اثر عایق بندی دیوار ها و استفاده از درزگیر در کاهش انرژی برودتی مجتمع های مسکونی

افشین احمدی ندوشن، افشین عابدی، امید قهرایی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی
E-mail: afshin_ahmadina@yahoo.com

چکیده

۳۰ تا ۵۰ درصد مصرف سالیانه انرژی در ایران به صورت برق در ساختمان ها مصرف می شود. آمار نشان می دهد که رشد مصرف برق در ساختمان ها ۱۷ درصد در سال بوده است. برای پاسخگویی به این نیاز روزافزون، تلاش های بسیاری برای ایجاد ظرفیت های جدید تولید انرژی از جمله نیروگاههای متعدد برق صورت گرفته است. اما مسئله راه حل دیگری نیز دارد وآن بهبود بازده مصرف انرژی است.. در این تحقیق اثر استفاده از **عایق بندی دیوار ها وسقف** با استفاده از ۵ سانتی متر عایق پلی استردر دیوارها و سقف و **کاهش تبادل هوای داخل و خارج ساختمان** با درز بندی در ها و پنجره ها در کاهش بار برودتی ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است.. با استفاده از عایق و درزگیر در برج های جدید الاحداث در شهر تهران می توان ۸,۶۸ درصد در انرژی سرمایشی سالیانه صرفه جوئی نمود که این به معنای کاهش مصرف انرژی سرمایشی سالانه به میزان ۴۴ تراژول , کاهش بار برودتی به میزان ۶,۱۴ مگاوات و کاهش توان برق به میزان ۲,۲ مگاوات به ازاء هر میلیون متر مربع درشهر تهران می باشد.

واژه‌های کلیدی: انرژی برودتی- عایق بندی دیوار ها - درزبندی ساختمان – ساختمان - کاهش

مقدمه

۳۰ تا ۵۰ درصد مصرف سالیانه انرژی در ایران به صورت برق در ساختمان ها مصرف می شود. آمار نشان می دهد که رشد مصرف برق در ساختمان ها ۱۷ درصد در سال بوده است. از مقدار مصرف سالیانه انرژی بین ۳۰ تا ۵۰ درصد آن اکثراً به صورت برق در ساختمان ها مصرف می شود. برای پاسخگویی به این نیاز روزافزون، تلاش های بسیاری برای ایجاد ظرفیت های جدید تولید انرژی از جمله نیروگا ههای متعدد برق صورت گرفته است. اما مسئله راه حل دیگری نیز دارد و آن بهبود بازده مصرف انرژی است.

تجربه کشورهای پیشرفته در این زمینه نشان داده است که می توان با تمهیداتی ساده وارزان (در مقایسه با ظرفیت های جدید تولیدانرژی) ۵۰ درصد از مصرف انرژی در ساختمان ها کاست[۱]. اکبری [۱] در تحقیقاتی که راجع به روشهای بهینه سازی در ساختمان در کشور بحرین که آب و هوایی مشابه جنوب کشور ما دارد انجام داده است معتقد است که می توان با تمهیداتی ۳۲ درصد از مصرف برق کاست. روشهای ارائه شده توسط ایشان و نقش آنها در کاستن از مصرف برق در تهویه مطبوع عبارتنداز:

الف) کاهش تبادل هوای داخل و خارج ساختمان: با کاهش ۵۰ در صد در این تبادل می توان ۵ درصد مصرف انرژی را کاهش داد.

ب) با تغییر درجه ترموستات از ۲۲ به ۲۶ درجه سانتیگراد می توان ۵ درصد مصرف انرژی را کاهش داد.

ج) با عایق بندی دیوارها و سقف(عایقی به ضخامت ۵ سانتی متر از جنس پلی استر) می توان ۱۹ در صد کاهش مصرف داشت.

د) با افزایش کارآیی وسائل خنک کننده به طور متوسط ۱۴ درصدکاهش مصرف انتظار می رود.

روهلز و همکاران [۲] در تحقیقات خود راجع به اثر سرعت هوا در آسایش حرارتی نشان داده است. بهادری نژاد [۳]، تحقیقات خودرا راجع به تهویه طبیعی انجام داده است. در

این تحقیقات، اثرات عوامل مختلف در آسایش حرارتی بیان شده است. در این تحقیقات، اثرات عوامل مختلف درآسایش حرارتی بیان شده است. در این تحقیقات راجع به عوامل موثر و راه کار های عملی برای کاهش نیاز برودتی بحث شده و به استفاده از بادبزن سقفی، استفاده از هوای شب برای کاهش دمای سطوح داخلی ساختمان اشاره شده است. حرارتی که بدن انسان از دست می دهد از طریق تبخیر از سطح بدن و دستگاه های تنفسی، جابجائی از سطح بدن و دستگاه تنفسی و تشعشع از بدن به محیط انتقال پیدا می کند. این حرارت از دست رفته بایستی به وسیله دستگاه های تبرید جبران شود که این انتقال حرارت بنا به نوع فرد و نوع فعالیت فرد تغییر می کند[۴]. فاکتورهای مهم در راحتی انسان (آسایش حرارتی) بصورت زیر بیان شده است[۵]:

