

## بررسی تجربی بازیافت انرژی در میزان کاهش بار سرمایشی ساختمان در شرایط مختلف اقلیمی ایران

شهرام دلفانی<sup>۱</sup>، هادی پاسدار شهری<sup>۲</sup>، مریم کرمی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استادیار، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، بخش تاسیسات مکانیکی و برقی؛ [delfani@bhrc.ac.ir](mailto:delfani@bhrc.ac.ir)

<sup>۲</sup>دانشجوی دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی مهندسی؛ [hadi.pasdar@gmail.com](mailto:hadi.pasdar@gmail.com)

<sup>۳</sup>کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، بخش تاسیسات مکانیکی و برقی؛ [m.karami53@gmail.com](mailto:m.karami53@gmail.com)

### چکیده

آسایش به آسایش<sup>۳</sup> تقسیم‌بندی می‌شوند [۲]. در جدول ۱ مبدل‌های هوا به هوای رایج و کاربرد آنها آورده شده است. در مبدل فرآیند به فرآیند، حرارت از جریان هوای خروجی به جریان هوای مصرفی انتقال می‌یابد. این مبدل‌ها برای کاربردهایی تا دمای ۱۶۰۰ فارنهایت موجودند. مبدل‌های فرآیند به فرآیند فقط برای انتقال حرارت محسوس استفاده می‌شوند و توانایی انتقال بار نهان (رطوبت) را ندارند. در این مبدل‌ها در شرایطی که امکان تقطیر گاز وجود داشته باشد، برای ممانعت از این امر باید میزان انتقال حرارت کنترل شود.

جدول ۱: انواع مبدل‌های هوا به هوا و کاربرد آنها [۱]

کاربرد	روش
خشک کردن - کوره‌ها - آتش‌دان‌ها - مشعل - اجاق - جوشکاری	فرآیند به فرآیند فرآیند به آسایش
استخرهای شنا - اتاق‌های بسته - مصارف مسکونی - خروجی‌های دود - اتاق‌های عمل - اتاق‌های بیمارستان - تهویه سالن‌های پرورش حیوانات - تهویه در نیروگاه‌ها	آسایش به آسایش

در این مقاله به بررسی تجربی اثر بازیافت انرژی در میزان کاهش بار سرمایشی در اقلیم‌های مختلف ایران پرداخته شده است. مبدل حرارتی هوا به هوا به منظور بازیافت انرژی مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به شرایط اقلیمی کشور، پنج شهر از اقلیم مختلف کشور انتخاب و با در نظر گرفتن شرایط عملکردی مختلف، اثر بازیافت حرارتی در میزان کاهش مصرف انرژی و بار سیستم سرمایشی، تعیین شده است. نتایج نشان می‌دهد با بازیافت انرژی در فصل گرما، میزان بار محسوس ساختمان برای شهرهایی مانند تهران به طور متوسط ۷۴/۲ درصد کاهش می‌یابد. این میزان کاهش بار مصرفی، کاهش انرژی را بدنبال دارد. همچنین آزمون برای دماهای مختلف فضای تهویه انجام شده و اثر آن بر کاهش دما در مبدل بررسی شده است.

**کلمات کلیدی:** بازیافت انرژی، مبدل هوا به هوا، مطالعه تجربی، بار محسوس

### مقدمه

در مبدل فرآیند به آسایش حرارت‌های اتلافی برای گرم کردن جریان هوای جبرانی ساختمان در فصل زمستان استفاده می‌شود. کاربرد رایج این مبدل‌ها در صنایع ذوب فلزات، آبکاری فلزات، کاغذسازی و دیگر فرآیندهایی است که در آن حرارت زیادی تولید شود و در عین حال نیاز به درصد بالایی هوای جبرانی باشد. با توجه به اینکه در مبدل‌های فرآیند به فرآیند تمایل به حداکثر بازیافت انرژی است، اما در این حالت به خصوص در هوای گرم، برای جلوگیری از افزایش بیش از حد دمای جبرانی باید میزان بازیافت انرژی کنترل شود.

