

توسعه کلکتور هوای خورشیدی برای کاربرد در خشک سازی

محمد مهدی ابن علی¹، علی حیدری^{2*}

1- گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

2- گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

* سمنان، صندوق پستی 35131-37111، heydary.a@gmail.com

چکیده

در کار حاضر، یک مطالعه تجربی روی سه نوع کلکتور هوای خورشیدی، صفحه مسطح¹، پره ای² و چین دار انجام گرفت. هدف از انجام این مطالعه بدست آوردن یک طراحی مناسب برای کلکتور هوا به منظور کاربرد در خشک کن خورشیدی می باشد. مجموعه‌ای از آزمایشات براساس استاندارد ASHRAE، تحت شرایط آب و هوایی ایران انجام گرفت. کلکتور چین دار موثرترین کلکتور می باشد در حالیکه کلکتور صفحه مسطح کمترین میزان کارایی را نشان می دهد. این کلکتورها همچنین در حالت دو کاناله³ برای بررسی مقدار بهبود کارایی مورد مطالعه قرار گرفت که این بهبود می‌تواند بدون افزایش در اندازه و هزینه خشک کن بدست آید. عملکرد دو کاناله در این خشک کن باعث افزایش کارایی سیستم در مقایسه با حالت یک کاناله شد⁴. بهبود کارایی که با استفاده از حالت دو کاناله بدست آمده است، در کلکتور صفحه مسطح قابل توجه می باشد، در حالیکه کلکتور چین دار کمترین افزایش در کارایی را نشان می دهد.

کلیدواژگان

خشک کن خورشیدی، کلکتور پره ای، کلکتور صفحه مسطح، کارایی کلکتور

Development of solar air collectors for drying applications

Mohammad Mehdi Ebne Ali¹, Ali Heidary^{2*}

1- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

* P.O.B. 3513137111 Semnan, Iran, heydary.a@gmail.com

Abstract

In this study, three types of solar air collectors (flat plate, finned, and v-corrugated) have been experimentally investigated in order to achieve an effective design which can be appropriate for a solar dryer. The experiments have been performed according to the ASHRAE standard and under real climatic conditions of Semnan (35° 33' N, 53° 23' E), Iran. Over a broad range of operating and design conditions, the performance of all three collectors has been studied. Based on the results, v-corrugated collector and the flat plate one found to be the most and least efficient, respectively. Moreover, the collectors have also been studied in double pass mode in order to examine the extent in efficiency improvement.

Keywords

Solar drying, Finned collector, Flat plate collector, Collector efficiency

1. Plate
2. Finned
3. Double pass
4. Single pass

1- مقدمه

راه اندازی، مواد سازنده و شرایط آب و هوایی بررسی انجام نداده‌اند. عملکرد دو کاناله در کلکتورهای شانه دار و چین دار نیز به صورت تجربی مورد آزمون قرار نگرفته‌اند.

هدف اصلی این مطالعه توسعه یک نوع کلکتور هوای خورشیدی با کارایی حرارتی بالا می‌باشد که برای خشک کردن خورشیدی مناسب باشد. اهداف دیگر این مطالعه، بررسی انواع مختلف کلکتورها در پیکربندی‌های مختلف جریان و بهبود توانایی در پیش بینی کارایی حرارتی این سه نوع کلکتورها می‌باشد. این اهداف از طریق مرور مقالات مربوطه، طراحی و ساخت سه نوع کلکتورها (صاف، چین‌دار، و پره‌ای) و بررسی کارایی حرارتی از طریق آزمایشات فراوان بدست آمد است. مطالعه حاضر کارایی کلکتورهای مختلف را در هر دو حالت تک کاناله و دو کاناله با استفاده از شرایط عملیاتی و تجهیزات یکسان مورد ارزیابی قرار داده است. فاکتورهای تأثیر گذار روی کارایی کلکتور نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

2- آنالیزها

بسیاری از محققین مطالعات تحلیلی را روی گرم کن‌های هوای خورشیدی انجام داده‌اند. کارایی حرارتی یک کلکتور به عنوان نسبت انرژی حرارتی مفید به کل تشعشع خورشیدی در یک بازه زمانی یکسان تعریف می‌شود. به صورت ریاضی، کارایی یک کلکتور به صورت زیر بیان می‌شود:

$$h = \frac{m c_p \int_{t_1}^{t_2} (T_o - T_i) dt}{A_c \int_{t_1}^{t_2} I_T dt} \quad (1)$$

کارایی حرارتی در شرایط پایا 5 در یک کلکتور خورشیدی بوسیله معادله Hottel-Whillier-Bliss بیان می‌شود [12]:

$$h = \frac{Q_u}{A_c I_T} = F_R (ta) - F_R U_L \frac{(T_i - T)}{I_T} \quad (2)$$

در اینجا:

$$F_R = \frac{m c_p}{A_c U_L} \left[1 - e^{-\frac{A_c U_L F'}{m c_p}} \right] \quad (3)$$

از معادله 1 و 2، افزایش دمای هوا می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$(T_o - T_i) = \frac{A_c F_R (ta) I_T}{m c_p} - \frac{A_c F_R (T_i - T_o) U_L}{m c_p} \quad (4)$$

$$(T_o - T_i) = \frac{A_c F_R (ta) I_T}{m c_p} - \frac{A_c F_R (ta_o) I_{th}}{m c_p} \quad (5)$$

در اینجا:

$$I_{th} = U_L \frac{T_i - T_a}{ta} \quad (6)$$

5. Steady state

یکی از مهمترین کاربردهای بالقوه انرژی خورشیدی، خشک کردن خورشیدی محصولات کشاورزی است. تخمین زده می‌شود که 30-40 درصد تولیدات میوه و سبزی در کشورهای در حال توسعه بدون استفاده تلف می‌شوند [1]. اتلاف پس از برداشت محصولات کشاورزی در نواحی روستایی کشورهای در حال توسعه می‌تواند به مقدار چشم گیری با استفاده از سیستم‌های خشک کردن خورشیدی با طراحی مناسب کاهش یابد. به دلیل اینکه کلکتورها 1 مهمترین بخش سیستم خشک کردن خورشیدی مواد غذایی است، بهبود در طراحی کلکتورها باعث کارایی بهتر این سیستم‌ها می‌شود. کلکتور هوای خورشیدی اگرچه یک جزء خیلی مهم در سیستم خشک کردن خورشیدی می‌باشد، اما برخلاف کلکتورهای مایع خورشیدی 2 توجه زیادی به این کلکتورها نشده است [2].

