بهینه سازی مصرف انرژی و تاثیر اختلاف دما روی کارایی مبدل بازیاب حرارت

محمدهادی امینی[۱]، محمدحسین آق خانی[۲*]، محمد طبسی زاده[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- عضو هئیت علمی گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

* ایمیل نویسنده مسئول:aghkhani@um.ac.ir

چکیده

براساس گزارش آژانس حفاظت از محیط زیست کیفیت هوای داخل ساختمان به عنوان یک اولویت بهداشت عمومی مطرح است. افزایش هوای تازه، زیاد شدن بار حرارتی را به‌دنبال دارد که باعث افزایش هزینه عملکرد سامانه و تجهیزات می‌شود این موضوع علاقه‌مندی به فناوری بازیاب انرژی و کاربردهای اقتصادی آن را بیش‌تر می‌کند. با استفاده از بازیاب‌های حرارتی می‌توان با بازیاب هوای گرم یا سرد خروجی ، از هدر رفت انرژی جلوگیری نمود. بازیاب‌های حرارتی نسل جدیدی از مبدل‌های حرارتی هستند که برای سیستم‌های تهویه مطبوع در سالن‌های سرپوشیده مورد استفاده قرار می‌گیرند. به همین منظور برای انجام آزمایشات در شرایط استاندارد، یک اتاقک ترمودینامیکی ازجنس ساندویچ با عایق پلی اورتان ساخته شد. سامانه بازیاب حرارت ساخته شده شامل؛ مبدل‌های حرارتی، پمپ سیرکولاتور، دمنده هوا، لوله‌ها و اتصالات، حسگر دما، واحد کنترل، گرمکن الکتریکی و اتاقک ترمودینامیکی بود. در این مطالعه، تاثیر اختلاف دما بین هوای داخل اتاقک ترمودینامیکی و هوای بیرون در سه سطح ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد با چهار تکرار مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که اختلاف دما روی کارایی سامانه، اثر معناداری داشته است. بیشترین کارایی سامانه بازیاب حرارت در اختلاف دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد رخ داد که معادل ۶۷/۰۱ درصد است.

واژه‌های کلیدی: بهینه سازی مصرف انرژی ، بازیاب حرارت، کارایی، مبدل حرارت

مقدمه

امروزه با افزایش جمعیت جهانی و به دنبال آن افزایش تقاضای انرژی و هزینه‌های مربوط به آن، صرفه‌جویی در مصرف انرژی یکی از مسائل مهم در صنایع تولیدی به شمار می‌رود. از آن‌جا که سیستم‌های تهویه مطبوع قسمت عمده‌ای از هزینه‌های انرژی را به خود اختصاص می‌دهند، لزوم صرفه‌جویی در این حوزه بیش از پیش احساس می‌شود. همچنین نیمی از تمامی بیماری‌ها، به آلاینده‌های موجود در هوا نسبت داده می‌شود. براساس گزارش آژانس حفاظت از محیط زیست (EPA[1]) کیفیت هوای داخل ساختمان به عنوان یک اولویت بهداشت عمومی مطرح است. هم اکنون سامانه‌های تهویه مطبوع (HVAC[2]) نقش بسیار حیاتی در تامین محیط‌های سالم سرپوشیده که موجود زنده در آن به زندگی مشغول است، ایفا می‌کنند(خیامی و همکاران، ۱۳۹۱).

نیاز به هوای بیرون بنابر ا ستاندارد شماره (۱۹۹۹) ۱۹۸۹-۶۲ ا شریی[3] تهویه، برای کیفیت هوای داخل ف ضاهای سرپو شیده از الزامات تهویه می‌باشد. افزایش نیاز به هوای تازه، زیاد شدن بار حرارتی را به‌دنبال دارد که باعث افزایش هزینه عملکرد سامانه و تجهیزات می‌شود این موضوع علاقه‌مندی به فناوری بازیاب انرژی و کاربردهای اقتصادی آن را بیش‌تر می‌کند. اگر گرمای تلف شده را قسمتی از انرژی حرارتی بدانیم که بصورت گرما در یک فرآیند احتراق سوخت و یا واکنش شیمیایی، تولید شده و سپس در محیط رها شده با شد (هرچند پتانسیل بالایی برای ا ستفاده مجدد و مفید را دارد)، ا ستفاده از یک بازیاب انرژی حرارتی می‌تواند از این هدر رفت گرما جلوگیری کند و برای دیگر اهداف در سایر نقاط به کار گرفته شود. با استفاده از بازیاب‌های حرارتی می‌توان قبل از خروج هوای گرم یا هوای سرد که قبلا با صرف انرژی صورت پذیرفته ا ست، از هدر رفت انرژی جلوگیری نمود و بار را بر روی سامانه حرارتی کاهش داد. با این عمل به جای تخلیه انرژی مکان‌های سرپوشیده به بیرون، این انرژی را می‌توان موقتا در مبدل های بازیاب حرارت به دام انداخته و سپس به منظور پیش گرمایش یا پیش سرمایش هوای ورودی از آن استفاده کرد. مبدل حرارتی امکان انتقال انرژی گرمایی بین دو یا چند سیال در دماهای مختلف را فراهم می‌کند. این فرآیند به منظور خنک کردن سیال گرم و یا گرم گردن سیال با دمای پایین‌تر و یا هر دو، مورد استفاده قرار می‌گیرد (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۲).

