

بررسی تجربی تأثیر موانع واقع بر صفحه جاذب روی عملکرد حرارتی هواگرمن خورشیدی

میلااد احمدوند، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه رازی؛ Ahmadvand_milad@yahoo.com

حبیب اله صفرزاده، استادیار گروه مهندسی مکانیک دانشگاه رازی؛ Habibsafarzadeh@yahoo.com

چکیده

در این مقاله، تأثیر نصب موانع بر روی صفحه جاذب، روی عملکرد حرارتی هواگرمن خورشیدی، به صورت تجربی، بررسی شده است. از قطعات آلومینیومی با ابعاد ۱۴ سانتیمتر در ۱۰ سانتیمتر و با ضخامت یک میلیمتر، به عنوان مانع، استفاده شده است. این موانع با آرایش متناوب و به صورت عمود بر جریان، در هواگرمن قرار داده شدند. پارامترهای اندازه‌گیری شده در این تحقیق، دمای هوای ورودی و خروجی، دمای صفحه جاذب، دمای محیط، دبی جرمی جریان و تابش خورشید، هستند. آزمایش برای دبی‌های جرمی ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه به طور هم‌زمان برای دو هواگرمن یکی با وجود موانع و دیگری بدون موانع در شهر کرمانشاه با عرض جغرافیایی ۳۴/۲۳ درجه، انجام شد. اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی کانال هواگرمن و هم‌چنین بازده انرژی با استفاده از قانون اول ترمودینامیک برحسب زمان ارائه شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که بیش‌ترین بازده، مربوط به هواگرمن با موانع، در دبی جرمی ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه (با بازده متوسط ۶۸/۱۲ درصد) و کم‌ترین بازده، مربوط به هواگرمن بدون مانع در دبی جرمی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه (با بازده متوسط ۲۴/۷۳ درصد) می‌باشد.

کلمات کلیدی: هواگرمن خورشیدی، موانع، عملکرد حرارتی

مقدمه

تأمین انرژی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین بحران‌هایی است که اکثر کشورها با آن مواجه هستند. آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی و پایان‌پذیر بودن منابع آن‌ها موجب شده، تحقیقات وسیعی برای به‌کارگیری انواع مختلف انرژی و به‌خصوص انرژی‌های نو صورت بگیرد. در بین انرژی‌های نو، انرژی خورشیدی از جایگاه ممتاز و ویژه‌ای برخوردار است. انرژی خورشیدی منبع بی‌پایان انرژی است و از نظر سازگاری با محیط زیست بسیار مناسب می‌باشد. از انرژی خورشیدی توسط سیستم‌های مختلف و برای مقاصد مختلف بهره‌برداری می‌شود. از جمله فرآیندهایی که بخش قابل‌ملاحظه‌ای از منابع انرژی را به خود اختصاص می‌دهند گرمایش و سرمایش (تهویه مطبوع) و فرآیند خشک‌کردن می‌باشد. هواگرمن خورشیدی وسیله‌ای است که ضمن جذب انرژی حرارتی از خورشید، سبب گرم شدن هوای تازه ورودی می‌گردد. در این صورت ضمن استفاده از انرژی پاک نه‌تنها محدودیتی در خصوص تأمین میزان هوای تازه وجود ندارد بلکه سیستم مذکور قادر به تأمین تمام و یا بخشی از بار حرارتی نیز می‌باشد. هوای گرم تولیدشده قابلیت استفاده در واحدهای مسکونی و صنعتی را دارا می‌باشد. در این دستگاه‌ها، هوا درون کانالی مستطیلی شکل جریان دارد. سطح صفحه جاذب در معرض تابش مستقیم خورشید می‌باشد. هوای ورودی به کانال در اثر انتقال حرارت با این