در فصل تابستان در این کاربرد بازیافت انرژی نیاز نیست. زیرا بازیافت انرژی در این مبدل‌ها تنها در فصل زمستان اهمیت دارد. این مبدل‌ها نیز به طور کلی حرارت محسوس را کنترل می‌کنند و انتقال رطوبت بین دو جریان هوا صورت نمی‌گیرد.

در کاربردهای آسایش به آسایش، مبدل هوا به هوا به منظور بازیافت انرژی استفاده می‌شود. این مبدل‌ها موجب کاهش انتالی هوای مصرفی ساختمان در فصل گرم و افزایش انتالی آن در فصل سرد می‌شود. علاوه بر آن در کاربردهای صنعتی و مصارف مسکونی

رشد جمعیت و به دنبال آن افزایش ساخت ساختمان‌ها و همچنین نیاز به وسیله تامین سرمایش و گرمایش لازم آن، موجب افزایش مصرف انرژی بخصوص در بخش ساختمان شده است. متأسفانه استفاده ناصحیح از تجهیزات گرمایی و سرمایی بر این افزایش دامن زده است.

در ساختمان‌ها همواره بخشی از هوای داخل به بیرون تخلیه می‌شود. این کار برای مطلوب نگه‌داشتن کیفیت هوای داخل ضروری است. از طرفی این هوا مقداری انرژی را با خود از ساختمان خارج کرده و به هدر می‌دهد.

برای بازیافت انرژی مربوط به هوای تخلیه از مبدل هوا به هوا استفاده می‌شود. در این مبدل دو مسیر هوای کاملاً مجزا از یکدیگر وجود دارد که از یکی هوای تخلیه و از دیگری هوای تازه عبور می‌کند و در طی این مسیر انرژی (گرمایی یا سرمایی) از هوای تخلیه‌شده به هوای تازه منتقل می‌شود. مبدل‌های هوا به هوا با توجه به نوع کاربرد آنها به سه شاخه فرآیند به فرآیند<sup>۱</sup>، فرآیند به آسایش<sup>۲</sup>،

<sup>۱</sup> Process to process

<sup>۲</sup> Process to comfort

<sup>۳</sup> Comfort to comfort

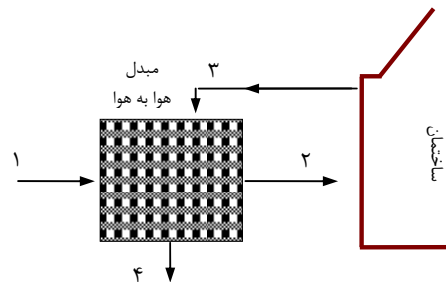
این نوع مبدل‌ها به عنوان مبدل‌های بازیافت حرارت یا بازیافت انرژی شناخته می‌شوند.

انتخاب نوع مبدل حرارتی در میزان کاهش بار، بسیار مهم است. به عنوان مثال در مناطق مرطوب، علاوه بر کاهش دما، برای تامین آسایش به کاهش رطوبت نیز نیاز است. به همین دلیل در چنین مناطقی استفاده از مبدل‌های انتقال حرارت کلی و یا دو مبدل انتقال حرارت نهان و محسوس برای کنترل مجزای بار نهان و بار محسوس، نیاز است [۳ و ۲].

برای محاسبه کارایی بازیافت انرژی، لازارین و گاسپارلا به کمک تحلیل‌های اقتصادی نشان دادند که حتی برای تهویه با دبی کم نیز استفاده از سیستم‌های بازیافت انرژی اقتصادی است [۴]. فرن و همکارانش، مطالعه‌ای درباره توسعه و اقتصادی بودن استفاده از مبدل‌های بازیافت انرژی در کشورهای سوئد و آلمان پرداختند [۵]. رولت و همکارانش به مطالعه تئوری واحدهای هواساز و امکان استفاده از مبدل بازیافت در این سیستم‌ها پرداختند [۶]. که و یانمینگ [۷]، امکان استفاده از مبدل هوا به هوا را در کشور چین بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد با استفاده از مبدل هوا به هوا میزان مصرف انرژی در ساختمان‌ها برای هشت شهر مورد بررسی، به شکل چشمگیری کاهش می‌یابد. همچنین استفاده از مبدل جداگانه برای کنترل مجزای بار محسوس و نهان در مناطق مرطوب را پیشنهاد دادند.