چندین طراحی برای کلکتور هوای خورشیدی در طی این سال‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. طراحی کلکتور مناسب یکی از مهمترین فاکتورها در صرفه اقتصادی خشک کردن خورشیدی است. امروزه، کلکتورهای خورشیدی صفحه مسطح به مقدار زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این کلکتورها، هوا می‌تواند در بالا، پایین یا هر دو طرف صفحه جاذب جریان پیدا کند. اتلاف اصلی در این کلکتور در پوشش بالایی رخ می‌دهد زیرا وجه بالایی باید در معرض دمای محیط باشد، در صورتی که وجه کناری و پشتی کلکتور می‌تواند به صورت مناسبی عایق شوند.

روش گرم کن هوای خورشیدی دو کاناله 3 بوسیله Satcunanathan و Deonaraine برای کاهش اتلاف این پوشش معرفی شد. آن‌ها به صورت تجربی بالاتر بودن کارایی گرم کن هوای دو کاناله را نسبت به حالت تک کاناله نشان دادند [3]. Wijesundera و همکاران سیستم Satcunanathan را با جزئیات بیشتر مطالعه کردند و کشفیات Satcunanathan و Deonaraine را در طیف وسیعی از شرایط عملیاتی تأیید کردند [4].

کلکتورهای هوای خورشیدی معمولی دو عیب اساسی دارند: ظرفیت حرارتی پایین هوا و ظرفیت انتقال حرارت پایین جاذب برای انتقال حرارت به هوا. اصلاحات متعددی برای بهبود ضریب انتقال حرارت بین صفحه جاذب و هوا پیشنهاد شده و بکار گرفته شده‌اند. این اصلاحات شامل استفاده از یک جاذب با اتصالات پره دار 4 [5, 6]، جاذب چین دار 7 [7, 8] و جاذب نوع ماتریکسی می‌باشد [9]. مقالات کارایی بالاتری را برای کلکتورهای چین دار و پره‌ای گزارش کرده‌اند، بدون اینکه افت فشار به مقدار قابل توجهی بوسیله این نوع پیکربندی افزایش یابد. مطالعات پیشین کارایی بالاتری را برای یک کلکتور ماتریکسی گزارش کرده‌اند اما به دلیل افت فشاری که در عرض ماتریکس اتفاق می‌افتد، مصرف انرژی نیز در این کلکتورها بالاتر می‌رود [6, 10, 11].

اگرچه دیده شده است که کلکتورهای چین دار و پره‌ای در مقایسه با کلکتورهای هوا صفحه مسطح کارایی بالاتری دارند، اما به دلیل اختلاف در سرعت جریان، مواد سازنده، تجهیزات آزمون، روش آزمون و شرایط آب و هوایی یک مقایسه دقیق نمی‌تواند بین این سه کلکتور انجام شود. مقالات پیشین روی این سه کلکتور در شرایط یکسان سرعت جریان، روش آزمون و

1. Air collector
2. Solar liquid collectors
3. Two pass solar air heater
4. Fins attached

خصوصیات ماده جاذب‌ها در پایین آمده است:

- ماده جاذب: فولاد زنگ زن
- پوشش جاذب: پوشش کروم تیره
- نوع صفحه: چین دار V شکل (60 درجه)، صفحه شانه دار و مسطح
- ابعاد صفحه جاذب: 1/8 متر در 0/7 متر
- ضخامت صفحه: 1 میلی متر
- عایق پشتی: پشم فایبرگلاس
- پوشش شیشه‌ای: شیشه پنجره عادی (ضخامت 5 میلی لیتر)
- تعداد پوشش‌های شیشه‌ای: یک
- عایق کناری: پلی استایرن، پشم و لاستیک سیلیکون
- درز گیر: لاستیک سیلیکون
- ماده قالب کلکتور: فولاد زنگ زن (ضخامت 3 میلی متر)
- شیب قالب کلکتور: 10 درجه (با قابلیت تنظیم)
- جریان هوا بین جاذب و صفحه پشتی: 0/0175 مترمربع

4- تجهیزات آزمون

دستگاه خشک کن طبق استانداردهای ASHRAE 77-93 ساخته شده است [14]. دستگاه خشک کن شامل دو واحد می باشد، یک واحد کلکتور و یک واحد به گردش در آورنده هوا. واحد کلکتور شامل جاذب، پوشش شیشه‌ای، عایق، فضای پشتی و جلویی و قاب کلکتور می باشد که این اجزاء در داخل این قاب جای می‌گیرند. واحد به گردش در آورنده هوا شامل یک پنکه، واحد نگهداری هوا⁴، و تنظیم کننده هوا (دامپر) برای تسهیل چرخش هوای تازه بود. کل دستگاه خشک کن بوسیله یک قاب ساخته شده از فولاد زنگ زن محافظت می‌شود. قاب فولادی روی چهار چرخ قرار می‌گیرد تا امکان تنظیم چرخشی و زاویه‌ای دستگاه فراهم باشد. قاب کلکتور امکان تغییر زاویه شیب کلکتور را دارد. نمودار تصویری نصب کردن این دستگاه در شکل 2 نشان داده شده است.

