

بررسی و ارزیابی عملکرد دستگاه خشک کن دقیق با قابلیت برنامه‌ریزی

محمد مومنی ارانی^۱، عباس رضایی اصل^{۲*} و عظیم قاسم نژاد^۳

- ۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ۲- عضو هیئت‌علمی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ۳- عضو هیئت‌علمی، گروه باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۸ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۴/۲۶	خشک کن‌ها، از جمله تجهیزات پر کاربرد در پژوهش‌های آزمایشگاهی هستند. قابلیت اعمال سطوح مختلف دما، چه به صورت افزایش دما و چه به صورت کاهش دما، موضوعی است که غالب پژوهشگران خواهان آن هستند. خشک کن ساخته شده مجهز به کانال گردش مداوم هوا، دریچه مخصوص کاهش دما و نیز مدار الکترونیک با قابلیت برنامه‌ریزی به منظور فراهم آوردن سطوح مختلف دما (به صورت افزایش و کاهش) و زمان در قالب یک برنامه مدون است. در ارزیابی دستگاه خشک کن؛ تثبیت دما (پایداری دما) و هم‌دمایی کل محفظه در سه سطح دمای ۶۰، ۸۰ و ۹۰ درجه سلسیوس و همچنین قابلیت برنامه‌ریزی دما و زمان در حالت‌های؛ افزایش دما، کاهش دما و افزایش و کاهش دما به صورت ترکیبی در چهار سطح مختلف، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد: خشک کن ساخته شده، در سطوح مختلف دمایی، به غیر تثبیت دما در نقطه خواسته شده، دما را در کل محفظه، با اختلاف کمتر از 0.5°C تثبیت می‌کند؛ همچنین دستگاه مذکور، به نحو مطلوب، مطابق برنامه‌های اعمال شده در چهار دما و زمان برنامه‌ریزی شده، مقادیر خواسته شده را با نوسان کمتر از 0.5°C تأمین کرد. نتایج مقایسه خشک کن ساخته شده با دیگر مدل‌های معتبر خارجی، نشان داد که کیفیت کارکرد آن در بسیاری از موارد، همانند مدل‌های خارجی و در برخی موارد برتری دارد.
کلمات کلیدی: پایداری، خشک کن، کنترل فازی دما	
* عهده دار مکاتبات Email: arezaeiasl@gau.ac.ir	

مقدمه

از مراحل مهمی است که بر روی کیفیت و کمیت مواد مؤثره و اسانس‌های آن تاثیر به‌سزایی دارد. از آنجایی که در عملیات خشک کردن، مقداری از ترکیب‌های معطر که به سطح برگ گیاهان دارویی آمده‌اند به همراه آب از دست می‌روند، بنابراین در آزمایشگاه‌ها با استفاده از خشک کن‌های آزمایشگاهی و آون‌ها، اثرات سطوح مختلف دما و زمان را بر روی خواص مختلف گیاه طی عملیات خشک کردن مورد بررسی قرار می‌دهند؛

خشک کردن، یکی از مراحل مهم پس از برداشت گیاهان و محصولات کشاورزی است که نقش مهمی در کمیت و کیفیت مواد مؤثره گیاه دارد. هدف از خشک کردن گیاه، کاهش آب تا سطح مشخصی برای کم و متوقف نمودن فعالیت میکروبی است (۲). خشک کردن محصولات کشاورزی، به‌ویژه در گیاهان دارویی، یکی

فراوان انجام داده‌اند؛ همچنین علاوه بر آن، بر روی نوع سیستم کنترلی آن‌های آزمایشگاهی و هوشمند کردن آن تمرکز نموده‌اند. در مدل‌های پیشرفته با تغییراتی در نوع المنت و اتصال بافل در اطراف فن، نحوه ورود هوای گرم به محفظه تغییر یافته و دما به صورت یکنواخت توزیع می‌شود (۷). بررسی اثر اعمال اندازه‌های مختلف دما، چه به صورت افزایشی و چه به صورت کاهش‌ی و یا ترکیبی و کنترل مدت زمان ماندگاری در هر سطح از دما، بر مواد موثره شیمیایی (دارویی) گیاهان، از جمله موضوعات روز است. دستگاه خشک‌کن که بتواند با یک برنامه‌ریزی، دماهای مختلف را در مدت زمان‌های مختلف پیش‌بینی شده تامین کند، مورد توجه این پژوهش قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

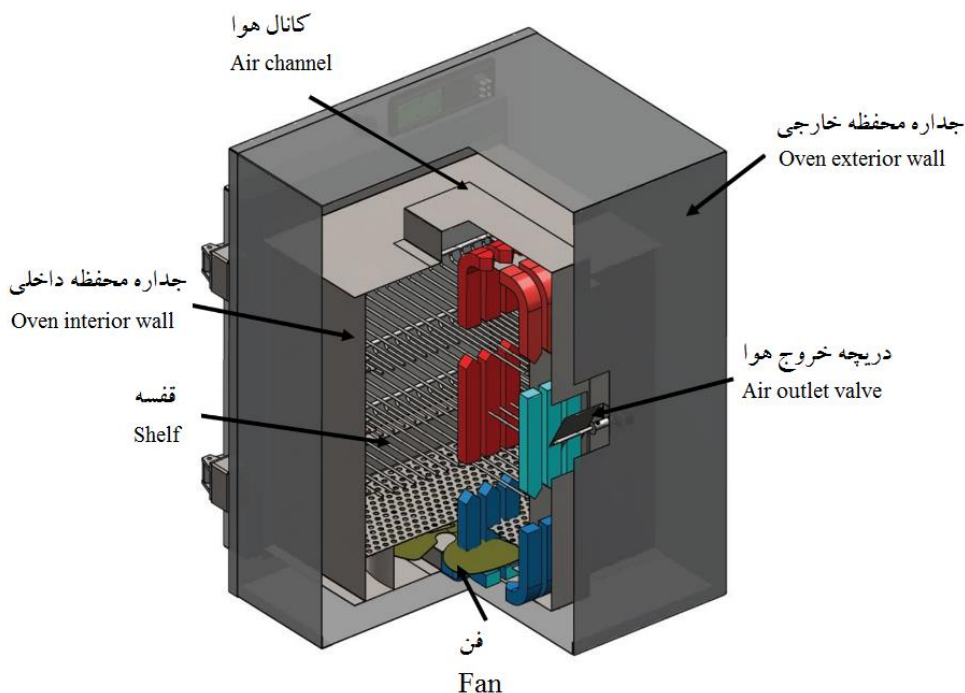
خشک‌کن مورد ارزیابی به کمک نرم‌افزار Solid works طراحی و در کارگاه ساخت و تولید گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه منابع طبیعی و علوم کشاورزی گرگان ساخته شد (شکل ۱). دستگاه مذکور، دارای سیستم کنترل فازی است و دارای سیستم تهویه و فن می‌باشد.

