

کنترل تطبیق پذیر یک سیستم تهویه مطبوع با استفاده از یک کنترلر فازی دو لایه

مجید معاونیان^۱، پوریا نعیمی امینی^۲^۱ استادیار، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک، majidmoaven@yahoo.com^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک، poorianaemi@gmail.com

چکیده

سیستمهای تهویه مطبوع با وجود پیچیدگی و عدم قطعیت می بایست شرایط حرارتی مطلوب را در یک ساختمان تأمین کنند. در این سیستمها کنترلر می بایست قابلیت تطبیق با تغییرات پارامترهای محیطی را داشته باشد. در بیشتر سیستمهای تهویه مطبوع امروزی از کنترلرهای روشن/خاموش و یا در انواع پیشرفته تر از کنترلر PID استفاده می شود که با توجه به شرایط محیطی متفاوت علاوه بر بهینه نبودن، قادر به تأمین شرایط مطلوب محیطی نیز نمی باشند. از طرفی با توجه به پیچیدگی سیستمهای تهویه مطبوع میزان سازی این کنترلرها دشوار و زمانبر می باشد. در این پژوهش یک کنترلر فازی به این منظور بکار گرفته شده که شامل یک لایه کنترل فازی ممدانی جهت بررسی تغییرات متغیرهای کنترلی و یک لایه کنترلر سوگینو جهت خطی سازی فازی ضرایب بهره می باشد. کنترلر پیشنهادی در محیط سیمولینک بر روی مدل فضای حالت یک سیستم تهویه مطبوع یک منطقه ای پیاده شده و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفته است. کنترلر ارائه شده با توجه به ویژگیهای غیرخطی و تغییرات متغیرها دارای پاسخ مناسبی می باشد.

کلمات کلیدی: کنترل تطبیق پذیر، تهویه مطبوع، کنترلر فازی دو لایه، کنترلر فازی سوگینو.

مقدمه

سیستمهای تهویه مطبوع نیازمند کنترل متغیرهای محیطی مثل فشار، دما، رطوبت و غیره می باشند. کنترلرهای رایج مورد استفاده در سیستمهای تهویه مطبوع از نوع روشن/خاموش می باشند که علاوه بر بهینه نبودن، شرایط مطلوب محیطی را نیز فراهم نمی کنند. کنترلرهای تناسبی-انتگرالی-مشتقی (PID) نیز به دلیل سادگی ساختار، استفاده آسان، پایداری مناسب، قابلیت اطمینان بالا و خطای صفر حالت پایدار در سیستمهای تهویه مطبوع مورد استفاده قرار می گیرند. اما فرآیند میزان سازی یک سیستم تهویه مطبوع به منظور جستجوی حالت مناسب کنترلر PID ممکن است تا چند روز زمان ببرد. این شرایط در زمانی که نیاز به میزان سازی مجدد می باشد بخصوص هنگامیکه سیستم تهویه مطبوع بزرگ باشد، بسیار مشکلتر می شود [۱ و ۲].

بسیاری از حلقه های کنترلی در عمل به دلیل عدم شناخت کافی مهندسان کنترل از فرآیند این سیستمها به درستی تنظیم

نمی شوند. این عدم تنظیم بهینه باعث افزایش مصرف انرژی و در عین حال عملکرد نامناسب سیستم در شرایط مختلف شده و در نتیجه علاوه بر بهینه نبودن، شرایط مطلوب محیطی را نیز فراهم نمی کنند. این مسئله در مواردی که نیاز به نگهداری یک محیط در شرایط خاص (مثل موزه ها و اتاقهای استریل) می باشد بسیار مهم می باشد. از طرفی با توجه به پیچیدگی و عدم قطعیت در متغیرها که از جمله خصوصیات اصلی رفتار دینامیکی این سیستمها می باشد استفاده از کنترلرهای پیشرفته تر در این زمینه رو به گسترش است. بنابراین، توسعه تکنولوژی قابل پیاده سازی بر روی سیستمهای تهویه مطبوع بسیار مورد توجه می باشد [۳ و ۴].

در این زمینه کنترلرهای مختلفی در پژوهشهای صورت گرفته پیشنهاد شده است. برخی از این کنترلرها به منظور تنظیم کنترلرهای PID موجود بکار گرفته شده اند. در این حالت با توجه به شرایط مختلف عملکرد ضرایب بهره کنترلر PID توسط منطق فازی تعیین می شود. در برخی دیگر با توجه خصوصیات ذکر شده برای سیستمهای تهویه مطبوع به کنترلر چند ورودی- چند خروجی سیستم اصلی با استفاده از کنترلر مرکزی فازی پرداخته اند [۵].

کنترلرهای ارائه شده به بحث تطبیق پذیری در شرایط دمایی مختلف نپرداخته اند و بیشتر به بررسی عملکرد کنترلر و مقاوم بودن کنترلر پیشنهاد شده در برابر اغتشاشات پرداخته شده است [۶].

