



طراحی و ساخت جمع‌کننده خورشیدی صفحه تخت پره دار با صفحه جاذب مخصوص و کنترل دمای

هوای خروجی، برای خشک کن خورشیدی همرفت اجباری

احمد سهیلی مهدی زاده^۱، فرهاد موسوی^۲، ابراهیم ابراهیمی^۳

۳-۱- به ترتیب مربی و استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه

۲- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید

Soheili407@yahoo.com

چکیده

استفاده از خشک کن های خورشیدی روز به روز رو به افزایش است. یکی از قطعات اصلی خشک کن های خورشیدی، جمع‌کننده خورشیدی می باشد. از مشکلات اصلی این جمع‌کننده ها متغییر بودن دمای هوای خروجی از آن در طول روز و پایین آمدن بازده آنها در هنگام ابری شدن ناگهانی هوا و ساعات پایانی روز می باشد. کارهایی بر روی کنترل دور فن بدون در نظر گرفتن دمای ورودی به محفظه خشک کن انجام گرفته است. در این پژوهش جمع‌کننده خورشیدی صفحه تخت پره داری با مساحت $1/1m^2$ ، برای خشک کنی با ظرفیت خشک کردن ۵ کیلوگرم توت سفید درختی طراحی و ساخته شد. صفحه جاذب از ورق آلومینیومی با ضخامت $0/5mm$ ساخته شد. سطح جمع‌کننده با لایه ای به ضخامت $1cm$ ، متشکل از مخلوط رنگ روغنی سیاه، پودر مس و پودر قلع (به ترتیب با نسبت ۴، ۳ و ۱) پوشانده شد. برای ثابت نگاهداشتن دمای هوای خروجی از جمع‌کننده، سیستم کنترلی با استفاده از میکروکنترلر AVR و حسگر دما (LM35) طراحی و ساخته شد. دو حسگر دما با فاصله مشخص بر روی صفحه جاذب و یک حسگر دما در خروجی جمع‌کننده نصب شدند. دور فن نیز با عبور پره های آن از مقابل چشمی مادون قرمز مشخص شد. آزمایش ها در دو روز (۱۳۸۸/۶/۷ و ۱۳۸۸/۶/۹) انجام شدند. دمای صفحه جاذب، دمای هوای خروجی از جمع‌کننده و دور فن به فاصله هر یک ساعت اندازه گیری و ثبت شدند. نتایج بدست آمده نشان می دهد که تغییرات دمای هوای خروجی جمع‌کننده در هر دو آزمایش بسیار کم می باشد که یک مزیت برای این سیستم به حساب می آید.

واژه های کلیدی:

جمع‌کننده صفحه تخت خورشیدی؛ صفحه جاذب با پوشش مخصوص؛ سیستم کنترل خشک کن؛ میکرو کنترل

AVR؛ حسگر دما

مقدمه

خشک کردن با خشک کن های صنعتی بسیار گران بوده و برای کشاورزان و صنایع کوچک غیر قابل استفاده می باشد. همچنین سوخت های فسیلی غیر قابل تجدید بوده و رو به اتمام می باشند. کاربرد انرژی تجدیدپذیر خورشید برای خشک کردن محصولات کشاورزی، استفاده از سوختهای فسیلی و هزینه ها را کاهش می دهد. از معایب خشک کن های خورشیدی دمای پایین و ثابت نبودن دمای هوای ورودی به آنها می باشد. کنترل انرژی حرارتی خورشید برای استفاده بهینه

در خشک کن های خورشیدی با استفاده از جمع کننده های خورشیدی انجام می شود. جمع کننده ها دمای هوایی که از آن عبور می کند را افزایش می دهند اما این افزایش دما ثابت نبوده و به عواملی از جمله میزان تابش، دمای محیط، سرعت باد و ... بستگی دارد. استفاده از سیستم های کنترل در کشاورزی برای بهینه نمودن سیستم های مختلف روبه افزایش است. استفاده از مواد مناسب در سطح جمع کننده ها و سیستم های کنترل، برای ثابت کردن دمای هوای خروجی از آنها و بالا بردن بازده خشک کن بسیار مفید می باشد.