خشک‌کن ساخته شده، دارای دو بخش مکانیکی و الکتریکی است.

بخش مکانیکی

دارای محفظه خارجی به ابعاد $60 \times 50 \times 74$ سانتی‌متر است که به ترتیب ارتفاع، عمق و عرض کار هستند و محفظه داخلی ابعاد $50 \times 35 \times 40$ سانتی‌متر که به ترتیب عرض، عمق، ارتفاع است. دستگاه مذکور با فوم پاششی حرارتی پلی‌اورتان عایق‌بندی شد؛ زیرا آنچه در خشک‌کن‌ها، به خصوص در نوع آزمایشگاهی، اهمیت دارد کمترین میزان هدر رفت گرما از جداره‌ها به بیرون است. استفاده از فوم پلی‌اورتان به خاطر ویژگی‌هایی همچون ضریب هدایت حرارتی بسیار پایین، نسوز بودن و سبک بودن توانست به شکل مناسبی از هدر رفت گرما از محفظه داخلی به بیرون جلوگیری کند.

به‌عنوان مثال اگر گیاهان دارویی، حاوی پلی فنل‌ها در دمای بالای 40 درجه سلسیوس خشک شوند، بخش اعظمی از این ترکیبات تخریب خواهد شد؛ به طوری که محصول خشک‌شده، از استاندارد کارخانه‌های فرآوری خارج می‌گردد. افزایش دما به بیش از 60 درجه سلسیوس باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه سیب می‌شود به طوری که در دمای 80 درجه بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده می‌شود (۵). در فرآیند خشک‌کردن، دمای 40 درجه سلسیوس، کیفی‌ترین حالت از نقطه نظر غلظت اغلب ترکیبات مؤثره در برگ کنگر فرنگی است. با توجه به موارد گفته‌شده، می‌توان گفت که خشک کردن اصولی و دقیق گیاهان دارویی، به منظور کاهش رطوبت، افزایش ماندگاری و افزایش کمی و کیفی مواد مؤثره آن‌ها، امری اجتناب‌ناپذیر است (۳). سیستم کنترل دمای خشک‌کن، باید به گونه‌ای باشد تا بتواند علاوه بر کنترل این تغییرات، زمان خشک‌شدن و مصرف انرژی را نیز کاهش بدهد. امروزه، از الگوریتم‌های کنترلی بسیاری برای کنترل دما استفاده می‌شود که به نسبت حالت قدیمی قطع و وصل بسیار کارآمدتر است. از سامانه‌های کنترلی که امروزه استفاده می‌شود، کنترل فازی و کنترل PID است. کنترل فازی برای کنترل سریع فرآیندهای غیرخطی مناسب و دارای دقت و صحت بالایی است (۸). کنترلرهای PID از رایج‌ترین کنترلرهایی هستند که در دهه اخیر به طور وسیعی استفاده می‌گردد (۶). نتایج تحقیق جداگانه در یک خشک‌کن که از یک الگوریتم کنترل فازی جهت پایداری دما استفاده شد، نشان داد، کنترل دما با استفاده از روش‌های تجربی با مزیت کاربرد قوانین ساده برای مدل‌های ریاضی ساده‌شده سیستم، روش مناسبی است (۱). البته نوع تهویه و قرارگیری المنت‌های حرارتی نیز بر روی سیستم گرمایش و هم‌دمایی محفظه بسیار تأثیرگذار است. بر همین اساس، امروزه شرکت‌های معتبر خارجی، بر روی نحوه قرارگیری المنت و نوع آن، شکل فن و نوع قرارگیری آن و طراحی کانال‌های هوا نیز مطالعات



شکل (۱) اجزای دستگاه ساخته شده
Figure(1) Parts of fabricated Oven

می‌باشد و گرمای ذخیره شده را به محفظه داخلی انتقال می‌دهد (۴).

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

رابطه (۱)

Q: انرژی مبادله شده (J)

m: جرم جسم (kg)

c: ظرفیت گرمایی ویژه جسم ($J \text{ kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

ΔT : اختلاف دما (k)