الف) عایق کردن بدن ب) فشار جزئی بخار آب یا دمای نقطه شبنم ج) دمای خشک هوا د) سرعت هوا نسبت به بدن ه) متوسط دمای تشعشعی سطوح اطراف

تحقیقات درباره کاهش مصرف انرژی در ساختمان، با توجه به مصرف بی رویه انرزی در ایران کار بیشتری را می طلبدو بسیار ضروری و ارزشمند می باشد

تعیین بار برودتی وگرمایشی ساختمان

برای یافتن بار برودتی و گرمایشی ساختمان باید معادلات حاکم بر سیستم و روابط انتقال حرارت را برای قسمت های مختلف ساختمان نوشت. قبل از بررسی این معادلات به فرض های ساده شونده ای که در حل این معادلات از آنها استفاده می شود می پردازیم [۷]:

۱- انتقال حرارت در تمام دیوارها، سقف و کف خانه یک بعدی و در جهت ضخامت آن فرض می شود. این فرض برای دیوارها منطقی می باشد. بیشترین خطا در این قسمت مربوط به محیط دیوارها می باشد که انتقال حرارت در آن قسمت ها با فرض یک بعدی بودن دچار خطا می شود که نسبت به کل دیوار می توان از آن صرفنظر کرد.

۲- آسمان مانند یک جسم سیاه درنظر گرفته شده است که دمای معادلی برای آن در نظر گرفته می شود.

۳- دمای سطح زمین تقریباً برابر دمای هوای محیط در نظرگرفته می شود.

۴- جنس دیوارها، سقف و کف بصورت یکنواخت فرض می شود که ضریب هدایت و ظرفیت گرمایی ویژه و سایر مشخصات آن با توجه به مواد تشکیل دهنده قابل تعیین است.

۵- دمای هوای اتاق در تمام نقاط در فصل تابستان در هر لحظه ثابت فرض میشود ولی گرادیان دما در فصل زمستان وجود دارد.

۶- برای سطح داخلی دیوارها یک دمای میانگین در نظر گرفته می شود تا بتوان از تشعشع حرارتی سطوح به یکدیگر صرفنظر کرد.

۷- تمام تشعشع خورشید ورودی به ساختمان از طریق پنجره ها توسط کف دریافت می شود(بقیه سطوح داخلی ساختمان نور خورشید را که توسط کف منعکس می شود، با توجه به ضریب دید آنها نسبت به کف دریافت می کنند.).

۸- پنجره ها، درها و دیوارهای داخلی فقط نقش ذخیره سازی انرژی را دارند، بنابراین کل دیوارهای داخلی بصورت یک بلوک در وسط هر طبقه ساختمان با توجه به سطح و حجم کل آنها در نظر گرفته می شود.

۹- دمای عمق ۳۰ سانتی متری از کف زمین برابر متوسط دمای روزانه فرض می شود.

پس از منظور فرض های فوق، به ذکر روابط انتقال حرارت با توجه به شبکه بندی حرارتی در هر قسمت می پردازیم.

الف) معادلات مربوط به دیوارهای خارجی(شرقی، غربی، شمالی و جنوبی:

برای دیوارهای خارجی ۶ گره در ضخامت d دیوار در نظرگرفته شد که گره j_1 مربوط به لایه خارجی دیوار خارجی و گره j مربوط به لایه داخلی دیوار خارجی و گره های j_2 تا j_5 مربوط به ضخامت دیوار هستند.

گره j_1 :

$$\frac{k_w}{d}(T_{j2}-T_{j1})+h_{j1-sky}(T_{sky}-T_{j1})+h_o(T_o-T_{j1})+ \quad (۱)$$
$$\alpha_j G_j+h_{j1-ground}(T_{gr}-T_{j1})=\rho C_w\frac{d}{2}\frac{T'_{j1}-T_{j1}}{\Delta t}$$

هر کدام از جمله های این معادله به ترتیب معادل :

$\frac{k_w}{d}(T_{j2}-T_{j1})$: انتقال حرارت هدایتی بین سطح خارجی دیوار و نقطه j_2 در دیوار

$h_{j1-sky}(T_{sky}-T_{j1})$: انتقال حرارت تشعشعی بین سطح خارجی دیوار و آسمان

$h_o(T_o-T_{j1})$: انتقال حرارت جابجائی بین محیط اطراف و سطح خارجی دیوار

$\alpha_j G_j$: حرارت جذب شده از تابش خورشید

$h_{j1-ground}(T_{gr}-T_{j1})$: انتقال حرارت تشعشعی بین سطح خارجی دیوار و زمین

$\rho C_w \frac{d}{2}\frac{T'_{j1}-T_{j1}}{\Delta t}$: افزایش انرژی داخلی لایه ای از دیوار به ضخامت $\frac{d}{2}$ در طی زمان Δt می باشد.

دراین معادله هر کدام از ترم ها عبارتند از:

h_o، ضریب انتقال حرارت جابجائی بین هوا و دیوار که از رابطه خطی زیر محاسبه می شود[۹].

$$h_o = 3.3878\,V_w + 11.35 \qquad W/m^2K \qquad (۲)$$

h_i، ضریب انتقال حرارت جابجائی بین هوای داخل ساختمان و سطوح داخلی دیوارکه طبق رابطه زیر بر مبنای مقدار تجدید هوای داخل ساختمان $(\dot{n})$ بر حسب تعداد حجم اتاق در ساعت (ac/h) محاسبه می شود[۸].