پنکه، که با تغییر چرخش محوری سرعت جریان در آن تغییر می‌کند قادر به رساندن 260 مترمکعب در ساعت هوا و 300 پاسگال فشار استاتیکی می‌باشد و هوا را در داخل کلکتور به گردش در می‌آورد. سرعت جریان بوسیله تغییر سرعت پنکه و تنظیم کننده هوا کنترل می‌شود. این سیستم آزمایشی برای انجام آزمون‌ها در یک حلقه بسته و همین طور یک حلقه باز مورد استفاده قرار گرفته می‌شود که این عمل بوسیله کنترل تنظیم کننده‌ها انجام می‌شود. همانطور که بوسیله ASHRAE 77-93 توصیه شده است، نقاط اندازه گیری دما و فشار نزدیک به کلکتور در بخش‌های مجرای سخت⁵ قرار گرفتند.

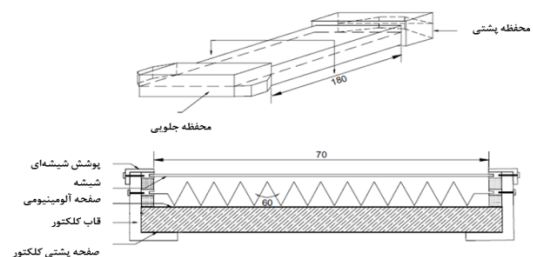
دستگاه نگهداری هوا شامل دو مجموعه تنظیم کننده که به صورت دستی تنظیم می‌شود و یک گرم کن 12 کیلوولت می‌باشد. تنظیم کننده‌ها می‌توانند برای تنظیم رها کردن بخشی از هوای گرم شده بوسیله کلکتور به داخل اتمسفر و آوردن هوا تازه مورد نیاز به داخل این سیستم استفاده شوند. این تنظیم کننده‌ها امکانی را برای خروج هوای استفاده شده به داخل اتمسفر و همچنین هوای باز گردش داده شده فراهم می‌کنند. گرم کن‌ها بوسیله یک کنترل کننده PID، حرارت دهی به هوا را تا رسیدن به دمای ورودی مطلوب انجام می‌دهند. 6 واحد گرم کننده 2 کیلوواتی در سه بخش استفاده شد.

I_{th} برابر با مقدار آستانه وقوع تشعشع می‌باشد [13]. اگر دمای هوای ورودی نزدیک به دمای هوای محیط باشد، پس نقاط خط $(T_0 - T_i)$ در مقابل IT به یک خط مستقیم تبدیل می‌شود. معادله 5، یعنی معادله افزایش دما، برای طراحی یک کلکتور هوا برای اهداف ویژه با استفاده از داده‌های آب و هوایی مفید می‌باشد.

3- ساخت کلکتور

سه کلکتور، که در این مطالعه گزارش شده‌اند، پس از ساخت، تحت شرایط آب و هوایی ایران مورد آزمون قرار گرفته است. به منظور اجتناب از ساخت چندین کلکتور هوای خورشیدی برای پیکربندی‌های مختلف صفحه جاذب، یک قاب کلکتور با صفحات جاذب قابل تعویض طراحی شد. یکی دیگر از اهداف این طراحی جلوگیری از تغییر در کارایی انتقال حرارت می‌باشد، که ممکن است به دلیل اختلافات ساختاری به وجود بیاید. جزئیات پیکربندی این کلکتورها در شکل 1 نشان داده شده است. کلکتور صفحه مسطح و پره‌ای ارتفاع مجرای جریان 25 میلی متری و کلکتور چین دار، ارتفاع مجرای 50 میلی متری دارد، که باعث ایجاد سطح عبور جریان 0/0175 مترمربعی در هر سه کلکتور می‌شود. قالب کلکتور طوری ساخته شده است که محفظه پشتی¹ قابلیت باز شدن دارد، و صفحه جاذب می‌تواند بوسیله کشیدن کانال C کلکتور جایگذاری شود (شکل 1). شیشه پنجره² در همه کلکتورها به عنوان پوشش شیشه‌ای استفاده شد.

صفحه پایینی جاذب چین دار و پره‌ای روی صفحه آلومینیومی کلکتور قرار گرفته است، در صورتی که کلکتور صفحه مسطح از کانال C آویزان می‌باشد. پوشش‌ها برای جلوگیری از خم شدن جاذب صفحه مسطح نصب شده‌اند و کانال‌های جریان بالای جاذب بین پوشش شیشه‌ای³ و جاذب قرار می‌گیرند. انتهای کانال‌های جریان در یک محفظه فلزی گرد هم می‌آیند، که جریان هوا را 180 درجه تغییر جهت می‌دهد. این کار برای آزمون‌های هدایت در حالت دو کاناله انجام شد. برای عملکرد تک کاناله، هوا از انتهای پشتی کلکتور از طریق درب محفظه پشتی جریان می‌یابد. همانطور که در شکل 1 نشان داده شده است، برای تسهیل جریان در حالت عملیاتی دو کاناله، محفظه جلویی با دو ورودی ساخته شده است. هوا از ورودی سمت چپ جریان یافته و از کانال جریان بین پوشش شیشه‌ای و صفحه جاذب عبور می‌کند. در محفظه پشتی، جریان 180 درجه می‌چرخد و از کانال بین صفحه جاذب و صفحه آلومینیومی می‌گذرد و از طریق درب سمت راست خارج می‌شود. برای توزیع یکنواخت جریان در تمام کانال کلکتور، دو صفحه مشبک در بالا و پایین کانال در محفظه جلویی و عقبی نصب شده است.



شکل 1 قاب کلکتور با سه نوع جاذب

1. Back plenum
2. Window glass
3. Glazing plate

⁴ Air conditioning
⁵ rigid duct sections

بدست می آید. این برای تعیین پاسخ زمانی یا ثابت زمانی کلکتور خورشیدی لازم است تا بتوان رفتار موقتی کلکتور را ارزیابی کرد و دوره‌های زمانی مناسب را برای مطالعه کارایی شرایط نیمه پایا یا حالت پایا انتخاب کرد. ثابت زمانی به عنوان زمان مورد نیاز برای رسیدن سیال خروجی از کلکتور خورشیدی به 63/2 درصد مقدار حالت پایا خود تعریف می شود که با یک تغییر شدید در اشعه دهی یا دمای سیال ورودی همراه است.