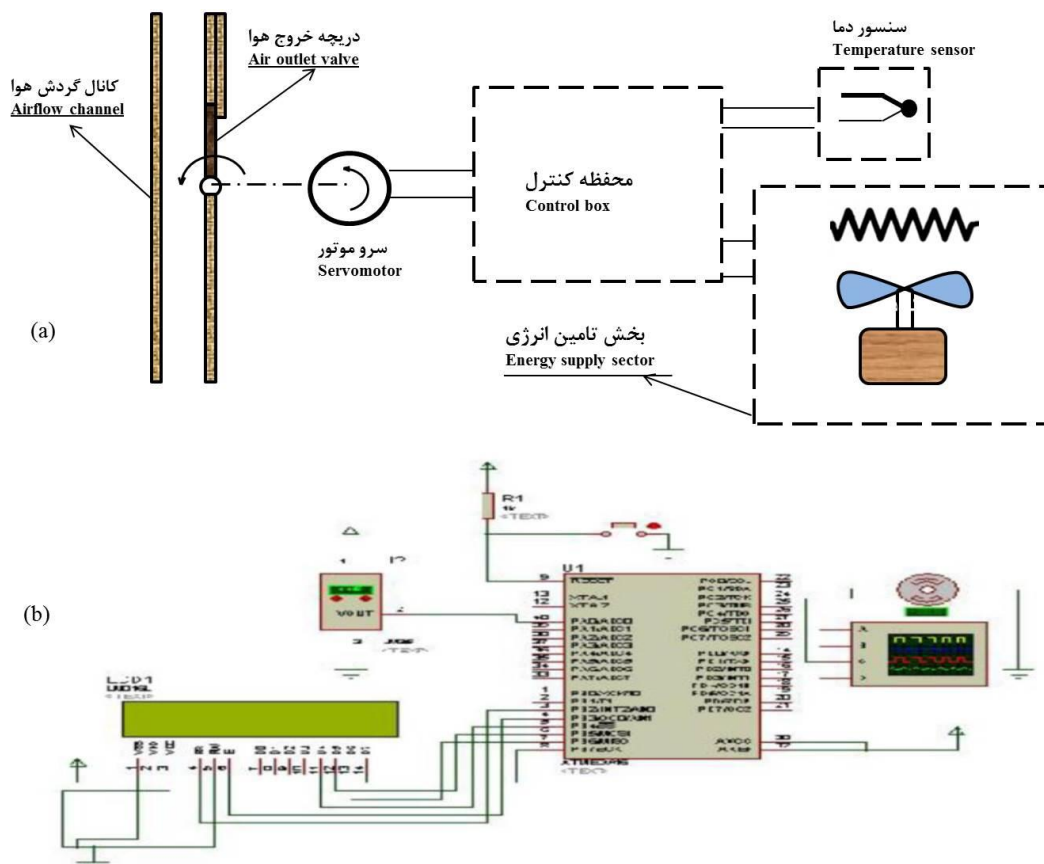
با انتخاب فلز با جرم کمتر در ساخت دستگاه خشک کن، انتقال گرما تا حد امکان کاهش پیدا کرده است. در نتیجه، به محض رسیدن به دمای تنظیم شده، همدمایی صورت گرفته و تمام نقاط هم‌دما می‌شود. شکل ۲ (a) طرح‌واره سیستم کنترل دما در دستگاه خشک کن را نشان می‌دهد.

بخش الکترونیکی و سیستم کنترلی

مدار الکترونیکی با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی پروتئوس^۱ طراحی گردید و بر روی برد پیاده‌سازی شد. قطعه اصلی پردازش اطلاعات و عمل‌کننده الگوریتم کنترل در سیستم کنترلی خشک کن، میکروکنترلر است.

کانال تعبیه شده در این دستگاه به نحوی طراحی و ساخته شد که جریان هوای گرم از طریق یک دریچه که در بالای محفظه قرار دارد وارد کانال می‌شود و در ادامه مسیر، از دریچه دیگری که در پایین محفظه قرار دارد وارد محفظه می‌گردد و این سیکل جریان هوای گرم پی‌درپی تکرار می‌شود. در خشک کن ساخته شده، انرژی گرمایی توسط المنت‌های مقاومتی و جریان هوای گرم، توسط فن و موتور الکتریکی تامین گردید (شکل ۱).

در طول زمان، رسیدن به دمای مد نظر، بین نقاط مختلف دستگاه اختلاف دمایی وجود دارد، چنان‌که دمای نزدیک المنت و جداره داخلی، حدود چند درجه بالاتر از بقیه نقاط داخل محفظه می‌باشد. این اختلاف دمایی، به این دلیل وجود دارد که انرژی ورودی به حجم کنترل (محفظة داخلی) از انرژی خروجی (انرژی هدر رفت) بیشتر است؛ همچنین به دلیل اینکه المنت در حال تولید گرما است، انرژی آن قسمت از سایر قسمت‌ها بیشتر است. از آن‌جا که جداره محفظه داخلی از جنس فلز بوده و طبق رابطه ۱ دارای ظرفیت گرمایی ویژه بالایی



شکل (۲) طرحواره سیستم کنترلی دستگاه خشک کن
Figure(2) Schematic structure of drier control system

برنامه‌ریزی میکروکنترلر، توسط نرم‌افزار C نوشته شد و با نرم‌افزار کدویژن^۱ به میکروکنترلر انتقال داده شد، شکل ۲ (b). چون سیستم‌های قطع و وصلی دقت بالایی در کنترل دما ندارند، از یک سیستم کنترلی حلقه بسته انتگرالی - تناسبی (PI) استفاده شد. در سیستم کنترلی طراحی شده، که شامل سنسور دما، نمایشگر، میکروکنترلر و سروموتور است، دما به وسیله سنسور ۳۵Im اندازه‌گیری شد. خروجی سنسور به وسیله مبدل آنالوگ به دیجیتال داخل میکرو به دیجیتال تبدیل شد. داده تبدیل‌شده به وسیله برنامه کنترل فازی در میکروکنترلر پردازش و سپس با روش میانگین وزن‌دار، خروجی نهایی به صورت پالس‌هایی با عرض پالس متغیر جهت تغییر سرعت موتور متناسب با دما، به

ورودی موتور ارسال شد. استفاده از این سیستم، باعث شد تا بتوان در هر لحظه با مشخص کردن دمای محفظه داخلی و میزان اختلاف با مقدار مورد نظر (دمای تنظیم شده)، توان خروجی متناسب، از المنت‌های حرارتی گرفته شود. در این برنامه کنترلی یک دوره تناوب موج ولتاژ به ۱۰۰ قسمت تقسیم شد و سیگنال‌های خروجی، می‌توانست از کمترین مقدار، یعنی یک‌یک‌صدم یک موج کامل تا یک موج کامل (تمام توان المنت حرارتی) را شامل گردد.