نرخ تهویه بالاتر در IAQ با رقیق کردن آلاینده‌ها مانند ذرات موجود در هوا و ترکیبات آلی فرار موجب بهبود هوای داخل می‌گردد. از طرف دیگر مطالعات نشان داده است، نرخ تهویه بالاتر افزایش مصرف انرژی ساختمان را (به خصوص در فصول گرم) در اکثر موارد گزارش کرده است. به عنوان مثال، مک داول و همکاران نشان دادند که افزایش نرخ تهویه یک ساختمان در واشنگتن از صفر تا ۱۰ لیتر بر ثانیه به ازای یک شخص (متناسب با ۰/۳۷ جابجایی هوا در هر ساعت[4]) مصرف انرژی سالانه را ۱۴٪ افزایش می‌دهد

---

[1]. Environmental Protection Agency

[2]. Heating, Ventilation and Air-Conditioning System

[3]. ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers)

[4] Change per Hour

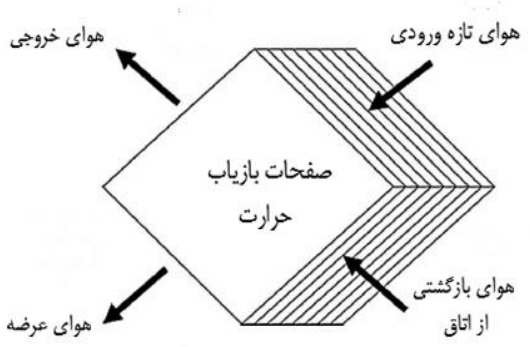
(McDowell, 2003; Fauchoux, 2006). اصطلاح بازیابی حرارت، بازگشت حرارت یا انرژی از هوا به هوا با سیستم بازیابی که به عنوان یک روند بهبود انرژی (حرارت/ جرم) از یک جریان با دمای بالا به یک جریان با دمای پایین، تعریف می‌شود که موثر و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه و قابل اجراست (Riffat and Gan, 1998). نشان داده شده است که با استفاده از بازیابی حرارت، میزان مصرف انرژی نهایی را می‌توان تا ۲۰٪ در اقلیم و آب و هوای سرد کاهش داد (Fehrm, 2002).

طبقه بندی و انواع بازیاب‌های حرارتی

بازیاب‌های حرارتی تقریبا نسل جدیدی از مبدل‌های حرارتی هستند که برای کاربرد سیستم‌های تهویه مطبوع در سالن‌های سرپوشیده مورد استفاده قرار می‌گیرند. انواع زیادی از بازیاب‌های حرارتی وجود دارد که با توجه به هسته‌ی خود؛ مبدل حرارتی، دسته بندی می‌شوند. بازیاب‌های؛ صفحه ثابت، چرخ دوار و کویل گسترده.

صفحه ثابت[۱]

بازیاب حرارتی صفحه ثابت رایج‌ترین نوع دستگاه بازیاب حرارتی است که نام آن به وضوح برگرفته از ساختمان مبدل خود می‌باشد. در این واحد، صفحات مبدل از سطوح معمولی هستند که از صفحات نازکی که در کنار یکدیگر به طور منظم قرار گرفته‌اند، ساخته شده‌اند یا شامل پنل مجزاست و دارای چند جریان هوای ورودی است (شکل ۱).



شکل ۱. بازیاب حرارتی صفحه ثابت (Mardiana and Riffat, 2012).

