

کنترل پیوسته فرآیند خشک شدن در خشک کن های خورشیدی (۲۱۷)

نیکروز باقری^۱، علیرضا کیهانی^۲، سید سعید محتسبی^۲، رضا علیمردانی^۲

چکیده

اغلب فاکتورهای مؤثر بر مقدار بازده انرژی در یک خشک کن خورشیدی در طول فرآیند خشک کردن محصول دائما در حال تغییر می باشند. از جمله این فاکتور ها می توان به میزان انرژی تابشی جذب شده توسط جمع کننده، دبی هوای ورودی به جمع کننده و محفظه خشک کن، جرم رطوبت تبخیر شده از محصول، دمای هوا و... اشاره نمود. با وجود تغییر هر یک از این فاکتورها، معمولا فن با حداکثر دور می چرخد که در واقع هم اتلاف انرژی است و هم به کاهش بازده خشک کن در حین فرآیند خشک شدن محصول می انجامد. برای رفع این مشکل کنترل مداوم و پیوسته متغیرهای اصلی در طول فرآیند خشک شدن محصول ضروری به نظر می رسد. به همین منظور یک سیستم کنترل PD طراحی و ساخته شد. در این سیستم دور فن به عنوان متغیر کنترلی ورودی در نظر گرفته شد. این سیستم ضمن پایش دمای سیستم در نقاط مختلف با استفاده از حسگرهای دیجیتالی، با دریافت اطلاعات مربوط به متغیرهای مؤثر بر خشک کردن محصول و انجام محاسبات لازم، بازده فعلی و بهینه خشک کن را محاسبه نموده و با هم مقایسه می نماید. سپس با توجه به اختلاف این دو مقدار، دور جدیدی برای فن محاسبه شده و سیستم کنترل به منظور رساندن دور فن به دور مطلوب اعمال می گردد. به منظور ارزیابی سیستم آزمایش هایی در ۳ تکرار انجام شد و نتایج نشان داد که سیستم کنترل خودکار فن قادر است به خوبی دور فن را به دور کنترلی مورد نظر برای تامین بازده بهینه برساند. هم چنین نتایج حاصل از آزمون نمونه های جفتی برای دو بازده کنترل شده و بازده فعلی با توزیع t-student با استفاده از نرم افزار SPSS 12 نشان داد که با اطمینان ۹۹٪ بازده کنترل شده به طور معنی داری بیشتر از بازده فعلی سیستم است.

کلیدواژه: کنترلر، دور فن، بازده انرژی بهینه، خشک کن خورشیدی.

۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران، پست الکترونیک: nikroozbagheri@yahoo.com

۲- دانشیار گروه مهندسی ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران

مقدمه

میزان ضایعات فرآورده‌های کشاورزی در کشور حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد برآورد شده که بخشی از آن به دلیل کمبود صنایع تبدیلی نظیر خشک کن‌ها و بخش دیگر به دلیل کمبود سیستم‌های مورد نیاز برای کنترل دقیق پارامترها می‌باشد. در حال حاضر بخش عمده‌ای از فرآورده‌های کشاورزی به روش سنتی خشک می‌شود که معمولاً کیفیت محصول نهایی نیز مطلوب نیست و این در حالی است که ویژگی‌های کیفی فرآورده‌های خشک شده نظیر بافت، ارزش غذایی و ... ارتباط نزدیکی با انتخاب روش درست خشک کردن، انتخاب دستگاه خشک‌کن 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 خشک‌کن‌ها و کاهش ضایعات لازم است که کمیت‌ها و عوامل تعیین‌کننده و اساسی سیستم بر اساس مقادیر محاسبه و طراحی شده تطبیق و کنترل گردند (بی نام، ۱۳۷۲).

امروزه کاربرد این سیستم‌ها در علوم و مهندسی نقش اساسی داشته و عامل دستیابی به کارایی بهینه سیستم‌های دینامیکی، افزایش بازده و تسهیل انجام کارهای تکراری دستی می‌باشد (دیانی، ۱۳۸۱).