Zomorodian & Woods (2003) یک نمونه از جمع کننده های با پوشش پله ای و صفحه جاذب متخلخل را شبیه سازی و مورد آزمون قرار داده اند. طبق گزارش آنها هوایی که تقریباً به صورت عمودی از لایه پوشش به طرف صفحه جاذب مکیده می شود باعث خنک شدن صفحه پوشش شده و تلفات همرفتی را به مقدار قابل توجهی کاهش می دهد. باقری و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از شبیه سازی رایانه ای به کمک نرم افزار MATLAB، سیستم کنترل خودکار دور فن یک خشک کن خورشیدی را مدل و ارزیابی کردند. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان داد که موتور قادر است حول مقدار مطلوب نوسان نماید تا در نهایت به دور مطلوب نزدیک شود. (Karim & Hawlader (2004) یک نمونه از جمع کننده های صفحه تخت ساده و صفحه تخت پره دار را ساخته و آزمایش کردند. نتایج نشان می دهد که جمع کننده های صفحه تخت ساده دارای کارایی پایین تری نسبت به نوع پره دار هستند و استفاده از پره ها توانست تا ۱۰٪ افزایش دما ایجاد کند. Temple & Vane Boxel, (2001) از یک سیستم کنترل بر روی خشک کن های چای با بستر سیال برای تعیین زمان خاموش نمودن دستگاه در پایان فرآیند خشک کردن استفاده نمودند. در این تحقیق یک مدل شبیه سازی شده با نرم افزار MATLAB به کار برده شد. از این مدل برای تعیین منطقه عملیاتی خشک کن و چگونگی تاثیر اختلالات مختلف بر روی زمان خشک کردن قبل از اعمال استراژی های مختلف کنترل در عمل، استفاده شد. ارزیابی دقیق آزمایش این سیستم کنترل نشان داد که نسبت به سیستم های دستی می تواند کنترل موثر و بهتری را تامین نماید. (Smitabhindua, et al. (2007) با استفاده از نرم افزاری در برنامه فرترن مدل شبیه سازی عملکرد خشک کن خورشیدی را برای خشک کردن موز ایجاد نمودند. مقایسه و ارزیابی نتایج مدل از طریق آزمایشهای متعدد مدل شبیه سازی را تأیید نمود و بدینوسیله آنها توانستند با کیفیت مطلوبی نسبت به بهینه سازی پارامترهای سیستم خشک کن اقدام نمایند.

مواد و روشها

محاسبات و طراحی

محاسبات برای سطح جمع کننده مورد نیاز یک خشک کن خورشیدی با ظرفیت ۵ کیلوگرم توت تازه انجام گرفت. سطح جمع کننده مورد نیاز از موازنه انرژی لازم برای تبخیر رطوبت محصول و انرژی جذب شده در سطح جمع کننده به دست می آید (Ayensu, 1997):

$$m_w . L = A . N(\tau \alpha) F_R . I_T \quad (1)$$

m_w : جرم آب محصول که برابر ۴kg محاسبه شد.

L: گرمای نهان تبخیر آب در دمای میانگین محفظه بوده که با استفاده از جداول ترمودینامیکی بخار اشباع و درون یابی برابر با 2405 kJ/kg می باشد (Holman, 1980).

A: مساحت جمع کننده انرژی خورشیدی، m^2

N: تعداد روزهای مورد نیاز برای خشک کردن که برابر یک روز در نظر گرفته ایم.

τ : ضریب عبور^۱ صفحه پوشش که برای شیشه 0.88 است (Duffie & Beckman, 1991).

α : ضریب جذب^۲ صفحه جاذب که برای آلومینیوم با پوشش تیره (مواد مورد استفاده در جمع کننده) 0.95 در نظر گرفته می شود (Duffie & Beckman, 1991).

F_R : ضریب انتقال حرارت در جمع کننده که به طور متوسط 0.5 در نظر گرفته می شود (Duffie & Beckman, 1991).

I_T : انرژی تابشی در واحد سطح در یک روز که مقدار آن $24380 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{day}$ به دست می آید. با قرار دادن مقادیر فوق در رابطه ۱، مقدار A برابر با $1/1 \text{ m}^2$ به دست می آید.

