

بررسی تجربی عملکرد یک نمونه خشک‌کن خورشیدی جابجایی طبیعی

محمدتقی قره‌خانی^۱

۱- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، سازمان آموزش فنی و حرفه‌ای، آزادشهر

* آزادشهر، ۴۹۶۶۱۳۳۳۴۱، e.mt.qarehkhani@gmail.com

چکیده

هدف این پروژه ساخت یک نمونه خشک‌کن خورشیدی با جابجایی طبیعی و بررسی عملکرد حرارتی آن با توجه به میزان تابش خورشیدی در شرایط مختلف آب و هوایی، تغییر سطح، تغییر زاویه کلکتور و چرخش کلکتور هست. در این نمونه امکان چرخش دستگاه به اندازه ۳۶۰ درجه به صورت دستی به کمک چرخ‌ها وجود دارد. به منظور افزایش راندمان حرارتی خشک‌کن خورشیدی با توجه به تغییرات آب و هوایی و تغییر فصول، امکان تغییر زاویه کلکتور به کمک تغییر ارتفاع پایه‌ها و لولا بین جعبه کلکتور و جعبه مواد غذایی ایجاد شده است؛ و این در حالی است که در نمونه‌های ساخته شده گذشته این قابلیت دیده نمی‌شود. در این تحقیق زاویه بهینه قرارگیری کلکتور رو به جنوب در محدوده زوایای ۶۰ الی ۷۰ درجه به دست آمد. با استفاده از معادلات انرژی دیده شد که افزایش سطح باعث افزایش میزان انرژی جذب شده کلکتور می‌گردد. این افزایش به صورت تجربی نیز مشاهده گردید؛ اما مقدار پیش‌بینی شده توسط معادلات انرژی با مقادیر تجربی کمی اختلاف دارد که این امر ناشی از اثرپذیری مقدار دمای خروجی سیال عامل و ضریب اتلاف حرارتی از سطح مقطع است.

کلمات کلیدی: انرژی خورشیدی، خشک‌کن خورشیدی، کلکتور، جابجایی طبیعی



Experimental study of performance of a prototype natural convection solar dryer

Mohammad taghi qarekhani

1- Masters, Mechanical Engineering, Technical and Vocational Training Organization, Azadshar, Iran

*۴۹۶۶۱۳۳۴۱ Azadshahr, Iran, e.mt.qarekhani@gmail.com

Abstract

The aim of this project is to build a prototype of solar dryer with natural convection and to study thermal performance with respect to the amount of solar radiation in different climatic conditions, variation of collector area and collector angle and orientation of solar dryer. In this sample, it is possible to manually rotate the device 360 degrees with the help of the wheels. In order to increase the thermal efficiency of solar drying due to climate and seasons change, the ability to change the collector angle has been created by changing the height of the between the hinge and collector boxes and boxes of food, While this feature is not found in samples fabricated past. In this study, the optimal collector angle positioned to the south was observed 60 to 70 degrees. By using the energy equation it was found that increasing the collector area increases the amount of energy absorbed by the collector. This increase was also observed experimentally. But the amount of energy predicted by energy equation with experimental values differs. This is due to the effect of collector area on the inlet temperature of the working fluid and thermal lost coefficient.

Keywords: Solar energy, solar dryer, collector, natural convection



۱- مقدمه

امروزه با وجود روش‌های پیشرفته برای نگهداری میوه‌ها و سبزی‌ها همچنان از روش خشک کردن استفاده می‌شود. برای تأمین انرژی خشک کردن اکثراً از انرژی فسیلی استفاده می‌شود. نظر به اهمیت استفاده از مواد فسیلی در تولید فرآورده‌های نفتی و پترو شیمی با ارزش افزوده بالا و آلوده کردن محیط‌زیست در اثر سوزاندن آن‌ها، استفاده از این مواد برای تأمین انرژی عاقلانه به نظر نمی‌رسد. از طرفی این منابع به علت محدود بودن نمی‌توانند به‌عنوان منابعی مطمئن برای آینده بشر به حساب آیند. ایران با وجود اینکه یکی از کشورهای نفت‌خیز جهان به شمار می‌رود و دارای منابع عظیم گاز طبیعی هست خوشبختانه به علت تابش مناسب خورشید در اکثر نقاط آن، اجرای طرح‌های خورشیدی و استفاده از انرژی خورشید در شهرها و روستاها، می‌تواند صرفه‌جویی مناسبی در مصرف نفت و گاز به همراه داشته باشد. در چند دهه اخیر خشک کردن در هوای آزاد به دلیل نیاز به فضای وسیع‌تر، کاهش کیفیت، آلودگی ناشی از هوا، حمله پرندگان، حشرات و مشکل کنترل فرآیند خشک کردن محدودتر شده است. انرژی خورشیدی رایگان، تجدید پذیر، فراوان و بی‌ضرر به محیط‌زیست بوده و می‌تواند نیازهای جهانی را برای توسعه پایدار تأمین نماید. به همین دلیل اهمیت استفاده از خشک‌کن‌های خورشیدی در سطح جهان در حال افزایش است، به‌ویژه در مناطقی که انرژی خورشیدی فراوان و به‌راحتی در دسترس هست.