صفحه، گرم می‌شود و هوای خروجی با دمای بالاتر جهت مصارف مختلف خارج می‌شود. برای جلوگیری از اتلاف حرارتی معمولاً از یک یا چند پوشش شفاف مانند شیشه استفاده می‌شود. ساخت و نگهداری ساده از جمله مزایای این هواگرمن‌ها می‌باشد؛ اما مهم‌ترین مشکل این هواگرمن‌ها پایین بودن بازده حرارتی آن‌هاست که علت آن، ایجاد زیر لایه لزوج در صفحه جاذب و هم‌چنین پایین بودن خواص حرارتی و ترموفیزیکی خود هوا است [1,2]. با توجه به موارد ذکرشده تحقیقات زیادی جهت افزایش میزان انتقال حرارت و بازده حرارتی این هواگرمن‌ها صورت گرفته است. یکی از مهم‌ترین راهکارها برای افزایش میزان انتقال حرارت و بازده حرارتی هواگرمن‌های خورشیدی استفاده از موانع بر روی صفحه جاذب است. وجود موانع بر روی صفحه جاذب باعث افزایش سطح انتقال حرارت، کاهش فضای مرده و هدایت جریان هوا به تمامی فضای کانال و افزایش میزان آشفتگی سیال می‌شود. از این‌رو عملکرد حرارتی هواگرمن را بهبود می‌بخشد. پژوهش‌های مختلفی در رابطه با استفاده از موانع بر روی صفحه جاذب برای بالا بردن بازده صورت گرفته است. دنیز آلتا، در یک مطالعه تجربی با نصب موانع مستطیلی شکل بر روی کانال عبور هوا، عملکرد هواگرمن خورشیدی را، به‌صورت تحلیل انرژی و انرژی، موردبررسی قرارداد [3]. حکمت ایزین، عملکرد هواگرمن را با نصب موانع مختلف در دو طرف صفحه جاذب، از دیدگاه قانون اول و دوم ترمودینامیک، به‌صورت تجربی مطالعه کرد [4]. تاندا، با آرایش دادن دندانه‌های مختلف بر روی صفحه جاذب، عملکرد حرارتی هواگرمن را از دو منظر قانون اول ترمودینامیک و قانون دوم ترمودینامیک مطالعه نمود [5]. میتال، با نصب دندانه‌های عرضی، مایل و ۷ شکل بر روی صفحه جاذب هواگرمن، عملکرد حرارتی هواگرمن را بررسی کرد [6]. ایل خوا، با نصب فین‌های عرضی بر روی صفحه جاذبی که یک ماتریس متخلخل سیمی به آن الحاق شده بود، عملکرد حرارتی هواگرمن را مورد بررسی قرارداد [7]. آل دابق، در یک مطالعه تجربی عملکرد هواگرمن‌های دارای یک و یا دو کانال را در حضور فین‌های طولی مورد مطالعه قرار داد [8]. گیل با نصب موانع مثلی بر روی صفحه جاذب، عملکرد هواگرمن را به‌صورت تجربی مطالعه کرد [9]. آکینتار، به‌صورت تجربی عملکرد هواگرمن خورشیدی را از دیدگاه انرژی و انرژی برای موانع مثلی، مستطیلی و برگی شکل مورد مطالعه قرار داد [10]. اوزین عملکرد یک هواگرمن دوکاناله را با قرار دادن لوله‌های آلومینیومی بر روی صفحه جاذب بررسی کرد [11].

در این مقاله، اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی و هم‌چنین بازده حرارتی هواگرمن خورشیدی با موانع با آرایش متناوب و بدون موانع (آرایش مرجع) بر اساس قانون اول ترمودینامیک برای دبی‌های جرمی ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه، برحسب زمان، بررسی شده است.

دستگاه مذکور، جهت اندازه‌گیری اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی به هواگرمکن، با آرایش دادن موانع در حالت‌های مختلف و بدون آرایش موانع، در گستره‌ای از دبی جرمی به کار گرفته شده است. در این مطالعه، در مجموع، داده‌های موردنیاز در ۶ مرحله آزمایش، ثبت شد، به طوری که برای هر یک از حالات با موانع و بدون موانع، در دبی‌های جرمی ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه، ۳ مرحله آزمایش در ۳ روز انجام شد. در هر مرحله‌ای آزمایش، دمای همه ترموکوپل‌ها توسط دیتالاگر دوازده کاناله لوترون BTM-4208SD قرائت و سرعت جریان هوا توسط یک بادسنج توربینی مدل AVM-07 و شدت تابش خورشید با تابش‌سنج مدل تس R1333 در هر ۱۵ دقیقه اندازه‌گیری شد و به ثبت رسید. مراحل مختلف آزمایش در فضای کاملاً آزاد و در روزهای آفتابی مهرماه ۹۳ در دانشکده فنی دانشگاه رازی کرمانشاه در فاصله زمانی ساعت ۹:۰۰ تا ۱۷:۰۰ انجام شد. شکل ۲، دستگاه هواگرمکن مورد آزمایش را از دو نمای مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۲: دستگاه هواگرمکن خورشیدی از دو نمای مختلف: سمت راست هواگرمکن با موانع، سمت چپ هواگرمکن بدون موانع.