الف) بدون بادبزن سقفی و با میزان ورود هوای تازه به ساختمان معادل $\dot{n} = 1\,ac/h$:

سطح افقی- انتقال حرارت به طرف بالا $h_i = 4.3$

(۳) سطح عمودی- انتقال حرارت افقی $h_i = 3.53$

سطح افقی- انتقال حرارت به طرف پائین $h_i = 1.25$

ب) بدون بادبزن سقفی و با میزان ورود هوای تازه به ساختمان معادل $\dot{n} = 30\,ac/h$:

سطح افقی- انتقال حرارت به طرف بالا $h_i = 5.5$

(۴) سطح عمودی- انتقال حرارت افقی $h_i = 4.5$

سطح افقی- انتقال حرارت به طرف پائین $h_i = 1.6$

ب) با بادبزن سقفی و هر مقدار $\dot{n}$:

سطح افقی- انتقال حرارت به طرف بالا $h_i = 7.9$

(۵) سطح عمودی- انتقال حرارت افقی $h_i = 6.5$

سطح افقی- انتقال حرارت به طرف پائین $h_i = 2.3$

h_{j1-sky}، ضریب انتقال حرارت تشعشعی بین دیوار و آسمان که طبق رابطه زیر محاسبه می شود[۸].

$$h_{j1-sky} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon+1}\sigma(T_{sky}^2 + T_{j1}^2)(T_{sky} + T_{j1}) \qquad (۶)$$

که ε ضریب صدور سطح خارجی دیوار و $\sigma = 5.67\times10^{-8} W/m^2K^4$ ثابت استفان- بولتزمن می باشد.

$h_{j1-grounnd}$، ضریب انتقال حرارت تشعشعی بین سطح خارجی دیوار و زمین که طبق رابطه زیر محاسبه می شود[۸].

$$h_{j1-ground} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon+1}\sigma(T_{gr}^2 + T_{j1}^2)(T_{gr} + T_{j1}) \qquad (۷)$$

T_{sky}، دمای معادل آسمان که با داشتن دمای هوا و نقطه شبنم در آن لحظه طبق رابطه زیر محاسبه می شود[۸].

$$T_{sky} = T_o(0.8 + 0.004\,T_{dp})^{0.25} \qquad (۸)$$

k_wضریب انتقال حرارت هدایتی دیوار، C_wظرفیت حرارتی دیوار، Δt گام زمانی، d ضخامت $1/5$ دیوار، α_j ضریب جذب دیوار، G_jمقدار کل تشعشع خورشید رسیده به سطح خارجی دیوار، T_{gr} دمای معادل سطح زمین، T_{j1} دمای سطح خارجی دیوار در زمان فعلی و T'_{j1} دمای سطح خارجی دیوار در گام زمانی بعد می باشد.

گره j_m $m = 2,3,4$ **:**

$$\frac{k_w}{d}(T_{j(m+1)} - T_{jm}) + \frac{k_w}{d}(T_{j(m-1)} - T_{jm}) = \rho C_w d\,\frac{T'_{jm} - T_{jm}}{\Delta t} \qquad (۹)$$

گره j_5 **:**

$$\frac{k_w}{d}(T_j - T_{j5}) + \frac{k_w}{d}(T_{j4} - T_{j5}) = \rho C_w d\,\frac{T'_{j5} - T_{j5}}{\Delta t} \qquad (۱۰)$$

در ۲ معادله قبلی، جملات سمت چپ معرف انتقال حرارت هدایتی و جمله سمت راست معرف حرارت ذخیره شده در لایه ای ازدیوار به ضخامت d در طی زمان Δt می باشد.

گره j **:**

$$h_j A_j(T_i - T_j) + (1-\alpha_f)Q_{su}F_{fw'}\frac{A_j}{A_{w'}} + h_{tfw'}A_f\frac{A_j}{A_{w'}}(T_f - T_j) + h_{tcw'}A_c\frac{A_j}{A_{w'}}(T_c - T_j) + \frac{k_w}{d}A_j(T_{j5} - T_j) + Q_{ir}\frac{A_j}{A_t} = \rho C_w\frac{d}{2}A_j\frac{T'_j - T_j}{\Delta t} \qquad (۱۱)$$

هرکدام از جمله های معادله فوق به ترتیب معرف :

$h_j A_j(T_i - T_j)$: انتقال حرارت جابجائی بین هوای داخل ساختمان و سطوح داخلی ساختمان

$(1-\alpha_f)Q_{su}F_{fw'}\frac{A_j}{A_{w'}}$: مقدار تابش خورشید ورودی ساختمان از طریق پنجره ها که کف اتاق منعکس و سطح داخلی دیوار j دریافت می کنند.

$h_{tfw'} A_f \frac{A_j}{A_{w'}} (T_f - T_j)$: انتقال حرارت تشعشعی بین کف و سطح داخلی دیوار j

$h_{tcw'} A_c \frac{A_j}{A_{w'}} (T_c - T_j)$: انتقال حرارت تشعشعی بین سقف و سطح داخلی دیوار j

$\frac{k_w}{d} A_j (T_{j5} - T_j)$: انتقال حرارت هدایتی بین سطح داخلی دیوار j و گره j_5

$Q_{ir} \frac{A_j}{A_t}$: مقدار انرژی محسوس تشعشعی که به سطح دیوار های داخلی می رسد.