دستگاه خشک‌کن طراحی شده، از لحاظ فنی، با اندازه‌گیری پارامترهای زیر مورد ارزیابی قرار گرفت:

به‌منظور ارزیابی پایداری دما و هم‌دمایی نقاط مختلف دستگاه خشک‌کن، آزمون در سه سطح دمایی ۶۰، ۸۰، ۹۰ درجه سلسیوس انجام گرفت، همچنین

برنامه‌ریزی میکروکنترلر، توسط نرم‌افزار C نوشته شد و با نرم‌افزار کدویژن^۱ به میکروکنترلر انتقال داده شد، شکل ۲ (b). چون سیستم‌های قطع و وصلی دقت بالایی در کنترل دما ندارند، از یک سیستم کنترلی حلقه بسته انتگرالی - تناسبی (PI) استفاده شد. در سیستم کنترلی طراحی شده، که شامل سنسور دما، نمایشگر، میکروکنترلر و سروموتور است، دما به وسیله سنسور ۳۵Im اندازه‌گیری شد. خروجی سنسور به وسیله مبدل آنالوگ به دیجیتال داخل میکرو به دیجیتال تبدیل شد. داده تبدیل‌شده به وسیله برنامه کنترل فازی در میکروکنترلر پردازش و سپس با روش میانگین وزن‌دار، خروجی نهایی به صورت پالس‌هایی با عرض پالس متغیر جهت تغییر سرعت موتور متناسب با دما، به

از رسیدن به دمای تنظیم شده نوسان دمایی وجود ندارد. به علت آنکه دقیقاً به اندازه هدر رفت دما از جداره‌های محفظه، انرژی گرمایی به محفظه اعمال می‌گردد دستگاه ساخته شده قادر است دمای محفظه را در نقطه تنظیم شده ثابت نگه‌دارد. این نتیجه، گزارش (۷ و ۱) را تایید می‌کند؛ همچنین به علت تعبیه فن و گردش مداوم هوا در تمامی محفظه داخلی خشک‌کن، اختلاف دما بین نقاط مختلف خشک‌کن حد قابل قبول است مقدار آن بعد از تثبیت دما به کمتر از نیم درجه سانتی‌گراد می‌رسد (شکل ۴).

نتیجه ارزیابی در بخش هدر رفت انرژی از جداره دستگاه نشان داد که بعد از گذشت حدود ۲۰۰ دقیقه، محفظه داخلی (که در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد بود) با بیرون هم‌دما می‌شود. علت اینکه در ابتدا حدود ۲۰ دقیقه، دمای محفظه تغییری نمی‌کند، می‌تواند ناشی از انرژی گرمایی ذخیره شده در بدنه فلزی محفظه داخلی و همچنین خود المنت‌های خشک‌کن باشد (شکل ۵).

در شکل‌های ۶ و ۸ ارزیابی دستگاه در بخش قابلیت برنامه‌پذیری و نیز خنک‌کاری در کمترین مدت زمان به دماهای پایین‌تر که مهم‌ترین بخش کاری دستگاه است، نشان داده شده است. ابتدا دستگاه را در چند دما و زمان تنظیم کرده به طوری که طبق دمای داده شده از دماهای بالایی شروع می‌شود و به دماهای پایینی می‌رسد. همان‌طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، دما در نقطه تنظیم شده ۹۰ درجه سلسیوس پس از پایداری و اتمام پریود زمانی مختص آن، در مدت زمان کوتاهی به دمای بعدی، یعنی ۴۰ درجه سلسیوس می‌رسد و در این دما به شکل مطلوبی به پایداری می‌رسد.

نتایج حاصل از اختلاف دمایی بین نقاط محفظه در مکان‌هایی که نمونه‌های آزمایشگاهی قرار می‌گیرند، نشان‌دهنده آن است که در حالت پایداری دما، کمتر از ± 0.5 می‌باشد (شکل ۷).

عملکرد سیستم کنترلی دستگاه در قابلیت برنامه‌پذیری در ۴ دما و زمان مختلف به صورت برنامه‌ریزی در

برنامه‌پذیر بودن دستگاه در چهار دما و زمان مختلف به صورت هم‌زمان مورد ارزیابی قرار گرفت، در ارزیابی کنترل سطوح مختلف دما در حالت کاهش دما، ارزیابی دستگاه در ۴ سطح ۹۰، ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درجه سلسیوس و چهار زمان مختلف به ترتیب ۱۰، ۱۰، ۱۰ و ۲۰ دقیقه انجام شد؛ همچنین در روند افزایش دما، از دماهای پایین به بالا، به ترتیب دماهای ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۹۰ درجه سلسیوس انجام شد. در هر کدام از این ارزیابی‌ها، هم‌زمان دمای دو نقطه، ثبت گردید (بخش وسط و بالا) تا هم‌دمایی نقاط مختلف محفظه نیز رصد شود.

مقایسه کارکرد دستگاه خشک‌کن با نمونه‌های خارجی: در این مرحله از پژوهش عملکرد پایداری و هم‌دمایی و نیز زمان رسیدن به دمای مدنظر با دو نمونه دستگاه خشک‌کن آزمایشگاهی (آون) وارداتی مدل‌های ممرت و بندر^۱ که دارای سیستم کنترلی دقیق و دارای تهویه بودند و یک مدل آون ساخت داخل کشور، مورد ارزیابی قرار گرفت. این آزمون در چند دمای مختلف انجام شد چون نمودارها شبیه هم بود در این متن فقط دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد گزارش گردید.

جهت اندازه‌گیری دمای نقاط مختلف خشک‌کن و ثبت مقدار آن از دیتالاگر اندازه‌گیری دما مدل 88598 AZ 4ch KSD Logger که دارای ۴ کانال ورودی بود، استفاده گردید. سنسورها در نقاط مختلف خشک‌کن به ترتیب نزدیک المنت و هوای ورودی، مجاورت جداره‌ها، بخش وسط و بخش بالای خشک‌کن قرار داده شد. این اندازه‌گیری‌ها پس از ثبت، توسط نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ ترسیم شد تا قابلیت دستگاه را نشان دهند.