هدف این پژوهش ارائه یک کنترلر فازی تطبیق پذیر به منظور کنترل یک سیستم تهویه مطبوع یک منطقه ای می باشد. به این منظور در این پژوهش از یک کنترلر فازی تطبیق پذیر با ساختار دولایه استفاده شده است. در مرحله اول با استفاده از مدل فازی سوگینو ضرایب بهره مطلوب بدست می آید و سپس با استفاده از مدل فازی ممدانی متغیرهای ورودی مورد تحلیل قرار گرفته و فرامین کنترلی صادر می شود. سپس عملکرد کنترلر تطبیق پذیر فازی پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشانگر عملکرد مناسب کنترلر فازی پیشنهاد شده جهت تعقیب ورودی و نگهداری سیستم در وضعیت مطلوب می باشد.

مدل سیستم

سیستم تهویه مطبوع یک منطقه ای که در این پژوهش در نظر گرفته شده، در شکل (۱) نشان داده شده است.

این سیستم شامل اجزاء مختلفی می باشد: مبدل حرارتی، کمپرسور هوای برگشتی، محفظه حرارتی، چیلر به منظور تأمین آب

$$\dot{T}_3 = \frac{f_a}{V_s} (T_2 - T_3) - \frac{h_{fg} f_a}{C_{pa} V_s} (w_s - w_3) + \frac{1}{\rho_a C_{pa} V_s} (Q_0 - h_{fg} M_0) \quad (1)$$

$$\dot{w}_3 = \frac{f_a}{V_s} (w_s - w_3) + \frac{M_0}{\rho_a V_s} \quad (2)$$

$$\dot{T}_2 = \frac{f_a}{V_{he}} (T_3 - T_2) - \frac{0.25 f_a}{V_{he}} (T_0 - T_3) - \frac{h_w f_a}{C_{pa} V_{he}} (0.25 w_0 + 0.75 w_3) - \left(\frac{\rho_w C_{pw} \Delta T_{he}}{\rho_a C_{pa} V_{he}} \right) f_w \quad (3)$$

جدول ۱: متغیرهای مربوط به سیستم

T_0	دمای هوای خارج
T_2	دمای هوای آماده
T_3	دمای محفظه حرارتی
M_0	بار رطوبتی
Q_0	بار گرمایی محسوس
ρ_a	چگالی جرمی هوا
ρ_w	چگالی جرمی آب
f_a	جریان حجمی هوا
f_w	جریان آب خنک
ΔT_{he}	تغییرات دمای مبدل حرارتی
h_w	آنتالپی آب مایع
h_{fg}	آنتالپی بخار آب
w_0	نسبت رطوبت هوای خارج
w_s	نسبت رطوبت هوای آماده
w_3	نسبت رطوبت محفظه حرارتی
V_{he}	حجم مبدل حرارتی
V_s	حجم محفظه حرارتی
C_{pa}	گرمای ویژه هوا
C_{pw}	گرمای ویژه آب

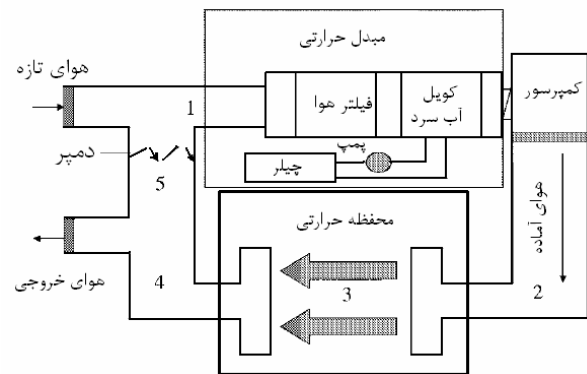
شرایط در نظر گرفته شده جهت نوشتن معادلات در حالت تهویه مطبوع به شرح ذیل است:

- ۲۵٪ هوای تازه با ۷۵٪ هوای برگشت از محفظه حرارتی مخلوط می شود.
- تمامی هوای مخلوط از مبدل حرارتی عبور می کند.
- قسمتی از هوای آماده با عبور از محفظه حرارتی بوسیله کمپرسور وارد چرخه شده و مابقی از آن خارج می شود.
- همچنین برخی فرضیات در نظر گرفته شده در معادلات فوق عبارتند از:
- گازها ایده آل فرض شده و کاملاً مخلوط می شوند.
- فشار در طول فرآیند ثابت است.
- فرآیند اختلاط ایده آل فرض می شود.
- از تلفات و ذخیره سازی حرارتی اجزاء صرف نظر شده است.

سرد در مبدل حرارتی، کانالهای اتصال دهنده، دمپرها، قطعات مخلوط کننده هوای تازه و برگشتی. در این پژوهش فرض شده است که سیستم در حالت سرمايش عمل می کند.

