



طراحی، ساخت و ارزیابی سیستم کنترل خودکار دور فن خشک کن خورشیدی همرفت اجباری

نیکروز باقری^۱، علیرضا کیهانی^۲، سید سعید محتسبی^۲، رضا علیمردانی^۲، شاهین رفیعی^۲، غلامحسن منصور^۳

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران

۲- عضو هیات علمی گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران

۳- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تهران

nikroozbagheri@yahoo.com.au

چکیده

به منظور بهینه سازی بازده انرژی در خشک کن های خورشیدی همرفت اجباری، یک سیستم کنترل خودکار طراحی و ساخته شد. در این سیستم، دور فن خشک کن به عنوان متغیر کنترلی در نظر گرفته شد. از حسگرهای دما دیجیتالی برای پایش دما در محل هوای ورودی به جمع کننده، هوای خروجی از جمع کننده و هوای خروجی از محفظه خشک کن استفاده شد. با استفاده از نرم افزار طراحی شده جهت کنترل فرآیند خشک کردن، بازده فعلی و بازده بهینه خشک کن محاسبه و با یکدیگر مقایسه شدند. در صورت برابر نبودن این دو بازده، پس از انجام محاسبات لازم، دور فن به گونه ای تغییر می یافت که بازده فعلی خشک کن با بازده بهینه برابر شود. برای ارزیابی سیستم کنترل خودکار، آزمایش هایی در ۳ تکرار انجام شد و نتایج نشان داد که سیستم کنترل خودکار قادر است به خوبی دور فن را به دور کنترلی مورد نظر برای تامین بازده بهینه برساند. هم چنین با استفاده از این سیستم، خشک کن قادر است تا در طول یک روز کاری با بازده بهینه کار کند. هم چنین آزمون نمونه های جفتی برای دو بازده فعلی و بازده بهینه با توزیع t-student انجام شد و نتایج نشان داد که با اطمینان ۹۹٪ بازده بهینه بیشتر از بازده فعلی خشک کن است.

واژه های کلیدی:

بازده بهینه، خشک کن خورشیدی، دور فن، کنترل خودکار، همرفت اجباری.

مقدمه

میزان ضایعات فرآورده های کشاورزی در کشور حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد برآورد شده که بخشی از آن به دلیل کمبود صنایع تبدیلی نظیر خشک کن ها و بخش دیگر به دلیل کمبود سیستم های مورد نیاز برای کنترل دقیق پارامترها می باشد. در حال حاضر بخش عمده ای از فرآورده های کشاورزی به روش سنتی خشک می شود که معمولاً کیفیت محصول نهایی نیز مطلوب نیست و این در حالی است که ویژگی های کیفی فرآورده های خشک شده نظیر بافت، ارزش غذایی و ... ارتباط نزدیکی با انتخاب روش درست خشک کردن، انتخاب دستگاه خشک کن مناسب و کنترل دقیق پارامترهای سیستم در حین خشک کردن دارد (توکلی پور، ۱۳۸۰). بنابراین به منظور بهبود و

افزایش کیفیت محصولات کشاورزی، دستیابی به تولید یکنواخت در خشک کن ها و کاهش ضایعات لازم است که کمیت ها و عوامل تعیین کننده و اساسی سیستم بر اساس مقادیر محاسبه و طراحی شده تطبیق و کنترل گردند (بی نام، ۱۳۷۲). از همین رو ویلکی و همکاران در سال ۱۹۷۹ یک سیستم کنترل برای خشک کن های ذرت با هوای معمولی با گرم کن خورشیدی ساختند. آنها نشان دادند که با استفاده از این سیستم می توان حدود ۲۷ درصد مصرف انرژی را کاهش داد (Wilcke et al., 1979). موريسن در سال ۱۹۸۵ با کاربرد یک سیستم کنترل بر روی خشک کن، رطوبت دانه ها را از روی پروفیل درجه حرارت آنها تشخیص داده و با استفاده از آن درجه حرارت و رطوبت نسبی هوای محیط و زمان کارکرد فن را برنامه ریزی نماید. وی نشان داد که این سیستم حدود ۲۱/۵ درصد انرژی الکتریکی کمتری نسبت به نوع بدون کنترل مصرف می کند (Morrison, 1985). نای برانت در سال ۱۹۸۹ از یک کنترلر وفق دهنده برای کنترل دما و رطوبت غلات استفاده نمود. این کنترلر برای رساندن متغیر ها به حالت بهینه به صورت پیوسته تنظیم می شد. نتایج آزمایش ها نشان داد که با استفاده از این کنترلر، کنترل دقیق دما امکان پذیر است (Nybrant, 1989).