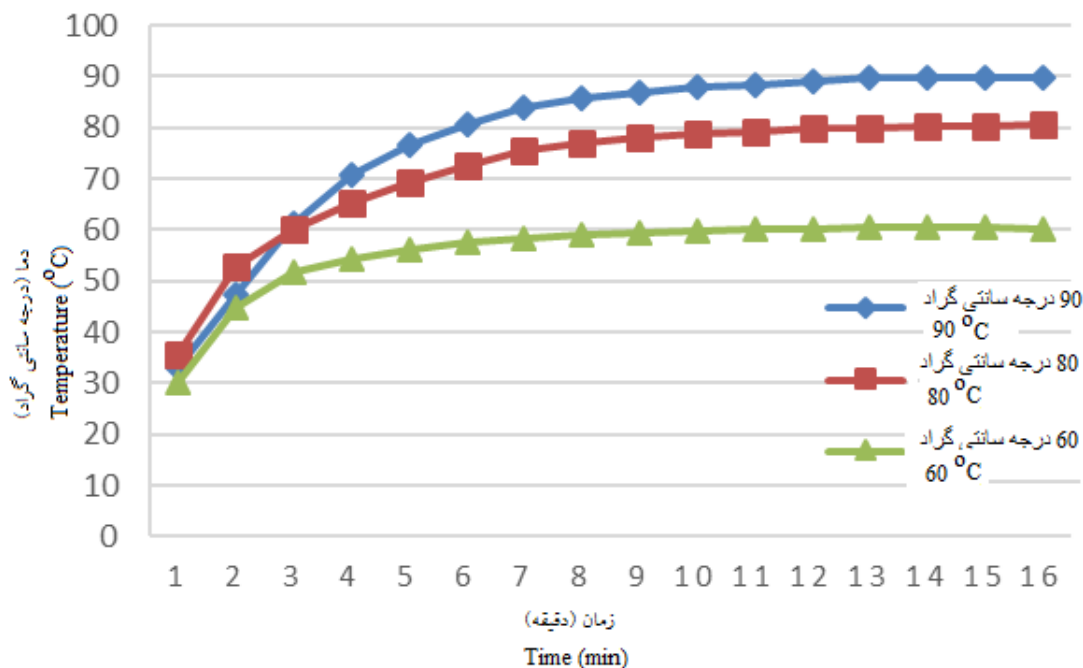
نتایج و بحث

تغییرات دمای محفظه از زمان روشن شدن تا رسیدن به دمای تنظیم شده در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور از شکل مشاهده می‌گردد دمای محفظه پس از مدت کوتاهی به دمای تنظیم شده می‌رسد و همچنین پس

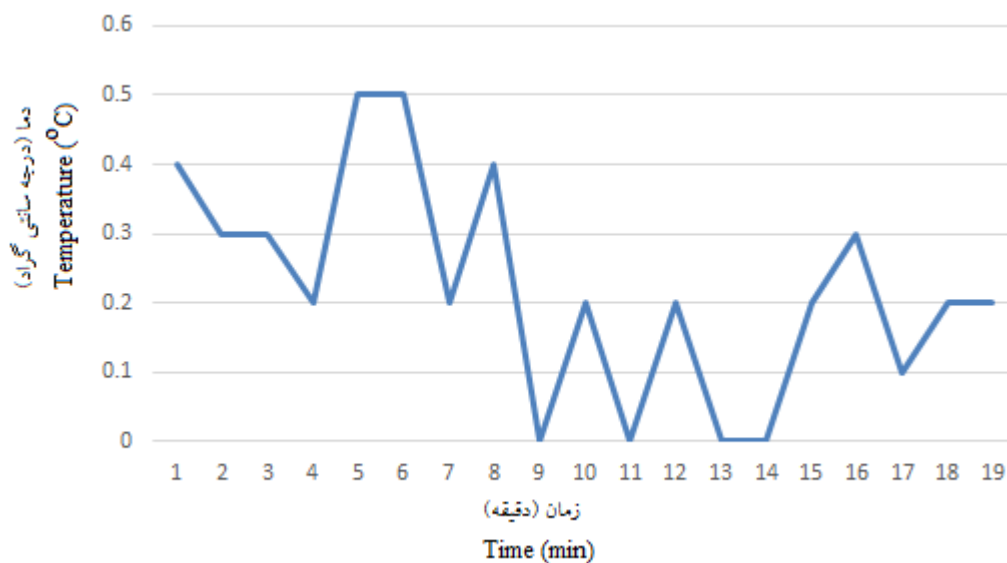
مومن ارانی و همکاران: بررسی و ارزیابی عملکرد دستگاه...

انجام داده و به دمای بعدی می‌رسد. و به همین ترتیب، برای دماهای بعدی مطابق برنامه تدوین شده، کاهش دما صورت گرفت.

