

## بررسی اثر سامانه کنترل دور فن بر روند خشک شدن در یک خشک کن خورشیدی

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

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، پردیس بین الملل دانشگاه فردوسی مشهد،  
farhadmousavi@yahoo.comsayed

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد

### چکیده:

یکی از مشکلات خشک کن‌های خورشیدی متغیر بودن دمای خشک کردن می‌باشد. در این تحقیق، سامانه کنترل دمای خشک کن متشکل از حسگرها، کنترل کننده دور فن و میکروکنترل طراحی و ساخته شد. خشک کن خورشیدی استفاده شده از نوع پخشی همرفت اجباری و با ظرفیت ۵ کیلو گرم سبزی تازه 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 بدست آمده نشان داد که با استفاده از این سامانه، تغییرات دمای هوا در ورودی محفظه خشک کن کمتر و بین ۳۹ تا ۴۲°C در روزهای آزمایش بود. در حالی که در حالت بدون کنترل دور فن تغییرات دمای هوا در ورودی محفظه خشک کن بیشتر و مابین ۳۲ تا ۴۴°C در روزهای آزمایش بود. بنابراین استفاده از کنترل دور فن در یک خشک کن خورشیدی ممکن است باعث سریعتر و ثابت تر شدن آهنگ خشک شدن محصول شده و در یک دوره زمانی ثابت نسبت به حالت بدون کنترل دور فن رطوبت نهایی را حدود ۸٪ بیشتر کاهش دهد.

**واژه‌های کلیدی:** خشک کن خورشیدی؛ کنترل دور فن؛ رطوبت و زمان خشک شدن

## ۱- مقدمه

فرآیند خشک کردن هر محصول زراعی یا باغی به دلیل مصرف انرژی قابل توجه یکی از عملیات پرهزینه پس از برداشت در کشاورزی می باشد. سبزیجات و میوه ها را می توان در شرایط کاملاً بهداشتی و متناسب با استانداردهای بین المللی و انرژی مورد نیاز کمینه با فناوری خشک کن خورشیدی خشک کرد.

کاربرد سامانه های کنترل در علوم و مهندسی نقش اساسی داشته و به عنوان بخش مهم و ناگسستی در فرآیند های صنعتی امروزی محسوب می شود. به عبارت دیگر کاربرد این سامانه ها، عامل دستیابی به کارایی بهینه سامانه های دینامیکی، افزایش بازده و تسهیل انجام کارهای تکراری دستی می باشد. کاربرد این سامانه ها در کشاورزی نیز به سرعت در حال افزایش است. کاهش هزینه سخت افزار و نرم افزار و پذیرش سریع تر این سامانه ها در کشاورزی منجر به افزایش استفاده از این سامانه ها گردیده است (Gates et al 1999).

نتایج حاصل از شبیه سازی رایانه ای، یک سامانه کنترل خودکار دور فن خشک کن خورشیدی نشان داد که موتور قادر است حول مقدار مطلوب نوسان نماید تا در نهایت به دور مطلوب نزدیک شود (Baghri et al. 2008). استفاده از یک سامانه کنترل بر روی خشک کن چای با بستر سیال برای تعیین منطقه عملیاتی خشک کن و چگونگی تاثیر اختلالات مختلف بر روی زمان خشک کردن قبل از اعمال استرژای های مختلف کنترل در عمل، نشان داد که نسبت به سامانه های دستی می تواند عملکرد بهتری داشته باشد (Temple and Van Boxtel, 2001). نتایج حاصل از شبیه سازی رایانه ای عملکرد یک خشک کن خورشیدی برای خشک کردن میوه موز نشان داد که پارامترهای خشک کن با کیفیت مطلوبی بهینه سازی شدند. (Smitabhindua et al., 2007). نتایج حاصل از ساخت و آزمایش یک نمونه از جمع کننده های با پوشش پله ای نشان داد 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 (Zomorodian and Woods, 2003). استفاده از شبیه سازی رایانه ای یک سامانه کنترل، تعداد پارامترهای کنترل یک خشک کن غلات را از ۱۰ به ۵ کاهش و با بهینه سازی کنترل گرمایش و فن، هزینه ها ۳۴٪ کاهش یافت (Ryniecki and Nellist, 1990). نتایج حاصل از استفاده یک سیستم کنترل مدل پیشگو برای خشک کن های جریان عرضی نشان داد که این کنترلر در گستره وسیعی از شرایط به خوبی عمل نموده، هم چنین دارای دقت و پایداری خوبی می باشد (Qiang and Bakker-Arkema, 2001).

