

## یادداشت پژوهشی

### بررسی اثر سامانه کنترل دور فن بر یکنواختی دمای هوای ورودی خشک‌کن خورشیدی

سید فرهاد موسوی<sup>۱\*</sup> - محمد حسین عباسپور فرد<sup>۲</sup> - مهدی خجسته پور<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۵

#### چکیده

یکی از مشکلات خشک‌کن‌های خورشیدی متغیر بودن دمای خشک کردن می‌باشد. در این تحقیق، سامانه کنترل دمای خشک‌کن متشکل از حسگرها، کنترل‌کننده دور فن و میکروکنترل طراحی و ساخته شد. خشک‌کن خورشیدی استفاده شده از نوع پختی همرفت اجباری دارای دو عدد سینی هر کدام با مساحت ۰/۳ متر مربع و با ظرفیت ۵ کیلوگرم سبزی تازه و ارتفاع محصول روی هر سینی ۰/۰۳ متر بود. در آزمایش‌ها از گیاه نعنای تازه استفاده و در طول چهار روز در دو حالت با استفاده و بدون استفاده از کنترل دور فن انجام شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که با استفاده از این سامانه، تغییرات دمای هوا در ورودی محفظه خشک‌کن کمتر و بین ۳۹ تا ۴۲ درجه سلسیوس در روزهای آزمایش بود. در حالی که در حالت بدون کنترل دور فن تغییرات دمای هوا در ورودی محفظه خشک‌کن بیشتر و مابین ۳۲ تا ۴۴ درجه سلسیوس در روزهای آزمایش بود. بنابراین استفاده از کنترل دور فن در یک خشک‌کن خورشیدی ممکن است باعث سریع‌تر و ثابت‌تر شدن آهنگ خشک شدن محصول شده و در یک دوره زمانی ثابت نسبت به حالت بدون کنترل دور فن رطوبت نهایی را حدود ۸ درصد بیشتر کاهش دهد.

**واژه‌های کلیدی:** خشک‌کن خورشیدی، رطوبت و زمان خشک شدن، کنترل دور فن

#### مقدمه

فرآیند خشک کردن هر محصول زراعی یا باغی به دلیل مصرف انرژی قابل توجه یکی از عملیات پرهزینه پس از برداشت در کشاورزی می‌باشد. سبزیجات و میوه‌ها را می‌توان در شرایط کاملاً بهداشتی و متناسب با استانداردهای بین‌المللی و انرژی مورد نیاز کمینه با فناوری خشک‌کن خورشیدی خشک کرد.

کاربرد سامانه‌های کنترل در علوم و مهندسی نقش اساسی داشته و به‌عنوان بخش مهم و ناگسستنی در فرآیندهای صنعتی امروزی محسوب می‌شود. به‌عبارت دیگر کاربرد این سامانه‌ها، عامل دستیابی به کارایی بهینه سامانه‌های دینامیکی، افزایش بازده و تسهیل انجام کارهای تکراری دستی می‌باشد. کاربرد این سامانه‌ها در کشاورزی نیز به سرعت در حال افزایش است. کاهش هزینه سخت افزار و نرم‌افزار و پذیرش سریع‌تر این سامانه‌ها در کشاورزی منجر به افزایش استفاده

از این سامانه‌ها گردیده است (Gates et al., 1999).

یک نمونه از جمع‌کننده‌های صفحه تخت ساده و صفحه تخت پرده‌دار ساخته و آزمایش شدند. نتایج نشان می‌دهد که جمع‌کننده‌های صفحه تخت ساده دارای کارایی پایین‌تری نسبت به نوع پرده‌دار هستند و استفاده از پرده‌ها توانست تا ۱۰ درصد افزایش دما ایجاد کند (Karim and Hawlader, 2004). یک کنترلر پسخورد - پیش‌خورد برای کنترل رطوبت در خشک‌کن‌های غلات جریان مختلط به‌کار برده شد که الگوریتم این کنترلر شبیه‌سازی و آزمایش گردید (Bruce and Mcfarlane, 1992-1993). یک کنترلر مرسوم و تطبیقی خشک‌کن‌های دوار مستقیم از طریق شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفت. که در آن یک مدل دینامیکی فرآیند توسعه یافت (Perez- Correa et al., 1998). استفاده از یک سامانه کنترل بر روی خشک‌کن چای با بستر سیال برای تعیین منطقه عملیاتی خشک‌کن و چگونگی تأثیر اختلالات مختلف بر روی زمان خشک‌کردن قبل از اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل در عمل، نشان داد که نسبت به سامانه‌های دستی می‌تواند عملکرد بهتری داشته باشد (Temple and Van Boxtel, 2001). نتایج حاصل از شبیه‌سازی رایانه‌ای عملکرد یک خشک‌کن خورشیدی برای خشک کردن میوه موز نشان داد که پارامترهای خشک‌کن با کیفیت مطلوبی بهینه‌سازی شدند (Smitabhindua et al., 2007). نتایج

۱- دانشجوی دکتری مکانیک بیوسیستم پردیس بین الملل دانشگاه فردوسی مشهد  
(\* نویسنده مسئول: Email: sayedfarhadmousavi@yahoo.com)

۲- استاد گروه مهندسی بیوسیستم و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم و عضو مرکز پژوهشی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

توسط دریچه برزنتی به ورودی که در پایین محفظه قرار دارد متصل شد.

برای هدفمندسازی روش کار تحقیق در راستای کنترل خودکار دور فن این خشک‌کن خورشیدی جهت تنظیم دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن، مطالعات و بررسی‌های لازم انجام گرفت. جهت نمایش دما در جمع‌کننده، ورودی و خروجی محفظه خشک‌کن، ۴ عدد حسگر دما مدل LM35 (با مشخصات داده‌پردازی به میکروکنترل بدون نیاز به واسط، دقت اندازه‌گیری ۱ درجه سیلسیوس و خروجی دیجیتال) و نمایش رطوبت در ورودی و خروجی محفظه خشک‌کن، ۲ عدد حسگر رطوبت خازنی مدل HS1101 (با مشخصات دمای کاری ۶۰ تا ۱۴۰ درجه سیلسیوس - رطوبت کاری ۰ تا ۱۰۰ درصد - ماکزیمم ولتاژ ۱۰ ولت - دقت اندازه‌گیری ۳ درصد - خروجی فرکانس) مورد نیاز است.