تا قبل از شروع قرن حاضر، شرایط فرآیند خشک‌کن بیشتر بر اساس قوانین سنتی تعیین می‌گشت تا قوانین علمی. روش‌های رایج طراحی خشک‌کن‌ها به خاطر تطبیق با نیازهای متفاوت جامعه یک امر ضروری گشت و همین‌طور نیاز به بهبود فرآیندهای تولید و ساخت محصولات سریع‌تر اهمیت خود را در جامعه پیدا کرد؛ بنابراین روش‌های سنتی خشک کردن به تدریج جای خود را به روش‌های صنعتی و پیشرفته امروزی داد. برای خشک کردن یک ماده غذایی می‌بایست ماده مرطوب از محیط خود حرارت دریافت کند. رطوبت داخل آن تبخیر می‌شود و توسط هوای در حال حرکت از محیط خارج می‌شود. Huxsoll و Bolin، ۱۹۸۰ در تحقیق خود جهت خشک کردن میوه‌جات به وسیله انرژی خورشیدی به دنبال راه‌های کاهش مصرف انرژی در خشک کردن میوه‌جات (زردآلو، هلو، انگور، گلابی و آلو) از روش‌های تجربی متعددی استفاده نمودند و مشاهده کردند که زردآلوهای خشک‌شده در خشک‌کن خورشیدی مقدار کمتری دی‌اکسید گوگرد نسبت به زردآلوهای خشک‌شده در آفتاب و هوای آزاد از دست می‌دهد و بنابراین رنگ میوه خشک شده پایدارتر بوده و ویتامین A بیشتری حفظ می‌گردد. علی‌ملکی و شاهین بشارتی ۱۳۹۲ تعیین زاویه بهینه کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت برای خشک‌کن‌های خورشیدی در منطقه شهرکرد را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق برای محاسبه تابش کل روزانه برای هرماه روی سطوح کلکتور، از داده‌های تابش کل روزانه روی سطح افق سازمان هواشناسی برای یک دوره‌ی ده ساله در ایستگاه واقع در فرودگاه شهرکرد که در عرض جغرافیایی ۳۲/۱۷ درجه قرار دارد، استفاده شد. آن‌ها بیان نمودند که با تنظیم زاویه

کلکتور به صورت روزانه می‌توان حداکثر تابش خورشید را دریافت نمود ولی با توجه به عملی نبودن تغییر زاویه کلکتور به‌صورت روزانه، با تغییر زاویه کلکتور به‌صورت ماهانه می‌توان از حداکثر تابش خورشید بهره برد و زمان خشک کردن محصولات کشاورزی را کاهش داد. زاویه بهینه ماهانه در منطقه شهرکرد با عرض جغرافیایی ۳۲/۱۷ درجه از صفر درجه برای ماه می تا ۶۲ درجه برای ماه دسامبر تغییر می‌کند و بیشترین شدت تابش با توجه به تمام زوایای بهینه مربوط به ماه ژوئن و کمترین شدت تابش مربوط به ماه نوامبر است. [۸]

در این تحقیق نمونه‌ای خشک‌کن خورشیدی ساخته شده است که قابلیت تغییر زاویه کلکتور در آن وجود دارد. علت ایجاد قابلیت تغییر زاویه کلکتور از این امر ناشی می‌شود که در فصول مختلف، زاویه بهینه جذب انرژی متفاوت است. سپس به‌صورت تجربی عوامل مؤثر بر جذب انرژی گرمایی توسط کلکتور خورشیدی شامل شرایط آب و هوایی، زاویه و مساحت کلکتور و جهت قرارگیری کلکتور مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- نحوه ساخت خشک‌کن خورشیدی

به‌طور کلی خشک‌کن‌های خورشیدی از دو قسمت اصلی محافظه خشک‌کن و کلکتور خورشیدی تشکیل شده است. فرآیند خشک کردن در محافظه خشک‌کن صورت می‌گیرد. محافظه دارای تعدادی سینی توری هست که مواد غذایی جهت خشک شدن بر روی آن‌ها قرار گرفته و گردش هوای گرم باعث خشک شدن مواد غذایی می‌شود. محافظه خشک‌کن از ورق PVC با ضخامت ۱۶ میلی‌متر به ابعاد ۳۳*۶۶*۸۰ سانتیمتر ساخته شده است که دارای مسیر ورود و خروج هوا و دربی جهت جابجایی مواد غذایی است. کلکتور گرمایی خورشیدی، اصلی‌ترین جزء سیستم گرمایش خورشیدی است. عمل جذب تابش خورشیدی و انتقال گرما به سیال توسط این قسمت انجام می‌گیرد. کلکتور خورشیدی بایستی دارای خواص انتقال حرارت خوب، ضریب هدایت حرارتی و ضریب جذب بالا و ضریب صدور پایین بوده و در مقابل دماهای بالا پایدار و همچنین بایستی در مقابل خوردگی داخلی و خارجی مقاوم باشد. بازده کلکتور بستگی کامل به شرایط و جنس مواد استفاده‌شده در ساخت آن دارد. جز مهم در یک کلکتور، صفحه جذب است. این قطعه از یک صفحه فلزی تشکیل می‌شود. صفحه جذب فلزی از جنس مس یا آلومینیوم با پوششی به رنگ سیاه است. این صفحه، جذب انرژی حرارتی خورشید است. در این تحقیق از صفحه‌ای به جنس آلومینیوم به ضخامت ۰/۱ میلی‌متر استفاده شده است. صفحه جذب با رنگ سیاه، رنگ شده است. پوشش نهایی کلکتورهای خورشیدی، شیشه‌های مخصوص است. این شیشه‌ها با افزایش عبور طیف مادون قرمز و ماورا بنفش از خود، راندمان کلکتورها را افزایش می‌دهند. هر چه مقدار ذرات آهن در شیشه بیشتر باشد، انتقال نور خورشید به صفحات جذب کمتر می‌شود. از طرف دیگر انرژی بیشتری در شیشه جذب می‌گردد. این امر باعث اتلاف انرژی خورشیدی و در نتیجه پایین‌تر آمدن راندمان می‌شود. پوشش مورد استفاده در این طرح، شیشه سکوریت با ضخامت



به ترتیب مقدار شار تابشی جذب شده توسط صفحه جذب کننده، اتلاف F_{Co} حرارتی کلکتور به محیط و ضریب برداشت حرارت می باشند.