رودریگز و همکاران در سال ۱۹۹۶ از یک سیستم کنترل برای خشک کن های استوانه ای به منظور کنترل محتوای رطوبت نهایی محصول، کاهش میزان غیر یکنواختی رطوبت به منظور ایجاد کیفیت بالای محصول و افزایش بازده خشک کن استفاده نمودند. از میان تمامی متغیرهای این خشک کن، دو متغیر دور استوانه و فشار بخار به عنوان متغیر های تحت کنترل به کار رفتند (Rodriguez et al., 1996). فولرو چارترز در سال ۱۹۹۸ یک سیستم کنترل خودکار فن برای خشک کن تونلی خورشیدی ساختند. این سیستم به منظور کاهش میزان توان مصرفی مورد نیاز فن از طریق تغییر دور آن با توجه به تغییرات شرایط طراحی گردید. نتایج نشان داد که زمان خشک کردن در این روش به طور تقریبی ۴۰ درصد نسبت به حالت بدون کنترل کاهش می یابد. هم چنین با استفاده از الگوریتم کنترل دو مرحله ای زمان عملکرد فن ۶۷ درصد نسبت به حالت عملیات مداوم کاهش می یابد (Fuller & Charters, 1997). آرجونا و همکاران در سال ۲۰۰۵ از یک سیستم کنترل^۱ PID در یک خشک کن دوار صنعتی برای خشک کردن ضایعات زیتون به منظور کاربری راحت تر و افزایش بازده انرژی استفاده کردند (Arjona et al., 2005). خوشحال در سال ۱۳۸۱ از یک سیستم کنترل دما برای نظارت عملکرد خشکاندن شلتوک استفاده نمود. نتایج نشان داد که سیستم کنترل دما میزان دانه خرد شده را به میزان ۲/۵ درصد و مصرف انرژی را به میزان ۳/۳ مگاژول بر کیلوگرم کاهش می دهد (خوشحال، ۱۳۸۱). به طور کلی در یک خشک کن خورشیدی، اغلب فاکتورهای موثر بر بازده انرژی در طول فرآیند خشک کردن محصول دائما در حال تغییر بوده و این در حالی است که به ازای تغییر همه این عوامل، فن با حداکثر دور می چرخد. این مسئله منجر به اتلاف انرژی و کاهش بازده خشک کن در حین فرآیند خشک شدن محصول خواهد شد. بنابراین استفاده از یک سیستم کنترل خودکار به منظور تغییر دور فن وابسته به شرایط خشک شدن محصول ضروری به نظر می رسد.

مواد و روش ها

مشخصات خشک کن خورشیدی همرفت اجباری مورد آزمایش

۱. Proportional Integrator Differential

خشک کن مورد آزمایش دارای قسمت های اصلی جمع کننده، محفظه خشک کن و فن می باشد. جمع کننده انرژی خورشیدی از نوع صفحه تخت پره دار می باشد. ابعاد صفحه جمع کننده انرژی خورشیدی، $1 \times 1.82 \text{ m}$ و سطح مقطع عرضی جمع کننده برای عبور هوا 0.048 m^2 می باشد (سهیلی، ۱۳۸۳). محفظه خشک کن دارای دو عدد سینی هر کدام به مساحت 0.5 m^2 می باشد. هم چنین فن انتخاب شده از نوع لوله ای جریان محوری با قطر پروانه 12 cm بوده و مشخصات آن چنین است: دبی هوا: $210 \text{ m}^3/\text{h}$ ، توان مصرفی: 38 W ، ولتاژ: 220 V ، جریان: 0.25 A ، دوربر دقیقه اسمی: 2300 و فشار استاتیکی: 8 mwc و فرکانس: $AC-50 \text{ HZ}$ (سهیلی، ۱۳۸۳).

محاسبات

از آن جا که هدف از کاربرد سیستم کنترل خودکار، تغییر دور فن به منظور تامین بازده بهینه در خشک کن خورشیدی همرفت اجباری می باشد؛ بنابراین می باید رابطه ای به دست آید که در آن بازده خشک کن تابعی از دور فن باشد.

الف- بازده خشک کن خورشیدی همرفت اجباری

بازده انرژی کلی سیستم خشک کن از رابطه (۱) به دست می آید که عبارت است از: (Augustus et al., 2002)

$$E = \frac{M_w \cdot L}{I_t \cdot A_c + E_f} \quad (1)$$

E : بازده خشک کن، %

M_w : جرم رطوبت تبخیر شده از محصول، kg

L : گرمای نهان ویژه تبخیر، kJ/kg

I_t : انرژی تابشی برواحد سطح جمع کننده، kJ / m^2

A_c : مساحت جمع کننده، m^2

E_f : انرژی الکتریکی فن، kJ

ب- محاسبه مجموع انرژی تابشی در صفحه جمع کننده

مقدار انرژی تابشی در صفحه جمع کننده عبارت است از (Duffie & Beckman, 1991):

$$\sum I_t \cdot A_c = \sum \frac{Q_{co}}{E_c} \quad (2)$$

$I_t \cdot A_c$: مجموع انرژی تابشی در صفحه جمع کننده، kJ

Q_{co} : انرژی حرارتی جذب شده توسط جمع کننده، kJ

E_c : بازده جمع کننده، این مقدار برای خشک کن مورد نظر 40% می باشد (سهیلی، ۱۳۸۳).