بررسی تحقیقات گذشته نشان می دهد که کارهای متعددی برای کنترل هوشمند خشک کن های خورشیدی انجام شده و مدل هایی از طریق رایانه شبیه سازی و مورد استفاده قرار گرفته است. اما با توجه به تأثیر سرعت هوا در دمای هوای ورودی به خشک کن می توان با استفاده از کنترل دور فن برحسب دمای صفحه جاذب، سامانه ای طراحی و به مقایسه آن با حالت عادی خشک کن پرداخت.



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

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱ مواد مورد نیاز

در این تحقیق از یک خشک کن خورشیدی همرفت اجباری از نوع کابینتی دودکشدار با ظرفیت خشک کردن ۵ کیلوگرم سبزی تازه در طول یک روز تابستانی استفاده شد. این خشک کن دارای دو سینی برای قرار گرفتن محصول و یک فن جهت جابجایی هوا بوده و جمع کننده آن از نوع صفحه تخت پره دار می باشد.

برای هدفمند سازی روش کار تحقیق در راستای کنترل خودکار دور فن این خشک کن خورشیدی جهت تنظیم دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن، مطالعات و بررسی های لازم انجام گرفت. جهت نمایش دما در جمع کننده، ورودی و خروجی محفظه خشک کن، ۴ عدد حسگر دما مدل LM35 و نمایش رطوبت در ورودی و خروجی محفظه خشک کن، ۲ عدد حسگر رطوبت خازنی مدل HS1101 مورد نیاز است. همچنین برای تعیین دور فن به یک فرستنده و یک گیرنده چشمی اشعه مادون قرمز نیازمندیم که در دو طرف پره ها قرار و با عبور هر پره از میان چشمی ها یک عدد به میکرو کنترل ارسال می گردد. در سامانه مورد نظر از میکرو کنترل AVR مدل ATMEGA8 و ATMEGA16 برای کنترل دور فن بر حسب دمای صفحه جاذب و کنترل حسگرها استفاده می شود.

### ۲-۲ طراحی کامپیوتری

بعد از شناخت نیازهای اصلی مدار و قطعات مورد نیاز سامانه، طراحی کامپیوتری مدار با استفاده از نرم افزار PROTEUS و برنامه نویسی توسط برنامه CODEVISION انجام گرفت. با توجه به این که هر حسگر رطوبت و مدار شمارش دور فن به یک مقایسه گر داخلی احتیاج دارد و هر یک از این میکروها فقط یک مقایسه گر داخلی دارند سه میکروکنترل مورد استفاده قرار گرفت و سه مدار ۱، ۲ و ۳ طراحی گردید.

مدار شماره ۱ شامل حسگرهای دمای جمع کننده و ورودی محفظه خشک کن و همچنین حسگر رطوبت ورودی محفظه می باشد. از قابلیت های این مدار، کنترل دور فن با کم و زیاد شدن دمای صفحه جاذب و دکمه ای جهت خارج کردن سامانه کنترل دور فن و ثابت کردن دور فن می باشد. با افزایش دمای صفحه جاذب دور فن افزایش و با کاهش دما صفحه کاهش می یابد.

