

کنترل آسایش حرارتی یک سیستم تهویه مطبوع با استفاده از کنترلر فازی با فیدبک شبکه عصبی

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 می‌بایست شرایط حرارتی مطلوب را در یک ساختمان تأمین کنند. در این سیستم‌ها کنترلر می‌بایست قابلیت تطبیق با تغییرات پارامترهای محیطی را داشته باشد. در بیشتر سیستم‌های تهویه مطبوع امروزی از کنترلرهای روشن/خاموش و یا در انواع پیشرفته‌تر از کنترلر PID استفاده می‌شود که با توجه به شرایط محیطی متفاوت علاوه بر بهینه نبودن، قادر به تأمین شرایط مطلوب محیطی نیز نمی‌باشند. کنترل آسایش حرارتی یک سیستم تهویه مطبوع نیازمند تخمین اندیس آسایش حرارتی می‌باشد. در این پژوهش یک کنترلر فازی به منظور تأمین آسایش حرارتی در یک سیستم تهویه مطبوع بکار گرفته شده و از شبکه عصبی به منظور تخمین آسایش حرارتی در مسیر فیدبک کنترلر استفاده شده است. کنترلر فازی با توجه به ویژگی‌های غیرخطی سیستم‌های تهویه مطبوع دارای پاسخ مناسبی می‌باشد. همچنین شبکه عصبی استفاده از فیدبک آسایش حرارتی را در کنترل بلا درنگ امکان پذیر می‌سازد.

کلمات کلیدی: آسایش حرارتی، تهویه مطبوع، شبکه عصبی، کنترلر فازی.

مقدمه

امروزه سیستم‌های مدرن گرمایش، تصفیه و تهویه مطبوع علاوه بر مصرف بهینه انرژی می‌بایست آسایش افراد داخل ساختمان را نیز به نحو مطلوبی فراهم کنند [۱]. کنترلرهای رایج مورد استفاده در سیستم‌های تهویه مطبوع از نوع روشن/خاموش می‌باشند که علاوه بر بهینه نبودن، شرایط مطلوب محیطی را نیز فراهم نمی‌کنند. 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 می‌گیرند. 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 می‌باشد بخصوص هنگامیکه سیستم تهویه مطبوع بزرگ باشد، بسیار مشکلتر می‌شود [۲].

بسیاری از حلقه‌های کنترلی در عمل به دلیل عدم شناخت کافی مهندسان کنترل از فرآیند این سیستم‌ها به درستی تنظیم نمی‌شوند. 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 نمی‌کنند. این مسئله در مواردی که نیاز به نگهداری یک محیط در شرایط خاص (مثل موزه‌ها و اتاقهای استریل) می‌باشد بسیار مهم می‌باشد. از طرفی با توجه به پیچیدگی و عدم قطعیت در متغیرها که از جمله خصوصیات اصلی رفتار دینامیکی این سیستم‌ها می‌باشد استفاده از کنترلرهای پیشرفته‌تر در این زمینه رو به گسترش است. بنابراین، توسعه تکنولوژی قابل پیاده سازی بر روی سیستم‌های تهویه مطبوع بسیار مورد توجه می‌باشد [۳و۴].

در این زمینه کنترلرهای مختلفی در پژوهش‌های صورت گرفته پیشنهاد شده است. برخی از این کنترلرها به منظور تنظیم کنترلرهای PID موجود بکار گرفته شده‌اند. در این حالت با توجه به شرایط مختلف عملکرد ضرایب بهره کنترلر PID توسط منطق فازی تعیین می‌شود. 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 پرداخته‌اند [۵].

از سویی امروزه شبکه‌های عصبی چندلایه به منظور تخمین رابطه غیرخطی بین متغیرهای ورودی و خروجی با میزان دقت معین دارای کاربرد وسیعی می‌باشند. کاربرد این شبکه‌ها در تخمین بار حرارتی سیستم‌های تهویه مطبوع نتایج مناسبی را ارائه داده است [۶].

تخمین آسایش حرارتی به عنوان هدف اصلی سیستم‌های تهویه مطبوع توسط اندیس‌های متفاوتی تخمین زده شده است که مهمترین آنها ضریب PMV^۱ می‌باشد. این ضریب با استفاده از معادله‌های فانگر با حل تکراری بدست می‌آید.