پیشینه پژوهش

ویلکی و همکاران در سال ۱۹۷۹ یک سیستم کنترل برای خشک‌کن‌های ذرت با هوای معمولی با گرم‌کن خورشیدی ساختند (Wilcke et al., 1979). آنها نشان دادند که با استفاده از این سیستم می‌توان حدود ۲۷ درصد مصرف انرژی را کاهش داد.

نای برانت در سال ۱۹۸۹ از یک کنترلر وفق دهنده برای کنترل دما و رطوبت غلات استفاده نمود (Nybrant, 1989). این کنترلر برای رساندن متغیرها به حالت بهینه به صورت پیوسته تنظیم می‌شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که کنترلر قادر به کنترل دقیق دما است.

فولرو چارترز در سال ۱۹۹۸ یک سیستم کنترل خودکار فن برای خشک‌کن تونلی خورشیدی ساختند (Fuller & Charters, 1997). این سیستم به منظور کاهش میزان توان مصرفی مورد نیاز فن از طریق تغییر سرعت 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 می‌یابد. هم‌چنین با استفاده از الگوریتم کنترل دو مرحله‌ای زمان عملکرد فن ۶۷ درصد نسبت به حالت عملیات مداوم کاهش یافت.

تمپل و وان باکستل در سال ۲۰۰۰ از یک کنترلر پیشگو^۱ به منظور کنترل رطوبت چای استفاده نمودند (Temple & Van Boxtel, 2000a, 2000b). بدین منظور یک مدل شبیه‌سازی شده برای طراحی این سیستم به کار برده شد. از آن جا که کنترل پس‌خورد مستقیم دمای هوای خروجی کنترل موثری نمی‌باشد، از یک کنترل استنباطی^۲ استفاده شد. آزمایش‌ها نشان داد که این کنترلر در عمل نتایج قابل قبولی دارد.

کورتوس و همکاران در سال ۲۰۰۱ از یک کنترلر PI^I با سیستم خطی برای خشک‌کن‌های جریان مختلط استفاده کردند (Courtois et al., 2001). این کنترلر برای دو حالت پایا^۳ و گذرا^۴ کاربرد داشت. آزمایش‌ها نشان داد این کنترلر برای کنترل خشک‌کن‌ها مناسب است.

1. Model-Predictive Controller

4. Steady

2. Inferential

5. Transient

3. Proportional Integral

کواپنگ لیو و بیکر- آرکما در سال ۲۰۰۱ یک سیستم کنترل مدل پیشگو برای خشک کن‌های جریان عرضی به کاربردند (Qiang Liu & Bakker-Arkema, 2001). آزمایش‌های شبیه‌سازی نشان داد که این کنترلر در گستره وسیعی از شرایط به خوبی عمل نموده، هم چنین دارای دقت و پایداری خوبی می‌باشد.

تمپل و وان باکستل در سال ۲۰۰۱ از یک سیستم کنترل بر روی خشک کن‌های چای بستر سیال برای تعیین زمان تکمیل عملیات خشک کردن و خاموش نمودن دستگاه در پایان فرآیند خشک کردن استفاده نمودند (Temple & Van Boxtel, 2001). آزمایش این سیستم کنترل نشان داد که نسبت به سیستم‌های دستی می‌تواند کنترل موثر و بهتری را تأمین نماید.

نابیل و همکاران در سال ۲۰۰۵ از یک کنترلر پسخورد برای کنترل رطوبت دانه در خشک کن بستر سیال پیوسته استفاده کردند (Nabil et al., 2005). به منظور تشریح عملیات در این خشک کن از یک مدل دینامیکی استفاده شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که این نوع کنترلر دارای عملکرد مطلوبی بوده و تغییرات از نقطه مبنا دارای مقادیر قابل قبولی می‌باشد.

