Archive of SID

ISSN: 2476-6909; Modares Mechanical Engineering. 2019;19(8):2023-2029

Comparative Comparison of Temperature Reduction Solutions in Homeostatic Façade

ARTICLE INFO

Article Type
Original Research

Authors
Taghizadeh Azari K.*[1] *PhD,*
Matini M.R.[2] *PhD,*
Zare M.[3] *MArch*

How to cite this article
Taghizadeh Azari K, Matini M.R, Zare M. Comparative Comparison of Temperature Reduction Solutions in Homeostatic Façade. Modares Mechanical Engineering. 2019;19(8):2023-2029.

ABSTRACT

The development of built environment and increase of energy source utilization have led to paying attention to different procedures to optimized energy consumption in buildings. Designing different sort of double skin façade provides opportunities to keep building in more balanced environment and use less energy to provide comfort condition. As a natural process that optimizes energy consumption by balancing between different solutions, homeostasis is used as a pattern in designing this sort of homeostatic façade. Nowadays, different sorts of smart façade have been used on the boundary of building and environment. A sort of smart façade, which is designed based on homeostatic process, is able to create a sustainable balance between different solutions, adapting to environmental changes, and define the hierarchy of their use in different conditions, so as to provide thermal comfort conditions inside the building with higher efficiency than conventional smart façades. In this study, temperature fluctuation limits in homeostatic façade is determined and solutions are derived from a natural homeostasis system, and used in the design of the desired façade. The aim of this research is to compare the efficiency of temperature reduction solutions in different conditions and specified optimal one. For this end, a modulus of homeostatic façade is built and the operation under laboratory condition is evaluated, and also its behavioral relationship is examined with temperature fluctuations.

Keywords Homeostatic Façade; Efficiency; Temperature Fluctuation; Homeostasis

[1]Architecture Department, Fine Art Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran
[2]Architecture Department, Architecture and Urban Planning Faculty, University of Art, Tehran, Iran
[3]Architecture Department, Art Faculty, Kish International Campus, University of Tehran, Kish, Iran

Correspondence
Address: Architecture Department, Fine Art Faculty, University of Tehran, Tehran, Iran
Phone: +98 (21) 66409696
Fax: +98 (21) 66956558
ktaghizad@ut.ac.ir

Article History
Received: June 30, 2018
Accepted: January 29, 2019
ePublished: August 12, 2019

CITATION LINKS

[1] Green architecture: Advanced technologies and materials, C2010 [2] Sustainable architecture [3] Adaptive homeostasis [4] Human biology: Health, homeostasis, and the environment [5] Biomimetics in architecture: Architecture of life and buildings, 2011 [6] The S-Lagrangian and a theory of homeostasis in living systems. Physica A Statistical Mechanics and its Applications [7] The homeostasis solution - mechanical homeostasis in architecturally homeostatic buildings [8] The skin's role in human thermoregulation and comfort [9] Thermal adaptation in architecture, first step of energy saving [10] Review on modeling heat transfer and thermoregulatory responses in human body

Copyright© 2019, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه تطبیقی راهکارهای کاهنده دما در پوسته هموستاتیک

کتایون تقی‌زاده آذری* PhD
گروه معماری، دانشکده هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
محمدرضا متینی PhD
گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران
محمد زارع MArch
گروه معماری، دانشکده هنر، پردیس بین‌المللی کیش، دانشگاه تهران، کیش، ایران

چکیده
توسعه محیط‌های مصنوع و افزایش بهره‌برداری از منابع انرژی موجب شده است تا ضرورت استفاده از روش‌های مختلف در بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها مورد توجه قرار گیرد. ایجاد پوسته‌ای ثانویه در اطراف بنا موجب می‌شود تا ساختمان در شرایط مطلوب‌تری نسبت به محیط اطراف قرار گیرد و میزان انرژی مصرفی آن برای تأمین شرایط آسایش حرارتی فضای داخلی کاهش یابد. هموستازی به‌عنوان فرآیندی طبیعی که با برقراری تعادل میان راهکارها، موجب بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌شود، به‌عنوان الگویی در طراحی این پوسته مورد توجه قرار گرفته است. انواع متفاوتی از پوسته‌های هوشمند در مرز میان بنا و محیط اطراف وجود دارند؛ نوعی از پوسته هوشمند که مبتنی بر اصل هموستازی طراحی می‌شود این توانایی را دارد که با سازگاری نسبت به تغییرات محیطی، تعادلی پایدار میان راهکارهای مختلف ایجاد کند و سلسله‌مراتب استفاده از آنها را در شرایط مختلف مشخص کند تا در نهایت، تأمین شرایط آسایش حرارتی درون بنا با بازدهی بالاتری نسبت به پوسته‌های هوشمند متداول تأمین شود. در این تحقیق حدود نوسان مطلوب دما در پوسته هموستاتیک، تعیین و راهکارهایی از یک سیستم هموستاز طبیعی اقتباس و در طراحی پوسته مورد نظر به کار گرفته شده است. هدف از این تحقیق، قیاس میزان بازدهی راهکارهای مختلف کاهنده دما در شرایط متفاوت محیطی است که بر این اساس، راهکار بهینه مشخص می‌شود. بدین منظور مدولی از پوسته هموستاتیک ساخته می‌شود و در شرایط آزمایشگاهی، رفتار پوسته مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و ارتباط رفتاری آن با نوسان دما بررسی می‌شود.
کلیدواژه‌ها: پوسته هموستاتیک، بازدهی، نوسان دما، هموستازی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۹
*نویسنده مسئول: ktaghizad@ut.ac.ir

