



روشی جدید برای طراحی پنجره با توجه به مصرف انرژی

عبدالسلام ابراهیم پور^{۱*}، بهروز محمد کاری^۲

۱- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، گروه مکانیک، تبریز، ایران

۲- استادیار، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، بخش طراحی محیط و انرژی، تهران، ایران

*تبریز، صندوق پستی ۵۱۵۸۹. salam_ebr@yahoo.com

چکیده- یکی از جدارهای خارجی که تأثیر زیادی در مصرف انرژی و همچنین آسایش حرارتی دارد، پنجره است. بنابراین برآورد میزان انتقال حرارت از طریق پنجره‌ها اهمیت دارد. با توجه به این که محاسبه میزان انتقال حرارت از پنجره‌ها کاری مشکل بوده و به شبیه‌سازی کامپیوتری نیاز دارد، در دست داشتن روابط ساده‌ای برای برآورد و مقایسه انواع پنجره ضروری است. در این تحقیق با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری رابطه جدیدی برای محاسبه میزان انتقال حرارت از پنجره دو جداره ارائه شده است. با استفاده از این رابطه پارامترهای پنجره را می‌توان طوری تعیین و طراحی کرد که کمترین انتقال حرارت از پنجره حاصل شود. همچنین برای مقایسه انواع مختلف پنجره دو جداره (با سایبان و بدون سایبان) ضریبی به نام ضریب تأثیر معرفی شده است. نتایج نشان می‌دهند که با کاهش این ضریب، مقدار حرارت عبوری از پنجره کاهش می‌یابد. این ضریب را می‌توان به عنوان معیاری برای انتخاب پنجره بهینه به کار برد.

کلیدواژگان: پنجره دوجداره، شبیه‌سازی، مصرف انرژی، سایبان، ضریب تأثیر.

A new method to designing window based on energy consumption

A. S. Ebrahimpour^{1*}, B. Mohammad Kari²

1- Assist. Prof., Department of Mechanical Eng., Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

2- Assist. Prof., Department of Energy & Environmental Design, Building and Housing Research Center, Tehran, Iran,

*P.O.B. 51589, Tabriz, Iran. Salam_ebr@yahoo.com

Abstract- The window is an external envelope of the building that has more effect on the building energy consumption and human thermal comfort. So, calculating of window heat transfer is an important task. Since, calculating of the window energy transfer is difficult and must be calculated with the computer simulation, simple equations are necessary to estimate the window energy transfer and to compare the different window types. In this study, using computer simulation, a new equation has been presented to calculate double pane glazing window energy transfer. Using this equation, the window parameters can be designed based on the minimum window energy transfer. Also to compare the different window types (with or without overhang) a coefficient as "Efficiency Coefficient" has been defined. The result show that the window energy transfer decreases with the Efficiency Coefficient decreasing. Therefore, this coefficient can be used as a criterion to select the optimum window based on yearly minimum energy consumption.

Keywords: Double Pane Glazing window, Simulation; Energy Consumption, Overhang, Efficiency Coefficient.

۱- مقدمه

مصرف انرژی در کشور ما به طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از استانداردهای جهانی است و مهمترین دلیل آن، وضعیت نامطلوب ساختمان‌ها از دید مصرف انرژی است. یکی از جدارهای خارجی که تأثیر قابل توجهی بر مصرف انرژی و همچنین آسایش حرارتی دارد، پنجره است. در هر خانه، حدود یک سوم تلفات حرارتی کل در زمستان از طریق پنجره‌ها صورت می‌گیرد. همچنین بیشتر نفوذ هوا از لبه پنجره‌ها انجام می‌شود. در بار برودتی تابستانی نیز حرارت خورشیدی دریافتی از پنجره نقش قابل ملاحظه‌ای دارد. تأثیر خالص پنجره بر موازنه حرارتی در ساختمان به مشخصات و جهت پنجره و همچنین به وضعیت تابش خورشید و آب و هوا بستگی دارد [۱].