همچنین برای تعیین دور فن به یک فرستنده و یک گیرنده چشمی اشعه مادون قرمز نیازمندیم که در دو طرف پرها قرار و با عبور هر پره از میان چشمی‌ها یک عدد به میکروکنترل ارسال می‌گردد. در سامانه مورد نظر از میکروکنترل AVR مدل ATMEGA16 و ATMEGA8 برای برنامه‌ریزی مورد نیاز و کنترل دور فن بر حسب دمای صفحه جاذب و کنترل حسگرها استفاده می‌شود.

### طراحی کامپیوتری

بعد از شناخت نیازهای اصلی مدار و قطعات مورد نیاز سامانه، شبیه‌سازی کامپیوتری مدار و بررسی دقت سامانه با استفاده از نرم‌افزار PROTEUS و برنامه‌نویسی توسط برنامه CODEVISION انجام گرفت. با توجه به این که هر حسگر رطوبت و مدار شمارش دور فن به یک مقایسه‌گر داخلی احتیاج دارد و هریک از این میکروها فقط یک مقایسه‌گر داخلی دارند سه میکروکنترل مورد استفاده قرار گرفت و سه مدار ۱، ۲ و ۳ طراحی گردید.

مدار شماره ۱ شامل یک عدد میکروکنترل ATMEGA16، حسگرهای دمای جمع‌کننده و ورودی محفظه خشک‌کن و همچنین حسگر رطوبت ورودی محفظه می‌باشد. از قابلیت‌های این مدار، کنترل دور فن با کم و زیاد شدن دمای صفحه جاذب و دکمه‌ای جهت خارج کردن سامانه کنترل دور فن و ثابت کردن دور فن می‌باشد. با افزایش دمای صفحه جاذب دور فن افزایش و با کاهش دما صفحه کاهش می‌یابد.

مدار شماره دو شامل یک عدد میکروکنترل ATMEGA16، حسگر دمای هوای خروجی محفظه و حسگر رطوبت خروجی محفظه می‌باشد. خاموش شدن خودکار فن با رسیدن رطوبت خروجی از محفظه به رطوبت مورد نیاز محصول خشک شده نیز از قابلیت‌های این مدار می‌باشد.

حاصل از ساخت و آزمایش یک نمونه از جمع‌کننده‌های با پوشش پله‌ای نشان داد هوایی که تقریباً به صورت عمودی از لایه پوشش به طرف صفحه جاذب مکیده می‌شود باعث خنک شدن صفحه پوشش شده و تلفات همرفتی را به مقدار قابل توجهی کاهش می‌دهد (Zomorodian and Woods, 2003). استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای یک سامانه کنترل، تعداد پارامترهای کنترل یک خشک‌کن غلات را از ۱۰ به ۵ کاهش و با بهینه‌سازی کنترل گرمایش و فن، هزینه‌ها ۳۴ درصد کاهش یافت (Ryniecki and Nellist, 1990). نتایج حاصل از استفاده یک سیستم کنترل مدل پیشگو برای خشک‌کن‌های جریان عرضی نشان داد که این کنترلر در گستره وسیعی از شرایط به خوبی عمل نموده، همچنین دارای دقت و پایداری خوبی می‌باشد (Qiang and Bakker-Arkema, 2001).

بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که کارهای متعددی برای کنترل هوشمند خشک‌کن‌های خورشیدی انجام شده و مدل‌هایی از طریق رایانه شبیه‌سازی و مورد استفاده قرار گرفته است. اما با توجه به تأثیر سرعت هوا در دمای هوای ورودی به خشک‌کن می‌توان با استفاده از کنترل دور فن بر حسب دمای صفحه جاذب، سامانه‌ای طراحی و به مقایسه آن با حالت عادی خشک‌کن پرداخت.

از آنجایی که ثابت بودن دمای هوای ورودی به محفظه یک خشک‌کن خورشیدی بسیار مهم است از این رو در این پژوهش سعی شده که تأثیر استفاده از سامانه کنترل خودکار دور فن بر روی یک خشک‌کن خورشیدی بررسی گردد.