در این پژوهش یک کنترلر فازی به منظور تأمین آسایش حرارتی در یک سیستم تهویه مطبوع بکار گرفته شده است. همچنین به منظور اجتناب از حل تکراری معادلات فانگر، شبکه عصبی به منظور تخمین آسایش حرارتی بکار گرفته شده است. با استفاده از شبکه عصبی در مسیر حلقه فیدبک کنترلر از ضریب PMV جهت استفاده در ایجاد فرامین کنترلی استفاده شده است. نتایج نشانگر پاسخ مناسب کنترلر فازی با توجه به ویژگی‌های غیرخطی سیستم‌های تهویه مطبوع می‌باشد. همچنین شبکه عصبی استفاده از فیدبک آسایش حرارتی را در کنترل بلا درنگ امکان پذیر می‌سازد.

^۱ Predicted mean vote

مدل سیستم

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]:

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

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

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

متغیرهای مربوط به سیستم معادلات فوق در جدول (۱) نشان داده شده است.

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	انتالپی آب مایع
h_{fg}	انتالپی 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 ترکیب می شود.
- تمامی هوای ترکیبی از مبدل حرارتی عبور می کند.
- هوای آماده پس از عبور از محفظه حرارتی از طریق فن قسمتی

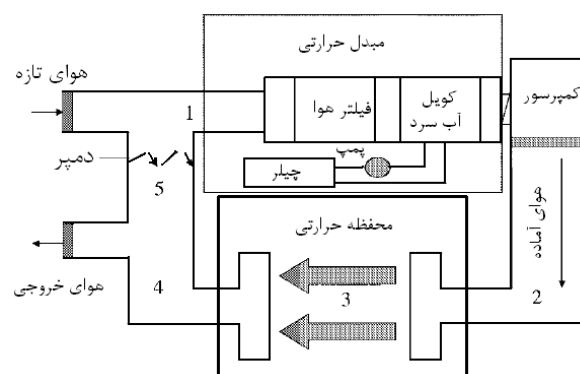
سیستم تهویه مطبوع یک منطقه ای که در این پژوهش در نظر گرفته شده، در شکل (۱) نشان داده شده است.

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

فرآیندهای اصلی سیستم در حالت سرمایش 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

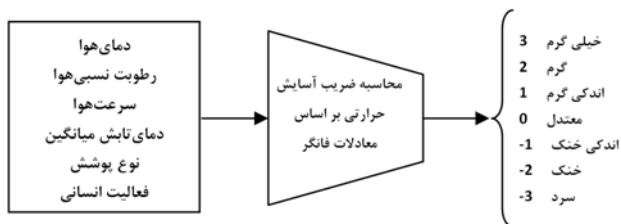
جدول ۲: حدود تغییرات متغیرهای کنترلر

	Min	Max
PMV error	-3.5	3.5
PMV error dot	-1.5	1.5
f_a	1	3.5
f_w	0.5	1.5

ضریب آسایش حرارتی

از نظر فیزیولوژیک، شرایط آسایش حرارتی محدوده ای است از دما و رطوبت که در آن مکانیسم تنظیم حرارت بدن در حداقل فعالیت خود باشد. تعیین محدوده آسایش سیستم های تاسیساتی نه تنها بر اندازه دستگاه های حرارتی و برودتی، بلکه بر ضخامت عایق و مصرف انرژی در محفظه حرارتی نیز تاثیر مستقیم دارد. متداولترین روش جهت تخمین آسایش حرارتی استفاده از ضریب آسایش حرارتی (PMV) است که توسط فانگر ارائه شده است [۸].

ضریب PMV تابعی از دو متغیر انسانی و چهار متغیر محیطی می باشد. این متغیرها عبارتند از: نوع پوشش، فعالیت انسانی، دمای هوا، رطوبت نسبی هوا، سرعت هوا و دمای تابش میانگین. مقادیر ضریب PMV در بازه -۳ تا +۳، که مربوط به احساس ساکنین از سرد تا گرم می باشد، تغییر می کند که مقدار صفر نشانگر شرایط مناسب از نظر آسایش حرارتی می باشد، شکل (۳).