$$Q_U = A_{Co} F_{Co} [S - U_l (T_{in} - T_{out})] \quad 2$$

برای محاسبه میزان انرژی جذب شده در یک کلکتور بر حسب دمای صفحه جاذب رابطه ۳ پیشنهاد شده است.

$$Q_U = A_{Co} [S - U_l (T_{pm} - T_{amb})] \quad 3$$

که در این روابط T_{pm} و T_{amb} مقادیر دمای محیط و دمای متوسط جاذب می باشند. اتلاف حرارتی کلکتور به محیط U_l که در دو رابطه ۲ و ۳ بکار رفته است بدین ترتیب محاسبه می شود. تلفات حرارتی از کلکتور نتیجه جابجایی و تشعشع بین صفحه جاذب و کاور و نیز کاور و آسمان است. انتقال انرژی پایا بین صفحه در دمای T_p و کاور در دمای T_g برابر است با تلفات حرارتی از کاور به محیط اطراف. تلفات در واحد سطح برابر خواهد شد با انتقال حرارت بین صفحه جاذب و کاور:

$$q_{loss} = h_{c,p-g} (T_p - T_g) + \frac{\sigma (T_p^4 - T_g^4)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_g} - 1} \quad 4$$

که $h_{c,p-g}$ ضریب انتقال حرارت جابجایی بین صفحه جاذب و کاور است. چنانچه از تعریف ضریب انتقال حرارت تشعشعی استفاده گردد داریم:

$$q_{loss} = (h_{c,p-g} + h_{r,p-g}) (T_p - T_g) \quad 5$$

که داریم:

$$h_{r,p,g} = \frac{\sigma (T_p + T_g) (T_p^2 + T_g^2)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_g} - 1} \quad 6$$

مقاومت حرارتی بین صفحه جاذب و کاور این چنین تعریف می شود:

$$R_1 = \frac{1}{h_{c,p-g} + h_{r,p-g}} \quad 7$$

مقاومت حرارتی بین کاور و محیط نیز این چنین محاسبه می گردد:

$$R_2 = \frac{1}{h_w + h_{r,c-a}} \quad 8$$

که h_w ضریب انتقال حرارت جابجایی بین کاور و محیط اطراف و $h_{r,c-a}$ ضریب انتقال حرارت تشعشعی بین کاور و محیط اطراف است. ضریب اتلاف حرارتی کلکتور به محیط را می توان این چنین محاسبه نمود:

$$U_l = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad 9$$

۴ میلی متر است که فاقد یون های آهن بوده و توانایی عبور تابش خورشیدی را به میزان ۹۵ درصد دارد و دارای مقاومت حرارتی تا ۲۵۰ سانتی گراد است.

جزء دیگر خشک کن خورشیدی، بدنه کلکتور باید در مقابل انتقال حرارت عایق باشد تا بتواند از اتلاف انرژی جلوگیری نماید. عایق مورد استفاده از جنس فوم پلی اتیلن است. فوم پلی اتیلن ترکیبی است از پلی اتیلن فشرده و حباب های ریز هوا که به دلیل داشتن خواص ویژه یکی از بهترین ایزولاسیون ها و عالی ترین عایق برودت، حرارت، رطوبت و صدا است. فوم در بازه های دمایی متفاوت قابل استفاده بوده و در مقابل عوامل مخرب شیمیایی و فرساینده محیطی مقاوم است. دیواره قاب کلکتور از ورق PVC به ضخامت ۱۶ میلی متر و کف قاب نیز از همان جنس با ضخامت ۳ میلی متر به شکل مکعب مستطیل است. ابعاد قاب کلکتور ۲۲*۶۳*۲۰۰ در نظر گرفته شده است. در شکل ۱ نمایی از کلکتور ساخته شده مشاهده می گردد.



شکل ۱ شماتیک خشک کن خورشیدی

۳- روابط و معادلات

در این بخش، معادلات مربوط به تحلیل انرژی کلکتور خشک کن خورشیدی ارائه می شوند. انرژی مفید کسب شده توسط سیال عبوری از کلکتور عبارت است از:

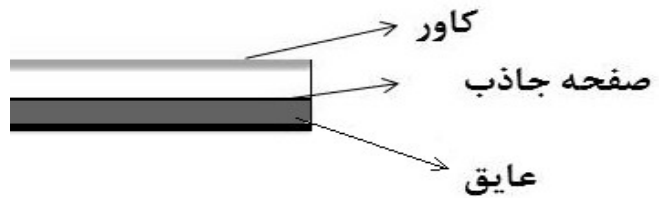
$$Q_U = m^o C_p [(T_{out} - T_{in})] \quad 1$$

چنانچه بخواهیم مقدار واقعی انرژی جذب شده توسط سیال عامل در نظر گرفته شود می توان رابطه ۱ را بکار برد. برای محاسبه میزان انرژی جذب شده در یک کلکتور بر حسب تابش خورشیدی می توان از رابطه ۲ استفاده نمود. در C_p به ترتیب دمای هوای ورودی و خروجی کلکتور T_{in} و T_{out} این روابط و U_l به ترتیب ظرفیت حرارتی فشار ثابت و دبی جرمی هوا می باشند. m^o

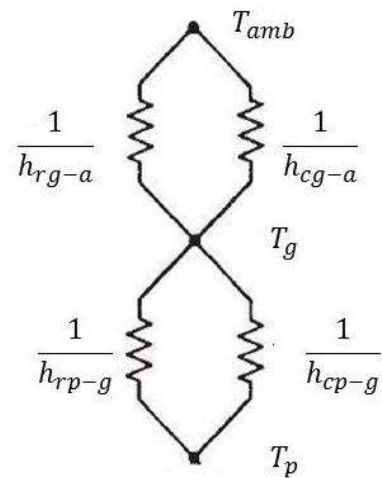
می‌نامند که در خصوص کیفیت اندازه‌گیری اطلاعاتی ارائه می‌دهد. هدف از محاسبه عدم قطعیت، تعیین محدوده‌ای از سطح اطمینان است که به احتمال بسیار فراوان مقدار واقعی در آن قرار می‌گیرد.