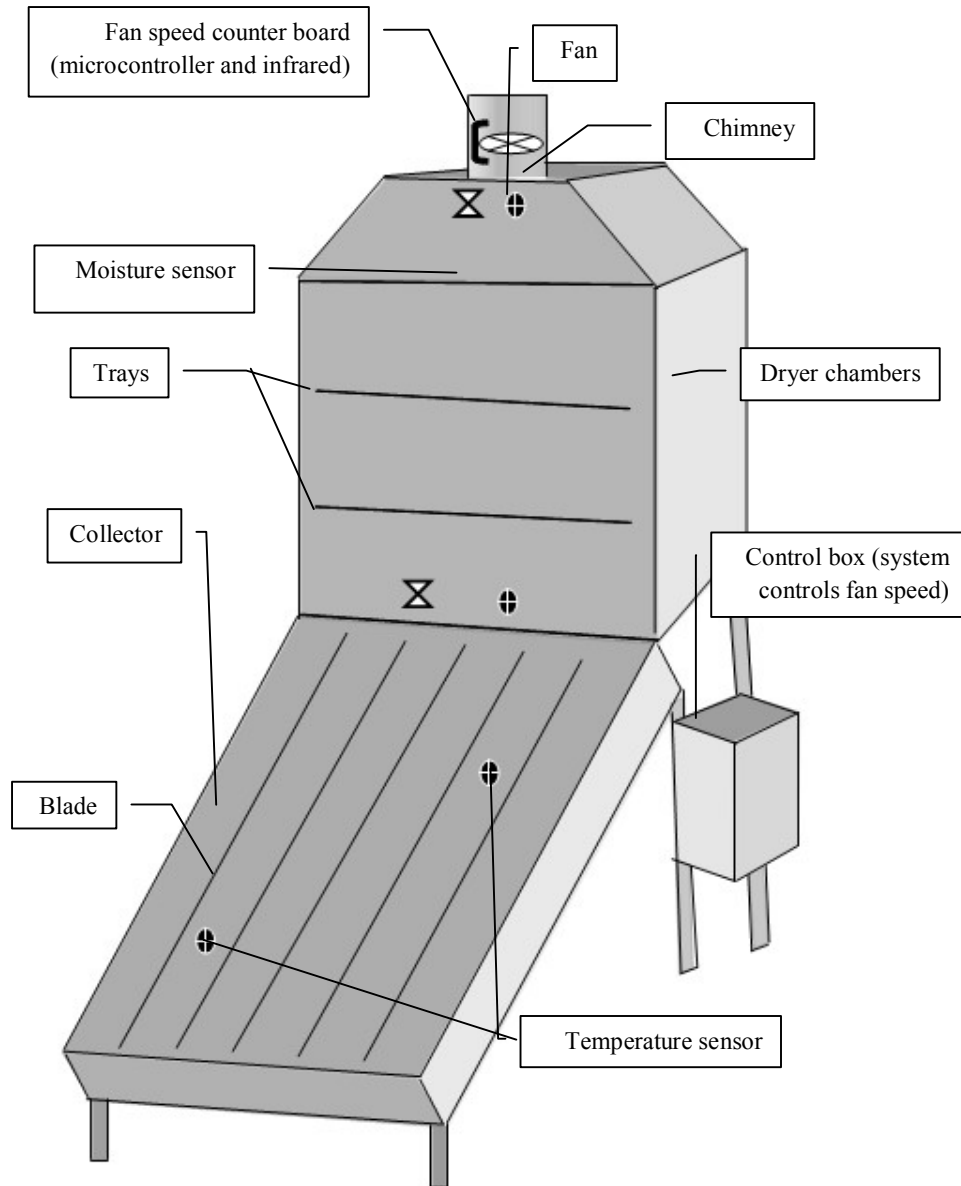
مدار شماره دو شامل حسگر دمای هوای خروجی محفظه و حسگر رطوبت خروجی محفظه می باشد. خاموش شدن خودکار فن با رسیدن رطوبت خروجی از محفظه به رطوبت مورد نیاز محصول خشک شده نیز از قابلیت های این مدار می باشد.

مدار شماره سه کار شمارش دور فن را انجام می دهد. دور فن با توجه به تعداد دفعاتی که یک پره از بین دو چشمی مادون قرمز عبور می کند به دست می آید. یکی از این چشمی ها به صورت گیرنده و دیگری به صورت فرستنده می باشد که در روبروی هم قرار گرفته و با عبور هر پره از میان آنها یک عدد به میکروکنترل ارسال و دور فن محاسبه و نمایش داده می شود (شکل ۱).