از طرفی طبق معادله موازنه انرژی که از جذب رطوبت توسط هوا در طی فرآیند اشباع بی دررو (آدیاباتیک)

به دست می آید (مرتضوی و همکاران، ۱۳۷۸):

$$Q_{co} = M \cdot C_p (T_2 - T_1) \quad (3)$$

M : جرم هوا (مخلوط هوای خشک و تر)، kg

C_p : گرمای ویژه هوا، در فشار و محدوده دمایی مورد نظر، $\text{kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$

T_2 : دمای هوای خروجی از جمع کننده، K

T_1 : دمای هوای ورودی به جمع کننده، K

جرم هوا نیز از رابطه (۴) به دست می آید که عبارت است از:

$$M = \rho \cdot V \quad (۴)$$

ρ : چگالی هوا در دمای محیط، kg/m^3

V : حجم هوای عبوری از جمع کننده، m^3

از طرفی چگالی هوا برابر است با (Holman, 1980):

$$\rho = \frac{P \cdot n}{R \cdot T} \quad (۵)$$

P : فشار محیط، Pa

n : وزن مولکولی هوا، kg/kmol

R : ثابت گازها، $8134.4 \text{ J / kmol. K}$

T : دمای محیط مورد نظر (در این جا دمای هوای ورودی به جمع کننده)، K

مقدار P از رابطه زیر به دست می آید (ASHRAE, 2006):

$$P = 101.325(1 - 2.25577 \cdot 10^{-5} \cdot Z)^{5.2559} \quad (۶)$$

Z : ارتفاع از سطح دریا بر حسب متر است که برای شهرستان کرج 1312.5 متر می باشد (WWW.irimet.ir).

بنابراین طبق رابطه (۶) فشار برابر 86520 پاسکال به دست می آید. از طرفی وزن مولکولی هوا از مجموع وزن مولکولی هوای خشک و تر به دست می آید (ASHRAE, 2006):

$$n = n_w + n_a = 28.96 + 18.01 = 46.97 \quad (۷)$$

با توجه به قانون پیوستگی جریان، حجم هوای عبوری از جمع

کننده برابر است با:

$$Q = \frac{V}{t} = V_c \cdot A_c \cdot t = V_o \cdot A_f \cdot t \quad (۸)$$

Q : دبی هوا، m^3/s

t : زمان، s

V_c : دور هوا در جمع کننده، m/s

A_c : سطح مقطع جمع کننده، m^2

V_o : دور هوا در خروجی فن، m/s

A_f : سطح مقطع فن، m^2

V : حجم هوای عبوری از جمع کننده، m^3

بنابراین با توجه به روابط بالا انرژی حرارتی جذب شده توسط جمع کننده برابر است با:

$$Q_{co} = \frac{P \cdot n \cdot V_o \cdot A_f \cdot t \cdot C_p (T_2 - T_1)}{RT_1} \quad (۹)$$

در نهایت با قرار دادن رابطه (۹) در رابطه (۲) برای مجموع انرژی تابشی خواهیم داشت:

$$\sum I_t.A_c = \frac{P.n.V_o.A_f.t.C_p(T_2 - T_1)}{E_c.R.T_1} \quad (10)$$

پ- محاسبه انرژی مورد نیاز برای تبخیر رطوبت محصول

طبق معادله موازنه انرژی، مقدار انرژی مورد نیاز برای تبخیر محصول برابر است با (مرتضوی و همکاران، ۱۳۷۸):

$$Q_{out} = M_w.L = M.C_p(T_2 - T_3) \quad (11)$$

T_3 : دمای هوای خروجی محفظه، K

مشابه روابط (۱۰) انرژی مورد نیاز برای تبخیر رطوبت محصول از رابطه زیر به دست می آید:

(۱۲)

$$Q_{out} = \frac{2.P.n.V_o.A_f.t.C_p(T_2 - T_3)}{R(T_2 + T_3)}$$

ت- محاسبه انرژی الکتریکی فن

انرژی الکتریکی مصرفی فن (Morey & Gustafson, 1978) طبق رابطه (13) به دست می آید:

$$E_f = \frac{P_w.t}{E_E.E_m} \quad (13)$$

E_f انرژی الکتریکی مصرفی فن، kJ

P_w : توان هوای خروجی فن، W

t: زمان، s

E_E : بازده الکتریکی الکتروموتور، %

E_m : بازده مکانیکی پروانه، %

توان هوای خروجی از فن نیز عبارت است از (Bleier, 1998):

$$P_w = 9.81Q.Tp \quad (14)$$

Tp : فشار کل سیستم، mmwc

(۱۵)

$$Tp = Sp + Vp$$

Sp : فشار استاتیکی، mmwc

Vp : فشار دور، mmwc

از طرفی داریم:

$$Q = V_o.A_f.t \quad (16)$$

فشار سرعت^۱ (فشاری که در اثر سرعت جریان هوا ایجاد می شود) طبق رابطه ذیل (Bleier, 1998) :

$$Vp = 0.051\rho.V_0^2 \quad (17)$$

با جاگذاری مقادیر بالا انرژی الکتریکی فن برابر خواهد بود با :

$$E_f = \left(\frac{9.81t.V_0.A_f}{1000E_E.E_m} \right) \left(Sp + 0.051 \frac{p.n.V_0^2}{RT_2} \right) \quad (18)$$

ث- محاسبه بازده بهینه

برای محاسبه حداکثر مقدار بازده قابل حصول خشک کن باید از رابطه (۱۹) که بر اساس روابط (۱) تا (۱۸) به دست آمده، نسبت به V_0 مشتق جزئی گرفت:

$$E_0 = \frac{\frac{2p.A_f.C_p.n(T_2 - T_3)}{R(T_2 + T_3)}}{\frac{p.A_f.C_p.n(T_2 - T_1)}{E_c.RT_1} + \frac{9.81A_f}{1000E_E.E_m} \left(Sp + \frac{0.051p.n.V_0^2}{RT_2} \right)} \quad (19)$$

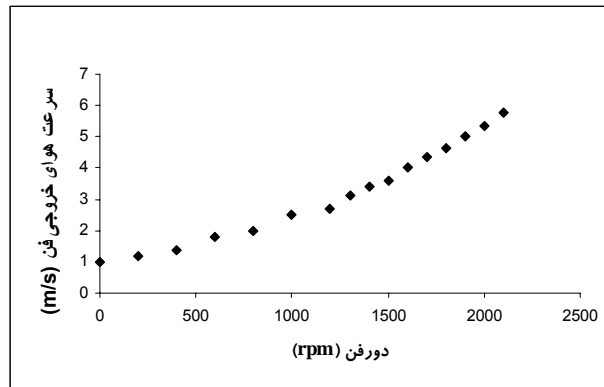
$$\frac{\partial E_0}{\partial V_0} = 0 \Rightarrow V_0 = \frac{11RT_2}{P.n} \quad (20)$$

ج- تعیین رابطه دور فن با دور جریان هوای خروجی از فن

رابطه (۱۹)، رابطه بازده خشک کن با دور جریان هوای خروجی از فن می باشد. برای تعیین رابطه بازده خشک کن بر حسب دور فن می باید رابطه بین دور جریان هوای خروجی از فن با دور فن را به دست آورد. برای تعیین این رابطه از یک بادسنج^۲ سیم داغ دیجیتالی با دقت یک دهم متر بر ثانیه استفاده گردید. المان سیم داغ در مسیر خروجی هوا از فن قرار داده شد و میانگین دور نشان داده شده بر حسب متر بر ثانیه ثبت گردید. با استفاده از نرم افزار نوشته شده برای کنترل دور فن، دور را تغییر داده و برای اطمینان از اعمال آن دور توسط دستگاه چند ثانیه صبر نموده، سپس با استفاده از بادسنج میانگین مقدار دور هوا در قسمت خروجی فن قرائت گردید. شکل (۱) نمودار این رابطه را نشان می دهد.

۱. Velocity pressure

۲. Hotwire Anemometer



شکل (۱) رابطه دور جریان هوای خروجی فن با دور فن

$$n_0 = -61.324V_0^2 + 8231V_0 - 6777 \quad (21)$$

برای رابطه (۲۱) $R^2 = 0.994$ است.