جدارهای نورگذر ساختمان عملکردی بسیار پیچیده دارند. در جدارهای معمولی غیر نورگذر، انتقال حرارت فقط به صورت هدایت انجام می‌شود و روابط حاکم شکل ساده‌ای دارند. در جدارهای نورگذر انتقال در اثر تابش بخش قابل توجهی از انتقال حرارت را به خود اختصاص می‌دهد. پیچیدگی این پدیده دلایل متعددی دارد. از یک سو میزان انتقال حرارت با اختلاف توان چهارم دمای سطوح متناسب است و از سوی دیگر، میزان انتقال حرارت و نور مرئی برای فرکانس‌های مختلف متفاوت بوده و به زاویه برخورد با سطح شیشه نیز بستگی دارد. البته انرژی تابشی خورشید و زاویه برخورد در زمان‌های مختلف سال، روز و ساعت موردنظر متفاوت است. این امر موجب می‌شود که در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی از الگوریتم پیچیده‌ای برای تعیین میزان انرژی تابشی عبوری از جدار نورگذر استفاده شود. با توجه به مشکلاتی که برای آزمایش و اندازه‌گیری انتقال حرارت وجود دارد، در دو دهه اخیر سعی شده از برنامه‌های شبیه‌سازی مختلف برای ارزیابی و مقایسه عملکرد سیستم‌های ساختمانی استفاده شود [۲].

در مورد پنجره‌ها تحقیقات زیادی انجام شده که هر یک از این تحقیقات برای سیستم‌های مختلف پنجره (تک‌جداره، چند جداره، با سایبان) انجام شده است و در این قسمت به تعدادی از آنها اشاره می‌شود.

کارلسون^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۴ به بررسی روشهای مختلف توصیف پنجره بهینه پرداختند. این مقایسه برای اقلیم‌های مختلف اروپا، نوع ساختمان و جهت آنها انجام شده است. مقایسه برای نوع شیشه و ضریب انتقال حرارت ثابت قاب انجام شده است. در پایان آنان مدل ساده خطی به صورت Ag-BU ارائه نمودند که در g کل انرژی تابشی عبوری از پنجره، U ضریب انتقال حرارت پنجره و A, B ضرایبی تجربی برای منطقه مورد مطالعه هستند [۳].

کارلسون و همکاران در تحقیق دیگری نیز، مدل ساده‌ای را برای تشخیص عملکرد انرژی در پنجره‌ها ارائه نموده بودند. در این مدل جریان حرارت به دو بخش تقسیم می‌شود: انتقال حرارت از سطح گرم به سرد پنجره و نفوذ تابش خورشیدی از خارج به داخل و باید مشخص شود که آیا این انرژی مفید است یا خیر. پارامتری که آنان برای این منظور به کار بردند، دمای تعادل T_b است که در این مدل از میانگین سالیانه دمای خارج استفاده شده است. در دمای بالاتر از T_b ، ساختمان به گرمایش نیاز ندارد [۴].

فنگ^۲ در سال ۲۰۰۱، ضریب انتقال حرارت پنجره با پرده پارچه‌ای را با استفاده از نوعی هات باکس^۳ در آزمایشگاهی در چین محاسبه کرده و از روی نتایج آزمایش‌ها چند رابطه تجربی را برای پنجره یک لایه و دولایه استخراج و سپس با استفاده از چند ضریب، تأثیر درنظر نگرفتن قاب را نیز در معادلات به دست آمده اضافه نمود [۵].

در این تحقیق تأثیر پنجره از نظر مصرف سالیانه انرژی بررسی و با استفاده از شبیه‌سازی عددی رابطه جدیدی برای محاسبه حرارت عبوری از پنجره دوجداره ارائه شده است. با

1. J. Karlsson
2. Xiande Fang
3. HotBox

تغییرات این پارامتر با میزان حرارت عبوری از طریق پنجره به دست آمده است. روابط به دست آمده عبارتند از:

- رابطه تغییرات نوع شیشه (رفلکسی، کم گسیل و...)
- رابطه تغییرات عمق سایبان خارجی عمودی
- رابطه تغییرات عرض سایبان خارجی عمودی
- رابطه تغییرات عمق سایبان خارجی افقی
- رابطه تغییرات عرض سایبان خارجی افقی
- رابطه تغییرات جهت سایبان خارجی عمودی (شرقی یا غربی)
- رابطه تغییرات ضخامت شیشه، لایه داخلی یا خارجی
- رابطه تغییرات ضریب هدایت حرارتی شیشه، لایه داخلی یا خارجی