$\rho C_w \frac{d}{2} A_j \frac{T_j' - T_j}{\Delta t}$: افزایش انرژی داخلی لایه ای از دیوار به ضخامت $\frac{d}{2}$ در طی زمان Δt می باشد.

هر کدام از ترم های معادله فوق به ترتیب عبارتند از:

$h_{tfw'}$ و $h_{tcw'}$ ، به ترتیب ضریب انتقال حرلرت تشعشعی بین سطح داخلی دیوار و کف و بین سطح داخلی دیوار و سقف می باشند که طبق رابطه زیر محاسبه می شود.

$$h_{tfw'} = \frac{\sigma (T_f^2 + T_{w'}^2)(T_f + T_{w'})}{\frac{1-\varepsilon_f}{\varepsilon_f} + \frac{1}{F_{fw'}} + \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\frac{A_f}{A_{w'}}} \quad (۱۲)$$

$$h_{tcw'} = \frac{\sigma (T_c^2 + T_{w'}^2)(T_c + T_{w'})}{\frac{1-\varepsilon_c}{\varepsilon_c} + \frac{1}{F_{cw'}} + \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\frac{A_c}{A_{w'}}} \quad (۱۳)$$

که ε ضریب صدور، F_{ij} ضریب دید می باشد.

Q_{su} ، مقدار انرژی خورشید که از طریق پنجره ها وارد ساختمان می شود[۸].

$$Q_{su} = \sum_{j=1}^{4} (\tau r_j A_{gj} G_j) \quad (۱۴)$$

A_{gj}، سطح پنجره ها در هر ضلع ساختمان

τr_j، ضریب عبور شیشه

$A_{w'}$ ، سطح کل سطوح داخلی ساختمان

$$A_{w'} = \sum_{j=1}^{4} (A_j + A_{dj} + A_{gj}) + 2(A_{wd} + A_{dd} + A_{gd}) \quad (۱۵)$$

$T_{w'}$ ، دمیا میانگین سطوح داخلی ساختمان(فرض شده است که همه سطوح داخلی در یک دما باشند تا از تشعشع سطوح داخلی به یکدیگر صرفنظر شود.)[۸].

$$T_{w'} = \frac{\sum_k (A_k T_k)}{\sum_k A_k} \quad (۱۶)$$

A_{dj} ، سطح درها در هر ضلع ساختمان

در روابط بالا j می تواند از یک تا چهار تغییر کند که $j=1$ معرف دیوارجنوبی، $j=2$ معرف دیوار شمالی، $j=3$ معرف دیوارشرقی و $j=4$ معرف دیوار غربی می باشد.

ب) معادلات مربوط به سقف :

برای سقف ۴ گره در ضخامت d_c سقف در نظرگرفته شد که گره c_1 مربوط به لایه خارجی سقف و گره c مربوط به لایه داخلی سقف و گره های c_2 و c_3 مربوط به ضخامت سقف هستند که در زیر به ذکر روابط گسسته سازی شده برای این شبکه حرارتی یکنواخت می پردازیم.

گره c_1 :

$$\frac{k_c}{d}(T_{c2} - T_{c1}) + h_{c1-sky}(T_{sky} - T_{c1}) + h_o(T_o - T_{c1}) + \alpha_c G_c = \rho_c C_c \frac{d_c}{2}\frac{T_{c1}' - T_{c1}}{\Delta t} \quad (۱۷)$$

گره c_2 :

$$\frac{k_c}{d_c}(T_{c3} - T_{c2}) + \frac{k_c}{d_c}(T_{c1} - T_{c2}) = \rho_c d_c C_c \frac{T_{c2}' - T_{c2}}{\Delta t} \quad (۱۸)$$

گره c_3 :

$$\frac{k_c}{d_c}(T_c - T_{c3}) + \frac{k_c}{d_c}(T_{c2} - T_{c3}) = \rho_c d_c C_c \frac{T_{c3}' - T_{c3}}{\Delta t} \quad (۱۹)$$

گره c :

$$h_{tcf}(T_f - T_c) + h_{tcw'}(T_{w'} - T_c) + \frac{k_c}{d_c}(T_{c3} - T_c) + h_{ic}(T_i - T_c) + \frac{Q_{ir}}{A_t} \quad (۲۰)$$

$$(1-\alpha_f) Q_{su} \frac{F_{fc}}{A_c} = \rho_c \frac{d_c}{2} C_c \frac{T_c' - T_c}{\Delta t}$$

در این معادلات هرکدام از ترم ها عبارتند از:

h_{c1-sky} : ضریب انتقال حرارت تشعشعی بین سقف و آسمان که طبق رابطه زیر محاسبه می شود.

$$h_{c1-sky} = \varepsilon_c \sigma (T_{c1}^2 + T_{sky}^2)(T_{c1} + T_{sky}) \quad (۲۱)$$

h_{tcf} : ضریب انتقال حرارت تشعشعی بین سقف و کف

$$h_{tcf} = \frac{\sigma (T_c^2 + T_f^2)(T_c + T_f)}{\frac{1-\varepsilon_c}{\varepsilon_c} + \frac{1}{F_{cf}} + \frac{1-\varepsilon_f}{\varepsilon_f}\frac{A_c}{A_f}} \quad (۲۲)$$

که ε_c و α_c به ترتیب ضریب صدور و ضریب جذب سقف، ε_f و α_f به ترتیب ضریب صدور و ضریب جذب کف و F_{fc} ضریب دید کف و سقف می باشد.

