مجله مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1395، دوره 16، شماره 13، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص 171-174

مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین‌المللی تهویه‌مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی
بیرجند، دانشگاه بیرجند، 6 و 7 مهر 1395

مهندسی مکانیک مدرس
mme.modares.ac.ir

طرّاحی مدل برخط سیستم تهویه مطبوع اتاق تمیز به منظور ارزیابی روش‌های کنترلی با روش جعبه خاکستری

مسعود نظری[1*]، علی غفاری[2]

1- کارشناسی ارشد، مهندسی مکاترونیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب ، تهران
2- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
* تهران، صندوق پستی 1764667148، st_ma_nazari@azad.ac.ir

چکیده

در این پژوهش مدل برخط سیستم تهویه مطبوع اتاق تمیز با استفاده از روش جعبه خاکستری طراحی شده است. مدل شبیه‌سازی شده جهت بررسی عملکرد انواع روش‌های کنترلی طراحی و نتایج به دست آمده بررسی گردیده است. سیستم تهویه مطبوع مورد مطالعه به دو زیر سیستم اصلی شامل دستگاه هواساز و اتاق تمیز تقسیم شده که هر کدام دارای زیر مجموعه‌های مجزا می‌باشند. زیر سیستم‌های اصلی به صورت مستقل شبیه‌سازی و در پایان به صورت مجموعه یکپارچه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. هواساز در این پژوهش دارای زیر سیستم‌های کویل سرد و گرم، فن هوای رفت و رطوبت زن بوده و زیر سیستم اتاق از دو بخش کانال رفت و اتاق تشکیل شده است. از آن جا که هدف ارائه مدلی با قابلیت عمومیّت‌یابی مناسب بوده در شبیه‌سازی رفتار زیر سیستم‌های هواساز ابتدا روش جعبه سفید استفاده و به منظور اضافه نمودن قابلیت برخط بودن، اطلاعات به دست آمده از روش کلاسیک در ساختار روش جعبه سیاه بهره برداری شده است. به منظور شبیه‌سازی رفتار غیرخطی و پیچیده اتاق و کانال هوای رفت از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شده است. مقایسه نتایج به دست آمده از مدل شبیه‌سازی شده با اطلاعات 2 ماه یکی از اتاق‌های تمیز انستیتو پاستور نمایش داده شده است. با استفاده از این روش می‌توان مدلی با قابلیّت عمومیّت‌یابی و دقّت مناسب به منظور بررسی روش‌های کنترلی گوناگون ارائه داد.

کلید واژگان: روش حساسیت گسسته، روش متغیر مختلط، روش نیمه‌تحلیلی، روش‌های آنالیز حساسیت

Modeling and Analysis of HVAC systems for Control System Design using Gray Box Approach

Masoud nazari[1*], Ali Ghaffari[2]

1- Department of Mechatronic engineering, Islamic Azad University of Technology South Tehran Branch, Tehran, Iran
2- Department of Mechanical Engineering, K.N Toosi University of Technology, Tehran, Iran
* P.O.B. 1764667148 Tehran, Iran, st_ma_nazari@azad.ac.ir

ABSTRACT

The purpose of this study is to design a method for analyzing dynamic behavior of Heating Ventilation and Air Conditioning system (HVAC) to employ in online simulations. Essential data as input-output of neural network is provided using energy and mass conservation equations. An implicit numerical method is used to solve dynamic equations of coil. The results of mathematical methods are applied in the output of neural network to design an online model. The proposed model is based on an active system used in HVAC system of clean rooms in Iran Pasteur Institute. Since in active air handlers input and outputs are not measured, here air conditioning systems is modeled generally. The results in comparison with real system data indicate an acceptable performance of the proposed method, so that combination of numerical results with a nonlinear autoregressive exogenous model (NARX) makes it possible to control the system effectively besides saving a significant amount of time.