آرجونا و همکاران در سال ۲۰۰۵ از یک سیستم کنترل^۱ PID در یک خشک کن دوار صنعتی برای خشک کردن ضایعات زیتون استفاده کردند. این سیستم کنترل برای کاربری راحت تر و افزایش بهره‌وری انرژی به کار رفت (Arjona et al., 2005).

مواد و روش‌ها

سخت افزار سیستم کنترل

فن مورد آزمایش از نوع لوله محوری با قطر پروانه ۱۲cm و ولتاژ ورودی ۲۲۰ ولت AC می‌باشد (Soheili mehdizadeh et al., 2006). اجزاء اصلی سیستم کنترل خودکار به شرح زیر می‌باشد:
۲ عدد میکروکنترلر 16 PI - ATMEGA 8535 (برنامه نویسی میکروکنترلر با زبان C و کامپایلر CodeVisionAVR انجام شد)، رگولاور ۵ ولت L7805cv (تأمین ولتاژ محدوده کاری حسگرها)، دو عدد کریستال ۱۶ مگاهرتز، مدار مجتمع MAX 232، فرستنده و گیرنده فرسرخ (جهت شمارش تعداد دور پره‌ها)، اپتوکوپلر، ترایاک، آداپتور، حسگر دما SMT²160-30.

با توجه به فاصله زیاد بین ورودی جمع‌کننده، خروجی جمع‌کننده و خروجی هوا از محفظه خشک کن که می‌باید دمای آن‌ها در طی آزمایش اندازه‌گیری شود، از حسگرهای دیجیتالی استفاده شد. حسگرهای دیجیتالی امکان انتقال داده با دقت بالا و حداقل خطا را حین استفاده از سیم‌های بلند متصل به پایه‌های حسگر تضمین می‌نمایند. (DataSheet SMT160-30).

نرم افزار سیستم کنترل خودکار

برنامه‌ای که برای سیستم کنترل در نظر گرفته شده شامل مراحل ذیل می‌باشد:

الف - محاسبه سرعت فعلی فن

ب- دریافت سرعت ورودی از واحد در ارتباط با رایانه

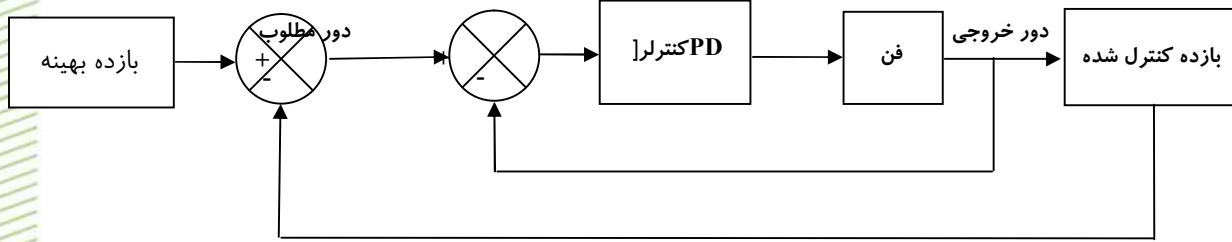
پ - اعمال کنترل

محاسبه سرعت فعلی فن از طریق دو حسگر فرستنده و گیرنده فرو سرخ انجام می‌شود. این حسگرها در دو طرف فن (در قسمت جلو و پشت پره‌های فن) روبروی یکدیگر قرار داده شد. فن مورد آزمایش دارای ۶ پره می‌باشد و هر شش بار عبور پره‌ها از جلوی فن برابر با یک دور فن می‌باشد.

یک سیستم کنترل پسخوردی به منظور کنترل دور فن و کاهش خطا طراحی گردید. شکل ۱- نمودار بلوکی این سیستم را نشان می‌دهد.

