مجله مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1395، دوره 16، شماره 13، ویژه‌نامه مجموعه مقالات کنفرانس، ص‌ص 69-72

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

محاسبه ضریب انتقال حرارت مرجع برای پوسته خارجی ساختمان به‌منظور دستیابی به شرایط بهینه عملکرد حرارتی سیستم‌های گرمایش از کف

امیر امیدوار[1*]

1- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز
* شیراز، صندوق پستی 313-71555، omidvar@sutech.ac.ir

چکیده

بخش قابل توجهی از تلفات حرارتی ساختمان از طریق پوسته خارجی آن صورت می‌گیرد. در مواردی که از سیستم گرمایش از کف استفاده می‌شود، اگر پوسته خارجی ساختمان به هر دلیل از نظر حرارتی ضعیف باشد، برای تأمین بار حرارتی ساختمان، شار گرمایشی بیشتری باید از کف وارد فضای موردنظر گردد. این امر می‌تواند آسایش حرارتی ساکنان را مختل نموده و یا باعث ایجاد نارضایتی حرارتی در آن‌ها شود. با توجه به تأثیر چشم‌گیر ضریب انتقال حرارت پوسته خارجی ساختمان بر عملکرد سیستم‌های گرمایش از کف از نظر آسایش حرارتی، لازم است معیاری برای طراحی حرارتی پوسته خارجی ارایه گردد. در این تحقیق، با توجه به استانداردهای آسایش حرارتی (ایزو 7730 و اشری 55) و الگوبرداری از مقررات ملی ساختمان ایران (مبحث 19)، مقدار ضریب انتقال حرارت مرجع پوسته خارجی برای ساختمان‌های مجهز به سیستم گرمایش از کف تابشی محاسبه شده است. سپس رهیافت طراحی پوسته خارجی ساختمان به روش کارکردی که در مبحث 19 مقررات ملی ساختمان ایران به آن اشاره شده برای ساختمان‌های مجهز به سیستم‌های گرمایش از کف توسعه داده شده است. نتایج نشان داد که در ساختمان‌های مسکونی که ساکنان ملزم به استفاده از میزان پوشش لباس استاندارد نبوده و می‌توانند میزان لباس خود را آزادانه انتخاب کنند، جهت استفاده از سیستم گرمایش کفی، باید شرایط به مراتب سختگیرانه تری برای طراحی پوسته خارجی ساختمان اعمال گردد. در حالت انتخاب لباس تطبیقی، ضریب انتقال حرارت مرجع برای پوسته خارجی بسته به شرایط اقلیمی بین 20 تا 30 درصد کوچک‌تر خواهد بود.

کلید واژگان: گرمایش کفی، آسایش حرارتی، پوسته خارجی ساختمان، روش کارکردی

Calculation of required heat transfer coefficient for building envelope, in order to achieve optimal thermal performance in floor heating systems

Amir Omidvar[*]

Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran
* P.O.B. 71555-313 Shiraz, Iran, omidvar@sutech.ac.ir

ABSTRACT

A substantial portion of heat loss in buildings occurs through the exterior envelope. When the floor heating system is used in buildings with poor thermal insulation, in order to provide the heating load, more heat flux must be entered through the floor. It would disrupt occupants' thermal sensation or cause local thermal discomfort. So, thermal transmittance of the building envelope has significant effect on thermal comfort performance of floor heating system. Hence, it is necessary to establish a thermal design criteria for the building envelope. In this research, according to the standards of thermal comfort (i.e., ISO7730, ASHRAE 55) and by following Iran national building regulations (section 19), the required heat transfer coefficient is calculated for the external envelope of buildings with floor heating system. Then, the functional method reported in section 19 of the national building regulations has been developed for designing exterior envelope of buildings with radiant underfloor heating systems. Results showed that, in residential buildings that the occupants are free to choose their favorite clothing, in order to use floor heating system, thermal characteristics of the building envelope should be designed with stricter conditions. In adaptive clothing situation, the required heat transfer coefficient of the exterior building envelope would be 20 – 30% smaller, depending on climatic conditions.