جدول ۱ عدم قطعیت و محدوده پاسخ ابزار اندازه‌گیری

ردیف	ابزار	محدوده	واحد	دقت قرائت	عدم قطعیت استاندارد
۱	دماسنج میله‌ای TP3001	۵۰- تا ۳۰۰	درجه سانتی‌گراد	۰٫۱	۱
۲	رطوبت TES-1160	۰ تا ۹۹	درصد (%)	٪۱	٪۳
۳	سرعت‌سنج AVM-301	۰ تا ۴۵	متر بر ثانیه	۰٫۰۰۱	۰٫۲



شکل ۲ اجزا کلکتور و چیدمان آن‌ها نسبت به هم



شکل ۳ اجزا مقاومت حرارتی بین جاذب، کاور و محیط

۵- منطقه موردبررسی

جهت انجام آزمایش‌ها دستگاه خشک کن در محوطه آفتاب‌گیر قرار داده شده است. محل انجام آزمایش شهرستان آزادشهر در استان گلستان با عرض جغرافیایی ۳۷٫۰۸۳۳۳۳ و طول جغرافیایی ۵۵٫۰۸۳۳۳۳ است. در سال ۱۳۹۴ حداکثر دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد و حداقل دمای ۵- درجه سانتی‌گراد به ثبت رسیده است.

۶- بررسی پارامترهای مؤثر بر عملکرد خشک‌کن خورشیدی

پارامترهایی زیادی از جمله جنس صفحه جاذب، عایق کاری بدنه و کف کلکتور و نوع پوشش شیشه‌ای کلکتور بر عملکرد خشک‌کن خورشیدی تأثیر دارند. موقعیت نسبی خورشید عامل مهمی در بهره‌گرایی سیستم‌های انرژی خورشیدی است. به همین منظور در این بخش به بررسی پارامترهایی چون زاویه کلکتور، سطح کلکتور و جهت قرارگیری کلکتور بر عملکرد خشک‌کن خورشیدی پرداخته می‌شود. برای جمع‌آوری انرژی خورشیدی به‌طور مؤثر، آگاهی از موقعیت دقیق مسیر خورشید و شرایط اقلیمی منطقه در میزان جذب انرژی خورشیدی توسط کلکتورها، لازم و ضروری است. لذا زاویه کلکتور، سطح کلکتور و جهت قرارگیری کلکتور موردبررسی در این تحقیق از جمله پارامترهایی هستند که در ردیابی خورشید و مقدار جذب انرژی خورشیدی تأثیرگذارند.

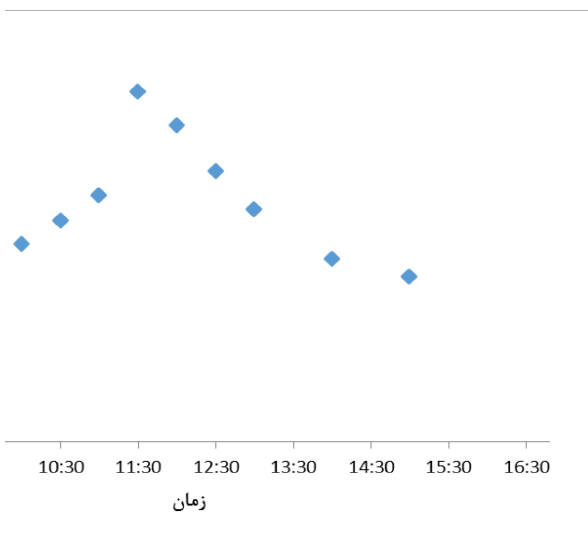
۶-۱- بررسی انرژی جذب‌شده در ساعات و شرایط آب و هوایی متفاوت

۴- تجهیزات اندازه‌گیری و آنالیز خطا

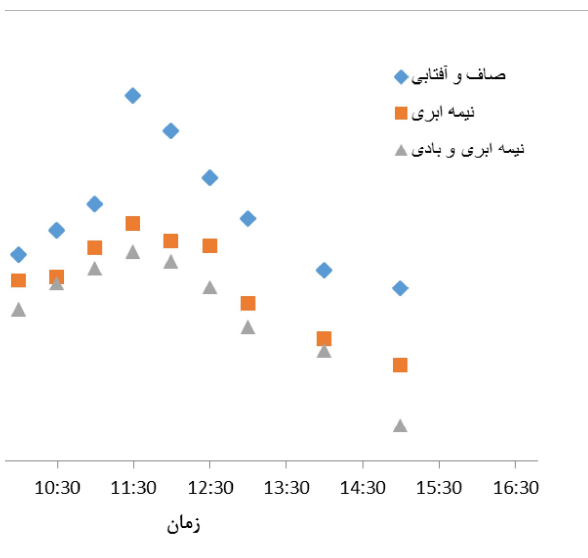
در این تحقیق دما، سرعت و رطوبت اندازه‌گیری می‌شوند. برای اندازه‌گیری دمای هوا از دو عدد دماسنج میله‌ای ۱ با محدوده ۵۰- تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد با دقت ۱ درجه سانتی‌گراد استفاده شده است. برای اندازه‌گیری رطوبت هوا از دستگاه ساخت شرکت تست تایوان ۲ با توانایی اندازه‌گیری دما با محدوده ۲۰- تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد با دقت ± 0.3 درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی با محدوده اندازه‌گیری ۰ تا ۹۹ درصد با دقت ± 3 درصد و فشار ۳۰ تا ۱۲۰ کیلو پاسکال با دقت ± 0.2 کیلو پاسکال استفاده شده است. سرعت هوا با دستگاه سرعت‌سنج ۳ که ساخت شرکت پروا ۴ تایوان با محدوده اندازه‌گیری ۰ تا ۴۵ متر بر ثانیه با دقت ± 0.2 متر بر ثانیه اندازه‌گیری شده است. باید توجه داشت که در هر سیستم اندازه‌گیری، شک و تردید در نتایج اندازه‌گیری وجود دارد و رسیدن به عدد واقعی میسر نیست. این شک و تردید را عدم قطعیت