برای تعیین ثابت زمانی به صورت تجربی، دمای ورودی هوا تا حد ممکن نزدیک به دمای هوای محیط تنظیم شد، و شرایط حالت پایا یا نیمه پایا در شدت اشعه دهی بزرگتر از 790 وات بر مترمربع حفظ گردید. شدت اشعه دهی به صورت ناگهانی بوسیله پوشاندن کلکتور به منظور جلوگیری از تابش خورشید، تا حد صفر کاهش یافت. دمای هوا در ورودی و خروجی به صورت مداوم به عنوان تابعی از زمان پایش شد، تا زمانی که شرایط زیر بدست آمد:

$$\frac{T_{o,t} - T_i}{T_{o,i} - T_i} < 0.3 \quad (7)$$

ثابت زمانی کلکتور برابر با زمانی است که مقدار $\frac{T_{o,t} - T_i}{T_{o,i} - T_i}$ از 1/0 به 0/368 تغییر کند، که در اینجا TO,t برابر با دمای هوای خروجی از کلکتور در یک زمان معین است، TO,i برابر با دمای خروجی از کلکتور در شروع این دوره زمانی معین است، و T_i برابر با دمای هوای ورودی به کلکتور می باشد.

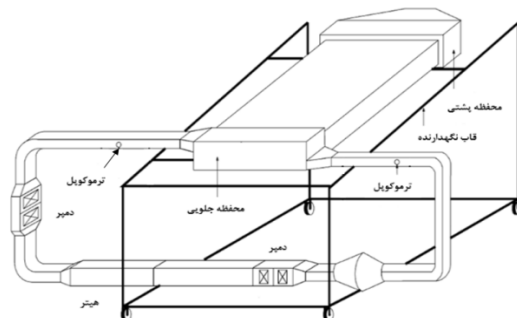
6- نتایج و بحث

هر سه کلکتور، همانطور که قبلاً گفته شد، در دو حالت تک کاناله و دو کاناله مورد آزمون قرار گرفته اند. هر دو آزمون‌های تک کاناله و دو کاناله به منظور تأیید افزایش کارایی در حالت دو کاناله انجام گرفت. برای هر آزمون کارایی، سرعت هوا در مجرای خروجی کلکتور، دما هوای ورودی، دمای هوای خروجی، دمای هوای محیط، شدت تشعشع خورشید روی کلکتور و سرعت باد و جهت آن نسبت به سطح کلکتور در دوره‌های زمانی 20 ثانیه‌ای بوسیله سیستم جمع آوری داده‌ها ثبت شد.

برای هر آزمون، دمای هوای ورودی و سرعت جریان ثابت بود. بر طبق استاندارد ASHRAE برای تعیین کارایی کلکتور، شدت تشعشع باید بالاتر از 630 وات بر مترمربع، و سرعت باد عبوری از دیواره کلکتور باید کمتر از 4/5 متر بر ثانیه باشد. هنگامی که این شرایط رضایت بخش شود و نوسانات شدت اشعه خورشید کمتر از 50 وات بر مترمربع گردد، داده‌های ثبت شده برای محاسبه کارایی کلکتور استفاده می شود. با استفاده از اطلاعات ثبت شده در این دوره‌های زمانی، کارایی کلکتور با استفاده از معادله 1 محاسبه می گردد.

شکل 3 تغییرات در کارایی کلکتور را نسبت به تغییر سرعت جریان در کلکتورهای صفحه مسطح، پره‌ای و چین دار را در حالت تک سویه نشان می‌دهد. از این شکل می‌توان دید که کارایی کلکتور هوا وابستگی شدیدی به سرعت جریان هوا دارد. کارایی هر سه کلکتور به صورت پیوسته با افزایش سرعت جریان تا 0/05 کیلوگرم بر مترمربع بر ثانیه افزایش یافت و سپس به سمت یک مقدار ثابت میل کرد. این شکل به وضوح نشان می‌دهد که کلکتور پره‌ای کارایی بالاتری نسبت به کلکتور صفحه مسطح دارد، و کلکتور چین دار نیز کارایی بیشتری نسبت به کلکتورهای پره‌ای و صفحه مسطح دارد. سطح انتقال حرارت بالاتر کلکتورهای پره‌ای و چین دار می‌تواند دلیل کارایی بالاتر این سیستم‌ها باشد. کلکتور چین دار مزیت قابل توجهی در جذب مقادیر بیشتر اشعه خورشیدی نسبت به کلکتور صفحه مسطح و پره‌ای دارد که دلیل آن انعکاس و جذب چندگانه اشعه می‌باشد [15]. این مطالعه نشان داد که

بافل های فلزی برای اجبار هوا به جریان یافتن در بالا و پایین این واحدها استفاده شده تا طول مسیر جریان افزایش یابد. بادسنج 1 برای اندازه گیری سرعت هوا استفاده شده است که با استفاده از این سرعت هوای اندازه گیری شده سرعت جریان هوا عبوری از کلکتور مجرای هوا محاسبه می شود.



شکل 2 کلکتور هوا

5- روش آزمون

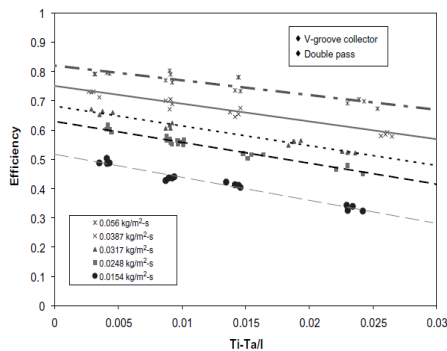
ارزیابی کارایی کلکتور هوای خورشیدی برای بهینه کردن اندازه این واحد در کاربردهای مشخص بسیار مهم می‌باشد. در کاربردهای انرژی خورشیدی، مطلوب است که برای هر سیستم داده شده آنالیزهای تئوری را انجام دهیم و همچنین کارایی سیستم را به صورت تجربی ارزیابی کنیم. طبیعت غیر قابل پیش بینی پارامترهای دخیل در سیستم‌های خورشیدی مانع اصلی برای مطالعات تئوری دقیق می‌باشد. برای کاربردهای خورشیدی، مطالعه تجربی برای تعیین کارایی واقعی سیستم تحت شرایط آب و هوایی مکان مورد نظر بسیار مهم می‌باشد. در مطالعه حاضر، آزمون‌ها روی کلکتور هوا خورشیدی تحت شرایط آب و هوایی ایران انجام گرفت.

