

## بررسی اثر نحوه عایقکاری حرارتی جداره های خارجی بر بار گرمایشی ساختمان

فرزاد ویسی<sup>۱</sup>، تورج یوسفی<sup>۲</sup>، اردشیر احمدی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه مهندسی مکانیک دانشگاه رازی کرمانشاه Email: [veysi@razi.ac.ir](mailto:veysi@razi.ac.ir)

<sup>۲</sup>استادیار گروه مهندسی مکانیک دانشگاه رازی کرمانشاه Email: [tyousefi@yahoo.com](mailto:tyousefi@yahoo.com)

<sup>۳</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک دانشگاه رازی کرمانشاه Email: [veysi@razi.ac.ir](mailto:veysi@razi.ac.ir)

### چکیده

انتقال حرارت در ساختمان با توجه به تغییرات پیوسته شرایط محیطی و نیز تغییر در شرایط بهره برداری اساساً رفتاری ناپایدار دارد. در این مقاله با استفاده از یک مدل ریاضی که رفتار حرارتی ساختمان را در حالت ناپایدار بیان می کند، اثر محل قرار گیری عایق در لایه های دیوار بر مصرف انرژی لازم در گرمایش ساختمان بررسی شده است. مدل بر اساس معادله توازن انرژی برای لایه های مختلف دیوار، هوای داخل اتاق و منبع تولید گرما تهیه شده است. تعداد لایه های دیوار سه لایه و هوای داخل اتاق یک ناحیه فرض شده است. معادلات حاصل از مدل ریاضی به شکل معادله ماتریسی فضای حالت نوشته شده و با استفاده از یک مدل کامپیوتری در محیط نرم افزار Simulink حل شده است. با حل عددی مدل، محاسبات مصرف انرژی برای یک ساختمان نمونه در وضعیت های مختلف عایق کاری انجام شده است. با استفاده از مدل ارائه شده می توان اثر محل قرار گیری عایق بر میزان صرفه جویی در مصرف انرژی را مورد بررسی کمی قرار داد.

**کلمات کلیدی:** مدل سازی، عایق، ساختمان، انرژی

### مقدمه

میزان انرژی لازم جهت تامین شرایط آسایش در داخل ساختمان از نظر حرارتی تابع عوامل مختلفی نظیر درجه حرارت فضای بیرون، تعداد ساکنین فضای مورد نظر، مشخصات مصالح بکار رفته و نحوه عایق کاری در دیوارها می باشد. عایق کاری حرارتی دیوارهای خارجی ساختمانها اولین و مهمترین گام در کاهش انرژی مصرفی لازم برای گرمایش و سرمایش در ساختمان است. در حدود ۴۰ درصد انرژی مصرفی کشور در بخش ساختمان استفاده می شود. از این رو تلاش برای بهینه سازی و صرفه جویی در مصرف انرژی از اهداف عمده بخش ساختمان می باشد. با توجه به تغییرات پیوسته درجه حرارت هوای بیرون در طول شبانه روز و یا در روزهای مختلف سال، تحلیل رفتار حرارتی ساختمان مستلزم یک مدل ریاضی ناپایدار زمانی و یا به عبارتی دینامیکی است. نحوه عایق کاری جداره های خارجی ساختمان از نظر محل قرار گیری عایق در لایه های خارجی، داخلی یا میانی دیوارها در حالتی که انتقال حرارت از دیوارها بصورت پایدار باشد، از نظر مقدار تلفات حرارتی ساختمان تفاوتی نخواهد داشت. دلیل این مسئله واضح است، چرا که در حالت پایدار تلفات حرارتی فقط تابعی از ضریب کلی انتقال حرارت دیوارها، اختلاف دما و سطوح

دیوارها دارد. مقدار ضریب انتقال حرارت کلی نیز فقط بستگی به ضخامت و جنس لایه های مختلف دیوار از جمله لایه عایق دارد و مستقل از محل قرار گیری عایق در دیوار است. اما در حالت انتقال حرارت ناپایدار مانند زمانهایی که سیستم گرمایش راه اندازی می شود و یا از کار می افتد عامل دیگری که اینرسی حرارتی لایه های مختلف دیوار است در زمان رسیدن سیستم به محدوده آسایش حرارتی موثر خواهد بود. در این حالت مقدار انرژی ذخیره شده در لایه های مختلف دیوار که به جرم و ظرفیت گرمایی (اینرسی حرارتی) آنها بستگی دارد تاثیر قابل توجهی در مصرف کلی انرژی در ساختمان دارد.

