تبیین نقش کنترل کننده PID در افزایش پایداری دما در خشک کن هوای داغ به کمک شبیه سازی نرم افزاری محیط

ناهید عقیلی ناطق[۱*]، شاهین رفیعی[۲] و محمد جعفر دالوند[۱]

۱و۲-به ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران

ایمیل مکاتبه کننده: n.aghili@ut.ac.ir

چکیده

از آنجایی که دما از جمله پارامترهایی می باشد که نسبت به تغییرات محیط دارای اینرسی بالایی می باشد لذا به منظور بهبود عملکرد سامانه های مشتمل بر کنترل شرایط محیطی استفاده از یک الگوریتم کنترلی برای کنترل دما لازم به نظر می رسد. در این تحقیق روش کنترل PID برای افزایش پایداری دمای محفظه خشک کن استفاده شد. با بکارگیری روش زیگلر –نیکولز ضرایب P ,I ,D معادله کنترلی استخراج شد. سپس دو نوع کنترل دو وضعیتی on-off و PID در محیط سیمولینگ نرم افزار متلب شبیه سازی گردیدند و عملکرد سامانه کنترلی در سه دمای ٤٠، ٦٠ و ٨٠ درجه سلسیوس گرفته شد و سپس به منظور تایید عملکرد سامانه در حالت شبیه سازی شده، برنامه کنترل دمای هوا به دو صورت on-off و PID در کنترل کننده منطقی برنامه پذیر پیاده سازی گردید. نتایج نشان داد کنترلر PID قابلیت کنترل دمای خشک کن مورد نظر بصورت قابل قبولی دارد و همچنین ابزار سیمولینک براحتی می تواند جهت شبیه سازی عمل کنترل دما در این خشک کن مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژه‌ها:کنترلر PID، کنترلر دو وضعیتی، سیمولینک، پایداری، دما

مقدمه

خشک کردن یکی از رو ش‌های اصلی در نگه‌داری مواد غذایی می‌باشد. هدف از خشک کردن، کاهش آب تا یک سطح مشخص برای کاهش فعالیت میکروبی است(اکپینار و بیژر، ۲۰۰٤). از دیگر مزایای خشک کردن ماندگاری بالا، فضای انبارداری کمتر و وزن کمترجهت حمل و نقل است(ارتکین و یالدیز، ۲۰۰۵). خشک کردن به روش هوای داغ از قدیمی-ترین روش‌های خشک کردن است. بیش از ۸۵ درصد خشک کن های صنعتی از این نوع می‌باشند. از طرفی در طول

فرایند خشک شدن، محصولات دچار یک سری تغییرات فیزیکی و شیمیایی و تغییرات غذایی می‌شوند که این تغییرات می تواند شامل تغییرات در طعم، قابلیت هضم، مقدار ویتامین C و... می‌باشد. همچنین خشک کردن محصولات کشاورزی یک فرایند بسیار پیچیده ای است که بطور همزمان با انتقال پدیده‌های حرارت و انتقال جرم سر و کار دارد. بنابراین طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم کنترل که بتواند این تغییرات را کنترل نموده و زمان خشک شدن و مصرف انرژی را کاهش دهد لازم به نظر می‌رسد. در خشک کن هوای داغ دما از جمله پارامترهایی می‌باشد که دارای اینرسی تغییر بالایی می باشد لذا به منظور بهبود عملکرد فرایند خشک کردن استفاده از یک الگوریتم کنترلی برای کنترل دما لازم به نظر می رسد.کنترلر PID[1] و کنترلر دو وضعیتی on-off از رایج‌ترین نمونه‌های الگوریتم کنترل دما می‌باشند. هدف از کنترل دو وضعیتی on-off این است که یک کمیت فیزیکی را در یک حد مشخصی نگه داریم یا آن را بر اساس یک مقدار از پیش تعیین شده تغییر دهیم. کنترلر PID الگوریتم کنترل بازخوردی است که هدف از به کار بردن آن در کنترل حلقه بسته، کنترل دقیق و سریع خروجی سیستم تحت شرایط متفاوت و بدون دانستن دقیق رفتار سیستم در پاسخ به ورودی است (بی نام، ۲۰۱٤). PID از سه قسمت مجزا به نام‌های تناسب، انتگرال و مشتق تشکیل شده که هر کدام از آن‌ها سیگنال خطا را به عنوان ورودی گرفته و عملیاتی را روی آن انجام می‌دهند و در نهایت خروجی شان با هم جمع می‌شود. خروجی این مجموعه که همان خروجی PID است برای اصلاح خطا به سیستم فرستاده می‌شود. فرمول استاندارد PID به فرم زیر است:

$$\text{Output(t)} = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau)\, d\tau + T_d \frac{de}{dt} \right) \qquad (۱)$$

کنترلرهای PID از رایجترین کنترلرهایی هستند که در دهه اخیر بطور وسیعی استفاده می شوند (اسورنیو و همکاران، ۲۰۰۹). تقریبا ۹۵ درصد سیستم های کنترل در صنعت دارای کنترلر PID هستند(آگوادو بهر، ۲۰۰۰) و این در حالیست که ۸۵ درصد آنها بصورت حلقه بسته با یک سیگنال ورودی و خروجی شناخته می شوند (لی و همکاران، ۲۰۰٦). دلایل استفاده وسیع از این کنترلرها راحتی نصب، هزینه نگهداری پایین و .. .می‌باشد (سان و همکاران، ۲۰۰٦ ; جوانگ و همکاران، ۲۰۰۸). صرف نظر از عملکرد مناسب همه عناصر در یک سیستم کنترل، عملکرد سیستم کنترل بطور اساسی وابسته به پارامترهای کنترلرمی باشد (کرمانشاچی و سادتی، ۲۰۰۷ ; تان و همکاران، ۲۰۰۷). روش های مختلفی برای تعیین و تنظیم ضرایب PID مورد استفاده قرار می گیرند که مد توان آنها را به دو دسته تجربی و تحلیلی تقسیم کرد. روش های تجربی مانند زیگلر –نیکولز و کوهن–کن (اودویر، ۲۰۰۹) و روشهای تحلیلی مانند پاسخ فرکانس و مکان

[1] proportional–integral–derivative controller

ریشه . اخیرا روش های بهینه سازی مدرن مانند الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کلونی مورچه در تعیین و تنظیم ضرایب کنترلر PID نیز استفاده می گردد(نایس، ۲۰۰٦ ; اوگاتا، ۲۰۰۳).

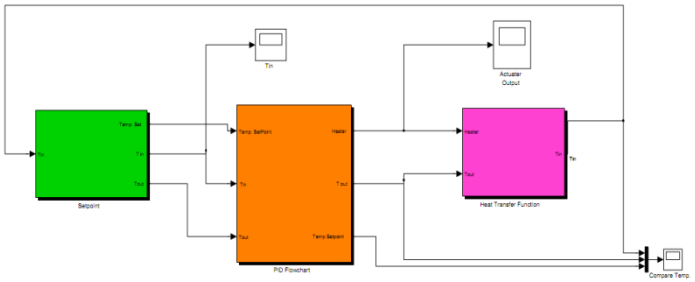
فرایند خشک شدن یک فرایند بسیار پیچیده می‌باشد و پارامترهای زیادی وجود دارند که کیفیت محصول را در طول این فرایند تحت تاثیر خود قرار می‌دهند، از جمله این پارامترهای مهم می توان به دما فرآیند اشاره کرد. کنترل دما با استفاده از روش های تجربی با مزیت کاربرد قوانین ساده برای مدل های ریاضی ساده شده سیستم، روش مناسبی است. بنابراین در این تحقیق جهت تعیین ضرایب PID از روش تجربی زیگلر –نیکولز که در جعبه ابزار PIDTUNE در نرم افزار متلب پیاده سازی شده است، استفاده گردید. این تابع از الگوریتم زیگلر –نیکولز جهت تعیین و تنظیم ضرایب بهینه PID استفاده می نماید. در الگوریتم زیگلر –نیکولز روش کار بصورت زیر می‌باشد :ابتدا بلوک های مشتق گیر و انتگرال گیر از مدار جدا میگردند و در بین بلوک کنترلی مدار تنها بلوک تناسبی قرار میگیرد . حذف دیگر عوامل کنترلی در تئوری به معنی بینهایت فرض کردن Ti و صفر فرض کردن Td میباشد. سپس ورودی پله را اعمال کرده و از مقادیر کوچک Kp شروع کرده تا زمانی که نمودار خروجی نوسانی گردد. در این صورت دوره نوسان را معادل Pu و گین نوسان ساز را Kpu می نامیم بر این اساس ضرایب PID بر طبق جدول زیر خواهد بود (زیگلر و نیکولز، ۱۹٤۲).