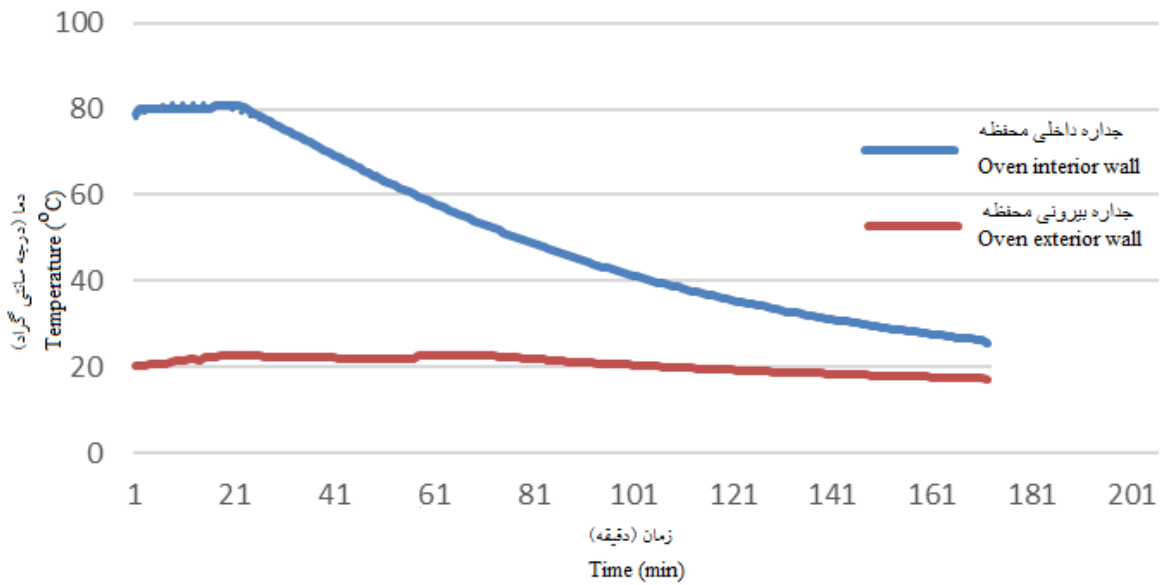
شکل ۹ نیز آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، دستگاه در ۴ دمای مختلف به ترتیب ۹۰، ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درجه سلسیوس تنظیم شد. دمای داخل محفظه پس از رسیدن به ۹۰ درجه سلسیوس و اتمام مدت‌زمان برنامه‌ریزی‌شده، کاهش دما را در کمترین مدت‌زمان



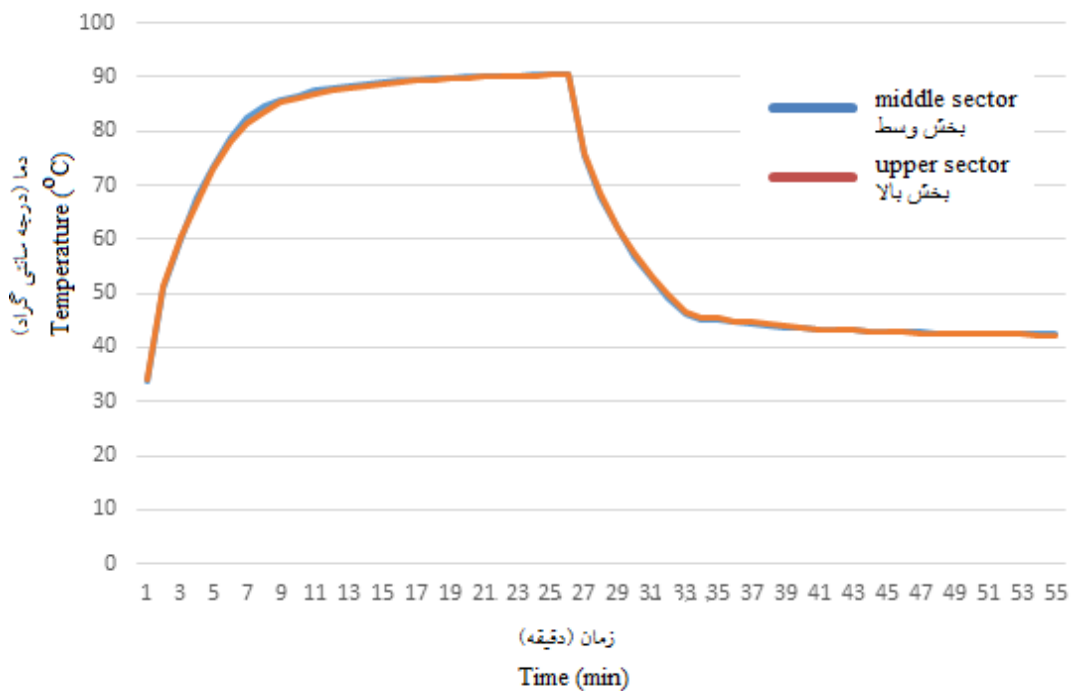
شکل (۳) اختلاف دمایی بین نقطه تنظیم شده و دمای محفظه
Figure (3) The difference between set point and the chamber temperature



شکل (۴) اختلاف دمایی بین نقاط مختلف محفظه
Figure(4) The temperature difference in different locations of chamber

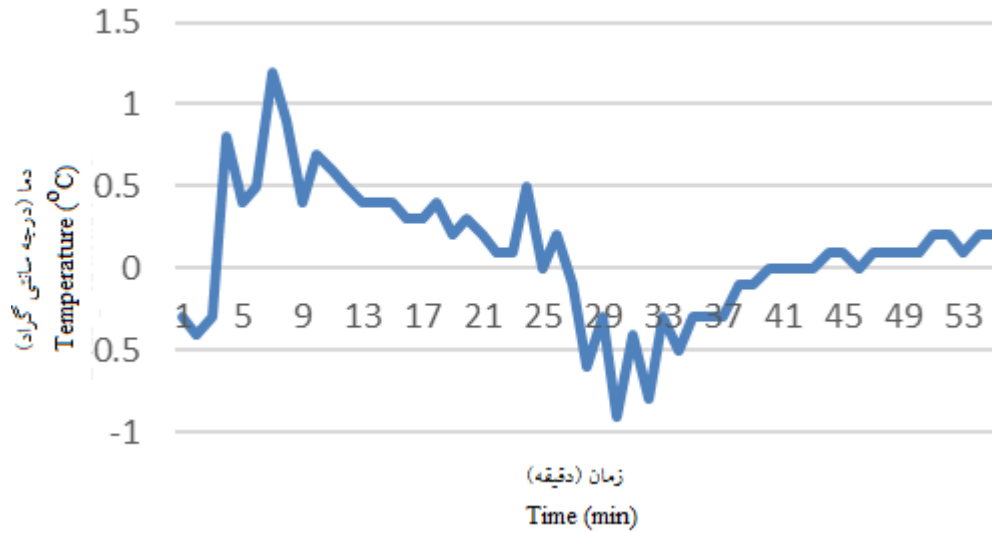


شکل (۵) اختلاف دمای بین جداره محفظه داخلی با جداره بیرونی محفظه خارجی
 Figure(5) The temperature difference between the walls of the inner chamber with the outer chamber