- رابطه تغییرات ارتفاع از سطح زمین
- رابطه تغییرات جهت پنجره
- رابطه تغییرات سطح مقطع پنجره
- رابطه تغییرات دمای خارج و داخل
- رابطه تغییرات ضخامت حفره دوجداره
- رابطه تغییرات نوع گاز داخل حفره پنجره دوجداره
- پس از به دست آمدن این روابط، رابطه کلی محاسبه حرارت عبوری از پنجره به دست می آید که این کار با ترکیب رابطه های به دست آمده انجام می شود.

۳- رابطه های پنجره تک جداره

پنجره دو جداره، بدون سایبان، از جنس شیشه معمولی، در جهت جنوبی، بدون قاب، با کمترین ارتفاع (طبقه اول)، با ضخامت شیشه برابر ۴ میلی متر (در هر دو طرف حفره)، ضخامت حفره برابر ۱۲ میلی متر، با سطح مقطع مشخص (یک متر مربع)، گاز داخل از نوع هوا، دمای داخل برابر ۲۳ درجه، دمای خارج برابر ۱۰ درجه و بدون تابش خورشیدی به عنوان مدل مرجع انتخاب شده است. مشخصات دقیق این پنجره در جدول ۱ آورده شده است. مشخصات پنجره مرجع با توجه به حالت استاندارد موجود در نرم افزار ویندو [۶] انتخاب شده است.

استفاده از این رابطه، پارامترهای پنجره را می توان طوری تعیین و طراحی کرد که کمترین مصرف سالیانه انرژی حاصل شود. تحقیق برای پنجره های دو جداره با سایبان و بدون سایبان در اقلیم های مختلف انجام شده است. هدف اصلی این تحقیق به دست آوردن رابطه جدیدی برای انتخاب پنجره مناسب (با سایبان یا بدون سایبان) از میان پنجره های مختلف موجود است.

۲- روش تحقیق

در این تحقیق از شبیه سازی عددی در نرم افزار انرژی پلاس^۱ [۷] استفاده و برای هر مورد، برنامه اجرا شده و میزان حرارت عبوری از پنجره محاسبه شده است. انرژی پلاس نرم افزار جدیدی برای شبیه سازی مصرف انرژی ساختمان است که براساس ترکیبی از برنامه های دی ای^۲ و بلاست^۳ عمل می کند. این برنامه محاسبه تغییرات مصرف انرژی ساختمان را در زمانهای کوتاهتر از یک ساعت انجام می دهد و تحلیل و محاسبات براساس تعادل حرارتی در کل ناحیه شبیه سازی صورت می گیرد. در برنامه انرژی پلاس می توان با طراحی کل ساختمان، در هر یک از دیوارهای مورد نظر، پنجره و سایبان دلخواه را طراحی و میزان انرژی عبوری از پنجره را برای گام های مشخص زمانی از یک ساعت تا یک سال محاسبه کرد. البته برای این منظور لازم است داده های آب و هوایی (دما، فشار، سرعت و جهت باد، شدت تابش و غیره) مربوط به بازه زمانی مورد نظر به برنامه داده شود.

در پنجره دوجداره ابتدا مدل اولیه ای از پنجره به عنوان مرجع و مبنای مقایسه تعریف شده است که این مدل ساده ترین حالت ممکن برای پنجره است. سپس برای به دست آوردن روابط مختلف با تغییر پارامتر مورد نظر، رابطه