## مواد و روش‌ها

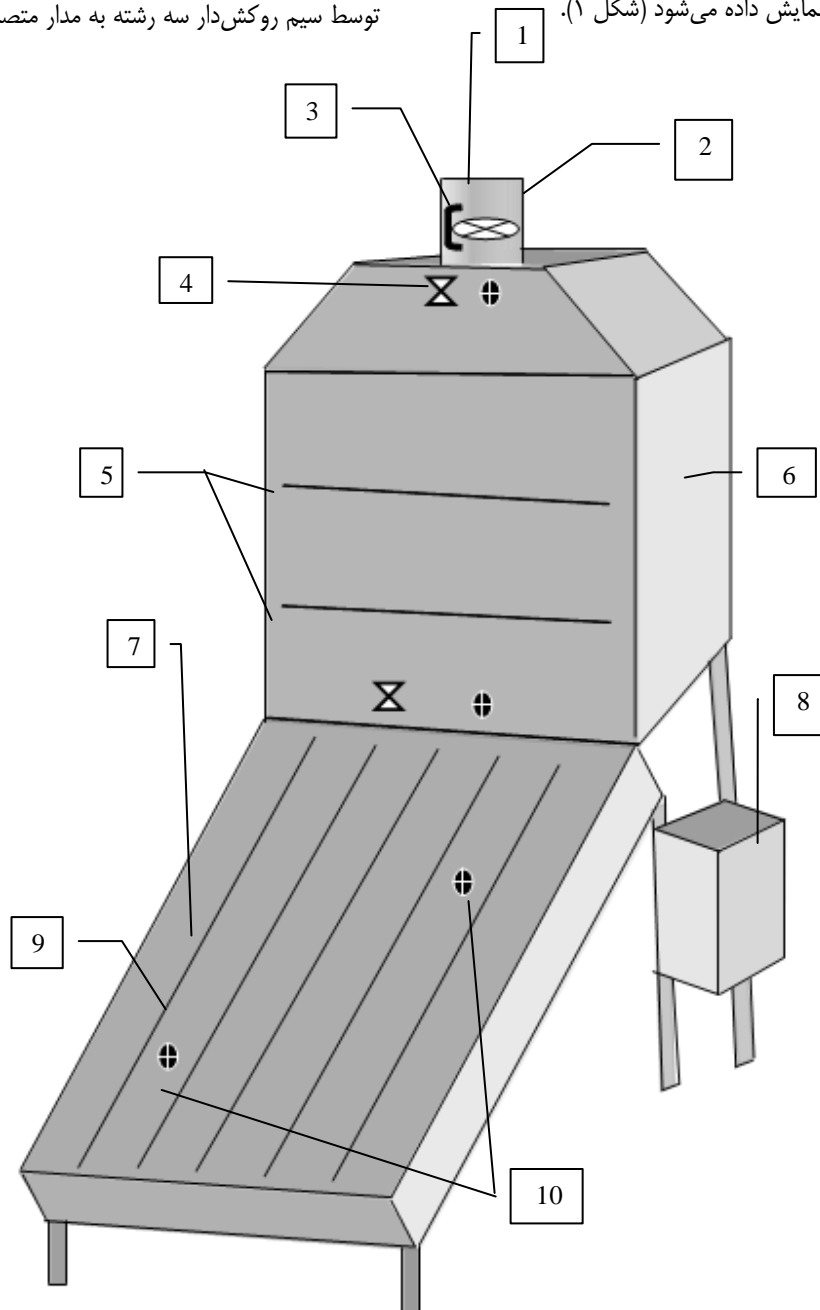
### مواد مورد نیاز

در این تحقیق از یک خشک‌کن خورشیدی همرفت اجباری از نوع کابینتی دودکش‌دار که دارای دو عدد سینی هرکدام با مساحت ۰/۳ متر مربع و با ظرفیت ۵ کیلوگرم سبزی تازه و ارتفاع محصول روی هر سینی ۰/۰۳ متر بود استفاده شد. در این خشک‌کن از یک فن که در قسمت خروجی محفظه (داخل دودکش) قرار گرفته جهت جابه‌جایی هوا استفاده شد که گردآورنده آن از نوع صفحه تخت پره‌دار می‌باشد. صفحه جاذب انرژی ورق آلومینیومی به ضخامت ۰/۰۵ متر بوده و از دو طرف جانبی به قاب جمع‌کننده توسط پرچ متصل شده بود. تعداد ۵ نبشی آلومینیومی به ابعاد ۰/۱۵×۰/۳×۰/۳ متر روی صفحه جاذب متصل و به‌عنوان پره برای صفحه جاذب عمل می‌کنند. صفحه جاذب انرژی به‌وسیله ماده تیره مخصوص با ضخامت ۰/۰۱ متر پوشیده شد. این ماده از مخلوط کردن رنگ روغنی سیاه، پودر مس و پودر قلع با نسبت (به ترتیب) ۴، ۳ و ۱ به‌دست آمد. از شیشه ساختمانی با ضخامت ۰/۰۴ متر به‌عنوان صفحه شفاف پوشش جمع‌کننده استفاده شد. خروجی گردآورنده که از زیر آن می‌باشد

### ساخت برد و نصب بر روی خشک‌کن

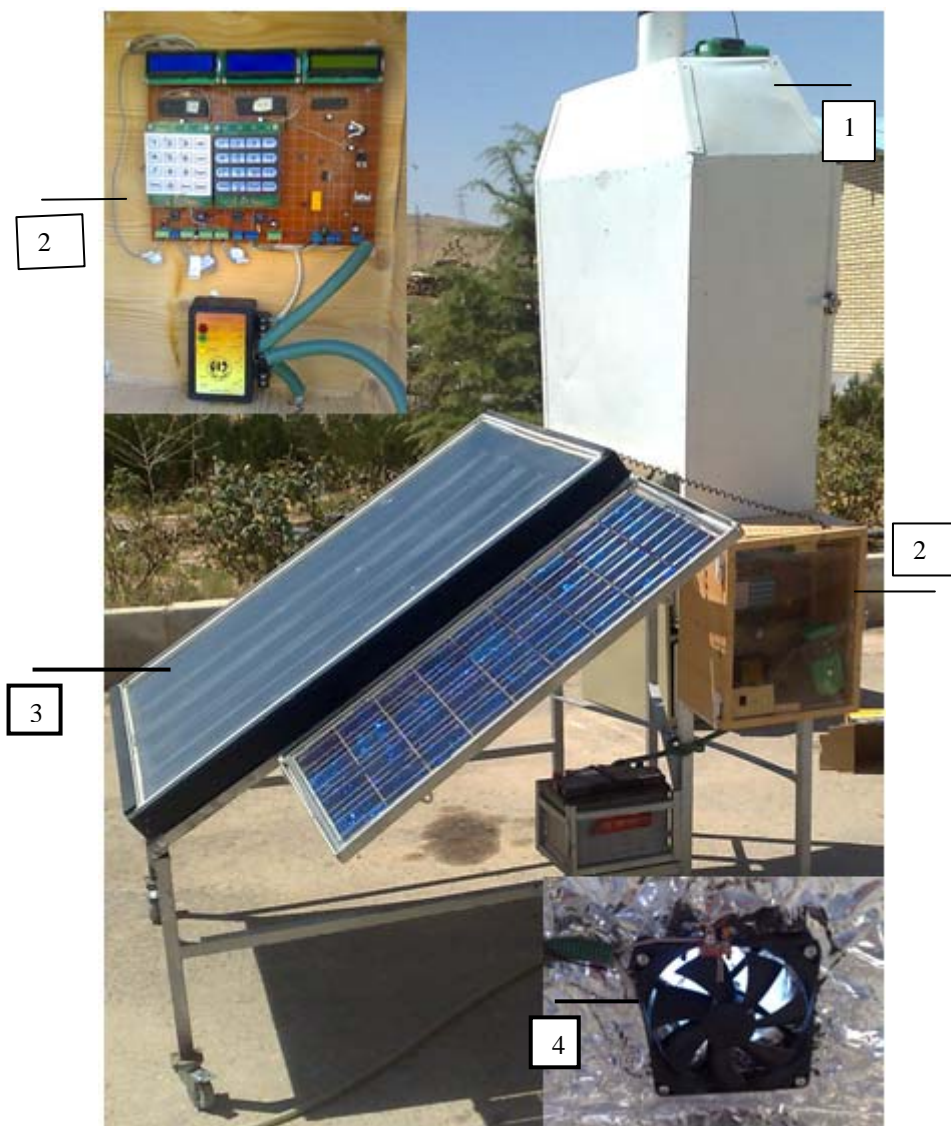
بعد از طراحی و برنامه نویسی ساخت هر سه مدار بر روی یک برد انجام گرفت. برای محافظت برد جعبه‌ای بر روی خشک‌کن نصب و مورد داخل آن قرار گرفت. حسگرها در مکان‌هایی که در شکل ۱ مشخص شده‌است بر روی پایه‌های مخصوص حسگر قرار گرفته و توسط سیم روکش‌دار سه رشته به مدار متصل شدند (شکل ۲).