ج) معادلات مربوط به کف :

برای کف ۴ گره در ضخامت d_f کف در نظرگرفته شد که گره f_1 مربوط به لایه خارجی کف و گره f مربوط به لایه داخلی کف و گره های f_2 و f_3 مربوط به ضخامت کف هستند که در زیر به ذکر روابط گسسته سازی شده برای این شبکه حرارتی یکنواخت می پردازیم.

گره f :

$$h_{if}(T_i - T_f) + h_{tfc}(T_c - T_f) + \alpha_f \frac{Q_{su}}{A_f} + \frac{Q_{ir}}{A_t} + h_{tw'f}(T_{w'} - T_f) + \frac{k_f}{d_f}(T_{f1} - T_f) = \rho_f C_f \frac{d_f}{2}\frac{T'_f - T_f}{\Delta t} \quad (۲۳)$$

گره f_1 :

$$\frac{k_f}{d_f}(T_{f2} - T_{f1}) + \frac{k_f}{d_f}(T_f - T_{f1}) = \rho_f d_f C_f \frac{T'_{f1} - T_{f1}}{\Delta t} \quad (۲۴)$$

گره f_2 :

$$\frac{k_f}{d_f}(T_{f3} - T_{f2}) + \frac{k_f}{d_f}(T_{f3} - T_{f2}) = \rho_f d_f C_f \frac{T'_{f2} - T_{f2}}{\Delta t} \quad (۲۵)$$

گره f_3 :

در مدل سازی، دمای عمق ۳۰ سانتی متری عمق زمین را برابر متوسط دمای روزانه در نظر می گیریم.

د) معادلات مربوط به در و شیشه های خارجی :

برای در و شیشه های خارجی (هرکدام) ۲ گره در ضخامت در نظرگرفته شد که گره dj و gj به ترتیب مربوط به لایه داخلی در و شیشه های خارجی و $dj\,1$ و $gj\,1$ به ترتیب مربوط به لایه خارجی در و شیشه های خارجی می باشد. به دلیل مشابه بودن روابط در وشیشه های خارجی، فقط معادلات برای شیشه های خارجی در زیرآمده است.

گره gj :

$$h_i(T_i - T_{gj}) + (1-\alpha_f)Q_{su}\frac{F_{fw'}}{A_{w'}} + \frac{Q_{ir}}{A_t} + h_{tfw'}\frac{A_f}{A_{w'}}(T_f - T_{gj}) + h_{tcw'}\frac{A_c}{A_{w'}}(T_c - T_{gj}) + \frac{K_g}{d_g}(T_{g1j} - T_{gj}) = \rho_g C_g \frac{d_g}{2}\frac{T'_{gj} - T_{gj}}{\Delta t} \quad (۲۶)$$

گره $g1j$:

$$\frac{k_g}{d_g}(T_{gj} - T_{g1j}) + h_{g1j-sky}(T_{sky} - T_{g1j}) + \alpha_g G_j + h_o(T_o - T_{g1j}) + h_{g1j-gr}(T_{gr} - T_{g1j}) = \rho_g C_g \frac{d_g}{2}\frac{T'_{g1j} - T_{g1j}}{\Delta t} \quad (۲۷)$$

در این معادلات ، ضریب انتقال حرارت تشعشعی بین شیشه و آسمان و بین شیشه و زمین عبارتند از :

$$h_{g1j-sky} = \frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_g + 1}\sigma(T_{sky}^2 + T_{g1j}^2)(T_{sky} + T_{g1j}) \quad (۲۸)$$

$$h_{g1j-gr} = \frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_g + 1}\sigma(T_{gr}^2 + T_{g1j}^2)(T_{gr} + T_{g1j}) \quad (۲۹)$$

ه) معادلات مربوط به دیوار های داخلی :

دیوارهای داخلی، دیوارهائی هستند که هیچگونه تماسی با هوای محیط ندارند و تشعشع خورشید را به صورت مستقیم دریافت نمی کنند. برای دیوارهای داخلی ۴ گره در نظرگرفته شد که به علت تقارن، معادلات دو به دو یکسان می باشند.