آزمون‌های کارایی کلکتور در روزهایی که آسمان صاف بود انجام گرفت. برای تعیین تکرار پذیری و قابلیت اتکای نتایج، آزمون‌ها به صورت دوتایی (دو تکرار در هر دوره آزمایش) انجام شد. آزمون‌ها ساعت 2 ساعت قبل از ظهر و 2 ساعت بعد از ظهر انجام گرفت. به دلیل اینکه همه داده‌ها در زاویه تابش عادی جمع آوری شدند، اثر زاویه تابش روی کارایی قابل چشم پوشی است. برای بدست آوردن شرایط نیمه پایدار در کلکتور، از روش‌های استاندارد ASHRAE استفاده شده است. سیستم ثبت داده‌ها اطلاعات لازم را در دوره های زمانی 20 ثانیه‌ای ثبت می‌کند. کلکتورها گرم شده و حداقل به مدت یک ساعت قبل از این که آزمون‌ها انجام شوند راه اندازی شدند. کنترل کننده دما، که به ترموکوپل نصب شده در ورودی کلکتور متصل شده است، دمای هوای ورودی را تقریباً ثابت نگه می‌دارد. شیب کلکتور روی 10 درجه تنظیم شده است، داده‌های ثبت شده در طی آزمون خیلی گسترده‌تر از الزامات استاندارد ASHRAE می باشد. قبل از شروع آزمون‌های کارایی، این کلکتورها، با تنظیمات مربوطه شان، برای تشخیص وجود نشت در فشار عملیاتی مورد آزمون قرار گرفتند.

برای ایجاد منحنی کارایی حرارتی یا منحنی کارایی، روش آزمون ASHRAE نیاز به حداقل چهار مقدار مختلف از دمای سیال ورودی داشت تا برای بدست آوردن مقادیر $\Delta T/IT$ استفاده شود. یک توزیع قابل قبول از دماهای ورودی برای مجموعه‌ای از مقادیر ΔT در 10%، 30%، 50% و 70% افزایش دما در شرایط خاصی از شدت اشعه خورشید و دمای هوای محیط

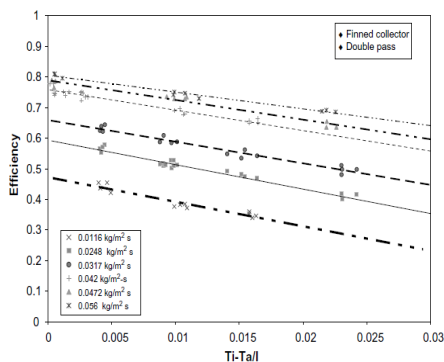
¹ anemometer

منحنی‌ها می‌توان پی برد که ضریب اتلاف در کلکتور صفحه مسطح بالاتر است، و پس از آن کلکتور پره‌ای قرار دارد و کلکتور چین دار کمترین ضریب اتلاف را در سرعت جریان یکسان دارد.

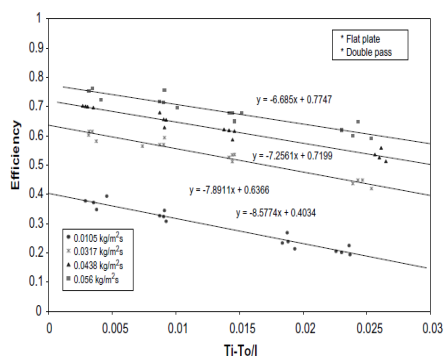


شکل 4 منحنی کارایی ترکیبی سرعت جریان‌های مختلف در کلکتور چین دار V شکل

تغییر در کارایی با تغییر سرعت جریان در عملکرد دو کاناله در محدوده وسیعی از سرعت جریان مورد بررسی قرار گرفت. شکل 7 تغییر در کارایی به عنوان تابعی از تغییر در سرعت جریان برای هر سه کلکتور را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مشابه با حالت تک کاناله، با افزایش سرعت جریان کارایی برای هر سه کلکتور افزایش می‌یابد، اما هنگامی که سرعت جریان به 0/056 کیلوگرم بر مترمربع بر ثانیه می‌رسد، این حساسیت کارایی به تغییر سرعت جریان تقریباً از بین می‌رود.



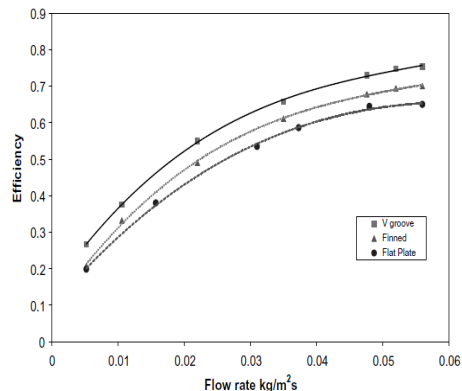
شکل 5 منحنی‌های کارایی ترکیبی کلکتور پره‌ای در سرعت جریان‌های مختلف



شکل 6 منحنی‌های کارایی ترکیبی کلکتور سطحی مسطح در سرعت جریان‌های مختلف

از آزمون کارایی در حالت دو کاناله نتیجه گیری می‌شود که کارایی هر سه کلکتور در حالت دو کاناله افزایش می‌یابد. کارایی کلکتور چین دار 5-2 درصد بیشتر از کلکتور پره‌ای و 11-5 درصد بیشتر از کارایی کلکتور صفحه

کارایی کلکتور چین دار 7-12 درصد بالاتر از کارایی کلکتور صفحه مسطح و 5-9 درصد بالاتر از کارایی کلکتور پره‌ای است. به دلیل اینکه همه کلکتورها در شرایط آزمایشی و آب و هوایی مشابه بررسی شدند، این مقایسه به نحو صحیحی کارایی را نشان می‌دهد.