## بازیافت انرژی

طرحواره سیستم بازیافت انرژی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: طرحواره سیستم بازیافت انرژی

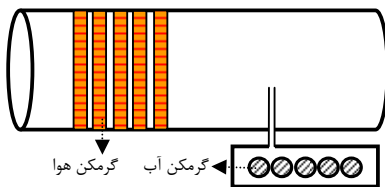
با توجه به شکل ۱، مشاهده می‌شود که مبدل هوا به هوا، هوای مصرفی را از محیط می‌گیرد. این هوا در مبدل با هوای برگشتی از ساختمان، که همان شرایط نقطه ۳ می‌باشد، تبادل حرارت انجام داده و دمای آن کاهش می‌یابد. به این ترتیب هوا در نقطه ۲ دارای دمای محسوس کمتری نسبت به نقطه ۱ یعنی شرایط محیطی، است. هوا در نقطه ۲ وارد سیستم تهویه یا سرمایش می‌شود و چون دمای محسوس آن طی عبور از مبدل کاهش یافته، میزان انرژی کمتری در مبدل برای سرمایش هوا، استفاده می‌شود.

## سیستم آزمایشگاهی

به منظور انجام آزمایش‌های تجربی مطابق با طرحواره شکل ۱، دستگاه آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. اجزای این دستگاه به شرح زیر است:

### • شبیه‌ساز هوا

دو دستگاه شبیه‌ساز هوا برای فراهم نمودن شرایط محیطی در نقطه ۱ و شرایط هوای برگشتی در نقطه ۳، طراحی و ساخته شد. این دستگاه یک هواساز کوچک است که مجهز به فن دمنده، گرمکن هوای الکتریکی و مولد بخار می‌باشد. از این دستگاه برای تولید هوای با دما و رطوبت مشخص که برحسب نیاز مشابه هوای بیرون یا هوای داخل، استفاده می‌شود. طرحواره این دستگاه در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: طرحواره شبیه‌ساز هوا

با توجه به شکل ۲، گرمکن‌های هوا برای گرمایش محسوس هوای ورودی و گرمکن آب به منظور تامین بخار و افزایش رطوبت هوا، استفاده می‌شود.

### • مبدل هوا به هوا

مبدل هوا به هوا جریان متقاطع با ظرفیت اسمی ۱۲۰۰ cfm برای این آزمون در نظر گرفته شد. بدنه مبدل به منظور کاهش انتقال حرارت با محیط به طور مناسب عایق کاری شد.

### • سیستم کنترل

برای کنترل اجزای مختلف سیکل، دما و رطوبت هوا و توان گرمکن-های الکتریکی، یک تابلو کنترل طراحی و ساخته شد.

### • کویل سرد

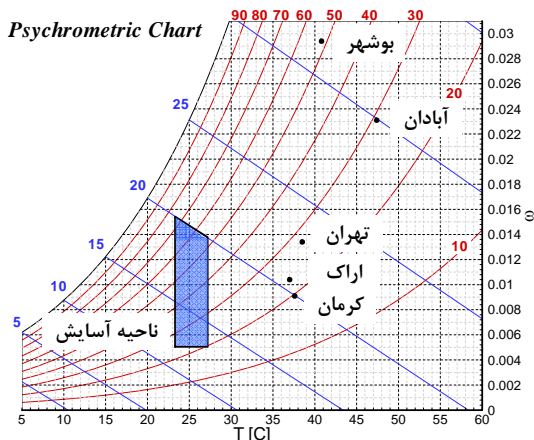
از آنجا که شبیه‌سازهای هوا تنها قادر به تامین هوایی با دما و رطوبت بالاتر نسبت به شرایط ورودی هستند، از یک کویل سرد قبل از شبیه‌ساز برای کاهش دمای ورودی استفاده شد. محلول کویل سرد، شامل آب و ۲۰ درصد اتیلن گلیکول است. برای سرمایش آب ورودی به کویل سرد از یک چیلر تراکمی با ظرفیت اسمی ۵ تن تبرید استفاده شد.