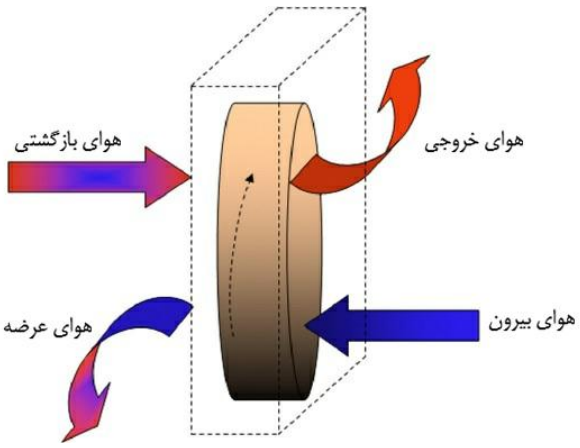
صفحات صاف ممکن است به نوعی موج دار(کنگره‌دار) باشند. این صفحات با انتقال انرژی حرارتی از جریان هوای خروجی به جریان هوای ورودی از طریق صفحه‌ی سطحی مبدل حرارتی عمل می‌کنند. شکل، دیاگرامی از انتقال

[۱] fixed-place

حرارت صفحه ثابت را به صورت شماتیک نشان می‌دهد. اثر بخشی و کارائی آن‌ها در انتقال حرارت محسوس بین ٪۸۰-۵۰ است که وابسته به آرایش جریان است. آرایش جریان می‌تواند به صورت جریان غیر همسو[۱]، جریان تقاطعی[۲] و جریان موازی همسو[۳] باشد (Mardiana and Riffat, 2012).

بازیاب های چرخ دوار

بازیاب‌های دوار به طور گسترده ای در آب و هوای سرد استفاده می‌شوند. در اروپا استفاده از آن‌ها، بیشتر بر روی بازیابی گرمای محسوس متمرکز شده است، در حالی که در ایالات متحده آمریکا، آسیا و کانادا، به دلیل آب و هوای بسیار مرطوب، انتقال گرمای نهان(رطوبت) مهم‌تر است. بازده بازیاب‌های دوار به نرخ جریان هوا و مساحت سطح انتقال حرارت وابسته است. معمولا، چرخ‌ها توسط مبدل‌های کنگره‌ای که دارای حداکثر نسبت سطح به حجم هستند، تشکیل شده است. چرخ‌ها از نظر داشتن قطعات متحرک دارای محدودیت هستند که منجر به مسائل تعمیر ونگهداری می‌شود (Nasif , 2005). یک چرخ آنتالپی شامل شبکه‌های لانه زنبوری دایره‌ای شکلی از مواد جاذب حرارتی است که به آرامی همراه با جریان هوای عرضه‌شده و خروجی از سامانه جابجایی هوا می‌چرخد. همچنان که چرخ حرارتی می‌چرخد، حرارت از جریان هوای خروجی در یک نیمه از چرخ برداشته شده و به جریان هوای تازه در نیمه‌ی دیگر چرخ داده می‌شود. بنابراین اتلاف انرژی حرارتی از جریان هوای خروجی به شبکه‌ها و سپس از شبکه‌ها به جریان هوای تازه انتقال می‌یابد. افزایش درجه حرارت جریان هوای عرضه‌شده با مقدار تفاضلی بین جریان‌های هوا (گرادیان هوا) متناسب است و به بازده وسیله بستگی د ارد. بازده چرخ دوار به طور معمول بالاتر از ٪۸۰ است. در سال‌های اخیر مطالعه از جنبه های نظری و تجربی در زمینه بهبود کارایی چرخ دوار بسیار رونق داشته است (Mardiana and Riffat, 2012).

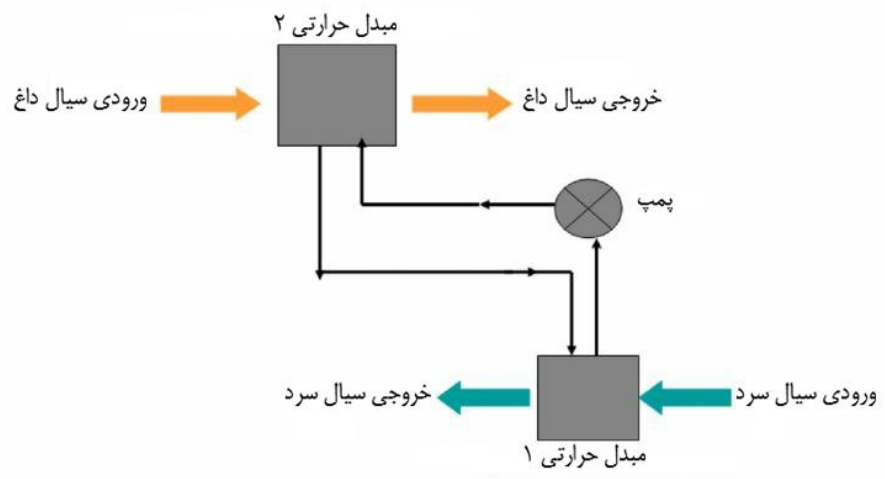


شکل ۲- چرخ دوار بازیاب حرارتی(Mardiana and Riffat, 2012).

