quad (5)$$

که در آن,

$$q_x = -K_d\frac{\partial T_d}{\partial x} \quad (6)$$

$$q_y = -K_d\frac{\partial T_d}{\partial y} \quad (7)$$

و بعد از جاگذاری معدلات ٦ و ٧ در معددله ٥ معدله بقای انرژی در ماده دسیکنت بدست می آید.

$$\rho_d C_{tot} \frac{\partial T_d}{\partial t} = K_d \left(\frac{\partial^2 T_d}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_d}{\partial y^2} \right) + q_{st} \rho_d \frac{\partial \omega}{\partial t} \qquad (8)$$

$$C_{tot} = C_{pd} + \omega C_{pw} \qquad (9)$$

که ρ_d دانسیته دسیکنت(kg/m^3) ، K_d هدایت حرارتی دسیکنت$(kw/m.^oK)$ ، ω میزان آب در دسیکنت(kg/kg) ، q_{st} گرمای جذب رطوبت توسط دسیکنت(kj/kg) ، C_{pd} حرارت مخصوص دسیکنت$(kj/kg.^oK)$ و C_{pw} حرارت مخصوص آب$(kj/kg.^oK)$ است.

اگر معادله بقای جرم (رطوبت) را در دسیکنت نوشته و قانون عمومی فیک را بجای آن جایگزین کنیم معدله بصوت زیر درمی آید.

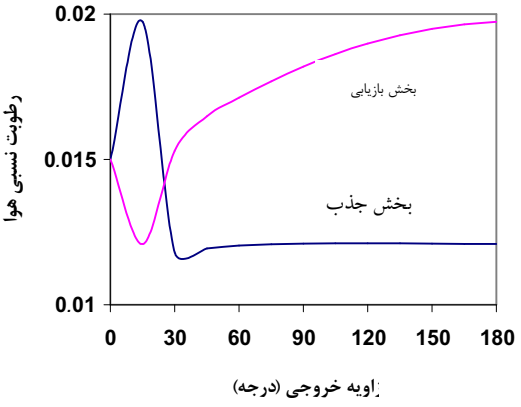
$$\varepsilon_t \rho_a \frac{\partial \omega}{\partial t} + \rho_d \frac{\partial w}{\partial t} = \rho_a \left[\frac{\partial}{\partial x}\left(D_A \frac{\partial \omega}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(D_A \frac{\partial \omega}{\partial y} \right) \right] + \rho_d \left[\frac{\partial}{\partial x}\left(D_s \frac{\partial \omega}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(D_s \frac{\partial \omega}{\partial y} \right) \right] \qquad (10)$$

که ε_t تخلخل دسیکنت، D_A و D_s ضرایب نفوذ جرمی(m^2/sec) هستند.

رطوبتزدای دسیکنت دوار به دو بخش جذب و بازیابی تقسیم شده است. در بخش جذب, هوا فرآیندی بوسیله ماده دسیکنت رطوبت زدایی شده و در بخش بازیابی, رطوبت دسیکنت توسط هوای بازیابی که دارای دمای 80^oC است گرفته می شود. هوای بخش جذب و بازیابی, هر دو همان هوای محیطی است که دارای رطوبت نسبی برابر $0/015\ kg/kg\ dry\ air$ و دمای 30^oC فرض شده است. حرارت لازم برای افزایش دمای هوا در بخش بازیابی از 30^oC به 80^oC توسط یک هیتر گازی تامین می شود. نتایج حاصل از حل مدل ریاضی که پروفایل رطوبت و دما را در هوا و ماده دسیکنت نشان می دهد در شکلهای٥و٦ آمده است.

تغییرات رطوبت نسبی هوا در رطوبت زدای دسیکنت دوار

تغییرات رطوبت نسبی هوا در هر دو بخش جذب و بازیابی در خروجی از چرخ دسیکنت برحسب زاویه خروجی در شکل ٨ نشان داده شده است. منظور از "رطوبت نسبی هوا در یک زاویه خروجی" رطوبت نسبی همان توده هوایی است که از زاویه ١٥-٠ خارج شده است. افزایش اولیه رطوبت نسبی خروجی در بخش جذب بخاطر اینست که در زوایای اولیه چرخش ماتریس دسیکنت هنوز منافذ[1] و حفره های دسیکنت از هوای بخش بازیابی تخلیه نشده است[٦] و تا فاصله زمانی که این حفره ها از این هوا تخلیه شود رطوبت نسبی خروجی هوا در زوایای اولیه بالاتر از میانگین رطوبت نسبی هوای خروجی است. کاهش سریع در رطوبت نسبی (تقریباً در زوایای ٣٠ درجه) بعلت خروج هوای بخش جذب است. این برهان در مورد رطوبت نسبی هوای خروجی از بخش بازیابی نیز صدق می کند.