### • ابزارهای اندازه‌گیری

این ابزارها شامل حسگرهای اندازه‌گیری دما، رطوبت و سرعت هوا در نقاط مختلف سیکل، هستند. به منظور ثبت دما و رطوبت در نقاط مختلف دستگاه از حسگرهایی در نقاط مختلف دستگاه استفاده شده است. برای اندازه‌گیری سرعت، از دو حسگر اندازه‌گیری سرعت که در فاصله ۲ متر از فن قرار دارند، استفاده شده است. فاصله حسگرها از دیوار کانال ۰/۱۴ قطر است. محل دقیق قرارگیری حسگرها مطابق با استاندارد ASTM-3464 تعیین می‌شود [۸]. به کمک این حسگرها، سرعت هوا و نیز دبی هوای رفت و برگشت محاسبه می‌-

تحقیق از هر منطقه آب و هوایی ایران یک شهر انتخاب می‌شود تا بررسی جامعی از عملکرد مبدل هوا به هوا در مناطق مختلف صورت پذیرد. بر این اساس، شهرهای مورد نظر در شکل ۴ و دمای تر و خشک آن‌ها نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۱ شرایط هوای محیط برای شهرهای مختلف در نقطه ۱ به کمک شبیه‌ساز هوا فراهم می‌شود. برای تامین هوای مناسب در نقطه ۳ (هوای برگشتی ساختمان) نیز از یک شبیه‌ساز هوا استفاده می‌شود. از آنجا که مبدل هوا به هوا به عنوان یک سیستم کمکی جهت بازیافت انرژی می‌باشد، فرض بر این است که به کمک یک دستگاه تامین‌کننده بار برودتی، شرایط آسایش حرارتی در ساختمان تامین شده است. بدین منظور محدوده دمای هوای برگشتی در نقطه ۳ معلوم می‌باشد. با توجه به نمودار آسایش حرارتی ASHRAE دمای خشک هوای داخل محدود به  $23/3^{\circ}\text{C}$  و  $27/2^{\circ}\text{C}$  است. همچنین محدوده پایین ناحیه آسایش محدود به نقطه شبنم  $2/2^{\circ}\text{C}$  و ناحیه بالایی آن دمای تر  $20^{\circ}\text{C}$  می‌باشد. به این ترتیب مشاهده می‌شود که رطوبت هوای برگشتی نیز می‌تواند بر عملکرد مبدل حرارتی اثر داشته باشد. برای بررسی این موضوع، در ابتدا اثر رطوبت هوای برگشتی بررسی می‌شود. نتایج این بررسی برای دو میزان رطوبت هوای برگشتی در جدول ۲ نشان داده شده است.

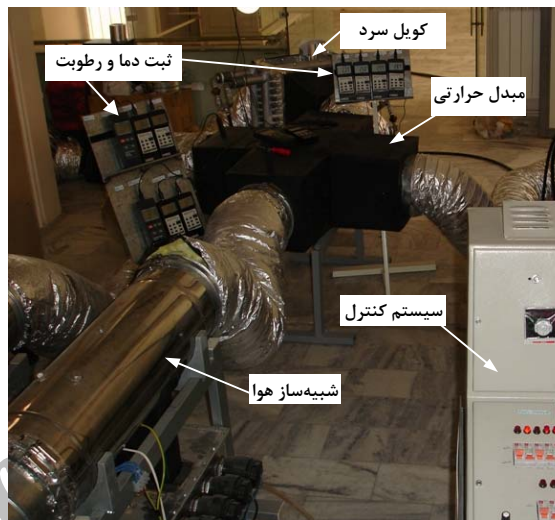


شهر	آبادان	بوشهر	تهران	اراک	کرمان
$DB(^{\circ}\text{C})$	۴۷/۵	۴۰/۸	۳۸/۵	۳۷	۳۷/۶
$WB(^{\circ}\text{C})$	۲۹/۴	۳۰/۹	۲۲/۵	۲۰/۲	۱۹/۵

شکل ۴: شهرهای انتخابی برای آزمون و محل آن روی سایکرومتریک [۹]