## ۳-۲ ساخت برد و نصب بر روی خشک کن

بعد از طراحی و برنامه نویسی ساخت هر سه مدار بر روی یک برد انجام گرفت. برای محافظت برد جعبه ای بر روی خشک کن نصب و بورد داخل آن قرار گرفت. حسگرها در جای خود نصب و توسط سیم روکشدار سه رشته به مدار متصل شدند (شکل ۲).



شکل ۱. طرحواره خشک کن با سامانه کنترل



شکل ۲. خشک کن مجهز به سامانه کنترل دور فن

## ۲-۴ آزمون و ارزیابی

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

آزمایش در روزهای ۱۲ و ۱۴ مهر ۱۳۹۲ با کنترل دور فن و در روزهای ۱۳ و ۱۵ مهر ۱۳۹۲ بدون کنترل دور فن در آزمایشگاه شخصی در کرمانشاه انجام گردید. دمای هوای محیط در این چهار روز از اداره هواشناسی محل بدست آمد. محصول مورد آزمایش



گیاه نعنای بوده که صبح روز آزمایش تهیه و به محل آزمایش انتقال یافت. مدت زمان آزمایش‌ها ۹ ساعت بوده که از ساعت ۸ شروع و تا ساعت ۱۷ ادامه داشت. به منظور مشاهده روند خشک شدن محصول می‌بایستی از آن نمونه برداری کرده و رطوبت آن را تعیین کرد. بدین منظور از محصول در حال خشک شدن به فاصله زمانی هر یک ساعت نمونه برداری و رطوبت نمونه‌ها در آزمایشگاه با قرار گرفتن در آون مشخص گردید.

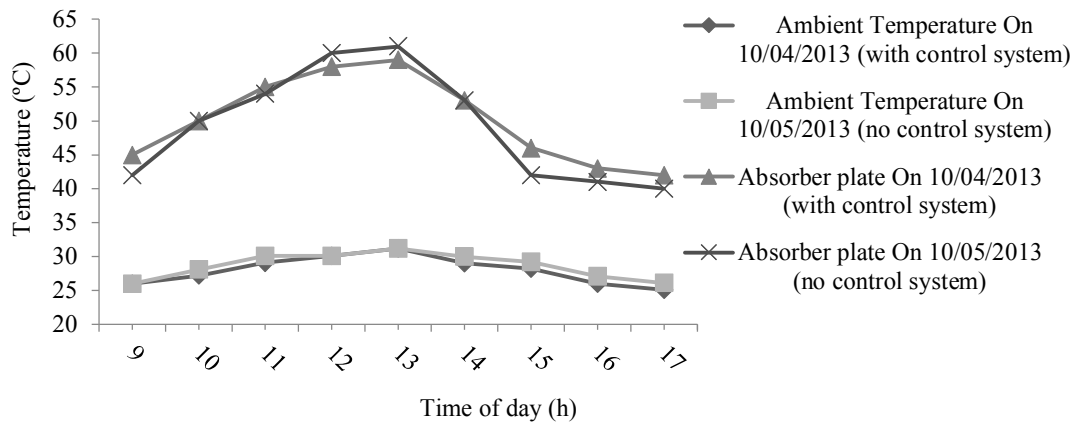
### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱ تغییرات دما

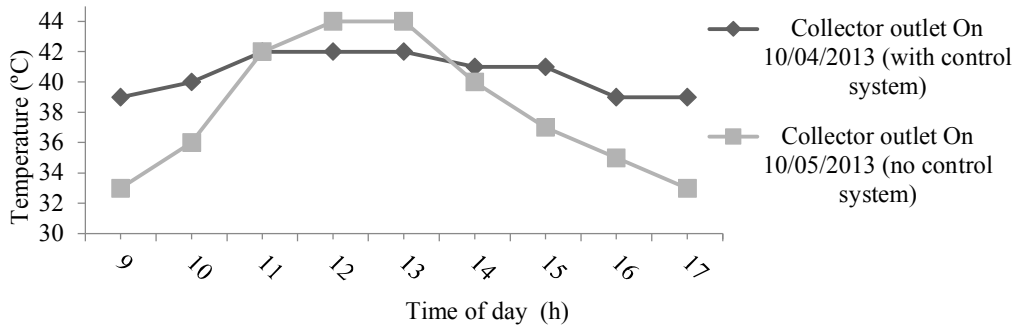
به دلیل نزدیک بودن دمای هوای محیط در هر چهار روز به هم، تأثیر دمای هوای محیط برای تمام آزمایش‌ها تقریباً یکسان می‌باشد. با توجه به نمودارهای تغییرات دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن نتیجه می‌گیریم که در آزمایش‌های استفاده شده از سامانه کنترل دور فن، دمای هوای خروجی از جمع‌کننده در تمامی ساعات آزمایش با تغییرات بسیار کمی همراه می‌باشد. در ساعات‌های ابتدایی و انتهایی 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 خشک کن و در نتیجه بهبود آهنگ خشک شدن محصول می‌شود. در آزمایش‌های که سامانه کنترل دور فن خاموش می‌باشد و فن با حداکثر دور خود کار می‌کند مشاهده شد که دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن با تغییرات زیادی همراه بوده و به نسبت تغییر دمای صفحه جاذب دمای هوای ورودی به محفظه نیز تغییر می‌کند (شکل ۴ و ۶). 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 ۳ و ۵ و تغییرات دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن در شکل‌های ۴ و ۶ مشاهده می‌شود. در دو روز استفاده از سامانه کنترل دور فن، میانگین دمای هوای محیط در ساعات آزمایش برای هر دو روز  $28^{\circ}\text{C}$  و در همین مدت دمای هوای خروجی از جمع‌کننده به ترتیب  $40/6$  و  $40/8^{\circ}\text{C}$  بود. در دو روز بدون استفاده از سامانه، میانگین دمای هوای محیط در ساعات آزمایش به ترتیب  $28/5$  و  $28^{\circ}\text{C}$  و در همین مدت دمای هوای خروجی از جمع‌کننده به ترتیب  $38$  و  $37/8^{\circ}\text{C}$  بود.