مدل های ریاضی که رفتار حرارتی ساختمان را در حالت ناپایدار بیان کنند در سالهای اخیر بسیار مورد توجه بوده اند و نتیجه آن ارائه نرم افزارهای مختلفی در شبیه سازی رفتار حرارتی ساختمان نظیر SPARK [۱]، EnergyPlus [۲] و DOE-2 [۳] بوده است. با پیشرفت قابل ملاحظه قدرت محاسباتی کامپیوترها در دهه اخیر، استفاده از نرم افزارهای ریاضی معروفی نظیر Matlab/Simulink می تواند گزینه مناسبی برای شبیه سازی و تحلیل رفتار حرارتی ساختمان باشد [۴]. Underwood در سال ۱۹۹۹ برای اولین بار معادلات مدل ریاضی رفتار حرارتی ساختمان را با نوشتن به شکل معادلات فضای حالت در محیط برنامه Simulink حل کردند. آنها برای دیوارهای ساختمان از مدل یک لایه استفاده کردند [۵]. سپس در سال ۲۰۰۴ برای مدل سازی انتقال حرارت در یک ساختمان مفروض از مدل سه لایه برای دیوارها استفاده کردند و با در نظر گرفتن هوای داخل اتاق بصورت یک ناحیه با ظرفیت حرارتی متمرکز معادلات بالانس انرژی را در ساختمان نوشته و یک دسته معادلات در فضای - حالت بدست آوردند [۶]. در سال ۲۰۰۱ Mendes معادلات توازن انرژی در ساختمان را تحت شرایط گذرا نوشت و به روشهای عددی حل کرد برای تعیین میزان دقت پاسخهای حاصل از این روش یک اتاق تست با شرایط آب و هوایی کنترل شده طراحی گردید. مقایسه نتایج تجربی و تئوری نشان می دهد که نتایج حاصل از حل انجام شده به واقعیت نزدیک است [۷]. Ozel [۸] با استفاده از روش تفاضل محدود موقعیت بهینه قرارگیری عایق در لایه های دیوار را با هدف کاهش نوسانات درجه حرارت در داخل ساختمان بررسی کردند. Kossecka [۹] با استفاده از نرم افزار DOE-2 کارکرد حرارتی دیوارهای سنگین<sup>۱</sup> را از

<sup>۱</sup> Massive

$$\rho_{2w}c_{2w}V_{2w}\frac{dT_{2w}}{dt} = U_{2-3w}(T_{3w} - T_{2w}) - U_{1-2w}(T_{2w} - T_{1w}) \quad (2)$$

$$U_{2-3w} = \frac{1}{\frac{L_{2w}}{2\lambda_{2w}A_w} + \frac{L_{3w}}{2\lambda_{3w}A_w}} \quad \text{که در این رابطه:}$$

برای لایه ای از دیوار که در معرض هوای داخل است:

$$\rho_{3w}c_{3w}V_{3w}\frac{dT_{3w}}{dt} = U_{iw}(T_i - T_{3w}) - U_{2-3w}(T_{3w} - T_{2w}) \quad (3)$$

$$U_{iw} = \frac{1}{\frac{L_{3w}}{2\lambda_{3w}A_w} + \frac{1}{h_{iw}A_w}} \quad \text{که در این رابطه:}$$

برای سه لایه سقف نیز معادلات مورد نیاز به طریق مشابه نوشته می شوند. در نوشتن معادلات برای کف ساختمان هم فقط برای لایه ای از کف که در مجاورت زمین است با توجه به اینکه یک مسئله انتقال حرارت در جسم نیمه بی نهایت اتفاق می افتد، به خاطر سادگی برای لایه ای که در مجاورت عمق زمین فرار دارد معادله توازن انرژی بصورت زیر نوشته می شود:

$$\rho_{1f}c_{1f}V_{1f}\frac{dT_{1f}}{dt} = U_{1-2f}(T_{2f} - T_{1f}) - U_{of}(T_{1f} - T_e) \quad (4)$$

