بررسی شرایط آسایش حرارتی تطبیقی در سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک و تأثیر آن بر مصرف انرژی

امیر امیدوار، مهدی معرفت
دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی مکانیک

چکیده

ایجاد شرایط آسایش حرارتی تطبیقی یکی از روش‌های مؤثر در کاهش مصرف انرژی در ساختمان است. برای ایجاد شرایط آسایش حرارتی تطبیقی لازم است که ارتباطی بین دمای داخل و خارج ساختمان برقرار شود. تهویه طبیعی ساختمان یکی از روش‌های ایجاد چنین ارتباطی است. همچنین با تغییر میزان لباس نیز می‌توان شرایط آسایش حرارتی تطبیقی را فراهم نمود. در مواردی که از سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک استفاده می‌شود اگرچه تهویه ساختمان به صورت طبیعی صورت می‌گیرد اما به علت اینرسی حرارتی بالای اینگونه سیستم‌ها امکان کنترل و تطبیق دمای کارکرد سیال عامل با توجه به تغییرات دمای هوای خارج ساختمان وجود ندارد. لذا به منظور ایجاد شرایط آسایش حرارتی تطبیقی در ساختمان‌های که از سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک استفاده می‌کنند ساکنان ساختمان تنها می‌توانند با تغییر میزان لباس، تا حدی خود را با شرایط محیطی وفق دهند.

اگر چه ساختار حرارتی ساختمان از جمله عایق‌کاری سطوح جانبی ساختمان و ضریب صدور تابشی سطوح داخلی آن نقش مؤثری را در عملکرد این سیستم‌ها ایفا می‌کند اما بررسی‌های انجام شده در این مقاله نشان داد که شرایط آسایش حرارتی تطبیقی به کمک تغییر میزان لباس، از ساختار حرارتی ساختمان متأثر نیست. همچنین بررسی‌ها نشان داد که در مواردی که از سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک استفاده می‌شود، با افزایش اندک میزان لباس به اندازه یک تی‌شرت نازک، می‌توان مصرف انرژی را در زمستان تا ۵ درصد کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: آسایش حرارتی، تطبیقی، گرمایش از کف، هیدرونیک، ساختار حرارتی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-02]

مقدمه

انسان یک خصوصیت ذاتی دارد که می‌تواند تا حدی خود را با شرایط محیطی تطبیق دهد. این خصوصیت ذاتی رهیافتی است به سوی آسایش حرارت تطبیقی. علیرغم تغییرات دمای هوا در خارج از ساختمان در روزهای متفاوت سال, استانداردهای آسایش حرارتی همواره دمای ثابتی را برای داخل ساختمان پیشنهاد می‌کنند. از سوی دیگر اینگونه استانداردها دیدگاهی کاملاً دایم دارند و نمی‌توانند پدیده‌های گذرا را مورد بررسی قرار دهند. به منظور دستیابی به شرایط آسایش حرارتی تطبیقی, روش‌های متفاوتی وجود دارد. اولین روش ربط دادن دمای داخل به دمای خارج است. برای اینکه بتوان تأثیر تغییرات دمای هوای خارج را به داخل ساختمان اعمال نمود، لازم است رابطه‌ای بین دمای داخل و خارج ساختمان برقرار گردد.[۱]

یکی از روش‌های دیگر برای دستیابی به آسایش حرارتی تطبیقی، تهویه طبیعی ساختمان‌هاست. تحقیقات نشان داده است که افراد هنگامی که دمای داخل بیشتر از $۲۰^{\circ}C$ و دمای خارج بیشتر از $۱۵^{\circ}C$ است تمایل به باز کردن پنجره‌ها دارند. بررسی‌های انجام شده بر روی ساختمان‌هایی که به طور طبیعی تهویه می‌شوند و ساختمان‌هایی که تهویه مکانیکی دارند نشان داده است که در حالت تهویه طبیعی, افراد می‌توانند با محیط سازگار شده و خود را بهتر تطبیق دهند. تهویه طبیعی به خودی خود می‌تواند رابطه‌ای خطی بین دمای آسایش و دمای محیط خارج ایجاد نماید.[۲] در یک تحقیق دیگر, معلوم شده است که در ساختمان‌هایی که به طور طبیعی تهویه می‌شوند. تقریباً نصف ساختمان‌هایی که تهویه مکانیکی دارند انرژی مصرف می‌شود.[۳] لذا با بکارگیری تهویه طبیعی در ساختمان می‌توان مصرف انرژی را تا حد زیادی کاهش داد.