[۱] counter-flow
[۲] cross-flow
[۳] parallel-flow

بازیاب حرارت کویل گسترده

سیستم مبدل بازیاب حرارت کویل گسترده که نام آن از ترکیب و ارتباط دو مبدل بازیاب حرارتی و یک سیال که با سیال ثانویه‌ی در حال چرخش درون سیستم تبادل حرارت می‌کند، تعیین شده است. این سیستم در شکل ۳ نشان داده شده است. بازیاب حرارتی پیرامون گسترده از دو مبدل حرارتی که از لحاظ فیزیکی از هم جدا هستند، استفاده می‌کند که در این میان، بازیابی و انتقال حرارت بین دو مبدلِ کانال هوای عرضه و کانال هوای خروجی اتفاق می‌افتد. این سیستم ممکن است نیاز به یک مخزن انبساط داشته باشد تا در شرایط انبساط و انقباض سیال انتقال حرارت، خود را با سیستم وفق دهد. بر خلاف دیگر دستگاه‌های بازیابی حرارت، سیستم پیرامون گسترده به اینکه مجاری هوای عرضه و خروجی در کنار یکدیگر واقع شوند، نیازی ندارد. این یک مزیت بسیارخوب نسبت به سایر سیستم های موجود است که سیستم پیرامون گسترده را نسبت به سایر سیستم‌ها متمایز می‌سازد و زمانی که آلودگی فضای تهویه امری نگران کننده است، این مزیت بیشتر به چشم می آید (Vali *et al.* , 2009).



شکل ۳. سیستم بازیاب حرارت پیرامون گسترده(Mardiana and Riffat, 2012).

انتقال حرارت از هوای خروجی به هوای عرضه با استفاده از یک سیال میانی مانند آب به همراه ضدیخ صورت می‌پذیرد. مزیت اصلی این سیستم این است که کانال های عرضه و خروجی هوا می‌توانند کاملاً از هم جدا باشند و حتی می‌توانند در بخش های مختلفی از ساختمان قرار گیرند. این قابلیت، انعطاف پذیری بالایی را فراهم می‌کند و همچنین امکان

تداخل بصورت متقاطع[1] بین جریان‌های هوا، به هیچ وجه اتفاق نمی‌افتد. معایب اصلی این سیستم شامل، انتقال حرارت پایین سیال استفاده شده به عنوان عامل انتقال حرارتی و همچنین کاهش بهره‌وری سیستم با توجه به برق مصرفی برای پمپاژ سیال مورد نظر است، که نیاز سیستم است. با این حال پمپاژ مایعات ساکن به طور قابل توجهی کمتر از انرژی فشرده سازی حرکت هوا با فن ها است. راندمان حرارتی این نوع سیستم به طور معمول بین ۴۵٪ تا ۶۵٪ است (Mardiana and Riffat, 2012).

مواد و روش‌ها

در این مطالعه جهت انجام آزماشیات اقدام به ساخت سامانه‌ی بازیاب حرارت آزمایشگاهی شد. به این منظور، دستگاهی ساخته شد که با وجود داشتن ابعاد آزمایشگاهی بتواند تمام شرایط فرآیند در مقیاس واقعی را شبیه سازی کند. این سامانه شامل؛ مبدل‌های حرارتی، پمپ سیرکولاتور، دمنده هوا، لوله‌ها و اتصالات، حسگر دما، واحد کنترل، گرمکن الکتریکی و اتاقک ترمودینامیکی بود.

شکل ۴. شکل اصلی دستگاه

[1] cross contamination

برای انجام آزمایشات و ایجاد شرایط آزمایشگاهی در شرایط استاندارد، به یک اتاقک کاملا مجزا نیاز بود. ازطرفی، این اتاق آزمایش بایستی عایق حرارتی مناسبی در برابر گرما و سرما باشد، چرا که هر چه میزان تلفات حرارتی کمتر باشد، شرایط انجام آزمایش با دقت بالاتری صورت می‌پذیرد. پس از انجام مطالعات در زمینه‌ی انتخاب جنس دیوار اتاق، ساندویچ پنل‌های سردخانه‌ای با توجه به خصوصیاتشان، به عنوان گزینه مناسب انتخاب شد. ساندویچ پنل یک ساختار سبک و مرکب است که از دوطرف به دو لایه محدود شده و در وسط یک لایه عایق قرار دارد. مشخصات ساندویچ پنل استفاده شده برای ساخت اتاقک ترمودینامیکی در جدول ۱ آمده است.