Keywords: HVAC, online modeling, gray box, artificial neural network

1- مقدمه

براساس آمارهای منتشر شده از نهادهای فعّال در زمینه انرژی، سیستم‌های تهویه مطبوع حدود 39% از کل انرژی مصرفی در ساختمان‌ها را به خود اختصاص داده‌اند [2,1]. تأمین آسایش حرارتی در هر ساختمان وظیفه اصلی سیستم تهویه مطبوع[1] می باشد. در برخی اماکن مانند اتاق‌های تمیز، مخازن کتابخانه‌ها تأمین شرایط مناسب نیز از وظایف این سیستم‌ها می‌باشد. با توجه به دلایل گفته شده در سال‌های اخیر محققان در بهبود عملکرد سیستم‌های یاد شده مقالات متعددی را ارائه داده‌اند [3-1].

با ظهور روش‌های جدید کنترلی مهندسین درصدد بوده‌اند با پیشنهاد روش‌های نوین همزمان با بهبود آسایش حرارتی محیط مصرف، انرژی را در این سیستم‌ها کاهش دهند. نبود مدلی مناسب که به خوبی نمایانگر رفتار دینامیک سیستم باشد و تمامی المان‌های لازم کنترلی را در در دسترس قرار دهد سبب شده است اغلب پژوهش‌ها بر روی سیستم‌های فعّال انجام شود که مستلزم صرف هزینه و در برخی موارد بررسی دقیق روش کنترلی را با مشکلات متعدد روبه رو کند. در این پژوهش سعی شده روشی پیشنهاد شود که رفتار دینامیک و غیر خطی یک سیستم تهویه مطبوع فعال را به صورت بر خط شبیه‌سازی کند. نتایج به دست آمده گویای آن است با استفاده از این روش می توان عملکرد، روش‌های کنترلی متنوع را بررسی کرد.

مدل‌های ارائه شده در سال‌های اخیر را می‌توان به 3 دسته اصلی تقسیم

[1] HVAC: Heating, Ventilation and Air Conditioning

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:
Please cite this article using:
M. Nazari, A. Ghaffari, Modeling and Analysis of HVAC systems for Control System Design using Gray Box Approach, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 171-174, 2016 (in Persian فارسی)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.13.56.3]

نمود. 1- مدل‌هایی که براساس معادلات تبادل انرژی و بقای جرم و حل آن‌ها پیشنهاد شده‌اند. این روش مدل‌سازی اولین روشی بوده که به‌منظور مدل‌سازی عملکرد سیستم‌های تهویه مطبوع پیشنهاد شده است. حل معادلات پیچیده و غیرخطی، حذف بسیار از جزییات موثر در عملکرد مدل و در نظر گرفتن فرضیات متعدد از مشکلات این روش بوده است. این روش به روش جعبه سفید شهرت یافته است [4,3]. 2- با ظهور محاسبات نرم و روش های نوین در علم مدل‌سازی تعدادی از محققان با استفاده از روش‌هایی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، منطق فازی و الگوریتم‌های بهینه‌یابی مانند الگوریتم مورچگان، عملکرد سیستم‌های تهویه مطبوع را شبیه‌سازی کرده‌اند. این روش علی‌رغم دقت مناسب و عبور از سد معادلات پیچیده بدون توجه فرآیندهای فیزیکی روی داده در سیستم، با استفاده از اطلاعات ورودی و خروجی سیستم رفتار آن را شبیه‌سازی می‌کند که مستلزم در اختیار داشتن حجم وسیعی از اطلاعات می باشد که در برخی موارد بسیار مشکل است و از سوی دیگر مدل ساخته شده قابل استفاده در سیستم‌های دیگر نمی‌باشد. این روش را روش جعبه سیاه می‌نامند [6,5]. 3- روش سوم که در سال‌های اخیر مطرح شده است ترکیبی از دو روش پیش گفته می‌باشد. این روش به روش جعبه خاکستری معروف است [7].

