



## طراحی و پیاده‌سازی سامانه کنترل فازی به منظور کنترل دمای خشک‌کن خورشیدی مجهز

### به متمرکزکننده سهوی

علی متولی<sup>۱</sup>، سعید مینایی<sup>۲\*</sup>، علیرضا مهدویان<sup>۳</sup>، احمد بناکار<sup>۴</sup>، برات قبادیان<sup>۵</sup>

۱- دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۴- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۵- استاد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

\*ایمیل نویسنده مسئول: [Miniae@modares.ac.ir](mailto:Miniae@modares.ac.ir)

### چکیده

خشک‌کردن فرآیندی با مصرف انرژی بالا می‌باشد که در مقایسه با سایر فرآیندهای مرتبط با تولید محصول، بیشترین انرژی را مصرف می‌کند. خشک‌کردن گیاهان دارویی بسیار حساس بوده و بکارگیری انرژی مستقیم نور خورشید و دمای بالای خشک‌کردن سبب تخریب مواد موثره گیاه می‌گردد. از آنجا که فرآیند خشک‌کردن بسیار انرژی بر بوده است لذا برای ایجاد دمای ثابت برای فرآیند خشک‌کردن می‌توان از متمرکزکننده‌های خورشیدی برای جمع‌آوری انرژی خورشید بهره جست. در این تحقیق به منظور کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، خشک‌کن خورشیدی مجهز به سامانه متمرکزکننده سهوی خطی همراه با کنترلگر فازی طراحی، ساخته و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از کنترلگر فازی نشان می‌داد که با توجه به قوانین تعریف شده برای سامانه، کنترل دما با دقت بالا و خطای کمی انجام پذیرفته است.

**واژه‌های کلیدی:** خشک‌کردن بابونه، انرژی خورشیدی، سامانه فازی

### مقدمه

نگهداری محصولات کشاورزی تنها روش کاهش از بین رفتن مواد غذایی و گیاهان دارویی است و می‌توان گفت خشک‌کردن بهترین روش برای نگهداری مواد غذایی و محصولات کشاورزی از جمله گیاهان دارویی است که در بسیاری از کشورها نقش مهم خود را نشان داده است. نتایج پژوهش‌ها در مورد خشک‌کن‌های محصولات کشاورزی (غلات) نشان می‌دهد که به طور متوسط حدود ۶۰ درصد کل انرژی مصرفی در فرآیند تولید محصول (کاشت، داشت، برداشت و فرآوری) صرف خشک‌کردن محصولات

می‌گردد. همچنین آمارها نشان می‌دهد که در حدود ۱۰ تا ۱۵٪ انرژی در کشورهای پیشرفته دنیا از جمله کانادا، امریکا، فرانسه و انگلیس و ۲۰ تا ۲۵٪ انرژی در کشورهای دانمارک و آلمان صرف صنعت خشک کردن می‌گردد. برآوردهای جهانی انجام شده نشان می‌دهد که ۸۰٪ از عرضه انرژی اولیه در جهان توسط سوخت‌های فسیلی تامین می‌شود. مصرف انرژی برای خشک کردن محصولات کشاورزی در کشورهای در حال پیشرفت جز اصلی مصرف انرژی جهان است که شامل منابع انرژی تجاری و غیرتجاری می‌باشد. در حال حاضر مصرف انرژی جهان بر پایه‌ی سوخت‌های فسیلی است به طوری که ۷۶ میلیون بشکه نفت روزانه در جهان مصرف می‌گردد و با وجود آگاهی از عواقب مصرف سوخت‌های فسیلی و اثرات آن بر محیط‌زیست، انتظار می‌رود این میزان تا ۱۲۳ میلیون بشکه در سال ۲۰۲۵ افزایش یابد. باید دانست که استفاده از این حجم عظیم سوخت‌های فسیلی در آینده نزدیک مقادیر زیادی از گازهای آلاینده را وارد محیط‌زیست می‌کند که این حجم از آلودگی به علت اثرات گلخانه‌ای گازهای تولیدشده سبب ۳ مشکل بزرگ زیست‌محیطی که عبارتند از باران اسیدی، تخریب لایه ازن و تغییر اقلیم جهانی می‌گردد (Kalogirou, 2004). گذشته از اثرات سو و مخرب استفاده از سوخت‌های فسیلی و تاثیر آن بر ادامه حیات موجودات زنده بر روی کره زمین، محدود بودن منابع سوخت‌های فسیلی از دلایل مهم دیگری است که هنگام ارزیابی میان‌مدت و بلندمدت چشم‌انداز بازار انرژی باید مورد توجه قرار گیرد. هر چند می‌توان در مورد اندازه و ظرفیت منابع سوخت‌های فسیلی موجود حال حاضر بحث کرد، اما همیشه در مورد امکان پاسخگویی به تقاضای انرژی سوخت‌های فسیلی شبهاتی وجود دارد. از این رو واضح است که منابع انرژی جایگزین و تجدید برای پاسخ به تقاضاهای مناسب انرژی در آینده و رشد پایدار انسان مورد نیاز است. از این رو استفاده از انرژی‌های باد، زمین‌شناسی، خورشید و ... بهترین نامزدهای تولید عظیم انرژی هستند.

با توجه مطالب یاد شده، در سال‌های اخیر استفاده از انرژی خورشیدی به علت ارزان بودن، تجدید پذیر بودن، دوست دار محیط‌زیست بودن، پایان ناپذیر بودن، فراوان بودن و .... برای ساخت خشک‌کن‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Akpınar, 2010). خشک‌کن‌های خورشیدی را می‌توان به عنوان گزینه‌ی موثر و مفیدی برای شرایط صنعتی به ویژه در نقاطی که تابش خوب خورشید را در فصول برداشت محصول دارند، به شمار آورد. در شرایط شار خورشیدی بالا می‌توان با استفاده از سامانه‌های متمرکزکننده، انرژی خورشیدی را به انواع دیگر انرژی تبدیل نمود (Fernandez-Garcia et al., 2010). گردآورنده‌های متمرکزکننده دارای مزایای بیشتری نسبت به گردآورنده‌های صفحه تخت متداول می‌باشند که از جمله آنها می‌توان بازده حرارتی بالاتر (سطح کوچکتر و در نتیجه تلفات حرارتی پایین‌تر)، استفاده از سطح کوچکتر و صرفه اقتصادی بالاتر (خلجی اسدی و همکاران، ۱۳۸۹) اشاره کرد. از این رو به کارگیری چنین متمرکزکننده‌هایی سبب جذب بالاتر انرژی خورشیدی در سامانه‌های پرمصرف انرژی از جمله خشک‌کن‌ها می‌گردد.