شکل ۳، شماتیک هواگرمکن مذکور را نشان می‌دهد.

توصیف دستگاه آزمایش و روش انجام آزمایش

به منظور بررسی عملکرد حرارتی هواگرمکن خورشیدی نوع فعال، با آرایش موانع بر روی صفحه جاذب، دو دستگاه هواگرمکن خورشیدی مشابه در دانشکده فنی مهندسی دانشگاه رازی در شهر کرمانشاه (با عرض جغرافیایی ۳۴/۲۳ درجه) ساخته شد. هواگرمکن های مذکور، دارای بدنه‌ای چوبی به ابعاد خارجی ۱۵۳ سانتیمتر طول، ۷۹ سانتیمتر عرض و ارتفاع ۳۰ سانتیمتری می‌باشند. سطح بالایی این دستگاه، توسط یک شیشه به ابعاد ۱۵۳ سانتیمتر در ۷۹ سانتیمتر و به ضخامت ۴ میلی‌متر پوشانده شده است. در فاصله‌ی ۱۵ سانتیمتر از شیشه، یک صفحه آلومینیومی سیاه‌رنگ به ضخامت ۱ میلی‌متر و به ابعاد ۱۵۰ سانتیمتر در ۷۶ سانتیمتر قرار گرفته است. بدین ترتیب کانالی به طول ۱۵۰ سانتیمتر، عرض ۷۶ سانتیمتر و عمق ۱۵ سانتیمتر برای عبور هوا ایجاد شد. دو منفذ دایره‌ای شکل در دیواره‌های عرضی جهت ورود و خروج جریان تعبیه گردیده است. به منظور جلوگیری از تلفات حرارتی از پشت هواگرمکن، فاصله بین صفحه جاذب تا کف کانال با عایق یونولیت و پشم‌شیشه به خوبی عایق‌بندی شده است. شکل ۱ اجزای مختلف هواگرمکن را نشان می‌دهد.



شکل ۱: اجزای مختلف هواگرمکن: (الف): بدنه چوبی هواگرمکن. (ب): عایق بندی پشت صفحه جاذب. (ج): نمای داخلی هواگرمکن با رنگ آمیزی صفحه جاذب.

مجموعه اجزای ذکر شده توسط یک پایه‌ی آهنی در زاویه‌ی ثابت، معادل عرض جغرافیایی شهر کرمانشاه (۳۴/۲۳ درجه) و رو به جنوب بر روی زمین نصب شده‌اند. ترموکوپل‌های نوع K، مطابق شکل ۱ در لوله‌های انتقال جریان هوا، صفحه جاذب و شیشه نصب شده و از یک دمنده سانتریفوژ برای دمیدن جریان به درون دستگاه استفاده گردیده است.

تحلیل انرژی هواگرمکن خورشیدی

مدل تئوریک برای کلکتور خورشیدی که در حالت ناپایدار کار می کند، با استفاده از موازنه انرژی، ساخته می شود [11, 12]:

$$(1) \quad [\text{انرژی اتلافی}] - [\text{انرژی جذب شده}] = [\text{انرژی مفید}] + [\text{انرژی انباشته}]$$

که

$$(2) \quad \text{انرژی انباشته} = M_P C_{P_P} \left(\frac{dT_{p,ave}}{dt} \right)$$

$$(3) \quad \text{انرژی مفید} = \dot{m} C_{P_a} (T_{f,out} - T_{f,in})$$

$$(4) \quad \text{انرژی جذب شده} = \eta_o I A_c$$

$$(5) \quad \text{انرژی اتلافی} = U_c (T_{p,ave} - T_e) A_c$$

با ترکیب معادلات (2) تا (5) موازنه انرژی برای توصیف کلکتور به صورت زیر، به دست می آید.