در این پژوهش با پیروی از روش جعبه خاکستری تلاش شده است مدلی ساخته شود که علاوه بر شبیه‌سازی کامل رفتار ترمودینامیک سیستم، قابلیت تعمیم دادن بر سایر سیستم‌ها را دارا باشد و به صورت بر خط قابلیت ارزیابی عملکرد روش‌های کنترلی را دارا باشد. بدین منظور سیستم تهویه مطبوع به دو زیر سیستم اصلی، قسمت هواساز و قسمت اتاق-کانال رفت، تقسیم شده است. از آن‌جا که بسیاری از هواسازها و المان‌های تشکیل دهنده آن (کویل سرد-گرم، رطوبت‌زن، فن هوای رفت) در سیستم‌ها مشابه هستند اساس ساخت این بخش از مدل روش جعبه سفید بوده. روش مدل‌سازی کویل‌ها در پژوهشی که قبلاً از نگارنده چاپ شده به تفصیل توضیح داده شده است [8]. رطوبت‌زن و فن هوای رفت با استفاده از روش جعبه سفید شبیه‌سازی شده است. از آن‌جا که در اکثر سیستم‌های مدیریت ساختمان (BMS[1]) اطلاعات هوای خارج شده از هواساز و اتاق اندازه‌گیری می‌شود، تأثیر جزییات بسیار بر هوای داخل اتاق و پیچیدگی محاسبات در این زیر سیستم با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی رفتار ترمودینامیک اتاق و کانال هوای رفت شبیه سازی شده است [12-9] .

در این پژوهش با استفاده از اطلاعات گرفته شده از یکی از اتاق‌های تمیز انستیتو پاستور ایران سیستم تهویه مطبوع شبیه‌سازی شده و نتایج با اطلاعات سیستم BMS مقایسه گردیده است.

2- معرفی مدل

در این پژوهش جهت مدل‌سازی از سیستم فعال تهویه مطبوع یکی از اتاق‌های تمیز انستیتو پاستور ایران استفاده شده است. سیستم تهویه مطبوع موردنظر تنها هوای یکی از اتاق‌ها را تأمین کرده که این امر بررسی عملکرد مدل ساخته شده را آسان‌تر کرده است. مراحل پیش گرمایش، ترکیب هوای برگشت با هوای تمیز و مراحل میکروب‌زدایی در هواساز دیگری انجام و خروجی آن به عنوان ورودی هواساز اصلی مدنظر قرار گرفته شده، ازاین‌رو ترکیب‌کننده هوا شبیه‌سازی نشده است. "شکل1".

کلیّه اطلاعات موردنیاز توسط سامانه مدیریت ساختمان پایش و ضبط می شود. همان‌گونه که نمایش داده شده است اتاق تمیز توسط منطقه‌ی ایزولاسیون

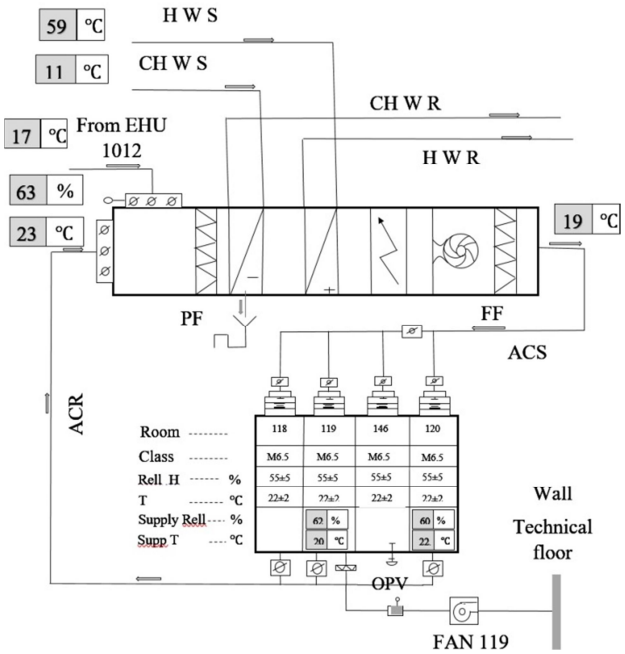

Fig. 1 Clean room's HVAC system in BMS

شکل1 سیستم تهویه مطبوع اتاق تمیز در سیتم مدیریت ساختمان

از راهروی اصلی حفاظت شده تا تردد و تغییرات هوای بیرون تأثیر ناگهانی بر هوای داخل اتاق نداشته باشد.