تطبیق با محیط به کمک تغییر میزان لباس نیز یکی دیگر از روش‌های مؤثر در ایجاد شرایط آسایش حرارتی تطبیقی است. محدوده دمایی که افراد می‌توانند با تغییر میزان لباس خود را با محیط منطبق سازند تقریباً $۱۸^{\circ}C$ تا $۲۸^{\circ}C$ می‌باشد. از سوی دیگر نتـایج تحقیقات گـزارش شده[٤], بیانگر این است که در فصل سرد افزایش اندک میزان لباس، می‌تواند موجب ٦٪ صرفه‌جویی در مصرف انرژی گردد.

امکان ایجاد شرایط آسایش حرارتی مطلوب در کنار مصرف بهینه از انرژی باعث شده است که سیستم‌های گرمایش از کف امروزه بیشتر از سایر سیستم‌ها مورد توجه قرار گیرند. عملکرد این سیستم‌ها بر پایه مکانیزم جابه‌جایی و تابش است. به دلیل این که گرادیان دما و نیروی شناوری هم جهت هستند فرآیند گرمایش به کمک جابه‌جایی راحت‌تر صورت می‌گیرد. آن بخش از انتقال حرارت که به کمک تابش انجام می‌گیرد باعث از بین رفتن گرادیان دمای نامطلوب در داخل اتاق می‌گردد. همچنین به دلیل کم بودن شدت اغتشاش جریان هوا در اینگونه سیستم‌ها, امکان ایجاد کوران یا سرمایش موضعی در بدن تا حد زیادی کاهش می‌یابد.[٥] سیستم‌های گرمایش از کف به دو صورت الکتریکی و هیدرونیک وجود دارند. در انواع الکتریکی, از المان‌های الکتریکی برای تولید گرما در ناحیه کف اتاق استفاده می‌شود. اما سیستم‌های هیدرونیک از جریان آب گرم در لوله‌هایی با آرایش خاص در کف ساختمان بهره می‌گیرند. پایین بودن دمای کارکرد سیال عامل, امکان استفاده همزمان و به صورت ترکیبی با پمپ‌های حرارتی و امکان استفاده از انرژی خورشیدی برای تأمین آب گرم مورد نیاز, از جمله خصوصیات مثبتی است که سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک را از سایر سیستم‌ها متمایز ساخته است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-02]

در مورد سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک تحقیقات نسبتاً زیادی انجام شده است. *Olesen* و *Bjarne* در سال ۱۹۹٤ به مقایسه سیستم‌های گرمایش از کف و پانل‌های حرارت دیواری پرداختند.[٦] آنها دریافتند که هر دو این سیستم‌ها قادرند شرایط آسایش حرارتی را در داخل ساختمان به خوبی فراهم نمایند. *Chen Y* در سال ۱۹۹۸ با استفاده از یک مدل سه بعدی اختلاف محدود به بررسی اثرات پوشش کف بر توزیع دمای کف و میزان مصرف انرژی در سیستم‌های گرمایش از کف الکتریکی پرداخت.[۷] وی معتقد است که استفاده از فرش مصرف انرژی را در اینگونه سیستم‌ها تقریباً ۹٪ افزایش می‌دهد. *Haruo* و *Hanibuchi* در سال ۱۹۹۸ در مقاله‌ای به بررسی نحوه عملکرد سیستم‌های گرمایش از کف پرداخته‌اند.[۸] طبق نظر آنها ابتدا سطوح داخلی اتاق با دریافت تابش از کف گرم می‌شوند, سپس مکانیزم جابه‌جایی باعث مبادله حرارت بین هوا و سطوح داخلی اتاق می‌شود. مکانیزم تابش به طور مستقیم بر هوای اتاق اثری ندارد و تنها می‌تواند اختلاف دما بین سطوح داخلی اتاق را کاهش دهد.