برای ثابت کردن دمای هوای خروجی از جمع کننده از سیستم کنترل دور فن (کنترل سرعت هوا در جمع کننده) استفاده می شود. در این سیستم از یک میکرو کنترل AVR-ATMEGA18 برای کنترل و برنامه ریزی استفاده شد. برای تعیین دمای صفحه جاذب و خروجی جمع کننده از حسگر دمای LM35 و برای اندازه گیری دور فن از چشمی مادون قرمز استفاده شد. دمای دو حسگر صفحه جاذب به صورت میانگین با T و حسگر خروجی جمع کننده با T_1 نمایش داده می شوند. طراحی مدار با استفاده از نرم افزار PROTEUS انجام گرفت. برای کنترل دور فن بر حسب دمای صفحه جاذب از سیستم کنترل داخلی میکروکنترل استفاده می شود. که مشخصات آن با توجه به دور فن (۲۳۰۰ دور در دقیقه) بعد از محاسبات، در برنامه نویسی مطابق جدول ۱ می باشد.

ساخت جمع کننده انرژی خورشیدی

در ساخت جمع کننده از پروفیل آلومینیومی به عنوان قاب جمع کننده استفاده شده است. برای زیر جمع کننده از ورق گالوانیزه 0.5 mm استفاده شده است. برای عایق کاری زیر جمع کننده، بین صفحه جاذب و صفحه زیری از عایق پشم شیشه با ضخامت $1/5 \text{ cm}$ استفاده شده است. صفحه جاذب انرژی ورق آلومینیومی به ضخامت 0.5 mm بوده و از دو طرف جانی به قاب جمع کننده توسط پرچ متصل شده است. تعداد ۵ نبشی آلومینیومی به ابعاد $30 \times 30 \times 1/5 \text{ mm}$ روی صفحه جاذب متصل و به عنوان پره برای صفحه جاذب عمل می کنند. صفحه جاذب انرژی بوسیله ماده تیره مخصوص با ضخامت 10 mm پوشیده شد. این ماده از مخلوط کردن رنگ روغنی سیاه، پودر مس و پودر قلع به ترتیب با نسبت ۴، ۳ و ۱ بدست آمد. از شیشه ساختمانی با ضخامت 4 mm به عنوان صفحه شفاف پوشش جمع کننده استفاده شد (شکل ۱).

مدار کنترل بر روی یک برد پیاده شد و از یک LCD کوچک برای نمایش دمای صفحه جاذب، دمای خروجی از جمع کننده و دور فن استفاده شد. دو حسگر دما با فاصله مشخص بر روی صفحه جاذب و یک حسگر نیز در خروجی جمع

1- Transmittance
2- Absorptance

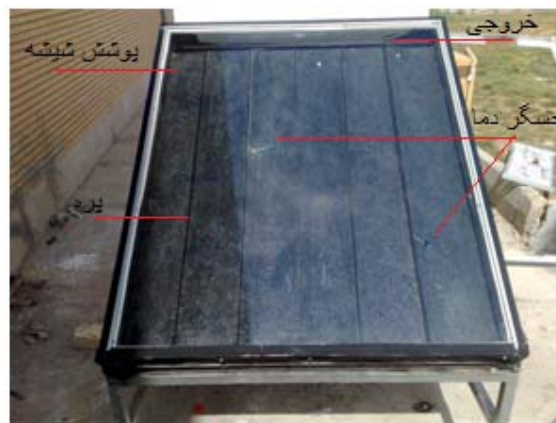
کننده نصب شد. دوعدد چشمی مادون قرمز بر روی یک برد کوچک در دو طرف پره های فن، برای شمارش دور فن قرار گرفت (شکل ۲).

جدول ۱- مشخصات سیستم کنترل دور فن

دمای صفحه جاذب، $T(^{\circ}C)$	عدد معادل دما در برنامه نویسی کنترل دور فن	دور فن در دمای صفحه جاذب
$T \leq 30$	۰	۰
$35 \leq T < 40$	۵۰	۴۶۰
$40 \leq T < 45$	۷۰	۶۴۴
$45 \leq T < 50$	۹۰	۸۲۸
$50 \leq T < 55$	۱۱۰	۱۰۱۲
$55 \leq T < 60$	۱۳۰	۱۱۹۶
$60 \leq T < 65$	۱۵۰	۱۳۸۰
$65 \leq T < 70$	۱۷۰	۱۵۶۴
$70 \leq T < 75$	۱۹۰	۱۷۴۸
$75 \leq T < 80$	۲۱۰	۱۹۳۲
$80 \leq T < 85$	۲۳۰	۲۱۱۶
$85 \leq T$	۲۵۰	۲۳۰۰

ارزیابی جمع کننده انرژی خورشیدی

به منظور بررسی عملکرد جمع کننده، باید جمع کننده مورد ارزیابی قرار می گرفت. آزمایش در روزهای ۷ و ۹ شهریور ماه در کرمانشاه انجام شد. مدت زمان آزمایش ۱۰ ساعت بوده که از ساعت ۸:۳۰ دقیقه شروع شده و تا ساعت ۱۸:۳۰ دقیقه ادامه داشت. داده ها (دمای صفحه جاذب، دمای خروجی از جمع کننده و دور فن) از روی صفحه نمایش جعبه کنترل به فاصله هر یک ساعت قرائت و یادداشت شدند. برای دمای هوا و انرژی تابشی خورشید از داده های اندازه گیری شده توسط اداره هواشناسی کرمانشاه استفاده شد.