1. Proportional Integrator Differential

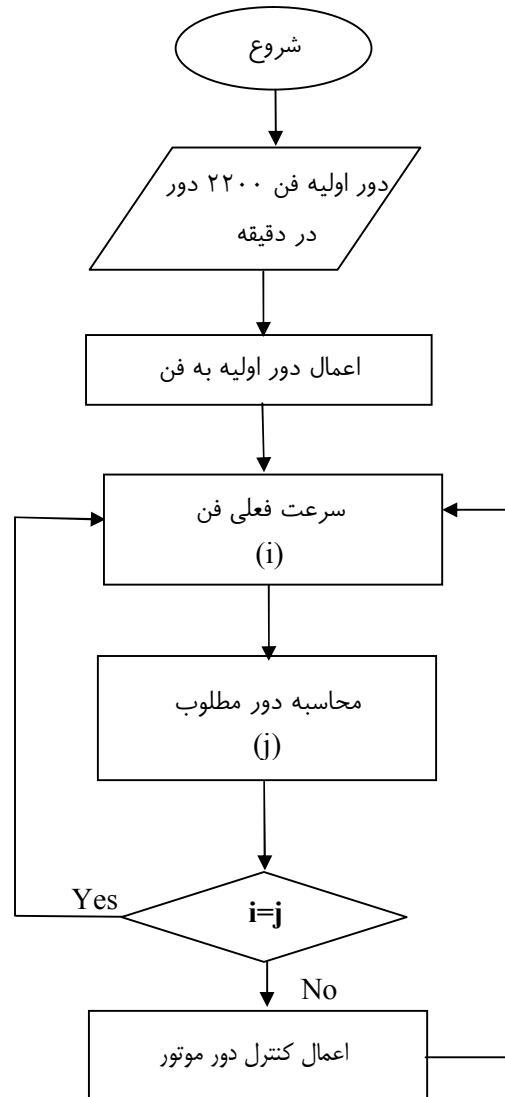
2. Smartec Temperature Sensor



شکل ۱- نمودار بلوکی سیستم کنترل دور فن

برنامه میکروکنترلر که به زبان C نوشته شده است، شامل سه بخش اصلی است (شکل ۲) 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 د را محاسبه و اعلام می نماید که به صورت تابعی در برنامه فراخوانی می شود. کنترلر سرعت موتور قسمت سوم است که سرعت موتور را محاسبه نموده همچنین وظیفه کنترل سرعت موتور حول مقدار ورودی را بر عهده دارد. شکل ۲ نمودار جریان این سیستم کنترل دور فن را نشان می دهد.

برای ارتباط کاربر با سخت افزار یک کنترلر اکتیو ایکس نوشته شده، این نرم افزار به صورت بسته نرم افزاری قابل نصب بر روی رایانه است که به راحتی در محیط Visual Basic 6 قابل استفاده می باشد.



شکل ۲- نمودار جریان کنترل دور فن

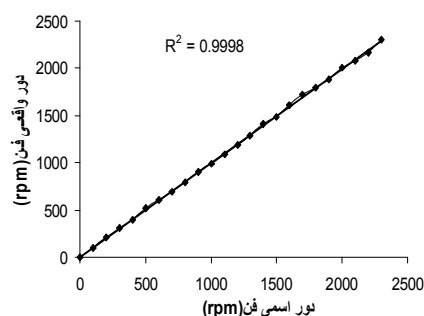
سیستم کنترل به این صورت طراحی گردیده که ابتدا بازده بهینه دستگاه محاسبه شده و با بازده فعلی مقایسه می شود. چنانچه این دو مقدار با یکدیگر برابر نباشند، دور جدید که به ازاء آن بازده بهینه می گردد محاسبه می شود. سپس این دور به کنترلر ارسال شده و کنترلر دور جدید را به فن اعمال می کند.

با استفاده از کنترلر MScomm و ابزار امکان دریافت اطلاعات از پورت RS232 و ارسال فرامین کنترلر به آن فراهم گردید. از این طریق برنامه با سخت افزار کنترلر مرتبط می گردد.

بحث و نتایج

بررسی دقت سیستم کنترل دور فن

به منظور تعیین میزان دقت و انعطاف پذیری سیستم کنترل خودکار در رساندن دور به حد مطلوب، آزمایشی انجام شد. در این آزمایش با استفاده از نرم افزار نوشته شده برای کنترل دور، دورهای 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 کنترلر خوانده شد. شکل ۳- نمودار مقایسه این دو را نشان می دهد.