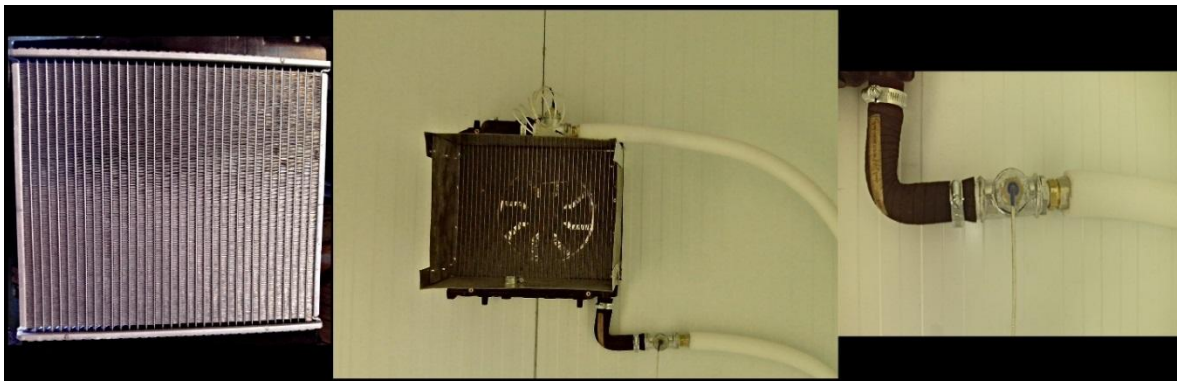
جدول ۱. مشخصات ساندویچ پنل مورد استفاده در ساخت اتاقک ترمودینامیکی

ضخامت پنل	عرض پنل	طول پنل	نوع فوم پنل	ضخامت ورق
۷ سانتی‌متر	۹۴/۵ سانتی‌متر	۲۸۰ سانتی‌متر	پلی اورتان	۰/۷ میلی‌متر

برای جلوگیری از تبادل گرما بین هوای داخل اتاقک ترمودینامیکی با هوای بیرون، تمامی ۶ سمت‌های اتاقک به صورت کامل با چسب سیلیکونی آنتی باکتریال درزبندی و روی آن‌ها با فلشینگ مخصوص پوشانده شد.

مبدل

برای تبادل حرارت و بازیابی گرمای تلف شده در اثر تهویه اتاقک ترمودینامیکی از مبدل حرارتی استفاده شد. مبدل حرارتی مورد استفاده در این مطالعه نمونه‌ای از یک مبدل حرارتی با طول ۴۰ سانتی‌متر و عرض ۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر است. قابل ذکر است که مبدل حرارتی مورد آزمایش از نوع صفحه‌ای یک ردیفه از جنس آلومنیوم و پره‌دار می‌باشد که هر صفحه دارای عرض ۳ و طول ۳۰ میلی‌متر است. این صفحات با هم موازی و بصورت عمودی و با فاصله ۱۰ میلی‌متر از هم قرار گرفته‌اند. تصویر واقعی این مبدل حرارتی را در **شکل** ۵ مشاهده می‌کنید.

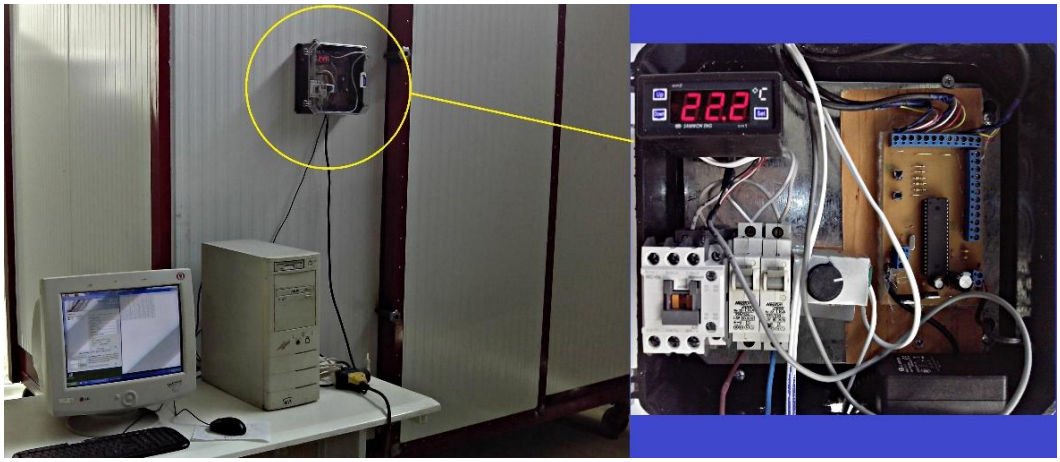


شکل ۵. مبدل حرارتی با لوله‌ها و اتصالات مورد استفاده در آزمایش.