که در این رابطه  $T_e$  درجه حرارت در عمق زمین است. (در این مقاله درجه حرارت در عمق ۵ متر ثابت و برابر با ۱۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است) و:

$$U_{1-2f} = \frac{1}{\frac{L_{1f}}{2\lambda_{1f}A_f} + \frac{L_{2f}}{2\lambda_{2f}A_f}}$$

$$U_{of} = \frac{2\lambda_{1f}A_f}{L_{1f}}$$

برای دیوارها و تجهیزات داخلی ساختمان نظیر مبلمان و غیره که به دلیل اینرسی حرارتی خود می توانند انرژی در خود ذخیره کنند می توان یک رابطه معادل بصورت زیر نوشت:

$$\rho_p c_p V_p \frac{dT_p}{dt} = U_p (T_i - T_p) \quad (5)$$

$$U_p = \frac{1}{\frac{L_p}{2\lambda_p A_p} + \frac{1}{h_{ip} A_p}} \quad \text{که در این رابطه:}$$

برای منبع تولید انرژی گرمایی در داخل فضا که در اینجا یک منبع با دمای ثابت فرض شده است معادله توازن انرژی بصورت زیر خواهد بود:

$$\rho_h c_h V_h \frac{dT_h}{dt} = U_h (T_a - T_h) + Q'_h \quad (6)$$

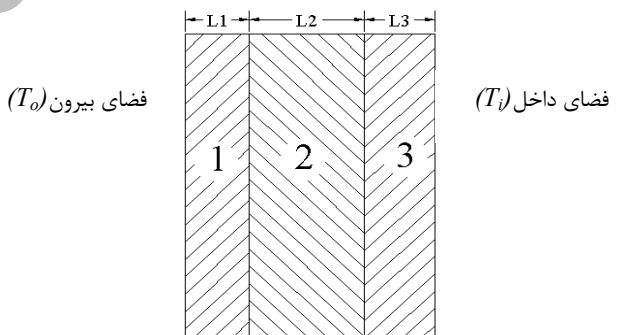
که در این رابطه  $Q'_h$  گرمای اضافی تولید شده توسط تجهیزات داخلی و  $U_h = A_h h_h$  ضریب انتقال حرارت کلی منبع تولید انرژی گرمایی است. با فرض اینکه هوای داخل اتاق یک ناحیه با ظرفیت حرارتی متمرکز باشد میتوان معادله توازن انرژی را برای آن بصورت زیر نوشت:

$$\rho_a c_a V_a \frac{dT_a}{dt} = Q_h + Q'_h - (Q_w + Q_f + Q_r + Q_g + Q_p + Q_v) \quad (7)$$

نظر نحوه کارگذاری عایق برای یک ساختمان با یک اطاق بررسی کرده اند. در این مقاله سعی بر ارائه مدلی بوده است که بتواند رفتار حرارتی ساختمان را (نه فقط دیواره ها) با احتساب عوامل دیگر نظیر میزان هوای تهویه، با حرارتی افراد و تجهیزات داخلی و انتقال حرارت از جداره های نورگذر را در حالت ناپایدار و یا به عبارتی دینامیکی شبیه سازی نماید. تکیه روش بر اساس سادگی ریاضی و کارآمد بودن آن از لحاظ محاسباتی بوده است. هوای داخل ساختمان بصورت یک ناحیه فرض شده و برای جداره های خارجی ساختمان مدل سه لایه در نظر گرفته شده است. معادلات انرژی لازم برای سقف، کف و دیواره های خارجی جداگانه نوشته شده است. برای دیواره ها و تجهیزات داخلی که از نظر اینرسی حرارتی ساختمان اهمیت دارند یک معادله و برای منبع تامین گرما در داخل فضا هم معادله جداگانه ای منظور شده است.

### مدل ریاضی

دیوارها سقف و کف ساختمان ۳ لایه با مصالح متفاوت فرض شده اند که دقت کافی در مدل سازی دما را در حالت ناپایدار دارد (شکل ۱). مدلهایی با تعداد لایه های بیشتر تاثیر زیادی در افزایش دقت محاسبات نخواهد داشت ضمن اینکه حجم محاسبات را زیاد میکنند [۲].