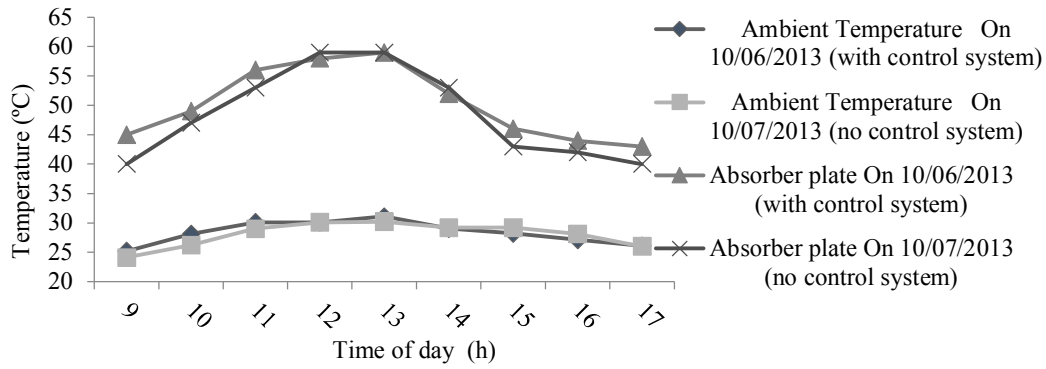




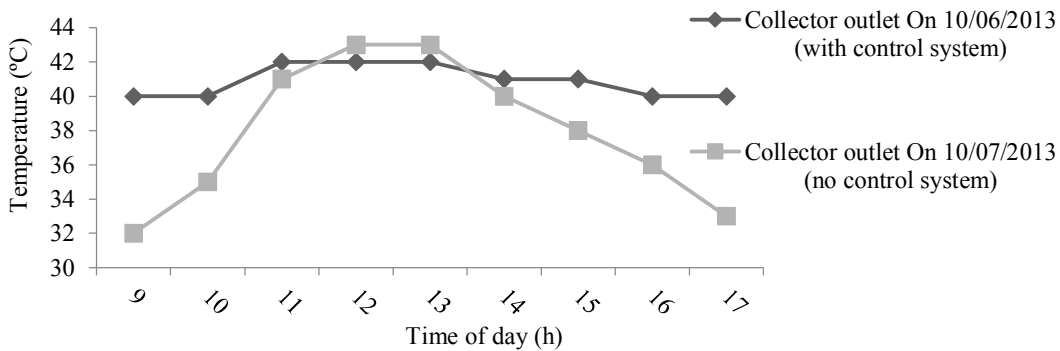
شکل ۳. تغییر دمای هوای محیط و صفحه جاذب بر حسب زمان در طول آزمایش های اول و دوم



شکل ۴. تغییر دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن بر حسب زمان در طول آزمایش های اول و دوم



شکل ۵. تغییر دمای هوای محیط و صفحه جاذب بر حسب زمان در طول آزمایش های سوم و چهارم



شکل ۶. تغییر دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن بر حسب زمان در طول آزمایش های سوم و چهارم

### ۲-۳ خشک شدن محصول

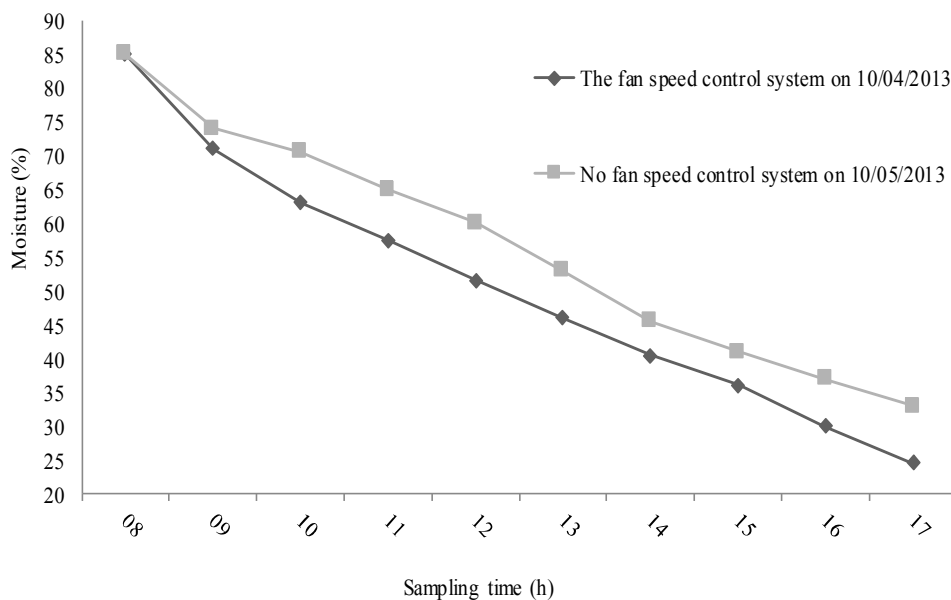
برای ارزیابی آهنگ زمانی خشک شدن محصول در آزمایش ها از آن مرتباً نمونه برداری شد و مقدار رطوبت آن در ساعات مختلف با خشک کردن نمونه ها در آون تعیین گردید. روند کاهش رطوبت محصول در سینی های بالا و پایین در طول آزمایش ها به صورت میانگین در شکل های ۷ و ۸ مشاهده می گردد.