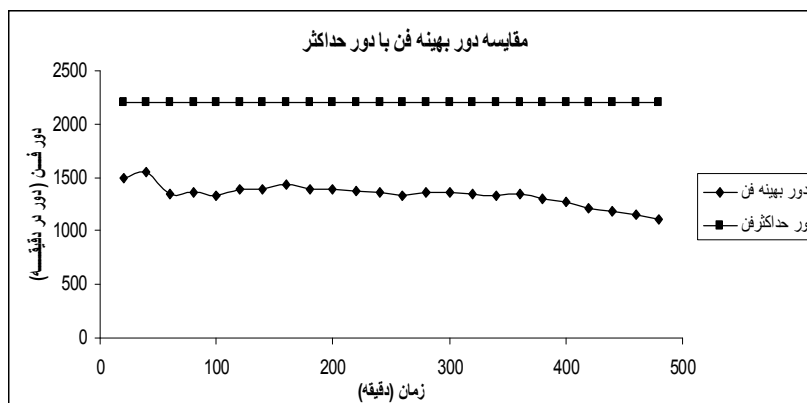


شکل ۳- نمودار مقایسه دور واقعی و اسمی فن

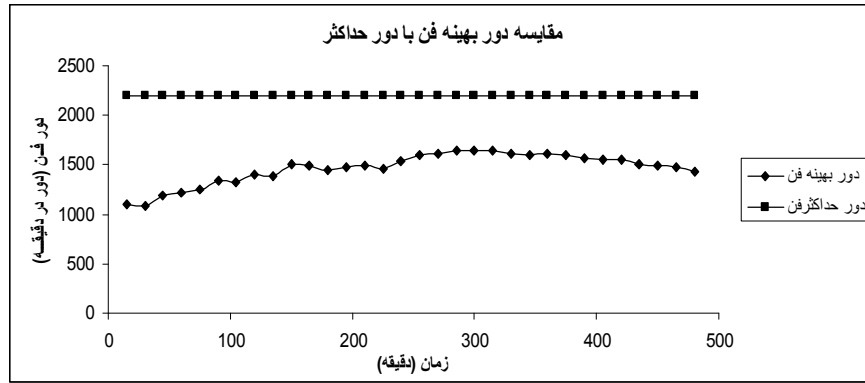
با استفاده از نرم افزار SPSS12 آزمون t-student انجام شد و نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری بین دور اسمی و واقعی فن وجود ندارد. بنابراین در طول آزمایش، سیستم کنترل خودکار قادر است دور فن را دقیقاً به دور محاسبه شده در نرم افزار برساند.

بررسی میزان تغییرات دور فن

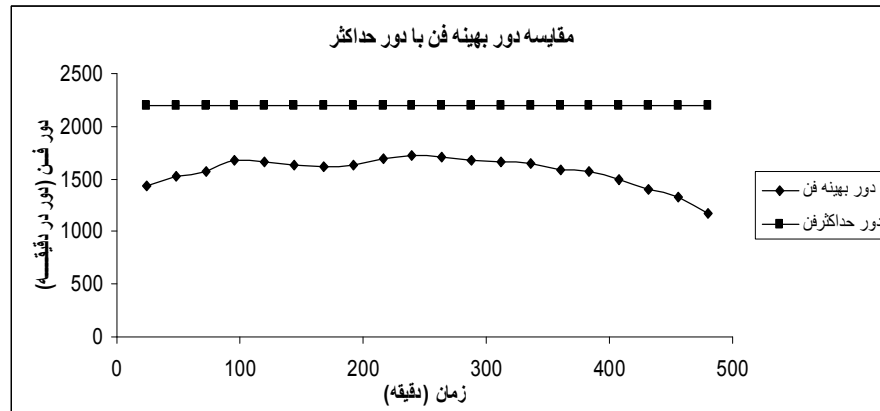
به منظور بررسی سیستم ۳ آزمایش در روزهای متفاوت انجام شد. شکل های ۴ تا ۶ میزان تغییرات دور فن را در آزمایش های مختلف نشان می دهد.