1 Digital Thermometer TP3001
2 Thermo/ Hygro/Barometer, TES-1160
3 Anemometer
4 PROVA AVM-301





شکل ۴ انرژی جذب شده ساعتی در شرایط صاف و آفتابی



شکل ۵ اثر شرایط آب و هوایی بر انرژی جذب شده

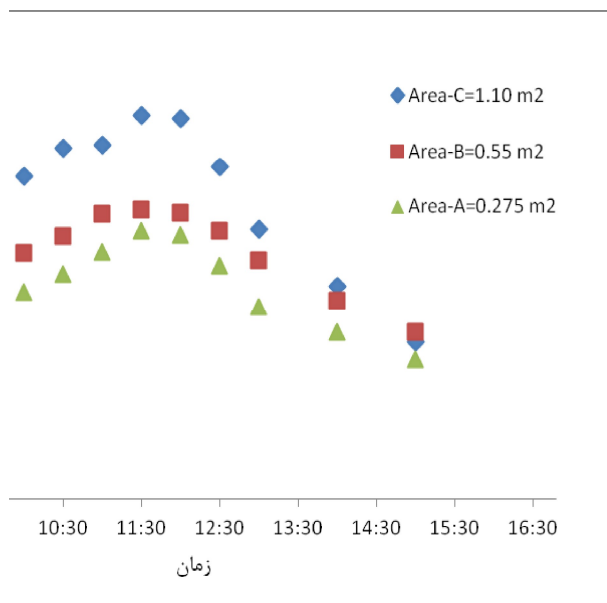
یکی از پارامترهای مهم در عملکرد خشک کن های خورشیدی زمان و شرایط آب و هوایی است. همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود میزان انرژی جذب شده توسط صفحه کلکتور در ساعات مختلف روز متفاوت است؛ به طوری که هرچه قدر به ساعات های میانی روز نزدیک می شویم مقدار انرژی جذب شده افزایش می یابد چرا که شدت تابش در ساعات میانی روز بیشینه مقدار خود را دارد. شرایط آب و هوایی نیز پارامتر مؤثر بر عملکرد خشک کن خورشیدی است، به طوری که هوای صاف و آفتابی باعث افزایش راندمان کلکتور شده و با کمتر شدن میزان تابش خورشید به صفحه جاذب در هوای ابری انرژی جذب شده نیز کاهش می یابد که این نتیجه در شکل ۵ قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که مقدار متوسط انرژی در هر منطقه تابع روزهای ابری و طول روز است که محاسبه آن بسیار پیچیده است. البته مدل های ریاضی در دسترس برای پیش بینی انرژی تابشی وجود دارند. همان گونه که در شکل ۵ مشاهده می گردد در شرایط آب و هوایی نیمه ابری با باد داده های ثبت شده نسبت به مقادیر مرتبط به شرایط نیمه ابری کمتر است. علت این امر در تغییر مقدار ضریب اتلاف حرارت کلکتور خورشیدی در این دو شرایط آب و هوایی است. در شرایط آب و هوای بادی ضریب انتقال حرارت همرفتی بالاسر کلکتور در اثر ایجاد جریان جابجایی اجباری افزایش می یابد. افزایش این پارامتر باعث افزایش اتلاف حرارتی کلکتور و در نتیجه کاهش انرژی جذب شده توسط سیال عامل گذرنده از آن می شود.

۲-۶- اثر زاویه بر عملکرد خشک کن خورشیدی

به منظور جذب حداکثر تابش خورشیدی توسط کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت، کلکتورها را به صورت شیب دار نصب می کنند. عملکرد کلکتور خورشیدی صفحه تخت به شدت تحت تأثیر موقعیت و زاویه نصب کلکتور نسبت به افق است. در نیمکره شمالی کلکتورها را رو به جنوب نصب می کنند. زاویه شیب کلکتور نسبت به سطح افق میزان تابش دریافتی توسط سطح کلکتور و در نتیجه مدت زمان خشک کردن محصول را تغییر می دهد. بنابراین باید زاویه شیبی که منجر به دریافت حداکثر تابش خورشید توسط سطح کلکتور می شود تعیین گردد که این زاویه به عنوان زاویه شیب بهینه کلکتور در نظر گرفته شود.

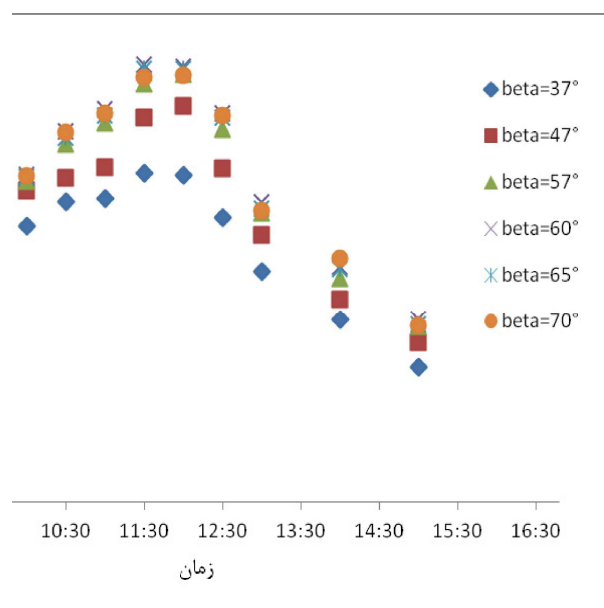
بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه تعیین شیب بهینه کلکتورهای خورشیدی نشان می دهد که زاویه شیب بهینه به عرض جغرافیایی منطقه و شماره روز در سال بستگی دارد. از این رو برای مناطق مختلف جهان و ماه های مختلف سال روابط و زوایای مختلفی ارائه شده است. در تحقیقات متعددی زاویه شیب بهینه برای کلکتورهای طراحی شده در نیمکره شمالی به صورت رابطه ۱۵ $\beta_{opt} = \phi \pm 0.01$ بیان شده است [۹]. ϕ عرض جغرافیایی و β_{opt} شیب بهینه سالانه کلکتور خورشیدی است. همان گونه که شکل ۶ نشان می دهد زاویه قرارگیری کلکتور در میزان انرژی جذب شده اثرگذار است. مشاهده می گردد که در