یکی از نکات حائز اهمیت در سیستم‌های گرمایش از کف این است که در اینگونه سیستم‌ها، تهویه هوای داخل ساختمان به صورت طبیعی صورت می‌گیرد. بنابراین به نظر می‌رسد که در ساختمان‌هایی که از سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک استفاده می‌کنند، امکان ایجاد شرایط آسایش حرارتی تطبیقی میسر است. به عبارت دیگر روش تهویه طبیعی ساختمان امکان ایجاد ارتباط بین دمای هوای داخل و خارج ساختمان را فراهم می‌آورد. در سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک اغلب به علت اینرسی حرارتی بالا، امکان ایجاد تغییرات ناگهانی در دمای عملکرد سیستم امکان پذیر نیست. بنابراین اینرسی حرارتی بالا کنترل و تنظیم دمای هوای داخل اتاق را به تناسب تغییرات دمای محیط مشکل می‌کند. لذا برای دستیابی به شرایط آسایش حرارتی تطبیقی در ساختمان‌هایی که از سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک استفاده می‌کنند، لازم است که ساکنان ساختمان با تغییر میزان لباس، خود را با محیط تطبیق دهند. تحقیقات نشان داده است که در مواردی که از سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک برای گرم کردن ساختمان استفاده می‌شود، ساختار حرارتی ساختمان، از جمله عایق‌کاری سطوح جانبی ساختمان، ضریب صدور تابشی سطوح داخلی و پوشش کف ساختمان بر عملکرد حرارتی اینگونه سیستم‌ها از نظر مصرف انرژی و آسایش حرارتی بسیار مؤثر است. در این مقاله میزان تأثیر شرایط آسایش حرارتی تطبیقی بر مصرف انرژی در سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در ادامه به این سوال پاسخ می‌دهیم که آیا به علت رفتار تابشی ـ همرفتی سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک، ساختار حرارتی ساختمان می‌تواند شرایط آسایش حرارتی تطبیقی را تحت تأثیر قرار دهد یا نه؟

معادلات حاکم و ارائه مدلهای ریاضی

۱ـ مدل‌سازی فرآیندهای تبادل حرارت

در سیستم‌های تابشی با هر سه نوع شیوه انتقال حرارت یعنی هدایت, جابه‌جایی و تابش رو به رو هستیم که در اصطلاح به این حالت انتقال حرارت چندگانه[1] گفته می‌شود.

1- Multimodal Heat Transfer

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-02]

سطح داخلی دیوار, مقداری انرژی به صورت امواج الکترومغناطیس گرمایی تابش می‌کند (εE_b). مقداری از انرژی تابیده شده از خارج را نیز جذب می‌کند (αG). از طریق جا به جایی با هوای اطراف نیز انرژی مبادله می‌کند (q_{Conv}). مکانیزم هدایت حرارتی نیز نقش تبادل انرژی را در ضخامت دیواره بر عهده دارد (q_{Cond}). بنابراین معادله موازنه انرژی را برای سطح داخلی دیوار می‌توان به صورت زیر نوشت[۹]:

$$\alpha G - \varepsilon E_b + q_{conv} - q_{Cond} = 0 \qquad (۱)$$

یا

$$\alpha G - \varepsilon \sigma T_s^4 + h(T_{air} - T_s) - \frac{T_s - T_o}{R_{th}} = 0 \qquad (۲)$$

که α ضریب جذب تابش, G تابش ورودی به سطح ناشی از سطوح جانبی, T_s دمای سطح داخلی دیوار, σ ثابت استیفان بولتزمن, h ضریب جابه‌جایی حرارتی, T_o دمای سطح خارجی دیوار و R_{th} مقاومت حرارتی دیوار است.

برای یک اتاق باید معادلات موازنه انرژی برای سایر سطوح داخلی نوشته شود. از آنجا که تمامی سطوح با هوای داخل اتاق از طریق همرفتی اندرکنش حرارتی دارند لذا برای هوا نیز باید معادله موازنه انرژی نوشته شود.

$$\sum_{i=1}^{6} h(T_{s,i} - T_{air}) = 0 \qquad (۳)$$

اگر به خاطر تعویض هوا و یا نفوذ ناخواسته, مقداری هوا از فضای خارج وارد اتاق گردد, معادله شماره (۳) به صورت معادله شماره (٤) نوشته می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{6} hA(T_{s,i} - T_{air}) = \dot{m}_{\inf} C_{p,air}(T_{air} - T_{\inf}) \qquad (٤)$$

که $\dot{m}_{\inf}$ و $T_{\inf}$ به ترتیب دبی جرمی و دمای هوای نفوذی است.