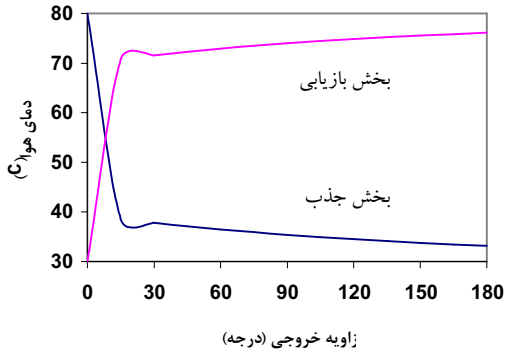
شکل ٨- نمودار رطوبت نسبی هوا در دو بخش جذب و بازیابی در خروجی از چرخ دسیکنت

1-Pores

تغییرات دمای هوا در رطوبت زدای دسیکنت دوار

تغییرات دمای هوا در دو بخش جذب و بازیابی در طول دسیکنت در شکل۹ آمده است. زیادبودن دمای هوای خروجی بخش جذب در زوایای اولیه بخاطر اینست که در زوایای اولیه چرخش ماتریس دسیکنت هنوز منافذ دسیکنت از هوای بخش بازیابی که دارای دمای ورودی ۸۰°C است تخلیه نشده است و تا فاصله زمانی مشخص (حدود زوایای ۱۵ درجه) که بستگی به سرعت دوران ماتریس دارد این حفره ها از این هوا تخلیه می شود. بالاتربودن دمای هوا در زوایای دیگر بخش جذب نسبت به هوای ورودی به بخش جذب (هوای۳۰°C) بخاطر آزادشدن گرمای حاصل از جذب رطوبت توسط دسیکنت است روند نزولی این منحنی بخاطر نزدیک شدن ماده دسیکنت به حالت اشباع است. همین برهان نیز برای دمای هوا در بخش بازیابی صدق می کند با این تفاوت که در بخش بازیابی کاهش دما از دمای هوای ورودی به بخش بازیابی (۸۰°C) بخاطر انتقال حرارت بین هوا و دسیکنت است

.



شکل ۹. دمای هوای خروجی از دسیکنت در دوبخش جذب و بازیابی

با توجه به اینکه سرعت دوران رطوبتزدا در هر دو بخش جذب و بازیابی ثابت است می توان زمان اقامت دسیکنت را در هر بخش با تقسیم بندی مطلوب طوری انجام داد که سیستم در حالت بهینه (هم از لحاظ انتقال حرارت و هم از لحاظ انتقال جرم) عمل کند

نتیجه گیری و پیشنهادات

لزوم سرمایه گذاری و تحقیق بر روی سیستمهای سردسازی دسیکنت با توجه به امکان کاهش مصرف سوخت در ساختمان و همچنین امکان جایگزینی گاز طبیعی بجای انرژی الکتریکی در این سیستمها مشهود است. وفور گاز طبیعی در مناطق گرم و مرطوب ایران (جنوب ایران) و استفاده بهینه ازخط لوله گاز طبیعی (هم در تابستان و هم در زمستان) استفاده از این سیستمها را مطلوبتر می سازد.

امکان جذب انتخابی و کاهش آلودگیها هوا بوسیله مواد دسیکنت، بعنوان یکی از مزیتهای دیگر استفاده از این سیستمها در شهر بزرگ و آلوده است.

بهینه سازی رطوبت زدای دسیکنت دوار بعنوان قلب این سیستم سردسازی از اهمیت خاصی برخوردار است زیرا طراحی صحیح این رطوبتزدا موجب کاهش بیشتر مصرف انرژی در این سیستمها است.

منابع و مراجع

1- Niu, J.L.,"Zhang, L.Z., Zuo, H.G., Energy savings potential of chilled-ceiling combined wiyh desiccant cooling in hot and humid climates", Energy and Building' vol. 34, p 487-495, 2002.

2- Zhang, L. Z.,"Niu, J. L., Performance comparisons of desiccant wheels for air dehumidification and enthalpy recovery", Applied Thermal Engineering, vol. 22, p 1347-67, 2000.

3- Slayzak, S. J., Pesaran, A. A., Hancock, C. E.,"Experimental Evaluation of commercial Desiccant Dehumidifier Wheels", http://www. nrel.gov. /desiccantcool/wheels.html

4- Jain, S., Dhar, P. L., Kaushik, S. C., "Evaluation of solid-desiccant-based evaporative cooling cycles for typical hot and humid climates", Energy and Building, vol. 18, p 287-296, 1995.

5- Dhar, P.L., Singh, S.K., "Studies on solid desiccant based hybrid air-conditioning systems", Applied Thermal Engineering, vol. 21, p 119-134, 2001.

٦- مظفری, سید حسین, رطوبت زدایی هوای مرطوب با استفاده از محیطهای متخلخل, پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی دکتر حسن پهلوان زاده, دانشگاه تربیت مدرس, ١٣٧٩.