شکل ۷ اثر سطح مقطع کلکتور بر انرژی جذب شده

زوایای زیر ۵۷ درجه عملکرد کلکتور کم بوده است و با افزایش زاویه مقدار انرژی جذب شده بهبود می یابد. در محدوده زوایای ۶۰ تا ۷۰ درجه تفاوت ناچیزی در جذب انرژی مشاهده می شود به طوری که بین داده های زوایای ۶۰ و ۶۵ درجه اختلافی دیده نمی شود. البته لازم به ذکر است که با تغییر فصول تغییرات زاویه شیب بهینه بین صفر درجه تا ۷۰ درجه است. به طور میانگین در زمستان این زاویه ۶۵ درجه، در بهار ۲۲ درجه، در تابستان صفر درجه و در پاییز ۳۷ درجه است.



شکل ۸ اثر شرایط زاویه کلکتور بر انرژی جذب شده

۴-۶- اثر افزایش طول صفحه جاذب بر عملکرد خشک کن خورشیدی

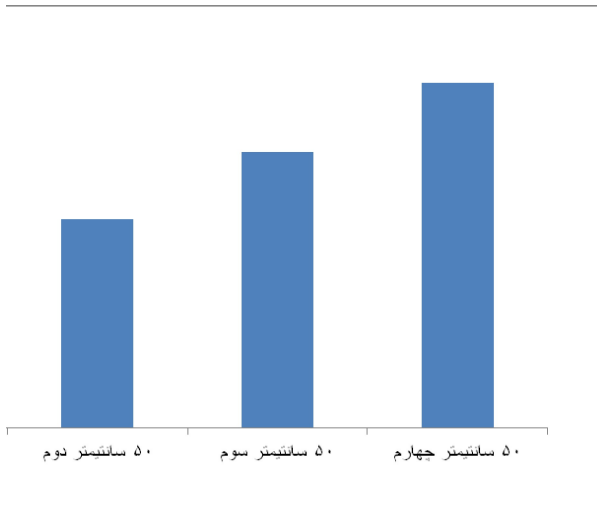
در شکل ۸ و شکل ۹ دمای کاور کلکتور و دمای سطح جاذب در طول جاذب در دماهای مختلف محیط ارائه شده است. با افزایش دمای محیط، دما کاور و دمای صفحه جاذب نیز افزایش یافته است. همچنین در طول جاذب نیز دمای ثبت شده این سطح و دمای کاور افزایش می یابد. داده ها نشان می دهند که به ازای هر ۵۰ سانتیمتر طول کلکتور، دمای جاذب تقریباً ۳ تا ۸ درجه سانتیگراد تغییر می یابد. همان گونه که از شکل ۱۰ مشاهده می گردد، این تغییرات در طول ۵۰ سانتیمتری اول حدود ۳ درجه سانتیگراد بوده و برای ۵۰ سانتیمترهای بعدی افزایش دمای جاذب نیز به صورت خطی افزایش می یابد به طوری که در ۵۰ سانتیمتر چهارم افزایش دمای جاذب به حدود ۸ درجه سانتیگراد می رسد. این مطلب نشان دهنده این واقعیت است که هنوز امکان جذب انرژی بیشتر توسط کلکتور در این سیستم وجود دارد.

۳-۶- اثر سطح کلکتور بر عملکرد خشک کن خورشیدی

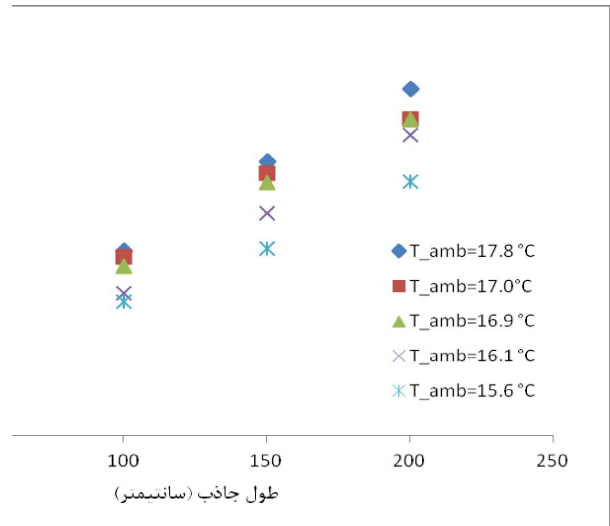
میزان بازدهی خشک کن خورشیدی با سطح کلکتور رابطه مستقیم دارد؛ یعنی هرچه قدر سطح کلکتور (صفحه جاذب) بیشتر باشد، دما، سرعت و دبی خروجی کلکتور بیشتر شده و در نتیجه بازده خشک کن افزایش می یابد. همان طور که رابطه ۲ نشان می دهد مقدار حرارت مفید جذب شده به طور مستقیم با سطح مقطع مرتبط است.