۱- مقدمه

ایجاد پایداری در سیستم‌های زنده از شروط تداوم حیات جانداران به شمار می‌رود. پایداری را از ابعاد مختلف کالبدی، اجتماعی و اقتصادی می‌توان مورد توجه قرار داد. اما آنچه در نگاهی کالبدی و عملکردی، بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد، تعادل در تبادلات ماده و انرژی میان سیستم با محیط اطراف است. در معماری، پایداری، واژه‌ای عمومی است که برای توصیف طراحی ساختمان‌های مقاوم از نظر فنی، مصالح، اکولوژیک و مسائل محیطی به کار می‌رود. خلق ساختمان‌های پایدار نیازمند توجه به پایداری عناصر تکنولوژیک و مواد، منابع و محیط است. پایداری یک المان براساس دوام، درجه حفاظت و توانایی تجدیدشدن آن تعیین می‌شود[1]. در یک چارچوب کلی می‌توان معماری پایدار را به‌معنای "خلق محیط پایدار انسان‌ساخت" تعبیر کرد که شرط اساسی در نیل به پایداری محیطی، برقراری تعادل پویا میان نظام‌های مختلف محیط است[2]. محیط پایدار انسان‌ساخت را می‌توان از ابعاد مختلف کالبدی، عملکردی، اجتماعی، اقتصادی و معنایی مورد بررسی قرار داد. آنچه در این تحقیق بدان پرداخته می‌شود پایداری محیط مصنوع از بعد عملکردی و با تمرکز بر راهکارهایی است که موجب کاهش مصرف انرژی ساختمان می‌شوند. بخش عمده‌ای از این کاهش انرژی، متوجه پوسته ساختمان است که مرز میان بنا و محیط اطراف به حساب می‌آید. امروزه استفاده از پوسته‌های چندلایه در بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان نقش مؤثری دارد. استفاده از این‌گونه پوسته‌ها از سال ۱۹۰۳ مورد توجه قرار گرفت. آنچه در اغلب آنها به‌عنوان راهکار اصلی مصرف انرژی مطرح شده، کاهش میزان انرژی گرمایشی ساختمان با افزایش دمای فضای بین پوسته دولایه با بهره‌مندی از انرژی خورشیدی و اثر گلخانه‌ای ناشی از تابش، کاهش انرژی سرمایشی ساختمان با ایجاد تهویه در این لایه و همچنین کاهش انتشار آلودگی‌های صوتی محیط، به درون بنا بوده است.

فاز انتخابی در این تحقیق، مرحله بهره‌برداری از بنا است که بر این اساس، تبادلات انرژی میان ساختمان و محیط اطراف، بررسی می‌شود. مرز میان بنا و محیط، لایه‌ای است که امکان تعدیل شرایط محیط را برای ساختمان فراهم می‌سازد؛ همانند پوستی که بدن جانداران را احاطه می‌کند و موجب افزایش توان سازگاری جاندار با محیط می‌شود. از جمله اصولی که در جانداران منجر به برقراری تعادلی پایدار در سیستم‌های حیاتی و کنترل متغیرها می‌شود، اصل هموستازی است.

واژه هموستازی توسط *کانن* در ادامه تلاش‌هایی ابداع شد که برای شناخت اصول "محیط داخلی جانداران" صورت گرفت. پیش از آن *کلودبرنارد*، نظرات خود را در مورد محیط داخلی جانداران ارائه داده بود. مفهوم محیط داخلی جانداران و پایداری آن توسط فیزیولوژیست فرانسوی، *کلودبرنارد* در سال ۱۸۶۵ بیان شده بود[3].

واژه هموستازی از ترکیب دو واژه یونانی هومئو به‌معنی "یکسان" و استاسیس به‌معنی "پایا" تشکیل شده که به‌صورت تحت‌الفظی معنی "ثابت‌ماندن" از آن اقتباس شده است. از این رو بسیاری هموستازی را "تداوم ثبات" می‌پندارند. متأسفانه این برداشت از دقت کافی برخوردار نیست. در حقیقت، هموستازی وضعیتی ثابت نیست، برعکس حالتی دینامیک و پویا (در حال تغییر دائمی) است. هموستازی حاصل دامنه گسترده‌ای از مکانیزم‌های خودکار است که محیط داخلی را بر مبنای تغییرات محیط خارجی متعادل می‌سازد[4]. هموستازی عبارت از گرایش به تعادل پایدار میان عناصر وابسته به‌ویژه در فرآیندهای فیزیولوژیک است[5]. به‌وسیله هموستازی است که جانداران، حیات و پایداری عملکردهای فیزیولوژیک خود را در محیط متغیر خارجی حفظ می‌کنند. تداوم حیات، نتیجه حفظ انسجام و پایداری سیستم‌های مختلف جاندار، با وجود عوامل آسیب‌رسان محیطی است و حذف ویژگی هموستازی به مرگ جاندار منجر می‌شود[6]. اگرچه موجودات زنده نیازمند محیط اطراف خود هستند، با این حال به‌صورت نسبی از آن مستقل هستند. چنین استقلال از محیط خارجی مبتنی بر این حقیقت است که جانداران خود را از ارتباط مستقیم با عوامل محیطی جدا کرده و با استفاده از ثبات محیط داخلی و مایعات در گردش داخل بدن، محیط مناسبی برای تداوم حیات خود فراهم آورده‌اند[7].

ساختمان‌های هموستاتیک از منظر حرارتی، ساختاری نیمه‌خودکار دارند و تغییرات دمای آنها در بازه مشخصی حتی بدون استفاده از تجهیزات سرمایشی و گرمایشی در حدود مناسبی باقی می‌ماند. تنظیمات حرارتی در چنین ساختمان‌هایی توسط شبکه‌ای از مجاری آبی صورت می‌گیرد که ناقل حرارت در ساختمان‌ها هستند[7]. این‌گونه از ساختمان‌ها با الگوبرداری از سیستم گردش خون جانداران و ویژگی‌های لایه‌های پوستی، سعی در ابداع نوعی

www.SID.ir

Archive of SID

لایه سطحی در ساختمان دارند تا به‌روشی بهینه تغییرات حرارت محیطی را برای ایجاد شرایط آسایش در محیط داخلی به کار گیرند. پوسته‌های هموستاتیک بخشی از ساختار ساختمان‌های هموستاتیک را تشکیل می‌دهند که نقش اصلی را در تأمین منابع گرمایشی و سرمایشی با استفاده از ظرفیت‌های محیطی (داخلی و خارجی) ایفا می‌کنند. قرابت زیادی میان این‌گونه از پوسته‌ها با نماهای هوشمند، پوسته‌های دولایه، دیوارهای ترمب، پوسته‌های زیستی، دیوارهای خارجی تنفسی و سایر راهکارهای متمرکز بر پوسته ساختمان وجود دارد. اما وجود سلسله‌مراتبی دینامیک میان راه‌کارها در شرایط متفاوت محیطی، وجود راهکارهای همسو برای حل یک مساله، تسری عملکرد به تمام فصول و حفظ نقش کاربر در تغییر شرایط حرارتیِ فضای داخلی از جمله امتیازات اصلی این پوسته با موارد مشابه است.