گیاه دارویی بایوننه دارای ویژگی‌های درمانی فراوانی است که برای نگهداری آن برای طولانی مدت باید رطوبت اضافی را هنگام برداشت از گیاه خارج ساخت تا از کپک‌زدگی، فساد و پوسیدگی آن جلوگیری شود (امیدبگی، ۱۳۸۴). گیاهان دارویی مانند بسیاری از داروها یا ترکیبات شیمیایی به گرما و تابش مستقیم حساس هستند و ناپیوستگی با تابش مستقیم خورشید و حرارت‌های بالا



خشک شوند. دمای بالای خشک کردن و نور مستقیم خورشید سبب اثرات منفی بر میزان اسانس‌ها و تغییرات رنگ در گیاهان دارویی می‌گردد. اگرچه خشک کردن اندام‌های یک گیاه دارویی در دماهای بالا سبب از بین رفتن جمعیت قارچ‌ها و باکتری‌های آنها می‌گردد، ولی باید توجه داشت که افزایش بیش از حد دما، سبب کاهش میزان اسانس می‌شود. به طور کلی دمای مطلوب برای خشک کردن اندام‌هایی از گیاهان دارویی که حاوی اسانس می‌باشند ۳۰ تا ۵۰ درجه سلسیوس قید شده است (امیدیگی، ۱۳۸۴). بنابراین خشک کردن سریع و ثابت نگه داشتن دمای خشک‌کن در گیاهان حساس به دما مانند گیاه دارویی بابونه امری کاملاً ضروری می‌باشد (Martinov et al., 2007).

خشک‌کن‌های صنعتی دارای کیفیت خوبی هستند در حالی که هزینه‌ی زیاد آن‌ها محدودکننده‌ی استفاده از آن‌ها می‌باشد. خشک‌کن‌های عادی با نور خورشید دارای هزینه زیادی نبوده، اما از نظر کیفیتی مطلوب نمی‌باشند. بخاری‌های خورشیدی، دمای بالای هوا با تفاوت و نوسان زیاد را در طول تابش خورشید فراهم می‌کنند در حالی که خشک کردن بسیاری از محصولات کشاورزی در دماهای متعادل و ثابت انجام می‌گیرد که به طور پیوسته در چند روز لازم به خشک کردن دارند. بررسی منابع انجام شده در مورد فرآیند کنترل دما در خشک‌کن‌ها نشان داد که در اکثر این دستگاه‌ها از سامانه کنترل PID برای کنترل دما مورد استفاده قرار گرفته است.

دوسانتوز و همکاران (۲۰۱۰) از سامانه کنترل فازی و کنترلگر PID برای کنترل آنلاین دما و رطوبت هوای خشک‌کن استفاده کردند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که سامانه کنترل فازی با دقت بالاتر و خطای کمتری نسبت به کنترلگر PID قادر به کنترل پارامترهای مورد نظر (دما و رطوبت هوا) می‌باشد (Dos Santos et al., 2010). همچنین در تحقیق دیگری با به‌کارگیری دو سامانه کنترلگر فازی و PID در دستگاه خشک‌کن دما و رطوبت نسبی هوای خشک‌کن را کنترل نمودند. نتایج تحقیق نشان داد که سامانه کنترل فازی نسبت به کنترلگر PID با دقت ۳/۷۱ برابر خطای کمتر دما و ۳/۹۳ برابر خطای کمتر رطوبت نسبی هوا را کنترل می‌نماید (Boeri et al., 2012).

آلوارز لویز و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از سامانه کنترل فازی رطوبت نسبی هوای خشک‌کن را هنگام خشک کردن برگ‌های تنباکو کنترل نمودند. سامانه کنترل شامل ۴۹ قانون فازی بود که با به‌کارگیری این قوانین میزان خطا در سامانه کنترل بسیار کم شده بود.

در تحقیق دیگری در یک خشک‌کن بستر سیال برای خشک کردن برنج از سامانه کنترل فازی استفاده گردید. تعداد قوانین مورد استفاده ۶ قانون فازی بود که می‌توانست دمای هوای خشک‌کردن و میزان بازگردش هوای گرم را تنظیم نماید. نتایج نشان داد که میزان خطای سامانه فازی در حدود ۲/۵٪ بود (Athajariyakul and Leephakpreeda, 2006).

وانگ و همکاران (۲۰۰۱) برای خشک کردن چوب از سامانه کنترل فازی استفاده نمودند که قابلیت وفق پذیری با شرایط محیطی را دارا بود. این سامانه کنترل به دو بخش مهم تقسیم شده بود که بخش اول سامانه کنترل رطوبت و بخش دوم سامانه



کنترل دما در محیط خشک کن بود. نتایج نشان داد که سامانه کنترل فازی هر دو پارامتر را به خوبی و درصد خطای بسیار پایینی کنترل کرد.

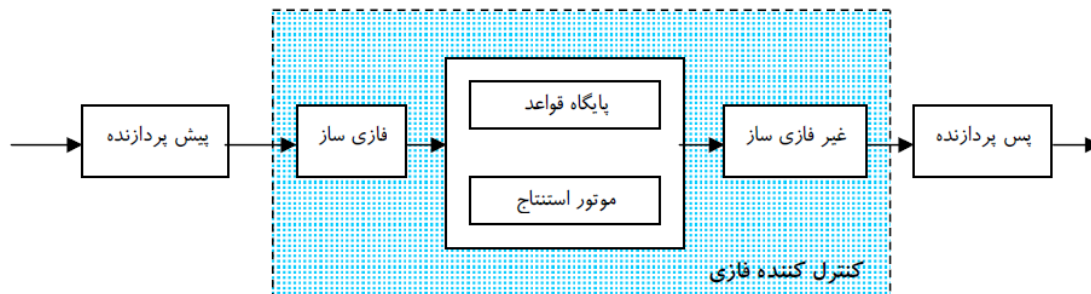
همچنین در تحقیق دیگری با استفاده از سامانه کنترل فازی و به کارگیری ۴۹ قانون در خشک کن جریان ترکیبی غلات، میزان رطوبت نهایی محصول با خطای ۰/۸٪ کنترل گردید. به دلیل تغییرات دما، سرعت جریان هوا و شدت تابش خورشید در طول روز، ثابت نگه داشتن دمای خشک کن نیاز به سامانه کنترل خودکار دارد و کنترل گر فازی به دلیل توانایی هایش برای این منظور مناسب است (Chaturvedi, 2008). از این رو، در تحقیق حاضر مسئله اصلی به کارگیری متمرکز کننده سهموی همراه با کنترل گر فازی است که می تواند دمای ثابت و انرژی لازم در طول فرآیند خشک کردن گیاه دارویی بایونه را فراهم سازد.

به دلیل تغییرات دما در طول روز هنگام استفاده از انرژی خورشید، ثابت نگه داشتن دمای خشک کن نیاز به سامانه کنترل خودکار دارد و کنترل گرهای فازی به دلیل توانایی هایش برای این منظور مناسب می باشد (Chaturvedi, 2012). کنترل فازی برای حل مسائل دنیای واقعی که اندازه گیری ها با عدم دقت همراه است توسعه یافته است. با توجه به توانایی منطق فازی در کنترل متغیرهای مختلف و پیچیده، در این تحقیق کنترل دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن در حضور سامانه گرمایش متمرکز کننده سهموی خورشیدی مد نظر می باشد. از این رو، در پژوهش حاضر مسئله اصلی به کارگیری متمرکز کننده سهموی همراه با کنترل گر فازی است که می تواند دمای ثابت و انرژی لازم در طول فرآیند خشک کردن را فراهم کند.