1. EnergyPlus
2. Doe
3. Blast

4. Window

جدول ۱ مشخصات شیشه مرجع

۳	ضخامت شیشه میلی متر
۰.۸۳۴	ضریب عبور خورشیدی در تابش عمود
۰.۰۷۵	ضریب انعکاس خورشیدی در تابش عمود رو به تابش
۰.۰۷۵	ضریب انعکاس خورشیدی در تابش عمود پشت به تابش
۰.۸۹۹	ضریب عبور نور مرئی در تابش عمود
۰.۰۸۳	ضریب انعکاس نور مرئی در تابش عمود رو به تابش
۰.۰۸۳	ضریب انعکاس نور مرئی در تابش عمود پشت به تابش
۰	ضریب عبور فروسرخ در تابش مستقیم
۰.۸۴	ضریب گسیل نیمکروی فروسرخ رو به تابش
۰.۸۴	ضریب گسیل نیمکروی فروسرخ پشت به تابش
۱	ضریب هدایت حرارتی W/mK
۱	عرض شیشه متر
۱	ارتفاع شیشه متر
۱۲	ضخامت حفره میلی متر

تغییر داده شده و رابطه زیر برای تغییرات ضریب انتقال حرارت پنجره u در اثر تغییر ضخامت شیشه به دست آمده است:

$$u = 4.094 - 0.727x_{1a} - 7.416x_{1b} \quad (2)$$

در این رابطه x_{1a} ضخامت شیشه لایه خارجی و x_{1b} ضخامت شیشه لایه داخلی پنجره بر حسب متر است.

۳-۲- رابطه ضریب هدایت حرارتی شیشه

ضریب هدایت شیشه مرجع از 0.1 تا 1 W/m.K با فاصله 0.1 در هر دو لایه خارجی و داخلی تغییر داده شده و رابطه زیر برای تغییرات ضریب انتقال حرارت پنجره u در اثر تغییر ضریب هدایت حرارتی شیشه به دست آمده است:

$$u = 4.087 - \frac{0.021}{x_{2a}} - \frac{0.0281}{x_{2b}} \quad (3)$$

در این رابطه x_{2a} ضریب هدایت شیشه لایه خارجی و x_{2b} ضریب هدایت شیشه لایه داخلی پنجره بر حسب $W/m.K$ است.

۳-۳- رابطه ابعاد پنجره

با تغییر طول و عرض پنجره مرجع، رابطه زیر برای تغییرات ضریب انتقال حرارت پنجره u در اثر تغییر طول و عرض به دست آمده است:

$$u = \frac{1}{0.1322 + 0.00425(x_{3a} \times x_{3b})^{1.5} + 0.0837/(x_{3a} \times x_{3b})} \quad (4)$$

در این رابطه x_{3a} طول و x_{3b} عرض پنجره بر حسب متر است.

۳-۴- رابطه عمق و عرض سایبان افقی

با تغییر عمق و عرض سایبان افقی پنجره (حالت مرجع بدون سایبان) رابطه زیر برای تغییرات ضریب انتقال حرارت پنجره u در اثر تغییر عمق و عرض سایبان افقی به دست آمده است:

$$u = 6.85 - 3.062x_4 + 1.227x_5^2 - 0.465(x_4 \times x_5) \quad (5)$$

در این رابطه x_4 عمق و x_5 عرض سایبان افقی پنجره بر حسب متر است.

پس از انتخاب مشخصات پنجره مرجع، با تغییر دادن هر پارامتر، رابطه تغییرات این پارامتر با ضریب انتقال حرارت پنجره به دست آمده است. این کار با شبیه سازی عددی در نرم افزار انرژی پلاس انجام شده است. در این قسمت هر یک از این پارامترها به صورت جداگانه بررسی می شود. در هر قسمت ضریب انتقال حرارت پنجره از رابطه ۱ محاسبه شده است:

$$u = \frac{Q}{T_{in} - T_{out}} \quad (1)$$

در این رابطه Q میزان عبور انرژی حرارتی از پنجره (به دست آمده از شبیه سازی در انرژی پلاس)، T_{in} دمای داخل حالت مرجع برابر 23 درجه و T_{out} دمای خارج حالت مرجع برابر 10 درجه است. دمای داخل و خارج ابتدا ثابت فرض و سپس اثر تغییر آن نیز بررسی شده است.