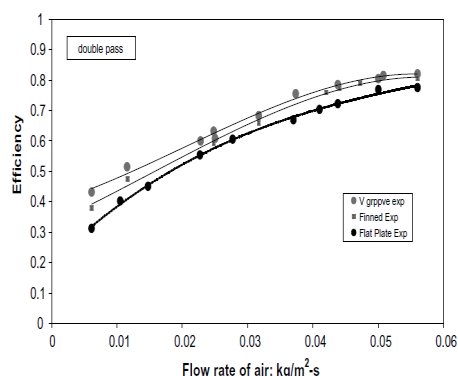


شکل 3 مقایسه تغییر در کارایی کلکتور با تغییر در سرعت جریان کلکتور چین دار V شکل، شانه دار و صفحه مسطح

بسیاری از محققین گزارش کرده‌اند [3, 4] که عبور دو یا چند جریان هوا از کلکتور باعث افزایش کارایی این سیستم می‌شود. در مطالعه حاضر، همه کلکتورها در حالت‌های تک کاناله و دو کاناله راه اندازی شدند. بخش بعدی نتایج مربوط به آزمون کارایی حرارتی را در حالت دو کاناله گزارش می‌دهد.

یکی از کارهای منحصر به فرد در بررسی کلکتور، تهیه منحنی‌های کارایی است. ASHRAE توصیه می‌کند که منحنی کارایی در دو سرعت جریان رسم شود، یکی در سرعت جریان 0/01 مترمکعب بر مترمربع بر ثانیه و دیگری در سرعت جریان بالاتر. در این مطالعه، تعداد زیادی منحنی کارایی در سرعت جریان‌های مختلف برای هر کلکتور رسم شده است. این کار برای بررسی روند تغییر در منحنی‌های کارایی در سرعت جریان‌های بالاتر انجام گرفت، زیرا ممکن است به منظور خشک کردن محدوده وسیعی از سرعت جریان‌ها و دماها استفاده شود. از این رو، مجموعه‌ای از آزمون‌ها انجام شد، تا جایی که مقدار کارایی در حالت پایا در اختلاف دماهای مختلف بین سیال کلکتور و هوای محیط بدست آمد، و بدین ترتیب منحنی کارایی برای کلکتور در سرعت جریان‌های معین رسم شد. در بسیاری از موارد منحنی‌های کارایی (کارایی η در مقابل $(T_i - T_a)/I_T$) با استفاده از 16 نقطه داده رسم شد. برای هر منحنی کارایی یک نقطه داده بدست آمد که برای محاسبه پارامترهای ویژگی‌های کلکتور استفاده شد. معادله 2 نشان می‌دهد که اگر کارایی η در مقابل $(T_i - T_a)/I_T$ رسم شود، یک خط مستقیم بدست می‌آید، جایی شیب این خط معادل با $F_R U_I$ و عرض از مبدأ آن برابر با $F_F(\tau\alpha)$ است.

شکل 4 منحنی‌های کارایی کلکتور چین دار را در سرعت جریان‌های مختلف نشان می‌دهد. معادلات کارایی مربوط به این کلکتور و مقادیر $F_R U_I$ و $F_F(\tau\alpha)$ در جدول 1 ارائه شده‌اند. از این شکل‌ها آشکار می‌شود که شیب‌های منحنی‌های کارایی با افزایش سرعت جریان کاهش می‌یابد. این بدین معنی است که در سرعت جریان بالاتر، اتلاف کلی کاهش می‌یابد. در شکل 5 و 6، منحنی‌های کارایی کلکتورهای پره‌ای و صفحه مسطح ارائه شده‌اند. جدول 2 و 3 به ترتیب مقادیر $F_R U_I$ و $F_F(\tau\alpha)$ و معادلات کارایی کلکتورهای پره‌ای و صفحه مسطح آورده شده است. از این



شکل 7 تغییر در کارایی با تغییر در سرعت جریان: کلکتورهای چین دار V شکل، شانه دار و صفحه مسطح

جدول 1 کارایی و ضریب اتلاف و معادلات کارایی در کلکتور چین دار V شکل در سرعت جریان های مختلف

معدله کارایی	F_{RUL}	$F_R (\tau\alpha)$	نرخ جریان (kg/m^2s)
$y = -7.8699x + 0.5173$	7.86	0.5173	0.0154
$y = -7.1641x + 0.63$	7.16	0.63	0.0248
$y = -6.7803x + 0.682$	6.78	0.682	0.0317
$y = -6.1924x + 0.7459$	6.19	0.7459	0.0387
$y = -5.0629x + 0.8206$	5.06	0.8206	0.056

جدول 2 کارایی، فاکتور اتلاف و معادلات کارایی کلکتور پره ای در سرعت جریان های مختلف

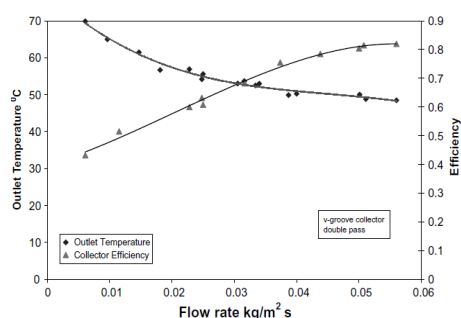
معدله کارایی	F_{RUL}	$F_R (\tau\alpha)$	نرخ جریان (kg/m^2s)
$y = -8.063x + 0.4734$	8.063	0.4737	0.0116
$y = -7.757x + 0.594$	7.757	0.594	0.0248
$y = 7.09x + 0.66$	7.09	0.66	0.0317
$y = -7.094x + 0.7589$	6.5938	0.7589	0.042
$y = -6.44x + 0.7897$	6.44	0.7897	0.0472
$y = -5.48x + 0.08058$	5.48	0.8058	0.056

جدول 3 کارایی و فاکتور اتلاف و معادلات کارایی کلکتور صفحه مسطح در سرعت جریان های مختلف