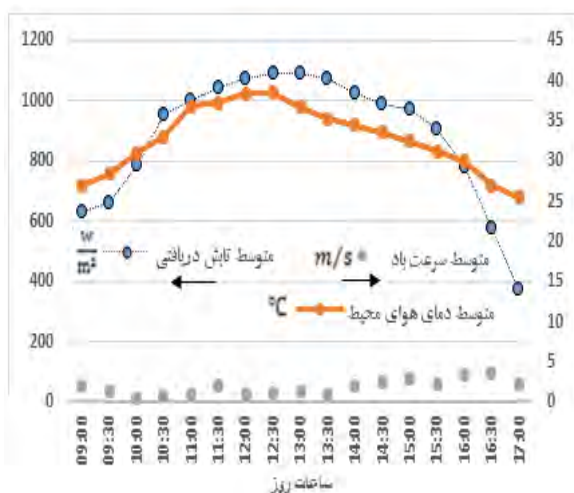
$$(6) \quad M_P C_{P_P} \left(\frac{dT_{p,ave}}{dt} \right) + \dot{m} C_{P_a} (T_{f,out} - T_{f,in}) = \eta_o I A_c - U_c (T_{p,ave} - T_e) A_c$$

بنابراین، عملکرد حرارتی هواگرمکن خورشیدی با استفاده از بازده انرژی، به صورت نسبت انرژی مفید به انرژی تابشی برخوردی به کلکتور است که به صورت زیر تعریف می شود:

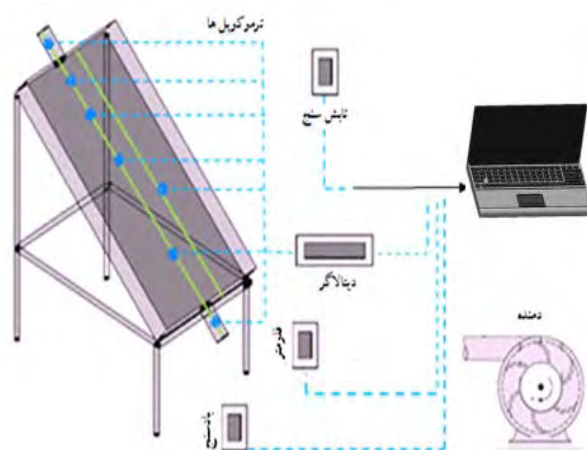
$$(7) \quad \eta = \frac{\dot{m} C_{P_a} (T_{f,out} - T_{f,in})}{A_c I}$$

بحث بر روی نتایج

سرعت وزش باد عبوری از روی هواگرمکن، دمای هوای محیط و شدت تابش دریافتی به عنوان شرایطی هستند که با تغییر زمان و مکان آزمایش تغییرات محسوس در آن ها مشاهده می شود. شکل 5، شرایط محیطی متوسط در مدت زمان آزمایش را نشان می دهد.

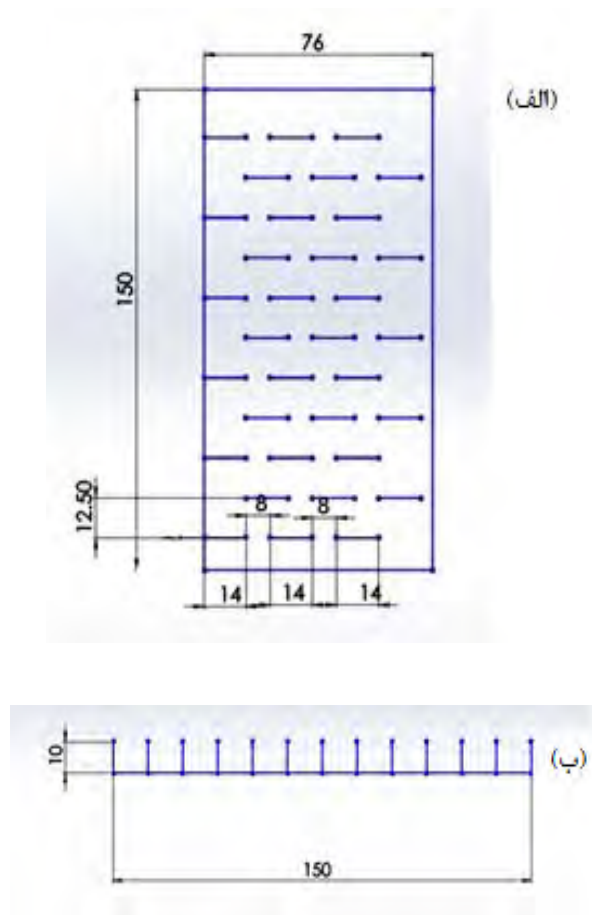


شکل 5: شرایط محیطی متوسط شامل: شدت تابش دریافتی، دمای هوای محیط و سرعت وزش باد در طول روز.



شکل 3: شماتیک دستگاه هواگرمکن خورشیدی.

