پوهنتون پولی تخنیک کابل
مجله علمی و تکنالوژی
جلد۵۲ - شماره ٤
حوت - سال ۱٤۰۳ - هـ.ش.
P-ISSN: 2305 - 896X
KPU-JST
تاریخ دریافت اثر: ۱٤۰۳/۰۸/۰۷
تاریخ قبـولی اثر: ۱٤۰۳/۰۸/۲۸

بررسی تأثیر نوسانات درجه حرارت هوای ماحول روی سطح داخلی دیوار خارجی اماکن بعضی ولایات سردسیر کشور

[1*]پوهنوال اسرائیل جاهد
[1*] استاد دیپارتمنت انجنیری اتومیخانیک پوهنتون پولی تخنیک کابل.
شماره تماس و ایمیل آدرس: ۰۷۰۰۱۸۷۷۶۶, israel@kpu.edu.af

خلاصه

این مقاله تقاضای عصر را پیرامون بررسی تأثیر نوسانات درجه حرارت هوای ماحول روی سطح داخلی دیوارهای اماکن نسبتاً سردسیر ارائه می‌کند تحقیق پیرامون محاسبه درجه حرارت در اقشار متنوع دیوار ساخته‌شده از معموره خشتی و فوم‌کانکریت موضوع این تحقیق بوده و اعمال مثال مشخص آن برای شرایط نسبتاً سردسیر فرضیه تحقیق می‌باشد. هدف از این تحقیق، تعمیق مطالعه پیرامون تأثیر نوسانات درجه حرارت هوای ماحول روی سطح داخلی دیوار اماکن به منظور توسعه و انکشاف بعدی عرصه محاسبات تخنیک حرارت با طریقه کتابخانه‌یی است. نتایج تجزیه و تحلیل تأثیر نوسانات درجه حرارت هوای ماحول نمایانگر بهینه‌بودن استفاده از روش حل معادله تفاضلی هدایت حرارت با کمک تفاضل‌های معین در شرایط جریان حرارت غیرثابت می‌باشد. استفاده از اماکن با دیوارهای خارجی دو لایه مشمول عایق در مناطق همچون ولایت‌های غور و بدخشان توصیه می‌شود.

اصطلاحات کلیدی: درجه حرارت، انتقال حرارت، جریان حرارت، هدایت حرارت، تفاضل‌های معین، فومکانکریت، معموره خشتی.

۱* - مولف مسوول

۱. مقدمه

دانستن نوسانات درجه حرارت در داخل و ماحول اماکن مسکونی و غیرمسکونی در اثنای طرح معقول احاطه‌های خارجی اماکن معاصر که در آنها از عناصر تجمعی از مواد موثر استفاده می‌گردد، دارای اهمیت خاص است، زیرا فقط معلومات واضح در مورد پروسه‌های که حین انتقال حرارت از طریق احاطه‌ها صورت می‌گیرد، می‌تواند با استفاده از محاسبات مربوطه امکان تأمین کیفیت لازمه عناصر احاطوی را برای طراح فراهم سازد.

انتقال حرارت از طریق اجسام متنوع معمولاً به سه طریقه: هدایت، کانویکشن و تشعشع حرارتی صورت می‌گیرد. انتقال حرارت با طریقه هدایت حرارت عبارت از انتقال حرارت توسط مالیکول‌های ذرات جسم که از یک محل به محل دیگر در اثر تماس یک مالیکول به مالیکول دیگر و انتقال حرارت از یک مالیکول به مالیکول دیگری جسم انجام می‌پذیرد. انتقال حرارت در اجسام جامد (عایق برق) و مایعات توسط امواج ارتجاعی صورت می‌گیرد.

اکثر مواد اماکن اجسام جامد و دارای تخلخل می‌باشند، بنابر این، در آنها می‌تواند برعلاوه انتقال حرارت توسط هدایت حرارت انواع دیگری انتقال حرارت نیز صورت گیرد. اما در محاسبات تخنیک حرارتی عناصر احاطوی طور قبول می‌گردد که در احاطه‌ها فقط انتقال حرارت به اساس قانون هدایت حرارت صورت می‌گیرد.

۲. هدف تحقیق

هدف از این تحقیق، تعمیق مطالعه پیرامون تأثیر نوسانات درجه حرارت هوای ماحول روی سطح داخلی دیوار خارجی اماکن به منظور توسعه و انکشاف بعدی تطبیق مسایل تئوریتیکی تخنیک حرارت در عرصه طرح و دیزاین ساختمان‌های صنعتی و مدنی در شرایط اقلیمی نسبتاً سردسیر کشور می‌باشد.

۳. طریقه تحقیق

در اثنای اجرای این تحقیق علمی از روش کتابخانه‌ای استفاده گردیده است.