پوسته‌های دینامیک را می‌توان از دو منظر کلی نگریست. در نوع اول که رویکرد متداول نیز به شمار می‌رود، تغییرات در ساختار فیزیکی پوسته به‌عنوان شاخص تعریف این دسته از نماها به شمار می‌آید. طراحی انواع بازشوها، تابش‌بندها، صفحات تغییر شکل‌دهنده، تغییرپذیری شفافیت نما، نفوذپذیری انتخابی و رفتارهای سازگارانه متغیر، همگی دلالت بر وجود نوعی پویایی دارد. اما نوع دیگری از نماهای دینامیک را نیز می‌توان بر شمرد که این مفهوم را در ساختار چرخه کنترلی خود پیاده‌سازی کرده، به‌عبارتی نقطه تنظیمی که غالباً استاتیک بوده، ماهیتی شناور یافته است. مثلاً در نمونه‌های مربوط به نوع اول، معمولاً شدت نوری مشخص یا رسیدن به نقطه دمایی خاصی منجر به بروز واکنش‌های عملکردی خاص در نما می‌شود، اما در نماهای دینامیک نوع دوم (براساس نقطه تنظیمی دینامیک) نقطه آغازینِ رفتاری، حالتی شناور دارد و ممکن است شروع واکنش در دامنه نوسان بزرگ‌تری تعریف می‌شود.

در این تحقیق، علاوه بر طراحی نوعی از پوسته هموستاتیک در مرز بنا و محیط اطراف آن، ساختار ارزیابی این پوسته‌ها نیز براساس اولویت راهکارهای متفاوت در شرایط متغیر محیطی ارائه می‌شود. این ارزیابی براساس یکی از ویژگی‌های اصلی مفهوم هموستازی صورت می‌پذیرد که همان اولویت‌بندی دینامیک میان راهکارها است. به‌عبارتی اگر نظام سلسله‌مراتبی میان راهکارهای مختلف در شرایط متفاوت تغییر کند، تأییدی بر ارتباط دینامیک میان راهکارها در پوسته هموستاتیک است.

۱-۱- روش و ابزار تحقیق

قلمروی مکانی این تحقیق، "مرز میان سایت و ساختمان" و قلمروی زمانی آن "فاز بهره‌برداری از بنا" در نظر گرفته شده و روش گردآوری داده‌ها به‌صورت تجربی و با استفاده از ابزارهای سنجش کمی است (شکل ۱). شناسایی رفتار پوسته هموستاتیک در شرایط مختلف محیطی و صحت‌سنجی انتقال مفهوم هموستازی به دانش معماری، نیازمند ساخت مدولی از پوسته مذکور خواهد بود که با ابزارهای سنجش کمی همچون ترمومتر، آنمومتر و انرژی‌متر بررسی می‌شود. در این پژوهش با ساخت مدل فیزیکال پوسته هموستاتیک، نتایج به‌صورت تجربی ارزیابی و چرخه یا چرخه‌های بهینه در متعادل‌سازی شرایط حرارتی پوسته هوشمند، در بازه حرارتی مورد نظر استخراج می‌شود.

آزمایشات در فضایی به ابعاد ۳×۱/۵×۳متر انجام می‌شود که امکان تنظیم دمای آن با استفاده از سیستم‌های گرمایشی یا سرمایشی فعال وجود دارد. بر این اساس، دمای این فضا که در حکم محیط خارجی بنا است، در بازه مورد نظر تنظیم و در طول زمان آزمایش ثابت باقی می‌ماند. افزایش دمای پوسته هموستاتیک در بازه مورد نظر با استفاده از المنت‌های الکتریکی متصل به یک دیمر انجام می‌شود. ارتباط لایه هموستاتیک با محیط خارج از طریق دریچه‌های تیپ A و ارتباط فضای هموستاتیک با فضای داخلی توسط دریچه‌های تیپ B صورت می‌گیرد. راهکارهای کاهنده دما که در آزمایشات مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارت از تهویه غیرفعال، تهویه فعال (با استفاده از فن الکتریکی با قابلیت تولید جریان هوایی با سرعت ۳/۲متر بر ثانیه)، لوله‌های تراوا (با خاصیت ایجاد سرمایش تبخیری) و استفاده از تهویه زیرزمینی هستند که در این روش، هوای طبقات زیرزمین که دمایی کمتر از سطوح هم‌تراز زمین یا بالاتر از آن دارند، به‌صورت فعال به درون لایه هموستاتیک دمیده می‌شود.

شکل ۱) ابزارهای سنجش کمی تحقیق؛ راست به چپ: انرژی‌متر، آنمومتر، ترمومتر و مدولی از پوسته هموستاتیک

۲- الگوی تنظیم دما در بدن انسان

از جمله عوامل متغیر محیطی که برای همه جانداران از اهمیت ویژه‌ای در حفظ حیات دارد، دمای محیط است. این متغیر بسته به نوع جاندار (گیاه، جاندار خونگرم، جاندار خونسرد و غیره) به شیوه‌های مختلفی تنظیم می‌شود. در گونه‌های جانوری به‌دلیل قابلیت حرکت، نوع پاسخ‌ها با گیاهان متفاوت است. شناخت مکانیزم تعدیل دما در سیستم‌های زیستی، امکان انتقال این مفهوم را از دانش مبنا به دانش معماری فراهم می‌سازد. آنچه در دنیای جانداران برای رسیدن به این هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد، فرایِ ساختارهای عینی است که غالباً مورد توجه قرار می‌گیرد. کنترل و راهبری این ساختارها بر مبنای مجموعه‌ای از فرآیندهای وابسته است تا با کمترین میزان مصرف انرژی به شرایط مورد نظر دست یابد.

مکانیزم‌های تبادل حرارتی بدن شامل روش‌های انتقال حرارت به‌واسطه شیوه‌های مختلفی همچون هدایت گرمایی، همرفت، تابش به‌همراه تبادلات تنفسی است که از طریق شش‌ها صورت می‌گیرد (جدول ۱) [8]. در این بخش ساختار پوست بدن انسان و نظام تنظیم دمای آن بررسی می‌شود و جزئیات مورد نیاز برای تبادل گرما و رطوبت در مرز بیرونی پوست و شیوه تأمین آسایش حرارتی برای فرد بررسی می‌شود.