فرآیندهای اصلی سیستم در حالت سرمايش به شرح زیر است:

- ابتدا در ترکیب کننده جریان، ۲۵٪ از هوای تازه به سیستم وارد شده و با ۷۵٪ هوای برگشتی مخلوط می شود (موقعیت ۵).
- سپس هوای مخلوط در ترکیب کننده جریان به منظور تهویه و عملیات انتقال حرارت مربوطه وارد مبدل حرارتی می شود (موقعیت ۱). در این قسمت هوای مخلوط از فیلتر عبور کرده و از روی کویل آب سرد حرکت داده می شود.
- پس از آن، هوای آماده ورود به محفظه حرارتی از مبدل حرارتی خارج می شود، (موقعیت ۲).
- هوای آماده وارد محفظه حرارتی می شود تا گرمای محسوس (حرارت واقعی) و نهان (رطوبت) بار گرمایی را با توجه به شرایط سیستم جبران کند.
- در انتها هوای محفظه حرارتی توسط کمپرسور کشیده می شود (موقعیت ۴)، و ۷۵٪ آن به سیستم برگردانده می شود و بقیه از سیستم خارج می شود.
- در این سیستم، دبی هوای آماده توسط دور کمپرسور تنظیم می شود. با افزایش دور کمپرسور دبی هوای آماده افزایش می یابد. همچنین دبی آب سرد نیز توسط یک پمپ دور متغیر تنظیم می شود.

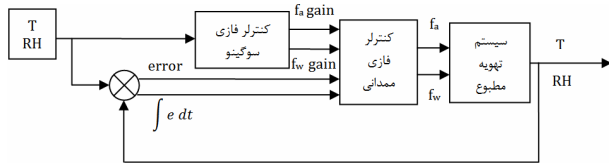


شکل ۱. یک سیستم تهویه مطبوع یک منطقه ای

همانطور که مشاهده می شود، سیستمهای تهویه مطبوع دارای اجزاء و قطعات متعددی می باشند که مدلسازی این سیستمها را دشوار و در نتیجه دستیابی به یک مدل قطعی را تقریباً ناممکن می سازد. به همین دلیل در بیشتر مدل‌های ارائه شده جهت تقریب سیستم از بعضی فرضهای ساده کننده استفاده شده و یا توسط روشهای متداول شناسایی، مدل سیستم جهت کنترل آن بدست آمده است. معادلات دیفرانسیل رفتار دینامیکی سیستم نشان داده شده در شکل (۱) را می توان از بسط معادلات انرژی و پایداری جرم بدست آورد [۷]:

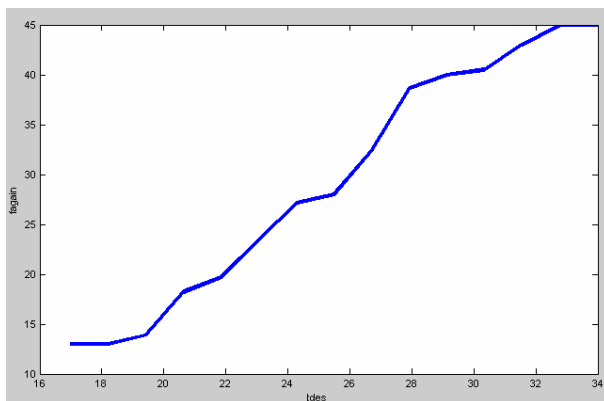
ساختار کلی سیستم کنترلی پیشنهادی در شکل (۲) نشان داده شده است. در این سیستم یک کنترلر فازی دو لایه بکار گرفته شده است. متغیرهای ورودی کنترلر سوگینو پارامترهای تنظیمی کاربر می باشد و خروجی های آن ضرایب بهره جریانهای آب سرد و هوا (f_a و f_w) می باشند. در حقیقت در این مرحله از کنترلر فازی سوگینو به عنوان یک ابزار جهت خطی سازی در فضای فازی استفاده شده است. از طرفی متغیرهای ورودی کنترلر ممدانی ضرایب بهره خروجی کنترلر سوگینو و سیگنال خطا و انتگرال آن می باشد. متغیرهای کنترلی سیستم تهویه مطبوع نیز جریانهای آب سرد و هوا می باشند، که به ترتیب توسط پمپ و کمپرسور دور متغیر به عنوان عملگرهای سیستم تهویه مطبوع تنظیم می شوند.

بایستی توجه نمود که در بحث کنترل متغیرهای محفظه حرارتی ذکر این نکته الزامی است که به دلیل بعضی شرایط و محدودیتهای مکانیکی، متغیرهای کنترلی می بایست در محدوده مشخصی قرار داشته باشند. جریان آب سرد پمپ و جریان هوای کمپرسور دارای حداکثر مقادیری می باشند که بر اساس محدودیتهای مکانیکی عملگرها به دست می آید. به عنوان مثال با افزایش بیش از اندازه بار سرمایشی و با در نظر گرفتن محدودیت جریان در کویل آب سرد ممکن است جهت تأمین بار برودتی مورد نیاز، دمای آب سرد به حدی برسد که زیر صفر باشد که این حالت در شرایط فیزیکی امکان پذیر نمی باشد.