جدول۱–فرمول پارامترهای PID در روش زیگلر– نیکولز

	K_p	T_i	T_d
P controller	$0.5K_{p_u}$	∞	0
PI controller	$0.45K_{p_u}$	$\frac{P_u}{1.2}$	0
PID controller	$0.6K_{p_u}$	$\frac{P_u}{2}$	$\frac{P_u}{8} = \frac{T_i}{4}$

مواد و روش ها

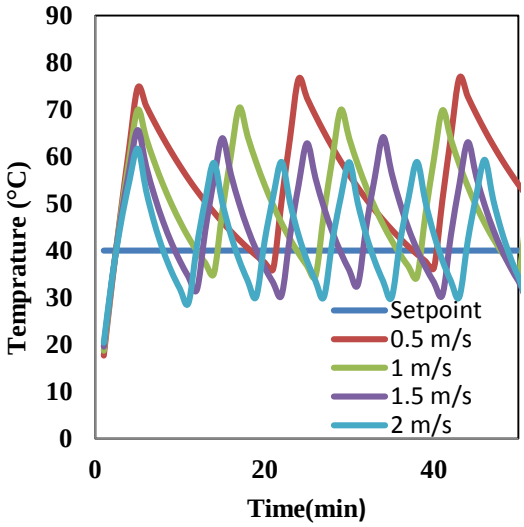
با استفاده از ابزار های شبیه سازی نرم افزار متلب، ابتدا محفظه خشک کن که می بایست دمای آن کنترل شود شبیه سازی شد و سپس به کمک جعبه ابزار PIDTUNE ، ضرایب PID سیستم شبیه سازی شده تعیین گردید. در ادامه به منظور تصدیق مقادیر حاصله، سامانه کنترل دمای داخل محفظه خشک کن در دو نوع کنترل دو وضعیتی on-off و PID پیاده سازی و گردید. بدین منظور ابتدا خشک کن مورد نظر در محیط سیمولینگ نرم افزار متلب شبیه سازی شد (شکل ۱) و در سه دمای ٤۰، ٦۰ و ۸۰ درجه سلسیوس آزمایشاتی جهت گرفتن خروجی توسط این دو سیستم کنترل انجام گردید و سپس برنامه کنترل دمای هوا به دو صورت on-off و PID در کنترل کننده منطقی برنامه پذیر پیاده سازی گردید. در دمای ٦۰ درجه سلسیوس آزمایشاتی جهت ارزیابی سیستم کنترل و مقایسه نتایج با خروجی نرم افزار سیمولینک استفاده گردید.



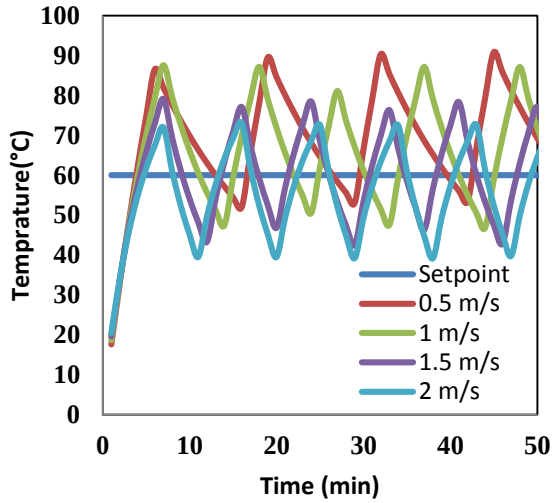
شکل۱-شبیه سازی کنترلر ها در محیط نرم افزار متلب