همان گونه که انتظار می رود و در شکل ۷ مشاهده می شود با افزایش سطح مقطع مقدار انرژی جذب شده توسط سیال عامل نیز افزایش می یابد. در این تحقیق کلکتور در سه سطح ۵۰ در ۵۵ سانتیمتر سطح A، ۱۰۰ در ۵۵ سانتیمتر سطح B و ۲۰۰ در ۵۵ سانتیمتر سطح C در نظر گرفته شده است. از آنجائی که طبق رابطه ۲ انرژی مفید جذب شده توسط کلکتور رابطه مستقیم با سطح مقطع کلکتور دارد، با دو برابر شدن سطح B نسبت به A و سطح C نسبت به سطح A مقدار حرارت جذب شده نیز دو برابر می گردد؛ اما برخلاف آنچه بیان گردید مقادیر انرژی جذب شده در این سه حالت با دو برابر شدن سطح مقطع دو برابر نگردیده است.





شکل ۱۰ تغییرات دمایی هر ۵۰ سانتیمتر جاذب



شکل ۸ دمای کاور کلکتور خشک کن خورشیدی در راستای طولی

۵-۶- اثر جهت قرارگیری کلکتور بر عملکرد خشک کن خورشیدی

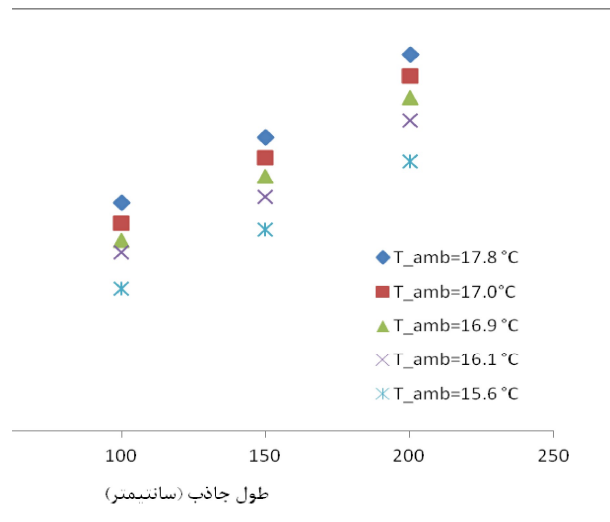
برخورد عمودی اشعه‌ی خورشید به کلکتور باعث افزایش راندمان خشک کن خورشیدی می‌شود به همین دلیل ما در این کار پایه‌های دستگاه را طوری طراحی کردیم که بتواند دستگاه را به صورت دستی چرخاند و رو به خورشید قرارداد تا بتوانیم حداکثر بازده در خشک کن حاصل گردد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که با چرخش دستگاه و قرار دادن آن رو به خورشید، دما خروجی از کلکتور بین صفر الی ۴/۵ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد.

۷- مقایسه دمای کاور روش عددی با مقدار تجربی

شکل ۱۱ دمای تجربی اندازه‌گیری شده صفحه جاذب و کاور را نشان می‌دهد. همچنین دمای محاسبه شده کاور توسط روابط حاکم نیز ارائه گردیده است. برای محاسبه دمای عددی کاور از دمای اندازه‌گیری شده جاذب استفاده می‌شود. دمای تجربی کاور و دمای محاسبه شده در طول کلکتور افزایش می‌یابد، اما شیب دمای محاسبه شده کاور کمتر از مقدار تجربی است. لذا اگر چه در طول‌های ابتدایی پیش‌بینی دمای کاور محاسبه شده نسبت به مقادیر تجربی بیشتر است اما در طول‌های انتهایی بطور بالعکس پیش‌بینی مقادیر محاسبه شده کمتر از مقادیر تجربی می‌باشد. حداکثر درصد خطای دمای محاسبه شده کاور با مقادیر تجربی، ۴ درصد است. در محاسبه مقدار دمای کاور از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$T_g = T_p - \frac{U_t(T_p - T_a)}{h_{c,p-g} - h_{r,p-g}} \quad (10)$$

علت کم بودن شیب دمای کاور محاسبه شده به دلیل افزایش بیشتر مقدار ΔT در طول کلکتور است. در این طول، ضریب اتلاف حرارتی کل و اختلاف دمای صفحه جاذب با دمای محیط که در صورت عبارت ΔT و همچنین مجموع ضریب انتقال حرارت جابجایی و تشعشعی بین کاور و صفحه جاذب که در



شکل ۹ دمای صفحه جاذب خشک کن خورشیدی در راستای طولی



منابع

[1] Performance of a Solar Dryer, Solar Energy Institute, Ege university, Bornova, Izmir and TURBRRAK – Marmara Research center, P.O Box Gebze 41470, Kocaeli, Turkey-1944-march-9

[2] An experimental study of a heat pipe evacuated tube solar dryer with heat recovery system, Renewable Energy 96 (2016) 872e880, Roomak Daghigh*, Abdellah Shafieian, Accepted 6 May 2016.

[3] Experimental investigation and economic evaluation of a new mixed mode solar greenhouse dryer for drying of red pepper and grape, Renewable Energy 77 (2015) 1e8 -Ayman ELkhadraoui -Accepted 29 November 2014.

[4] Experimental investigation and evaluation of hybrid solar/thermal dryer combined with supplementary recovery dryer - T.A. Yassen, H.H. Al-Kayiem / Solar Energy 134 (2016) 284–293, Tadahun A. Yassen - Accepted 9 May 2016.

[5] Experimental investigation of a solar dryer system for drying carpet, Guofeng Yuan et al. / Energy Procedia 70 (2015) 626 – 633 - Guofeng Yuana*, Liang Hongb -bEnergy Research and Demonstration Center of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850001,China - - Accepted 10 May 2015.