در این مطالعه، موانع مستطیلی به ابعاد 14 سانتیمتر و ارتفاع 10 سانتیمتر با ضخامت 1 میلیمتر (از جنس آلومینیوم) به عنوان مانع به کار گرفته شد. آرایش موانع از دونمای مختلف، به صورت شماتیک در شکل 4 نمایش داده شده است.



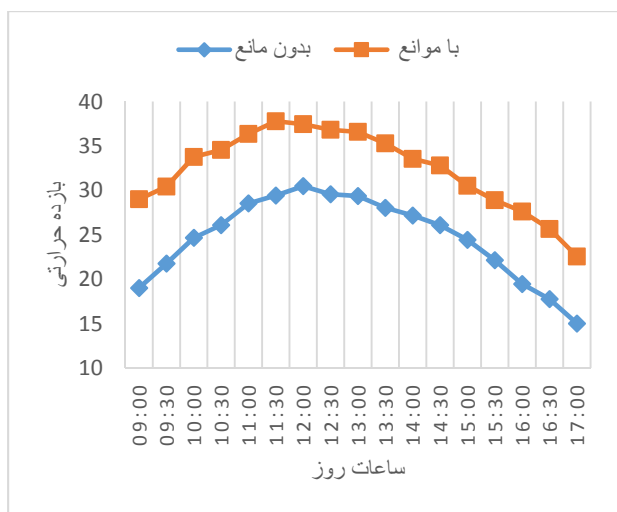
شکل 4: آرایش موانع: (الف) نمای بالای آرایش متناوب موانع. (ب) نمای کناری آرایش متناوب موانع (اندازه ها در واحد سانتیمتر می باشند).

HVACconf-1-016

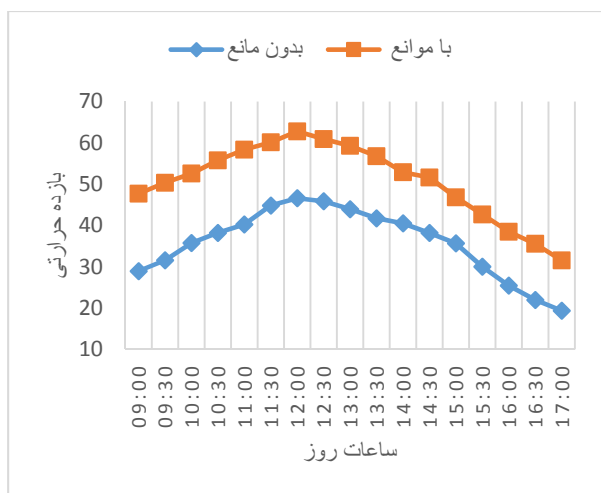
با توجه به نمودارهای ۵ تا ۷ مشاهده می‌شود که باگذشت زمان و نزدیک شدن به ظهر خورشیدی اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی هواگرمکن افزایش می‌یابد و از طرفی با دور شدن از ظهر خورشیدی و نزدیک شدن به غروب آفتاب اختلاف دمای مذکور کاهش می‌یابد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود با نصب موانع بر روی صفحه جاذب در گستره دبی جرمی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه تا ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی از هواگرمکن افزایش می‌یابد. به طوری که بیشترین افزایش دما برای هواگرمکن با موانع در دبی جرمی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه می‌باشد؛ که در این حالت متوسط اختلاف دمای روزانه هوای ورودی و خروجی از هواگرمکن نسبت به حالت مرجع ۴۰/۷۴ درصد، بهبود می‌یابد.

شکل‌های ۹ تا ۱۱ بازده حرارتی هواگرمکن (بازده انرژی) را در دبی‌های جرمی مختلف برحسب زمان نشان می‌دهند.



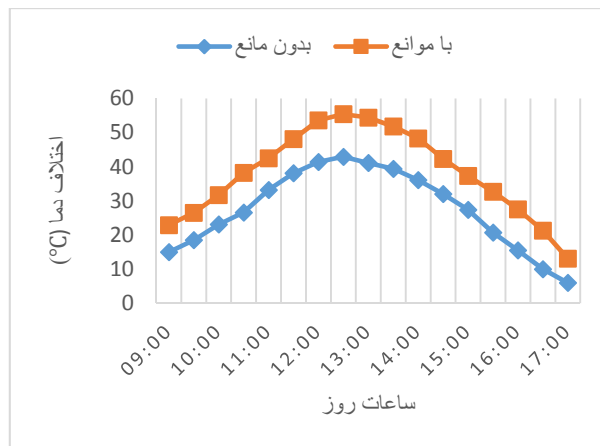
شکل ۹: بازده حرارتی هواگرمکن برحسب ساعات روز برای دبی جرمی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه.