شکل ۳: ضریب آسایش حرارتی

ضریب آسایش حرارتی با استفاده از فرمول زیر بدست می آید:

$$PMV = (0.325e^{-0.042M} + 0.032) [M - 0.35(43 - 0.061M - P_v) - 0.42(M - 50) - 0.0023M(44 - P_v) - 0.0014M(34 - T_i) - 3.4 \times 10^{-8} f_{cl} (T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4] - f_{cl} h_c (T_{cl} - T_i) \quad (1)$$

$$T_{cl} = 35.7 - 0.032M - 0.18I_{cl} [3.4 \times 10^{-8} f_{cl} ((T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4) - f_{cl} h_c (T_{cl} + T_i)] \quad (2)$$

که T_i دمای محفظه حرارتی ($^{\circ}C$)، T_{mrt} دمای تابش میانگین ($^{\circ}C$)، M فعالیت انسانی ($kcal/h m^2$)، v سرعت هوا (m/s)، P_v فشار بخار هوا ($mmHg$)، I_{cl} مقاومت حرارتی لباس ($1 clo = 0.180 C m^2 h/cal$)، h_c ضریب جابجایی گرمایی ($kcal/m^2 h ^{\circ}C$)، f_{cl} نسبت سطح پوشیده بدن به سطح برهنه، T_{cl} دمای سطح بیرونی لباس ($^{\circ}C$)، RH رطوبت نسبی و P_s فشار بخار اشباع در دمای مورد نظر می باشد.

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.
- از تلفات و ذخیره سازی حرارتی اجزاء صرف نظر شده است.
- به منظور کنترل سیستم، معادلات دینامیکی فوق را می توان

با فرضیات زیر در فضای متغیرهای حالت نمایش داد:

$$u_1 = f_a, u_2 = f_w$$

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

$$y_1 = T_3, y_2 = w_3$$

ضرایب معادلات نیز به صورت زیر تعریف می شوند:

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

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

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

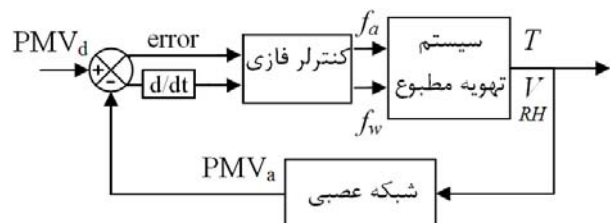
$$\dot{x}_1 = \alpha_1 u_1 (x_3 - x_1) - \alpha_2 u_1 (w_s - x_2) + \alpha_3 (Q_0 - h_{fg} M_0)$$

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

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

ساختار کنترلر فازی با فیدبک آسایش حرارتی

ساختار کلی سیستم کنترلی ارائه شده را در شکل (۲) مشاهده می کنید. در این سیستم از یک کنترلر فازی ورودی - خروجی استفاده شده است. متغیرهای ورودی کنترلر ضریب آسایش حرارتی و نرخ تغییرات آن می باشند. متغیرهای کنترلی سیستم تهویه مطبوع نیز جریانهای هوا و مبرد می باشند (f_a و f_w)، که به ترتیب توسط شیرهای کنترلی و کمپرسور دور متغیر تنظیم می شوند.



محاسبه اندیس آسایش حرارتی

شکل ۲: دیاگرام سیستم کنترلی با فیدبک آسایش

محدوده تغییرات متغیرهای ورودی و کنترلی در جدول (۲) نشان داده شده است.

تنظیم پارامترهای کنترلر

کنترلر با توجه به سیگنال فیدبک آسایش حرارتی و نرخ تغییرات آن تنظیم شده است. در جداول (۳) و (۴) قواعد کنترلر فازی را برای جریان حجمی هوا آماده (f_c) و جریان مبرد (f_w) مشاهده می کنید.

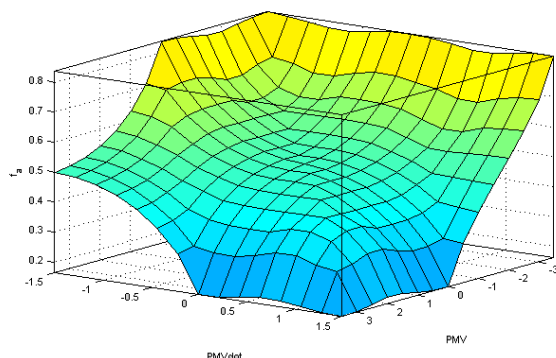
f_a :

$PMV\ error$	NB	ZE	PB
$PMV\ error\ dot$	NB	ZE	PB
NB	PB	PB	ZE
ZE	PB	ZE	NB
PB	PB	NB	NB