## مواد و روشها

فرآیند خشک کردن داری عدم قطعیت های فراوانی می باشد به خصوص اگر این عملیات با استفاده از خشک کن های خورشیدی و در فضای آزاد باشد. تغییرات شرایط محیطی در طول روز (شدت تابش، دمای محیط، شدت جریان باد در محیط، ابری یا صاف بودن هوا و ...) سبب اثرات غیرخطی محیطی و تغییرپذیر با زمان بر گردآورده شده و به دنبال آن مشکلات کنترل دما به علت تداخل بسیاری از پارامترها از جمله دمای محیط، سرعت جریان باد و ... سبب ایجاد آشفتگی در مبدل حرارتی می گردد. آشفتگی دمایی در روغن ورودی به مبدل سبب تغییرات دمایی شده و دمای خشک کردن به شدت تحت تاثیر قرار می گیرد. برای دستیابی به دمای ثابت در طول فرآیند خشک کردن و ناچیز نمودن اثرات غیر خطی و غیرقابل پیش بینی شرایط محیطی، از سامانه کنترل فازی برای ثابت نگه داشتن دما استفاده گردید. در این پژوهش بر اساس تغییر شرایط محیطی در طول روز، دمای خشک کن تغییر نمی کند و در دمای تنظیم شده باقی می ماند. اساس تصمیم گیری فازی پایگاه دانش و مجموعه ای از قوانین است که در حقیقت پیاده سازی تجربیات فرد خیره از انجام عمل کنترل و تصمیم گیری به کمک هوش انسانی می باشد. از این رو، به کارگیری سامانه های کنترل فازی (Fuzzy Logic Control) به منظور کنترل فرایندهایی که نیازمند تجربه و هوش انسانی هستند می تواند بسیار مفید باشد. با مجموعه ای از قواعد، کامپیوتر قادر خواهد بود با در نظر گرفتن خطا و مشتق خطا برنامه مربوطه را اجرا کرده و سیگنال کنترلی لازم (خروجی کنترل کننده) را محاسبه کند. این نوع کنترل را می توان شبیه سازی اجرای عمل کنترل توسط اپراتور دانست. یک

اپراتور با زیر نظر گرفتن رفتار سیستم (به عنوان ورودی به اپراتور) و طبق تجربیات و دانسته‌های خود (پایگاه قواعد) یک فرمان کنترلی (خروجی) می‌دهد یا پارامترهای یک کنترل کننده را تنظیم می‌نماید (شکل ۱).



شکل ۱: نمودار روند نما بلوکی ساختار کنترل کننده فازی.

در نخستین گام به منظور طراحی یک سامانه کنترل فازی می‌بایست ورودی‌های سامانه را فازی نمود. مرحله فازی سازی در حقیقت مرحله تعریف مجموعه‌های فازی برای متغیرهای ورودی و خروجی است. برای تعریف این مجموعه‌های فازی، باید دانش اولیه‌ای از دامنه تعریف هر یک از متغیرها در دست باشد. در بیشتر موارد، خطای خروجی یعنی اختلاف بین خروجی فرآیند و سیگنال مبنا و تغییرات یا مشتق آن، ورودی‌های سامانه فازی را تشکیل می‌دهند. بنابراین خطا و تغییرات خطا به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$e(t)=y(t) \quad (۱)$$

$$\Delta e(t)=y(t)-y(t-1) \quad (۲)$$

در این حالت کنترل کننده فازی در مسیر پیشروی یک سیستم کنترلی فیدبک دار قرار می‌گیرد. خروجی فرآیند با ورودی مرجع مقایسه شده و در صورت وجود خطا کنترل کننده یک سیگنال کنترلی مطابق استراتژی کنترلی خود تولید می‌نماید. در این پروژه به طراحی سامانه کنترل فازی که بر اساس پایگاه دانش و قوانین مبتنی بر تجربیات افرادی که گرمایش خورشیدی و سامانه‌های خشک کردن را بکار برده‌اند، پرداخته شده است. همچنین به منظور ایجاد سیگنال کنترلی دمای خروجی هوای خشک‌کن، از سامانه کنترل فازی استفاده شده است. سامانه کنترل فازی در جعبه ابزار کنترل فازی نرم افزار Labview طراحی و اجرا گردید.

### پیش پردازش

ورودی یک کنترل کننده فازی مقادیر قطعی است که توسط وسایل اندازه گیری و حسگرها به دست آمده است. معمولاً این مقادیر نیاز به تغییراتی قبل از ورود به کنترل کننده فازی دارند. این تغییرات توسط بخش پیش پردازنده فراهم آورده می‌شود. وظایف پیش پردازنده‌ها عبارتند از: کوانتیزه کردن همراه با نمونه برداری یا گرد کردن به مقادیر صحیح، نرمالیزه کردن یا مقیاس بندی به یک بازه خاص یا استاندارد، فیلتر کردن به منظور حذف نویز، مشتق گیری و انتگرال گیری.

## ورودی‌ها

در طراحی سامانه‌های فازی توابع عضویت و تعداد متغیرهای ورودی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. تعداد قوانین فازی با تعداد ورودی‌های سامانه همچنین تعداد توابع عضویت هر سامانه رابطه مستقیم دارد به طوری که بیشینه تعداد قوانین فازی با حاصل ضرب تعداد توابع ورودی برابر است. در سامانه خشک‌کن خورشیدی، سه فاکتور به عنوان ورودی‌های سامانه در نظر گرفته شد. این سه فاکتور عبارتند از الف) اختلاف دمای داخل محفظه خشک‌کن با دمای خشک‌کردن ب) دمای روغن خروجی از متمرکز-کننده ج) دمای محیط. سطوح توابع عضویت ورودی‌ها مطابق است با آنچه که در شکل‌های ۲ تا ۴ مشاهده می‌شود. در جداول ۱ تا ۳ کران‌ها و شکل توابع عضویت ورودی‌های سامانه کنترل فازی تعریف شده‌اند.

جدول ۱: جدول تعریف توابع عضویت برای ورودی اختلاف دمای اندازه‌گیری شده و دمای خشک‌کردن.

تابع عضویت	شکل تابع	نقاط مرزی
بسیار سرد	دوزنقه	-۴۵؛ -۱۲؛ -۸
سرد	مثلثی	-۱۰؛ -۵؛ -۰/۵
مطلوب	سیگموئید	۳؛ ۱/۵؛ -۱/۵؛ -۳
گرم	مثلثی	۰/۵؛ ۵؛ ۱۰
بسیار سرد	دوزنقه	۸؛ ۱۴؛ ۳۰؛ ۳۰

جدول ۲: جدول تعریف توابع عضویت برای ورودی دمای روغن.