نتایج و بحث

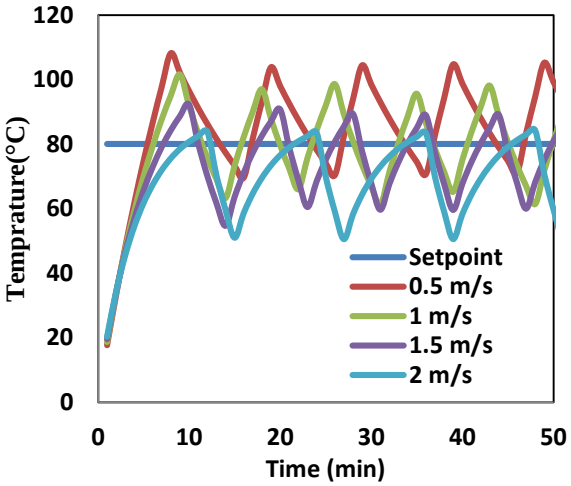
شکل‌های (۲) تا (٤) خروجی‌های سیمولینک برای کنترل دو وضعیتی در سه دمای ٤۰ ، ٦۰ و ۸۰ درجه سلسیوس در جهار سرعت ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ متر بر ثانیه می‌باشند.



شکل۲-عملکرد کنترلر On-Off: در دمای ٤۰ درجه سلسیوس



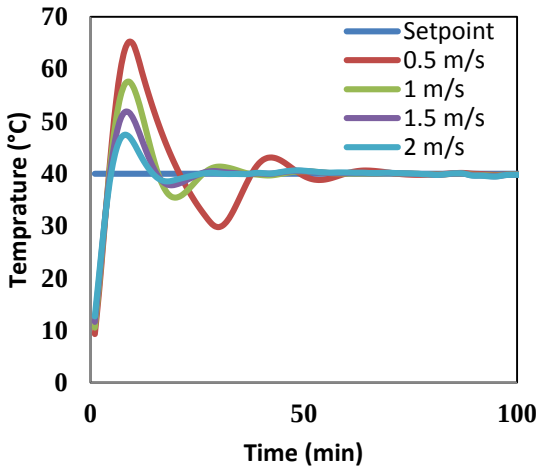
شکل۳- عملکرد کنترلر On-Off در دمای ٦۰ درجه سلسیوس



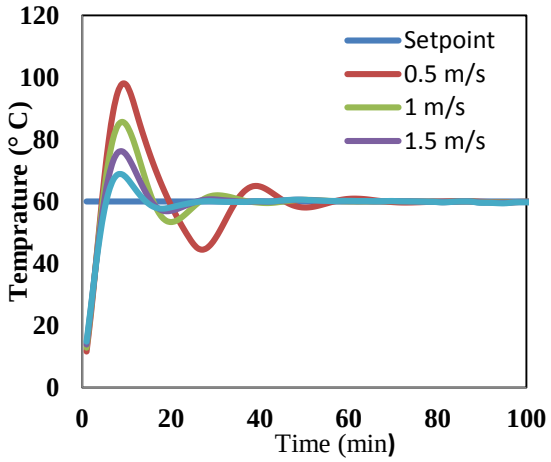
شکل ٤-عملکرد کنترلر On-Off در دمای ۸۰ درجه سلسیوس

همانطور که نمودارهای ذیل نشان می‌دهند در همه دماهای آزمایش سامانه کنترل دو وضعیتی به شکل مطلوبی قابلیت کنترل دما را نداشته و دما همواره در بازه نامطلوبی در حال نوسان می‌باشد نمودار شکل ۲ نسان می دهد که زمانی که دمای مطلوب بر روی ٤۰ درجه تنظیم شده باشد دامنه تغییرات دما به از بالا و ۳۰ درجه از پایین می رسد که این تغییرا ت نمی تواند مطلوب باشد نکته دیگری که از این نمودارها قابل بیان می باشد این است که با افزایش سرعت از ۰,۵ به ۲ متر بر ثانیه دامنه تغییرات دما کاهش محسوسی پیدا می کند که این امر نیز بدیهی می باشد چرا که با افزایش سرعت هوا میزان انرژی خروجی از سامانه افزایش می یابد لذا در زمان که توان گرمکن ها قطع می شود انرژی ذخیره شده آنها