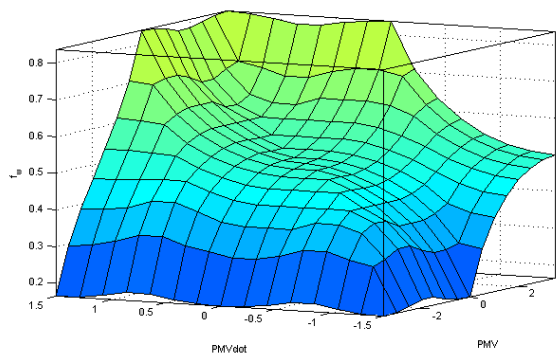
f_w :

$PMV\ error$	NB	ZE	PB
$PMV\ error\ dot$	NB	ZE	PB
NB	NB	NB	ZE
ZE	NB	ZE	PB
PB	NB	PB	PB

با توجه به محدوده تغییرات مشخص شده در جدول (۲) توابع عضویت متغیرها مثلی در نظر گرفته شده است. در ترکیب قواعد از استنتاج min-max استفاده شده و غیرفازی ساز مرکز سطح برای غیرفازی کردن متغیرهای خروجی بکار گرفته شده است. سطوح کنترل کنترلر فازی با فیدبک آسایش حرارتی برای هر یک از متغیرهای خروجی در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است.



شکل ۴: سطح کنترلی f_a



شکل ۵: سطح کنترلی f_w

توجه شود که حالت مرجع برای ضریب آسایش صفر می باشد.

همانطور که در فرمول T_{cl} مشاهده می شود، فرمول ارائه شده توسط فانگر جهت محاسبه PMV مستلزم استفاده از روشهای عددی تکراری می باشد که زمانبر بوده و کارکرد آن را به منظور استفاده در سیستمهای کنترل بلادرنگ با مشکل مواجه می کند. لذا استفاده از یک رابطه صریح بین متغیرهای ورودی و ضریب آسایش، استفاده از این ضریب را به عنوان فیدبک سیستم کنترلی امکان پذیر می کند.

اخیراً شبکه های عصبی به طرز موفقی به منظور شناسایی، تخمین بار حرارتی و کنترل سیستمهای تهویه مطبوع به کار گرفته شده اند. با توجه به خاصیت های ذکر شده در [۹] استفاده از شبکه عصبی چندلایه به منظور محاسبه ضریب آسایش به جای فرمول تکراری فانگر پیشنهاد گردیده است. در شبکه عصبی استفاده شده در این پژوهش ۳ متغیر دما، رطوبت نسبی و سرعت هوا در محفظه حرارتی به عنوان ورودی شبکه و متغیرهای انسانی و دمای میانگین تابش ثابت در نظر گرفته شده است. دما و رطوبت نسبی هوا به صورت مستقیم از معادلات دینامیکی به دست می آید و سرعت هوا نیز به عنوان تابع خطی از جریان حجمی هوای ورودی در نظر گرفته شده است. خروجی شبکه عصبی ضریب آسایش می باشد که به عنوان سیگنال فیدبک بکار گرفته شده است.

استفاده از شبکه عصبی در محاسبه ضریب آسایش

حرارتی

شبکه های عصبی چندلایه به منظور تخمین رابطه غیرخطی بین متغیرهای ورودی و خروجی با میزان دقت معین، به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفته اند. اخیراً شبکه های عصبی به طرز موفقی به منظور شناسایی، تخمین بار حرارتی و کنترل سیستمهای تهویه مطبوع به کار گرفته شده اند [۹]. با توجه به خاصیت های ذکر شده در [۹] استفاده از شبکه عصبی چندلایه به منظور محاسبه ضریب آسایش به جای فرمول تکراری فانگر پیشنهاد گردیده است. شبکه عصبی پیشنهادی شامل ۴ لایه به صورت $6 \times 8 \times 4 \times 1$ بوده که خطای مجموع مربعات شبکه مزبور در تخمین ضریب آسایش ۰.۱۱ بوده است. ورودی این شبکه همان ورودی های معادلات فانگر می باشد. به این ترتیب از این شبکه عصبی می توان ضریب آسایش را به صورت همزمان محاسبه نموده و در مسیر حلقه فیدبک کنترلر فازی استفاده نمود. در شبکه عصبی استفاده شده در این پژوهش ۳ متغیر دما، رطوبت نسبی و سرعت هوا در محفظه حرارتی به عنوان ورودی در نظر گرفته شده است و متغیرهای انسانی و دمای میانگین تابش ثابت در نظر گرفته شده است. دما و رطوبت نسبی هوا به صورت مستقیم از معادلات دینامیکی به دست می آید و سرعت هوا نیز به عنوان تابع خطی از جریان حجمی هوای ورودی در نظر گرفته شده است. خروجی شبکه عصبی ضریب آسایش می باشد که به عنوان سیگنال فیدبک بکار گرفته شده است.