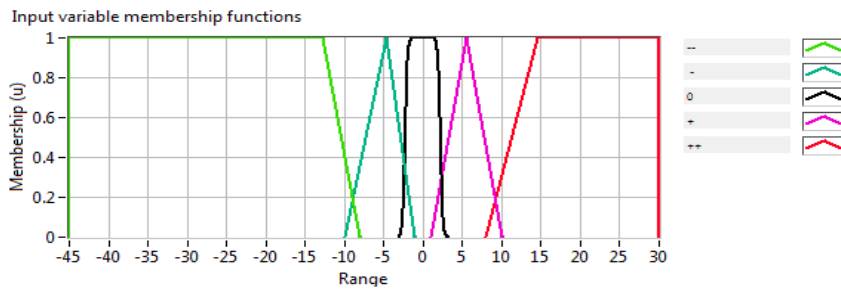
تابع عضویت	شکل تابع	نقاط مرزی
سرد	دوزنقه‌ای	-۴۵؛ -۲۰؛ -۴۵؛ ۰
مطلوب	مثلثی	-۱۰؛ ۰؛ ۱۰
گرم	مثلثی	۵؛ ۱۵؛ ۲۵
بسیار گرم	دوزنقه‌ای	۲۰؛ ۴۰؛ ۷۰؛ ۸۰

جدول ۳: جدول تعریف توابع عضویت برای ورودی دمای محیط

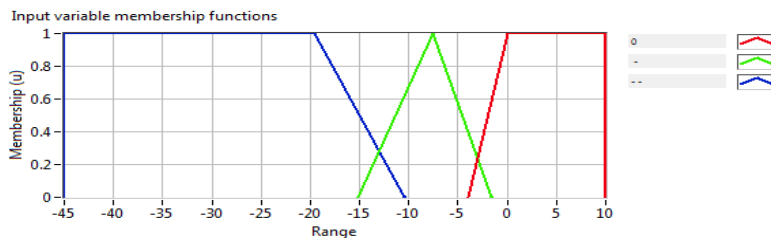
تابع عضویت	شکل تابع	نقاط مرزی
مطلوب	دوزنقه‌ای	-۴؛ ۰؛ ۱۰؛ ۱۰
سرد	مثلثی	-۱۵؛ -۷/۵؛ -۱/۵
بسیار سرد	دوزنقه‌ای	-۴۵؛ -۲۰؛ -۴۵؛ -۱۰

## فازی سازها

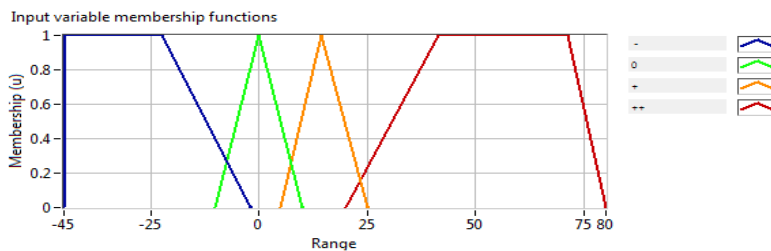
در سامانه طراحی شده برای این پژوهش از فازی سازهای مثلثی و دوزنقه‌ای به کار برده شده است.



شکل ۲: نمودار توابع عضویت تعریف شده برای ورودی اختلاف دمای محیط و خشک کردن.



شکل ۳: نمودار توابع عضویت تعریف شده برای ورودی دمای محیط.



شکل ۴: نمودار توابع عضویت تعریف شده برای ورودی دمای روغن.

## خروجی‌ها

در این پژوهش کنترل دمای هوای خروجی خشک‌کن به عنوان فاکتور اصلی سامانه کنترل در نظر گرفته شد. برای این منظور با تغییر ولتاژ شیر برقی تناسبی و یا قطع و وصل کردن جریان به شیر برقی ON/OFF میزان دبی وارد شده به مبدل حرارتی تنظیم می‌گردد تا دمای خروجی از سطح مبدل و دمای ورودی به محفظه خشک‌کن نزدیک به دمای خشک‌کردن باشد. این فاکتورها (تغییر ولتاژ شیر برقی تناسبی و یا قطع و وصل کردن جریان به شیر برقی ON/OFF) به منظور شبیه سازی دقیق رفتار یک فرد خبره در شرایط متفاوت برای کنترل دما انتخاب گردیده‌اند. ترکیب‌های متفاوتی از این خروجی‌ها در حین کنترل دما به طور تقریبی تمامی شرایط کنترل دما در محیط خشک‌کن را تحت پوشش قرار می‌دهد. با توجه به مطالب یاد شده، توابع عضویت متغیر خروجی در جدول ۴ آورده شده است.

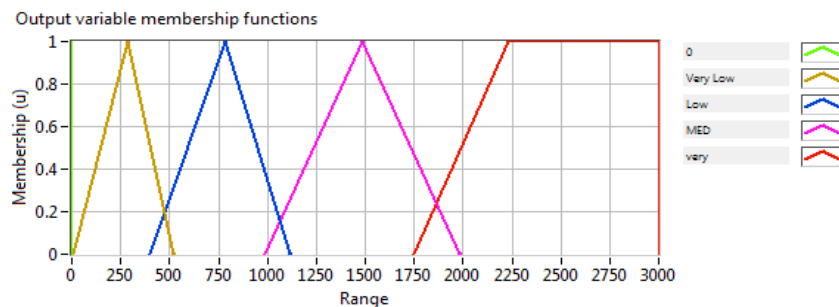
جدول ۴: جدول تعریف توابع عضویت برای خروجی زاویه فرمان‌گیری.



نقاط مرزی	شکل تابع	تابع عضویت
۰	تک مقداری	صفر
۵۵۰؛ ۳۰۰؛ ۵	مثلثی	خیلی کم
۴۰۰؛ ۸۰۰؛ ۱۱۰۰	مثلثی	کم
۱۰۰۰؛ ۱۵۰۰؛ ۲۰۰۰	مثلثی	متوسط
۱۸۰۰؛ ۲۲۰۰؛ ۳۰۰۰؛ ۳۰۰۰	ذوزنقه‌ای	زیاد

### غیرفازی سازها

در میان انواع مختلف غیر فازی سازها در این پژوهش از غیرفازی ساز مرکز سطح استفاده گردید. دلیل بکارگیری روش میانگین مرکز سطح سادگی محاسبات، توجه‌پذیری و پیوستگی آن می‌باشد. غیرفازی ساز از دو قسمت عمده تشکیل می‌شود: یکی مجموعه‌های فازی خروجی و دیگری عملگر مورد استفاده برای استخراج خروجی‌ها. نمودار توابع عضویت برای دبی جریان روغن به منظور کنترل دمای خشک‌کن در شکل ۵ آورده شده است.



شکل ۵: نمودار توابع عضویت برای خروجی دمای خشک‌کن.