مدار شماره سه کار شمارش دور فن را انجام می‌دهد. دور فن با توجه به تعداد دفعاتی که یک پره از بین دو چشمی مادون قرمز عبور می‌کند به دست می‌آید. یکی از این چشمی‌ها به صورت گیرنده و دیگری به صورت فرستنده می‌باشد که در روبه‌روی هم قرار گرفته و با عبور هر پره از میان آنها یک عدد به میکروکنترلر ATMEGA8 ارسال و دور فن محاسبه و نمایش داده می‌شود (شکل ۱).



**شکل ۱** - طرحواره خشک‌کن با سامانه: ۱- فن. ۲- دودکش. ۳- برد شمارش دور فن (میکروکنترلر و مادون قرمز). ۴- سنسور رطوبت. ۵- سینی‌ها. ۶- محفظه خشک‌کن. ۷- گردآورنده. ۸- جعبه کنترل (سامانه کنترل دور فن). ۹- پره. ۱۰- سنسور دما

**Fig.1.** Schematic of dryer with control system: 1- Fan. 2- Chimney. 3- Fan speed counter board (microcontroller and infrared). 4- Moisture sensor. 5- Trays. 6- Dryer chambers. 7- Collector. 8- Control box (system controls fan speed). 9- Blade. 10- Temperature sensor



**شکل ۲- خشک‌کن مجهز به سامانه کنترل دور فن: ۱- محفظه خشک‌کن، ۲- جعبه کنترل، ۳- گردآورنده، ۴- فن**  
**Fig.2.** Drying system with fan speed control: 1- Drying cabinets. 2- Control box. 3- Collector. 4- Fan

آزمایش‌ها ۹ ساعت بوده که از ساعت ۸ شروع و تا ساعت ۱۷ ادامه داشت. به‌منظور مشاهده روند خشک شدن محصول می‌بایستی از آن نمونه‌برداری کرده و رطوبت آن را تعیین کرد. بدین منظور از محصول در حال خشک شدن به فاصله زمانی هر یک ساعت نمونه‌برداری و رطوبت نمونه‌ها در آزمایشگاه با قرار گرفتن در آون مشخص گردید. نتایج آزمایش ۱۲ مهر با ۱۳ مهر و آزمایش ۱۴ با ۱۵ مهر برای مشاهده اثرات سامانه مقایسه شد.

### نتایج و بحث

#### تغییرات دما و دور فن

به‌دلیل نزدیک بودن دمای هوای محیط در هر چهار روز به هم،

### آزمون و ارزیابی

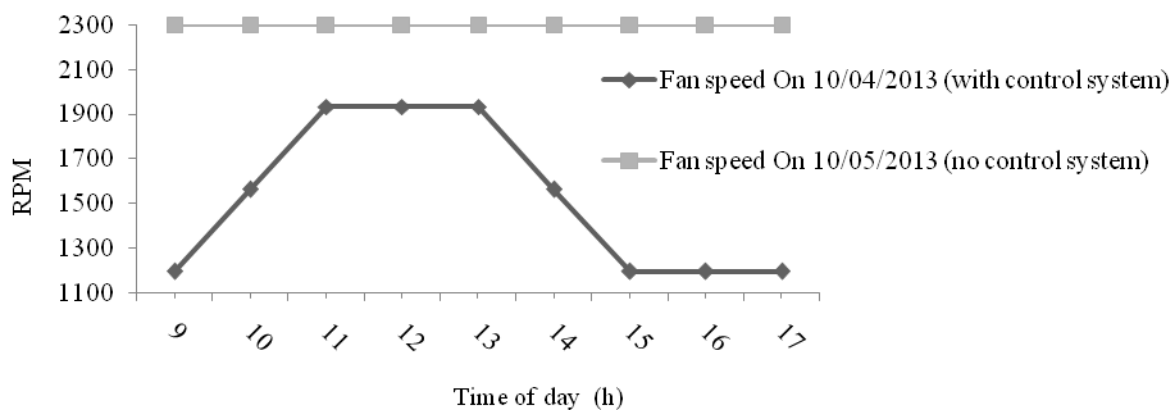
به‌منظور بررسی تأثیر سامانه کنترل دور فن بر روی دمای هوای ورودی به محفظه و روند خشک شدن محصول در داخل این خشک‌کن خورشیدی، خشک‌کن در دو حالت با کنترل دور فن و بدون کنترل دور فن، هرکدام در دو روز (جهت کم شدن خطا) مورد آزمایش قرار گرفت.

آزمایش در روزهای ۱۲ و ۱۴ مهر ۱۳۹۲ با سامانه کنترل دور فن و در روزهای ۱۳ و ۱۵ مهر ۱۳۹۲ بدون سامانه در آزمایشگاه شخصی در کرمانشاه انجام گردید. دمای هوای محیط در این چهار روز از اداره هواشناسی محل به‌دست آمد. محصول مورد آزمایش گیاه نعنای بوده که صبح روز آزمایش تهیه و به محل آزمایش انتقال یافت. مدت زمان

دارد. در آزمایش‌هایی که سامانه کنترل دور فن خاموش می‌باشد و فن با حداکثر دور خود کار می‌کند مشاهده شد که دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن با تغییرات زیادی همراه بوده و به نسبت تغییر دمای صفحه جاذب دمای هوای ورودی به محفظه نیز تغییر می‌کند. استفاده از سامانه کنترل دور فن علاوه بر کم کردن تغییرات دمای هوای خروجی از جمع‌کننده باعث افزایش سه درجه‌ای میانگین آن نسبت به آزمایش‌های استفاده نشده از سامانه شد.

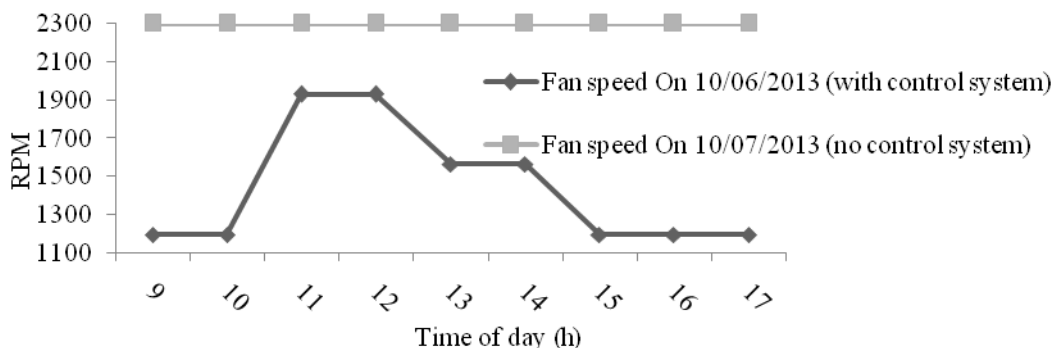
تغییرات دمای هوای محیط و صفحه جاذب مربوط به آزمایش‌ها در شکل‌های ۵ و ۷ و تغییرات دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن در شکل‌های ۶ و ۸ مشاهده می‌شود. در دو روز استفاده از سامانه کنترل دور فن، میانگین دمای هوای محیط در ساعات آزمایش برای هر دو روز ۲۸ درجه سلسیوس و در همین مدت دمای هوای خروجی از گردآورنده به ترتیب ۴۰/۶ و ۴۰/۸ درجه سلسیوس بود. در دو روز بدون استفاده از سامانه، میانگین دمای هوای محیط در ساعات آزمایش به ترتیب ۲۸/۵ و ۲۸ درجه سلسیوس و در همین مدت دمای هوای خروجی از گردآورنده به ترتیب ۳۸ و ۳۷/۸ درجه سلسیوس بود.