شکل ۱: سه لایه جداره های خارجی ساختمان

با این فرض، معادلات توازن انرژی برای دیوارها، سقف، کف و دیگر قسمت های ساختمان نوشته می شوند. بعنوان نمونه این معادلات برای لایه خارجی دیوارها که در معرض هوای بیرون است بصورت زیر خواهند بود:

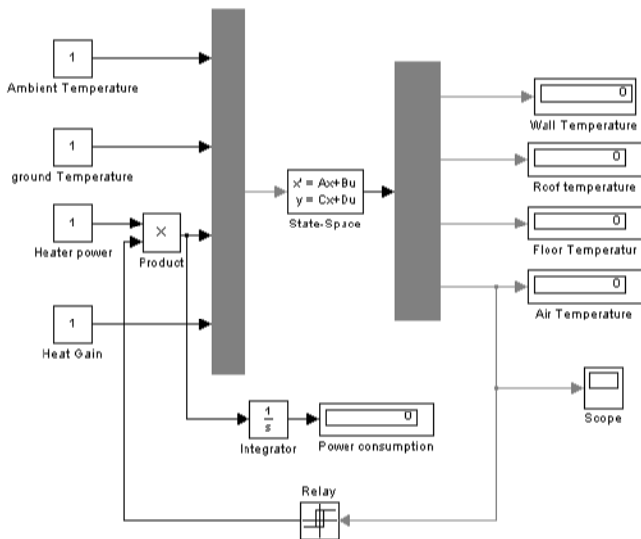
$$\rho_{1w}c_{1w}V_{1w}\frac{dT_{1w}}{dt} = U_{1-2w}(T_{2w} - T_{1w}) - U_{ow}(T_{1w} - T_o) \quad (1)$$

که در این رابطه:

$$U_{1-2w} = \frac{1}{\frac{L_{1w}}{2\lambda_{1w}A_w} + \frac{L_{2w}}{2\lambda_{2w}A_w}}, \quad U_{ow} = \frac{1}{\frac{L_{1w}}{2\lambda_{1w}A_w} + \frac{1}{h_{ow}A_w}}$$

برای لایه داخلی دیوارها:

بلوک State space از توابع کتابخانه ای Simulink حل معادله (۸) را بسادگی امکان پذیر می سازد. برای حل دستگاه معادلات از حل کننده استاندارد ODE45 که الگوریتم حل رانج-کوتا مرتبه ۴ و ۵ با گام زمانی متغیر می باشد استفاده شده است. محاسبات فقط برای گرمایش ساختمان انجام شده است. در محاسبه انتقال حرارت از کف ساختمان درجه حرارت زمین در عمق ۵ متری ثابت و برابر ۱۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده است.



شکل ۲- بلوک دیاگرام مدل حرارتی ساختمان در محیط Simulink

در حالتی که ساختمان از نظر حرارتی در حالت پایداری قرار دارد، موقعیت قرار گیری عایق در لایه های مختلف دیوار، سقف یا کف از این نظر که عایق در لایه داخلی، لایه خارجی و یا لایه میانی کار گذاشته شود تفاوتی ندارد زیرا این مسئله ضریب کلی انتقال حرارت دیوار را تحت تاثیر قرار نمی دهد. اما در حالتی که انتقال حرارت در ساختمان بصورت گذرا است مانند زمان راه اندازی سیستم و یا ساختمانهایی که در آنها استفاده مداوم وجود نداشته و سیستم گرمایشی بصورت منقطع کار می کند، موقعیت قرار گیری عایق در دیوار، زمانهای لازم جهت گرم شدن اولیه و نیز زمان کاهش دمای سیستم را در حالتی که گرمایش از کار می افتد تحت تاثیر قرار می دهد. بعنوان مثال اگر عایق در لایه داخلی کار گذاشته شود هنگام راه اندازی سیستم با توجه به اینکه عمده اینرسی حرارتی ساختمان بعد از عایق قرار گرفته، توان سیستم گرمایشی عمدتاً صرف گرمایش هوای داخل شده و افزایش دمای هوا با نرخ سریعتری صورت می گیرد. به همین دلیل است که توصیه می گردد که در ساختمانهایی با گرمایش منقطع، عایقکاری بهتر است در لایه داخلی دیوار انجام شود. در این تحقیق میزان مصرف انرژی بر حسب محل قرار گرفتن عایق حرارتی در دیوار ساختمان نمونه محاسبه شده است. محاسبات برای دو وضعیت متفاوت عایق کاری دیوارها که در شکل های ۴ و ۵ نشان داده شده صورت گرفته است.