با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۲ رطوبت هوای برگشتی، فقط ۰/۱ درجه سانتیگراد بر اختلاف دمای دو مسیر اثر دارد. این اختلاف ناشی از تغییرات ناچیز خواص حرارتی هوای مرطوب با میزان رطوبت موجود در آن در محدوده دمایی آسایش است. بنابراین در ادامه برای انجام آزمون‌ها از بررسی رطوبت هوای برگشتی به دلیل تاثیر ناچیز آن، صرف نظر و تنها اثر دمای هوای برگشتی بررسی می‌شود. در محدوده دمای مجاز در ناحیه آسایش، برای هر شهر سه

اندازه‌گیری دما و رطوبت نیز در نقاط مورد نیاز دستگاه صورت می‌گیرد. دما و رطوبت هوا در ورودی و خروجی هوای اولیه و ثانویه مبدل، اندازه‌گیری می‌شود. برای اندازه‌گیری دما و رطوبت در هر نقطه مسیر از ۴ حسگر دما استفاده می‌شود تا گرادیان دما به خوبی اندازه‌گیری شود. در شکل ۳ قسمتی از سیستم آزمایشگاهی نشان داد شده است.



شکل ۳: سیستم آزمایشگاهی مبدل بازیافت

### انجام آزمون‌ها و بررسی نتایج

پیش از انجام آزمون، انتخاب شهرهایی از ایران که اقلیم‌های مختلف را در بر بگیرد حائز اهمیت است. کشور پهناور ایران، به علت قرار گرفتن در موقعیت جغرافیایی خاص و دارا بودن عوامل مختلف محیطی از قبیل دریای آزاد، دریاچه، کویر، کوهستان و جنگل، دارای مناطقی با آب و هوای متفاوت است و از این رو، در فصول مختلف سال، شرایط اقلیمی متغیری را می‌توان مشاهده نمود. نواحی مختلف کشور را طبق شرایط جوی و با توجه به حداکثر و حداقل درجه حرارت و میزان رطوبت نسبی و پارامترهای دیگری که از آمارهای هواشناسی استخراج می‌شوند، می‌توان به مناطق مختلفی تقسیم‌بندی نمود. این تقسیم‌بندی برای فصل تابستان و زمستان به طور جداگانه قابل انجام است؛ به طوری که از تقسیم‌بندی تابستانی برای محاسبه سیستم‌های برودتی (تهویه مطبوع، کولر و...) و از تقسیم‌بندی زمستانی برای محاسبه سیستم‌های حرارت مرکزی استفاده می‌شود. بدیهی است که در این تحقیق، نیاز به بررسی تقسیم‌بندی تابستانی ایران می‌باشد؛ منظور از این تقسیم‌بندی نشان دادن اختلاف آب و هوا در تابستان برای مناطق مختلف و تنظیم آن در هر گروه خاص می‌باشد. عوامل موثر در تقسیم‌بندی تابستانی عبارتند از: درجه حرارت خشک (DB)، درجه حرارت مرطوب (WB).

بنابراین تقسیم‌بندی طبق دو عامل مهم تفاوت درجه حرارت و تفاوت در رطوبت می‌تواند صورت پذیرد. مناطق مختلف از نظر ماکزیمم درجه حرارت خشک در تابستان و میزان رطوبت که با مشخص بودن درجه حرارت مرطوب همراه با درجه حرارت خشک تعیین می‌شود، در گروه‌های اقلیمی مختلف قرار می‌گیرند. در این

جدول ۲: مقایسه اثر رطوبت هوای برگشتی بر عملکرد مبدل هوا به هوا

ورودی						خروجی		اختلاف	
$T_1$ °C	$RH_1$ %	$V_1$ m/s	$T_3$ °C	$RH_3$ %	$V_3$ m/s	$T_2$ °C	$T_4$ °C	$\Delta T_{12}$ °C	$\Delta T_{43}$ °C
۳۸/۵	۲۷/۸	۳/۴	۲۴/۴	۲۶	۲/۲	۳۱/۲	۳۵/۸	۷/۳	۱۱/۴
۳۸/۵	۲۸/۲	۳/۴	۲۴/۴	۵۲/۴	۲/۲	۳۱/۳	۳۵/۹	۷/۲	۱۱/۵

بیشترین میزان خطای اندازه‌گیری رطوبت نسبی:  $\pm 3\%$   
 بیشترین میزان خطای اندازه‌گیری دما:  $\pm 0.22^\circ\text{C}$   
 بیشترین میزان خطای اندازه‌گیری سرعت:  $\pm 0.1\text{ m/s}$