گره $wd1$:

$$\frac{k_{wd}}{d_{wd}}(T_{wd} - T_{wd\,1}) = \rho_{wd} C_{wd} d_{wd} \frac{T'_{wd\,1} - T_{wd\,1}}{\Delta t} \quad (۳۰)$$

و) معادله مربوط به هوای اتاق :

معادله حاکم بر گره i (هوای داخل اتاق عبارتست از[۸]:

$$h_i(\sum_{j=1}^{4} A_j(T_j - T_i) + 2[A_{wd}(T_{wd} - T_i) + A_{gd}(T_{gd} - T_i) + A_{dd}(T_{dd} - T_i)] + h_{ic}A_c(T_c - T_i) + h_{if}A_f(T_f - T_i) + \sum_{j=1}^{4}(U_{dj}A_{dj} + U_{gj}A_{gj}) + \rho_o C_p \dot{n}V] \quad (۳۱)$$

$$(T_o - T_i) + Q_{ic} + Q = \rho_i C_v V \frac{T'_i - T_i}{\Delta t}$$

در معادله بالا، تغییرات دمای هوای اتاق بر حسب زمان بدست می آید ولی هدف بدست آوردن بار حرارتی وبرودتی می باشد. در این صورت با ثابت نگهداشتن دمای اتاق در دمای آسایش می توان بار حرارتی و برودتی را بدست آورد. در معادله فوق هر کدام از ترم ها عبارتند از:

Q: بارحرارتی یا برودتی

Q_{ic}: حرارت محسوس تولید شده ناشی از بار افراد ساکن و دستگاه های تولید حرارت

U_{dj}: ضریب کلی انتقال حرارت درها که طبق رابطه زیر محاسبه می شود.

$$U_{dj} = [\frac{1}{h_i} + \frac{d_{dj}}{k_{dj}} + \frac{1}{h_o}]^{-1} \quad (۳۲)$$

U_{gj}: ضریب کلی انتقال حرارت پنجره ها که طبق رابطه زیر محاسبه می شود.

$$U_{gj} = [\frac{1}{h_i} + \frac{d_{gj}}{k_{gj}} + \frac{1}{h_o}]^{-1} \quad (۳۳)$$

V: حجم اتاق

$\dot{n}$: تعویض حجم هوای اتاق می باشد که باحل معادلات حاکم بر مسئله، مقدار هوای ورودی به ساختمان با استفاده از شبکه جریان ($Flow - network$) محاسبه می شود[۹].

مقدار هوای ورودی و خروجی از طریق هر یک از درز های اطراف ساختمان با داشتن C_{pj}(ضریب فشار در اطراف ساختمان) و V_o(سرعت باد) و A_{crj} (سطح نفوذ هوا) و C_{dj}(ضریب تخلیه هوا) طبق رابطه زیر به دست می آید[۹].

$$\dot{V}_j = A_{crj} C_{dj} V_o (C_{pj} - C_{pi})(\left|C_{pj} - C_{pi}\right|)^{-0.5} \quad (۳۴)$$

با توجه به بقای جرم داریم.

$$\sum_{j=1}^{4} \dot{V}_j = 0 \quad (۳۵)$$

با حل معادله بالا مقدار C_{pi}(ضریب فشار هوای داخل ساختمان) بدست می آید ومی توان با توجه به رابطه زیر مقدار هوای ورودی به ساختمان را بدست آورد.

$$\dot{n} = \frac{\sum_{j=1}^{4} \left|\dot{V}_j\right|}{2V} \quad (۳۶)$$

تعیین دمای هوای محیط

برای محاسبات انتقال حرارت در یک خانه احتیاج به داشتن دمای لحظه ای هوا داریم. برای بدست آوردن دمای ساعتی هوای محیط، با داشتن مقادیرمتوسط ماهانه بیشینه و کمینه دمای هوا در یک روز، می توانیم فرض کنیم که تغییرات دمای هوای شبانه روز بصورت سینوسی بطوری باشد که دمای هوا در ساعت ۳ بعدازظهر بیشترین و در ساعت ۳ صبح کمترین مقدار خود را داشته باشد. بنابراین داریم:

$$T_o = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} + \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} Cos(\frac{\pi}{12}(time - 15)) \quad (۳۷)$$

که مقادیر $T_{\max}$ و $T_{\min}$ برای ماه های مختلف سال در شهر تهران در جدول شماره ۱ آمده است.

تعیین میزان تابش

یکی از روش های تخمین میزان تابش ساعتی خورشید روشی است که در آن ضریب صافی هوا تعریف می شود. ضریب صافی هوا به صورت متوسط تابش روز مورد نظر روی یک صفحه افقی در روی سطح زمین به متوسط تابش همان روز روی یک صفحه افقی در سطح خارجی جو تعریف می شود[۱۰].

$$k_t = \frac{G_h}{G_{oh}} \quad (۳۸)$$

مقدار کل تابش دریافتی برای یک صفحه با شیب β در هر لحظه توسط رابطه زیر تعریف می شود[۱۰].

$$G_t = G_{bh} R_b + \frac{1+Cos\beta}{2} G_{dh} + \frac{1-Cos\beta}{2} \rho_{gr} G_h \quad (۳۹)$$

که در این معادله زیرنویس های t، b، h و d به ترتیب معرف شیب دار، مستقیم، افقی و پراکنده می باشد. بقیه پارامترها در معادله قبل عبارتند از[۱۰] :

$$k_t = [a + bCos\ \frac{\pi}{12}(time - 12)]\overline{K_t} \quad (۴۰)$$

$$G_{oh} = 1353[1 + 0.033\, Cos(\frac{2\pi N}{360})]Cos\,\theta_z \quad (۴۱)$$

نسبت تشعشع پراکنده به تشعشع کل برای یک صفحه افقی بصورت زیر تعریف می شود[۱۰].

$$\frac{G_{dh}}{G_h} = \begin{cases} 1 - 0.249k_t & k_t \le 0.35 \\ 1.557 - 1.84k_t & 0.35 \le k_t \le 0.75 \\ 0.177 & k_t \ge 0.75 \end{cases} \quad (۴۲)$$

در معادلات فوق N نمایشگر روز سال و ρ_{gr} ضرسب باز تابش زمین است.