تأثیر دمای هوای محیط برای تمام آزمایش‌ها تقریباً یکسان می‌باشد. با توجه به نمودارهای تغییرات دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن نتیجه می‌گیریم که در آزمایش‌های استفاده شده از سامانه کنترل دور فن، دمای هوای خروجی از جمع‌کننده در تمامی ساعات آزمایش با تغییرات بسیار کمی همراه می‌باشد. در ساعات ابتدایی و انتهای روز با توجه به کاهش دمای صفحه جاذب نسبت به اواسط روز دور فن نیز کاهش یافته تا هوا به آرامی از روی صفحه جاذب عبور کرده و دمای آن بالا رود و در اواسط روز با افزایش دمای صفحه جاذب دور فن نیز افزایش یافته تا سرعت هوا افزایش یابد. تغییر سرعت هوای عبوری از جمع‌کننده با توجه به کم و زیاد شدن دمای صفحه جاذب سبب کاهش تغییرات دمای هوای ورودی به خشک‌کن و در نتیجه بهبود آهنگ خشک شدن محصول می‌شود. تغییرات دور فن برای آزمایش‌ها در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است. از مشکلات این سامانه تغییر در حجم هوای مورد نیاز می‌باشد. مقایسه آزمایش‌ها بدون در نظر گرفتن حجم هوای مورد نیاز نشان داد که استفاده از این سامانه نتایج قابل قبولی در کنترل دمای هوای ورودی به محفظه



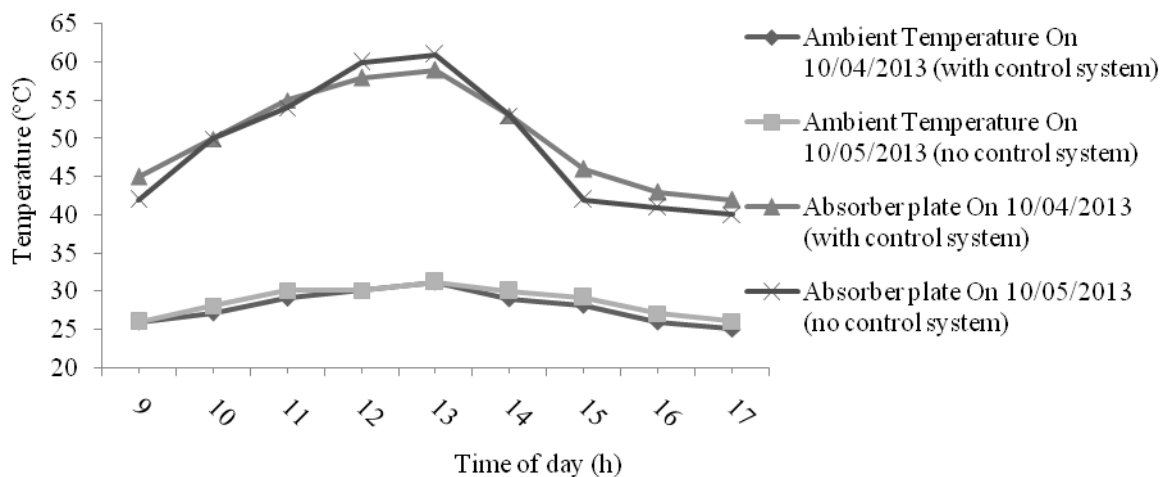
شکل ۳- تغییر دور فن در طول آزمایش‌های اول و دوم

Fig.3. Fan speed change versus time during the first and second tests



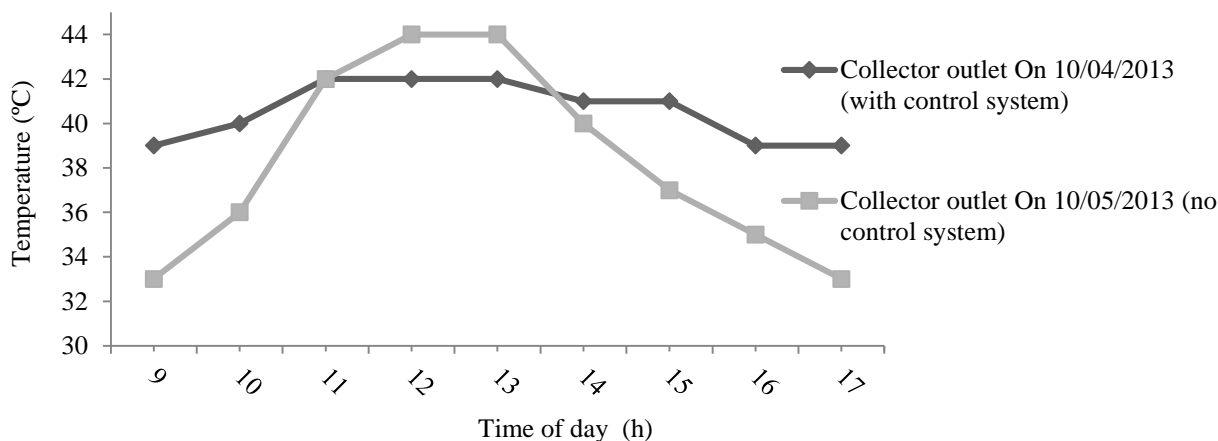
شکل ۴- تغییر دور فن در طول آزمایش‌های سوم و چهارم