[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]. A. E. Ben-Nakhi, M. A. Mahmoud, "Cooling load prediction for buildings using general regression neural networks," Energy Conversion and Management, vol. 45 pp. 2127-2141, 2004.

[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.

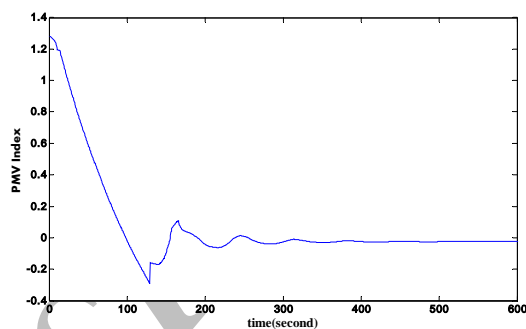
[8]. Fanger, P., Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering, New York, McGraw-Hill, 1972.

[9]. Athhajariyakul, S., Leephakpreeda, T., Neural computing thermal comfort index for HVAC systems, Energy Conversion and Management, vol. 46, no. 15, pp. 2553-2565, Sep. 2005.

[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.

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. همچنین جهت شبیه سازی از مقادیر عددی و متغیرهای سیستم مرجع [۱۰] استفاده شد که مربوط به سیستم تهویه مطبوع بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران در یک دوره کاری نسبتاً طولانی می باشد. پاسخ سیستم کنترلی به ورودی آسایش حرارتی مطلوب (PMV=0) در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: پاسخ سیستم با استفاده از کنترلر فازی و فیدبک شبکه عصبی

همانطور که مشاهده می شود کنترلر در مدت زمان مناسبی (۳۰۰ ثانیه) می تواند شرایط آسایش حرارتی مطلوب را فراهم کند.

نتیجه گیری و جمع بندی

در این پژوهش به مدلسازی و کنترل یک سیستم تهویه مطبوع یک منطقه ای پرداخته شد. پس از ارائه معادلات دینامیکی سیستم، یک کنترلر فازی با فیدبک ضریب آسایش به منظور کنترل سیستم مورد نظر پیشنهاد شد. تخمین ضریب آسایش با استفاده از شبکه عصبی با دریافت متغیره های محیطی و انسانی به عنوان ورودی به صورت همزمان صورت پذیرفت. مقدار تخمین زده شده با مقایسه با مقدار نامی به عنوان سیگنال فیدبک کنترلر فازی استفاده شد. نتایج حاصله نشانگر عملکرد مطلوب کنترلر در تأمین آسایش حرارتی می باشد. همچنین بیانگر قابلیت استفاده از شبکه عصبی در مسیر فیدبک سیستمهای کنترل بلادرنگ با فیدبک آسایش حرارتی 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.

پیوست

جدول ۵. مقادیر عددی و پارامترهای مربوط به سیستم

$T_0 = 30 \text{ 'C}$
$T_2 = 16.75 \text{ 'C}$
$T_3 = 24 \text{ 'C}$
$M_0 = 0.000117 \text{ kg/s}$
$Q_0 = 22500 \text{ J}$
$\rho_a = 1.1853 \text{ kg/m}^3$
$\rho_w = 1 \text{ kg/lit}$
$\Delta T_{he} = 7 \text{ 'C}$
$h_w = 790840 \text{ J/kg}$
$h_{fg} = 2508009.5 \text{ J/kg}$
$w_0 = 0.0081994 \text{ kg H}_2\text{O/ kg dry}$
$w_s = 0.0080 \text{ kg H}_2\text{O/ kg dry}$
$w_0 = 0.0080380104 \text{ kg H}_2\text{O/ kg dry}$
$V_{he} = 1 \text{ m}^3$
$V_s = 379.5 \text{ m}^3$
$C_{pa} = 1004.832 \text{ J/kg. 'C}$
$C_{pw} = 4198 \text{ J/kg. 'C}$