Keywords: Floor Heating, Thermal Comfort, Building Envelope, Functional Method

1- مقدمه

امکان ایجاد شرایط آسایش حرارتی مطلوب در کنار مصرف بهینه انرژی در سیستم‌های گرمایش از کف، باعث شده است این سیستم‌ها بسیار مورد توجه قرار گیرند. تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه‌ی سیستم‌های گرمایش از کف انجام شده است. ژانگ و همکاران [1] به محاسبه‌ی پارامترهای مهم در سامانه‌های گرمایش و سرمایش از کف از جمله ظرفیت گرمایشی یا سرمایشی و توزیع دمای سطح به صورت تحلیلی پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که ضخامت و هدایت حرارتی هر لایه از کف تأثیر به‌سزایی بر عملکرد کف تابشی خواهد داشت. همچنین اثر لوله‌های آب را نباید نادیده گرفت. جین و همکاران [2] روشی برای محاسبه‌ی دمای سطح در سیستم‌های گرمایش و سرمایش تابشی را به‌کار بردند و رابطه‌ای برای محاسبه دمای سطح پیشهاد کردند. آن‌ها نشان دادند که نتایج مربوط به دمای سطح تطابق خوبی با نتایج تجربی و همچنین نتایج حل عددی دارد. ژنک و همکاران [3] به مدل‌سازی عددی و بررسی تجربی سیستم‌های گرمایش از کف سبک وزن پرداختند و به این نتیجه رسیدند که دمای سطح کف و همچنین دمای هوای داخل اتاق با افزایش فاصله‌ی لوله‌ها از یکدیگر یا کاهش دمای میانگین آب در حلقه، کاهش می‌یابد. در شرایط پایا سهم انتقال حرارت تابشی، 60% کل انتقال حرارت گزارش شده است. ذوالفقاری و همکاران [4] به ارزیابی عملکرد

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:
Please cite this article using:
A.Omidvar, Calculation of required heat transfer coefficient for building envelope, in order to achieve optimal thermal performance in floor heating systems, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations*, Vol. 16, No. 13, pp. 69-72, 2016 (in Persian فارسی)

سیستم‌های گرمایش از کف، با توجه به سبک زندگی رایج در کشورهای شرقی پرداختند. نتایج نشان داد که در شرایطی که ساکنین ساختمان از کف برای خوابیدن استفاده می‌کنند، حساسیت احساس افراد نسبت به مقاومت حرارتی رواناز مورد استفاده بالا است. با تغییر کم در میزان مقاومت حرارتی رواناز احساس حرارتی افراد به شدت تغییر می‌کند و از محدوده‌ی مجاز شرایط آسایش حرارتی خارج می‌شود. جین و همکاران [5] به مدل‌سازی عددی سیستم‌های سرمایش از کف پرداختند و اثر مقاومت حرارتی لوله و سرعت آب را بر عملکرد سیستم مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در صورت پایین بودن ضریب هدایت لوله، لوله می‌تواند بر روی عملکرد سیستم سرمایش از کف تأثیر قابل توجهی داشته باشد. همچنین نشان داده شد که اثر سرعت آب بر عملکرد سیستم‌های سرمایش از کف پایین است. در مرجع [6] مرور کاملی از تحقیقات انجام شده بر روی سیستم‌های گرمایش و سرمایش تابشی به ویژه سیستم گرمایش کفی در طی 50 سال گذشته ارایه شده است.

در هر ساختمان بخش قابل توجهی از تبادل حرارت از طریق پوسته خارجی آن صورت می‌گیرد. در ساختمان‌هایی که قرار است در آن‌ها از سیستم گرمایش از کف استفاده شود، اگر پوسته خارجی ساختمان به هر دلیل از نظر حرارتی ضعیف باشد (ضریب انتقال حرارت بالایی داشته باشد)، بار حرارتی تحمیل شده به آن افزایش خواهد یافت. بنابراین برای تأمین بار حرارتی ساختمان، شار حرارتی بیشتری باید از کف وارد فضای مورد نظر گردد. این امر می‌تواند آسایش حرارتی ساکنان را مختل نموده و یا باعث ایجاد نارضایتی حرارتی موضعی ناشی از کف گرم شود. تشخیص این‌که پوسته خارجی ساختمان از منظر حرارتی دارای ضعف است یا نه، نیازمند یک معیار واضح و مشخص است. در این تحقیق سعی خواهد شد تا با حفظ الگوها و ضوابط مندرج در مبحث 19 مقررات ملی ساختمان، معیاری به عنوان ضریب انتقال حرارت مرجع برای پوسته خارجی ساختمان‌های مجهز به سیستم‌های گرمایش از کف ارایه گردد. در واقع معیار پیشنهاد شده در این مقاله، به نوعی روش کارکردی در مبحث 19 را برای ساختمان‌هایی که در آن‌ها از سیستم گرمایش از کف استفاده می‌شود را توسعه خواهد داد.