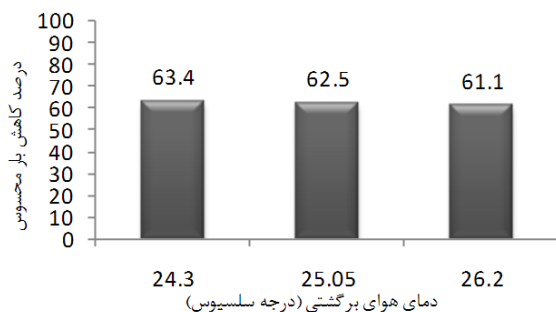
جدول ۳: خلاصه نتایج حاصل از آزمون‌های مبدل هوا به هوا برای شهرهای مختلف

نام شهر	ورودی					خروجی		اختلاف	
	$V_1$ m/s	$V_3$ m/s	$T_1$ °C	$T_3$ °C	$RH_3$ %	$T_2$ °C	$T_4$ °C	$\Delta T_{12}$ °C	$\Delta T_{43}$ °C
تهران	۲/۱۵	۲/۰	۳۸/۴	۲۴/۱۵	۳۱	۲۷/۸۵	۳۵/۲۵	۱۰/۵۵	۱۱/۱
			۳۸/۴۵	۲۵/۳۵	۲۷/۴	۲۸/۶	۳۵/۴۵	۹/۸	۱۰/۱
			۳۸/۴۵	۲۶/۸۱	۲۶	۲۹/۷۵	۳۵/۹۵	۸/۷	۹/۱۴
کرمان	۲/۱۵	۲/۰	۳۷/۵	۲۴/۲۵	۳۱/۷	۲۷/۶۵	۳۴/۳۵	۹/۸۵	۱۰/۱
			۳۷/۵	۲۵/۲۵	۲۸/۹	۲۸/۳۵	۳۵/۶۵	۹/۱۵	۹/۴
			۳۷/۶	۲۶/۶۵	۲۷/۱	۲۹/۴	۳۵/۱۵	۸/۲	۸/۵
اراک	۲/۱۵	۲/۰	۳۷/۰	۲۴/۱	۳۰/۳	۲۷/۵	۳۴/۰۵	۹/۵۵	۹/۹۵
			۳۷/۰	۲۵/۱۵	۲۸/۲	۲۸/۲	۳۴/۲۵	۸/۷۵	۹/۱
			۳۷/۰	۲۶/۲۵	۲۵/۸	۲۸/۹	۳۴/۴۵	۸/۰۵	۸/۲
بوشهر	۲/۱۵	۲/۰	۴۰/۷۵	۲۴/۲۵	۲۸/۶	۲۹/۵۵	۳۷/۳	۱۱/۲	۱۳/۰۵
			۴۰/۸	۲۵/۱	۲۷/۸	۲۹/۷	۳۷/۳۵	۱۱/۱	۱۲/۲۵
			۴۰/۷	۲۶/۲۵	۲۶	۳۰	۳۷/۳۵	۱۰/۷	۱۱/۱
آبادان	۲/۱۵	۲/۰	۴۷/۵	۲۴/۳	۳۱/۲	۳۳/۴	۴۳/۳	۱۴/۱	۱۹
			۴۷/۳۵	۲۵/۰۵	۲۷/۹	۳۳/۴۵	۴۳/۶۵	۱۳/۹	۱۸/۶
			۴۷/۴	۲۶/۲	۲۶/۶	۳۳/۸	۴۴/۱	۱۳/۶	۱۷/۹

بیشترین میزان خطای اندازه‌گیری رطوبت نسبی:  $\pm 3\%$   
 بیشترین میزان خطای اندازه‌گیری دما:  $\pm 0.25^\circ\text{C}$   
 بیشترین میزان خطای اندازه‌گیری سرعت:  $\pm 0.1\text{ m/s}$   
 توضیح: خطا با توجه به نوع وسیله و روش اندازه‌گیری تعیین شده است.