بنابراین معادلات حاکم بر فضای بسته اتاقی که با سیستم گرمایش از کف گرم می‌شود را می‌توان به صورت زیر نوشت:

برای سطوح جانبی موازنه انرژی به صورت زیر است:

$$h_{in} A_i (T_{air} - T_i) + \varepsilon(\sigma A_i)\left\{\sum_{j=1}^{6} F_{ij}(T_j^4 - T_i^4)\right\} = \frac{(T_i - T_o)A_i}{(R_{w,i} + \frac{1}{h_e})} \qquad i = 1,2,...,5 \quad (٥)$$

که h_{in} و h_e به ترتیب ضریب جابه‌جایی حرارت در داخل و خارج اتاق, A مساحت دیوار, ε ضریب صدور سطح, F_{ij} ضریب دید و T_o دمای طرح خارج است. در این معادله $R_w = \frac{L}{k}$ است. که L ضخامت و k ضریب هدایت حرارتی سطح مورد نظر است. اندیس i در معادله شماره (٥) نمایانگر

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-02]

سطحی است که معادله برای آن نوشته می‌شود. برای سطحی از اتاق که منبع حرارتی در آن قرار دارد، معادله شماره (۵) به فرم معادله شماره (٦) نوشته می‌شود:

$$h_{in}A_6(T_{air}-T_6)+\varepsilon(\sigma A_6)\left\{\sum_{j=1}^{6}F_{6j}(T_j^4-T_6^4)\right\}+Q=0 \qquad (٦)$$

که Q شار حرارتی ناشی از سیستم گرمایشی است. هفتمین و آخرین معادله, موازنه انرژی برای هواست که به صورت معادله شماره (۷) بیان می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{6}h_{in}A(T_{s,i}-T_{air})=\dot{m}_{\inf}\,C_{p,air}(T_{air}-T_{\inf}) \qquad (۷)$$

با توجه به اینکه مبادله انرژی بین سطوح داخلی و هوا از طریق جابه‌جایی آزاد صورت می‌گیرد و در این نوع جابه‌جایی ضریب انتقال حرارتی به دما وابسته است، لذا h_{in} از فرمول شماره (۸) به دست می‌آید[۹]:

$$h_{in}=1.31(T_s-T_{air})^{0.333}\quad (W/m^2K)\ ;\ \text{برای سطوح عمودی} \qquad (۸)$$

$$h_{in}=1.52(T_s-T_{air})^{0.333}\quad (W/m^2K)\ ;\ \text{برای سطوح افقی}$$

دمای سطوح داخلی اتاق و دمای هوا مجهولات مساله هستند که از حل همزمان دستگاه ۷ معادله غیر خطی فوق به دست می‌آیند. برای حل این دستگاه از روش عددی تصحیح ضرایب به کمک تکرار ساده[۲] استفاده شده است و در هر تکرار نیز دستگاه معادلات به کمک روش مستقیم $L.U$ حل شده‌اند. به منظور جلوگیری از واگرایی دستگاه معادلات از ضریب زیر تخفیف[۳] استفاده می‌شود. در این نوع مسایل ضریب زیر تخفیف بین ۰/۲ تا ۰/٦ مناسب است.

۲ـ مدل آسایش حرارتی

برای بررسی‌های آسایش حرارتی از مدل فنگر[٤] استفاده می‌کنیم. فنگر معادله تعادل گرما را در بدن انسان به صورت تابع زیر خلاصه می‌کند.[۱۰]

$$f(M,W,I_{cl},t_a,t_{mrt},v,P_a)=0.0 \qquad (۹)$$

که M متابولیک, W کار, I_{cl} میزان مقاومت لباس, t_a دمای هوا, t_{mrt} دمای میانگین تابش, v سرعت جریان هوا و P_a فشار جزئی بخار آب موجود در هواست که با پارامتر رطوبت نسبی مستقیماً در ارتباط است. تابع f عبارتی را برای آسایش حرارتی نشان می‌دهد که شامل سه پـارامتر شخصی M وW و I_{cl} و چـهار پارامتر محیطی t_a و t_{mrt} و v و P_a می‌باشد. فرمول معروف فنگر عبارت است از :

2- Simple Iterative Update of Coefficient
3- Under Relaxation Factor
4- Fanger

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-02]

$$(M-W)-3.05*10^{-3}*[5733-6.99(M-W)-P_a]-0.42[(M-W)-58.12]- \\ 1.7*10^{-5}*M(5867-P_a)-0.0014M(34-t_a)=3.96*10^{-8}*f_{cl}\left[(t_{cl}+273)^4-(t_{mrt}+273)^4\right]-f_{cl}h_c(t_{cl}-t_a) \quad (۱۰)$$

که:

$$t_{cl}=35.7-0.028(M-W)-0.155I_{cl}\{(M-W)-3.05*10^{-3}* \\ [5733-6.99(M-W)-P_a]-0.42[(M-W)-58.15]-1.7*10^{-5}*M \\ *(5867-P_a)-0.0014M(34-t_a)\} \quad (۱۱)$$

f_{cl} یا فاکتور لباس مستقیماً بر حسب I_{cl} به صورت زیر بیان می‌گردد.

$$f_{cl}=1+0.2I_{cl} \quad : \quad I_{cl}<0.5clo \quad (۱۲)$$
$$f_{cl}=1.05+0.1I_{cl} \quad : \quad I_{cl}>0.5clo$$

مقاومت حرارتی لباس معمولاً برحسب واحد clo بیان می‌شود: (m^2K/W) $1\,clo=0.155$.