3- مدل‌سازی

سیستم تهویه مطبوع به دو زیر سیستم اصلی تقسیم شده است، هواساز و اتاق تمیز، که هریک دارای ویژگی‌های مخصوص خود بوده‌اند. عملکرد ترمودینامیک هواساز با توجه مشخص بودن عناصر تشکیل دهنده به نحوی شبیه‌سازی شده است که قابلیت تعمیم‌دادن روش، به هواسازهای مشابه را تنها با جاگذاری پارامترهای جدید دارا باشد. اتاق و کانال هوای رفت به سبب جزییات بسیار زیاد و منحصر به فرد، روابط غیرخطی و بسیار پیچیده که به صورت کلی رفتار ترمودینامیک آن را توصیف می‌کند به روشی شبیه‌سازی شده که نتایج دقیق و قابل قبولی حاصل شده است.

3-1- مدل‌سازی هواساز

هواساز مدل شده در این پژوهش دارای زیر سیستم‌های، کویل سرد و گرم، فن هوای‌رفت و رطوبت‌زن، "شکل2 "، که رفتار کویل سرد و گرم را به روش جعبه خاکستری و رطوبت‌زن و فن به شیوه جعبه سفید شبیه‌سازی شده اند.

Fig. 2 AHU of clean room

شکل 2 هواساز مربوط به اتاق تمیز

[1] Building Management System

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.13.56.3]

3-1-1- مدل‌سازی کویل

کویل‌ها اصلی‌ترین نقش را در سرمایش، گرمایش و حذف رطوبت در هوای رفت به عهده دارند. رفتار کویل گرم، بسیار شبیه رفتار کویل سرد در محیط خشک می‌باشد از این رو شبیه‌سازی رفتار کویل سرد در دو محیط خشک و مرطوب رفتار کویل‌ها بررسی شده است. تاکنون تلاش‌های بسیاری در ارائه شیوه‌های نوین شبیه‌سازی رفتار ترمودینامیک کویل ارائه شده است. در مقاله ای که از نگارنده به چاپ رسیده است رفتار کویل شبیه‌سازی شده .[8]

3-1-2- مدل‌سازی فن

فن هوای رفت که در این پژوهش بررسی شده است در حالت ایده‌آل در نظر گرفته شده که هیچ تأثیری بر روی رطوبت هوا نخواهد داشت. موتور فن در مسیر حرکت هوا نبوده است و این مسئله سبب می‌شود تنها تغییرات ایجاد شده در دمای هوا بین $1^{\circ C} - 2^{\circ C}$ بوده است. روابط مرتبه اول (1,2) تغییرات ترمودینامیکی هوا پس از عبور از فن تشریح کرده‌اند.

$$q_e = \frac{\Delta p\, \dot{v}}{\mu_{\text{motor}}} \quad (1)$$

$$q_{\text{air}} = (\mu_{\text{motor}} + (1 - \mu_{\text{motor}}) f_{\text{motorloss}}) q_e \quad (2)$$

در روابط فوق q_e توان مصرفی موتور برحسب watt، Δp افت فشار ایجاد شده، $\dot{v}$ سرعت جریان هوا برحسب (m^3/s) ، μ_{motor} بازده موتور و μ_{motor} گویای افت فن در هوا می‌باشد.

3-1-3- مدل‌سازی رطوبت‌زن

در اتاق تمیز میزان رطوبت موجود در هوا از عوامل مهم در تعیین کیفیت آن می‌باشد. به‌منظور تزریق رطوبت موردنیاز به هوای رفت از رطوبت‌زن استفاده شده است. بخار خشک اضافه شده می‌بایست قبل از ورود به رطوبت زن مراحل استریل شدن را پیموده باشد. روابط (3,4)تغییرات ایجاد شده در انرژی و جرم هوای عبور کرده از رطوبت زن را نمایش می‌دهد.

$$C_h \frac{dT_h}{dt} = f_{\text{sa}}\, C_{pa}(T_{si} - T_h) + \propto_h (T_o - T_h) \quad (3)$$

$$V_h \frac{dW_h}{dt} = f_{\text{sa}}\, (W_{si} - W_h) + \frac{h(t)}{\rho_a} \quad (4)$$