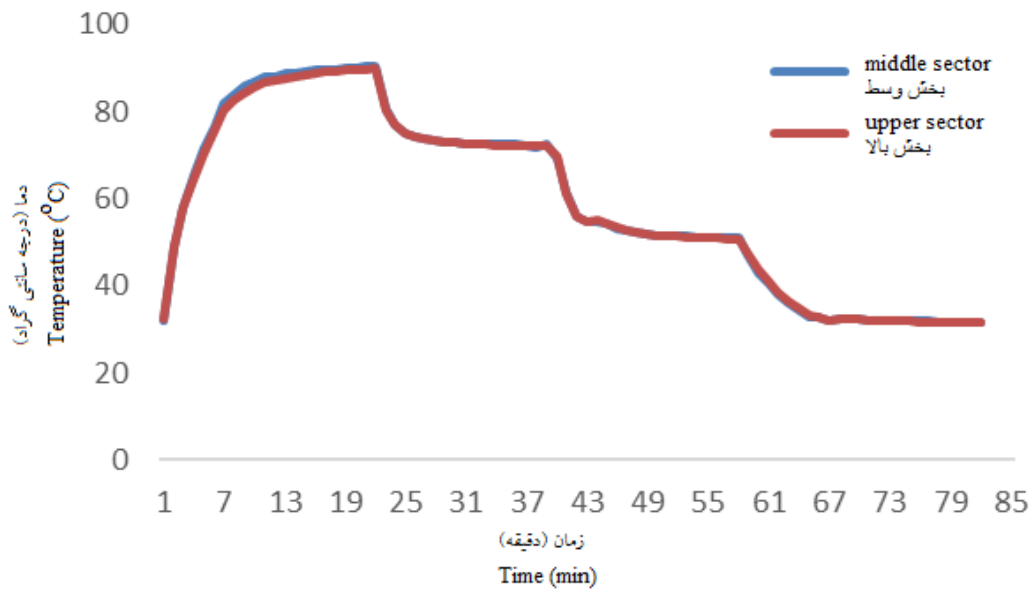


شکل (۶) عملکرد کنترلر سیستم در پایین آمدن دما از دمای ۹۰ درجه به ۴۰ درجه سلسیوس
 Figure(6) Controller performance at decreasing temperature of 90 ° to 40 ° C.

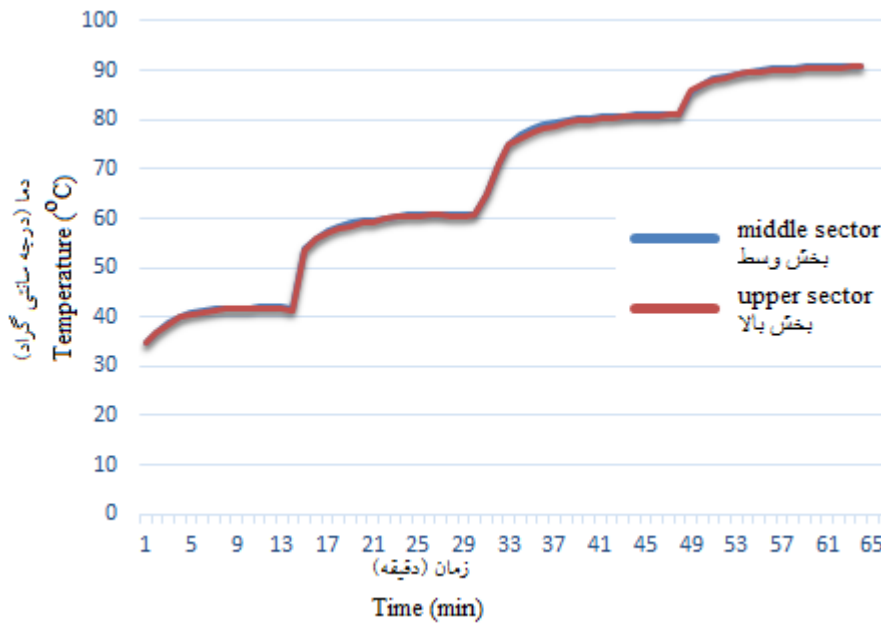
مومن ارانی و همکاران: بررسی و ارزیابی عملکرد دستگاه...



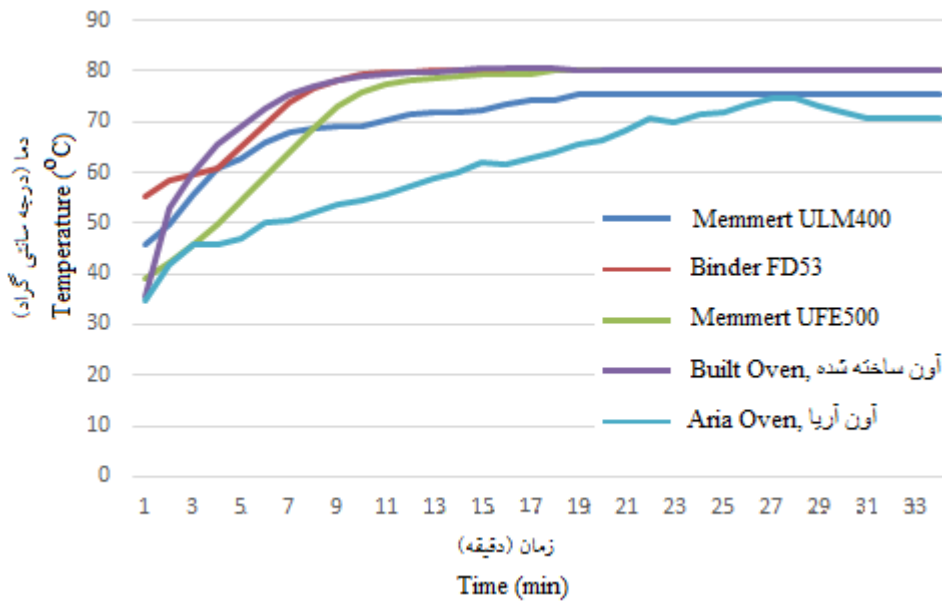
شکل (۷) اختلاف دمایی بین نقاط مختلف محفظه در حالت کاهش دمایی از ۹۰ به ۴۰ درجه سلسیوس
 Figure(7) The difference in temperature between different parts of the chamber in reducing the temperature of 90 to 40 ° C