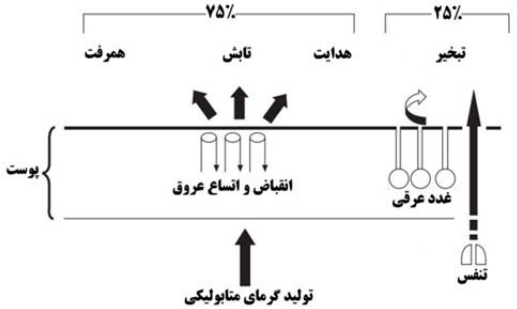
جدول ۱) روش‌های تولید و ازدست‌دادن حرارت در بدن انسان[8]

روش	روش مورد استفاده	بازدهی (درصد)
روش‌های ازدست‌دادن حرارت (از طریق پوست و ریه‌ها)	هدایت	۳-۲
	جریان همرفت	۱۵-۱۰
	تابش	۶۵
	تبخیر	۲۵
	تنفس	-
روش‌های تولید حرارت در بدن (کانون‌های حرارتی)	حرکات عضلانی	۸۵
	فعالیت مغزی	۱۱

www.SID.ir

Archive of SID

ساختار سیستم تنظیم دمای بدن انسان معمولاً در سه بخش اصلی قرار می‌گیرد که عبارت از مکانیزم حسگرهای قیاسی، مکانیزم جمع‌بندی خطاهای ارسالی و مکانیزم‌های تنظیم‌کننده هستند[9]. به‌طور کلی، تنظیم دما در بدن مبتنی بر چهار مکانیزم اصلی است که عبارت از تعریق، لرزش عضلات، انبساط و انقباض عروق خونی هستند (جدول ۱) [10]. عرق‌کردن به‌دلیل ایجاد فرصت سرمایش تبخیری موجب کاهش دمای بدن می‌شود. لرزش، حاصل جنبش‌های غیرارادی در ماهیچه‌ها است و در نهایت، انبساط و انقباض عروق خونی با تغییر قطر رگ‌ها منجر به تنظیم تبادلات حرارتی خون (بخش درونی با بخش سطحی) و تنظیم حرارت بدن می‌شود. در شرایط گرم شاهد افزایش جریان‌های همرفت انتقال حرارت از طریق پوست هستیم. جریان‌های همرفت و تبخیر عرق از سطح پوست موجب انتقال حرارت از سطح پوست به محیط اطراف می‌شود. کاهش انتقال حرارت (به‌واسطه کاهش جریان خون) موجب ممانعت از گریختن حرارت بدن به محیط سرد اطراف می‌شود. این ترکیب از روش‌های ازدست‌دادن و به‌دست‌آوردن گرما، مکانیزمی کنترلی است که تنظیم دمای درونی بدن را در بازه نوسانی کوچکی ممکن می‌سازد. در شکل ۲، سهم هر یک از راهکارهای تنظیمی بدن انسان، در انتقال گرمای حاصل از فعالیت‌های متابولیک به محیط اطراف نشان داده شده است.



شکل ۲) انتقال حرارت از طریق پوست و سطوح مجاور آن[8]

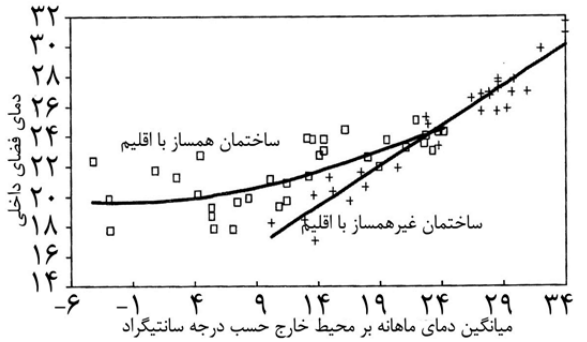
دمای داخلی بدن انسان حدود ۳۷°C است که در دامنه شرایط و تغییرات حرارتی محیط، ثابت نگه داشته می‌شود. سیستم تنظیم حرارتی در بدن انسان از حسگرهای حرارتی و عمل‌کننده‌های مختلف (تعریق، لرزش عضلانی، تغییر قطر رگ‌ها و غیره) تشکیل شده است که به‌وسیله آنها تعادل دمای بدن را حفظ می‌کنند. این سیستم، وضعیت حرارتی بدن را با استفاده از سنسورها و مکانیزم‌های تنظیم‌کننده، به‌طور پیوسته کنترل می‌کند. حفظ این بعد از هموستازی به‌کمک شبکه گسترده‌ای از اعصاب صورت می‌گیرد. میزان بازدهی روش‌های مختلف در راهکارهای تنظیم دما در بدن انسان در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

۳- تعیین دامنه نوسان در پوسته هموستاتیک

نمای ساختمان، نقش مهمی در کنترل انرژی مصرفی بنا در زمان بهره‌برداری دارد. با این حال، بیشتر نماهای ساختمان به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که راه‌حل‌های استاتیک در طراحی را مورد توجه قرار می‌دهند و این امر موجب صرف میزان قابل توجهی انرژی در به‌کارگیری راهکارهایی است که با توجه به شرایط آن لحظه اولویت‌بندی نشده‌اند. تعیین حدود نوسان دما در پوسته هموستاتیک با توجه به تغییرات محیطی، این امکان را فراهم می‌سازد که در هر بازه، اولویت استفاده به راهکاری خاص تغییر کند و در نهایت با صرف انرژی کمتری به نتیجه مورد نظر دست یافت. برای به‌دست‌آوردن این بازه‌های حرارتی از جدول ۲ (دمای مؤثر استاندارد و شرایط مرتبط با آن)، در انطباق با نمودار ۱ (ارتباط بین دمای خنثی- منظور از دمای خنثی دمایی است که افراد در آن نه شرایط گرم دارند و نه شرایط سرد و میانگین دمای ماهیانه براساس تحقیقات *پارسون* و نقاط تعیین‌شده آسایش حرارتی) استفاده شد[9]. در نمودار ۱، ارتباط میانگین دمای محیط خارج بنا با دمای خنثی درون ساختمان نمایش داده می‌شود. محدوده انجام آزمایشات این پژوهش در دامنه کد حرارتی شماره ۴ قرار دارد، شرایطی که در آن دمای لایه میانی (بین محیط خارج و محیط داخل) بیش از ۳۴درجه تعریف شده است و راهکارهای مورد استفاده متمرکز بر کاهش دمای این لایه عمل می‌کنند. همچنین در این تحقیق، ارتباط فضای پوسته هموستاتیک با فضای داخل با بستن دریچه‌های ارتباطی میان این دولایه قطع شده است. لذا نوسانات دمایی مؤثر در آزمایشات، مربوط به لایه میانی پوسته هموستاتیک و محیط خارجی است.