شکل ۴- میزان تغییرات دور فن در آزمایش اول



شکل ۵- میزان تغییرات دور فن در آزمایش دوم



شکل ۶- میزان تغییرات دور فن در آزمایش سوم

نتایج مربوط به شکل های ۴ تا ۶ در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج حاصل از تغییرات دور کنترل شده فن در مقایسه با دور حداکثر (بدون اعمال کنترل)

ردیف	آزمایش	میانگین تغییرات دور کنترل شده به دور حداکثر فن (%)	حداکثر دور کنترلی فن	حداقل دور کنترلی فن	دامنه تغییرات دور کنترل شده فن
------	--------	--	----------------------	---------------------	--------------------------------

۱	اول	۶۱	۱۵۵۶	۱۱۰۷	۴۴۹
۲	دوم	۶۶,۵	۱۶۴۶	۱۰۸۴	۵۶۲
۳	سوم	۷۱,۳	۱۷۱۶	۱۱۷۷	۵۳۹
۴	میانگین	۶۶,۲	۱۶۳۹	۱۱۲۳	۵۱۶

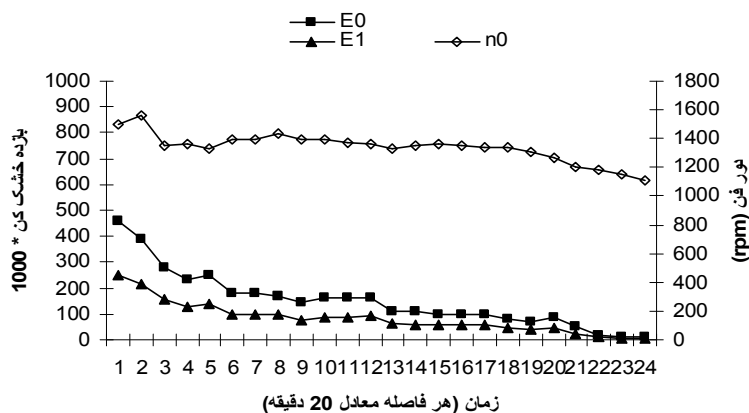
نتایج جدول ۱ نشان می دهد که سیستم کنترل قادر به تامین دور مطلوب با دامنه تغییرات زیاد است که این مسئله بیان گر انعطاف پذیری سیستم در دستیابی به دور مطلوب است. از طرفی در میانگین هر سه آزمایش، فن در ۶۶,۲ درصد از دامنه دور (۲۲۰-۲۲۰۰) خود نوسان می کند و این موضوع نشان می دهد که دور مطلوب در فاصله زیادی نسبت به حداکثر دور فن قرار دارد. کاربرد فن در دامنه کاری کمتر از حداکثر دور آن، موجب کاهش مصرف انرژی الکتریکی و افزایش بازده انرژی سیستم می شود.