2- مدل‌سازی ریاضی و معادلات حاکم

در سیستم‌های گرمایش از کف ساختمان بخش اعظمی از تبادل حرارت از سطح کف براساس مکانیزم تابش انجام می‌شود و مابقی از طریق مکانیزم جابه‌جایی آزاد صورت می‌گیرد [7]. بنابراین، شار حرارتی کلی (q) منتقل شده به فضای اتاق (هوای داخل و سایر سطوح داخلی اتاق) را می‌توان از طریق رابطه (1) محاسبه نمود [8]:

$$q = q_r + q_c \quad (1)$$

که q_r و q_c به ترتیب شارهای حرارتی تابشی و همرفتی هستند. به طوری که:

$$q_r = 5.67 \times 10^{-8}\left[(t_{f,\mathrm{av}} + 273)^4 - (AUST + 273)^4\right] \quad (2)$$

$$q_c = 2.13 \times \left|t_{f,\mathrm{av}} - t_a\right|^{0.31}(t_{f,\mathrm{av}} - t_a) \quad (3)$$

$AUST$ متوسط وزنی دمای سطوح داخلی اتاق است که از رابطه (3) قابل محاسبه است [8].

$$AUST = t_a - d \times Z \quad (4)$$

که

$$Z = \frac{15}{25+t_{\mathrm{out}}} \quad (5)$$

پارامتر d در رابطه (3) بیانگر تعداد جدارهای خارجی (مجاور به فضای خارج) فضای موردنظر است. برای حالتی که تنها یک جدار خارجی وجود دارد این مقدار برابر با 2 است و در شرایطی که بیشتر از یک جدار خارجی وجود داشته باشد مقدار این پارامتر برابر با 3 در نظر گرفته خواهد شد. t_a و $t_{f,\mathrm{av}}$ به‌ترتیب بیانگر دمای هوای داخل و دمای متوسط سطح کف هستند که برمبنای استانداردهای آسایش حرارتی تعیین خواهند شد. براساس استاندارد ایزو 7730، سه سطح مختلف برای آسایش حرارتی ساکنان تعریف می‌شود (جدول1) [9].

متوسط دمای کف ($t_{f,\mathrm{av}}$) براساس سطح آسایش حرارتی مورد نیاز ساکنان، مستقیماً از جدول 1 تعیین می‌شود. اما برای محاسبه دمای هوای داخل به نحوی که سطح آسایش موردنظر تأمین گردد، لازم است مفهوم و نحوه محاسبه شاخص کلی آسایش حرارتی (PMV) مورد توجه قرار گیرد. شاخص (PMV) براساس مدل فنگر به صورت زیر قابل محاسبه است [10]:

$$\mathrm{PMV} = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \times \mathrm{TL} \quad (6)$$

که TL مقدار بار حرارتی ذخیره شده در بدن فرد برحسب $\mathrm{Wm^{-2}}$ می‌باشد. در این رابطه M نرخ متابولیک فرد است که برای فعالیت‌های معمول در فضاهای مسکونی برابر با $58.15\ \mathrm{Wm^{-2}}$ در نظر گرفته می‌شود.

$$TL = M - H_1 - H_2 - H_3 - H_4 \quad (7)$$

H_1 مقدار حرارت تلف شده از بدن به خاطر دیفیوژن بخار آب از سطح پوست است که از طریق رابطه (8) محاسبه می‌شود.

$$H_1 = 0.00305[5733 - 6.99M - 1000P_v] \quad (8)$$

P_v فشار جزئی بخار آب در محیط داخل برحسب kPa است که براساس تابعی از رطوبت نسبی (RH) و فشار اشباع (P_{sat}) به فرم رابطه (9) قابل تعریف است.

$$P_v = RH \times P_{\mathrm{sat}} \quad (9)$$

که:

$$P_{\mathrm{sat}} = \exp\left(16.6536 - \frac{4030.183}{t_a+235}\right) \quad (10)$$