### قوانین فازی

پایگاه قوانین فازی مجموعه‌ای از قوانین "اگر-آنگاه" است که میان ضریب تابع عضویت ورودی‌ها و خروجی‌ها و در نتیجه بین متغیرهای ورودی با مقادیر خروجی پیوند برقرار می‌نماید. این قوانین از ترکیب تعداد مجموعه‌های فازی ورودی بدست می‌آید. در پژوهش حاضر توابع ورودی (دمای محیط، دمای روغن و اختلاف دمای کنترل با دمای محفظه خشک‌کن) در تعیین مقدار ولتاژ مناسب ارسالی به شیر برقی برای کنترل دبی روغن از سوی سامانه کنترل فازی موثر هستند. بر این اساس، سامانه در صورت مشاهده روند کاهشی در مقادیر دمای محیط، دمای روغن و اختلاف دمای مطلوب (توابع ورودی) در صدد تأمین انرژی مورد نیاز سیستم برآمده و سبب افزایش آهنگ جریان می‌گردد. شدت تغییرات در جریان سیال عامل وابسته به شدت اختلاف دماهای مذکور با مقادیر مطلوب آن‌ها می‌باشد. همچنین سامانه در صورت مشاهده روند افزایشی در توابع ورودی (افزایش دما) با کاهش آهنگ جریان سیال





از جهش<sup>۱</sup> متغیر کنترلی (دمای خشک‌کن) جلوگیری می‌کند. این قوانین حاصل تجربیات فرد خبره و هوش انسانی در کنترل دمای خشک‌کن می‌باشند که به صورت قوانین اگر-آنگاه تعریف شده‌اند.

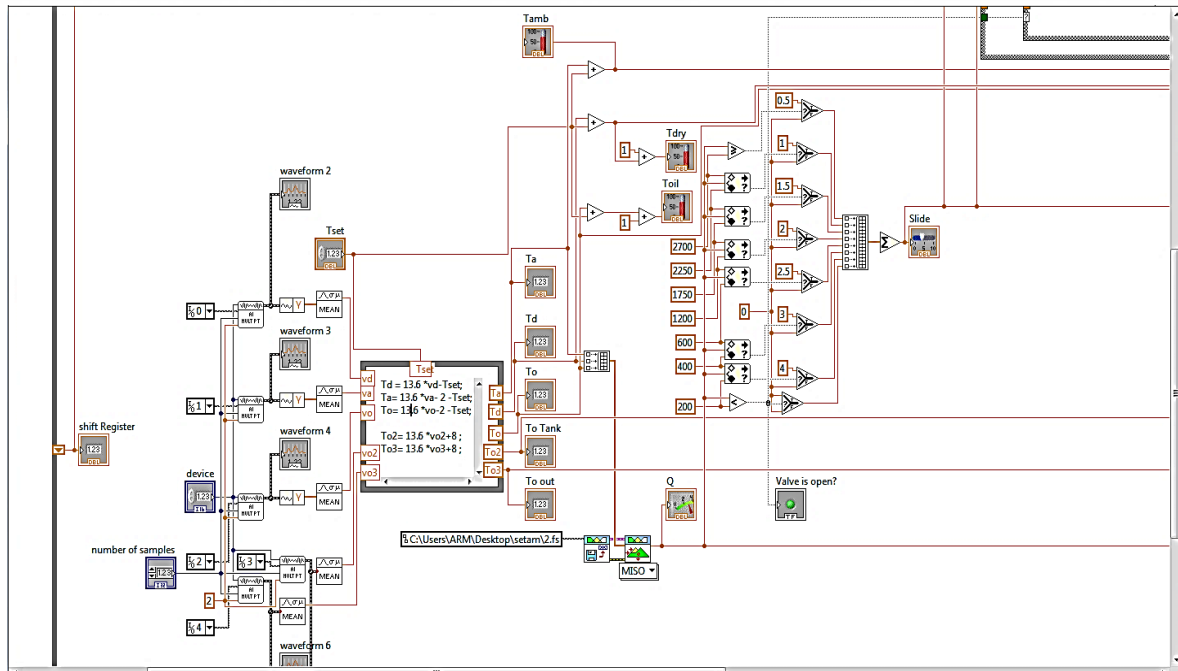
### موتور استنتاج فازی

موتور استنتاج بکار گرفته شده در این پژوهش، مدل پر کاربرد کمینه ممدانی<sup>۲</sup> بود. در این روش استنتاج، ابتدا خروجی هر قاعده با استلزام کمینه ممدانی (عملگر منطقی min) محاسبه شده سپس از عملگر جمع (max) برای استلزام نتایج استفاده می‌شود تا خروجی نهایی تولید گردد. به این ترتیب سامانه کنترل با انجام محاسبات لازم بر اساس ورودی‌های خود که حاصل ورودی‌های اندازه‌گیری شده توسط حسگرهای مختلف می‌باشد مقدار عددی خروجی یعنی تنظیم دمای خشک‌کن را تعیین می‌نماید.

با توجه به مطالب بیان شده، خروجی‌های حسگرها (اختلاف دمای محیط با دمای خشک‌کن، دمای محیط و دمای روغن) وارد بخش تصمیم‌گیری فازی شده و خروجی‌های سامانه فازی (تغییرات دبی روغن) به عنوان سیگنال کنترلی می‌بایست برای اصلاح دمای خشک‌کن به سمت عملگر روانه شود (مدار کنترلی شکل ۶). سامانه کنترل دمای خشک‌کن نیازمند سخت‌افزاری واسط است که ضمن برقراری ارتباط نرم‌افزاری مناسب با رایانه، اخذ دستورات لازم به شکل سیگنال کنترلی آن‌ها را تقویت نموده و به شکل سیگنال الکتریکی قابل استفاده در عملگرها تبدیل نماید. به این منظور از کارت واسط ساخت شرکت Advantech مدل ۴۷۱۶ استفاده گردید. پس از نصب نرم‌افزارهای راه‌انداز درگاه‌های ورودی و خروجی این قطعه آماده ارتباط با رایانه شده و توانایی قرائت و ارسال سیگنال‌های الکتریکی و کنترلی را برای رایانه و نرم‌افزار واسط آن (در این پژوهش Labview) فراهم می‌آورد. ارتباط این کارت با رایانه از طریق کابل USB فراهم شده و سیگنال کنترلی پس از ورود به کارت از طریق درگاه‌های خروجی دیجیتال آماده ارسال به شیرهای کنترل جریان روغن می‌گردند.