محاسبات عددی

قبل از این که به روش حل معادلات پرداخته شود، ابتدا گره های تعیین شده در مسئله را بررسی می کنیم. این گره ها عبارتند از ۶ گره در دیوارهای جانبی (شرقی، غربی، شمالی و جنوبی)، ۴ گره در دیوارهای داخلی، ۲ گره در هر یک از درها وپنجره های جانبی (شرقی، غربی، شمالی و جنوبی)، ۴ گره در سقف، ۴ گره در کف، ۲ گره در هر یک از درها وپنجره های داخلی و بالاخره یک گره برای هوای اتاق که در مجموع ۵۷ گره می شود. در نتیجه ۵۷ معادله برای این ۵۷ گره داریم. همانطور که در معادلات دیده می

شود، همه معادلات به صورت صریح گسسته سازی شده اند. دستگاه معادلات بدست آمده به علت وجود روابط انتقال حرارت تشعشعی که به توان چهارم درجه حرارت بستگی دارد، دستگاه معادلات غیر خطی می باشد که بایستی به روش سعی و خطا آن را حل نمود. گام زمانی برای همگرایی حل ۰,۰۰۱ ساعت انتخاب شده است. برای حل معادلات، برنامه ای به زبان فرترن نوشته شده است که این معادلات را بطور همزمان حل کرده و دمای نقاط مختلف و بار حرارتی و برودتی را بدست آورد.

ساختمان مورد بررسی

یک برج ۱۸ طبقه در شهر تهران انتخاب شده است. این برج دارای مساحت هر طبقه ۷۹۵ مترمربع می باشد که در هر طبقه چهار آپارتمان وجود دارد که دو به دو مشابه هستند. هر طبقه دارای ۵۰ مترمربع پنجره در سمت های شمالی و جنوبی و ۴۰ مترمربع پنجره در سمت های شرقی و غربی است. ابعاد هر طبقه به ترتیب عرض، طول و ارتفاع ۱۹,۸ و ۴۰,۴ و ۲,۸ می باشد. مشخصات جنس دیوارها، سقف و کف مطابق استاندارد می باشد.

تعیین نیاز انرژی سرمایشی ساختمان

در حالت مبنا دمای آسایش حرارتی در تابستان برابر ۲۵ درجه سانتیگراد انتخاب شده است و با ثابت نگه داشتن دما مقدار بار سرمایشی با اجرای برنامه کامپیوتری برای ساختمان مورد نظر بدست آمده است (در مخاسبات بار سرمایشی، ۱۵ ام هرماه معرف تمام روزهای آن ماه فرض می شود.). با روش هایی می توان بار سرمایشی و انرژی سرمایشی را در ساختمان کاهش داد که این روش ها و نقش آنها در این کاهش در زیر آمده است:

الف)تغییر دمای آسایش حرارتی: با استفاده از بادبزن سقفی می توان با برقراری جریان ملایمی از هوا، دمای آسایش حرارتی را از ۲۵ به ۲۹ درجه سانتیگراد تغییر داد..

ب) استفاده از هوای شب: می توان با برقراری جریان بیشتر هوا در ساختمان وقتی دمای هوای محیط کمتر از دمای هوای ساختمان باشد، دمای سطوح داخلی را کاهش داد که باعث کاهش مصرف انرژی و بار برودتی می شود.

ج) عایق بندی دیوار ها وسقف: با استفاده از ۵ سانتی متر عایق پلی استر، دیوارها و سقف را عایق بندی کرد.

د) استفاده از سایبان و یا پنجره های بازتاب: اندازه های سایبان مورد استفاده در این ساختمان به نحوی است گه پنجره ها را به طور کامل سایه می کند و از ورود تشعشع مستقیم به داخل ساختمان جلو گیری کند.

ه) کاهش تبادل هوای داخل و خارج ساختمان: با درز بندی در ها و پنجره ها، می توان نفوذ هوا را به حداقل رساند.