۳. پیشینه

سال‌ها تلاش شده است تا چشم‌اندازهای تاریخی در مورد تأثیرات قانون سردکننده نیوتن (۱۷۰۱م) بر توسعه تئوری انتقال حرارت ارائه شود. قانون سردکننده نیوتن اولین فورمول انتقال حرارت را فراهم می‌کند و اساس برای انتقال حرارت کانویکشنی است. قانون سردکننده توسط فوریو (۱۸۲۲م) به عنوان شرط نهایی کانویکشن (عدد بیوت) در تئوری ریاضی خود در مورد انتقال حرارت گنجانیده شده است. قدم تعیین‌کننده در استفاده از مفهوم ضریب انتقال حرارت با انتشار "قانون اساسی انتقال حرارت" توسط نوسلت (Nusselt) در سال ۱۹۱۵م رخ داد. قانون نیوتن فقط برای انتقال اجباری با خصوصیات بدنی ثابت معتبر است. به روابط نزدیک برای تئوری‌های مختلف انتقال حرارت اشاره شده است. پدیده‌های انتقال حرارت نیز می‌توانند بر اساس رابطه بین جریان حرارتی سطح و اختلاف درجه حرارت به عنوان نیروی محرک طبقه‌بندی شوند.

بنابر این، تحلیل همه‌جانبه تأثیر نوسانات درجه حرارت هوای ماحول بالای سطح داخلی اماکن سردسیر کشور که درجه حرارت تا ۲۵ °C- پایین می‌آید، نیاز مبرم است.

۴. تحلیل و تجزیه موضوع تحقیق

موضوع تحقیق عبارت از تحقیق پیرامون دریافت قانونمندی تأثیر نوسانات درجه حرارت هوای ماحول روی سطح داخلی دیوارهای اماکن در شرایط جریان غیرثابت انتقال حرارت است. تأکید خاص بالای نوسانات درجه حرارت محیط ماحول مناطق سردسیر کشور همچون ولایات غور و بدخشان است، در جایکه در مدت ۸ ساعت درجه حرارت از -۵ الی ۲۵ °C- سقوط می‌کند و سپس بلند میرود (حل مثال موضوع تحقیق دیده شود).

نظریه تحلیل هدایت حرارت عبارت از شکل مالیکولی ماده می‌باشد که آن را مانند مجموع ذرات مواد نه بلکه مانند کتله متجانس مطالعه می‌نمایند. برای استخراج معادله تفاضلی هدایت حرارت، اولاً، مسأله یک‌بعدی‌بودن انتقال حرارت را مورد بررسی قرار می‌دهند. فرضاً دیوار طویل و دارای ضخامت نازک dx است که در آن درجه حرارت به اندازه dt تغییر می‌نماید. اگر درجه حرارت قشر نظر به زمان تغییر ننماید، در آنصورت مقدار تراکم جریان حرارت Q_1 به [kCal/((m²·h))] از طریق دیوار، طبق قانون فوریه طور ذیل دریافت می‌گردد [۵]:

$$Q_1 = -\lambda \cdot \frac{dt}{dx} \qquad (1)$$

در اینجا، λ ضریب هدایت حرارت دیوار، (kCal/((m·h·°C)) ؛ dt/dx گرادینت درجه حرارت، °C/m، اند.

به صورت عموم کمیت جریان حرارت حین عبور آن از طریق قشر جداکننده تغییر می‌نماید. برای دریافت کمیت تغییریافته جریان حرارت نظر به ضخامت اقشار باید فورمول فوق را نظر به متحول x مشتقگیری موضعی نمود که در اینصورت افاده ۱ را می‌توان به شکل نوشت [۵]:

$$\frac{\partial Q_1}{\partial x} = -\lambda \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}$$

تغییر کمییت جریان حرارت به خاصیت جذب و یا از دست‌دادن حرارت توسط اقشار در اثنای تغییر درجه حرارت آنها به زمان ارتباط دارد. مقدار حرارت dQ_2 که برای بلندبردن درجه حرارت قشر دارای ضخامت dx به اندازه dt درجه در مدت زمان ضرورت است، طبق قانون سردسازی نیوتن طور ذیل دریافت می‌شود [۴]:

$$dQ_2 = -c \cdot \gamma \cdot dx \cdot \frac{dt}{dz} \qquad (2)$$

در اینجا، c ظرفیت حرارتی مخصوص مواد قشر، [kCal/((kg·°C))] ؛ γ وزن حجمی مواد، [kg/m³]؛ Q_2 مقدار حرارت جذب شده در دیوار، [kCal/((m²·h))]، اند.