شکل ۲: دیاگرام سیستم کنترلی

شبیه سازی عملکرد سیستم در MATLAB و بررسی نتایج به منظور بررسی عملکرد کنترلر پیشنهادی، مدل ارائه شده در نرم افزار MATLAB/SIMULINK شبیه سازی شد. ابتدا قواعد فازی کنترلر سوگینو با استفاده از مدل حلقه باز استخراج گردید. در شکل (۳) خروجی ضریب بهره f_a کنترلر سوگینو نمایش داده شده است.



شکل ۳: ضریب بهره f_a به ازاء مقادیر مختلف دمای مرجع

- از حالت گذرا جریان در مخلوط کننده و جدا کننده صرفنظر می شود.
- مدل سنسورها و عملگرها در معادلات در نظر گرفته نشده است. به منظور کنترل سیستم، معادلات دینامیکی فوق را می توان با فرضیات زیر در فضای متغیرهای حالت نمایش داد:

$$u_1 = f_a, \quad u_2 = f_w$$

$$x_1 = T_3, \quad x_2 = w_3, \quad x_3 = T_2$$

$$y_1 = T_3, \quad y_2 = w_3$$

ضرایب معادلات نیز به صورت زیر تعریف می شوند:

$$\alpha_1 = \frac{1}{V_s}, \quad \alpha_2 = \frac{h_{fg}}{C_{pa} V_s}, \quad \alpha_3 = \frac{1}{\rho_a C_{pa} V_s}, \quad \alpha_4 = \frac{1}{\rho_a V_s},$$

$$\beta_1 = \frac{1}{V_{he}}, \quad \beta_2 = \frac{\rho_w C_{pw} \Delta T_{he}}{\rho_a C_{pa} V_{he}}, \quad \beta_3 = \frac{h_w}{C_{pa} V_{he}}$$

با این فرضیات می توان معادله دینامیکی فوق را در فرم متغیرهای حالت به صورت معادلات (۴) نمایش داد.

$$\dot{x}_1 = \alpha_1 u_1 (x_3 - x_1) - \alpha_2 u_1 (w_3 - x_2) + \alpha_3 (Q_0 - h_{fg} M_0)$$

$$\dot{x}_2 = \alpha_1 u_1 (w_3 - x_2) + \alpha_4 M_0 \quad (4)$$

$$\dot{x}_3 = \beta_1 u_1 (x_1 - x_3) + 0.25 \beta_1 u_1 (T_0 - x_1) - \beta_3 u_1 \{ (0.25 w_0 + 0.75 x_2) - w_3 \} - \beta_2 u_2$$

ساختار کنترلر فازی

در این بخش به تشریح ساختار کنترلر پیشنهادی جهت کنترل سیستم تهویه مطبوع پرداخته می شود.

کنترلرهای فازی، کنترلرهای غیر خطی با ساختار خاص می باشند که کاربردهای موفقیت آمیزی از تئوری فازی را در مسائل عملی ارائه می نمایند. این کنترلرها با به کارگیری تئوری فازی، رفتاری شبیه به آنچه انسان خبره به هنگام کنترل سیستم انجام می دهد، نشان می دهند. این کنترلرها بر خلاف کنترلرهای کلاسیک، بدون نیاز به مدل ریاضی از سیستم، با استفاده از تجربیات افراد خبره که در قالب قوانین اگر-آنگاه فازی بیان می شوند، به کنترل سیستم می پردازند. در سیستمهای یک ورودی-یک خروجی کنترلرهای فازی را می توان حالت توسعه یافته کنترلرهای PID با ضرایب بهره غیرخطی در نظر گرفت [۶].

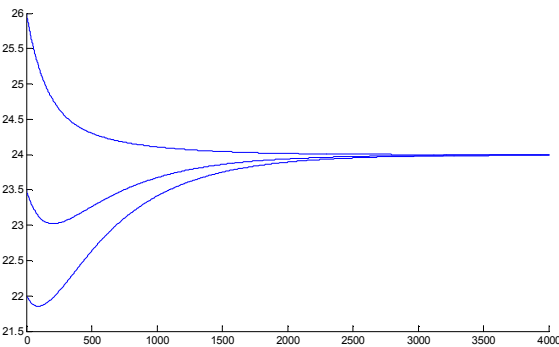
کنترلر فازی سوگینو اخیراً به عنوان یک ابزار قوی برای کنترل و مدلسازی سیستمهای پیچیده مورد توجه قرار گرفته است. این روش با توسعه مفهوم جدول بندی بهره ها، یک انتقال مناسب بین روشهای کلاسیک و کنترل بر مبنای قواعد، را فراهم کرده است. الگوی جدول بندی بهره ها بر مبنای این فرض استوار است که سیستم غیرخطی با مدل های خطی تقریب زده می شود. کنترلر سوگینو ایده خطی سازی را در یک فضای فازی به کار می گیرد. با توجه به فضای فازی، سیستم غیر خطی به مدل چند ساختاری خطی تجزیه می شود. در حقیقت کنترلر به صورت محلی خطی می باشد [۸].