طراحی و ساخت سیستم کنترل خودکار دور فن

سخت افزار سیستم کنترل خودکار

سخت افزار سیستم کنترل خودکار از اجزاء زیر تشکیل شده که عبارتند از: میکروکنترلر ATMEGA 8535، فرستنده و گیرنده 16 PI، رگولاتور ۵ ولت L7805cv، کریستال ۱۶ مگاهرتز، مدار مجتمع MAX 232، فرستنده و گیرنده مادون قرمز (برای شمارش تعداد دور پره ها)، اپتوکوپلر^۱ (تزیج گر نوری)، تریاک^۲ BT 136، آداپتور، حسگرهای دما دیجیتال SMT160-30، سیم روپوش دار دو مغزی، خازن (برای از بین بردن اغتشاشات)، چندین سوکت، مقاومت و کانکتور ۹ پین. به علت فاصله نسبتاً زیاد نقاط انتخاب شده برای نصب حسگرها، از حسگرهای دیجیتالی استفاده شد تا امکان انتقال داده با دقت بالا و حداقل خطا را حین استفاده از سیم های بلند متصل به پایه های حسگر تضمین نماید. ولتاژ خروجی این حسگر یک موج مربعی مدوله شده بر اساس نسبت عرض پالس با پاسخ خطی به دما در گستره ۴۵- تا ۱۳۰ درجه سلسیوس است (DataSheet SMT160-30).

نرم افزار سیستم کنترل خودکار

نرم افزار سیستم کنترل خودکار شامل دو بخش نرم افزار کنترل دور فن و نرم افزار محاسبه بازده می باشد. هر دو این نرم افزارها با استفاده از زبان برنامه نویسی Visual Basic 6 نوشته شده است.

نرم افزار کنترل دور فن

محاسبه دور فعلی فن از طریق دو حسگر فرستنده و گیرنده فرو سرخ صورت می گیرد. این حسگرها در دو طرف فن (در قسمت جلو و پشت پره های فن) روبروی یکدیگر قرار داده شدند. عبور هر پره از جلوی حسگرها موجب ارسال یک سیگنال می شود. از آنجا که فن مورد آزمایش دارای ۶ پره می باشد، بنابراین هر ۶ پالس ارسال شده معادل با یک دور فن می باشد. سیستم کنترل دور جدیدی را که توسط نرم افزار محاسبه بازده برای فن به دست آمده از برنامه می خواند. به منظور کنترل دور فن یک سیستم کنترل پسخوردی طراحی گردید. اساس کار

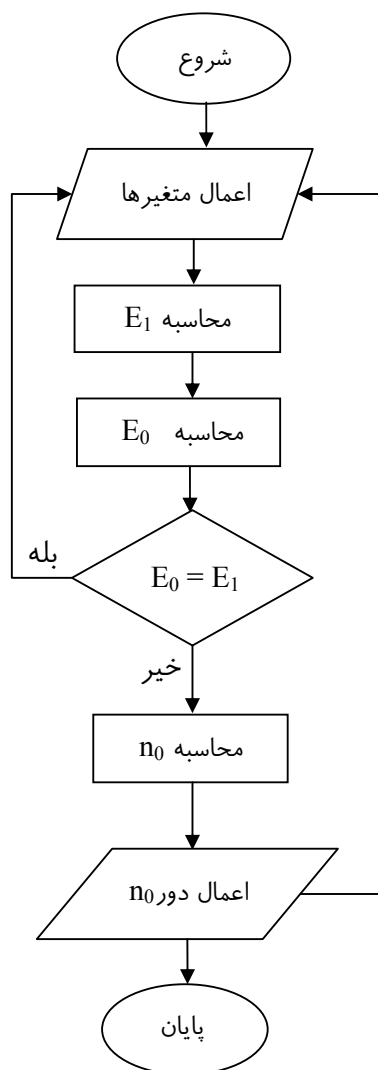
۱. Optocoupler

۲. triac

سیستم به این صورت است که ابتدا دور فعلی محاسبه شده و سپس با دور مطلوب محاسبه شده برای تامین بازده بهینه مقایسه می شود. با قطع و وصل ولتاژ ورودی فن می توان دور را کم و زیاد کرد. هم چنین برنامه میکروکنترلر با زبان برنامه نویسی C و کامپایلر CodeVisionAVR بوده که در حافظه FLASH میکروکنترلر ذخیره شده و شامل سه بخش اصلی است که به طور همزمان اجرا می شوند: حلقه اصلی ورودی درگاه سریال را کنترل کرده و فرمان های رایانه را انجام می دهد. حلقه دوم خروجی حسگر های دما را محاسبه و اعلام می نماید که به صورت تابعی در برنامه فراخوانی می شود. کنترلر دور فن قسمت سوم است که دور را محاسبه می کند.

نرم افزار محاسبه بازده های فعلی و بهینه

این نرم افزار شامل برنامه نوشته شده به منظور محاسبه بازده بهینه و محاسبه دور مطلوب فن برای تامین این بازده می باشد. شکل (۲) نمودار جریان آن را نشان می دهد. در این نمودار، E_0 بازده بهینه، E_1 بازده فعلی و n_0 دور مطلوب خشک کن بوده که پس از محاسبه شدن با هم مقایسه می گردند؛ چنانچه برابر نباشند مقدار دوری که به ازای آن بازده فعلی به بازده بهینه رسیده محاسبه شده و این دور به فن اعمال می گردد.