لازم به ذکر است که دو مبدل با مشخصات ذکر شده برای انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. مبدل‌ها بوسیله لوله پنج لایه به قطر ۲۰ میلی‌متر با روکش عایق حرارتی و اتصالات مخصوص به آن‌ها متصل شدند.

واحد کنترل و نمایشگر

به منظور کنترل و پایش دمای هوای کانال عرضه، کانال خروجی و سیال در حال چرخش بین دو مبدل حرارتی و دمای هوای داخل اتاقک ترمودینامیکی از ۹ ترموکوپل نوع PT-100، پایه بلند و پایه کوتاه به عنوان حسگر دما استفاده شد. واحد کنترل وظیفه قطع و وصل گرمکن الکتریکی برای ثابت نگه داشتن دمای هوای اتاقک ترمودینامیکی، دریافت اطلاعات از سنسورها و کنترل سرعت دور دمنده هوا را به عهده دارد. برای نمایش پیوسته و آنلاین اطلاعات مربوط به حسگرها از یک نمایشگر در این سامانه استفاده گردید. تمامی اطلاعات مربوط به دماها در فا صله زمانی یک دقیقه تو سط نمای شگر، نمایش داده و در سی ستم واحد کنترل ثبت و ذخیره می‌شد (**شکل** ۶).



شکل ٦. واحد کنترل و نمایشگر

روش ارزیابی سامانه

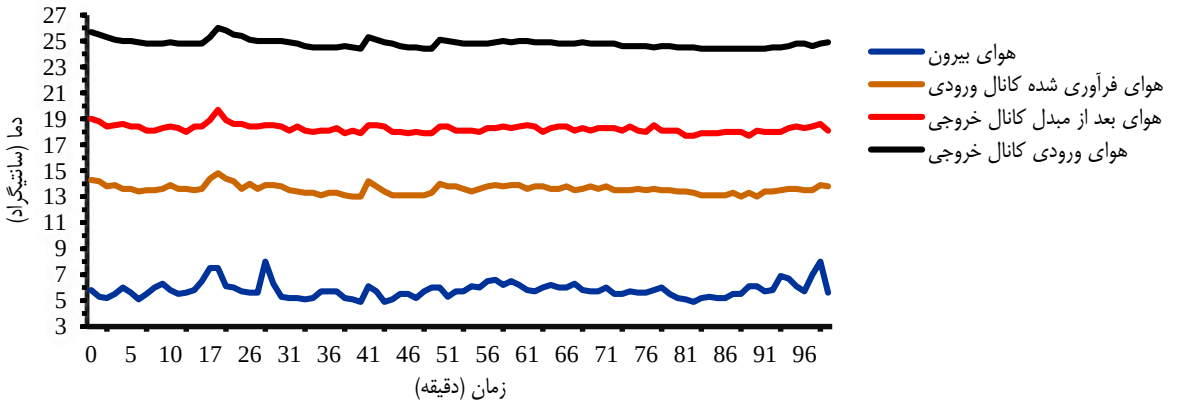
ارزیابی و آزمون سامانه مبدل بازیاب حرارت با کانال غیر مجاور، بر اساس امکانات موجود و امکان تامین شرایط آزمایش در کارگاه گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد، آزمون دستگاه به صورت آزمایشگاهی و با کنترل انجام شد. برای کنترل دمای هوای بیرون کانال ورودی هوای عرضه به شکل مستقیم با هوای بیرون در ارتباط بوده است. دمای داخل اتاقک ترمودینامیکی که به نوعی دمای بازگشتی سیستم مبدل بازیاب حرارت محسوب می‌شد با استفاده از گرمکن الکتریکی ۲۰۰۰ واتی کنترل گردید.

برای جلوگیری از اتلاف حرارت لوله‌کشی‌های بین مبدل‌ها، که آن‌ها را به هم متصل می‌کرد ابتدا بوسیله فوم‌های مخصوص عایق بندی شدند و سپس از درون اتاقک ترمودینامیکی عبور داده شدند.