<sup>۱</sup> - overshoot

<sup>۲</sup> - Mamdani's minimum fuzzy implication rule



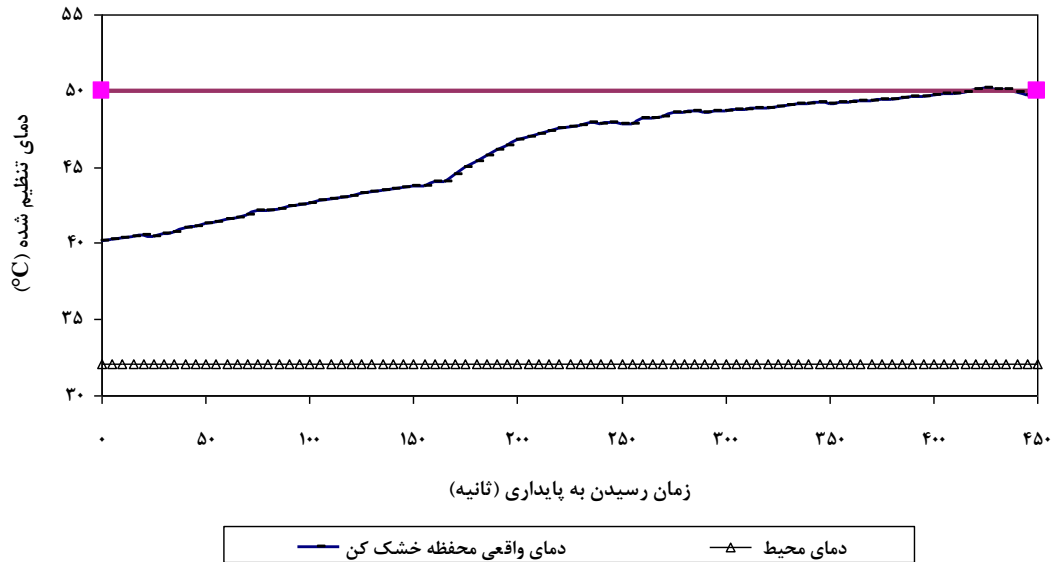
شکل ۶: بخشی از روندنمای سامانه کنترل در نرم افزار Labview.

سیگنال خروجی از این کارت در سطح ولتاژ  $3/3 V$  بوده و جریان آن بسیار اندک می‌باشد. بنابراین توان لازم برای تحریک مستقیم بوبین‌های شیر را ندارد. از این رو با اتصال خروجی کارت به دو سر تحریک یک رله  $3 V$  و اتصال ولتاژ  $220 V$  با جریان کافی به پایه‌های ON رله، سیگنال خروجی کارت امکان این را خواهد داشت تا با تحریک شیرهای کنترل هیدرولیکی، فرمان لازم را اعمال کند.

### نتایج و بحث

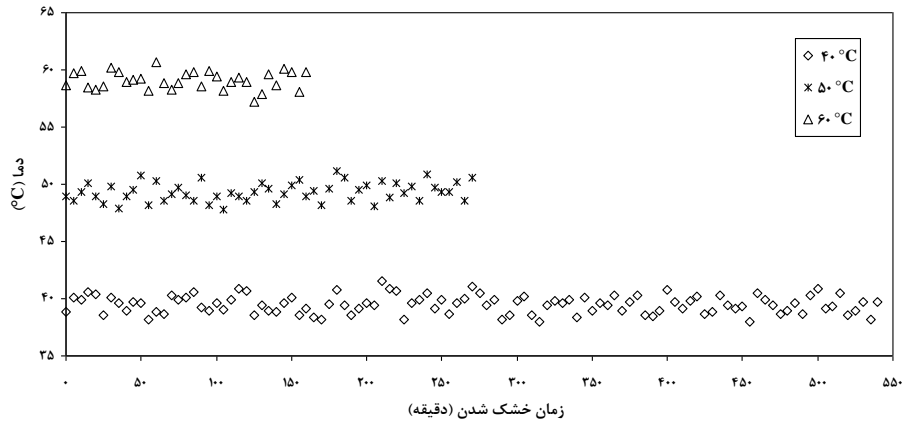
از آنجا که در طول روز دمای محیط، شدت تابش خورشید، سرعت باد و ... متغیر می‌باشد از این رو برای کنترل دمای سامانه خشک‌کن، سامانه کنترل فازی به کار برده شد. شکل ۷ اثر کنترل گر فازی بر تغییرات دمای درون خشک‌کن (دمای واقعی محفظه خشک‌کن) را طی گذشت زمان نشان می‌دهد. تغییرات دما در شکل ۷ بیان‌گر آن است که سامانه فازی از زمان شروع فرآیند، کنترل دما را با دقت بالایی انجام می‌دهد. این سامانه در ابتدای فرآیند به علت بالا بودن اختلاف دمای تنظیم شده با دمای درون محفظه خشک‌کن حجم روغن زیادی را از طریق شیرهای کنترل وارد مبدل حرارتی می‌کند و به دنبال آن دمای محفظه خشک‌کن بالا می‌رود. این کار از طریق سیگنال ارسالی توسط حسگر درون محفظه خشک‌کن و حسگر محیط به سامانه کنترلگر فازی انجام می‌پذیرد. سامانه کنترل فازی با قوانین تعریف شده خود میزان ولتاژ به شیر برقی تناسبی را تنظیم و همچنین برای باز یا بسته بودن شیر قطع/وصل تصمیم‌گیری می‌نماید. با بالا رفتن دمای خشک‌کردن، با توجه به قوانین نگارش شده به آهستگی میزان دبی روغن ورودی به مبدل کاهش می‌یابد. همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد دمای کنترل شده در اطراف خط  $50$  درجه سلسیوس

دچار اندکی Over shoot می‌گردد به طوری که این مقدار بسیار کم بوده و کاملاً مشخص است که سامانه در کنترل دما توانایی بالایی دارد. همچنین در شکل ۷ تغییرات دمای محیط در طول مدت زمان به پایداری رسیدن سامانه نشان داده شده است.

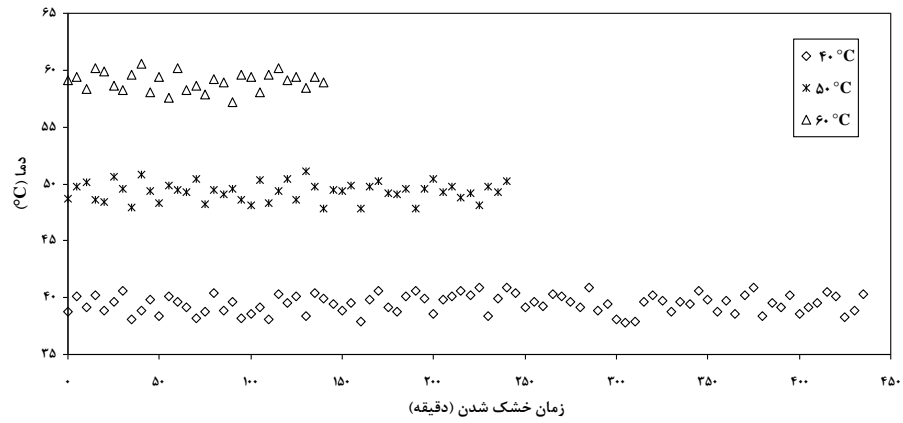


شکل ۷: بررسی ثبات سامانه کنترل دما با گذشت زمان.