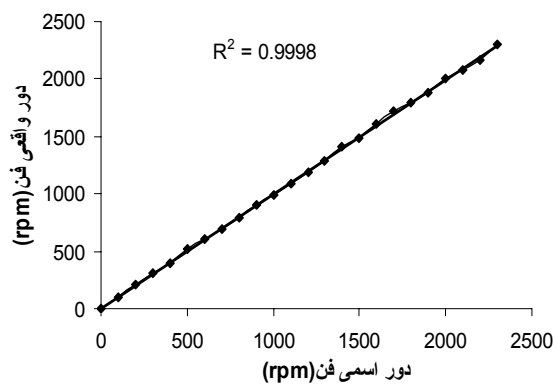
شکل ۲- نمودار نرم افزار محاسبه بازده انرژی

بحث و نتایج

مقایسه مقدار دور واقعی با دور اسمی فن

به منظور تعیین میزان دقت و انعطاف پذیری سیستم کنترل خودکار و بررسی قابلیت سیستم کنترل در رساندن دور واقعی به دور اسمی، آزمایشی انجام شد. در این آزمایش با استفاده از نرم افزار نوشته شده برای کنترل دور، دوره‌های متفاوتی به سیستم اعمال شد. سپس برای اطمینان از حصول تامین دور مطلوب، پس از چند ثانیه دور واقعی که فن توانسته تامین کند از برنامه کنترل خوانده شد. شکل (۳) نمودار این آزمایش را نشان می دهد.

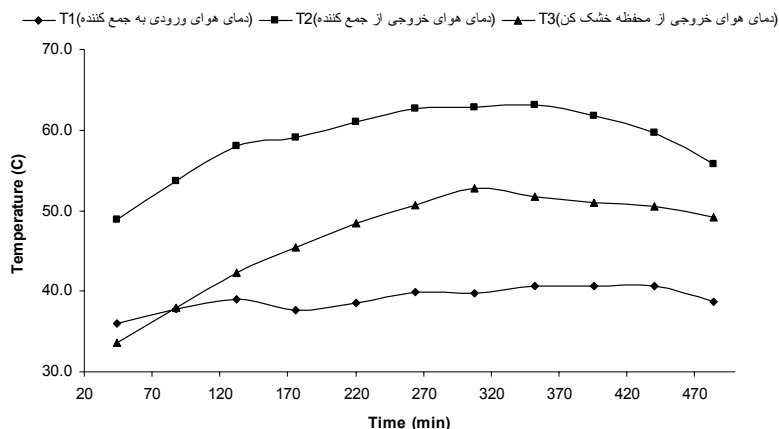
با استفاده از نرم افزار Spss آزمون t -student انجام شد و نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری بین دور اسمی و واقعی فن وجود ندارد. بنابراین در طول آزمایش، سیستم کنترل خودکار قادر است دور فن را دقیقاً به دور محاسبه شده در نرم افزار برساند.



شکل ۳- نمودار مقایسه دور واقعی و اسمی فن

پایش دما در طول آزمایش

در تمامی آزمایش ها محصول نعنای به ارتفاع پنج سانتی متر روی سینی پایینی خشک کن قرار داده شد. سپس سیستم کنترل روشن شده، حسگرها به ترتیب در ورودی جمع کننده (T_1)، خروجی جمع کننده (T_2) و خروجی محفظه خشک کن (T_3) قرار داده شد. با تنظیم زمان سنج برنامه، در فواصل زمانی یک ثانیه اعداد حسگرها ثبت و مقدار بازده محاسبه گردید. شکل (۴) نمودار میانگین دما را با زمان خشک شدن در هر سه آزمایش را نشان می دهد. تمامی آزمایش ها به مدت ۸ ساعت از ۱۰ صبح تا شش بعد از ظهر در فصل تابستان انجام شد.