در روابط فوق C_h ظرفیت گرمایی رطوبت‌زن، T_h دمای هوای وارد شده، f_{sa} دبی هوای وارد شده، C_{pa} گرمای ویژه هوا، $\propto_h$ ضریب انتقال گرمای هوا، T_o دمای هوای بیرون، V_h گنجایش رطوبت‌زن، W_h رطوبت هوای وارد شونده، $h(t)$ سرعت هوای مرطوب آماده شده در رطوبت زن است. پس از مدل‌سازی زیر سیستم‌های هواساز به‌صورت جداگانه، هر یک را به دیگری ارتباط می دهیم تا مدل یکپارچه هواساز حاصل شود [9].

3-2- مدل‌سازی اتاق تمیز و کانال هوای رفت

ارائه شیوه‌ای که بتواند رفتار ترمودینامیک محیط‌های مسکونی را با دقت مناسب شبیه‌سازی کند از دغدغه‌های پژوهشگران بوده است. تأثیرگذاری عوامل بسیاری مانند نحوه‌ی تأثیر تابش آفتاب بر اتاق، تعداد نفرات و تجهیزات الکتریکی داخل اتاق و میزان فعالیت آن‌ها و بسیاری عوامل مختلف سبب شده است، روش‌های کلاسیک مدل‌سازی در این بخش از سیستم تهویه مطبوع با استقبال کمتری روبه‌رو باشند. ظهور روش‌های مدل‌سازی براساس محاسبات نرم با دقت مناسبی رفتار ترمودینامیک اتاق را شبیه‌سازی می‌کند و بسیاری از مشکلات شبیه‌سازی مرتفع شده است [11-14].

شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از کاربردی‌ترین روش‌های شبیه‌سازی به شمار می‌روند. در میان انواع مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی، در این پژوهش از شبکه‌های عصبی مصنوعی خود بازگشتی با ورودی خارجی (NARX[1]) به عنوان مناسب‌ترین روش در شبیه‌سازی رفتار ترمودینامیک اتاق تمیز و کانال هوای رفت استفاده شده است. معادلات (5-8) عملکرد این نوع از شبکه‌های عصبی مصنوعی را بیان می‌کنند [14-18].

$$\hat{x}(t+d) = f_1(x(t).x(-d).\ldots.x(-n_4 d).u_x(t).u_x(-d).\ldots.u_x(-n_5 d)) \quad (5)$$

$$\hat{y}(t+d) = f_2(y(t).y(t-d).\ldots.y(t-n_1 d).x(t).\ldots.x(t-n_2 d).u_y(t).u_y(t-d).\ldots.u_y(t-n_3 d) \quad (6)$$

$$X(t+d) = \hat{x}(t+d) + e_x(t+d) \quad (7)$$

$$y(t+d) = \hat{y}(t+d) + e_y(t+d) \quad (8)$$

در این معادلات $x(t)$ و $y(t)$ خروجی سیستم در زمان t و $u_y(t)$ و $u_x(t)$ ورودی سیستم $\hat{y}(t+d)$ و $\hat{x}(t+d)$ مقادیر پیش‌بینی شده با تأخیر زمانی d می‌باشد. $x(t+d)$ و $y(t+d)$ خروجی واقعی سیستم در زمان $(t+d)$ است. $e_x(t+d)$ و $e_y(t+d)$ خطای مربوط است. در این معادلات مقدار خروجی پیش‌بینی شده $\hat{y}(t+d)$ به دقت مقادیر خروجی سیستم بسیار وابسته است. برای بهتر کردن خروجی سیستم می‌توان معادله (9) را به جای معادله (8) به کار برد .

$$\hat{y}(t+d) = f_2(y(t).y(-d).\ldots.y(-n_3 d).\hat{x}(+d).x(t).\ldots.x(-n_4 d).u_y(t).u_y(t-d).\ldots.u_y(t-n_5 d) \quad (9)$$

اطلاعات دو ماه (مرداد و شهریور سال 1394[2]) به‌دست‌آمده از سیستم مدیریت ساختمان اتاق تمیز انستیتوپاستور ایران با فاصله‌ی زمانی نمونه‌گیری 1 دقیقه‌ای برای آموزش و اعتبارسنجی مدل استفاده شده است. یک شبکه عصبی NARX با 3 نورون در ورودی، 3 نورون در خروجی و 14 نورون در لایه مخفی که با استفاده از الگوریتم لونبرگ- مارکوارد[3] آموزش داده شده است رفتار اتاق را شبیه‌سازی شده است.