با توجه به روابط فازی که برای متغیرهای f_w و f_a در نظر گرفته شده است، سطح کنترلی متغیر f_a نیز مشابه شکل (۶) می باشد. از طرفی به دلیل اینکه خطا و انتگرال آن دارای اهمیت یکسانی می باشند همانطور که در شکل (۶) مشخص است سطح کنترلی نسبت به دو متغیر تقریباً متقارن می باشد. همچنین به منظور کاهش اثر انتگرالگیری بر روی سرعت پاسخ سیستم پس از رسیدن به دمای مطلوب، مقدار انتگرالگیر پس از رسیدن به حداکثر عدد تعیین شده (که در اینجا ± 6 می باشد)، صفر می شود [۹].

جهت شبیه سازی از مقادیر عددی و متغیرهای سیستم مرجع [۱۰] استفاده شد که مربوط به سیستم تهویه مطبوع بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران می باشد. مقادیر عددی در پیوست ارائه شده است. به منظور شبیه سازی شرایط واقعی، سیگنال اغتشاش نیز بر روی متغیرهای محیطی (M_0 و Q_0) در نظر گرفته شده است.

بررسی پاسخ حلقه بازسیستم و تحلیل مقاوم بودن

حال با توجه به اطلاعات و مقادیر عددی موجود به بررسی پاسخ سیستم با کنترلر ارائه شده و مقایسه آن با حالت حلقه باز پرداخته می شود. رفتار سیستم را در حالت حلقه باز به ازاء مقادیر اولیه مختلف دمای محفظه حرارتی در شکل (۷) مشاهده می کنید. همانطور که مشاهده می شود مدت زمان رسیدن سیستم به شرایط مطلوب زیاد می باشد.



شکل ۷: منحنی پاسخ سیستم حلقه باز به ازاء مقادیر اولیه مختلف دمای محفظه حرارتی

سیس به منظور تحلیل مقاوم بودن سیستم، پاسخ حلقه بسته سیستم کنترلی با در نظر گرفتن اغتشاش بر روی متغیرهای محیطی بار رطوبتی و بار گرمایی محسوس (Q_0 و M_0) مورد بررسی قرار گرفت. شکل های (۸) و (۹) منحنی های اغتشاش بر روی متغیرهای محیطی بار رطوبتی و بار گرمایی محسوس را نشان می دهند. شکل (۱۰) نیز پاسخ سیستم را نسبت به ورودی مرجع دمای محفظه ($T_3=24$) نشان می دهد.

همانطور که مشاهده می شود سیستم کنترلی ارائه شده علاوه بر مقاوم بودن نسبت به ورودی های اغتشاش، عملکرد مناسبی نیز در تأمین شرایط مطلوب حرارتی داشته و توانسته است در مدت زمان مناسبی شرایط خروجی مورد نظر را فراهم نماید.

سپس قواعد فازی کنترلر ممدانی برای متغیرهای کنترلی بر اساس قواعد تجربی مورد استفاده قرار گرفت که این قواعد فازی برای جریان آب سرد (f_w) و جریان هوا (f_a) بر اساس تغییرات خطا و انتگرال آن در جداول (۲) و (۳) نشان داده شده است.