آزمایش‌ها با سه سطح اختلاف دما بین هوای بیرون و داخل اتاقک ترمودینامیکی (۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد) با چهار تکرار انجام شد. هر آزمایش پس از رسیدن سامانه بازیاب حرارت به حالت پایدار و نسبتا یکنواخت به مدت یک ساعت گرفته شد. در حین آزمایش برداشت و ثبت اطلاعات به فاصله زمانی یک دقیقه انجام شد، اما برنامه به گونه ای طراحی شد که هر یک ثانیه دو داده گرفته و در فاصله یک دقیقه ۱۲۰ داده به واحد کنترل داده می‌شد و پس از آن میانگینی از ۱۲۰ داده به عنوان یک داده در فاصله یک دقیقه ثبت می‌شد. مجموعا ۶۰ ردیف اطلاعات در هر آزمایش به دست آمد. سپس نتایج با استفاده از طرح کاملا تصادفی توسط نرم افزار Minitab 17 تحلیل شد.

ارزیابی بالانس حرارتی دستگاه

بالانس حرارتی د ستگاه در حالتی اتفاق می‌افتد که حرارت جذب شده تو سط مبدل کانال هوای خروجی با حرارت دفع شده تو سط مبدل کانال هوای ورودی برابر یاشـــد. در واقع بالانس حرارتی زمانی رخ می‌دهد که دســـتگاه و محیط انجام آزمایش به طور کامل عایق بندی و درزبندی شده باشد و میزان تلفات حرارتی به صفر برسد. اما در بهترین شرایط درزبندی و عایق بندی کانال‌های هوا و لوله‌های رابط بین مبدل‌ها، وجود تلفات حرارتی غیر قابل اجتناب هســتند. این نابرابری در تعادل حرارتی در **شکل** ۷ نیز نشـان داده شده است.



شکل ۷. تغییرات دمایی چهار کانال مبدل بازیاب حرارت در طول آزمایش با اختلاف دمای ۲۰°C

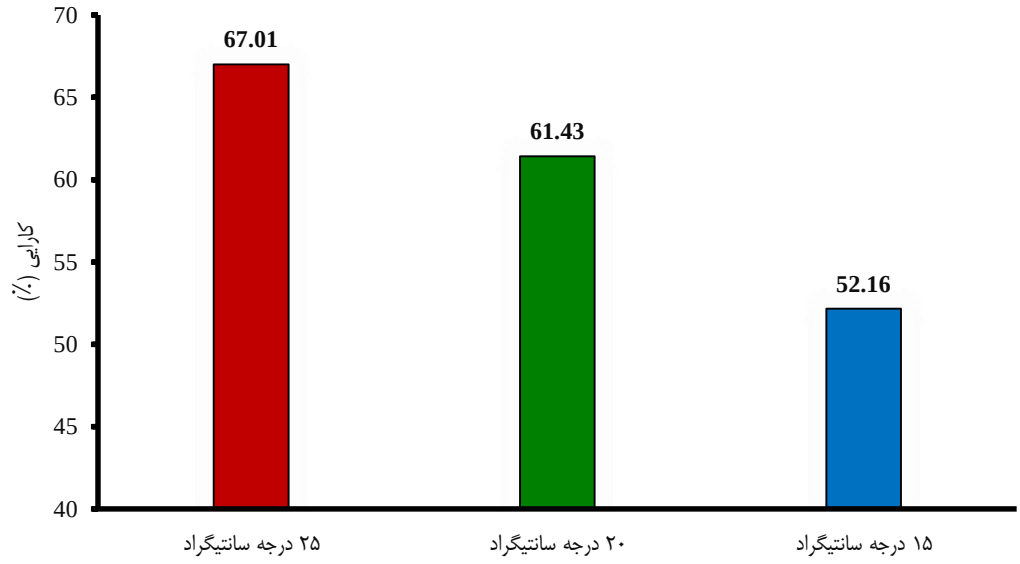
نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اختلاف دما روی کارایی سامانه درجدول ۲ آمده است. با توجه به این جدول مقایسه میانگین‌ها برای فاکتور اختلاف دما در سطح احتمال پنج درصد نشان داد که بین اختلاف دماهای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد برای کارایی مبدل بازیاب حرارت در سطح اطمینان ۹۵ درصد اختلاف معنی داری وجود دارد. کارایی دستگاه در سطوح دمایی تغییر می‌کند، لذا در هر یک از سطوح برای فاکتورهای مورد آزمایش کارایی دستگاه متفاوت بوده و برای هر کدام یک کارایی را می‌توان منظور کرد.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر متغییر مستقل بر کارایی دستگاه

متغییرهای مستقل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میزان سهم	میانگین مربعات	آماره F	P-value
اختلاف دما	۴۵۰/۲۸	۲	۹۶/۹۵	۲۲۵/۱۴	۱۴۲/۹۰	۰/۰۰*
خطا	۱۴/۱۸	۹	۳/۰۵	۱/۵۸		
کل	۴۶۴/۴۶	۱۱	۱۰۰			