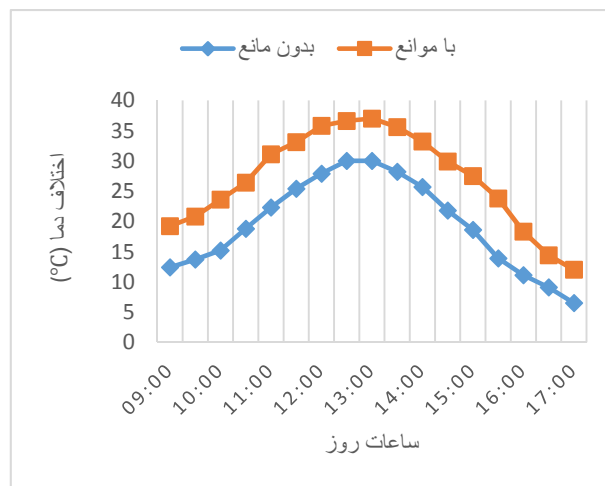
شکل ۱۰: بازده حرارتی هواگرمکن برحسب ساعات روز برای دبی جرمی ۰/۰۲ کیلوگرم بر ثانیه.

اولین کنفرانس بین‌المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی

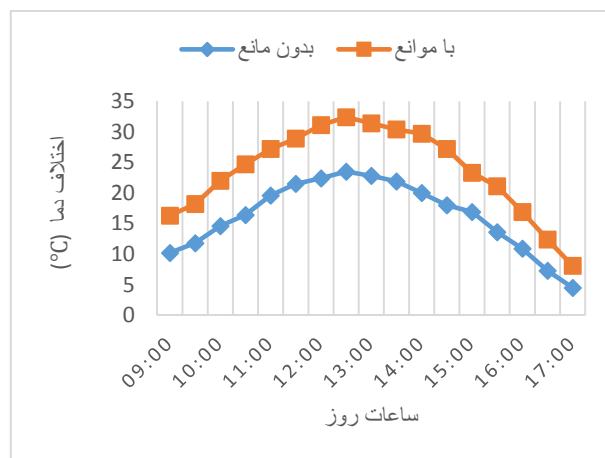
شکل‌های ۶ تا ۸، اختلاف دمای بین هوای ورودی و خروجی کانال را در دبی‌های جرمی ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه برحسب زمان، نشان می‌دهند.



شکل ۶: اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی هواگرمکن برحسب ساعات روز برای دبی جرمی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه.



شکل ۷: اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی هواگرمکن برحسب ساعات روز برای دبی جرمی ۰/۰۲ کیلوگرم بر ثانیه.



شکل ۸: اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی هواگرمکن برحسب ساعات روز برای دبی جرمی ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه.

جدول ۱: مقایسه بازده انرژی بین برخی کارهای گذشته و این مطالعه.

	دبی جرمی (کیلوگرم بر ثانیه)	بازده انرژی (درصد)
آکیپتار	۰/۰۲۵ ۰/۰۱۵	۴۱-۵۲ ۲۸-۴۰
ایزین	۰/۰۰۵۲ ۰/۰۰۷۴	۳۳-۵۸ ۳۵-۸۲
مطالعه حاضر	۰/۰۱ ۰/۰۲ ۰/۰۳	۲۲/۵۵-۳۷/۷۸ ۳۱/۵۳-۶۲/۷۷ ۵۲/۱-۷۷/۶۲

نتیجه گیری

دو دستگاه هواگرمکن خورشیدی، در دانشکده فنی دانشگاه رازی در شهر کرمانشاه (با عرض جغرافیایی ۳۴/۲۳ درجه) طراحی و ساخته شد و درمهرماه ۹۳ مورد آزمایش قرار گرفت. در این مطالعه، در مجموع داده‌های مورد نیاز در ۶ مرحله، آزمایش و ثبت شد. به طوری که برای هر یک از حالات چیدمان موانع در دبی‌های جرمی ۰/۰۱، ۰/۰۲ و ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه، ۳ مرحله آزمایش در ۳ روز انجام شد. اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی و همچنین بازده انرژی با استفاده از قانون اول ترمودینامیک برحسب زمان ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که:

۱- با گذشت زمان و نزدیک شدن به ظهر خورشیدی اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی از هواگرمکن افزایش می‌یابد و با دور شدن از ظهر خورشیدی و نزدیک شدن به غروب آفتاب، اختلاف دمای مذکور کاهش می‌یابد.