[6] Performance of novel solar dryer, A. E. Kabeel Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Engineering, Tanta University, Egypt, Accepted date: 10-3-2016

[7] Solar dryer efficiency considering the total drying potential. Application of this potential as a resource indicator in north-western Argentina, F. Altobelli et al. / Solar Energy 105 (2014) 742–759, F. Altobelli, M. Condori' fl, G. Duran, C. Martinez, accepted 27 April 2014.

[8] تعیین زاویه بهینه کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت برای خشک‌کن‌های خورشیدی در منطقه شهرکرد، علی ملکی، شاهین بشارتی، استادیار عضو هیئت علمی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهرکرد.

[9] تعیین زاویه شیب بهینه آرایه‌های خورشیدی در شرایط اقلیمی کرج، الهه بهرامی و کمال عباسپور، نشریه ایران / دوره ۱۵ شماره ۲ تابستان ۱۳۹۱

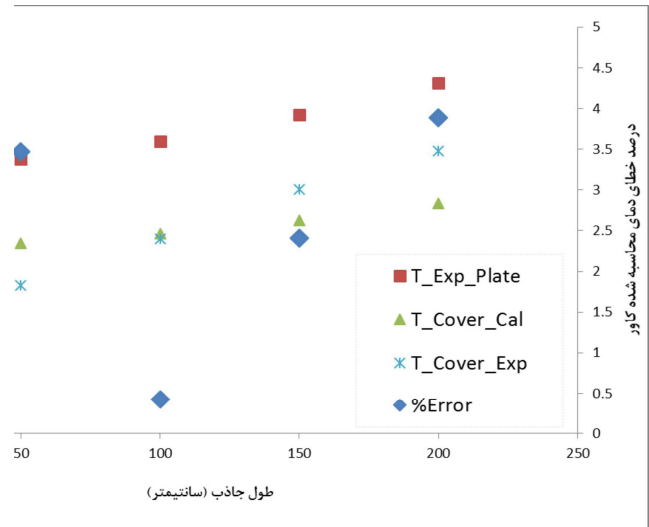
[۱۰] انتقال حرارت، جک فیلیپ هولمن، ترجمه غلامرضا ملک‌زاده، محمدحسین کاشانی - مشهد: نشر نما، جهان فردا - چاپ دهم: پاییز ۱۳۸۷

[۱۱] برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه، سام معینی، شهرام جوادی، محسن کوکی، نشریه انرژی ایران / دوره ۱۳ شماره ۲ تابستان ۱۳۸۹

[۱۲] بررسی تأثیر روش‌های مختلف آماده‌سازی و خشک‌کردن خورشیدی بر کیفیت برگه گوجه‌فرنگی، شهین زمردی، حسین محمدی مزرعه، اصغر خسروشاهی اصل، فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۳۸۸

[۱۳] طراحی خشک‌کن بسترسیال خورشیدی و تأثیر تابش خورشیدی بر عملکرد خشک شدن، فاطمه ولی محمدامینی، نشریه انرژی ایران دوره ۱۴ شماره ۴ زمستان ۱۳۹۰

مخرج عبارت ΔT قرار دارند، افزایش می‌یابند. در مجموع عبارت ΔT افزایش یافته و دمای کاور محاسبه شده در مقایسه با T_p با روند کاهشی افزایش می‌یابد.



شکل ۱۱ مقایسه دمای کاور، روش عددی با مقدار تجربی

۸- نتیجه‌گیری

در این مقاله ساخت یک نمونه خشک‌کن خورشیدی جابجایی طبیعی انجام شد و آزمایش‌هایی تحت شرایط مختلف آب و هوایی با زوایای مختلف کلکتور، سطوح مختلف کلکتور و جهت قرارگیری انجام پذیرفت. نتایج نشان می‌دهند که میزان جذب انرژی توسط کلکتور تابعی از هر چهار پارامتر مورد بررسی بوده است. میزان انرژی جذب شده توسط صفحه کلکتور تابعی از ساعات روز است و در ساعات میانی روز دارای بیشترین مقدار خود است. در شرایط آب و هوایی مختلف (صاف و آفتابی، نیمه‌ابری و نیمه‌بری با باد) مشاهده گردید که هوای صاف و آفتابی دارای بیشترین مقادیر انرژی جذب شده در مقایسه با دو حالت دیگر است. همچنین با توجه به افزایش ضریب اتلاف حرارت کلکتور خورشیدی در حالت نیمه‌ابری با باد در مقایسه با حالت نیمه‌ابری میزان جذب انرژی در حالت نیمه‌ابری با باد کمترین مقدار است. در خصوص زاویه قرارگیری کلکتور مشاهده شد که در زوایای کمتر از ۵۷ درجه کمترین جذب و در زوایای بین ۶۰ الی ۷۰ درجه بیشترین جذب وجود دارد. این پارامتر تابعی از فصل سال است. پارامتر مؤثر دیگر در عملکرد خشک‌کن سطح کلکتور (صفحه جاذب) است. میزان بازدهی خشک‌کن خورشیدی با سطح کلکتور رابطه مستقیم دارد؛ یعنی هرچه مقدار بیشتر باشد، دما، سرعت و دبی خروجی کلکتور بیشتر می‌شود. مشاهدات نشان می‌دهند علی‌رغم دو برابر شدن سطح جاذب، مقدار انرژی جذب‌شده کلکتور با همین نسبت افزایش پیدا نکرده است و این نسبت در محدوده ۱٫۲ تا ۱٫۴ است. دبی خشک‌کن با جابجایی طبیعی تابع دما است لذا با قرار گرفتن دستگاه رو به خورشید در سمت جنوب میزان جذب انرژی خشک‌کن افزایش می‌یابد. از داده‌ها می‌توان این نتیجه را گرفت که حداکثر درصد خطای دمای محاسبه‌شده کاور، روش تجربی در مقایسه با روش عددی ۴ درصد است.