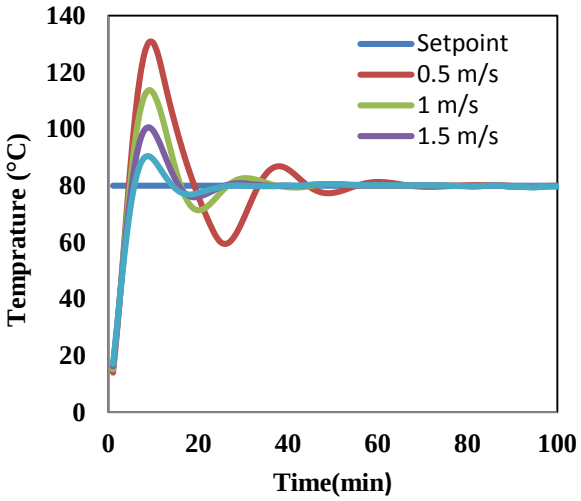
به سرعت به محیط منتقل شده و اجازه افزایش بیشتری به دما داده نمی شود. بررسی نمودارها در دو شکل ۳و ٤ که دمای مطلوب در آنها به ترتیب ٦۰ و ۸۰ درجه می باشد نیز وضعیت مشابهی را نشان می دهد.



شکل۵- عملکرد کنترلر PID در دمای ٤۰ درجه سلسیوس

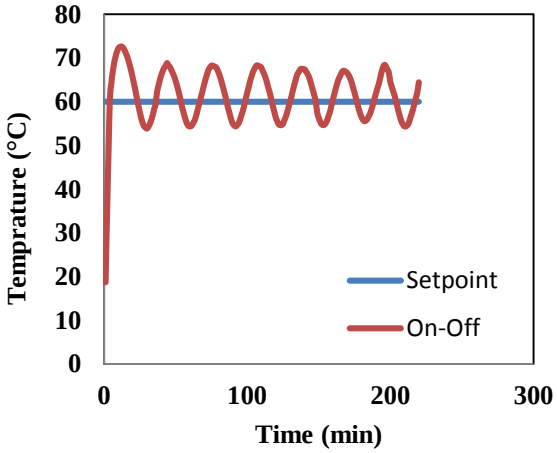


شکل٦-عملکرد کنترلر PID در دمای ٦۰ درجه سلسیوس

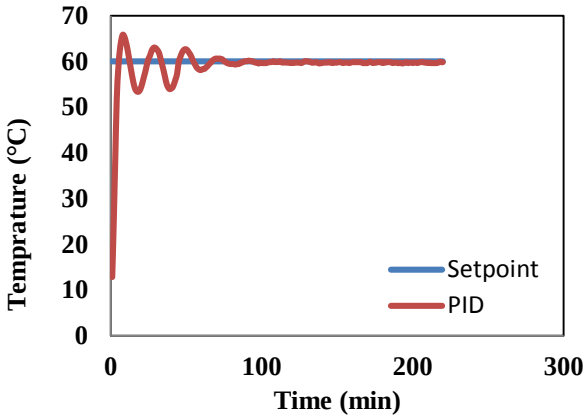


شکل ۷- عملکرد کنترلر PID در دمای ۸۰ درجه سلسیوس

در حالی‌که شکل‌های (۵) تا (۷) خروجی های نرم افزار برای کنترل PID می‌باشند در مقایسه با کنترلر دو وضعیتی، کنترلر PID با کیفیت مناسبتری کنترل دما را انجام می‌دهد و در شرایط پایدار دما در بازه ۱ ± درجه حفظ می‌شود.در ادامه به منظور ارزیابی و مقایسه الگوریتم های کنترلی بر روی سخت افزار پیاده سازی شد و نمودارهای زیر استخراج گردید. همانطور که شکل های (۸) و (۹) نشان می‌دهند، برروی خشک کن نیز سامانه کنترل دو وضعیتی به شکل مطلوبی قابلیت کنترل دما را نداشته این درحالی است که کنترلر PID با کیفیت مناسبتری کنترل دما را انجام می‌دهد. همچنین با توجه به شکل ها می توان نتیجه گرفت برنامه شبیه سازی با کیفیت مناسبی عملکرد دمایی خشک کن را شبیه سازی نمود.