۲- با نصب موانع بر روی صفحه جاذب، در گستره دبی جرمی ۰/۰۱ تا ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی افزایش می‌یابد.

۳- با افزایش دبی جرمی، اختلاف دمای مذکور کاهش می‌یابد.

۴- بیشترین افزایش دما، برای هواگرمکن با موانع در دبی جرمی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه می‌باشد که در این حالت متوسط اختلاف دمای روزانه هوای ورودی و خروجی نسبت به حالت مرجع ۴۰/۷۴ درصد بهبود می‌یابد.

۵- با گذشت زمان و نزدیک شدن به ظهر خورشیدی بازده حرارتی هواگرمکن افزایش می‌یابد؛ و با دور شدن از ظهر خورشیدی و نزدیک شدن به غروب آفتاب بازده مذکور کاهش می‌یابد.

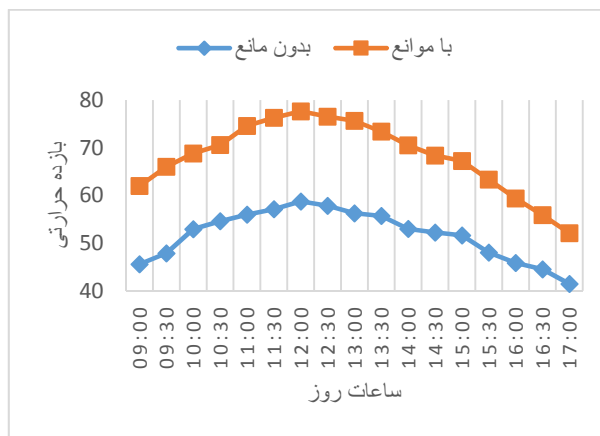
۶- با نصب موانع بر روی صفحه جاذب عملکرد حرارتی هواگرمکن در مقایسه با هواگرمکن بدون موانع (آرایش مرجع) افزایش قابل توجهی دارد.

۷- با افزایش دبی جرمی، بازده حرارتی هواگرمکن افزایش می‌یابد.

۸- بیشترین بازده مربوط به هواگرمکن با موانع، در دبی جرمی ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه (با بازده متوسط ۶۸/۱۲) درصد است؛ که در این حالت بازده نسبت به حالت مرجع ۳۱/۷ درصد بهبود می‌یابد.

۹- کمترین بازده برای حالت مرجع (بدون چیدمان موانع) در دبی جرمی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه (با بازده متوسط ۲۴/۷۳) درصد می‌باشد.

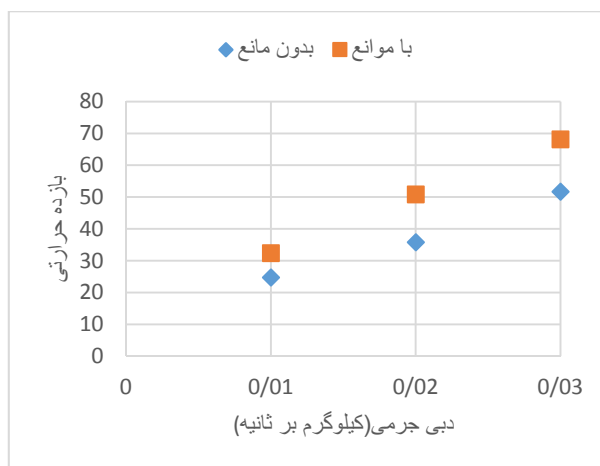
۱۰- نصب موانع بر روی صفحه جاذب، باعث افزایش سطح انتقال حرارت، افزایش آشفته‌گی جریان و کاهش فضای مرده عبور هوا می‌شود. از این رو عملکرد حرارتی هواگرمکن را بهبود می‌بخشد.



شکل ۱۱: بازده حرارتی هواگرمکن برحسب ساعات روز برای دبی جرمی ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه.