معادلات فنگر در حالتی که فعالیت افراد اندک است جواب‌های خوبی را نسبت به آزمایشات تجربی ارائه می‌نماید. اما وقتی فعالیت افراد زیاد است استفاده از این معادلات با خطا همراه است. فنگر برای پیش‌بینی احساس حرارتی افراد معادله زیر را ارائه کرده است:

$$PMV=\left(0.303e^{-0.036M}+0.028\right)\{(M-W)-3.05*10^{-3}*[5733-6.99(M-W)-P_a] \\ -0.42[(M-W)-58.15]-1.7*10^{-5}*M(5867-P_a)-0.0014M(34-t_a)-3.96*10^{-8} \\ *f_{cl}[(t_{cl}+273)^4-(t_{mrt}+273)^4]-f_{cl}h_c(t_{cl}-t_a)\} \quad (۱۳)$$

که:

$$t_{cl}=35.5-0.028(M-W)-0.155I_{cl}\{3.96*10^{-8}*f_{cl}[(t_{cl}+273)^4-(t_{mrt}+273)^4]+ \\ f_{cl}h_c(t_{cl}-t_a)\} \quad (۱۴)$$

منظور از PMV [5] میانگین احساس حرارتی افراد از شرایط محیط است. مطابق با استانداردهای آسایش حرارتی (ایزو۷۷۳۰), محدوده $-0.5<PMV<+0.5$ به عنوان محدوده قابل قبول برای آسایش حرارتی می‌باشد.

برای بررسی شرایط آسایش حرارتی تطبیقی, مدل‌های فوق را برای یک اتاق مکعب شکل به ابعاد ۳ متر بکار می‌گیریم. فرض می‌کنیم کلیه دیوارها و سقف اتاق جدار خارجی هستند. دمای هوای بیرون اتاق $-5\,^{\circ}C$ و دمای هوای نفوذی به اتاق صفر درجه سانتی‌گراد است. ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی در خارج از اتاق نیز (W/m^2K) ۵۰ است. در کلیه موارد شرایط آسایش حرارتی برای فردی در حالت استراحت و نشسته بر روی صندلی با لباس معمولی ($1\,Clo$) در محیطی با رطوبت نسبی ۵۰٪ محاسبه شده است. سرعت متوسط جریان هوا در داخل اتاق با لحاظ نمودن شدت اغتشاش جریان هوا معادل (m/s) ۰/۱۵ در نظر گرفته شده است.

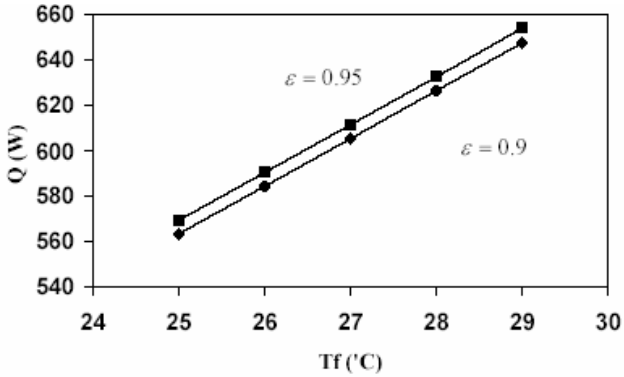
5- Predicted Mean Vote

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-02]

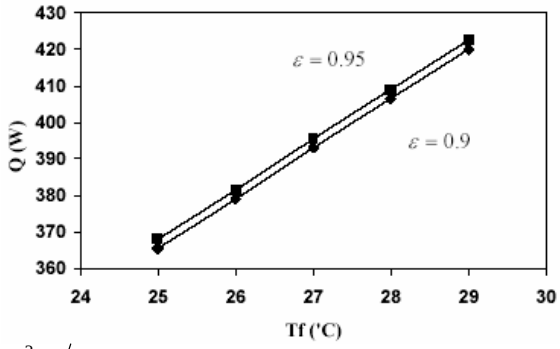
۳ـ اثر میزان لباس ساکنان ساختمان بر عملکرد سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک

در این بخش به بررسی تأثیر میزان لباس بر عملکرد سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک از نظر مصرف انرژی و آسایش حرارتی می‌پردازیم. در مورد تأثیر میزان لباس بر عملکرد سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک، دو سئوال مهم مطرح است؛ اول اینکه تغییر میزان لباس تا چه حد می‌تواند بر مصرف انرژی در این سیستم‌ها مؤثر باشد؟ و دوم اینکه آیا ساختار حرارتی ساختمان نظیر عایقکاری سطوح جانبی و ضریب صدور تابشی سطوح داخلی ساختمان در ایجاد شرایط آسایش حرارتی تطبیقی به کمک تغییر میزان لباس، نقش مؤثری ایفا می‌کند یا نه؟

به منظور پاسخگوئی به این سئوال‌ها، در شکل‌های شماره (۱ تا ٦)، بار حرارتی اعمال شده به اتاق و میانگین احساس حرارتی افراد، با تغییر مقاومت حرارتی لباس (I_{cl})، برای $R_w = ۲\,(m^2K/W)$ و $R_w = ٤\,(m^2K/W)$، در دو حالت $\varepsilon = ۰/۹$ و $\varepsilon = ۰/۹۵$، رسم شده است.

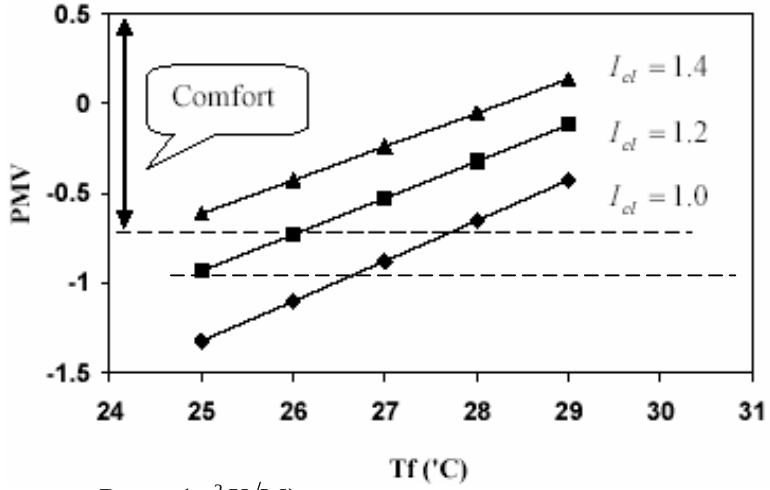


شکل ۱ـ اثر تغییر ε بر بار حرارتی اعمال شده به اتاق در $R_w = ۲\,(m^2K/W)$

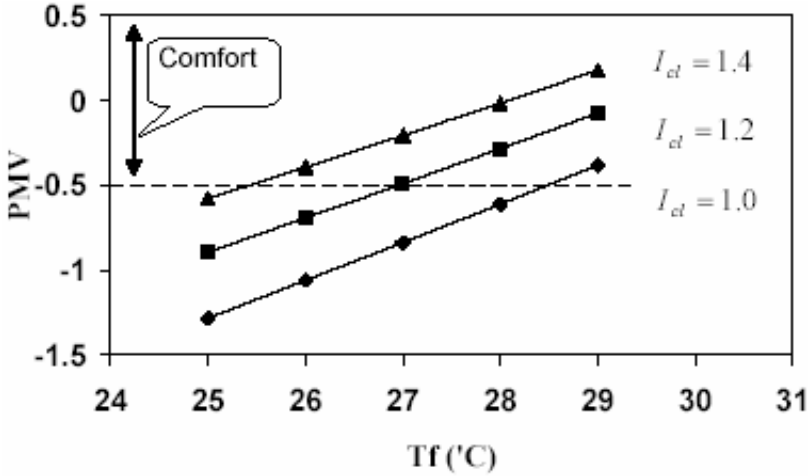


شکل ۲ـ اثر تغییر ε بر بار حرارتی اعمال شده به اتاق در $R_w = ۴\,(m^2K/W)$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-02]