جدول ۲) مقدار دمای مؤثر استاندارد و شرایط مرتبط با آن[10]

دامنه حرارتی (°C)	وضعیت احساسی
Set>۳۷/۵	داغ، عدم راحتی زیاد
۳۴/۵<*Set*<۳۷/۵	خیلی گرم و خیلی ناراحت
۳۰<*Set*<۳۴/۵	گرم و ناراحت
۲۵/۵<*Set*<۳۰	کمی گرم و کمی ناراحت
۲۲/۲<*Set*<۲۵/۶	راحت و قابل قبول
۱۷/۵<*Set*<۲۲/۲	کمی سرد، کمی ناراحت
۱۴/۵<*Set*<۱۷/۵	سرد، ناراحت
۱۰<*Set*<۱۴/۵	خیلی سرد و خیلی ناراحت



نمودار ۱) تعیین دمای محیط بر مبنای دامنه حرارتی درون بنا براساس مطالعات *پارسون*[10]

بر مبنای نوسانات سه‌لایه (محیط داخل، پوسته هموستاتیک و محیط خارج)، سناریوهای مختلفی قابل تعریف است. همان‌گونه که در ادامه خواهیم دید، ۱۵ سناریوی متفاوت ارائه شده است که برخی بر راهکارهای کاهنده و برخی بر راهکارهای افزاینده دما تمرکز دارند. نظر به رویکرد این پژوهش بر راهکارهای کاهنده دما، دو سناریوی ۱۰ و ۱۱ انتخاب شد و میزان بازدهی راهکارهای مختلف دما در این دو سناریو بررسی شد. آنچه اهمیت دارد تبیین مفهوم اولویت‌بندی دینامیک میان راهکارها بوده که با پرداختن به همین دو سناریو قابل بررسی است.

در ادامه، به مقایسه میزان بازدهی راهکارها در دو سناریوی ۱۰ و ۱۱ پرداخته می‌شود. میزان بازدهی راهکارهای مختلف براساس نسبت میان تقلیل دما در هر راهکار به دمای اولیه شروع آزمایش در نظر گرفته می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

وضعیت حرارتی پوسته هموستاتیک (لایه میانی)، در هر دو سناریوی ۱۰ و ۱۱، یکسان و بیش از ۳۴°C است و از طرف دیگر به‌دلیل بسته‌بودن دریچه‌های B که ارتباط پوسته هموستاتیک و فضای داخلی را برقرار می‌سازند، تبادل حرارتی میان این دولایه در زمان آزمایش وجود ندارد و می‌توان از نوسانات حرارتی فضای داخلی بنا صرف‌نظر کرد. تفاوت شرایط این دو سناریو مربوط به وضعیت دمایی محیط خارج است که در سناریوی ۱۰ در حالت کمی گرم (بیش از ۲۵°C) و در سناریوی ۱۱ در حالت راحت و قابل قبول (بین ۱۹/۵ و ۲۵°C) قرار دارد. اما با این حال مشاهده می‌شود راهکار برتر در پاسخ به شرایط محیطی کاملاً متفاوت است، به‌عبارتی با تغییر در شرایط محیطی، نظام اولویت‌بندی راهکارها تغییر می‌کند که دال بر دینامیک‌بودن ساختار رفتاری پوسته است. در واقع در ساختارهایی که نظام ارتباطی میان راهکارها به‌صورت استاتیک تعریف شده است، با تغییر شرایط محیط توالی راهکارهای مورد استفاده دچار تغییر نمی‌شود، اما در نظام دینامیک، هر راهکار بسته به شرایط جدید ممکن است جایگاه متفاوتی نسبت به شرایط قبلی پیدا کند.

۴- تفاوت پوسته هموستاتیک با پوسته‌های هوشمند معمول

قرابت زیادی میان پوسته‌های هموستاتیک با نماهای هوشمند، پوسته‌های دولایه، دیوارهای ترمب، پوسته‌های زیستی، دیوارهای خارجی تنفسی و سایر راهکارهای متمرکز بر پوسته ساختمان وجود دارد. در صورتی که دامنه قیاس را محدود به پوسته‌های هوشمند و هموستاتیک سازیم و با قبول این اصل که پوسته‌های هموستاتیک در برخی از ویژگی‌های خود با انواع هوشمند مشترک هستند، عمده امتیازات پوسته‌های هموستاتیک را می‌توان به اولویت‌بندی دینامیک راهکارها و واکنش دوسطحی به تغییرات محیط (واکنش آنی و درازمدت) دانست. برخی از ویژگی‌ها به‌صورت همپوشان میان پوسته‌های هوشمند و هموستاتیک وجود دارد و برخی دیگر را الزاماً در پوسته‌های هموستاتیک می‌توان یافت. به‌عبارتی همه پوسته‌های هموستاتیک، هوشمند هستند، اما همه پوسته‌های هوشمند، هموستاتیک نیستند. ویژگی‌های همپوشان و متمایزکننده پوسته‌های هوشمند و هموستاتیک در جدول ۳ قابل مشاهده است.

جدول ۳) مقایسه پوسته‌های هوشمند و هموستاتیک

وجوه همپوشان پوسته‌های هموستاتیک و هوشمند	وجود راهکارهای همسو برای حل یک مساله واکنش موضعی نسبت به تغییرات محیطی سلسله‌مراتب دینامیک میان راهکارها وجود مرکز پردازشگر
امتیازات پوسته هموستاتیک نسبت به پوسته‌های هوشمند متداول	واکنش دوسطحی به تغییرات (آنی و درازمدت) ماهیت دینامیک راهکارها تسری عملکرد به تمام فصول حفظ نقش کاربر در تغییر شرایط محیط داخلی

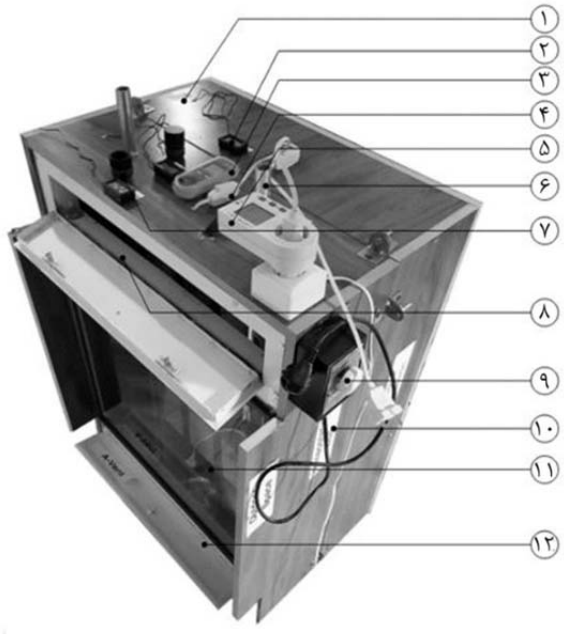
علت اصلی انتخاب پوسته‌های هموستاتیک در این تحقیق، مبتنی بر این فرض است که در صورت وجود اولویت‌بندیِ دینامیک، میان راهکارهای مختلف کاهنده دما، شاهد افزایش بازدهی نسبت به پوسته‌هایی خواهیم بود که صرفاً سلسله‌مراتبی استاتیک را میان راهکارها لحاظ داشته‌اند.