با توجه به شکل‌های ۸ تا ۱۰، مشاهده می‌شود که با نصب موانع بر روی صفحه جاذب، عملکرد حرارتی هواگرمکن در مقایسه با هواگرمکن بدون موانع (حالت مرجع) افزایش قابل توجهی دارد. در واقع با نصب موانع بر روی صفحه جاذب، می‌توان سطح انتقال حرارت و ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی را افزایش و فضای مرده صفحه جاذب را کاهش داد. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش دبی جرمی، بازده افزایش می‌یابد. بیشترین بازده مربوط به هواگرمکن با موانع، در دبی جرمی ۰/۰۳ کیلوگرم بر ثانیه (با بازده متوسط ۶۸/۱۲ درصد) است؛ که در این حالت بازده نسبت به حالت مرجع در همان دبی جرمی، ۳۱/۷ درصد بهبود می‌یابد. کمترین بازده، مربوط به حالت مرجع (بدون چیدمان موانع) در دبی ۰/۰۱ کیلوگرم بر ثانیه (با بازده متوسط ۲۴/۷۳ درصد) می‌باشد.

شکل ۱۲، تغییرات بازده حرارتی هواگرمکن را برحسب دبی جرمی نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که با افزایش دبی جرمی، عملکرد حرارتی هواگرمکن افزایش می‌یابد.



شکل ۱۲: بازده حرارتی هواگرمکن برحسب دبی جرمی (کیلوگرم بر ثانیه)

جدول ۱، مقایسه بین برخی کارهای گذشته و این مطالعه را نشان می‌دهد.

فهرست علائم

A_c	مساحت کلکتور (m^2)
C_p	گرمای ویژه در فشار ثابت ($kJ/kg K$)
\dot{m}	دبی جرمی (kg/s)
I	تابش خورشید (W/m^2)
M	جرم (kg)
U_c	ضریب تلفات حرارتی ($W/K.m^2$)
T	دما (K)

حروف یونانی

η_0	بازده نوری (بدون بعد)
η	بازده انرژی (بدون بعد)

زیرنویس

a	هوا
ave	میانگین
e	محیط
f	سیال
in	ورودی
out	خروجی
p	صفحه

مراجع

[3] Deniz Alta a, Emin Bilgili b, C. Ertekin a, Osman Yaldiz a, "Experimental investigation of three different solar air heaters: Energy and exergy analyses", Applied Energy 87 (2010) pp 2953–2973

[4] Hikmet Esen, "Experimental Energy and exergy analyses of a double-flow solar air heater having different obstacles on absorber plates". Build Environ.;43 (2008). pp 1046-54

[5] Giovanni Tanda, Performance of solar air heater ducts with different types of ribs on the absorber plate, Energy 36 (2011) 6651e6660

[6] Mittal MK, Varun, Saini PP, Singal SK. Effective efficiency of solar air heaters having different types of roughness elements on the absorber plate. Energy 2007;32:739e45.

[7] M.F. El-khawajah, L.B.Y. Aldabbagh, F. Egelioglu, The effect of using transverse fins on a double pass flow solar air heater using wire mesh as an absorber, Solar Energy 85 (2011) pp 1479–1487

[8] A.P. Omojaro, L.B.Y. Aldabbagh, Experimental performance of single and double pass solar air heater with fins and steel wire mesh as absorber, Applied Energy 87 (2010) pp 3759–3765

[9] R.S. Gill a, Sukhmeet Singh b, Parm Pal Singh b,1, Low cost solar air heater, Energy Conversion and Management 57 pp 131–142. Different Types Of Roughness Elements On The Absorber Plate". Energy, 32, (2012). pp. 739-745.

[10] Ebru Kavak Akpinar, Fatih Koçyiğit, "Experimental investigation of thermal performance of solar air heater having different obstacles on absorber plates", International Communications in Heat and Mass Transfer 37 (2010) pp 416–421.

[11] Filiz Ozgen, Mehmet Esen, Hikmet Esen, "Experimental investigation of thermal performance of a double-flow solar air heater having aluminium cans", Renewable Energy 34(2009) pp 2391–2398.

[12] Fatih Bayrak Hakan F.Oztop, Arif Hepbsli, Energy and exergy analyses of porous baffles inserted solar air heaters for building application, Energy and Building 57 (2012) pp 338–345

[1] Mittal, M. K., Varun, Saini, R. P., Singal, S. K., "Effective Efficiency Of Solar Air Heaters Having Different Types Of Roughness Elements On The Absorber Plate". Energy, 32, (2008). pp. 739-745.

[2] Aharwal, K. R., Gandhi, B. K., Saini, J.S. "Experimental Investigation on Heat-Transfer Enhancement Due To a Gap in an Inclined Continuous Rib Arrangement in a Rectangular Duct of Solar Air Heater", Renew. Energy, 33, (2007) pp. 585-596.