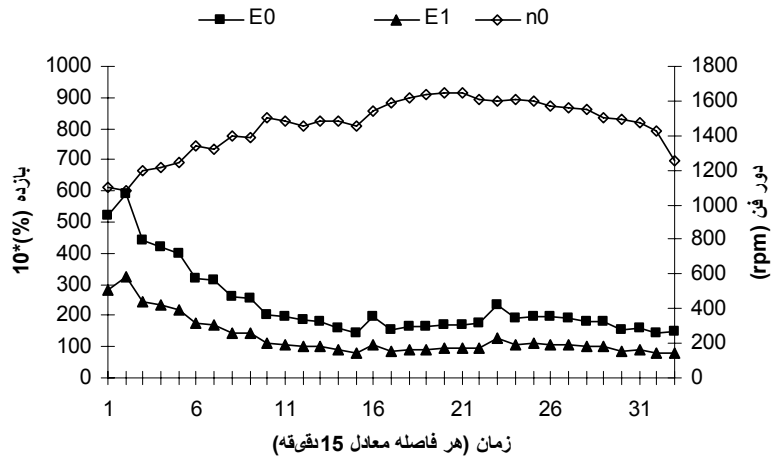


شکل ۴- نمودار میانگین تغییرات دما با زمان خشک شدن

بررسی نمودار شکل ۴ نشان می دهد. نتایج بررسی تغییرات دما نشان می دهد، هر سه دما (دمای هوای ورودی جمع کننده، دمای هوای خروجی از جمع کننده و دمای هوای خروجی از محفظه خشک کن) ابتدا روند افزایشی و سپس کاهش داشته است. دمای هوای ورودی به جمع کننده در واقع همان دمای محیط بوده که در طول روزهای تابستان با افزایش تابش خورشید رو به افزایش بوده و با کاهش این مقدار، کاهش می یابد. دمای هوای خروجی از جمع کننده و دمای هوای خروجی از محفظه خشک کن نیز تابع دمای هوای ورودی به جمع کننده بوده و با افزایش آن، افزایش می یابند. در آزمایش ها حداکثر، حداقل و میانگین دما برای T_1 به ترتیب $40/7$ ، $36/3$ ، 39 درجه سانتیگراد، برای T_2 به ترتیب $63/1$ ، $48/8$ و $58/8$ درجه سانتیگراد و برای T_3 به ترتیب $52/8$ ، $33/7$ و $46/7$ درجه سانتیگراد به دست آمد. مقایسه میانگین دمای T_1 و T_2 نشان می دهد که صفحه جمع کننده قادر است به طور میانگین دمای محیط را به میزان $19/8$ درجه سانتیگراد افزایش دهد.

اندازه گیری بازده فعلی و بهینه خشک کن

بازده فعلی خشک کن عبارت است از بازده انرژی در حالی که فن با حداکثر دور اسمی خود می چرخد و هیچ گونه کنترلی روی آن صورت نمی گیرد. بازده بهینه از طریق محاسبه روابط ۱۹ و ۲۰ به دست می آید. این بازده با بازده فعلی مقایسه شده، پس از تعیین میزان اختلاف آنها، دور جدید فن برای حصول بازده بهینه محاسبه شده و این دور به فن اعمال می شود. برای اطمینان از عملکرد سیستم آزمایش ها در ۳ تکرار و در روزهای متفاوت انجام شد. شکل ۵ نمودار میانگین بازده بهینه و فعلی را نشان می دهد. در این شکل، E_1 بازده فعلی، E_0 بازده بهینه و η_0 دور مطلوب برای تامین بازده بهینه می باشد.



شکل ۵- مقایسه بازده های فعلی و بهینه خشک کن و تغییرات دور فن

نتایج آزمایش ها نشان داد که بازده انرژی در طول روزکاری مقادیر ثابتی نبود. دلیل این رویداد را می توان در این دانست که بازده انرژی خشک کن وابسته به دماهای T_1 , T_2 , T_3 است و از آن جا که مقادیر $(T_2 - T_1)$ و T_3 در طول روز کاری تغییر می کرد، بنابراین بازده نیز ثابت نیست. هم چنین شکل (۵) نشان می دهد، با گذشت زمان خشک کردن محصول، مقدار دور فن کاهش یافته است. این بدین دلیل است که در ساعات اول آزمایش که محصول رطوبت بالاتری داشته و تبخیر بیشتری از سطح محصول صورت گرفته، فن نیاز به ایجاد جریان همرفتی بیشتری داشته، بنابراین فن با سرعت بیشتری می چرخد. اما در ساعات بعدی که تبخیر رطوبت محصول کمتر شده و نیاز به ایجاد جریان همرفت کمتری است، سرعت فن کاهش یافته است. با استفاده از نرم افزار SPSS 12 آزمون نمونه های جفتی برای دو بازده فعلی و بهینه انجام شد و نتایج نشان داد که با اطمینان ۹۹٪ بازده بهینه به طور بسیار معنی داری بیشتر از بازده فعلی به دست آمد.

نتیجه گیری

الف- نتایج حاصل از آزمایش ها نشان داد که سیستم کنترل برای تامین دور فن مطلوب از دقت و انعطاف پذیری لازم برخوردار است. هم چنین نتایج حاصل از آزمون t-student نشان داد که تفاوت معنی داری بین دور اسمی و دور واقعی که فن می تواند تامین کند، وجود ندارد.