۵- ساختار پوسته هموستاتیک

ساختار این نوع از پوسته هموستاتیک نیز همانند سایر سیستم‌های هموستاز از اجزای حسگر، پردازشگر (مرکز کنترل) و واکنشگر تشکیل شده است. پوسته هوشمند هموستاتیک، وظیفه متعادل‌سازی حدود نوساناتِ دما را با توجه به استفاده از ظرفیت‌های محیط خارجی و داخلی بر عهده دارد. برای این منظور سه‌لایه حسگر (فضای خارج، داخل و پوسته هموستاتیک) مورد استفاده قرار گرفت که سیگنال‌های ارسالی بعد از ورود به مرکز پردازش با استفاده از الگوریتم کنترل مرکزی منجر به تغییر آرایش دریچه‌های رابط بین لایه‌ها و انتخاب چند راهکار برتر می‌شود.

۶- ساخت مدول آزمایشی پوسته هموستاتیک

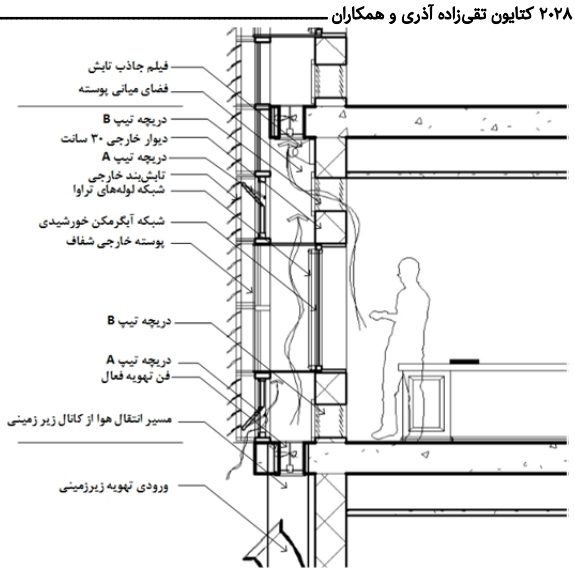
به‌منظور ارزیابی و صحت‌سنجی طرح پوسته هموستاتیک پیشنهادی، اقدام به ساخت مدولی از این پوشش و بررسی رفتارهای حرارتی آن شد. همان‌گونه که در شکل ۳ قابل مشاهده بوده، این مدول از سه‌لایه فضای داخلی، پوسته هموستاتیک (لایه میانی) و فضای محیطی (خارجی) تشکیل شده که ارتباط فضای خارجی با پوسته هموستاتیک از طریق دو دریچه تیپ A در قسمت‌های فوقانی و تحتانی مرز مشترک دولایه و ارتباط پوسته هموستاتیک با فضای داخلی به‌وسیله دو دریچه تیپ B در مرز مشترک آن دو ایجاد شده است. همچنین دریچه‌ای در قسمت تحتانی پوسته هموستاتیک قرار داده شده که متصل به فن تهویه فعال است و در زمان استفاده از راهکار تهویه غیرفعال مسدود خواهد بود. با توجه به راهکارهای اقتباس‌شده از سیستم تنظیم حرارت بدن انسان، معادل‌هایی در معماری و نهایتاً در پوسته هموستاتیک در نظر گرفته شد که از آن جمله می‌توان به لوله‌های تراوا برای ایجاد سرمایش تبخیری، سیستم تهویه فعال و غیرفعال، لوله‌های متصل به آبگرمکن خورشیدی، کانون‌های حرارتی متحرک و غیره اشاره کرد (شکل ٤).



شکل ۳) مدول ساخته‌شده از پوسته هموستاتیک برای صحت‌سنجی پیشنهادها؛ ۱) فضای داخلی، ۲) ترمومتر، ۳) بادسنج، ٤) کلید گرم‌کننده، ٥) انرژی‌متر، ٦) لوله متصل به آبگرمکن خورشیدی، ۷) لوله تراوا، ۸) دریچه تیپ *A* (ارتباط‌دهنده محیط با فضای هموستاتیک)، ۹) دیمر، ۱۰) فضای هموستاتیک، ۱۱) لایه شیشه‌ای، ۱۲) دریچه تیپ *A*

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤) برش دیواره هوشمند هموستاتیک از محل میان دو پنجره

همان‌گونه که جدول ۴ نشان می‌دهد، ۱۵ سناریوی مختلف بر مبنای نوسان دما در فضای خارج، پوسته و فضای داخلی تعریف شده است. پیش از این اشاره شد که از ویژگی‌های پوسته‌های هموستاتیک، توانایی عملکرد آنها در تمام فصول است، لذا بدیهی است تعدادی از راهکارها به‌صورت کاهنده و تعدادی از آنها به‌صورت افزاینده دما عمل نمایند. از میان سناریوهای مفروض، تعدادی بر افزایش دمای پوسته هموستاتیک تمرکز دارند که از حوزه مطالعات این مقاله خارج است. از میان سناریوهای کاهنده دما سناریوی ۱۰ و ۱۱ به دلایل مختلف انتخاب شد. نخست آنکه در هر دو سناریو با بسته‌بودن دریچه‌های تیپ B، تبادل هوایی میان پوسته و فضای داخلی قطع می‌شود؛ چرا که فضای داخلی، ظرفیت مازادی برای کاهش دمای هوای پوسته ندارد. دوم آنکه در هر دو حالت، دمای پوسته به بیش از ۳۴°C افزایش یافته است و از این لحاظ نیز دو سناریو با یکدیگر مشابه هستند. تفاوت عمده، مربوط به وضعیت دمای هوای محیط است که در سناریوی ۱۱ پایین‌تر از دمای هوای محیط در سناریوی ۱۰ تنظیم می‌شود و همین اختلاف در دمای محیط موجب تعریف نظام سلسله‌مراتبی جدیدی از راهکارها می‌شود تا بیشترین بازدهی حاصل شود.