شکل ۱- جمع کننده انرژی خورشیدی



شکل ۲- سیستم کنترل جمع کننده انرژی خورشیدی

محاسبه میزان تابش انرژی خورشیدی در سطح جمع کننده

برای محاسبه بازده جمع کننده، باید انرژی تابش خورشیدی رسیده به سطح شیب دار جمع کننده را از مقادیر انرژی تابشی رسیده به سطح افقی که توسط شیدسنج اندازه گیری شده، محاسبه کنیم. در محاسبات انرژی تابشی معمولاً میزان انرژی را در بازه های زمانی یک ساعته محاسبه می کنند. برای محاسبه انرژی تابشی در سطح شیب دار ابتدا تابش I_o را از رابطه (۲) حساب می کنیم (Duffie & Beckman, 1991):

$$I_o = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{SC} \left[1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right] \left[\cos \varphi \cos \varphi_c \cos \omega_2 - \sin \omega_1 + \frac{2\pi(\omega_2 - \omega_1)}{360} \sin \varphi \sin \varphi_c \right] \quad (2)$$

I_o : انرژی تابشی روی سطح افقی در غیاب اتمسفر^۱ (در بازه یک ساعته)، J/m^2

G_{SC} : ثابت خورشیدی^۲ (انرژی خورشیدی بر واحد سطح در خارج از اتمسفر زمین در فاصله میانگین زمین و خورشید)، W/m^2

n : شماره روز سال نسبت به اول ماه ژانویه

ϕ : عرض جغرافیایی منطقه

δ : زاویه میل خورشیدی

ω_1, ω_2 : به ترتیب زاویه ساعت^۳ برای ساعت شروع و خاتمه بازه یک ساعته (زاویه ساعت برای ساعت ۱۲ ظهر صفر،

به ازای هر یک ساعت بیشتر از ۱۲، $+15^\circ$ و هر یک ساعت کمتر از ۱۲، -15° است).

k_T ضریب صافی آسمان^۴ در طول یک ساعت بوده و چنین تعریف می شود (Duffie & Beckman, 1991):

-
- 1- Extraterrestrial Radiation
 - 2- Solar Constant
 - 3- Hour Angle
 - 4- Sky Clearness

$$k_T = \frac{I}{I_0} \quad (3)$$

در این رابطه I انرژی تابشی در واحد سطح است که به وسیله شیدسنج اندازه گیری شده و I_0 مربوط به رابطه (۲) می باشد. انرژی تابشی در سطح زمین از دو جزء تشکیل شده است یکی تابش مستقیم^۱ (I_b) که به طور مستقیم از خورشید به جسم می رسد و جزء دیگر انرژی تابشی پراکنده^۲ (I_d) که در اثر بازتابش از سطوح و اشیاء دیگر به جسم می رسد. پس برای محاسبه تابش کل از تابش مستقیم خواهیم داشت (Duffie & Beckman, 1991):

$$\frac{I_b}{I} = 1 - \frac{I_d}{I} \quad (4)$$

برای سهم تابش پراکنده از تابش کل معادلات زیر پیشنهاد شده اند (Duffie & Beckman, 1991):

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1 - 0/249k_T \rightarrow k_T < 0/35 \\ 1/557 - 1/84k_T \rightarrow 0/35 < k_T < 0/75 \\ 0/177 \rightarrow k_T > 0/75 \end{cases} \quad (5)$$

R_b ، نسبت تابش مستقیم کل به تابش مستقیم دریافت شده کل از رابطه زیر محاسبه می شود (Duffie & Beckman, 1991):

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta)\cos\delta\cos\omega + \sin(\varphi - \beta)\sin\delta}{\cos\varphi\cos\delta\cos\omega + \sin\varphi\sin\delta} \quad (6)$$

زاویه ساعت برای ساعت متوسط ابتدا و انتهای بازه یک ساعته و β زاویه شیب سطح جمع کننده است. و در نهایت I_T (تابش کل روی سطح با زاویه β در طول یک ساعت) از رابطه زیر به دست می آید (Duffie & Beckman, 1991):

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \rho \quad (7)$$

در این رابطه ρ ضریب بازتابش پراکنده^۳ سطح زمین است که برای زمین بدون برف مقدار $0/2$ و برای سطح زمین پوشیده با برف تازه مقدار $0/7$ در نظر گرفته می شود.