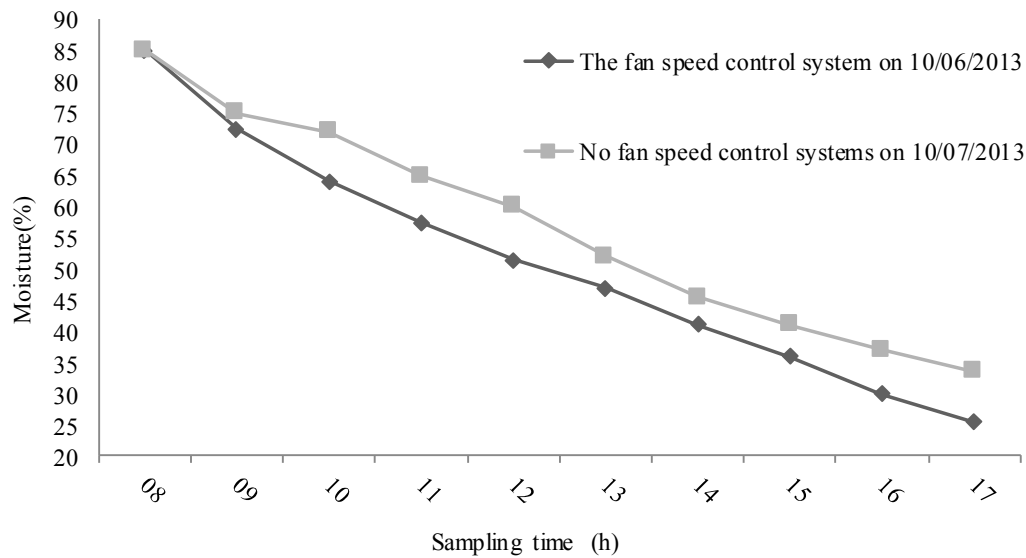


در طول آزمایش های استفاده شده از سامانه با توجه به تغییرات کم دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن روند خشک شدن محصول نسبت به آزمایش های بدون استفاده از سامانه بهبود پیدا کرد. از مقایسه نمودارهای مربوط به آزمایش های انجام شده با استفاده از کنترل دور فن با نمودارهای مربوط به آزمایش های بدون کنترل دور فن نتیجه می گیریم که استفاده از سامانه روند خشک شدن محصول را در این خشک کن خورشیدی سریع تر و یکنواخت تر ساخته و رطوبت محصول در پایان آزمایش های استفاده شده از سامانه کنترل دور فن به طور متوسط ۸٪ کمتر از آزمایش های استفاده نشده از کنترل دور فن بود. در نتیجه با توجه به یکنواخت بودن دمای هوای ورودی به محفظه در آزمایش های با سامانه محصول خشک شده کیفیت بهتری داشته و تغییر رنگ و مزه محصول بسیار کمتر بوده.

همانطور که در نمودارهای مربوط به آزمایش های انجام شده با استفاده از کنترل دور فن مشخص است میزان رطوبت محصول در پایان آزمایش ها به ترتیب ۲۴/۵ و ۲۵/۵ درصد رسید و با توجه به رطوبت اولیه نعنای (۸۵٪ برای هر دو آزمایش) متوسط میزان کاهش رطوبت برای آزمایش اول برابر با ۶۰/۵٪ و در آزمایش دوم برابر با ۵۹/۵٪ می باشد. 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 رسید و با توجه به رطوبت اولیه نعنای متوسط میزان کاهش رطوبت در آزمایش اول برابر با ۵۲٪ و در آزمایش دوم برابر با ۵۱/۵٪ می باشد (شکل ۷ و ۸).