علامه منفی در طرف راست معادله اخیر نشان‌دهنده ازدیاد درجه حرارت اقشار مربوط به جذب حرارت و کم‌شدن کمیت جریان حرارت در آنها می‌باشد. افاده اخیر را می‌توان به شکل تفاضل قسمی (موضعی) طور ذیل نوشت:

$$\frac{\partial Q_2}{\partial x} = -c \cdot \gamma \cdot \frac{\partial t}{\partial z} \qquad (3)$$

بلانس حرارتی فقط در صورت تساوی کمیت‌های $\partial Q_1/\partial x$ و $\partial Q_2/\partial x$ ممکن است، بنابر این، از تساوی معادلات ۲ و ۳ می‌توان چنین نوشت:

$$\frac{\partial t}{\partial z} = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma} \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \qquad (4)$$

در اینجا، λ/((c·γ)) ضریب هدایت درجه حرارت مواد است، آنرا به علامه a افاده نموده افاده ذیل حاصل می‌شود:

$$\frac{\partial t}{\partial z} = a \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \qquad (5)$$

معادله ۵ عبارت از معادله تفاضلی هدایت حرارت حین انتقال حرارت در یک مسیر مشخص می‌باشد.
حل معادلات تفاضلی هدایت حرارت در صورت موجودیت شرایط ثابت‌بودن جریان حرارت، یعنی درجه حرارت (t=const.) و جریان حرارت (q=const.) ماحول نظر به زمان به حد کافی آسان و ساده می‌شود. بنابر این، در معادله ۵ تفاضل قسمی می‌شود که در اینصورت فورمول ۵ شکل ذیل را به خود می‌گیرد:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0 \quad ; \qquad (6)$$

معادله ۶ برای انتقال حرارت از طریق دیوارهای هموار که از مواد متجانس‌شکل ساخته شده دارای اهمیت زیاد می‌باشد. از حل معادله ۶ برای دیوار مورد نظر تحت رژیم جریان حرارت با ثبات و کمیت ثابت λ استنباط می‌گردد: تغییر درجه حرارت نظر به ضخامت دیوار توسط رابطه خط مستقیم افاده می‌شود.
حل مسائل مربوط انتقال حرارت حین شرایط غیرثابت جریان حرارت منتج به انتیگرال‌گیری معادله تفاضلی هدایت حرارت (۵) می‌شود. حل این معادلات نسبتاً مغلق‌تر است. یکی از روش‌های حل معادلات تفاضلی عبارت از روش تفاضل معین می‌گردند. حل معادلات تفاضلی هدایت حرارت با کمک تفاضل‌های معین عملاً دارای اهمیت بیشتر بوده و عبارت از حل عمومی برای مسائل مختلف مربوط به انتقال حرارت در شرایط جریان حرارت غیر ثابت می‌باشد.
روش تفاضل‌های معین بالای فرضیه امکان تعویض پروسه متمادی تغییر درجه حرارت طور جهشی زیگزاگ (جمپدار) در فضا و زمان استوار می‌باشد. در این حالت، معادله تفاضلی هدایت حرارت به معادلات تفاضل‌های معین تبدیل می‌شوند. معادله تفاضلی هدایت حرارت ۵ دارای شکل تفاضل معین ذیل خواهد بود:

$$\frac{\Delta \tau}{\Delta z} = a \cdot \frac{\Delta^2 \tau}{\Delta x^2} \quad ; \qquad (7)$$

در اینجا، Δτ ازدیاد معین درجه حرارت؛ Δz ازدیاد معین زمان، h؛ Δx ضخامت‌های قشرهای ابتدایی در استقامت محور x، m ، می‌باشند.
برای حل این معادله، دیوار هموار متجانس را به ضخامت‌های کوچک و یکسان Δx تقسیم می‌نماییم (شکل ۲). مستوی‌های تقسیم‌کننده اقشار را به n+1، n، n-1 ارائه و زمان را نیز به انتروال‌های یکسان ΔZ تقسیم می‌نماییم. درجه‌های حرارت را در مستوی انقسام قشرها دریافت و آنها به τ (اندکس اول شماره مستوی، اندکس دوم لحظه زمان که به درجه حرارت مطلوب مطابقت می‌کند) ارائه می‌نماییم. در آنصورت افاده ۷ شکل ذیل را می‌گیرد:

$$\frac{\tau_{n,z+1} - \tau_{n,z}}{\Delta Z} = a \cdot \frac{\tau_{n+1,z} + \tau_{n-1,z} - 2 \cdot \tau_{n,z}}{\Delta x^2}$$

در اینجا، $\tau_{(n,z+1)}$ درجه حرارت در مستوی n در زمان Z+ΔZ، است.
افاده اخیر را نظر به حل نموده دریافت می‌نماییم که:

$$\tau_{n,z+1} = \tau_{n,z} + a \cdot \frac{\Delta Z}{\Delta x^2} \cdot \left(\tau_{n+1,z} + \tau_{n-1,z} - 2 \cdot \tau_{n,z}\right) \qquad (8)$$