معدله کارایی	F_{RUL}	$F_R (\tau\alpha)$	نرخ جریان (kg/m^2s)
$y = -8.577x + 0.4034$	8.577	0.4034	0.0105
$y = -7.89x + 0.6366$	7.8911	0.6366	0.0317
$y = -7.25x + 0.7199$	7.25	0.7199	0.0438
$y = -6.685x + 0.7747$	6.685	0.7747	0.056

جدول 4 شرایط بهینه در سه کلکتور

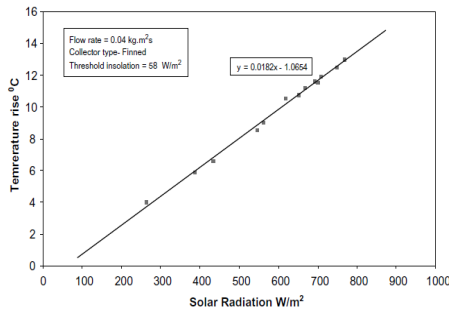
نوع کلکتور	نرخ جریان (kg/m^2s)	دمای خروجی ($^{\circ}C$)	کارایی (%)
چین دار	0.031	53	68.5
پره ای	0.029	50	65
صفحه تخت	0.030	48	62



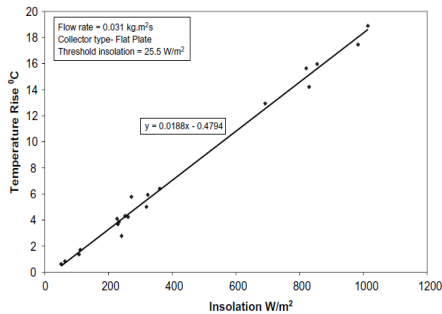
شکل 8 تغییر در T_0 و η با تغییر در سرعت جریان، کلکتور چین دار V شکل

دمای خروجی کلکتور یک پارامتر مهم در خشک کردن می باشد. دمای خروجی کلکتور در محدوده وسیعی از سرعت جریان مورد بررسی قرار گرفت. شکل 10 تا 8 به ترتیب تغییرات در دمای خروجی و کارایی به عنوان تابعی از تغییر سرعت جریان کلکتورهای چین دار، پره ای و صفحه مسطح را نشان می دهد.

معادلات برای تخمین دمای سیال برای هر روز از سال به کمک داده‌های آب و هوایی موجود می‌تواند مفید باشد. اگر شرایط متوسط آب و هوایی معلوم باشد، دمای خروجی می‌تواند تخمین زده شود که برای طراحی خشک کن‌های خورشیدی با کاربردهای ویژه مهم می‌باشد.



شکل 12 تغییرات در ΔT با تغییر در شدت اشعه دهی در سرعت جریان 0/031 کیلوگرم بر مترمربع در ثانیه، کلکتور فین دار

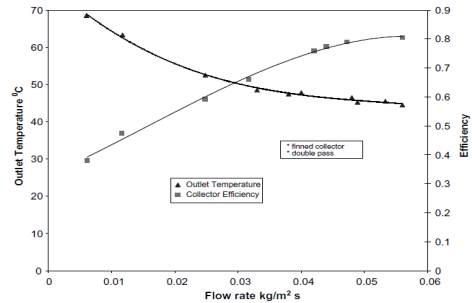


شکل 13 تغییرات در ΔT با تغییر در شدت اشعه دهی در سرعت جریان 0/031 کیلوگرم بر مترمربع در ثانیه، کلکتور چین دار صفحه مسطح

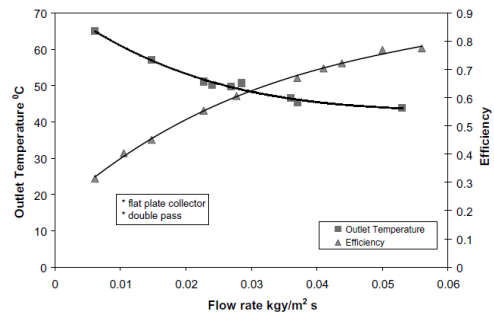
7- نتیجه گیری

یک مطالعه تجربی جامع برای ارزیابی کارایی حرارتی سه نوع کلکتور هوا خورشیدی در محدوده وسیعی از شرایط عملیاتی انجام شد. کلکتور صفحه مسطح با جریان تکی حداقل کارایی را داشت، در حالیکه کلکتور چین دار بالاترین کارایی را نشان می‌دهد. همچنین فلز نازک‌تر می‌تواند برای ساخت کلکتور چین دار استفاده شود، زیرا مثلث‌ها (صفحات انتقال حرارت) در این سیستم‌ها از نظر ساختاری پایدار هستند. نتایج نشان داد که کارایی کلکتور چین دار 7-12 درصد بالاتر از کلکتور صفحه مسطح است. عملکرد حالت دو کاناله باعث افزایش بیشتر در کارایی کلکتور می‌شود. این افزایش در کلکتور صفحه مسطح شدیدتر بوده و کمترین افزایش در کارایی در حالت دو کاناله در کلکتور چین دار دیده می‌شود. کارایی هر سه کلکتور وابستگی شدیدی به سرعت جریان هوا دارد. کارایی کلکتور با افزایش سرعت دما افزایش یافت و این روند افزایش در کارایی در سرعت جریان‌های بالاتر از 0/056 کیلوگرم بر مترمربع در ثانیه متوقف می‌شود. سرعت جریان حدود 0/035 کیلوگرم بر مترمربع بر ثانیه برای خشک کردن خورشیدی محصولات کشاورزی بهینه‌ترین حالت می‌باشد. به دلیل اینکه کلکتور چین دار کارایی بهتری در هر دو حالت تک کاناله و دو کاناله دارد و همچنین از نظر ساختاری نیز پایدار است، این کلکتور به عنوان مفیدترین کلکتور برای کاربردهای خشک کردن در نظر گرفته شده است.