انرژی تابشی جذب شده در صفحه جاذب از رابطه زیر محاسبه می شود (Duffie & Beckman, 1991):

$$S = I_T (\tau\alpha)_{ave} \quad (8)$$

I_T : انرژی رسیده به سطح جمع کننده (رابطه (۷))، kJ/m^2

$(\tau\alpha)_{ave}$: ضریب جذب عبور متوسط برای مجموعه صفحات پوشش و جاذب که از رابطه ۹ به دست می آید:

-
- 1- Beam Radiation
 - 2- Diffuse Radiation
 - 3- Diffuse Ground Reflectance

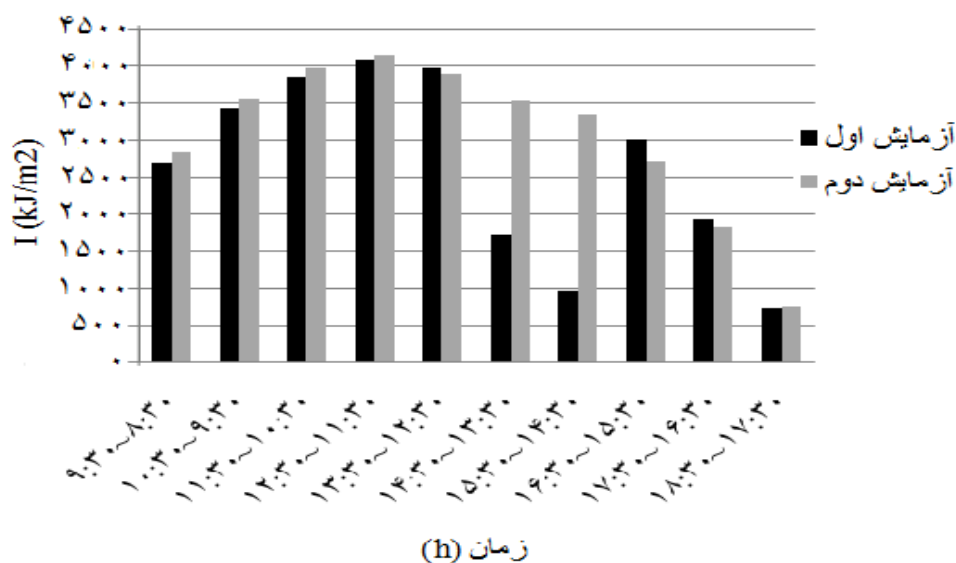
$$(\tau\alpha)_{ave} = 1/01(\tau\alpha)$$

(۹)

نتایج و بحث

میزان تابش انرژی خورشیدی

مقادیر انرژی تابشی خورشیدی در سطح افقی (انرژی رسیده به سطح افقی) در مدت دو روز که از ارقام اداره هواشناسی بدست آمدند در شکل ۳ مشاهده می شوند. در اداره هواشناسی مقادیر انرژی به صورت دقیقه ای و ساعتی ثبت شده که از مقادیر ساعتی استفاده می شود. در نمودار شکل ۳ مقادیر I با واحد kJ/m^2 آورده شده اند.



شکل ۳- انرژی تابشی در سطح افقی (I) در ساعات آزمایش

در جدول ۲ مقادیر انرژی رسیده به سطح جمع کننده (I_T) با زاویه شیب 34° (زاویه شیب جمع کننده) آورده شده اند. در اثر تلفات نوری صفحات پوشش و جذب، مقداری از این انرژی از دسترس خارج می شود و مقدار باقی مانده (S) جذب صفحه جذب انرژی می شود. از رابطه (۹) متوسط بازده نوری جمع کننده برابر $0/84$ منظور شده و مقادیر S از رابطه ۸ در جدول ۲ گنجانده شده اند.