این فورمول عمومی برای دریافت درجه حرارت در مستوی مورد نظر طی انتروال زمان ΔZ در این مستوی و در دو مستوی‌های همجوار در لحظه زمان ماقبل Z است. به این ترتیب، محاسبه تغییر درجه حرارت نظر به زمان به محاسبه مسلسل درجات حرارت در تمام مستوی‌های دیوار بعد از انتروال یکسان زمان منتج می‌گردد:
در حالت خصوصی، هر گاه کمیت ΔZ و Δx طور انتخاب گردند که $a\cdot(\Delta Z/(\Delta x^2))=0.5$ شود، پس فورمول اخیر شکل ذیل را می‌گیرد:

$$\tau_{n,z+1} = \frac{\tau_{n+1,z} + \tau_{n-1,z}}{2} \qquad (9)$$

این فورمول که دارای شکل ساده بوده فقط برای $\Delta Z=(\Delta x^2)/2a$ قابل تطبیق است. مفهوم فزیکی معادله ۹ در ثابت‌بودن انتقال حرارت در انتروال زمان ΔZ بین مستوی‌های n-1 و n+1 نهفته است. بنابر این، این انتروال زمان اعظمی بوده که می‌توان آن را طور ذیل دریافت نمود:

$$\Delta Z_{max} = \frac{\Delta x^2}{2 \cdot a} \qquad (10)$$

اگر کمیت ΔZ_{max} حتی به اندازه کوچک نیز افزایش داده شود، پس تغییر درجه‌های حرارت خاصیت بدون ترتیب، جهشی را گرفته و محاسبه غیر دقیق می‌شود. به هر اندازه که انتروال‌های زمان کوچکتر انتخاب گردند به همان اندازه محاسبه دقیق‌تر خواهد بود. بیشترین دقت محاسبه در اثنای $\Delta Z=\Delta x^{2/a}$، یعنی سه مرتبه کوچکتر از ΔZ_{max} خواهد بود.

بعضی اوقات در اثنای که $\Delta Z=\Delta Z_{max}$ شود، محاسبه به نتایج غیر دقیق منتج گردیده می‌تواند. در اینصورت، مثال که توسط پروفیسور و. س. لوکیانوف حاصل گردیده دارای اهمیت می‌باشد (شکل۱). در دیوار هموار که از دو جانب مطلقاً عایق حرارت گردیده تقسیمات ابتدایی درجه حرارت موج‌مانند می‌باشد (خط درشت). بعد از انتروال زمان ΔZ_{max} نظر به فورمول ۱۰ عین تقسیمات درجه حرارت اما با تغییر درجه حرارت با طول Δx را حاصل می‌نماییم (خط نقطه دار). بعد از انتروال مابعد زمان تقسیمات اولیه درجه حرارت در دیوار را حاصل می‌نماییم، یعنی نوسانات غیرخاموش‌شونده در آن خواهد صورت گرفت، چیزیکه طور اشکار متضاد به واقعیت می‌باشد. اگر $\Delta Z<\Delta Z_{max}$ قبول گردد، پس نوسانات خاموش شونده که باعث تساوی درجه حرارت در ضخامت دیوار گردیده چیزیکه به واقعیت مطابقت می‌نماید، حاصل می‌گردند.

فورمول ۱۰ نشان میدهد که هنگام $\Delta Z=\Delta Z_{max}$ دریافت درجه حرارت در مستوی‌های انقسام اقشار به صورت محدود اجرا شده می‌تواند. برای همین منظور کافی است تا نقاط که به درجه‌های حرارت در دو مستوی مجاور در لحظه زمان Z مطابقت می‌نمایند با هم وصل نمود (مستقیم نقطه‌دار در شکل۲). اما طریقه گرافیکی محاسبه دقت کافی را تأمین نمی‌نماید، بنابر این، بهتر است از محاسبه درجه‌های حرارت در اقشار جداگانه که منتج به محاسبه در جدول می‌گردد، استفاده گردد.

علامات آتی را برای دریافت درجه‌های حرارت در سطوح دیوار محاط توسط هوا قبول می‌نماییم: t_i درجه حرارت هوا در نزدیک سطح احاطه؛ τ_1 درجه حرارت سطح؛ τ_2 درجه حرارت در مستوی که به فاصله Δx از سطح قرار دارد؛ α ضریب دفع حرارت هوا؛ λ– ضریب هدایت حرارت مواد دیوار، دو حالت دریافت این درجه حرارت را مطالعه می‌نماییم.

۱. در صورت که $\Delta Z=\Delta Z_{max}$ باشد. در این حالت τ_1 از شرط بلانس حرارتی در انتروال زمان ΔZ دریافت می‌گردد. جریان حرارت ثابت در نظر گرفته می‌شود.

$$Q_1 = \alpha \cdot (\tau_{1,z+1} - \tau_\alpha) \cdot \Delta Z \quad ; \quad Q_2 = \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot (\tau_{1,z+1}) \cdot \Delta Z$$

از اینجا می‌توان نوشت: $\alpha \cdot \tau_{1,z+1} - \alpha \cdot \tau_\alpha - \lambda/\Delta x \cdot \tau_{2,z}=0$

معادله حاصله را نظر به حل می‌نماییم:

$$\tau_{1,z+1} = \frac{\alpha \cdot t_\alpha + \frac{\lambda}{\Delta x} \cdot \tau_{2,z}}{\alpha + \frac{\lambda}{\Delta x}} \qquad (11)$$

۲. در صورت که $\Delta Z<\Delta Z_{max}$ باشد. در این حالت، مستوی کمکی که به فاصله Δx_o از سطح دیوار قرار دارد به شیمای محاسبوی علاوه می‌گردد. مقدار Δx_o با کمک فورمول طور ذیل دریافت می‌گردد:

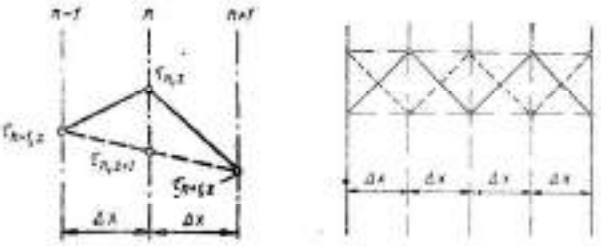
$$\Delta x_o = \sqrt{2 \cdot \alpha \cdot \Delta Z} \qquad (12)$$

درجه حرارت در این مستوی بعد از دریافت درجه‌های حرارت در مستوی‌های مجاور ذریعه انتیگرال‌گیری خطی محاسبه می‌گردد. درجه های حرارت در سطح دیوار در این حالت با کمک فورمول که در آن Δx_o به عوض Δx و درجه حرارت

مستوی کمکی τ_o به عوض $\tau_{2,z}$ قبول می گردد محاسبه شود.

اگر دیوار متشکل از مواد متنوع باشد، پس هر قشر را به اقشار یکسان Δx تقسیم می‌نماییم. برای هر قشر دیوار مقدار ΔZ_{max} دریافت می‌شود.

در مستوی – n ام که اقشار را از مواد متنوع جدا می‌سازد، درجه حرارت را به اساس تحلیل‌های ذیل دریافت می‌نمایند.



شکل ۱. برای مثال وی. سی. لوکانوف

شکل ۲. طریقه گرافیکی محاسبه درجه حرارت در دیوار هموار

مقدار حرارت که به مستوی n از مستوی n-1 (شکل ۳) در انتروال زمان ΔZ میآید:

$$Q_1 = (\tau_{n-1,z} - \tau_{n,z}) \cdot \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \cdot \Delta Z$$

مقدار حرارت که توسط مستوی n به مستوی n+1 در انتروال ΔZ داده می‌شود:

$$Q_2 = (\tau_{n,z} - \tau_{n+1,z}) \cdot \frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \cdot \Delta Z$$

تغییر محتوای حرارتی اقشار نصف طرف چپ و طرف راست مستوی n طور ذیل دریافت می‌گردد:

$$\Delta Q = 1/2 \cdot (c_1 \cdot \gamma_1 \cdot \Delta x_1 + c_2 \cdot \gamma_2 \cdot \Delta x_2) \cdot (\tau_{n,z+1} - \tau_{n,z})$$

از شرط بلانس حرارتی باید $\Delta Q = Q_1 - Q_2$ باشد، بنابر این، رابطه ذیل را خواهیم‌داشت:

$$\frac{1}{2} \cdot (c_1 \cdot \gamma_1 \cdot \Delta x_1 + c_2 \cdot \gamma_2 \cdot \Delta x_2) = \left(\frac{\tau_{n-1,z} - \tau_{n,z}}{\Delta x_1} \cdot \lambda_1 - \frac{\tau_{n,z} - \tau_{n+1,z}}{\Delta x_2} \cdot \lambda_2\right) \cdot \Delta Z$$

این معادله را نظر به $\tau_{n,z+1}$ حل نموده فورمول ذیل را برای محاسبه درجه حرارت در سرحد دو مواد متنوع دریافت خواهیم‌کرد:

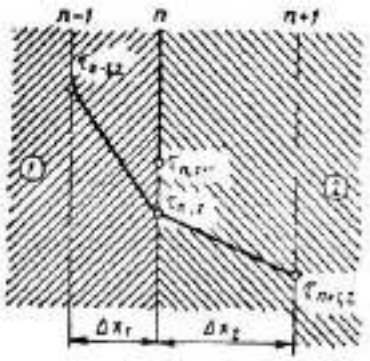
$$\tau_{n,z+1} = \frac{2\Delta Z}{c_1 \cdot \gamma_1 \cdot \Delta x_1 + c_2 \cdot \gamma_2 \cdot \Delta x_2} \cdot \left(\frac{\tau_{n-1,z} - \tau_{n,z}}{\Delta x_1} \cdot \lambda_1 - \frac{\tau_{n,z} - \tau_{n+1,z}}{\Delta x_2} \cdot \lambda_2\right) + \tau_{n,z}$$

مثال. درجه حرارت هوای خارجی در مدت 8 ساعت از 5- به 25- °C سقوط می‌نماید و بعداً مجدداً تا 5- °C صعود می‌نماید. چگونه این تغییر بالای سطح داخلی دیوار اثر می‌نماید (شکل ۴).

احاطه خارجی متشکل از دیوار خشتی با ضخامت یک خشت (25 cm) که از طرف داخل ذریعه پلیت‌های فوم‌کانکریت با ضخامت 12 cm عایق گردیده است.