مقدار در دبی هوای ورودی به ساختمان یا همان هوای جبرانی میزان کاهش بار بدست می‌آید. بدین منظور برای شهرهای انتخاب شده با توجه به دمای هوای برگشتی از ساختمان میزان کاهش بار محسوس به کمک مبدل هوا به هوا محاسبه می‌شود. در صورتی که متوسط دمای طرح داخل با توجه به ناحیه آسایش  $25/25^\circ\text{C}$  در نظر گرفته شود، با استفاده از مبدل هوا به هوا درصد کاهش بار محسوس سیستم برودتی بدست می‌آید. این مقدار برای هر شهر در شکل‌های ۵ تا ۹ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در تمامی شهرها میزان بار محسوس به مقدار چشمگیری کاهش می‌یابد. درصد کاهش بار محسوس برای شهرهایی که رطوبت هوای کمتری دارند مانند اراک و کرمان، نسبت به شهرهای مرطوب مانند آبادان و بوشهر بیشتر است. همچنین با افزایش دمای هوای برگشتی

حالت دمایی برگشتی در نظر گرفته می‌شود تا به خوبی اثر آن بر عملکرد مبدل هوا به هوا و میزان بازیافت انرژی نمایان شود. سرعت جریان هوا، با توجه به نوع مبدل مورد استفاده و محدوده مجاز دبی هوای عبوری از آن، سرعت دو جریان هوا در کانال اندازه‌گیری در مسیر رفت  $2\text{ m/s}$  و در مسیر برگشت  $2/15\text{ m/s}$  در نظر گرفته می‌شود. نتایج آزمون‌ها در این حالت در جدول ۳ برای شهرهای مختلف نشان داده شده است. نتایج آزمون‌های انجام شده با توجه به جدول ۳ نشان می‌دهد که مبدل هوا به هوا در تمامی شرایط آب و هوایی به میزان قابل توجهی بار محسوس تجهیزات برودتی را کاهش می‌دهد. میزان کاهش بار با توجه به دمای هوای برگشتی تغییر می‌کند. در جدول ۳ تنها مقدار کاهش دمای ( $\Delta T_{12}$ ) بدست آمده توسط مبدل نشان داده شده است. البته با ضرب این



شکل ۹: میزان درصد کاهش بار محسوس آبادان

### جمع بندی

مبدل هوا به هوا با هدف بازیافت انرژی مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق هدف بررسی میزان کاهش بار محسوس تجهیزات تامین کننده برودت است. پس از بررسی شرایط مختلف و با توجه به نتایج ارائه شده، مشاهده می‌شود که استفاده از مبدل هوا به هوا، بار محسوس را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. کاهش بار محسوس موجب ظرفیت سیستم برودتی مورد نیاز و در نهایت کاهش مصرف انرژی می‌شود. میزان کاهش بار محسوس به شرایط محیطی و همچنین دمای هوای برگشتی از ساختمان بستگی دارد. به طور کلی با افزایش دمای هوای برگشتی، درصد کاهش بار محسوس، کم می‌شود. از سوی دیگر با کاهش دمای محیط، این درصد افزایش می‌یابد. با بکارگیری مبدل بازیافت انرژی، بار محسوس سیستم برودتی برای شهرهای تهران، کرمان، اراک، بوشهر و آبادان به طور متوسط ۷۲/۲، ۷۳/۴، ۷۴/۸، ۷۰/۷ و ۶۳/۳ درصد کاهش می‌یابد.

### فهرست علائم

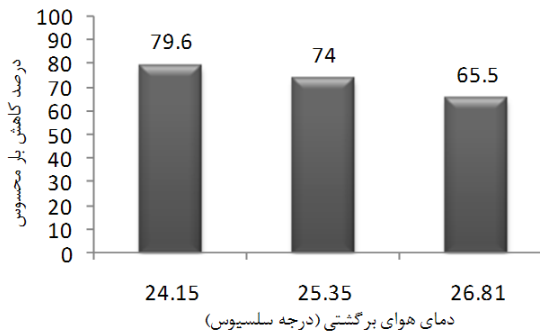
DB	دمای خشک ( $^{\circ}C$ )
RH	رطوبت نسبی (%)
T	دما ( $^{\circ}C$ )
V	سرعت ( $m/s$ )
WB	دمای تر ( $^{\circ}C$ )
	زیرنویس
numbers	نقاط حالت