همانطور که انتظار می‌رود، دمای خروجی جریان هوای عبوری از کلکتور با افزایش سرعت جریان کاهش می‌یابد، اما در بالاتر از سرعت جریان 0/035 کیلوگرم بر مترمربع در ثانیه، سرعت افت دما کمتر می‌شود و در سرعت جریان 0/056 کیلوگرم بر مترمربع در ثانیه، دمای خروجی حساسیتی را نسبت به افزایش سرعت جریان نشان نمی‌دهد.

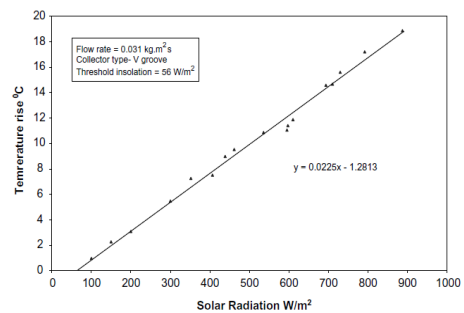


شکل 9 تغییر در T_0 و η با تغییر در سرعت جریان، کلکتور فین دار



شکل 10 تغییر در T_0 و η با تغییر در سرعت جریان، کلکتور صفحه مسطح

از این منحنی‌ها، شرایط بهینه عملیاتی با توجه به کارایی و دمای خروجی برای هر سه کلکتور تعیین می‌شود که در جدول 4 نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که برای فرآیندهای خشک کردن، سرعت جریان هوا در محدوده 0/025-0/035 کیلوگرم بر مترمربع در ثانیه مناسب است. این محدوده از سرعت جریان باعث ایجاد دمای خروجی مناسب برای خشک کردن بیشتر محصولات کشاورزی می‌شود، و مقدار کارایی کلکتور در این محدوده سرعت جریان قابل قبول می‌باشد. در طراحی یک کلکتور خورشیدی برای کاربردهای خشک کردن، اطلاعات مربوط به افزایش دمای هوا در اثر تابش مهم می‌باشد. اگر دمای ورودی T_i نزدیک به T_a باشد، افزایش دما تقریباً با شدت تشعشع تغییر می‌کند. نمودارهای این سه کلکتور در شکل‌های 11 تا 13 همراه با معادلات افزایش دما و مقادیر آستانه، I_{th} ، برای شدت‌های مختلف تشعشع نشان داده شده است.



شکل 11 تغییرات در ΔT با تغییر در شدت اشعه دهی در سرعت جریان 0/031 کیلوگرم بر مترمربع در ثانیه، کلکتور چین دار V شکل

معادلات برای سرعت جریان‌های دیگر در جدول 5 آورده شده است. این

جدول 5 معادلات افزایش دما در اثر تابش در سرعت جریان‌های مختلف

نوع کلکتور	نرخ جریان	معادله برای افزایش دما
کلکتور چین دار	0.0248	$0.0264I_t - 1.0451$
	0.031	$0.0229I_t - 1.2813$
	0.05	$0.0176I_t - 1.3928$
	0.056	$0.0165I_t - 1.667$
کلکتور پره ای	0.0118	$0.0402I_t - 0.17$
	0.04	$0.0193I_t - 1.066$
	0.045	$0.0183I_t - 1.0321$
	0.053	$0.0164I_t - 1.0851$
کلکتور صفحه تخت	0.014	$0.0315I_t - 0.5187$
	0.031	$0.0205I_t - 0.4794$
	0.041	$0.0179I_t - 0.6821$
	0.05	$0.0163I_t - 1.0251$

8- مراجع

- [1] K. Jayaraman, D. Das Gupta, Drying of fruits and vegetables, *Handbook of industrial drying*, Vol. 1, pp. 643-690, 1995.
- [2] B. Parker, M. Lindley, D. Colliver, W. Murphy, Thermal performance of three solar air heaters, *Solar Energy*, Vol. 51, No. 6, pp. 467-479, 1993.
- [3] S. Satcunanathan, S. Deonarine, A two-pass solar air heater, *Solar Energy*, Vol. 15, No. 1, pp. 41-49, 1973.
- [4] N. Wijesundera, L. L. Ah, L. E. Tjioe, Thermal performance study of two-pass solar air heaters, *Solar Energy*, Vol. 28, No. 5, pp. 363-370, 1982.
- [5] A. Hachemi, Thermal performance enhancement of solar air heaters, by a fan-blown absorber plate with rectangular fins, *International journal of energy research*, Vol. 19, No. 7, pp. 567-577, 1995.
- [6] H.-m. Yeh, T.-T. Lin, Efficiency improvement of flat-plate solar air heaters, *Energy*, Vol. 21, No. 6, pp. 435-443, 1996.
- [7] C. Choudhury, S. Andersen, J. Rekestad, A solar air heater for low temperature applications, *Solar Energy*, Vol. 40, No. 4, pp. 335-343, 1988.
- [8] K. Hollands, Directional selectivity, emittance, and absorptance properties of vee corrugated specular surfaces, *Solar Energy*, Vol. 7, No. 3, pp. 108-116, 1963.
- [9] M. Abu-Qudais, M. Al-Nimr, a Theoretical and Experimental Study, *International journal of solar energy*, Vol. 18, No. 3, pp. 137-146, 1996.
- [10] M. Al-Nimr, Transient behaviour of a matrix solar air heater, *Energy conversion and management*, Vol. 34, No. 8, pp. 649-656, 1993.
- [11] H. Garg, R. Chandra, U. Rani, Transient analysis of solar air heaters using a finite difference technique, *International Journal of Energy Research*, Vol. 5, No. 3, pp. 243-252, 1981.
- [12] J. A. Duffie, W. A. Beckman, *Solar engineering of thermal processes*. Wiley New York etc., 1980.
- [13] N. Bansal, R. Uhlemann, Development and testing of low cost solar energy collectors for heating air, *Solar Energy*, Vol. 33, No. 2, pp. 197-208, 1984.
- [14] A. Standard, Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors, *ANSI B198*, pp. 1-1977, 1977.
- [15] E. Sparrow, S. Lin, Absorption of thermal radiation in a V-groove cavity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 5, No. 11, pp. 1111-1115, 1962.