مقایسه بازده های فعلی و بهینه خشک کن

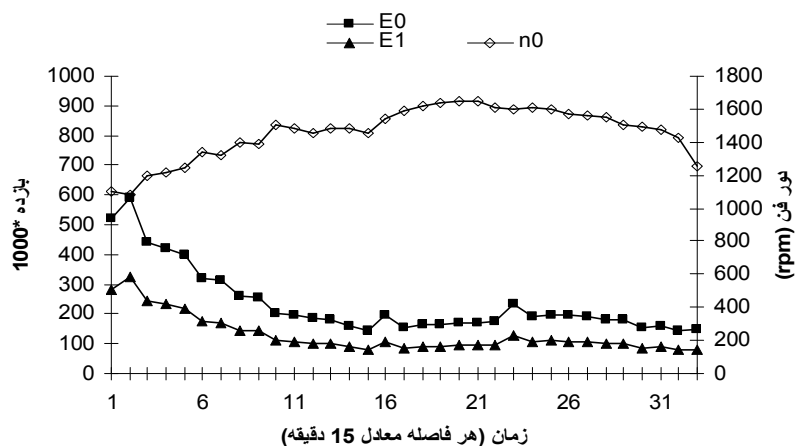
در آزمایشات با ۳ تکرار، محصول نعنای به ارتفاع پنج سانتی متر روی دو سینی خشک کن خورشیدی همرفت اجباری قرار داده شد. سپس کنترل روشن شده، حسگرها در ورودی جمع کننده، خروجی جمع کننده و خروجی محفظه خشک کن قرار داده شد. با تنظیم زمان سنج برنامه، در فواصل یک دقیقه ای میزان مقادیر حسگرها ثبت و مقدار بازده ها محاسبه و اندازه گیری گردید. کلیه آزمایش ها از ساعت ۱۰ صبح تا شش بعد از ظهر انجام شد.

برای مقایسه بازده بهینه و فعلی سیستم، ابتدا با استفاده از برنامه نوشته شده بازده فعلی خشک کن در حالی که فن با حداکثر دوراسمی خود می چرخید و هیچ گونه کنترلی روی آن صورت نمی گرفت، اندازه گیری شد. سپس بازده بهینه محاسبه شده و پس از مقایسه با بازده فعلی، دور بهینه برای حصول بازده بهینه محاسبه شده و این دور به فن اعمال می گردید.

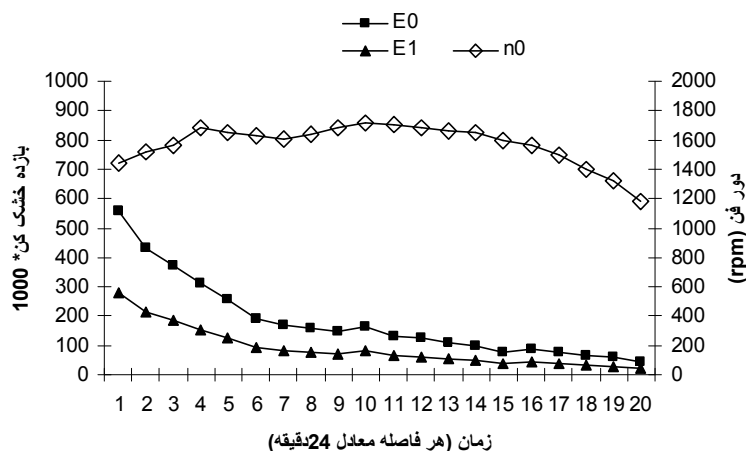
شکل های ۷ تا ۹ میانگین داده های به دست آمده از آزمایش را نشان می دهد. در این نمودارها E_1 بازده فعلی، E_0 بازده بهینه و Π_0 دور بهینه فن است که به ازاء آن بازده بهینه به دست می آید.



شکل ۷- نمودار مقادیر بازده ها و دور کنترلی فن در آزمایش اول



شکل ۸- نمودار مقادیر بازده ها و دور کنترلی در آزمایش دوم



شکل ۹- نمودار مقادیر بازده ها و دور کنترلی در آزمایش سوم

با استفاده از نرم افزار SPSS12 آزمون نمونه های جفتی برای دو بازده انجام شد و نتایج نشان داد که با اطمینان ۹۹٪ بازده بهینه به طور بسیار معنی داری بیشتر از بازده فعلی است.

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 مطلوب و دور تامینی فن وجود ندارد.

ب- نتایج حاصل از شکل های ۷ تا ۹ نشان می دهد که بازده انرژی خشک کن عدد ثابتی نبوده و در ساعات مختلف خشک کردن تغییر می کند. این امر ناشی از تغییر دما در قسمت های مختلف خشک کن و تغییر میزان رطوبت محصول است. در ساعات اولیه آزمایش که رطوبت محصول بالا بوده و میزان تبخیر از سطح محصول زیاد است، بازده انرژی خشک کن بیشتر است. هم چنین 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.