4- ارزیابی مدل

پس از ساخت مدل هر زیر سیستم می‌بایست مدل یکپارچه سیستم تهویه مطبوع ساخته شده است. در ارزیابی اطلاعات به دست آمده از خروجی مدل هواساز برای ورودی اتاق استفاده شده است.

از آن‌جاکه اطلاعات خروجی هواساز در دسترس نبوده است رفتار ترمودینامیک هواساز با بررسی کلی مدل نتیجه‌گیری شده است. نتایج حاصل شده از مدل هواساز در "شکل 3" آورده شده است.

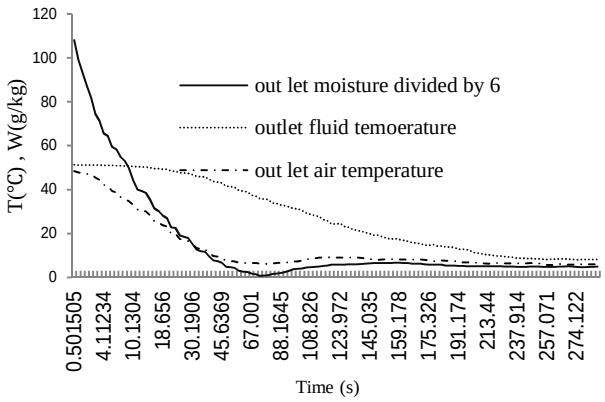

Fig. 3 output of AHU modeling

شکل 3 خروجی مدل هواساز

[1] Nonlinear Auto Regressive Exogenous
[2] 22 Jul 2015 - 22 Sep 2015
[3] Levenbreg-Marquardt

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.13.56.3]

جدول 1 نتایج ارزیابی مدل ساخته شده

Table. 1 validation results of model

	اطلاعات استفاده شده	مجذور کمترین خطا	خطا
آموزش	7315	1.780099×10^{-1}	9.99697×10^{-1}
داده سنجی	1567	1.9889×10^{-1}	9.9966×10^{-1}
ارزیابی	1567	3.76374×10^{-1}	9.9932×10^{-1}

از مجموع اطلاعات استفاده شده برای مدل‌سازی اتاق، 70% جهت آموزش و سهم اعتبارسنجی و آزمایش مدل اتاق به‌صورت مساوی 15% از کل اطلاعات بوده است. نتایج حاصل ارزیابی کل مدل در جدول 1 نمایش داده شده است.

5- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل شده در این پژوهش روشی پیشنهاد شده است که رفتار ترمودینامیک یک سیستم تهویه مطبوع شبیه‌سازی شده است. مدل پیشنهادی تمامی نکات لازم برای ارزیابی برخط روش‌های کنترلی مختلف را در دسترس قرار داده است. در روش پیشنهادی می‌توان تنها با جاگذاری پارامترهای جدید مدل را برای سیستم‌های دیگر عمومیت داد، بدین منظور از روش مدل‌سازی کلاسیک و روش جعبه خاکستری استفاده شده است. در مدل‌سازی رفتار ترمودینامیک اتاق با توجه به جزییات بسیار و مؤثر از روش شبکه‌های عصبی خود بازگشتی با ورودی خارجی استفاده شده است.

در دسترس نبودن یک سیستم آزمایشگاهی که تمامی المان‌ها را پایش کند سبب شد امکان ارزیابی عملکرد هواساز به‌صورت مستقل مهیا نباشد. در اختیار داشتن حجم بیشتری از اطلاعات در دقت بیشتر مدل اتاق تأثیر فراوانی خواهد داشت.