در محاسبات انجام شده سه لایه دیوار شامل یک لایه آجر به ضخامت ۲۰ سانتیمتر، یک لایه پوشش گچی به ضخامت ۳ سانتیمتر

عبارتهای انتقال حرارت در معادله (۷) در جدول شماره ۱ شرح داده شده اند. با نوشتن معادلات فوق برای تمام اجزای ساختمان ۱۲ معادله دیفرانسیل مرتبه اول نسبت به زمان بدست می آید. (برای لایه های دیوار ۳ معادله، سقف ۳ معادله، کف ۳ معادله، منبع حرارتی، هوای داخل و تجهیزات داخلی هر کدام یک معادله نوشته می شود) سیستم معادلات مذکور را میتوان به شکل فضای حالت<sup>۲</sup> بصورت زیر نوشت:

$$\dot{T} = AT + Bu \quad (8)$$

که در این رابطه  $T$  ماتریسی است که عناصر آن دمای لایه های مختلف جداره ها و نیز هوای داخل ساختمان هستند. عناصر ماتریسهای  $A$  و  $B$  اثرات خواص فیزیکی و مشخصات هندسی اجزای تشکیل دهنده سیستم را بر دمای نقاط مختلف ساختمان بیان میکنند.  $u$  ماتریسی است که از ورودیهای معلوم چهار پارامتر شامل دمای هوای بیرون اتاق، دمای عمق زمین، دمای سطح منبع گرمایی و گرمای ناشی از تجهیزات داخلی تشکیل شده است. ماتریسی  $B$  نیز ضرایب تاثیر پارامترهای ورودی را نشان می دهد.

جدول ۱: عبارتهای انتقال حرارت در معادله (۷)

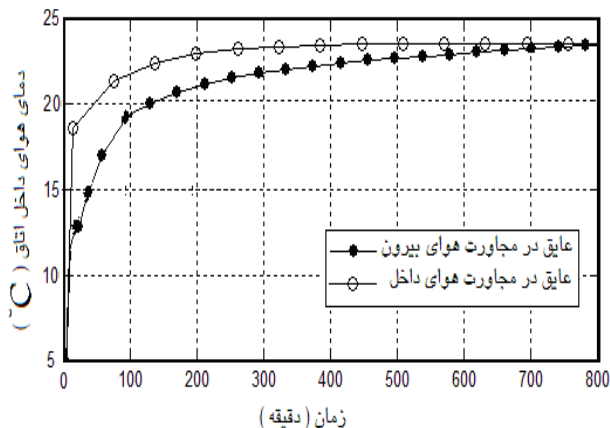
$Q_h = U_h(T_h - T_a)_h$	انرژی تجهیزات گرمایشی
$Q'_h$	انرژی تجهیزات داخلی
$Q_w = A_w U_{w1}(T_a - T_{w1})$	اتلاف انرژی توسط دیوارها
$Q_f = A_f U_{f1}(T_a - T_{f1})$	اتلاف انرژی توسط کف
$Q_r = A_r U_{r1}(T_a - T_{r1})$	اتلاف انرژی توسط سقف
$Q_g = A_g U_g(T_a - T_o)$	اتلاف انرژی توسط پنجره
$Q_v = U_v(T_a - T_o)$	اتلاف انرژی توسط تهویه
$Q_p = A_p U_p(T_a - T_p)$	اجزای ذخیره کننده انرژی

## نتایج

جهت معرفی قابلیت های مدل ریاضی و برنامه کامپیوتری تهیه شده، شبیه سازی رفتار حرارتی یک اتاق منفرد به مساحت  $3 \times 4m$  و ارتفاع  $3m$  توسط برنامه Simulink انجام شده است. Simulink بخشی از برنامه Matlab است که قابلیت های مناسبی برای شبیه سازی سیستمهای دینامیکی دارد. در شکل ۲ بلوک دیاگرام تهیه شده در محیط برنامه Simulink نشان داده شده است. پلان ساختمان استفاده شده در محاسبات نمونه در شکل ۳ نشان داده شده است. ساختمان مورد نظر با کاربری اداری و با ۴ دیوار خارجی و سقف که در معرض هوای بیرون است در نظر گرفته شده است.

<sup>2</sup> State space

عایق در مجاورت هوای داخل است زمانی است که لایه عایق در مجاورت هوای بیرون قرار گرفته است.