Fig.4. Fan speed change versus time the during third and fourth tests



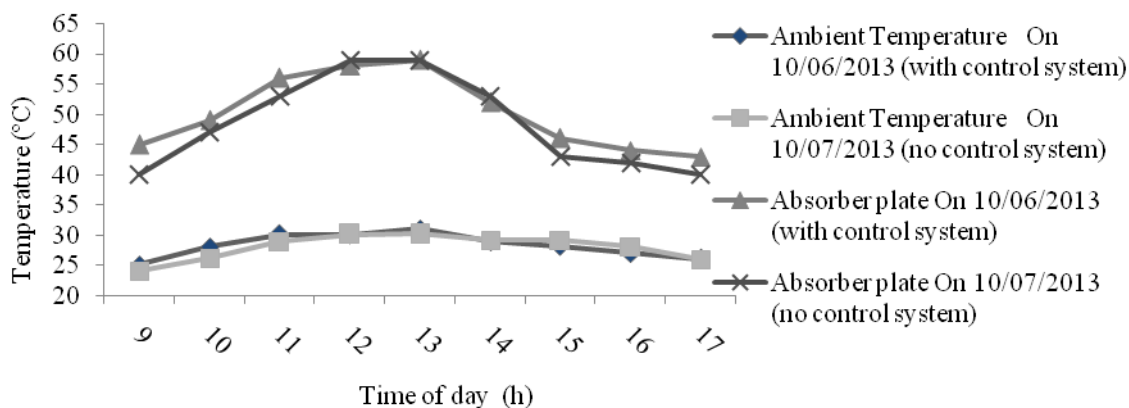
شکل ۵- تغییر دمای هوای محیط و صفحه جاذب بر حسب زمان در طول آزمایش‌های اول و دوم

Fig.5. Absorber plate and ambient air temperature change versus time during the first and second tests



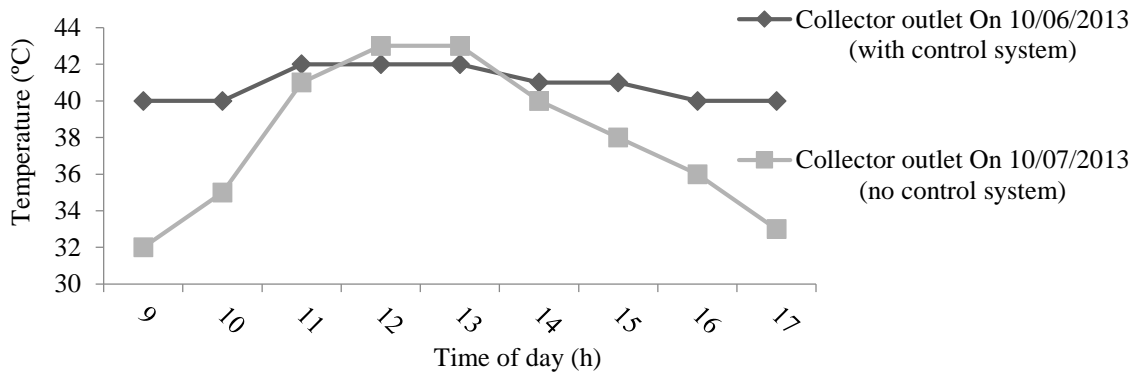
شکل ۶- تغییر دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن بر حسب زمان در طول آزمایش‌های اول و دوم

Fig.6. The drying chamber inlet air temperature versus time during the first and second tests



شکل ۷- تغییر دمای هوای محیط و صفحه جاذب بر حسب زمان در طول آزمایش‌های سوم و چهارم

Fig.7. Absorber plate and ambient air temperature change versus time during the third and fourth tests



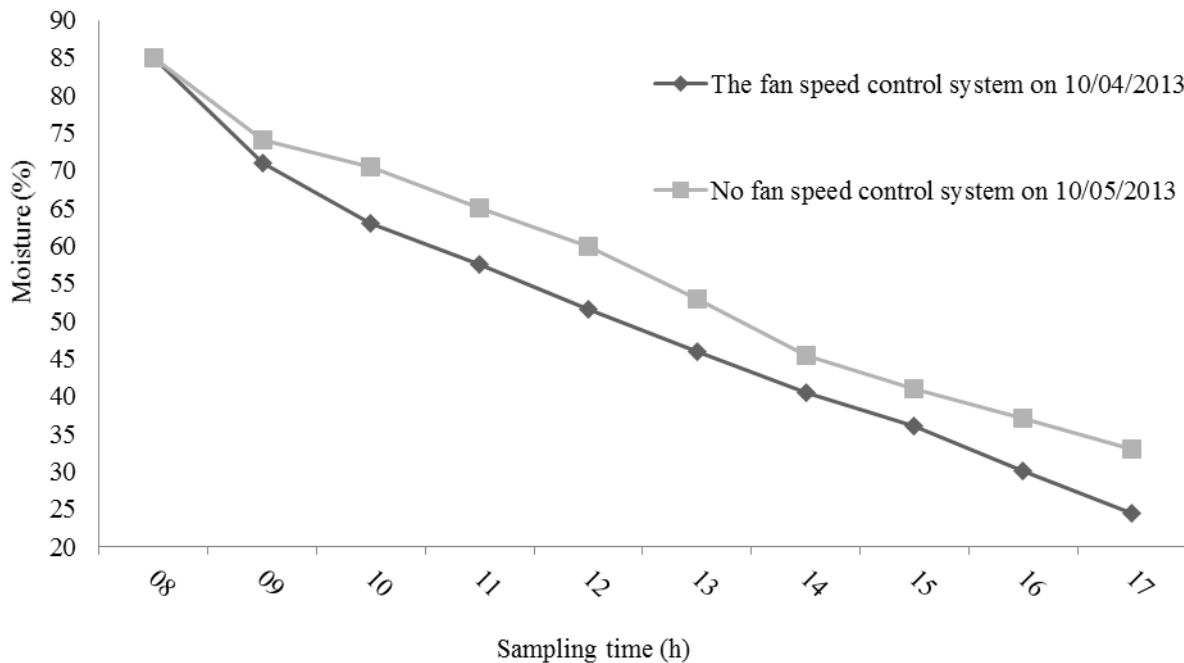
شکل ۸- تغییر دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن بر حسب زمان در طول آزمایش‌های سوم و چهارم  
**Fig.8.** The drying chamber inlet air temperature versus time the during third and fourth tests

محصول نسبت به آزمایش‌های بدون استفاده از سامانه بهبود پیدا کرد. همانطور که در نمودارهای مربوط به آزمایش‌های انجام شده با استفاده از کنترل دور فن مشخص است میزان رطوبت محصول در پایان آزمایش‌ها به ترتیب ۲۴/۵ و ۲۵/۵ درصد بر پایه وزن تر رسید و با توجه به رطوبت اولیه نعنای (۸۵ درصد بر پایه وزن تر) متوسط میزان کاهش رطوبت برای آزمایش اول برابر با ۶۰/۵ درصد و در آزمایش دوم برابر با ۵۹/۵ درصد می‌باشد.