مواد دیوار دارای مقادیر ذیل ضرایب: معموره خشتی با مصالح سنگین دارای γ=1800، λ=0.7، c=0.21 ؛ فوم‌کانکریت: γ=600 ، c=0.2 ، λ=0.18 ، می‌باشند. دیوار دارای مقاومت انتقال حرارت: $R_{tot} = 1.21\ m^2 \cdot hr \cdot deg. / kCal$ است.

برای محاسبه تغییر درجه حرارت در دیوار مورد مطالعه، نظر به زمان آنرا به ۵ قشر تقسیم می‌نمایند. سرحدات این اقشار در شکل ۴ ارائه گردیده اند.



شکل ۳. برای محاسبه تغییر درجه حرارت در سرحدات اقشار از مواد مختلف

برای انتخاب انتروال محاسبوی زمان ΔZ، کمیت ΔZ_{max} برای اقشار جداگانه دیوار با کمک فورمول دریافت می‌شود:
فوم‌کانکریت. ضریب هدایت درجه حرارت ذیلاً خواهد بود:

$$a = \frac{0.18}{0.2 \cdot 600} = 15 \cdot 10^{-4}$$

در صورتکه ضخامت اقشار $\Delta x=0.06$ m باشد، پس خواهیم داشت:

$$\Delta Z'_{max} = \frac{0.06^2}{2 \cdot 15} \cdot 10^4 = 1.2\ hr$$

معموره خشتی. ضریب هدایت درجه حرارت ذیلاً خواهد بود:

$$a = \frac{0.7}{0.21 \cdot 1800} = 18.5 \cdot 10^{-4}$$

در صورتکه ضخامت اقشار $\Delta x=0.083$ m باشد، پس خواهیم داشت:

$$\Delta Z''_{max} = \frac{0.083^2}{2 \cdot 18.5} \cdot 10^4 = 1.87\ hr$$

در محاسبه $\Delta Z=1.2$ hr قبول می‌شود، زیرا به کوچکترین کمیت‌های حاصله ΔZ_{max} مطابقت می‌نماید.
فورمول‌های محاسبوی ذیل را برای مستوی‌های جداگانه دیوار خواهیم داشت.
مستوی ۱ (سطح داخلی دیوار). طور که برای فوم‌کانکریت انتروال زمان تعیین شده ΔZ_{max} ، درجه حرارت در این مستوی را نظر به فورمول دریافت می‌نماییم، پس . $\alpha_i = 7.5\ \ kCal / m^2 \cdot hr \cdot deg$ قبول می‌شود:

$$\tau_{1,z+1} = \frac{7.5 \cdot t_i + \frac{0.18}{0.06} \cdot \tau_2}{7.5 + \frac{0.18}{0.06}} = 0.715 t_i + 0.285 \tau_2$$

مستوی ۲ (وسط فوم‌کانکریت). طور که برای فوم‌کانکریت $\Delta Z=\Delta Z max$ می‌باشد، پس درجه حرارت در این مستوی مستقیماً با کمک فورمول دریافت می‌شود:

$$\tau_{2,z+1} = 0.5 \cdot \tau_1 + \tau_3$$

مستوی ۳ (سرحد فوم‌کانکریت و معموره خشتی). درجه حرارت با کمک فورمول دریافت می‌شود:

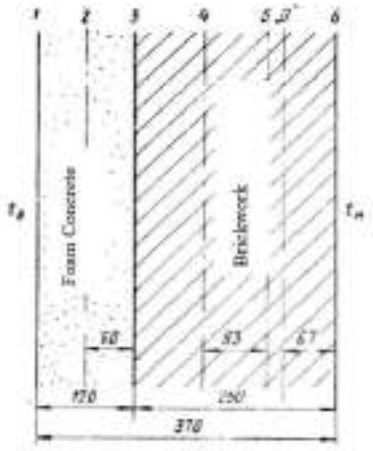
$$\tau_{3,z+1} = \frac{2 \cdot 1.2}{0.2 \cdot 600 \cdot 0.06 + 0.21 \cdot 1800 \cdot 0.083} \cdot \left(\frac{\tau_2 - \tau_3}{0.06} \cdot 0.18 - \frac{\tau_3 - \tau_4}{0.083} \cdot 0.7 \right) + \tau_3 = 0.186 \tau_2 + 0.291 \tau_3 + 0.523 \tau_4$$

مستوی ۴ (در معموره خشتی). درجه حرارت در این مستوی با کمک فورمول ذیلاً خواهد بود:

$$\tau_{4,z+1} = \tau_4 + 18.5 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1.2}{0.083^2} \cdot (\tau_3 + \tau_5 - 2 \cdot \tau_4) = 0.322 \cdot (\tau_3 + \tau_5) + 0.356 \cdot \tau_4$$