پ- بر اساس نتایج بدست آمده، میانگین دامنه تغییرات دور فن از ۱۱۲۳ تا ۱۶۳۹ دور در دقیقه 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. هم چنین کاربرد فن در دامنه تغییرات ذکر شده علاوه بر 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 ول. انتشارات عطایی، ۱۳۲ صفحه.
- توکلی پور، ح. ۱۳۸۰. خشک کردن مواد غذایی. انتشارات آبیژ. ۱۷۶ صفحه.
- دیانی، م. ۱۳۸۱. مهندسی کنترل. چاپ سوم، موسسه علمی فرهنگی نص. ۹۴۴ صفحه.
- Anonymous. 2005. Data sheet SMT160-30.
- Arjona. R, P. Ollero and F. Vidal. 2005. Automation of an olive waste industrial rotary dryer. *Journal of Food Engineering*. 68 (2): 239-242.
- Courtois. F, M. Abud Archila, C. Bonazzi, J. M. Meot and G. Trystram. 2001. Modeling and control of a mixed- flow rice dryer with emphasis on breakage quality. *Journal of Food Engineering*, 49(4): 303-309.
- 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.
- Nabil M. Abdel - Jabbar, Rami Y. Jumah and M.Q. Al-Haj Ali .2005. State estimation and state feedback control for continuous fluidized bed dryers. *Journal of Food Engineering*, 70(2): 197-203.
- Nybrant, T. G and P. J. S. Regner. 1985. Adaptive control for continuous grain dryers. ASAE Paper No. 85-3011.
- Nybrant . T. G. 1989. Modeling and adaptive control of concurrent - flow dryers. *Computers and Electronics in Agriculture*, 3(3): 243-253.
- Qiang Liu and F.W. Bakker-Arkema. 2001. A Model-predictive controller for grain drying. *Journal of Food engineering*, 49(4): 321-326.
- Soheili mehdizadeh. A, A. Keyhani, K. Abaspour sani and A. Akram. 2006. Design of a forced convection solar dryer for leafy vegetables and evaluation of the solar energy collector performance. *Journal Of Agricultural Engineering Research*. 7(27):147-163.
- Temple.S.J. and A.J.B Van Boxtel. 2000a. Control of fluid bed tea dryer: design of controller and tuning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 26(2): 159-170.
- Temple.S.J. and A.J.B Van Boxtel.2000b. Control of fluid bed tea dryer: controller performance under varying operating conditions.2000. *Computers and Electronic in Agriculture*, 29 (3): 217-231.
- Temple .S.J and A.J.B Van Boxtel.2001. Automatic endpoint determination for batch tea dryers. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78(1): 51-56.
- Wilcke, W. F. G. A. Kranzler, G. J Bern and M. E. Anderson. 1979. Digital electronic corn dryer. ASAE Paper No. 79- 3028.

Continous control of drying process in solar dryer



Abstract

Most effective factors on energy efficiency in a solar dryer change continuously during the drying process. Factors such as absorbed solar insolation by the collector, air flow rate inside the dryer chamber, mass of the product vaporized moisture, air temperature can be addressed. Considering the change of the mentioned parameters, usually the fan speed is set to its highest value. This causes loss in energy and decrease in the dryer efficiency. Therefore, it is necessary to control variables in the drying process and hence, a controller was designed and constructed to be used in a solar dryer. The fan speed was chosen to be the controlled variable. The system monitors the temperature in different points with digital sensors. After receiving the required information the current and optimum efficiencies are calculated. Based on differences between these quantities, the new fan speed is determined. 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. Using SPSS 12.0, paired samples test for controlled and uncontrolled efficiencies with t-student distribution was performed. At the probability level of 1%, significant difference between the two efficiencies was observed.

Keywords: Controller, Fan Speed, Optimum Energy Efficiency, Solar Dryer.