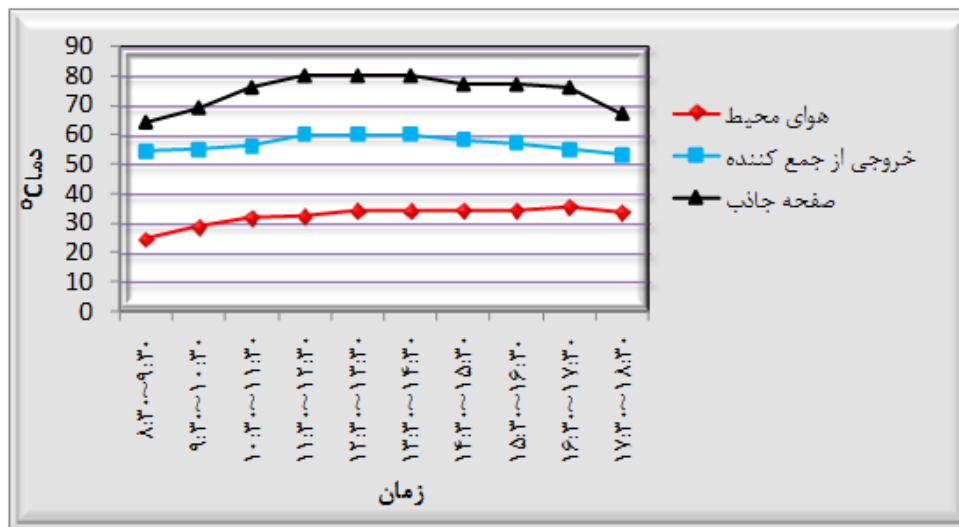
تغییرات دما و دور فن

در ساعت ۸:۳۰ صبح روز آزمایش ها با روشن کردن جعبه کنترل، دمای حسگرها توسط میکروکنترلر بر روی صفحه نمایش نشان داده شده، با توجه به دمای صفحه جذب T پورت متصل به فن شروع به فرستادن جریان به فن نموده و فن شروع به کار می کند. با بالا رفتن دمای صفحه جذب دور فن نیز بالا می رود. هوای محیط از دهانه ورودی جمع کننده وارد آن شده و حرارت صفحه جذب را دریافت کرده و از آن خارج می شود. نتایج حاصل از افزایش دما در جمع کننده و دور فن در نمودارهای شکل های ۴ تا ۶ نشان داده شده است.

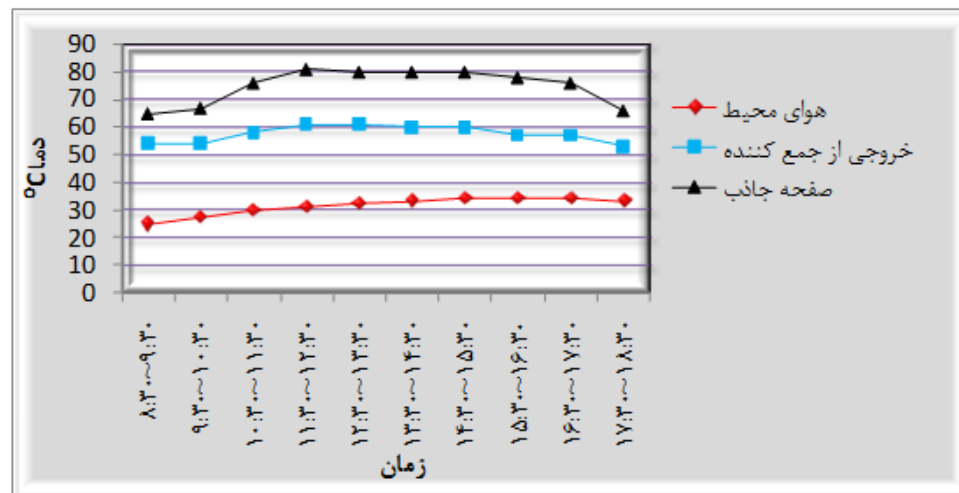
با توجه به نمودارها تغییرات دمای صفحه جاذب در طول ساعات آزمایش بسیار کم است و دمای صفحه جاذب در تمامی ساعات بالای 64°C است. این در حالی است که تغییرات انرژی تابشی رسیده به صفحه جاذب در طول همین ساعات بسیار زیاد است. در ساعات انتهای هر دو آزمایش انرژی تابشی رسیده به صفحه جاذب به زیر 600kJ نزول کرده اما دمای صفحه جاذب همچنان بالا است. در آزمایش اول در ساعت $13:30$ تا $15:30$ به دلیل ابری شدن ناگهانی هوا و شرایط بد جوی انرژی تابشی کاهش چشم گیری دارد ولی دمای صفحه جاذب تغییر بسیار ناچیزی دارد. علت این امر قابلیت بالای ذخیره انرژی حرارتی خورشید توسط پوشش 1cm صفحه جاذب و جذب دمای بالای مواد استفاده شده در این پوشش می باشد.