همان‌طور که در **شکل** ۸ مشاهده می‌شود، با افزایش اختلاف دما بین هوای ورودی و هوای داخل اتاقک ترمودینامیکی، کارائی مبدل بازیاب حرارت افزایش می‌یابد که دلیل آن افزایش نرخ انتقال حرارت سیال عامل می‌باشد و در نتیجه باعث انتقال حرارت بیشتر مبدل می‌شود. این روند برای سامانه بازیاب حرارت در تمام سطوح اختلاف دمای آزمایش مشاهده می‌شود و بالاترین میزان کارایی مربوط به اختلاف دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بدست آمد.



شکل ۸. اثر اختلاف دماهای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد روی میزان کارایی دستگاه مبدل بازیاب حرارت.

برای بررسی دقیق‌تر اثرات اختلاف دما روی کارایی سامانه از مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون توکی استفاده شد که نتایج آن در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. جدول مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون توکی برای فاکتور اختلاف دما.

مقایسه اختلاف دما	اختلاف دما	اختلاف میانگین‌ها	خطای استاندارد	P- value	کران پایین	کران بالا
۱۵ درجه	۲۰ درجه	۹/۲۷	۰/۸۹	۰/۰۰*	۶/۸۰	۱۱/۷۵
	۲۵ درجه	۱۴/۸۵	۰/۸۹	۰/۰۰*	۱۲/۳۷	۱۷/۳۳
۲۰ درجه	۱۵ درجه	۹/۲۷	۱/۳۲	۰/۰۰*	۵/۴۰	۱۲/۷۵
	۲۵ درجه	۵/۵۸	۰/۸۹	۰/۰۰*	۳/۱۰	۸/۰۶

با توجه به جدول ۳ افزایش اختلاف دما اثر معناداری روی کارایی دستگاه بازیاب حرارت دارد. افزایش اختلاف دما بین هوای بیرون و داخل اتاقک ترمودینامیکی از ۱۵ به ۲۰ درجه سانتی‌گراد ۹/۲۷ درصد کارایی سامانه را بهبود بخشیده است. از میان سطوح اختلاف دمای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین اختلاف دما مربوط به سطح اختلاف دمای ۱۵ با ۲۵ درجه سانتی‌گراد رخ داده است. این بدان معناست که با افزایش اختلاف دما از ۱۵ به ۲۵ درجه سانتی‌گراد کارایی مبدل بازیاب حرارت به میزان ۱۴/۸۳ درصد افزایش یافته است، این مقدار افزایش در کارایی سامانه قابل ملاحظه است.

منابع

خیامی, ن., منیری منش. ،س.م, و نوعی،ش.، بررسی تجربی تاثیر استفاده از مبدل حرارتی لوله گرمایی و نانوسیال بر میزان صرفه جویی انرژی در یک سیستم تهویه مطبوع, در چهاردهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران. ۱۳۹۱: تهران.

هاشمی , س.م., م.ح. عباسپورفرد, و م.ح. آق خانی, بررسی علل ایجاد چگالش بخار آب و تشکیل برفک روی سطوح چرخ آنتالپی در کارکرد گرمایشی و راهکارهای رفع این مشکل, در هفتمین کنفرانس دانشجویی مهندسی مکانیک. ۱۳۹۲: دانشگاه تهران.

Mardiana, I., and S. Riffat. (2012). Review on heat recovery technologies for building applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 1241-1255.

Fauchoux, M. (2006). The Effect of Energy Recovery on Indoor Climate, Air Quality and Energy Consumption Using Computer Simulations, M.Sc. Thesis, University of Saskatchewan. http://library2.usask.ca/theses/available/etd-06222006-162448.

Fehrm, M. W. (2002). Exhaust air heat recovery in buildings. International Journal of Refrigeration, 439-449.

McDowell, T. S. (2003). Integration of Airflow and Energy Simulation using CONTAM and TRNSYS, ASHRAE Transactions. 109(2): 757.

Nasif MS, M. G. (2005). Heat and mass transfer in air to air enthalpy heat exchangers. Presented at the 6th world conference on experimentak heat transfer, fluid mechanics and thermodynamics, Matsushima, Japan.

Riffat, SB,. Gan, G. (1998). Determination of effectiveness of heat-pipe heat recovery for naturally-ventilated buildings. Applied Thermal Engineering, (18):121–30.

Vali A, S. C. (2009). Numerical model and effectiveness correlations for a run-around heat recovery system with combined counter and cross flow exchangers. International Journal of Heat and Mass Transfer, ;(52):5827–40.