۳-۱- رابطه ضخامت شیشه

ضخامت شیشه مرجع (مدل اولیه) از 2 میلی متر تا 15 میلی متر با فاصله 1 میلی متر در هر دو طرف پنجره به صورت تصادفی

۳-۵- رابطه عمق و عرض سایبان عمودی

۳-۵-۱- سمت راست پنجره

با تغییر عمق و عرض سایبان عمودی پنجره (حالت مرجع بدون سایبان) در سمت راست، رابطه زیر برای تغییرات ضریب انتقال حرارت پنجره u در اثر تغییر عمق و عرض سایبان عمودی به دست آمده است:

$$u = 4.785 + 0.268x_1^* - 1.107x_1^{*2} - 0.243(x_1 \times x_v) \quad (6)$$

در این رابطه x_6 عمق و x_7 عرض سایبان عمودی پنجره برحسب متر است.

۳-۵-۲- سمت چپ پنجره

با تغییر عمق و عرض سایبان عمودی پنجره (حالت مرجع بدون سایبان) در سمت چپ پنجره، رابطه زیر برای تغییرات ضریب انتقال حرارت پنجره u در اثر تغییر عمق و عرض سایبان عمودی به دست آمده است:

$$u = 4.562 - 1.106x_8 + 0.721x_8^{*2} - 0.177(x_8 \times x_9) \quad (7)$$

در این رابطه x_8 عمق و x_9 عرض سایبان عمودی پنجره برحسب متر است.

۳-۶- رابطه تغییر ارتفاع از سطح زمین

ارتفاع مرکز پنجره مرجع از ۱/۵ متر تا ۴۳/۵ متر با فاصله ۳ متر از سطح زمین تغییر داده شده و رابطه زیر برای تغییرات ضریب انتقال حرارت پنجره u در اثر تغییر ارتفاع مرکز پنجره از سطح زمین به دست آمده است.

$$u = 4.5561 - \frac{0.0464}{x_{11}^2} \quad (8)$$

در این رابطه x_{10} ارتفاع مرکز پنجره از سطح زمین برحسب متر است.

۳-۷- رابطه تغییر نوع شیشه

پارامترهای پنجره مرجع (ضریب عبور، ضریب انعکاس و غیره) مرجع به جز ضریب هدایت حرارتی شیشه در هر دو لایه

خارجی و داخلی تغییر داده شده و رابطه زیر برای نسبت تغییرات ضریب انتقال حرارت پنجره u نسبت به تغییر پارامترهای پنجره از سطح زمین به دست آمده است. البته تغییر پارامترهای حرارتی با انتخاب ۸۴ نوع پنجره از بانک اطلاعاتی نرم افزار ویندو انجام شده است:

$$u = 0.778 - 0.015u_a + 0.082u_a u_b \quad (9)$$

$$u_a = \frac{1}{0.318 - 0.189\tau_a^{*2} + (\ln(1 - \rho_{1a}\epsilon_{1a} + \rho_{2a}\epsilon_{2a}))^2}$$

در این رابطه u_a ضریب انتقال حرارت لایه خارجی است که برای محاسبه آن از مشخصات لایه خارجی استفاده شده و داریم:

τ_a : ضریب عبور تابش خورشیدی در تابش عمود لایه خارجی

ρ_{1a} : ضریب انعکاس تابش خورشیدی در تابش عمود رو به تابش لایه خارجی

ρ_{2a} : ضریب انعکاس تابش خورشیدی در تابش عمود پشت به تابش لایه خارجی

ϵ_{1a} : ضریب گسیل نیمکروی فروسرخ رو به تابش لایه خارجی

ϵ_{2a} : ضریب گسیل نیمکروی فروسرخ پشت به تابش لایه خارجی

$$(10)$$

$$u_b = \frac{1}{0.318 - 0.189\tau_b^{*2} + (\ln(1 - \rho_{1b}\epsilon_{1b} + \rho_{2b}\epsilon_{2b}))^2}$$

u_b ضریب انتقال حرارت لایه داخلی است که برای محاسبه آن از مشخصات لایه داخلی استفاده شده و داریم:

τ_b : ضریب عبور خورشیدی در تابش عمود لایه داخلی

ρ_{1b} : ضریب انعکاس تابش خورشیدی در تابش عمود رو به تابش لایه داخلی

ρ_{2b} : ضریب انعکاس تابش خورشیدی در تابش عمود پشت به تابش لایه داخلی

ε_{1b} : ضریب گسیل نیمکروی فروسرخ رو به تابش لایه داخلی
 ε_{2b} : ضریب گسیل نیمکروی فروسرخ پشت به تابش لایه داخلی