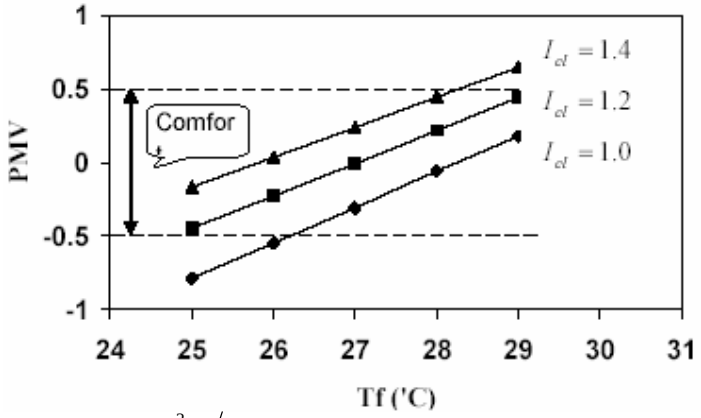


شکل ۳ـ احساس حرارتی افراد با تغییر میزان لباس، $R_w = ۲\,(m^2K/W)$ و $\varepsilon = ۰/۹$

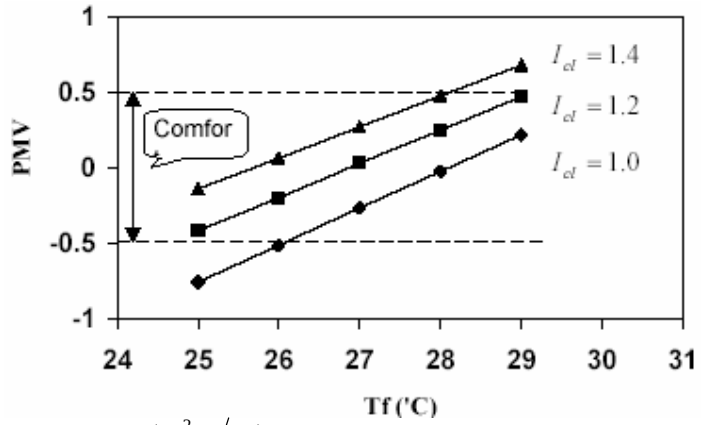


شکل ۴ـ احساس حرارتی افراد با تغییر میزان لباس، $R_w = ۲\,(m^2K/W)$ و $\varepsilon = ۰/۹۵$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-02]



شکل ۵ـ احساس حرارتی افراد با تغییر میزان لباس، $R_w = ۴ (m^2K/W)$ و $\varepsilon = ۰/۹$



شکل ۶ـ احساس حرارتی افراد با تغییر میزان لباس، $R_w = ۴ (m^2K/W)$ و $\varepsilon = ۰/۹۵$

از مقایسه نمودارها معلوم می‌شود که اگر چه ساختار حرارتی ساختمان نظیر عایق‌کاری سطوح جانبی و ضریب صدور تابشی سطوح داخلی آن، بر عملکرد سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک تأثیر چشمگیری دارند، اما این عوامل نمی‌توانند بر شرایط آسایش حرارت تطبیقی به کمک تغییر میزان لباس در ساختمان‌هایی که از سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک استفاده می‌کنند، تأثیر گذار باشند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در ساختمان‌هایی که از سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک استفاده می‌شود؛ افزایش اندک میزان لباس ($۰/۲ Clo$)، باعث ۵٪ صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود. $۰/۲ Clo$ تقریباً معادل مقاومت حرارتی یک تی‌شرت نازک است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-02]

انتخاب نوع و میزان لباس، تا حد زیادی متأثر از شرایط اقتصادی و فرهنگی است. بررسی‌های انجام شده توسط حیدری در چهار منطقه تهران: نارمک، منطقه امامزاده یحیی، شهرک ژاندارمری و حد فاصل فلکه اول و دوم صادقیه و خیابان پاسداران بالاتر از نیستان هفتم تا نیاوران، نشان می‌دهد که در فصل سرد، اهالی منطقه پاسداران نسبت به منطقه امامزاده یحیی تقریباً Clo ۰/۳۶ کمتر لباس به تن دارند. این در حالی است که اهالی منطقه پاسداران نرخ فعالیت کمتری نسبت به سایر مناطق دارند. تمامی این موارد نشان از متمول بودن منطقه دارد.[۱۱]

۴ـ نتیجه‌گیری

۱ـ ایجاد شرایط آسایش حرارتی تطبیقی می‌تواند از طریق تهویه طبیعی ساختمان و یا کنترل میزان لباس ساکنان اتاق صورت گیرد. در مواردی که از سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک استفاده می‌شود به علت اینرسی حرارتی بالای این گونه سیستم‌ها، کنترل و تطبیق دمای کارکرد سیال عامل با توجه به تغییرات دمای هوای خارج ساختمان مشکل است. لذا در این موارد صرفه‌جویی در مصرف انرژی به کمک تهویه طبیعی ساختمان با حفظ شرایط آسایش حرارتی امکان‌پذیر نیست. در چنین مواردی می‌توان شرایط آسایش حرارتی تطبیقی را به کمک تغییر میزان لباس ساکنان ساختمان فراهم نمود.