6- قدردانی

در پایان لازم است از مسئولین انستیتو پاستور ایران به ویژه متخصصین بخش تأسیسات که مهربانانه اطلاعات لازم را در اختیار پژوهشگران قرار دادند کمال تشکر را به‌جا آوریم. مدل‌سازی این پژوهش با همکاری صمیمانه مرکز مدل‌سازی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب صورت گرفته است.

7- مراجع

[1] Raad Z.Homod, Review on the HVAC system modeling types and shortcomings of their applications, *Hindawi Publishing Corporation Journal of Energy*, Volume 2013, Article ID768932,10 pages .

[2] Abdul Afram, Farrokh Janabi-Sharifi, Theory and applications of HVAC control systems e A review of model predictive control (MPC), *Energy and Buildings*, 94 (2014) 78-89.

[3] Jing-Nang Lee, Tsung-Min Lin, and Chien-Chih Chen, Modeling Validation and Control Analysis for Controlled Temperature and Humidity of Air Conditioning System , *Hindawi Publishing Corporatione Scientific World Journal* ,Volume 2014, Article ID 903032, 10 pages.

[4] Abdul Afram, Farrokh Jenabi, Black box modeling of residential HVAC system and comparison of gray box and black box modeling methods, *Energy and Buildings* 94 (2015) 121-141.

[5] Nabil Nassif, Modeling and optimization of HVAC systems using artificial neural network and genetic algorithm, *build simul*. (2014) 7: 237–245.

[6] N.NithyaRani1, Dr.S.M.GirirajKumar2, Dr.N.Anantharaman, Modeling and control of temperature process using genetic algorithm, *Electronics and Instrumentation Engineering*, Vol. 2, Issue 11, November 2013.

[7] Abdul Afram, Farrokh Janabi-Sharifi, Gray-box modeling and validation of residential HVAC system for control system design, *Applied Energy* 137 (2015) 134–150.

[8] Masoud Nazari, Ali Ghaffari, Modeling and Analysis of Cooling C oil for Control System Design using Gray Box Approach, *Modern Applied Science*; Vol. 10, No. 10; 2016

[9] Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, Frank P. Incropera, David P. Dewitt, *Fundemental of heat and mass transfer*, 17(2011), 241-257.

[10] Hao Huang, Lei Chen, Morteza Mohammadzaheri, Eric Hu, and Minlei Chen, Multi-zone temperature prediction in a commercial building using artificial neural network model, *2013 10th IEEE International Conference on Control and Automation* (ICCA) .Hangzhou, China, June 12-14, 2013.

[11] Gongsheng Huang, Model predictive control of VAV zone thermal systems concerning bi-linearity and gain nonlinearity, *Control Engineering Practice19* (2011)700–710 .

[12] Shujiang Li, Shuang Ren , Xiangdong Wang, HVAC room temperature prediction control based on neural network model, *Fifth Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*. 2013

[13]Siyu Wu, Jian-Qiao Sun, A physics-based linear parametric model of room temperature in office buildings, *Building and Environment* 50 (2012) 1-9.

[14] Servet Soyguder , Hasan Ali, An expert system for the humidity and temperature control in HVAC systems using ANFIS and optimization with Fuzzy Modeling Approach, *Energy and Buildings* 41 (2009) 814–822.

[15] Bourhan Tashtoush, M. Molhim, M. Al-Rousan, Dynamic model of an HVAC system for control analysis, *Energy* 30 (2005) 1729–1745.

[16] Andrew Kusiak, Guanglin Xu, Modeling and optimization of HVAC systems using a dynamic neural network, *Energy* 42 (2012) 241e250.

[17] Martin de Wit, Nabil Nassif, Modeling and optimization of HVA C systems using artificial neural network and genetic algorithm, *build simul* (2014) 7: 237–245.

[18] A.W.M. van Schijndel, H.L. Schellen, J.L. Wijffelaars, K. van Zundert, Application of an integrated indoor climate, HVAC and showcase model for the indoor climate performance of a museum, *Energy and Buildings* 40 (2008) 647–653.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.13.56.3]