شکل ۷. تغییرات رطوبت بر حسب زمان در طول آزمایش های اول و دوم



شکل ۸. تغییرات رطوبت بر حسب زمان در طول آزمایش های سوم و چهارم

##### ۵- نتیجه گیری

- میانگین افزایش دمای هوای خروجی از جمع کننده در دو روز استفاده از کنترل دور فن به ترتیب  $40/6^{\circ}\text{C}$  و  $40/8^{\circ}\text{C}$  و در دو روز بدون استفاده از کنترل دور فن به ترتیب  $38^{\circ}\text{C}$  و  $37/8^{\circ}\text{C}$  بوده.
- خشک شدن محصول در حالت استفاده از کنترل دور فن برای آزمایش اول و دوم به دلیل تغییرات کم دمای هوای ورودی به خشک کن تقریباً یکنواخت بود.
- خشک کن توانست در حالت با کنترل دور فن به مدت ۹ ساعت رطوبت نعان را در روزهای آزمایش از ۸۵٪ به ترتیب به حدود ۲۴/۵٪ و ۲۵/۵٪ و در حالت بدون کنترل دور فن در روزهای آزمایش به ترتیب حدود ۳۳٪ و ۳۳/۵٪ برساند.
- سرعت خشک کردن محصول در حالت با کنترل دور فن بسیار یکنواخت تر و حدود ۸٪ رطوبت نهایی آن کمتر از حالت بدون کنترل دور فن در خشک کن بود.

## منابع

1. Ayensu, A. 1997. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy*, 59: 121-126.
2. 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.
3. Bruce, D. M. and N. J. B. Mcfarlane. 1993. Control of mixed - flow grain dryers: An improved feedback-plus-feed forward algorithm. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 56 (3): 225-238.
4. Didriksen, H. 2001. Model based predictive control of a rotary dryer. *Chemical Engineering Journal*, 86(1-2): 53-60.
5. Duffie, J. A. and W. A. Beckman. 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons, New York.
6. Gates, R. S., K. Chao, and N. Sigrimis. 1999. Fuzzy control simulation of plant and animal environments. *ASAE Paper No*, 993-196.
7. Holman, J. P. 1980. *Thermodynamics*. 3rd edition. Mc Graw-Hill, New York.
8. Imre, L. 1995. Solar drying. In: Mujumdar AS, editor. *Handbook of industrial drying*. New York: Marcel Dekker, P: 373-452.
9. Karim, M. A. and M. N. A. Hawlader. 2004. Development of solar air collectors for drying applications. *Energy Conversion and Management*, 45: 329-344.
10. 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.
11. Qiang, L. and F. W. Bakker-Arkema. 2001. A Model-predictive controller for grain drying. *Journal of Food Engineering*, 49(4): 321-326.
12. 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*, Vol 48:19-35.
13. Srzednicki, G. S., A. Ruili Houa, and R.H. Driscoll. 2005. Development of a control system for in-store drying of paddy in northeast china. *Journal of Food Engineering*, 77(2): 368-377.
14. Stefanoviand, A., M. Milan, and B. Staki. 2000. Simulation of a computer-controlled dehydrator. *Computers and Electronics in Agriculture*, 29(1-2): 161-178.
15. Smitabhindu , R., S. Janjaib, and V. Chankong. 2007. Optimization of a solar-assisted drying system for drying bananas. *Renewable Energy*, 33(7): 1523-1531
16. 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.



17. 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.

## The effect survey of fan speed control system for the process drying in a solar dryer

S.Farhad Mousavi<sup>1\*</sup> M.Hosseini Abbaspour-Fard and Mehdi Khojastehpour<sup>2</sup>

1- PHD Student, Department of Biosystems Engineering, International Campus of Ferdowsi University of Mashhad, [sayedfarhadmosavi@yahoo.com](mailto:sayedfarhadmosavi@yahoo.com)

2- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

### Abstract

One of the problems of solar dryers is the variability of drying temperature. In this study, dryer temperature-control system which is comprised of sensors, fan speed controller and microcontroller was designed and built. Forced convection solar dryer was used with a capacity of 5 kg of fresh vegetables. The experiments were carried out using fresh mint plant during four days with two modes: With and without fan speed control. The results showed with fan speed control mode the variation of inlet air temperature of the dryer chamber was more limited and remained within 39 to 42°C during experimental days. While without fan speed control mode the wider variation of inlet air temperature of the dryer chamber was and range within 32 to 44°C during experimental days. Furthermore, with, fan speed control in a solar dryer, the drying rate may speed up with further decrease of final moisture content up to 8% when compared to a system with no fan speed control.

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