در این تحقیق اثر استفاده از عایق بندی دیوار ها وسقف با استفاده از ۵ سانتی متر عایق پلی استردر دیوارها و سقف و کاهش تبادل هوای داخل و خارج ساختمان با درز بندی در ها و پنجره ها در کاهش بار برودتی این ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است. مفادیرحداکثر بار برودتی در جدول ۲ در حالت های استفاده از عایق بندی دیوار ها وسقف و کاهش تبادل هوای داخل و خارج ساختمان در مقایسه با ساختمان مبنا نشان داده شده است. مفادیرانرژی سالانه برودتی در جدول ۳ در حالت های استفاده از عایق بندی دیوار ها وسقف و کاهش تبادل هوای داخل و خارج ساختمان در مقایسه با ساختمان مبنا نشان داده شده است. مقدار بار سرمایشی برج مذکور در حالت مبنا ۱۵۰۱ کیلووات و در حالت استفاده از عایق بندی دیوار ها وسقف ۱۴۱۳ کیلووات می باشد که دارای ۵,۸۵ درصد کاهش می باشد و مقدار انرژی سالیانه سرمایشی برج مذکور در حالت مبنا ۷,۲۵ تراژول و در حالت استفاده از عایق بندی دیوار ها وسقف ۶,۸۳ تراژول می باشد که دارای ۵,۸۷ درصد کاهش مصرف سالیانه انرژی سرمایشی می باشد.. مقدار بار سرمایشی برج مذکور در حالت مبنا ۱۵۰۱ کیلووات و در حالت استفاده از درز بندی در ها و پنجره ها ۱۴۱۵,۶ کیلووات می باشد که دارای ۵,۶۹ درصد کاهش می باشد و مقدار انرژی سالیانه سرمایشی برج مذکور در حالت مبنا ۷,۲۵ تراژول و در حالت استفاده از درز بندی در ها و پنجره ها ۷ تراژول می باشد که دارای ۳,۴ درصد کاهش مصرف سالیانه انرژی سرمایشی می باشد.

نتیجه گیری

همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده، با استفاده از عایق و درزگیر در برج های جدید الاحداث در شهر تهران می توان ۸,۶۸ درصد در انرژی سرمایشی سالیانه صرفه جوئی نمود که این به معنای کاهش مصرف انرژی

سرمایشی سالانه به میزان ۴۴ تراژول , کاهش بار برودتی به میزان ۶,۱۴ مگاوات و کاهش توان برق به میزان ۲,۲ مگاوات به ازاء هر میلیون متر مربع درشهر تهران می باشد.

مراجع

۱. م، الهی، " انرژی اسکناسهائی در باد،" روزنامه همشهری ، ۲۸ مهر ۱۳۷۵

2. Rohles, Konz and Jones, "Ceiling fans as extender of summer comfort envelope", Ashrea transacrions, 89 part 1A, 245-263, 1993.
3. M.N. Bahadori, "Natural air-conditioning systems", advanced in solar energy, volume 3, 1986.
4. Matjaz Prek, "Thermodynamics analysis of human thermal comfort", Energy xx, p 1-12, 2005.
5. P.O. Fanger, "Thermal comfort analysis and application environmental engineering", Mcgrawhill book company, newyork.
6. M. Tietel and J. Tanny, "A note on energy saving in heated enclosures", Building and environment, Vol. 31, No. 6, P 537-540, 1996.
7. B. Farhanieh and S. Sattari, “Simulation of energy saving in Iranian buildings using integrative modeling for insulation”, Renewable energy xx, p 1-9, 2005.
8. M.N. Bahadori and F. Haghighat, “Thermal Performance of adobe structures with domed roofs and moist internal surfaces”, Solar energy, vol. 36, no. 4, p 365-375, 1986.
9. M.N. Bahadori and Haghighat, “Passive cooling in hot, arid region in developing countries by employing domed roofs and reducing the temperature of internal surfaces”, Buiding and environment , vol. 20, no. 2, p 101-113, 1985.
10. G.D. Rai, Solar Energy utilization, Khanna publishers, 2001.

جدول ۱ – مقادیر صافی هوا، دمای متوسط بیشینه و کمینه محیط برای شهر تهران

ماه	ضریب صافی هوا	دمای هوای متوسط بیشینه	دمای هوای متوسط کمینه
فروردین	۰,۵۲	۲۱,۵	۹,۸
اردیبهشت	۰,۵۴	۲۸	۱۵,۳
خرداد	۰,۵۶	۳۳,۸	۱۹,۹
تیر	۰,۵۷	۳۶,۴	۲۲,۸
مرداد	۰,۵۷	۳۵,۳	۲۲,۱
شهریور	۰,۵۴	۳۱,۳	۱۸
مهر	۰,۵	۲۴,۵	۱۲,۲
آبان	۰,۴۱	۱۶	۵,۴
آذر	۰,۱۷	۹,۷	۰,۳
دی	۰,۴۸	۷,۷	-۱,۵
بهمن	۰,۵	۱۰,۵	۰,۴
اسفند	۰,۵۱	۱۵,۵	۴,۶

جدول ۲– اثر اقدامات صرفه جویی بر روی درصد کاهش حداکثر بار سرمایشی برج مذکور در شهر تهران

حالت	حد اکثر بار برودتی (کیلو وات)	درصد کاهش باربرودتی در مقایسه با مبنا
ساختمان مبنا	۱۵۰۱	-
استفاده از درزگیر	۱۴۱۵,۶	۵,۶۹
استفاده از عایق دیوار وسقف	۱۴۱۳	۵,۸۵

جدول ۳– اثر اقدامات صرفه جویی بر روی درصد کاهش انرژی برودتی سالانه در برج مذکور در شهر تهران

حالت	انرژی برودتی سالانه (تراژول)	درصد کاهش انرژی برودتی سالانه در مقایسه با مبنا
ساختمان مبنا	۷,۲۵	-
استفاده از درزگیر	۷,۰۰	۳,۴
استفاده از عایق دیوار و سقف	۶,۸۳	۵,۷۸
استفاده همزمان از عایق و درزگیر	۶,۶۲	۸,۶۸