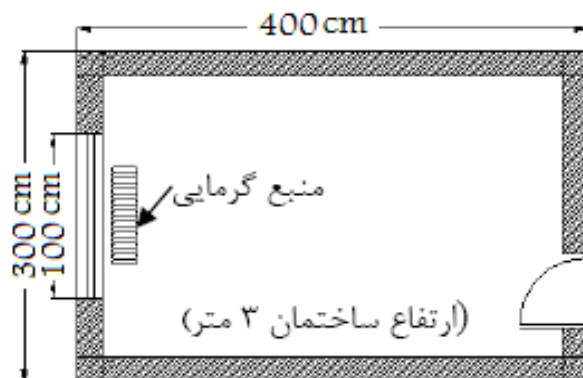
شکل ۶- نمودار پاسخ زمانی دمای هوای داخل اتاق بر حسب محل قرار گرفتن عایق حرارتی

نتایج محاسبه مقدار انرژی مصرفی جهت گرمایش در هر دو حالت مذکور در جدول ۲ آمده است. همانطور که دیده می شود در حالتی که عایق حرارتی در لایه مجاور هوای داخل اتاق قرار میگیرد مصرف انرژی کمتر از حالتی است که عایق حرارتی با همان مشخصات در لایه مجاور هوای بیرون قرار گرفته است. علت این امر را میتوان اینرسی حرارتی دیواره ها و اثر آن در کوتاه شدن زمان گرم شدن هوای داخل اتاق از حداقل دما تا محدوده آسایش دانست. نتایج مندرج در جدول ۲ برای حالتی متفاوت دمای هوای بیرون بدست آمده می شود. می توان دید که مقدار کاهش در مصرف انرژی با کم شدن دمای هوای بیرون افزایش می یابد. این موضوع را می توان اینگونه توجیه کرد که در حالتی که دمای هوای بیرون کمتر است با توجه به اینکه توان مورد نیاز سیستم گرمایشی نیز بیشتر است، مدت زمان لازم برای گرم شدن هوای داخل که اینرسی حرارتی کمی دارد کمتر خواهد بود. به عبارت دیگر زمان حالت ناپایدار سیستم کمتر است و در نتیجه اثر اینرسی حرارتی لایه های دیوار کمتر است.

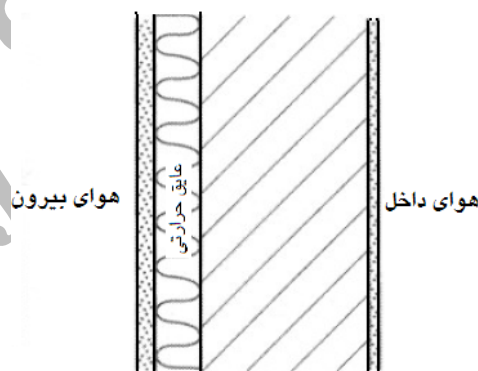
در شرایط عملی بطور معمول به منظور تسریع در زمان راه اندازی سیستم های گرمایشی مقدار توان سیستم را درصدی بیشتر از توان محاسبه شده برای حالت پایدار سیستم که محاسبه شده است در نظر می گیرند. این مقدار توان اضافی بویژه در ساختمانهایی که سیستم گرمایشی آنها بصورت منقطع مورد بهره برداری قرار می گیرد اهمیت بیشتری داشته و بیشتر در نظر گرفته می شود. در جدول شماره ۳ نتایج محاسبات برای حالتی که توان سیستم ۲۰ درصد اضافه در نظر گرفته شده ارائه شده است. در جدول ۴ نیز نتایج مشابه برای ۴۰ درصد توان اضافی سیستم آورده شده است.

در این شرایط نیز نتایج بدست آمده از جدول ۳ و ۴ دلالت بر این موضوع دارد که در شرایطی که عایق حرارتی در لایه مجاور هوای داخل اتاق قرار دارد مصرف انرژی کمتر است. اگر ردیف های مشابه در جداول ۲ و ۳ و ۴ با هم مقایسه شوند می توان دید که با افزایش

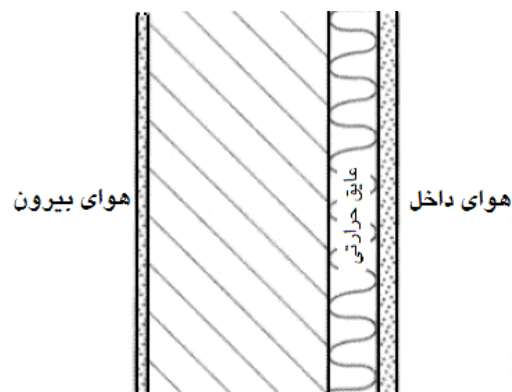
و یک لایه عایق به ضخامت ۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. ضریب هدایت حرارتی لایه عایق  $0.04W/m^0K$  منظور شده است.