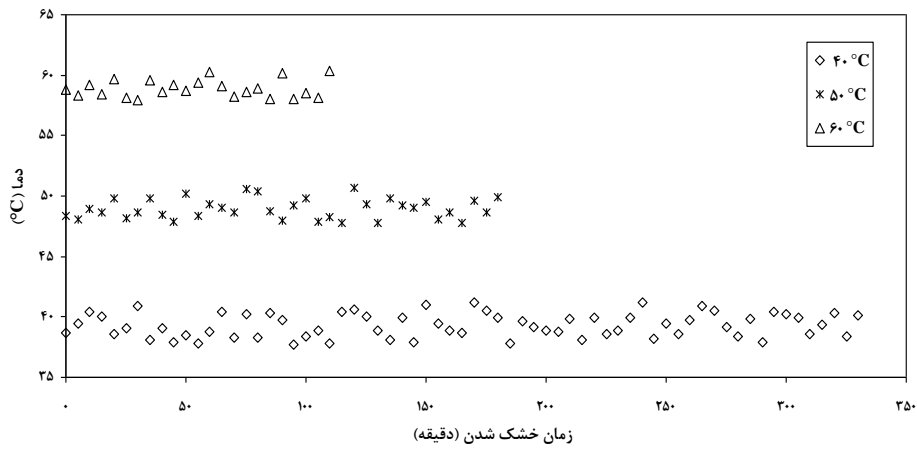
در شکل‌های ۸ تا ۱۰ نتایج حاصل از کنترل دما در تیمارهای مختلف آزمایشی نشان داده شده است. نتایج حاصل از کنترل‌گر فازی نشان می‌دهد که با توجه به قوانین تعریف شده برای سامانه، کنترل دما با دقت بالا و خطای کمی انجام پذیرفته است. البته قابل ذکر است که خطای مورد مشاهده در شکل‌های ۸ تا ۱۰ می‌تواند کمتر شود که در این صورت باید توجه داشت که بازه تعریف شده برای قوانین فازی باید مقدار کمتری می‌گردید. کم شدن این بازه سبب افزایش دقت و کاهش خطا می‌گردد اما در عین حال تعداد دستورهای اعمال شده به شیر برقی (تناسبی) بسیار زیاد می‌شد و احتمال آسیب دیدن این قطعه بسیار بالا می‌رفت. بنابراین با در نظر گرفتن محدوده دمایی معقول، دستور اعمال شده به شیر برقی تنظیم شد و نتایج بدست آمده با محدوده تعریف شده در قوانین فازی بسیار نزدیک می‌باشد. کنترل دمای کوره (فردوسی معینی و یعقوبی، ۱۳۹۱)، کنترل دما در دستگاه‌های صنعتی (Ramanathan, 2014)، کنترل دما و رطوبت در خشک‌کن (Boeri et al., 2011)، کنترل دمای اتاق (Kumar et al., 2013)، کنترل دمای خشک کردن مواد دانه‌ای (Mansor et al., 2010) و کنترل دمای فرآیند خشک‌کردن (Boeri et al., 2013) با استفاده از سامانه کنترل فازی انجام شد و نتایج مشابهی با یافته‌های پژوهش حاضر گزارش شده است.



شکل ۸: تغییرات زمانی دمای محفظه خشک‌کن در سرعت هوای ۴/۰ متر بر ثانیه.



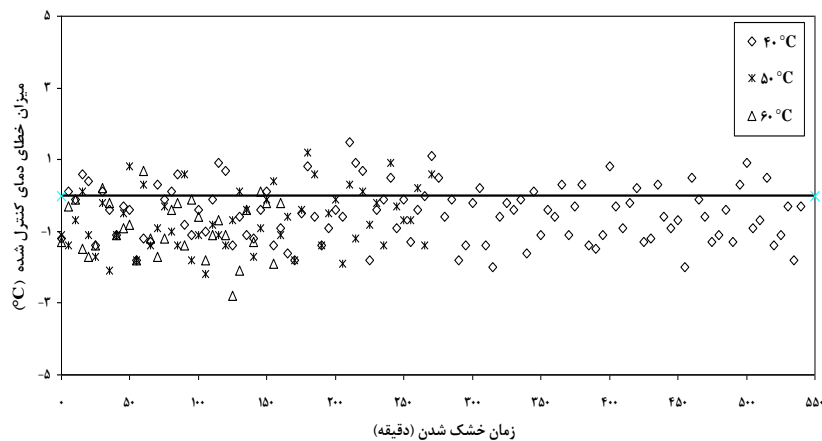
شکل ۹: تغییرات زمانی دمای محفظه خشک‌کن در سرعت هوای ۷/۰ متر بر ثانیه.



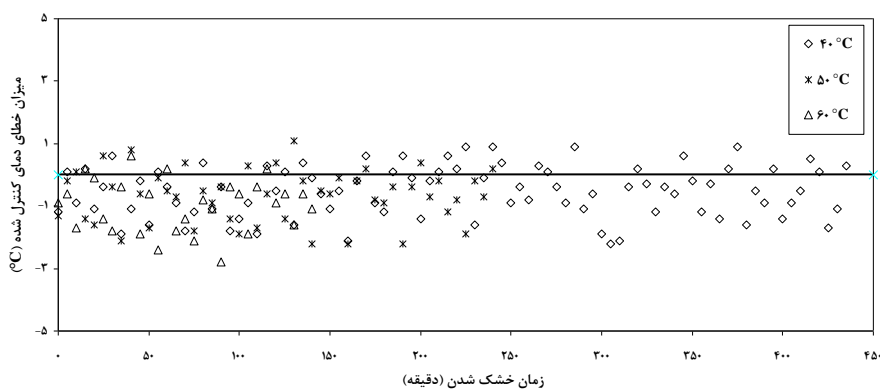
شکل ۱۰: تغییرات زمانی دمای محفظه خشک‌کن در سرعت هوای ۱۰ متر بر ثانیه.