ب- نتایج نشان داد که بازده انرژی خشک کن عدد ثابتی نبوده و با توجه به دماهای T_1 , T_2 و T_3 تغییر می یابد.
پ- نتایج حاصل از آزمون نمونه های جفتی برای دو بازده نشان داد که با اطمینان ۹۹٪ بازده بهینه به طور بسیار معنی داری بیشتر از بازده فعلی است.

ت- بر اساس نتایج بدست آمده، میانگین دامنه تغییرات دور فن از 1123 rpm تا 1639 rpm بوده و فن در ۶۶.۲ درصد از دامنه تغییرات خود عمل می کند. بنابراین در تمام مراحل خشک کردن محصول نیاز به دور حداکثر فن نمی باشد. کاربرد فن در دامنه تغییرات ذکر شده ضمن کاهش مصرف انرژی الکتریکی موجب افزایش بازده انرژی خشک کن می شود.

فهرست منابع:

- بی نام، ۱۳۷۲. خشک کردن محصولات کشاورزی (راهی به سوی استقلال سیاسی). واحد تحقیقات و طراحی مهندسی شرکت تولیدی کارینو. چاپ اول. انتشارات عطایی، ۱۳۲ صفحه.
- توکلی پور، ح. ۱۳۸۰. خشک کردن مواد غذایی. انتشارات آبیژ. ۱۷۶ صفحه.
- خوشحال، م. ۱۳۸۱. رساله دوره دکتری مهندسی مکانیک ماشین های کشاورزی. بررسی و ارزیابی روش کنترل متناوب فرآیند خشکاندن شلتوک. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- سهیلی مهدیزاد، ا. ۱۳۸۳. پایان نامه کارشناسی ارشد. طراحی و ساخت یک خشک کن خورشیدی همرفت اجباری برای سبزیجات. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- مرتضوی، ع. سیف کردی، ع. کدخدایی، ر و شفافی، م. ۱۳۷۸. درآمدی بر مهندسی صنایع غذایی. ترجمه. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۶۴۸ صفحه.
- Anonymous. 2005. Data sheet SMT160-30.
- Anonymous. 2005. ASHRAE Psychrometrics charts. Available at www.ASHRAE.org
- Arjona, R, P. Ollero and F. Vidal B. 2005. Automation of an olive waste industrial rotary dryer. Journal of Food Engineering. 68 (2): 239-242.
- Augustus Leon M. , S. Kumar and S. C. Bhattacharya. 2002. A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers. Renewable & Sustainable Energy Reviews. 6 :367-393.
- Bleier F. P. 1998. Fan Handbook: Selection, Application and Design. McGraw-Hill, NY.
- Duffie J. A. and W. A. Beckman. 1991. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons, NY .
- Fuller. R. J. and W. W. S. Charters. 1997. Performance of a solar tunnel dryer with microcomputer control. Journal of Solar Energy , 59(4-6):151-154.
- Morey, R.V and R. J. Gustafson. 1978. Fan management for Ambient drying systems. ASAE Paper No. 78- 3003.
- Morrison, D. W. 1985. Microprocessor - controlled low -temperature grain drying. University of Illinois, Illi.
- Nybrant, T. G and P. J. S. Regner. 1985. Adaptive control for continuous grain dryers. ASAE Paper No. 85-3011.
- Rodriguez. G, J. Vasseur and F. Countois. 1996. Design and control of drum dryers for the food industry. part2. Automatic control . Journal of Food Engineering , 30(1-2): 171-183.
- Wilcke, W. F. G. A. Kranzler, G. J Bern and M. E. Anderson. 1979. Digital electronic corn dryer. ASAE Paper No. 79- 3028.
- WWW.Irimet.net

Design, construction and evaluation of fan speed controller in a Forced-convection Solar Dryer

Abstract

In order to increase agricultural crops' quality, obtaining a uniform production and minimizing losses, major system parameters based on calculated values should be controlled continuously in a drying process.

Excess drying without control leads to unnecessary consumption of energy along with loss increase. To optimize energy efficiency in forced convective solar dryers, a controller was designed and constructed. In this system, the dryer fan speed was chosen to be the controlled variable.

To monitor temperature in the air inlet temperature to the collector, the air outlet temperature from the collector and the air outlet temperature from the drying chamber, we used some digital temperature sensors. Using the dryer control software written in Visual Basic 6.0, the real and optimized dryer efficiencies were calculated and compared. Not being equal, the fan speed is changed to reach the optimized efficiency, accordingly.

To evaluate the automatic control system, after three replications, results showed that the system is capable of controlling the fan speed by changing the speed to obtain the optimum efficiency. Using the control system, the dryer worked with its highest efficiency throughout the day.

Two paired sample tests were done for current and optimized efficiencies with t-student distribution. The result observed the significant difference in %1 level between two efficiencies.

Keywords: Automatic control system, Fan speed, Forced-convection, Optimum efficiency, Solar dryer.