شکل ۳- پلان ساختمان بکار رفته در محاسبات نمونه



شکل ۴- قرار دادن عایق حرارتی در مجاورت هوای بیرون اتاق



شکل ۵- قرار دادن عایق حرارتی در مجاورت هوای داخل اتاق

دوره زمانی محاسبه مصرف انرژی در طول یک شبانه روز با احتساب زمان لازم برای راه اندازی سیستم بوده است. در شکل ۶ نحوه تغییرات دمای هوای داخل اتاق نسبت به زمان از یک شرایط اولیه که در اینجا ۵ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می گردد مدت زمان لازم برای رسیدن دمای هوای داخل اتاق به محدوده آسایش در حالتی که لایه

### نتیجه‌گیری

یک مدل ریاضی برای تحلیل رفتار حرارتی ساختمان در حالت گذرا با تکیه بر سادگی و کارآمد بودن آن از نظر محاسباتی ارائه شده است. جهت بررسی کارایی مدل در تحلیل میزان تاثیر نحوه عایق کاری دیوارهای خارجی بر مصرف انرژی در ساختمان، محاسبات نمونه ای برای یک ساختمان ساده انجام شده است. نتایج حاصل نشان میدهد در شرایطی که عایق حرارتی در لایه مجاور هوای داخل اتاق قرار دارد مصرف انرژی کمتر است و علت آن اثر اینرسی حرارتی دیوار است که بعد از لایه عایق قرار می‌گیرد و در نتیجه آن هوای داخل با سرعت بیشتری گرم می‌شود. میزان صرفه جویی نسبت به حالتی است که عایق در مجاورت هوای بیرون قرار دارد در حدود ۲۰ درصد است. این مقدار کاهش در مصرف انرژی ارتباط مستقیم با مدت زمانی دارد که انتقال حرارت در ساختمان حالت ناپایدار دارد. به همین دلیل این مسئله برای ساختمانهایی که در آنها سیستم گرمایشی بصورت منقطع استفاده می‌شود باید مورد توجه بیشتر قرار گیرد. در این رابطه از مدل بدست آمده می‌توان برای برنامهریزی نحوه خاموش و روشن شدن سیستم‌های گرمایشی در ساختمانهای با گرمایش منقطع به منظور کاهش مصرف انرژی استفاده نمود.

### فهرست علائم

$c$ گرمای ویژه ( $J.kg^{-1}.K^{-1}$ )
$V$ حجم فضا ( $m^3$ )
$\dot{V}_a$ حجم هوای تهویه در واحد زمان ( $m^3.s^{-1}$ )
$L$ ضخامت لایه ( $m$ )
$L_g$ ضخامت شیشه پنجره ( $m$ )
$t$ زمان ( $s$ )
$T$ درجه حرارت ( $K$ )
$A$ سطح دیواره ( $m^2$ )
$h_o$ ضریب انتقال حرارت جابجایی بیرون ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ )
$h_i$ ضریب انتقال حرارت جابجایی داخل ( $W.m^{-2}.K^{-1}$ )
$\lambda$ ضریب هدایت حرارتی ( $W.m^{-1}.K^{-1}$ )
$\rho$ چگالی ( $kg.m^{-3}$ )

### مراجع

- [1]- Hittle D. C., "The building loads analysis and system thermodynamics (BLAST) program", CERL. Technical Report, US Army construction engineering research laboratory, Champaign, Illinois, E-119, 1977  
 [2]- BLAST, "Building loads analysis system thermodynamics", User's manual, Version 3, University of Illinois, Urbana, Champaign, Blast support office, IL, USA, 1986  
 [3]- LBL, DOE2, Engineers manual version 2.1A, LBL 11353, Lawrence Berkeley laboratory, The national technical information service (NTIS) provides DOE- 2 documentation De- 830- 04575, Berkley CA, 1982

توان سیستم گرمایشی، مقدار کاهش در مصرف انرژی نیز کاهش می‌یابد. دلیل این مورد را می‌توان اینگونه بیان کرد که با افزایش توان سیستم گرمایشی زمان رسیدن دمای سیستم به حالت پایدار کاهش می‌یابد و در نتیجه اثر اینرسی حرارتی و ذخیره انرژی در لایه‌های دیوار کاهش می‌یابد.