بررسی تغییرات خطای سامانه با دمای تنظیم شده

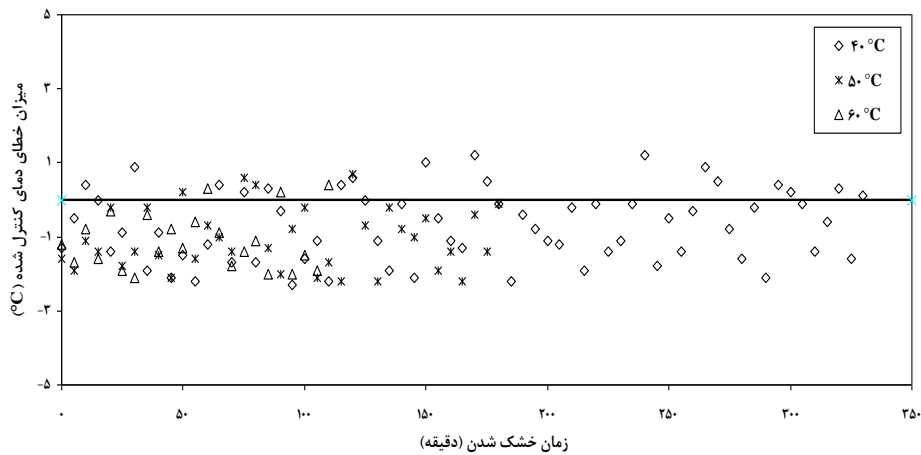
میزان خطای حاصل از بکارگیری سامانه کنترل فازی در طول انجام آزمایش‌ها در سطوح مختلف دما و سرعت هوا، در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ آورده شده است. باید توجه داشت که کنترل دمای سامانه با توجه به شرایط محیطی صورت می‌پذیرد و از آنجا که شرایط محیطی (شدت تابش، دمای محیط، سرعت وزش باد و ...) در اطراف سامانه خشک‌کن در هر لحظه در حال تغییر می‌باشد، می‌توان دید که دمای تنظیم شده توسط سامانه کنترل فازی با میزان خطای کم کنترل شده است. با توجه به شکل‌های مذکور می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش دما و سرعت جریان هوای تنظیم شده، میزان خطا نیز افزایش می‌یابد. دلیل این امر می‌تواند افزایش میزان انرژی خواسته شده از سامانه و به دنبال آن بالا رفتن دبی مورد نیاز روغن گرم ورودی به مبدل حرارتی باشد. با توجه به قوانین بکارگرفته شده، بالا رفتن دبی روغن ورودی به مبدل سبب افزایش انرژی گرمایی خروجی از سامانه خشک‌کن می‌باشد که این امر موجب تغییرات بیشتر در انرژی رسیده به حسگر اصلی واقع در محفظه خشک‌کن می‌گردد. از این رو به نظر می‌رسد که با افزایش دما و سرعت هوا میزان خطا در سامانه کنترل مقداری افزایش یابد.



شکل ۱۱: تغییرات زمانی خطای سامانه کنترل در سرعت هوای  $0.4$  متر بر ثانیه.



شکل ۱۲: تغییرات زمانی خطای سامانه کنترل در سرعت هوای  $0.7$  متر بر ثانیه.



شکل ۱۲: تغییرات زمانی خطای سامانه کنترل در سرعت هوای ۱ متر بر ثانیه.

### نتیجه گیری

در پژوهش حاضر ابتدا سامانه خشک کن خورشیدی مجهز به متمرکزکننده سهموی طراحی و ساخته شد و سامانه کنترل فازی آن به منظور کنترل دما بر روی آن نصب گردید و سپس با استفاده از گیاه دارویی بابونه دستگاه ساخته شده در قسمت کنترل دما مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از کنترلگر فازی نشان داد که با توجه به قوانین تعریف شده برای سامانه، کنترل دما با دقت بالا و خطای کمی انجام پذیرفته است. باید توجه داشت که کنترل دما سامانه با توجه به شرایط تغییرات شرایط محیطی صورت می‌پذیرد و از آنجا که شرایط محیطی (شدت تابش، دمای محیط، سرعت وزش باد و ...) در اطراف سامانه خشک کن در هر لحظه در حال تغییر می‌باشد، لذا می‌توان با نتایج بدست آمده بیان داشت که دمای تنظیم شده توسط سامانه کنترل فازی با میزان خطای کم کنترل گردید.

### منابع

- خلجی اسدی م، ترابیان اصفهانی ف، ریاحی ا. ۱۳۸۹. مهندسی فرایندهای حرارتی خورشیدی، واحد علوم و تحقیقات. امیدویگی، ر. ۱۳۸۴. رهیافتهای تولید و فراوری گیاهان دارویی. جلد اول. انتشارات فکروز. تهران، ایران.
- فردوسی معینی آ، یعقوبی م. ۱۳۹۱. بهینه سازی پارامترهای کنترل کننده PID فازی در کنترل دما کوره های گرمایی. اولین کنفرانس ملی ایده های نو در مهندسی برق. دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان، اصفهان.

Kalogirou S.A. 2004. Solar thermal collectors and applications, Progress in Energy and Combustion Science, 30: 231-295.

- Akpinar E.K. 2010. Drying of mint leaves in a solar dryer and under open sun: modelling, performance analyses. *Energy Conversion and Management*, 51: 2407–18.
- Fernandez-Garcia A., Zarza E., Valenzuela L., Perez M. 2010. Parabolic-trough solar collectors and their applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 1695-1721.
- Martinov, M., Oztekin, S. & Muller, J. (2007). *Medicinal and Aromatic Crops*. CRC Press, United States of America, 320 p.
- Dos Santos M.S., Nicola Boeri C., Augusto Ferreira J., Neto da Silva F. 2010. Nonlinear Fuzzy Tracking Real-time-based Control of Drying Parameters *World Academy of Science. Engineering and Technology*, 4:11-25.
- Boeri C.N., Neto da Silva F.J., Ferreira J.A.F., Soares dos Santos M.P. 2012. Experimental Comparison between Control Schemes for a Drying Process Dynamics, *Advances in Mathematical and Computational Methods*, 2 (1): 55-62.
- Alvarez-Lopez O., Llanes-Santiago J.L. 2005. Verdegay, Drying process of tobacco leaves by using a fuzzy controller, *Fuzzy Sets and Systems*, 150: 493-506.
- Atthajariyakul S., Leephakpreeda T. 2006. Fluidized bed paddy drying in optimal conditions via adaptive fuzzy logic control. *Journal of Food Engineering*, 75: 104-114.
- Wang X.G., Liu W., Gu L., Sun C. J., Gu C. E., De Silva C. W. 2001. Development of an intelligent control system for wood drying processes, *In Proc. AIM*, 371-376.
- Chaturvedi D K. 2012. *Soft Computing: Studies in Computational Intelligence*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Boeri C.N., DaSilva F.N., Ferreira J. 2013. High performance controller for drying processes, *Acta Scientiarum. Technology*, 35 (2): 279-289.
- Boeri C., Neto da Silva F., Ferreira J. Soares M. dos Santos 2011. Optimized operating drying control for temperature, Relative humidity and air velocity parameters by means of Fuzzy logic approach, *European Drying Conference- Euro Drying*, Spain.



Kumar J., Kapoor R., Brijendra, Hemant, Jyoti. 2013. Comparative Analysis of Room Temperature Controller Using Fuzzy Logic and PID. Advance in Electronic and Electric Engineering. 3 (7): 853-858.

Mansor H., Mohd Noor S.B., Raja Ahmad R.K., Taip F.S., Lutfy O.F. 2010. Intelligent control of grain drying process using fuzzy logic controller, Journal of Food, Agriculture and Environment, 8 (2): 145-149.

Ramanathan P. 2014. Fuzzy Logic Controller for Temperature Regulation Process. Middle-East Journal of Scientific Research 20 (11): 1524-1528.