جدول ۲- انرژی تابشی رسیده به صفحه پوشش (I_T) و مقدار انرژی جذب شده توسط صفحه جاذب (S)

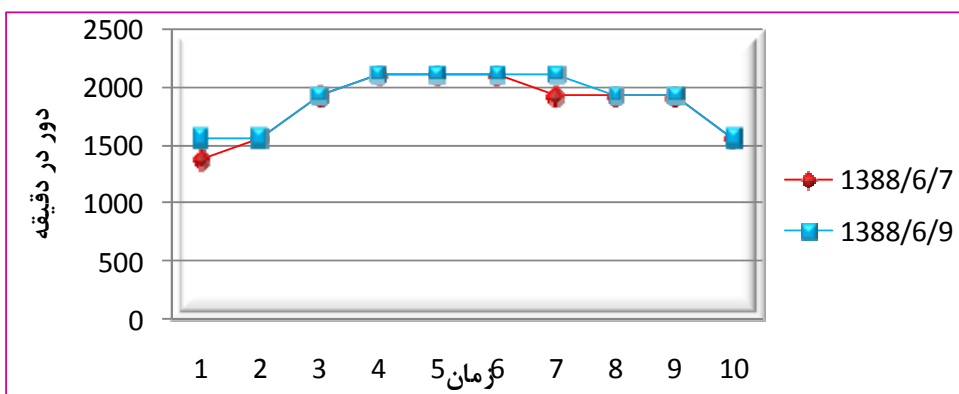
میزان تابش (kJ/m^2)	تاریخ آزمایش	ساعات آزمایش (به وقت محلی)				
		۹:۳۰ تا ۱۰:۳۰	۱۰:۳۰ تا ۱۱:۳۰	۱۱:۳۰ تا ۱۲:۳۰	۱۲:۳۰ تا ۱۳:۳۰	۱۳:۳۰ تا ۱۴:۳۰
تابش رسیده به صفحه جاذب	۱۳۸۸/۶/۷	۲۸۱۶	۳۶۷۰	۴۱۱۵	۴۳۷۴	۴۲۵۷
	۱۳۸۸/۶/۹	۲۹۷۵	۳۸۳۳	۴۳۰۷	۴۴۰۵	۴۲۰۸
انرژی جذب شده به وسیله صفحه جاذب	۱۳۸۸/۶/۷	۲۳۶۵	۳۰۸۲	۳۴۵۶	۳۶۷۴	۳۵۷۵
	۱۳۸۸/۶/۹	۲۴۹۹	۳۲۲۰	۳۶۱۸	۳۷۰۰	۳۵۳۴
میزان تابش (kJ/m^2)	تاریخ آزمایش	ساعات آزمایش (به وقت محلی)				
		۱۳:۳۰ تا ۱۴:۳۰	۱۴:۳۰ تا ۱۵:۳۰	۱۵:۳۰ تا ۱۶:۳۰	۱۶:۳۰ تا ۱۷:۳۰	۱۷:۳۰ تا ۱۸:۳۰
تابش رسیده به صفحه جاذب	۱۳۸۸/۶/۷	۱۸۴۲	۱۰۰۸	۲۹۸۷	۱۷۰۳	۱۳۴
	۱۳۸۸/۶/۹	۳۸۰۶	۳۵۱۶	۲۷۳۶	۱۶۴۴	۵۸۵
انرژی جذب شده به وسیله صفحه جاذب	۱۳۸۸/۶/۷	۱۵۴۷	۸۴۷	۲۵۰۹	۱۴۳۱	۱۱۲
	۱۳۸۸/۶/۹	۳۱۹۷	۲۹۵۴	۲۲۹۸	۱۳۸۱	۴۹۲