شکل (۸) عملکرد کنترلر سیستم در برنامه‌ریزی دماهای ۹۰، ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درجه سلسیوس
 Figure(8) Controller performance of the programming system temperatures of 90, 70, 50 & 30 ° C



شکل (۹) عملکرد کنترلر سیستم در برنامه‌ریزی دماهای ۹۰، ۸۰، ۶۰، ۴۰ درجه سلسیوس
 Figure(9) Controller performance of the programming system temperatures of 90, 80, 60 & 40 ° C



شکل (۱۰) پایداری دمای ۵ آون در دمای ۸۰ درجه سلسیوس
 Figure(10) Temperature stability of 5 oven at 80 ° C

بین نقاط بسیار ناچیز بود و به سرعت به محض رسیدن به دمای تنظیم شده به پایداری دمایی رسید. همان‌طور که شکل‌های ۸ و ۹ نشان می‌دهد، هم در کاهش و هم در بالا رفتن، دما در نقاط مختلف خشک-

نتایج حاصل از قابلیت برنامه‌ریزی دستگاه در روند پله‌ای افزایشی دما نیز در شکل ۹ آورده شده است. در روند افزایشی نیز، همانند روند کاهش دما، اختلاف دما

المنت گرم کننده را با توجه به مقدار هدر رفت انرژی حرارتی از جداره محفظه، تعیین و کنترل نماید. شکل ۱۰، همچنین عدم نوسان دمای خشک کن ساخته شده در نقطه تنظیم شده را در مقابل آون موجود ایرانی به خوبی نشان می دهد.

نتیجه گیری

سیستم کنترل فازی استفاده شده در خشک کن ساخته شده، به خوبی توانست کنترل دمای محفظه را مطابق برنامه داده شده انجام دهد. سیستم کنترلی دستگاه، توانست دمای محفظه را در نقطه تنظیم شده، با حداقل نوسانات دما (کمتر از نیم درجه سانتی گراد) کنترل کند. دستگاه ساخته شده به خوبی توانست مطابق برنامه داده شده، کاهش و افزایش دما، به صورت پله ای در چند دمای مختلف با گستره زمانی مشخص انجام دهد. کارکرد خشک کن ساخته شده در مقایسه با دیگر آون ها، نشان داد که می تواند با بهترین نمونه دستگاه های خارجی برابری کند.

کن یکسان بوده است؛ همچنین پس از رسیدن به دمای مد نظر بعدی در حداقل زمان، دما به شکل مطلوبی به حالت پایدار می رسد. با توجه به شکل های بالا، می توان نتیجه گرفت که سیستم، کنترل فازی استفاده شده در این سیستم می تواند با کیفیت مناسبی دما را در حالت پایدار قرار بدهد. نتایج مقایسه عملکرد سیستم کنترلی خشک کن ساخته شده با دیگر خشک کن های آزمایشگاهی موجود در دمای تنظیم شده ۸۰ درجه سلسیوس در شکل ۱۰ آورده شده است. نتایج به دست آمده نشان داد خشک کن ساخته شده در مقایسه با دیگر آون ها به نحو بسیار مطلوبی توانسته است دمای داخل محفظه را در نقطه مورد نظر تثبیت کند. کارکرد خشک کن ساخته شده تنها با آون Memmert UFE500 Binder و FE53 قابل مقایسه است. با این تفاوت که خشک کن ساخته شده با سرعت بالاتری به دمای ست شده رسید. علت کنترل نوسان دما و پایداری مطلوب در دمای خواسته شده را می توان ناشی از نوع سیستم کنترلی دما و نیز طراحی محفظه و کانال عبور هوا دانست که توانسته است به خوبی مقدار انرژی حرارتی ورودی از طریق

منابع

1. Aghili, N., Rafiei. Sh., and Dalvand, M.J. 2115. Clarifying the role of PID controller in temperature stability of a hot air dryer by using simulink tools. The 9th National Congress on Agricultural Machinery Conference. (In Persian).
2. Akpınar, E.K., and Bicer, Y. 2004. Modelling of the drying of eggplants in thin-layers. International Journal of Food Science and Technology, 40(3): 273-281
3. Ghasemnezhad, A., Bagherifard, A., and Asghari, A. 2113. Study on the effect of drying temperature on some phytochemical characteristics of Artichoke (*Cynara scolymus* L.) leaves. Eco-phytochemical Journal of Medical Plants, 1 (3): 10-21. (In Persian with English abstract)
4. Incropera. P.F., Dewitt. P.D. 2113. Introduction to heat transfer. (In Persian)
5. María Elena, H.R., Armando Quintero, R., Alejandro, A.D., John, B., Ricardo Talamás, A., José Vinicio Torres, M., and Erica Salas, M. 2012. Effect of blanching

and drying temperature on polyphenolic compound stability and antioxidant capacity of apple pomace. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6): 2201– 2210.

6. Osornio-Rios, R. A., Romero-Troncoso, R. J., Herrera-Ruiz, G., and Castañeda-Miranda, R. 2009. FPGA Implementation of Higher Degree Polynomial Acceleration Profiles for Peak Jerk Reduction in Servomotors. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25 (2), 379-392.
7. Smolka, j., Nowak, A.J., and Rybarz D. 2010. Improved 3-D temperature uniformity in a laboratory drying oven based on experimentally validated CFD computations. *Journal of Food Engineering*, 97(3): 373–383.
8. Talebbeigi. A., Rostami Monfered. J. 2112. Application of fuzzy logic control algorithm for microcontroller for intelligent temperature control with engine speed change as control process. 1st National Conference on Artificial Intelligent in Electrical and Computer Engineering.