در رابطه (7)، H_2 تلفات حرارتی ناشی از تبخیر عرق در سطح پوست است که براساس مدل فنگر این کمیت تنها تابعی از نرخ متابولیک می‌باشد.

$$H_2 = 0.42(M - 58.1) \quad (11)$$

H_3 مقدار تلفات حرارتی بدن از طریق تنفس است.

$$H_3 = M[0.017(5.867 - P_v) + 0.0014(34 - t_a)] \quad (12)$$

و در نهایت، H_4 تبادل حرارتی بدن به محیط از طریق تابش و جابه‌جایی را نشان می‌دهد.

$$H_4 = (5.7 + h_c)(34 - t_{\mathrm{op}})\left(\frac{1}{1+1.24I_{cl}}\right) \quad (13)$$

که:

$$h_c = \max(2.3, 8.5\sqrt{V}) \quad (14)$$

$$t_{op} = 0.5(t_a + t_{\mathrm{mrt}}) \quad (15)$$

در رابطه (12)، منظور از I_{cl} مقدار عایق حرارتی لباس افراد برحسب clo است. مقدار این کمیت برای لباس زمستانی استاندارد برابر 1 clo در نظر گرفته می‌شود. تحقیقات نشان داده است در مواردی که افراد ملزم به استفاده

جدول 1 سطوح مختلف آسایش حرارتی در استاندارد ایزو 7730

Table 1 Thermal comfort levels in ISO7730 standard

سطح آسایش حرارتی	کمینه مقدار مجاز برای شاخص آسایش (PMV) در زمستان	بیشینه دمای متوسط مجاز برای کف
A	-0.2	29
B	-0.5	29
C	-0.7	31

از یک لباس استاندارد نیستند و بدون هیچ محدودیتی حق انتخاب میزان لباس براساس شرایط محیطی را دارند، مقدار I_{cl} از رابطه (16) به دست می‌آید [11]:

$$I_{cl} = 1.868 - 0.047t_{\mathrm{op}} \quad (16)$$

در مورد کاربری مسکونی که افراد یک کمد لباس در دسترس دارند و می‌توانند آزادانه میزان لباس و پوشش خود را تغییر دهند، استفاده از این رابطه منطقی‌تر به نظر می‌رسد.

در رابطه (13)، t_{mrt} دمای میانگین تابشی است که برای حالتی که از سیستم‌های گرمایش تابشی استفاده می‌شود مقدار آن 1 الی 2 درجه بیشتر از دمای هوای داخل در نظر گرفته می‌شود [12]. در این تحقیق، مقدار دمای متوسط تابشی به‌طور میانگین 1.5 درجه بیشتر از دمای هوا فرض شده است.

$$t_{\mathrm{mrt}} = t_a + 1.5 \quad (17)$$

با مرور معادلات (6) الی (16)، مشخص است که با اعمال مقادیر کمینه مجاز برای شاخص آسایش حرارتی متناظر با سطح آسایش حرارتی موردنظر در رابطه (6) و با توجه به معلوم بودن برخی از مشخصه‌های محیطی مانند سرعت هوا و رطوبت نسبی هوا و پارامترهای فردی نظیر نرخ متابولیک افراد و میزان عایق لباس آن‌ها، می‌توان مقدار مناسب دمای هوا را برای دستیابی به شرایط آسایش موردنظر به‌دست آورد. با جایگزینی این مقدار در روابط (1) الی (3) و همچنین با توجه به مشخص بودن متوسط دمای کف براساس سطح آسایش حرارتی مورد نظر (براساس جدول 1)، شار حرارتی کف از طریق رابطه (1) قابل محاسبه خواهد بود. مقدار شار حرارتی محاسبه شده در واقع بیانگر بیشینه مقدار حرارتی است که می‌توان از طریق کف به فضای مورد نظر وارد کرد بدون این‌که در افراد ایجاد نارضایتی حرارتی نماید. این‌که این مقدار حرارت می‌تواند بار حرارتی موردنیاز ساختمان را نیز تأمین نماید یا نه، نکته مهم و قابل توجهی است که صرفاً به شرایط حرارتی پوسته خارجی ساختمان بستگی دارد. بنابراین لازم است رابطه‌ای بین شار حرارتی محاسبه شده و ضریب تبادل حرارتی پوسته خارجی ساختمان برقرار گردد. براساس مبحث 19 مقررات ملی ساختمان، ضریب انتقال حرارت پوسته، برابر است با مجموع انتقال حرارت از جدارهای فضاهای کنترل شده، در صورتی که اختلاف دمای داخل و خارج برابر یک درجه سانتی‌گراد باشد. بنابراین می‌توان براساس این تعریف، معیاری برای ارزیابی حرارتی پوسته خارجی در ساختمان‌هایی که قرار است در آن‌ها سیستم گرمایش از کف اجرا شود به‌دست آورد. بدین منظور، مقدار ضریب انتقال حرارت مرجع برای پوسته خارجی را می‌توان به فرم رابطه (18) تعریف نمود:

$$H_R = \left(\frac{q}{t_a - t_{\mathrm{out}}}\right) \times A_b \quad (18)$$

در این رابطه A_b سطح زیر بنای مفید فضای مورد نظر برحسب m^2 است. رابطه (18)، یک رابطه کاربردی جهت ارزیابی عملکرد حرارتی سیستم‌های گرمایش از کف در ساختمان‌هایی با پوسته‌های خارجی مختلف است.

3- تعیین ضریب انتقال حرارت مرجع پوسته خارجی ساختمان

در سامانه‌های گرمایش از کف، حرارت موردنیاز جهت تأمین بار حرارتی ساختمان از ناحیه کف وارد فضای داخل می‌گردد. وجود کف گرم یکی از عواملی است که می‌تواند موجب ایجاد نارضایتی حرارتی موضعی در ساکنان نماید. بنابراین بیشینه شار حرارتی که از کف ساختمان می‌تواند وارد شود به‌طوری که ضمن ایجاد شرایط آسایش حرارتی کلی، نارضایتی حرارتی موضعی نیز ایجاد نکند، مقدار محدود و مشخصی است. اما سئوالی که می‌تواند مطرح باشد این است که آیا این مقدار شار حرارتی الزاماً می‌تواند بار حرارتی ساختمان را نیز تأمین نماید یا نه. برای پاسخ به این سئوال، لازم است رابطه‌ای بین شار حرارتی منتقل شده از کف و ضریب تبادل حرارتی پوسته خارجی ساختمان برقرار گردد. این ارتباط در رابطه (18) به روشنی بیان شده است.

با اعمال مقادیر PMV متناظر با هر یک از سطوح آسایش حرارتی در رابطه (6) و حل مجموعه معادلات غیرخطی 6 تا 15 با فرض نرخ متابولیک برابر با 1 met (فعالیت بدنی معمولی) و سرعت جریان هوا برابر با 0.15m/s، دمای هوا متناظر با هر یک از سطوح آسایش در نظر گرفته شده محاسبه خواهد شد. دمای هوا را در هر سطح آسایش می‌توان برای دو حالت میزان پوشش استاندارد و ثابت (1 clo) و پوشش تطبیقی (رابطه 16) محاسبه نمود. نتایج در جدول 2 آمده است.

با جای‌گذاری نتایج مندرج در جدول 2 در معادلات (1) تا (3)، می‌توان رابطه (18) را به فرم کاربردی‌تری بازنویسی نمود:

$$H_R = \frac{K - (5.67\times10^{-8})\times(AUST+273)^4}{t_a - t_{\mathrm{out}}} \times A_b \quad (19)$$

در این رابطه، t_{out} دمای طرح خارج است که با توجه به اقلیم منطقه و براساس داده‌های هواشناسی تعیین می‌گردد. t_a و K با توجه به سطح آسایش حرارتی موردنظر، براساس جدول 3 تعیین می‌گردند. لازم به‌ذکر است که مقادیر K در جدول 3 با توجه به جاگذاری مقادیر محاسبه شده در جدول 2 در معادلات (1) تا (3) و سپس ساده سازی معادله (18) به‌دست آمده است.