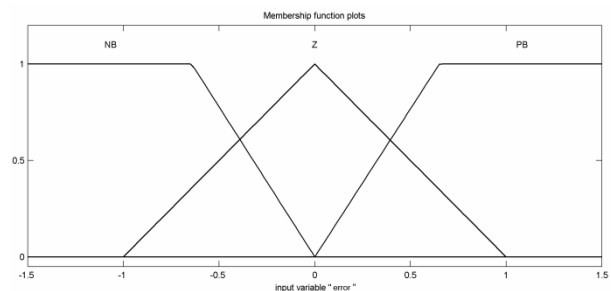
جدول ۲: قواعد فازی برای f_a

$\int error$ \ error	NB	ZE	PB
NB	NB	NB	ZE
ZE	NB	ZE	PB
PB	ZE	PB	PB

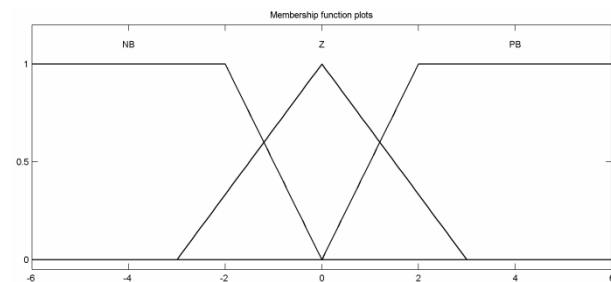
جدول ۳: قواعد فازی برای f_w

$\int error$ \ error	NB	ZE	PB
NB	NB	NB	ZE
ZE	NB	ZE	PB
PB	ZE	PB	PB

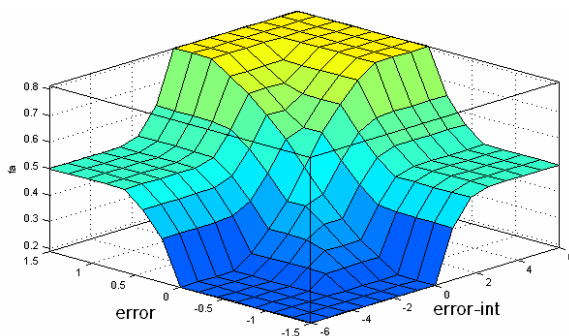
توابع عضویت برای متغیرها مثلی در نظر گرفته شده، در ترکیب قواعد از استنتاج min-max استفاده شده و غیرفازی ساز مرکز سطح برای غیرفازی کردن متغیرهای خروجی بکار گرفته شده است. شکل های (۴) و (۵)، سطح کنترل کنترلر فازی برای متغیر کنترلی جریان آب سرد (f_w) در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۴: محدوده تغییرات خطا

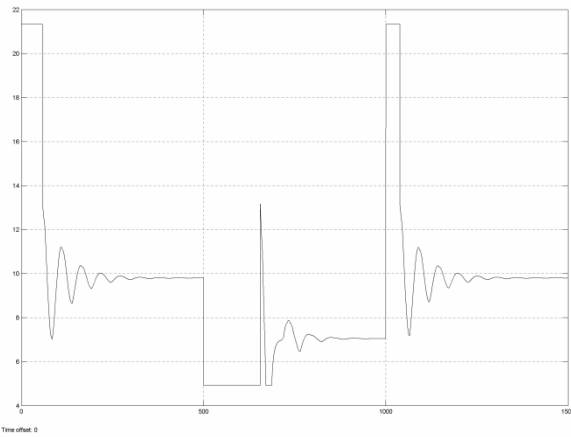


شکل ۵: محدوده تغییرات انتگرال خطا

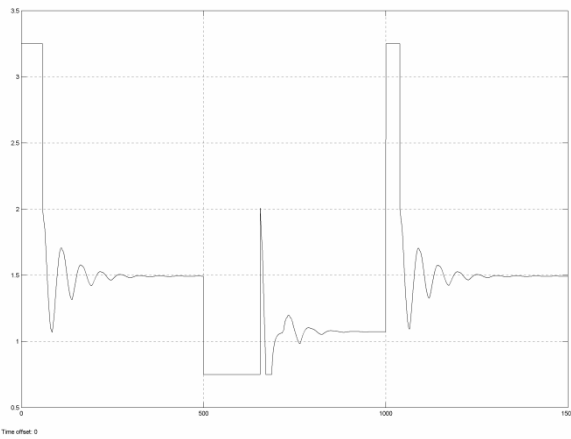


شکل ۶: سطح کنترلی f_w

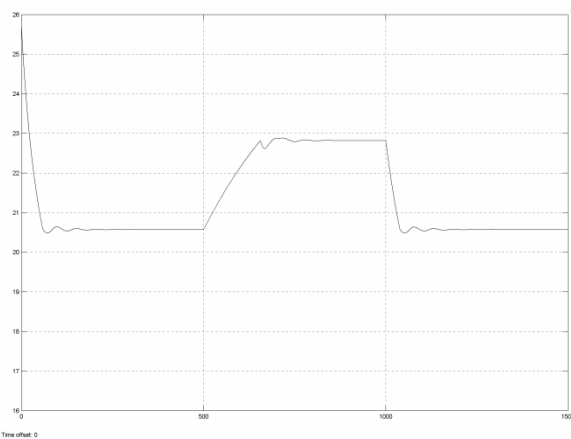
نسبت به ورودی مرجع دمای محفظه و تغییرات متغیرهای کنترلی به منظور تأمین خروجی مطلوب نشان داده شده است.