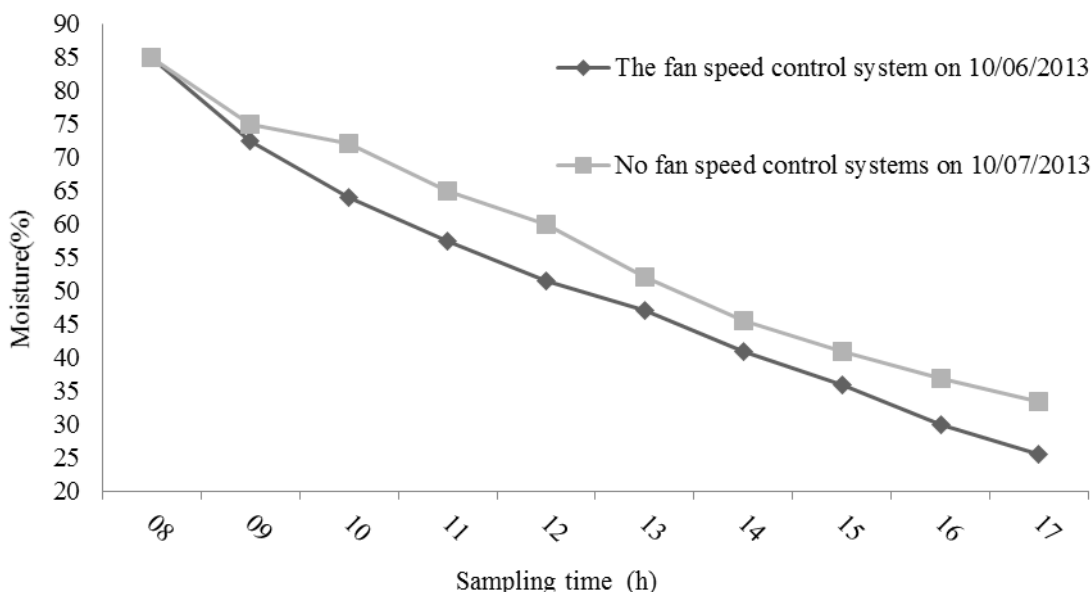
### خشک شدن محصول

برای ارزیابی آهنگ زمانی خشک شدن محصول در آزمایش‌ها از آن مرتباً نمونه‌برداری شد و مقدار رطوبت آن در ساعات مختلف با خشک کردن نمونه‌ها در آون تعیین گردید. روند کاهش رطوبت محصول در سینی‌های بالا و پایین در طول آزمایش‌ها به صورت میانگین در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌گردد.

در طول آزمایش‌های استفاده شده از سامانه با توجه به تغییرات کم دمای هوای ورودی به محفظه خشک‌کن روند خشک شدن



شکل ۹- تغییرات رطوبت بر حسب زمان در طول آزمایش‌های اول و دوم  
**Fig.9.** Moisture variations versus time the first and second tests



شکل ۱۰- تغییرات رطوبت بر حسب زمان در طول آزمایش‌های سوم و چهارم  
 Fig.10. Moisture variations versus time the during third and fourth tests

### نتیجه‌گیری

- میانگین دمای هوای خروجی از جمع‌کننده در دو روز با سامانه کنترل دور فن به ترتیب ۴۰/۶ و ۴۰/۸ درجه سلسیوس و در دو روز بدون سامانه کنترل دور فن به ترتیب ۳۸ و ۳۷/۸ درجه سلسیوس بود که این نشان‌دهنده تأثیر سامانه در افزایش دمای هوای خروجی از جمع‌کننده می‌باشد.

- نمودار آهنگ خشک شدن محصول برای آزمایش‌های با سامانه کنترل دور فن به دلیل تغییرات کم دمای هوای ورودی به خشک‌کن تقریباً یکنواخت بود.

- خشک‌کن توانست در حالت با کنترل دور فن به مدت ۹ ساعت رطوبت نعان را در روزهای آزمایش از ۸۵ درصد بر پایه وزن تر به ترتیب به حدود ۲۴/۵ و ۲۵/۵ درصد و در حالت بدون کنترل دور فن در روزهای آزمایش به ترتیب حدود ۳۳ و ۳۳/۵ درصد بر پایه وزن تر برساند.

- در آزمایش‌های با سامانه رطوبت محصول در پایان آزمایش‌ها حدود ۸ درصد کمتر از آزمایش‌های بدون سامانه در خشک‌کن خورشیدی مورد مطالعه بود. این نشان می‌دهد با وجود کاهش حجم هوای مورد نیاز توسط سامانه محصول زودتر از حالت بدون سامانه خشک می‌شود.

در نمودارهای مربوط به دو آزمایش بدون کنترل دور فن مشخص است میزان رطوبت محصول در پایان آزمایش اول به ۳۳ درصد و در پایان آزمایش دوم به ۳۳/۵ درصد بر پایه وزن تر رسید و با توجه به رطوبت اولیه نعان متوسط میزان کاهش رطوبت در آزمایش اول برابر با ۵۲ درصد و در آزمایش دوم برابر با ۵۱/۵ درصد بر پایه وزن تر می‌باشد. از مقایسه آزمایش‌های انجام شده با استفاده از سامانه با آزمایش‌های بدون سامانه نتیجه می‌گیریم که استفاده از سامانه روند خشک شدن محصول را در این خشک‌کن خورشیدی سریع‌تر و یکنواخت‌تر ساخته و رطوبت محصول بر پایه وزن تر در پایان آزمایش‌های استفاده شده از سامانه به طور متوسط ۸ درصد کمتر از آزمایش‌های استفاده نشده از سامانه بود. در نتیجه با توجه به یکنواخت بودن دمای هوای ورودی به محفظه در آزمایش‌های با سامانه محصول خشک شده در مقایسه با آزمایش‌های بدون سامانه دارای کیفیت و رنگ بهتری بود. با توجه به تغییرات دور فن در آزمایش‌های استفاده شده از سامانه کنترل دور فن حجم هوای ورودی به محفظه کمتر از آزمایش‌های بدون سامانه می‌باشد. اما با این وجود سامانه علاوه بر کاهش تغییرات دما موجب زودتر خشک شدن محصول نیز می‌گردد که این نشان‌دهنده تأثیر مثبت سامانه در خشک‌کن خورشیدی مورد آزمایش می‌باشد.