جدول ۲: مصرف انرژی در دو وضعیت مختلف قرارگیری عایق حرارتی دیوار (توان سیستم گرمایش معادل بار حرارتی پایدار ساختمان است).

درصد کاهش مصرف انرژی	مصرف انرژی روزانه kJ (عایق حرارتی در لایه مجاور هوای داخل است)	مصرف انرژی روزانه kJ (عایق حرارتی در لایه مجاور هوای بیرون است)	دمای هوای بیرون اتاق °C
۰	۱۱۲۵۰۰	۱۴۶۸۰۰	۰
-۵	۱۲۴۳۰۰	۱۵۹۸۰۰	-۵
-۱۰	۱۳۶۰۰۰	۱۷۲۸۰۰	-۱۰
-۱۵	۱۴۸۳۰۰	۱۸۵۳۷۵	-۱۵
-۲۰	۱۶۰۴۰۰	۱۹۸۷۰۰	-۲۰

جدول ۳- مصرف انرژی در ساختمان در دو وضعیت مختلف استقرار عایق حرارتی در دیوار (توان سیستم گرمایش معادل ۱۲۰ درصد بار حرارتی پایدار ساختمان است).

درصد کاهش مصرف انرژی	مصرف انرژی روزانه kJ (عایق حرارتی در لایه مجاور هوای داخل است)	مصرف انرژی روزانه kJ (عایق حرارتی در لایه مجاور هوای بیرون است)	دمای هوای بیرون اتاق °C
۰	۱۲۸۲۶۲	۱۶۳۶۰۰	۰
-۵	۱۴۱۵۸۹	۱۷۸۰۰۰	-۵
-۱۰	۱۵۶۲۳۰	۱۹۴۸۰۰	-۱۰
-۱۵	۱۷۲۴۵۴	۲۱۱۶۰۰	-۱۵
-۲۰	۱۸۶۴۶۶	۲۲۵۲۰۰	-۲۰

جدول ۴- مصرف انرژی در ساختمان در دو وضعیت مختلف استقرار عایق حرارتی در دیوار (توان سیستم گرمایش معادل ۱۴۰ درصد بار حرارتی پایدار ساختمان است).

درصد کاهش مصرف انرژی	مصرف انرژی روزانه kJ (عایق حرارتی در لایه مجاور هوای داخل است)	مصرف انرژی روزانه kJ (عایق حرارتی در لایه مجاور هوای بیرون است)	دمای هوای بیرون اتاق °C
۰	۱۶۱۳۵۸	۱۹۹۷۰۰	۰
-۵	۱۷۳۹۷۱	۲۱۳۲۰۰	-۵
-۱۰	۱۸۹۴۲۰	۲۲۹۶۰۰	-۱۰
-۱۵	۲۰۵۹۸۰	۲۴۵۸۰۰	-۱۵
-۲۰	۲۱۸۸۵۵	۲۵۹۰۰۰	-۲۰

[۴]- فرزاد ویسی، "کاهش مصرف انرژی در ساختمانها با استفاده از گرمایش منقطع"، پنجمین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران، ۱۳۸۵.

[5]- Hudson G. and Underwood C.P., "A Simple building modelling procedure for MATLAB/Simulink" Proceedings of the 6th International Conference on Building Performance Simulation (IBPSA99), Kyoto-japan, pp.777-783, sep 1999

[6]- Hudson G. and Underwood C.P., "Pre-design analysis of energy conservation options for a multi-story demonstration office building", National Bureau of standards, Washington, 2004

[7]- Mendes N, Gerson H. dos Santos, "Dynamic analysis of building hygrothermal behavior" proceeding of the IBPSA building simulation, Rio de Janeiro, Brazil, 2001

[8]- Ozel M., Pihlilä K., "Optimum location and distribution of insulation layers on building walls with various orientations", Building and Environment, Vol. 42, pp.3051-3059, 2007

[9]- Kossecka E., Kony Jan, "Influence of insulation configuration on heating and cooling loads in a continuously used building" Energy and buildings, Vol. 34, pp. 321-331, 2002

Archive of SID