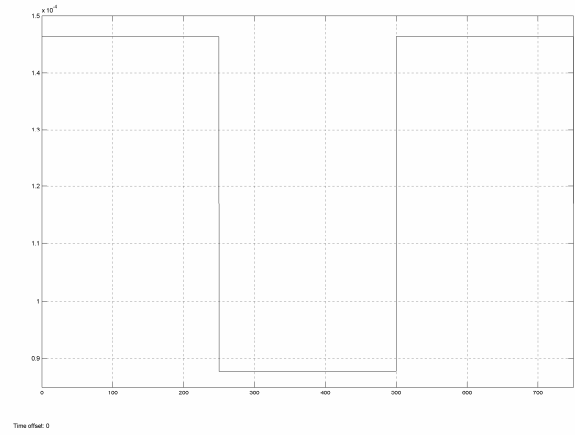
شکل ۱۱: منحنی جریان هوا



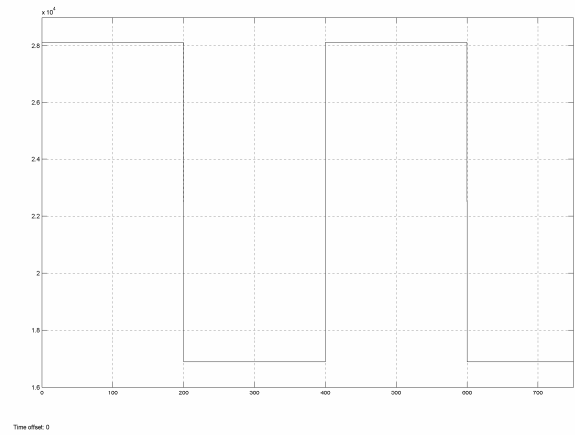
شکل ۱۲: منحنی جریان آب سرد



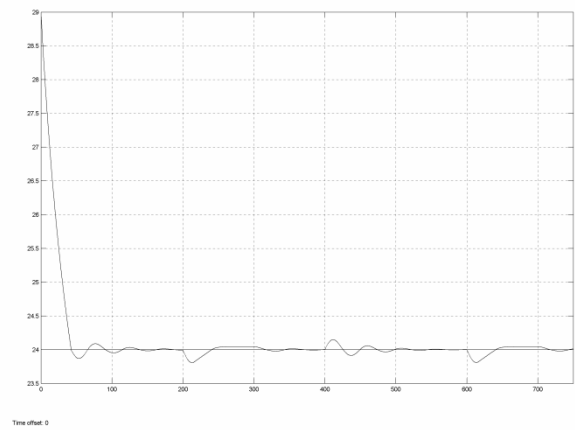
شکل ۱۳: منحنی دمای هوای آماده



شکل ۸: اغتشاش بار رطوبتی



شکل ۹: اغتشاش بار گرمایی محسوس



شکل ۱۰: پاسخ حلقه بسته سیستم

بررسی عملکرد تطبیق پذیری سیستم کنترلی
در این قسمت به بررسی عملکرد سیستم کنترلی ارائه شده در قابلیت تعقیب و تطبیق پذیری ورودی مرجع پرداخته می شود. به این منظور یک سیگنال دندانانه مربعی به عنوان ورودی مرجع دمای محفظه در نظر گرفته شده است و بر اساس آن پاسخ سیستم ارائه شده است. در شکل‌های زیر قابلیت تعقیب و تطبیق پذیری سیستم

کنترلی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصله نشانگر عملکرد مطلوب کنترلر در تعقیب شرایط ورودی مرجع با وجود اغتشاش در متغیرهای محیطی می باشد. همچنین کنترلر عملکرد مناسبی را نیز در زمینه تطبیق پذیری و قابلیت تأمین شرایط متفاوت دارا می باشد.

مراجع

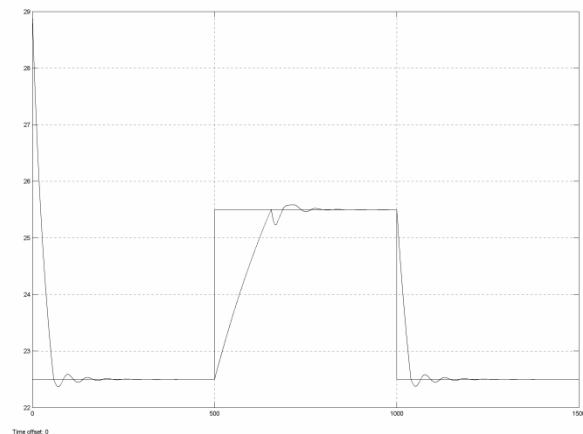
- [1] C. S. Canbay, A. Hepbasli, G. Gokcen, "Evaluating performance indices of a shopping centre and implementing HVAC control principles to minimize energy usage," Energy and Buildings, vol.36, pp. 587-598, 2004.
- [2] Pal, A. Kr., "Development of Neuro-Fuzzy Controller for Applications to HVAC System, Inverted Pendulum and Other Processes," INT. Journal Of Computational Cognition, vol. 6, no. 2, Jun. 2008.
- [3] A. K. Pal, R. K. Mudi, "Self-Tuning Fuzzy PI Controller and its Application to HVAC Systems," INT. Journal Of Computational Cognition, vol. 6, no. 1, Mar. 2008.
- [4] Mongkolwongrojn, M., Sarawit, V., "Implementation of Fuzzy Logic Control for Air Conditioning Systems," ICCAS, Jun. 2005, Korea.
- [5] Fargus, R., Chapman C., "A commercial PI-neural controller for the control of building services plant," UKACC International Conference on CONTROL, pp.1688-1693, sep 1998.
- [6] Rahmati, A., Rashidi, F., Rashidi, M., "A hybrid fuzzy logic and PID controller for control of nonlinear HVAC systems," IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 3, pp. 2249- 2254, 2003.
- [7] Arguello-Serrano, B., Velez-Reyes, M., "Nonlinear control of a heating, ventilating, and air conditioning system with thermal load estimation," IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 7, Issue 1, pp. 56- 63, Jan 1999.
- [8] Jang J.-S. R., Sun C.-T., Mizutani E., Neuro-Fuzzy and Soft Computing, Prentice Hall, 1997.
- [9] Astrom K., Hagglund T., "PID controllers: theory, design, and tuning," 2ed, Instrument society of America, 1995.