به‌عنوان نمونه، در "شکل 1" ضریب انتقال حرارت مرجع بر واحد سطح زیربنا در فضاهایی با بیشتر از یک جدار خارجی برای حالت استفاده از لباس زمستانی استاندارد و حالت انتخاب لباس تطبیقی و آزادانه برای دامنه دماهای طرح خارج متناسب با اقلیم‌های مختلف ایران رسم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در حالت انتخاب لباس تطبیقی، ضریب انتقال حرارت مرجع برای پوسته خارجی بسته به شرایط اقلیمی بین 20 تا 30 درصد کوچکتر خواهد بود.

4- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری (توسعه روش کارکردی)

در مبحث 19 مقررات ملی ساختمان، ضوابط طراحی پوسته خارجی ساختمان‌ها به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی، در قالب دو روش کارکردی و تجویزی ارایه شده است. روش کارکردی را برخلاف روش تجویزی که برای گروه‌بندی خاصی از ساختمان‌ها و با زیربنای محدود کاربرد دارد، می‌توان

جدول 2 دمای هوای داخل محاسبه شده متناسب با شرایط آسایش حرارتی مختلف
Table 2 Calculated internal air temperatures, for different comfort levels

سطح آسایش حرارتی	دمای هوا (℃)		دمای کف (℃)
	لباس ثابت	لباس تطبیقی	
A	22.35	24.14	29
B	21.28	22.86	29
C	20.57	21.94	31

جدول 3 مقادیر ضریب K متناسب با شرایط آسایش حرارتی مختلف
Table 3 Values of K corresponding to different thermal comfort levels

سطح آسایش حرارتی	برای حالت لباس ثابت	برای حالت لباس تطبیقی
A	497.12	488.54
B	502.62	494.6
C	530.21	514

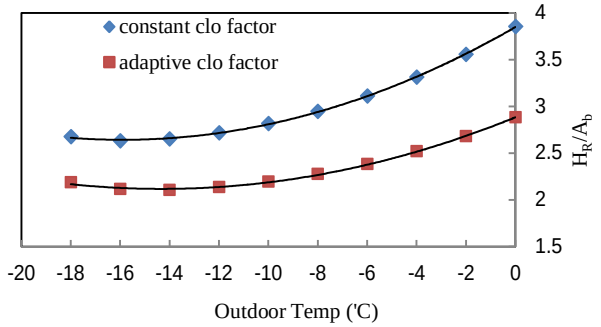

Fig. 1 Required heat transfer coefficient

شکل 1 ضریب انتقال حرارت مرجع برای واحد سطح کف در دو حالت لباس ثابت و تطبیقی

می‌توان برای تمام ساختمان‌ها استفاده نمود. در این مقاله نیز با توجه به جامعیت روش کارکردی، به توسعه این روش پرداخته شده است. در روش کارکردی، ابتدا گروه ساختمان از لحاظ میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی براساس بند 2 مبحث 19 و جدول مندرج در پیوست 5 این مبحث تعیین می‌گردد. سپس میزان عایق‌کاری حرارتی لازم برای پوسته خارجی ساختمان با محاسبه ضریب انتقال حرارت طرح و مقایسه آن با حداکثر مقدار مجاز (که ضریب انتقال حرارت مرجع نامیده می‌شود) مشخص می‌شود. براساس روش کارکردی، لازم است پوسته خارجی به گونه‌ای طراحی گردد که ضریب انتقال حرارت طرح از ضریب انتقال حرارت مرجع کوچکتر باشد.

در این پژوهش، رابطه‌ای کاملاً کاربردی و ساده جهت محاسبه ضریب انتقال حرارت مرجع پوسته خارجی برای ساختمان‌های مجهز به سیستم گرمایش کفی به ارایه شده است (رابطه 19). استفاده از این رابطه می‌تواند راه را برای طراحی دقیق‌تر پوسته خارجی ساختمان‌هایی که در آن‌ها از سیستم گرمایش کفی استفاده خواهد شد براساس ضوابط مندرج در مبحث 19 هموارتر نماید. بدین منظور، پیشنهاد می‌گردد برای ساختمان‌های مجهز به سیستم گرمایش کفی، مقدار ضریب انتقال حرارت مرجع یکبار براساس ضوابط مندرج در دستورالعمل مبحث نوزده (H_m) و یکبار هم براساس روش پیشنهاد شده در این مقاله (H_R) و براساس رابطه (19) محاسبه گردد. از بین این دو مقدار، کمینه آن‌ها به عنوان معیار طراحی در نظر گرفته شود. به‌عبارت دیگر:

$$H = \min(H_M, H_R) \quad (20)$$

اگر ضریب انتقال حرارت پوسته خارجی ساختمان (H_d) از مقدار مرجع پیشنهاد شده (H) کوچکتر باشد، در آن ساختمان ضمن اطمینان از رعایت ضوابط مبحث 19، بدون هیچ مشکلی می‌توان از سیستم‌های گرمایش از کف استفاده نمود. اما اگر $H_R \leq H_D \leq H_M$ ، در ساختمان موردنظر گرچه ضوابط مبحث 19 رعایت شده است، استفاده از سیستم گرمایش کفی به تنهایی نمی‌تواند شرایط آسایش حرارتی را برای ساکنان فراهم نماید. در این حالت بهتر است یا پوسته خارجی از نظر حرارتی تقویت گردد یا سیستم گرمایش کفی با سیستم‌های دیگر مانند سیستم گرمایش رادیاتوری و یا نظایر آن به‌صورت ترکیبی اجرا گردد. اگر $H_D > H_M$، مشخص می‌گردد که حداقل استانداردهای پیشنهاد شده توسط مبحث 19 نیز رعایت نشده، لذا پوسته خارجی ساختمان از نظر حرارتی نیاز به طراحی مجدد دارد.

لازم به ذکر است که جهت استفاده از سیستم‌های گرماش کفی در ساختمان‌های مسکونی، که در آن‌ها افراد می‌توانند آزادانه و بدون هیچ‌گونه محدودیتی میزان لباس خود را انتخاب نمایند، جهت دستیابی به شرایط آسایش حرارتی لازم است ضریب انتقال حرارت مرجع برای پوسته خارجی بسته به شرایط اقلیمی باید 20 تا 30 درصد کوچک‌تر در نظر گرفته شود.

5- مراجع

[1] L. Zhang, X. H. Liu, Y. Jiang, Simplified calculation for cooling/heating capacity,surface temperature distribution of radiant floor, *Energy and Buildings*, Vol. 55, pp. 397-404, 2012.

[2] X. Jin, X. Zhang, Y. Luo, A calculation method for the floor surface temperature in radiant floor system, *Energy and Buildings*, Vol. 42, pp. 1753-1758, 2010.

[3] D. Zhang, N. Cai, Z. Wang, Experimental and Numerical analysis of lightweight radiant floor heating system, *Energy and Buildings*, Vol. 61, pp. 260-266, 2013.

[4] A. R. Zolfagari, M. Maerefat, A. Omidvar, Evaluate the performance of floor heating systems according to common lifestyle in the Eastern countries, *Sharif Mechanical Engineering Journal*, Vol. 27-3, No. 1, pp. 67-74, 2011.(In Persian فارسی)

[5] X. Jin, X, Zhang, Y. Luo, R. Cao, Numerical simulation of radiant floor cooling system: The effects of thermal resistance of pipe and water velocity on the performance, *Building and Environment*, Vol. 45, pp. 2545-2552, 2010.

[6] K. N. Rhee, K. W. Kim, A 50 years basic and applied research in radiant heating and cooling systems for the built environment, *Building and Environment*, Vol. 91 , pp. 166-190, 2015.

[7] M. Rahimi, A. Sabernaeemi, Experimental study of radiation and free convection in an enclosure with a radiant ceiling heating system, *Energy and Buildings*, Vol. 42, pp. 2077-2082, 2010.

[8] M. S. Shim, K. N. Rhee, S. R. Ryu, M. S. Yeo, K. W. Kim, Design of radiant floor heating panel in view of floor surface temperatures, *Building and Environment*, Vol. 92, pp. 559-577, 2015.

[9] ISO 7730-1994: Moderate thermal environments-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.

[10] M. Maerefat, A. Omidvar, *Thermal Comfort, Calculations and Design Considerations*, pp. 77-80, Tehran: Yazda, 2013. (in Persian فارسی)

[11] S. Heidari, S. Sharples, A comparative analysis of short-term and long-term thermal comfort surveys in Iran, *Energy and Buildings*, Vol. 34, pp.607-614, 2002.

[12] R. D. Watson, K. S. Chapman, *Radiant Heating and Cooling Handbook*, pp.8.29-8.31, New-York: McGraw-Hill, 2001.