شکل۳-۱۲: تغییرات دمای داخلی در روش کنترل دو وضعیتی



شکل۳-۱۳: تغییرات دمای داخلی در روش کنترل PID

نتیجه گیری

روش تجربی زیگلر- نیکولز بطور مناسبی توانست ضرایب PID سامانه شبیه سازی شده را تعیین کند و و این ضرایب با انجام آزمایشات تجربی نیز مورد تصدیق قرار گرفتند. لذا کنترلر PID قابلیت کنترل دمای خشک کن مورد نظر را بصورت قابل قبولی دارد و همچنین نرم افزار سیمولینک براحتی می تواند جهت شبیه سازی عمل کنترل دما در این خشک کن مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

1. Aguado-Behar, A. 2000. Topics on Identification and Adaptive Control (in Spanish), Book edited by ICIMAF. La Habana, Cuba.
2. Akpinar, E.K. and Bicer, Y. 2004. Modelling of the drying of eggplants in thin-layers. International Journal of Food Science and Technology, 39, 1–9.
3. Anonymous. 2014 .http://en.wikipedia.org/wiki/ PID.
4. Ertekin, C. and O.Yaldiz, 2004. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. Journal of Food Engineering, 63, 349–359.
5. Juang, Y. T. Chang, Y. T. and Huang, C. P. 2008. Design of Fuzzy PID Controllers Using Modified Triangular Membership Functions, Information Sciences: an International Journal, 178 (5), 1325-1333.
6. Kermanshachi, Sh. and Sadati, N. 2007. Genetic Multivariable PID Controller Based on IMC, Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society, NAFIPS '07, pp. 174-177.
7. Li, Y. Ang, K. H. and Chong, G. C. Y. 2006. Patents, Software and Hardware for PID Control: An Overview and Analysis of the Current Art, IEEE Control Systems Magazine, 26 (1), 42 – 54.
8. Nise, N. S. 2006. Control System Engineering, 3rd edition, CECSA, ISBN 0-471-36601-3.

9. O'Dwyer, A. 2009. Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules, 3rd edition, Imperial College Press, ISBN 13 978-1- 84816-242-6.
10. Ogata, K. 2003. Modern Control Engineering, 4th Edition, Pearson Prentice Hall, ISBN 84-205-3678-4.
11. 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.
12. Sun, L. Mei, T. Yao, Y. Cai, L. and Meng, M. Q. H. 2006. PID Controller Based Adaptive GA and Neural Networks. Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, WCICA, Dalian, China, 2, pp. 6564-6568.
13. Tan, G. Jiang, B. and Yang, L. 2007. A Novel Immune Genetic Algorithm-Based PID Controller Design and its Application to CIP-Intelligent Leg, IEEE Computer Society. 3rd International Conference on Natural Computation, ICNC, pp. 282-286.
14. Ziegler J. G. and Nichols, N. B. 1942. Optimum Settings for Automatic Controllers, Trans. ASME, Vol. 64, 759-768.

Clarifying the role of PID controller in temperature stability of a hot air dryer by using simulink tools.

Abstract

Since the temperature has high inertia than changes in the environment. In order to improvement the performance of control systems using a controlling algorithm to control the temperature is essential. In this study PID controller for sustainability of temperature of dryer was used. With using Ziegler-Nichols method coefficients of P,I and D were determined. Then PID and on-off controllers in simulation of Matlab software was simulate and performance of controller at 40, 60 and 80 °C. Result showed PID controller can control temperature of dryer as well.

Key words: dryer, PID controller, on-off controller, simulation, temperature.