[۱۰] غفاری، علی، موسوی، سیدمجتبی، و خدایاری، علی، "مدلسازی و کنترل یک سیستم هواساز با استفاده از روش رگولاتور مربعی خطی در وضعیت تهویه مطبوع،" پانزدهمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک، تهران، اردیبهشت ۱۳۸۶.

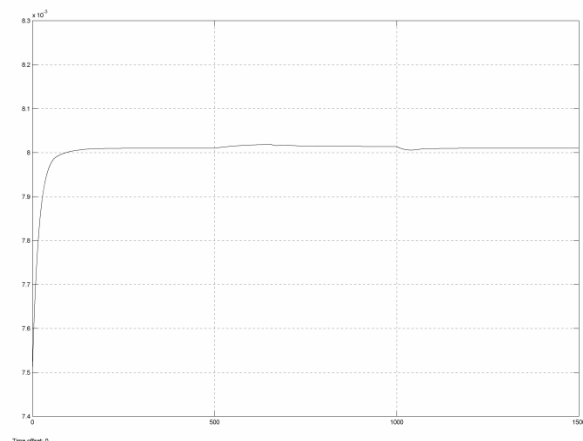
پیوست

جدول ۴. مقادیر عددی و پارامترهای مربوط به سیستم

$T_0 = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$
$T_2 = 16.75 \text{ } ^\circ\text{C}$
$T_3 = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$
$M_0 = 0.000117 \text{ kg/s}$
$Q_0 = 22500 \text{ J}$
$\rho_a = 1.1853 \text{ kg/m}^3$
$\rho_w = 1 \text{ kg/lit}$



شکل ۱۴: پاسخ سیستم جهت تعقیب ورودی مرجع دمای محفظه



شکل ۱۵: تغییرات رطوبت نسبی محفظه در حالت تغییرات دمای مرجع محفظه

همانطور که در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) مشاهده می شود در ابتدا به منظور تأمین سریع شرایط مطلوب، متغیرهای کنترلی یعنی جریانهای آب سرد و هوا (f_w و f_a) دارای حداکثر مقدار خود می باشند. پس از رسیدن به شرایط مطلوب و تأمین دمای مورد نیاز مقادیر f_w و f_a کاهش می یابد، در این حالت سیستم در حالت پایدار کار می کند تا ورودی مرجع تغییر نماید و کنترلر دوباره با توجه به کاهش یا افزایش دما فرامین مورد نیاز را صادر نماید. در این حالت چنانچه دمای مرجع بیشتر از دمای فعلی محفظه حرارتی باشد، جریانهای آب و هوا کاهش می یابند تا دمای هوای آماده به سطح دمایی بالاتری برسد.

کنترلر در مدت زمان مناسبی (۲۰۰ ثانیه) می تواند شرایط مطلوب را فراهم کرده و همچنین قابلیت خوبی در تعقیب و تطبیق پذیری نسبت به ورودی مرجع دمای محفظه نشان می دهد.

نتیجه گیری

در این پژوهش به مدلسازی و کنترل یک سیستم تهویه مطبوع یک منطقه ای با استفاده از کنترلر فازی دولایه پرداخته شد. پس از ارائه معادلات دینامیکی سیستم، یک کنترلر فازی دولایه متشکل از یک کنترلر سوگینو به منظور تخمین خطی ضرایب بهره در فضای فازی و همچنین یک کنترلر فازی ممدانی به منظور تولید سیگنالهای

$\Delta T_{he} = 7 \text{ } ^\circ\text{C}$
$h_w = 790840 \text{ J/kg}$
$h_{fg} = 2508009.5 \text{ J/kg}$
$w_0 = 0.0081994 \text{ kg H}_2\text{O/ kg dry}$
$w_s = 0.0080 \text{ kg H}_2\text{O/ kg dry}$
$w_0 = 0.0080380104 \text{ kg H}_2\text{O/ kg dry}$
$V_{he} = 1 \text{ m}^3$
$V_s = 379.5 \text{ m}^3$
$C_{pa} = 1004.832 \text{ J/kg. } ^\circ\text{C}$
$C_{pw} = 4198 \text{ J/kg. } ^\circ\text{C}$