### منابع

1. Bruce, D. M., and N. J. B. Mcfarlane. 1992. Control of mixed-flow grain dryers: Testing of a feedback-



- plus-feed forward algorithm. *Journal of Agricultural Engineering Research* 52: 11-23.
2. Bruce, D. M., and N. J. B. Mcfarlane. 1993. Control of mixed - flow grain dryers: An improved feed back-plus-feed forward algorithm. *Journal of Agricultural Engineering Research* 56 (3): 225-238.
3. Gates, R. S., K. Chao, and N. Sigrimis. 1999. Fuzzy control simulation of plant and animal environments. ASAE Paper No, 993-196.
4. Karim, M. A., and M. N. A. Hawlader. 2004. Development of solar air collectors for drying applications. *Energy Conversion and Management* 45: 329-344.
5. Pérez-Correa, J. R., F. Cubillos, E. Zavala, C. Shene, and P. I. Álvarez. 1998. Dynamic simulation and control of direct rotary dryers. *Food Control* 9 (4): 195-203.
6. Qiang, L., and F. W. Bakker-Arkema. 2001. A Model-predictive controller for grain drying. *Journal of Food Engineering* 49 (4): 321-326.
7. Ryniecki, A., and M. E. Nellist. 1990. Optimization of control systems for near-ambient grain drying: Part 2, the optimizing simulations. *Journal of Agricultural Engineering Research* 48: 19-35.
8. Smitabhindua, R., S. Janjaib, and V. Chankong. 2007. Optimization of a solar-assisted drying system for drying bananas. *Renewable Energy* 33 (7): 1523-1531
9. 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.
10. Zomorodian, A. A., and J. L. Woods. 2003. Modeling and testing a new once-through air solar energy collector. *Journal of Agricultural Science and Technology* 5:11-19.

## Brief Report

# The effect of fan speed control system on the inlet air temperature uniformity in a solar dryer

S. F. Mousavi<sup>1\*</sup> - M. H. Abbaspour-Fard<sup>2</sup> - M. Khojastehpour<sup>3</sup>

Received: 11-11-2013

Accepted: 24-02-2014

**Introduction:** Drying process of agricultural products, fruits and vegetables are highly energy demanding and hence are the most expensive postharvest operation. Nowadays, the application of control systems in different area of science and engineering plays a key role and is considered as the important and inseparable parts of any industrial process. The review of literature indicates that enormous efforts have been done for the intelligent control of solar driers and in this regard some simulation models are used through computer programming. However, because of the effect of air velocity on the inlet air temperature in dryers, efforts have been made to control the fan speed based on the temperature of the absorber plate in this study, and the behavior of this system was compared with an ordinary dryer without such a control system.

**Materials and methods:** In this study, a cabinet type solar dryer with forced convection and 5kg capacity of fresh herbs was used. The dryer was equipped with a fan in the outlet chamber (the chimney) for creating air flow through the dryer. For the purpose of research methods and automatic control of fan speed and for adjusting the temperature of the drying inlet air, a control system consisting of a series of temperature and humidity sensors and a microcontroller was designed. To evaluate the effect of the system with fan speed control on the uniformity of air temperature in the drying chamber and hence the trend of drying process in the solar dryer, the dryer has been used with two different modes: with and without the control of fan speed, each in two days (to minimize the errors) of almost the same ambient temperature. The ambient air temperature during the four days of experiments was obtained from the regional Meteorological Office. Some fresh mint plants (*Mentha longifolia*) directly harvested from the farm in the morning of the experiment days were used as the drying materials. Each experimental run continued for 9 hours, starting at 8:00 am and terminating at 17:00. To determine the moisture content for the purpose of observing and recording the drying process, the drying materials were sampled with one hour time step. The moisture content was determined in the laboratory using the well-known method of oven drying which is presented elsewhere.

**Results and discussion:** Since the ambient air temperature during the four days of experimental runs was almost the same, the effect of ambient air temperature on the drying process was ignored. Considering the dryer inlet air temperature charts obtained in this study (Fig. 2 and Fig. 3), it can be concluded that for those tests using the fan speed control system, the outlet air temperature of the collector during drying period associated with very little variations, is compared with the no control mode runs. At the beginning of the day and also during the hours at the end of the day, due to a decrease in the temperature of the absorber plate compared to the middle of the day, the fan speed is reduced as air passes slowly through the absorber plate and hence the temperature rises. But in the middle of the day, with increasing the temperature of absorber plate, the speed of the fan is increased to provide sufficient airflow and to prevent the absorber plate from warming up. In experiments without fan speed control, the fan works with no limitation, and the temperature of the inlet air was changed with the temperature change in the absorber plate. The fan speed control system in addition to lowering the temperature changes in the outlet air, also increased the average outlet temperature about 3°C, compared to the dryer without such a control system. During the two days of experiments, the average ambient air temperature was 28°C and at the same time the outlet air temperature was 40.6 and 40.8°C, respectively. In two days of no control system, the average temperature of the ambient air was 28.5 and 28°C and at the

1- PhD Student, Dept. of Biosystems Engineering, International Campus of Ferdowsi University of Mashhad

2, 3- Prof. and Associate Prof. respectively, Dept. of Biosystems Engineering and Members of Research Center for Agricultural Machines, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(\*- Corresponding Author Email: sayedfarhadmosavi@yahoo.com)

sametime the outlet air temperature was 38 and 37.8°C, respectively. The results showed that with fan speed control mode the variation of inlet air temperature of the drying chamber was more limited and remained within the range of 39 to 42 and 40 to 42°C during the two experimental days, respectively. However, without fan speed control, the system exhibited a wider variation of inlet drying air temperature and limited within the range of 33 to 44 and 32 to 43°C. Furthermore, with fan speed control in a solar dryer, along with more uniformity in moisture content, the drying rate may speed up and with further decrease in final moisture content up to 8%, when compared to a system with no fan speed control.

**Conclusions:** The average temperatures of the outlet air of collector in two days with fan speed control system, were 40.6 and 40.8°C while in the system without the fan speed control, were 38 and 37.8, respectively. This clearly indicates that the system control could increase the temperature of the collector outlet. The dryer was also able to control the fan speed during the 9hours of drying mint with initial moisture content of 85% (w.b) and to reduce it to about 24.5 and 25.5%, during the two experimental days, respectively. While the corresponding values without the use of a control system were 33.5 and 33.5%, respectively. In other words, in the experiments with the use of control system, the final moisture content was about 8% lower than the moisture content of materials dried without such a system. Furthermore, the control system reduces the volume of air required by the system and hence speeds up the drying process.

**Keywords:** Solar dryer, Fan speed control, Moisture content and drying time