جدول ٤) سناریوهای پیشنهادی براساس نوسان دما در محیط خارجی، پوسته هموستاتیک و فضای داخلی

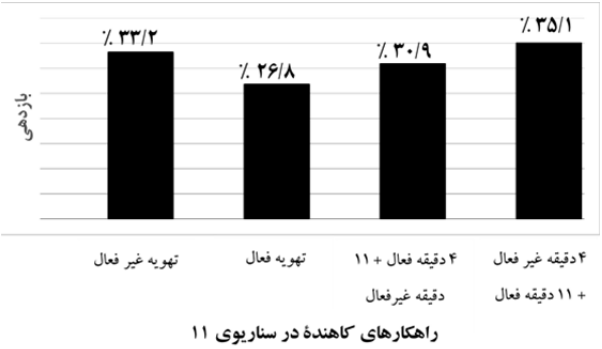
سناریو	کد حرارتی	حسگرهای محیطی (E-sensors)	حسگرهای میان لایه (S-sensors)	حسگرهای درون بنا (I-sensors)
۱	ST_1	ET>۲۵	۱۹/۵<ST<۲۵	۲۵/٦<IT<۳۰
۲		۱۹/۵<ET<۲۵	۱۹/۵<ST<۲۵	۲۲/۲<IT<۲۵/٦
۳		ET<۱۹/۵	۱۹/۵<ST<۲۵	۱۷/۵<IT<۲۲
٤	ST_2	ET>۲۵	۲۵<ST<۳٤	۲۵/٦<IT<۳۰
۵		۱۹/۵<ET<۲۵	۲۵<ST<۳٤	۲۲/۲<IT<۲۵/٦
٦		ET<۱۹/۵	۲۵<ST<۳٤	۱۷/۵<IT<۲۲
۷	ST_3	ET>۲۵	۱۹/۵<ST<۱۹/۵	۲۵/٦<IT<۳۰
۸		۱۹/۵<ET<۲۵	۱۰/۵<ST<۱۹/۵	۲۲/۲<IT<۲۵/٦
۹		ET<۱۹/۵	۱۰/۵<ST<۱۹/۵	۱۷/۵<IT<۲۲
۱۰	ST_4	ET>۲۵	۳٤<ST	۲۵/٦<IT<۳۰
۱۱		۱۹/۵<ET<۲۵	۳٤<ST	۲۲/۲<IT<۲۵/٦
۱۲		ET<۱۹/۵	۳٤<ST	۱۷/۵<IT<۲۲
۱۳	ST_5	ET>۲۵	ST<۱۰/۵	۲۵/٦<IT<۳۰
۱٤		۱۹/۵<ET<۲۵	ST<۱۰/۵	۲۲/۲<IT<۲۵/٦
۱۵		ET<۱۹/۵	ST<۱۰/۵	۱۷/۵<IT<۲۲

با توجه به سناریوهای تعریف‌شده، شرایط مختلف حرارتی محیط، پوسته و فضای داخلی مشابه‌سازی و رفتار حرارتی آنها با توجه به راهکارهای انتخابی ارزیابی می‌شود. همچنین میزان بازدهی و سلسله‌مراتب در استفاده از راهکارهای مختلف بر مبنای میزان بازدهی مورد بررسی قرار می‌گیرد. آنچه از فرآیند هموستازی در سیستم تنظیم حرارت اقتباس شده، تعریف نظام سلسله‌مراتبی و توالی راهکارهای مختلف در شرایط متفاوت محیطی بوده است که با تغییری هرچند جزئی در شرایط محیط و فضای داخلی، نظام تنظیمی خود را به‌گونه‌ای دیگر تعریف خواهد کرد. در پوسته هموستاتیک نیز با توجه به تغییرات حرارتی محیط، اولویت‌بندی راهکارهای مورد استفاده دگرگون می‌شود تا همواره بالاترین بازدهی حاصل شود.

۷- رفتار پوسته بر مبنای سناریوی ۱۰

سناریوی ۱۰ در شرایطی تنظیم می‌شود که دامنه نوسان دمای فضای داخلی بین ۲۵/۶ تا ۳۰°C (کمی گرم)، دمای فضای خارج بین ۲۵ تا ۳۰°C و دمای پوسته هموستاتیک بیش از ۳۴°C قرار گیرد. در این مجموعه آزمایشات از ۴ راهکار کاهنده دما استفاده می‌شود. برای سنجش میزان بازدهی، راهکارها به‌صورت منفرد و سپس ترکیبی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در ابتدا ۴ راهکارِ تهویه غیرفعال، تهویه فعال، لوله‌های تراوا و تهویه زیرزمینی به‌صورت منفرد، آزمایش و میزان بازدهی هر یک به تفکیک مشخص می‌شود. به‌منظور ارزیابی میزان بازدهی راهکارها به‌صورت ترکیبی، یک‌بار مجموعه راهکارها از کم‌بازده به پربازده و بار دیگر به‌صورت معکوس در محیط آزمایشگاهی مورد سنجش قرار می‌گیرند. همچنین با علم بر تأثیر تهویه در ایجاد سرمایش تبخیری، سه راهکار لوله‌تراوا، تهویه فعال و غیرفعال با یکدیگر مورد استفاده قرار گرفت. در مجموع ۷ آزمایش ترتیب داده شد که نتایج آن در نمودار ۲ قابل مشاهده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بالاترین بازدهی مربوط به تهویه غیرفعال است، هرچند که شاید انتظار رود استفاده از تهویه فعال نتایج بهتری در بر داشته باشد، اما باید به‌خاطر داشت علی‌رغم استفاده از جریان هوای ۳/۲متر بر ثانیه در زمان تهویه فعال، به‌دلیل حرارت تولیدشده توسط موتور الکتریکی فنِ تهویه، میزان بازدهی نسبت به تهویه فعال کاهش یافته است (جدول ۵).



نمودار ۲) مقایسه بازدهی راهکارهای کاهنده دما در سناریوی ۱۱

جدول ۵) تأثیر تهویه بر میزان بازدهی در سناریوی ۱۰

راهکار انتخابی	وضعیت تهویه	بازدهی	میزان افزایش بازدهی
لوله تراوا	بدون تهویه	%۱۰/۷	%۱۲/۵
	با جریان تهویه	%۲۳/۲	