μ_2 : ضریب لزجت گاز ۲
 μ_3 : ضریب لزجت گاز ۳
 X_{22} : ضریب پخش کلی

۴- ترکیب روابط

پس از به دست آمدن روابطی که نشان دهنده اثر تغییر هر پارامتر نسبت به حالت مرجع است، باید رابطه ای کلی برای محاسبه میزان عبور حرارت از پنجره (یا ضریب انتقال حرارت) به دست آید که این کار با ترکیب روابط به دست آمده برای پنجره انجام شده است. این رابطه کلی باید برای تغییر هر پارامتر یا تغییر چند پارامتر به طور همزمان، مقدار حرارت عبوری از پنجره را برای کل ساعات سال و در شرایط اقلیمی مختلف و جهت های مختلف پیش بینی کند. قبل از ارائه رابطه کلی ضریبی به نام ضریب تأثیر به صورت زیر تعریف شد که برابر است با نسبت ضریب انتقال حرارت به دست آمده برای تغییر پارامتر بر ضریب انتقال حرارت حالت مرجع.

$$eff = \frac{u_m}{u_{ref}} \quad (13)$$

در این رابطه eff ضریب تأثیر، u_m مقدار ضریب انتقال حرارت به دست آمده برای تغییر پارامتر و u_{ref} ضریب انتقال حرارت مرجع (مدل اولیه) است. مقدار ضریب انتقال حرارت مرجع برای پنجره دوجداره برابر $4/5419 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ بوده و مقدار ثابتی است. برای مثال برای پنجره دو جداره که ضخامت شیشه آن برابر ۳ میلی متر است ابتدا u_m از رابطه ۲ محاسبه شده و بر ضریب انتقال حرارت مرجع دو جداره تقسیم می شود. برای سایر پارامترهای پنجره نیز ضریب تأثیر به صورت جداگانه محاسبه شده و سپس از روابط زیر ضریب تأثیر کلی به دست می آید.

ضریب تأثیر کلی برای پنجره دو جداره به صورت زیر تعریف می شود:

$$(14)$$

$$eff_f = eff_1 \times eff_2 \times eff_3 \times eff_4 \times eff_5 \times eff_6 \times eff_7 \times eff_8 \times eff_9 \times eff_{10} \times eff_{11} \times eff_{12}$$

۳-۸- ضخامت حفره دوجداره

ضخامت حفره مرجع (مدل اولیه) از ۲ میلی متر تا ۲۵ میلی متر با فاصله ۱ میلی متر تغییر داده شده و رابطه زیر برای نسبت تغییرات ضریب انتقال حرارت پنجره u نسبت به تغییر ضخامت حفره به دست آمده است:

$$u = \frac{1}{0.1418 - 3.784x_{11} + 1.129x_{11}^2} \quad (11)$$

در این رابطه x_{11} ضخامت حفره شیشه دوجداره بر حسب متر است.

۳-۹- نوع گاز داخل حفره پنجره دوجداره

نوع گاز داخل حفره با ترکیب های مختلفی از گازهای هوا، کریپتون، زنون و آرگون با درصدهای مختلف انتخاب شده و رابطه زیر برای نسبت تغییرات ضریب انتقال حرارت پنجره u نسبت به تغییر نوع گاز داخل حفره به دست آمده است.

$$u = \frac{1}{0.2351 - 0.0105x_{12}} \quad (12)$$

$$x_{12} = \left((\%gaz_1) \frac{\alpha_1}{\mu_1} + (\%gaz_2) \frac{\alpha_2}{\mu_2} + (\%gaz_3) \frac{\alpha_3}{\mu_3} \right) \times 10^{-2}$$

در این رابطه:

$\%gaz_1$: درصد حجمی گاز ۱

$\%gaz_2$: درصد حجمی گاز ۲

$\%gaz_3$: درصد حجمی گاز ۳

α_1 : ضریب پخش حرارتی گاز ۱

α_2 : ضریب پخش حرارتی گاز ۲

α_3 : ضریب پخش حرارتی گاز ۳

μ_1 : ضریب لزجت گاز ۱

دیده می‌شود که ممکن است ترکیب‌های مختلفی از پنجره دارای eff_T یکسانی باشند، یعنی با تغییر دو پارامتر پنجره مرجع به صورت جداگانه مقدار eff_T یکسانی به دست آید.