مستوی ۵. به همین ترتیب با کمک فورمول برای مستوی ۴ حاصل می‌گردد:

$$\tau_{5,z+1} = 0.322 \cdot \tau_4 + \tau_6 + 0.356 \cdot \tau_5$$



شکل ۴. معموره خشتی عایق شده توسط فوم کانکریت

مستوی ۶ (سطح خارجی دیوار). طور که $\Delta Z < \Delta Z_{max}$ می باشد ، برای تعیین درجه حرارت در این مستوی به صورت مقدماتی با کمک فورمول کمیت $\Delta x_o = \sqrt{(2 \cdot 18.5 \cdot 10^{-4} \cdot 1.2)} = 0.067$ m را محاسبه می‌نماییم. با همین فاصله از مستوی ۶ مستوی کمکی O را ترسیم می‌نماییم. برای محاسبه درجه‌های حرارت در این مستوی به اساس انتیگرالگیری خطی بین درجه‌های حرارت $\tau_{5,z+1}$ و $\tau_{6,z+1}$ فورمول ذیل را دریافت می‌نماییم:

$$\tau_{0,z+1} = \frac{67\tau_5 + \frac{0.7}{0.067} \cdot \tau_6}{83} = 0.81\tau_5 + 0.19\tau_6$$

درجه حرارت مستوی ۶ با کمک فورمول دریافت می‌گردد، در اینصورت $\alpha_o = 20 \ \text{kCal} / \text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{deg}$. قبول می‌گردد

$$\tau_{6,z+1} = \frac{20\tau_o + \frac{0.7}{0.067} \cdot \tau_o}{20 + \frac{0.7}{0.067}} = 0.657\tau_0 + 0.434\tau_o$$

محاسبه را به شکل جدول که ذیلا آورده‌شده، اجرا می‌نماییم.

جدول ۱. محاسبه درجه حرارت در مستوی‌های دیوار

z ساعات	t_i,°C	درجه حرارت به °C در مستوی‌های دیوار							t_o ,°C
		۱	۲	۳	۴	۵	۰	۶	
۰	۱۸	۱۵,۵	۹,۲	۲,۸	۰,۵	۱,۷-	۲,۱-	۴-	۶-
۱,۲	۱۸	۱۵,۵	۹,۲	۲,۸	۰,۵	۱,۷-	۲,۳-	۴,۷-	۸-
۲,۴	۱۸	۱۵,۵	۹,۲	۲,۸	۰,۵	۲-	۲,۸-	۶-	۱۲-
۳,۶	۱۸	۱۵,۵	۹,۲	۲,۸	۰,۴	۲,۵-	۳,۷-	۸,۸-	۱۶-
۴,۸	۱۸	۱۵,۵	۹,۲	۲,۷	۰,۲	۳,۶-	۵,۲-	۱۱,۸-	۲۰-
۶	۱۸	۱۵,۵	۹,۱	۲,۶	۰,۲-	۵-	۶,۹-	۱۴,۹-	۲۲-
۷,۲	۱۸	۱۵,۵	۹	۲,۳	۰,۸-	۶,۶-	۸,۵-	۱۶,۸-	۲۴-
۸,۴	۱۸	۱۵,۴	۸,۹	۱,۹	۱,۷-	۸-	۱۰-	۱۸,۷-	۲۵-
۹,۶	۱۸	۱۵,۴	۸,۶	۱,۳	۲,۶-	۹,۴-	۱۱,۳-	۱۹,۹-	۲۴-
۱۰,۸	۱۸	۱۵,۳	۸,۳	۰,۶	۳,۵-	۱۰,۶-	۱۲,۴-	۱۹,۶-	۲۲-
۱۲	۱۸	۱۵,۲	۷,۹	۰,۱-	۴,۵-	۱۱,۲-	۱۲,۶-	۱۸,۷-	۲۰-
۱۳,۲	۱۸	۱۵,۱	۷,۶	۰,۹-	۵,۲-	۱۱,۵-	۱۲,۶-	۱۷,۵-	۱۶-
۱۴,۴	۱۸	۱۵	۷,۱	۱,۶-	۵,۸-	۱۱,۴-	۱۲-	۱۴,۸-	۱۲-
۱۵,۶	۱۸	۱۴,۹	۶,۷	۲,۱-	۶,۳-	۱۰,۷-	۱۱-	۱۲-	۸-
۱۶,۸	۱۸	۱۴,۸	۶,۴	۲,۶-	۶,۴-	۹,۷-	۹,۶-	۹-	۶-
۱۸	۱۸	۱۴,۷	۶,۱	۲,۹-	۶,۲-	۸,۴-	۸,۲-	۷,۲-	۵-
۱۹,۲	۱۸	۱۴,۶	۵,۹	۳-	۵,۸-	۷,۳-	۷,۱-	۶,۱-	
۲۰,۴	۱۸	۱۴,۵	۵,۸	۲,۸-	۵,۴-	۶,۴-			
۲۱,۶	۱۸	۱۴,۵	۵,۹	۲,۶-	۴,۹-				
۲۲,۸	۱۸	۱۴,۵	۶	۲,۲-					
۲۴	۱۸	۱۴,۶	۶,۲						
۲۵,۲	۱۸	۱۴,۶							

درجه حرارت هوای داخلی (t_i) را ثابت، مساوی به 18 °C قبول می‌نماییم. تغییر درجه حرارت هوای محیط ماحول (t_o) در گراف اخیر جدول محاسبوی داده شده است. تقسیمات اولیه درجه حرارت در دیوار که به زمان z=0 می‌کند، که به شرط ثابت‌بودن جریان حرارت در اثنای t_i=18 °C و t_o=-5 °C مطابقت می‌نماید، قبول می‌نماییم. درجه حرارت در مستوی‌های دیوار را با دقت 0.1 °C محاسبه می‌نماییم.