www.SID.ir

Archive of SID

۸- رفتار پوسته بر مبنای سناریوی ۱۱

در این سناریو دمای فضای داخلی بین ۲۲/۲ تا ۲۵/۶°C (راحت و قابل قبول) و دمای فضای خارجی بین ۱۹/۵ تا ۲۵°C (راحت و قابل قبول) و دمای پوسته هموستاتیک بیش از ۳٤°C قرار دارد. براساس دو راهکار تهویه غیرفعال و فعال (منفرد و ترکیبی) انتظار می‌رود که بهترین راهکار کاهش دمای پوسته به دست آید. چون دمای فضای داخلی در محدوده مطلوب قرار دارد، نمی‌توان از ظرفیت آن برای کاهش دمای پوسته استفاده کرد، لذا تنها باید با استفاده از ظرفیت تهویه هوای خارجی و پوسته دمای فضای پوسته هموستاتیک کاهش یابد. نتایج حاصل از آزمایشات انفرادی، بازدهی ۳۳/۲% برای تهویه غیرفعال و ۲٦/۸% را برای تهویه فعال نشان داد. زمان انجام آزمایش در هر دو مورد ۱۵دقیقه در نظر گرفته شد که شیب کاهش دما در ٤دقیقه نخست از بیشترین میزان خود برخوردار بود. لذا در آزمایشات ترکیبی، زمان ٤دقیقه به‌عنوان زمان مبنا برای یک راهکار در نظر گرفته شد و در ۱۱دقیقه بعد از راهکار دوم استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده در نمودار ۲ قابل مشاهده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود پربازده‌ترین راهکار استفاده از روش ترکیبی به‌صورت ٤دقیقه تهویه غیرفعال و پس از آن ۱۱دقیقه تهویه فعال است که به بازدهی ۳۵/۱% می‌رسد. آنچه نتیجه مهم این آزمایش محسوب می‌شود، ارتباط توالی راهکارها با میزان بازدهی است؛ چرا که در آزمایش سوم و چهارم هرچند که هر دو به‌روش ترکیبی و زمان یکسان برای هر راهکار استفاده می‌کنند، اما نتایج کاملاً متفاوتی در میزان بازدهی حاصل می‌شود که تنها مرتبط با توالی راهکارها است.

۹- نتیجه‌گیری

انتقال هر الگویی از دانش مبنا به علوم مهندسی، نیازمند نظام ارزشیابی خاص خود است. ارزیابی عملکرد پوسته‌های هموستاتیک را می‌توان بر مبنای ویژگی اصلی فرآیند هموستازی محقق ساخت که وجود سلسله‌مراتب دینامیک در به‌کارگیری راهکارها است. برای این منظور لازم است، میزان بازدهی راهکارهای مختلف در شرایط متفاوت محیطی بررسی شود. جابه‌جایی در اولویت‌بندی استفاده از راهکارهای مختلف، بیانی از وجود نظام دینامیک میان راهکارها است.

در این تحقیق از میان سناریوهای مختلف، دو حالت مبتنی بر راهکارهای کاهنده دما انتخاب شد و میزان بازدهی راهکارهایی همچون تهویه غیرفعال، تهویه فعال، سرمایش تبخیری لوله‌های تراوا و تهویه زیرزمینی به‌صورت انفرادی و ترکیبی بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد، با تغییر در شرایط محیطی و حدود مورد انتظار نوسان دما در پوسته، نظام اولویت‌بندی به‌کارگیری راهکارها دستخوش تغییر می‌شود. لذا به‌منظور افزایش بازدهی، همواره چیدمان راهکارهای مختلف باید بر مبنای نظامی دینامیک و پویا انجام شود.

بر مبنای نتایج این تحقیق، با وجود شرایط یکسان آزمایش همچون وضعیت حرارتی پوسته هموستاتیک و عدم امکان تهویه بین فضای پوسته و فضای داخلی در زمان استفاده از راهکارهای مختلف، نظام اولویت‌بندی راهکارها بر مبنای تغییرات محیط خارجی دگرگون می‌شود. لذا این انعطاف‌پذیری در به‌کارگیری راهکارهای مختلف بر ویژگی اصلی فرآیند هموستازی دلالت دارد که استفاده از راهکارهای مختلف با نظامی دینامیک است. همچنین ترکیب راهکارهای منفرد در بازه زمانی آزمایش، در شرایط محیطی خاص موجب افزایش بازدهی می‌شود که این امر تابعی از زمان به‌کارگیری و رعایت اولویت در استفاده از راهکارها است.

همان‌گونه که نتایج آزمایشات نشان می‌دهد، الزام به استفاده از انرژی به‌صورت فعال، همواره موجب افزایش بازدهی نخواهد شد؛ چرا که گرمای حاصل از فن تهویه از کاهش حرارتی که بر اثر تهویه فعال حاصل می‌شود بیشتر است. از سویی باید در نظر داشت که برخی از راهکارها همچون سرمایش تبخیری حاصل از وجود لوله‌های تراوا تنها زمانی مؤثر واقع می‌شوند که جریان مناسبی از تهویه هوا وجود داشته باشد.

از مقایسه کلیه راهکارهای کاهنده دما در پوسته هموستاتیک در دو حالت انتخابی، انتظار می‌رود که بیشترین میزان بازدهی از ترکیب دو روش تهویه غیرفعال و سرمایش تبخیری حاصل از وجود لوله‌های تراوا حاصل شود.

تشکر و قدردانی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.
تاییدیه اخلاقی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.
تعارض منافع: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.
سهم نویسندگان: کتایون تقی‌زاده‌آذری (نویسنده اول)، روش‌شناس/پژوهشگر کمکی (۳۳%)؛ محمدرضا متینی (نویسنده دوم)، نگارنده مقدمه/پژوهشگر کمکی (۳۳%)؛ محمد زارع (نویسنده سوم)، پژوهشگر اصلی/تحلیلگر آماری (۳٤%)
منابع مالی: موردی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

۱۰- پی‌نوشت

ET	دمای محیط
ST	دمای پوسته
IT	دمای فضای داخلی

منابع

1- Attmann O. Green architecture: Advanced technologies and materials, C2010. Zahri S, translator. Tehran: Mehrazan; 2012. p. 38. [Persian]
2- Sayyadi SE, Maddahi SM. Sustainable architecture. Tehran: Lotus; 2011. p. 16. [Persian]
3- Davies KJA. Adaptive homeostasis. Molecular Aspects of Medicine. 2016;49;1-7.
4- Chiras DD. Human biology: Health, homeostasis, and the environment. Burlington: Jones and Bartlett; 2002. p. 4.
5- Gruber P. Biomimetics in architecture: Architecture of life and buildings, 2011. Zare M, Falahat MS, translators. Tehran: Iranian Students Book Agency; 2016. p. 274. [Persian]
6- Sandler U, Tsitolovsky L. The S-Lagrangian and a theory of homeostasis in living systems. Physica A Statistical Mechanics and its Applications. 2017;471:540-553.
7- Wang LS, Ma P. The homeostasis solution - mechanical homeostasis in architecturally homeostatic buildings. Applied Energy. 2016;162:183-196.
8- Arens E, Zhang H. The skin's role in human thermoregulation and comfort. In: Pan N, Gibson P, Textile Institute (Manchester, England). Thermal and moisture transport in fibrous materials. Pan N, Gibson P, editors. Boca Raton FL: CRC Press; 2006. p. 560.
9- Heidari Sh. Thermal adaptation in architecture, first step of energy saving. Tehran: University of Tehran; 2014. pp. 68-71. [Persian]
10- Fu M, Weng W, Chen W, Luo N. Review on modeling heat transfer and thermoregulatory responses in human body. Journal of Thermal Biology. 2016;62(Pt B):189-200.

www.SID.ir