### مراجع

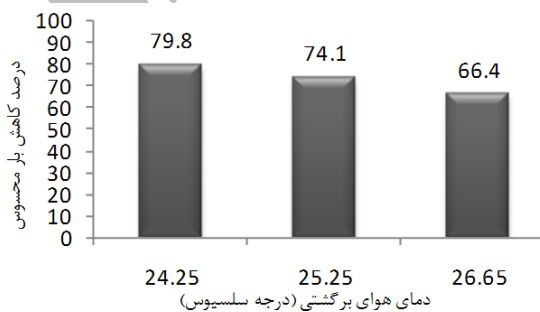
- [1] ASHRAE Handbook, systems and equipment, Chapter 44, air-to-air energy recovery.
- [2] L.Z. Zhang, J.L. Niu, Energy requirements for conditioning fresh air and the long-term savings with a membrane-based energy recovery ventilator in Hong Kong, Energy 26 (2) (2001) 119–135.
- [3] Y. Zhang, Y. Jiang, L.Z. Zhang, Y. Deng, Z. Jin, Analysis of thermal performance and energy savings of membrane based heat recovery ventilator, Energy 25 (6) (2000) 515–527.

از ساختمان که به عنوان هوای ثانویه در مبدل حرارتی استفاده می‌شود، درصد کاهش بار محسوس نیز کاهش می‌یابد.

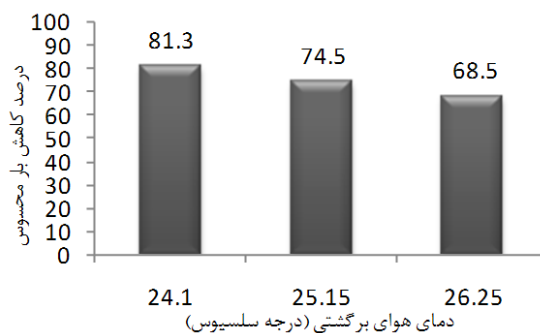
این امر به دلیل کاهش توانایی هوای برگشتی در خنک کردن هوای اولیه عبوری از مبدل حرارتی است. کاهش بار محسوس، اثر چشمگیری در میزان کاهش مصرف انرژی و هزینه اولیه سیستم تامین برودت دارد.



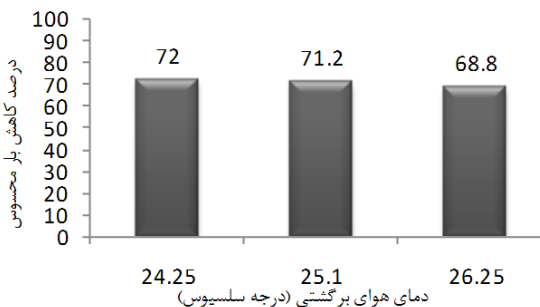
شکل ۵: میزان درصد کاهش بار محسوس تهران



شکل ۶: میزان درصد کاهش بار محسوس کرمان



شکل ۷: میزان درصد کاهش بار محسوس اراک



شکل ۸: میزان درصد کاهش بار محسوس بوشهر

[4] S. Lang, Progress in energy-efficiency standards for residential buildings in China, *Energy and Buildings* 36 (12) (2004) 1191–1196.

[5] M. Fehrm, W. Reiners, M. Ungemach, Exhaust air heat recovery in buildings, *International Journal of Refrigeration* 25 (4) (2002) 439–449.

[6] C.A. Roulet, F.D. Heidt, F. Foradini, M.C. Pibiri, Real heat recovery with air handling units, *Energy and Buildings* 33 (5) (2001) 495–502.

[7] Zhong Ke, Kang Yanming, Applicability of air-to-air heat recovery ventilators in China, 29 (2009) 830–840.

[8] Standard Test Method for Average Velocity in a Duct Using a Thermal Anemometer, ASTM 3464.

[۹] ق. حیدری‌نژاد، ش. دلفانی، دستورالعمل انتخاب شرایط محیط بیرون جهت استفاده در طراحی سیستم‌های حرارتی و تهویه مطبوع برای شهرهای ایران. تهران-انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۶

Archive of SID