درجه حرارت اصغری در سطح داخلی برای رژیم ثابت برای درجه حرارت هوای محیط ماحول 25 °C- طور ذیل دریافت می‌شود:

$$\tau_1 = t_i - (t_i - t_o) / R_{tot} = 18 - (18+25) / 1.21 = 13.3\ ^\circ C$$

۵. مناقشه و نتیجه‌گیری

حل عمومی معادلات تفاضلی هدایت حرارت با کمک روش تفاضل‌های معین از اهمیت عملی خاص برخودار می‌باشد، زیرا شرایط عینی هوای ماحول و انتقال حرارت در شرایط جریان حرارت غیرثابت را منعکس می‌سازد؛

از جدول محاسبوی به مشاهده می‌رسد که مقدار اصغری درجه حرارت در سطح داخلی دیوار τ_1=14.5 °C فقط بعد از ۲۱,۶ ساعت از آغاز سردشدن و بعد از ۱۳,۲ ساعت بعد از رسیدن درجه حرارت به اصغری میآید؛ سقوط درجه حرارت سطح داخلی احاطه در زمان سردشدن فقط 1 °C می باشد؛ همزمان با دورشدن مستوی ها از سطح خارجی دیوار به تعویق افتادن اصغری بودن درجه حرارت در مستوی معینه از اصغری‌بودن درجه حرارت خارجی افزایش می یابد. در حالیکه، طبق محاسبه، درجه حرارت اصغری در سطح داخلی برای رژیم ثابت در صورت درجه حرارت هوای خارجی -25 °C، τ_1=13.3°C، یعنی به اندازه 1.2 °C کمتر از درجه حرارت واقعی می باشد. استفاده از عایق فوم‌کانکریت در مناطق با اقلیم نسبتاً سرد دارای اهمیت اقتصادی بیشتر می‌باشد.

۶. پیشنهادات

مطالب آتی پیشنهاد می‌گردد: در مناطق سردسیر کشور ما (ولایت‌های غور، بدخشان بامیان و غیره) که در ایام زمستان درجه حرارت تا 25 °C- پایین میآید می‌توان از دیوار دو لایه متشکل از معموره خشتی (با ضخامت ۲۵۰ میلی‌متر) و فوم‌کانکریت (با ضخامت ۱۲۰ میلی‌متر) به راحتی استفاده کرد؛

حین حل معادله انتقال حرارت با طریقه هدایت حرارتی در شرایط جریان غیر ثابت باید از روش تفاضل‌های معین که یک روش واقعی است، استفاده گردد.

مآخذ

[1] В.И. Бодров, “Строительная теплофизика”: учеб. Пособие, Нижегор. гос. архитектур. - строит. ун-т – Н. Новгород: ННГАСУ, 2015. – 156 с.

[2] А.С. Кривоногова, Строительная тепотехика. Теплотехнический расчет: методическое указание, Санкт-Петерборский ЛУ, 2008.

[3] К.Ф. Фукин, “ Строительная теплотехника ограждфяюших частей зданий”: издание 4-ое, строймздат, Москва, 2009, -287с.

[4] А.Ф. Апальков, теплотехника: учебное пособие , Ростов н/Д: Феникс, 2008, -186с, ISBN 978-5-222-13972-1.

[5] К.Ф. Фокина, “Строительная теплотехника ограждающих частей зданий”, Москва, 2006, - 256с.

[6] В.Д. Червенчук, “Термодинамика и теплопередача”: учебное пособие, Омск, 2016, -242с.

[7] Y.A. Cengel and M. A. Boles, “Thermodynamics an Engineering Approach”: sixth edition (SI units), 2008.

[8] M.J. Moran. and M. J. Shapiro, “Fundamentals of Engineering Thermodynamics”: 5th edition, A John Willy and sons , Inc. Publication: 2006.

[9]. Jouko Pakanen, “Conduction of heat through slabs and walls”, VTT publications, 2009.

بیوگرافی‌مولف

پوهنوال دیپلوم انجنیر اسرائیل جاهد استاد دیپارتمنت دیپارتمنت انجنیری اتومیخانیک پوهنځی الکترومیخانیک پوهنتون پولی تخنیک کابل

پوهنوال دیپلوم انجنیر اسرائیل جاهد، از سال ۱۳۶۹ ه. ش تا اکنون مصروف تدریس مضامین متنوع مسلکی در دیپارتمنت انجنیری اتومیخانیک پوهنتون پولی تخنیک کابل است. موصوف تا اکنون ۱۲ مقاله علمی - تحقیقی چاپ‌شده و دو کتاب درسی از چاپ برآمده، دارد.