شکل ۴- نمودار تغییرات دما در جمع کننده در تاریخ ۱۳۸۸/۶/۷



شکل ۵- نمودار تغییرات دما در جمع کننده در تاریخ ۱۳۸۸/۶/۹



شکل ۶- نمودار تغییرات دور فن در طول آزمایش ها

در نمودارهای شکل های ۴ و ۵ تغییرات دمای هوای خروجی از جمع کننده با توجه به تغییرات انرژی تابشی بسیار ناچیز بوده و نمودارها تقریباً روند خطی دارند. علت این امر کنترل دور فن و تا اندازه ای ذخیره انرژی در صفحه جاذب (که باعث تغییرات کم دمای صفحه جاذب شده) می باشد. در دمای پایین صفحه جاذب دور فن کم شده و هوا با سرعت کمتری از روی صفحه جاذب عبور کرده و دمای آن بالا می رود. با بالا رفتن دمای صفحه جاذب دور فن نیز زیاد شده و سرعت هوا در جمع کننده افزایش می یابد. که این باعث ثابت شدن دمای هوای خروجی در دماهای مختلف می شود. با توجه به نمودارهایی که از آزمایش ها به دست آمد، استفاده از این ماده مخصوص با ضخامت ۱۰mm در سطح جمع کننده توانست انرژی حرارتی خورشید را برای بالا بردن دمای صفحه جاذب در ساعاتی که انرژی تابشی خورشید پایین می آید (ابری شدن ناگهانی هوا و ساعات پایانی روز)، در خود ذخیره کند. همچنین استفاده از سیستم کنترل فن و قابلیت ذخیره انرژی صفحه جاذب، تغییرات دمای هوای خروجی از جمع کننده را بسیار کاهش داده و باعث ثابت شدن دمای هوای خروجی از جمع کننده شده است. با استفاده از این مواد و سیستم کنترل دور فن در جمع کننده ها می توان کارایی خشک کن ها را بالا برد.

منابع و مأخذ

- ۱- باقری، ن. محتسبی، س. کیهانی، ع. عباس زاده، ر. جوادی کیا، پ. ۱۳۸۷. ارائه مدل شبیه سازی رایانه ای برای سیستم کنترل خودکار خشک کن خورشیدی. مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی ماشین های کشاورزی، مشهد. ۴۸۱ص.
2. Ayensu A.1997. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy*, 59: 121-126.
3. Duffie J.A. and W.A. Beckman. 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons, New York.
4. Holman J.P. 1980. *Thermodynamics*. 3rd edition. McGraw-Hill. New York.
5. Imre L. 1995 Solar drying. In: Mujumdar AS, editor. *Handbook of industrial drying*. New York: Marcel Dekker. p. 373-452.
6. Karim.M.A. and Hawlader.M.N.A. 2004. Development of solar air collectors for drying applications. *Energy Conversion and Management*, 45:329-344.
7. Smitabhindua R., Janjaib S. and Chankong V. 2007. Optimization of a solar-assisted drying system for drying bananas. *Renewable Energy*, 33(7): 1523-1531.
8. Temple.S.J. and A.J.B Van Boxtel. 2001. Control of fluid bed tea dryer: design of controller and tuning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 26(2): 159-170.
9. Zomorodian A.A. and J.L. Woods. 2003. Modeling and testing a new once-through air solar energy collector. *J. Agric. Sci. Technol.*, 5:11-19.

Abstract

Solar dryers' usage is increasing nowadays. Solar collector is one of the most important parts of the solar dryers. One of the problems with the solar collectors is variable outlet air temperature all day long. Other disadvantages of solar collectors are low efficiency in the evening and when the sky is cloudy. From the literature there are some works on control of dryer fan speed without consideration of drying chamber inlet air temperature. In the present work a flat plate solar collector with 1.1 m² aperture area was designed and constructed for drying of 5 kg sweet berry in a solar dryer. The absorber plate is made of aluminum sheet with 0.5 mm thickness. Absorber plate surface is covered with a thickness of 1 cm with a mixture of black oil paint, copper and tin powder (with ratio of 4, 3 and 1). A control system with AVR microcontroller and temperature sensor (LM35) was designed and constructed for holding constant of collector outlet air temperature. Two temperature sensors with specified distance on the absorber plate and one temperature sensor in the exit of solar collector were used. An infrared sensor was used for measuring of fan speed. The tests were conducted in two days (29th and 31st of August 2009). Absorber plate temperature, collector outlet air temperature and fan speed were measured and recorded in 1 hour intervals. Tests results showed that the fluctuations of collector outlet air temperatures are very small and this is advantage of this system.

Keywords:

Flat plate solar collector; Special coverage absorber plate; Dryer control system; AVR microcontroller; Temperature sensors