۲ـ اگر چه ساختار حرارتی ساختمان از جمله عایق‌کاری سطوح جانبی و ضریب صدور تابشی سطوح داخلی آن نقش مؤثری را در عملکرد سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک بازی می‌کند، اما بررسی‌های انجام شده در این مقاله نشان داد که شرایط آسایش حرارتی تطبیقی به کمک تغییر میزان لباس از ساختار حرارتی ساختمان متأثر نیست.

۳ـ در مواردی که از سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک استفاده می‌شود، با افزایش اندک میزان لباس به اندازه یک تی‌شرت نازک، می‌توان مصرف انرژی را در زمستان تا ۵ درصد کاهش داد.

٤ـ ایجاد شرایط آسایش حرارتی تطبیقی به منظور کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌هایی که از سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک استفاده می‌کنند نسبت به سایر ساختمان‌ها تأثیر کمتری دارد.

۵- انتخاب نوع و میزان لباس ساکنان ساختمان تا حد زیادی به شرایط اقتصادی و فرهنگی منطقه بستگی دارد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که ایجاد شرایط آسایش حرارتی تطبیقی در ساختمان‌هایی که از سیستم‌های گرمایش از کف هیدرونیک استفاده می‌کنند بیش از اینکه به ساختار حرارتی ساختمان وابسته باشد به شرایط اقتصادی و فرهنگی ساکنان آن بستگی دارد.

فهرست علائم و نشانه‌ها:

A:	مساحت (m^2)	q :	شار حرارتی (W)
C:	ظرفیت گرمایی ویژه (kJ/kg.K)	R:	مقاومت حرارتی (m^2K/W)
h:	ضریب انتقال حرارت همرفتی (W/m^2K)	T:	دمای مطلق (K)
I:	عایق لباس (Clo)	t:	دما ($^\circ C$)
M:	نرخ متابولیک (met)	V:	سرعت هوا (m/s)
$\dot{m}$:	دبی جرمی (kg/s)	W:	توان ناشی از کار فیزیکی (W)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-02]

علائم یونانی:

α : ضریب جذب تابش

ε : ضریب صدور تابش

σ : ثابت استیفان بولتزمن

زیر نویسها:

air:	هوا	s:	سطح
cl:	لباس	th:	حرارتی
inf:	تهویه	w:	دیوار
o:	محیط		

منابع

1- Byron W. Jones, Capabilities and limitations of thermal models for use in thermal comfort standards, Energy and Buildings, v34, (2002), 653-659.

2- Richard J .de Dear, Gail S. Brager, Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55, Energy and Buildings, v34, (2002), 549-561.

3- B. W. Olesen, K. C. Parsons, Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730, Energy and Buildings, v34, (2002), 537-548.

4- L. J.Banhidi, Radiant heating systems design and applications, Pergamon press, London, (1991).

5- H. B.Awbi, Ventilation of Buildings, E&FN Spon, London, (1998).

6- Olesen, B. W. Comparative experimental study of performance of radiant floor heating systems and wall panel heating systems under dynamic conditions, ASHRAE Transactions,v100, n1, (1994), 1011-1023.

7- Chen . Y. Andreas K. Athenitist; A three- dimensional numerical investigation of the effect of cover materials on heat transfer in floor heating systems, ASHRAE Transactions,v104, n2, (1998), 1350-1355.

8- Hanibuchi, Haruo; Basic study of radiative and convective heat exchange in a room with floor heating, ASHRAE Transactions, v104, n Pt 1 B, SF-98-9-3, (1998), 1098-1105.

9- Richard D. Watson, Kirby S. Chapman; Radiant heating and cooling handbook, Mc Graw-Hill, (2001).

10- P. O. Fanger; Thermal comfort, analysis and application in environmental engineering, McGraw-Hill, (1970).

۱۱ـ شاهین حیدری, سیستم‌های تهویه مطبوع در ایران (استفاده یا ضرر؟), مجموعه مقالات چهارمین همایش ملی انرژی, تهران، اردیبهشت ۱۳۸۲.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-02]