۴-۱- دمای $T_{Sol-Air}$ سطح خارجی

دمای $T_{Sol-Air}$ عبارت است از دمای معادل هوای خارج که با استفاده از آن، نرخ انتقال حرارت از سطح، معادل می‌شود با مجموعه مقادیر تابش خورشیدی رسیده شده، جابجایی با هوای محیط و تبادل تابش با آسمان و سطوح احاطه کننده. برای محاسبه دمای $T_{Sol-Air}$ ، به محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی در سطح خارجی نیاز است و این ضریب نیز با استفاده از سرعت وزش باد بر روی سطح خارجی قابل محاسبه است. برای توصیف تغییرات سرعت باد نسبت به تغییر ارتفاع از سطح زمین از رابطه ۱۷ [۸] استفاده شده که در آن سرعت باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی با استفاده از رابطه زیر برای سایر ارتفاع‌ها تعمیم داده شده است:

$$V_z = V_{met} \left(\frac{\delta_{met}}{z_{met}} \right)^{\alpha_{met}} \left(\frac{z}{\delta} \right)^{\alpha} \quad (16)$$

که در آن:

Z : ارتفاع از سطح زمین،

V_z : سرعت باد در ارتفاع z ،

α : ضریب سرعت تعریف شده برای محل،

δ : ضریب ضخامت سطح برای محل،

α_{met} : ضریب سرعت تعریف شده برای ایستگاه،

δ_{met} : ضریب ضخامت سطح برای ایستگاه،

Z_{met} : اختلاف ارتفاع سطح موردنظر با محل

ایستگاه هواشناسی،

V_{met} : سرعت باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی (از داده‌های اقلیمی).

ضرایب سرعت و ضخامت به شکل زمین وابسته بوده و مقدار آنها برای داخل شهرها از [۷] برابر 0.33α و $\delta = 460 \text{ m}$ به دست آمده است. همچنین مقدار پیش فرض Z_{met} برابر ۱۰

در این رابطه eff_T ضریب تأثیر کلی پنجره دوجداره است و داریم:

eff_1 : ضریب تأثیر تغییر نوع شیشه لایه خارجی (در این حالت شیشه لایه داخلی همان نوع شیشه حالت مرجع است)
 eff_2 : ضریب تأثیر تغییر نوع شیشه لایه داخلی (در این حالت شیشه لایه خارجی همان نوع شیشه حالت مرجع است)
 eff_3 : ضریب تأثیر تغییر ضخامت شیشه لایه خارجی (در این حالت ضخامت شیشه لایه داخلی همان ضخامت حالت مرجع و برابر ۴ میلی‌متر است)

eff_4 : ضریب تأثیر تغییر ضخامت شیشه لایه داخلی (در این حالت ضخامت شیشه لایه خارجی همان ضخامت حالت مرجع و برابر ۴ میلی‌متر است)

eff_5 : ضریب تأثیر تغییر ضریب هدایت لایه خارجی شیشه (در این حالت ضریب هدایت شیشه لایه داخلی همان ضریب هدایت حالت مرجع و برابر 1 W/m.K است)

eff_6 : ضریب تأثیر تغییر ضریب هدایت لایه داخلی شیشه (در این حالت ضریب هدایت شیشه لایه خارجی همان ضریب هدایت حالت مرجع و برابر 1 W/m.K است)

eff_7 : ضریب تأثیر تغییر مساحت پنجره

eff_8 : ضریب تأثیر داشتن سایبان افقی

eff_9 : ضریب تأثیر داشتن سایبان عمودی

eff_{10} : ضریب تأثیر تغییر ارتفاع پنجره از سطح زمین

eff_{11} : ضریب تأثیر تغییر ضخامت حفره پنجره

eff_{12} : ضریب تأثیر تغییر نوع گاز داخل حفره پنجره

ضریب تأثیر سایبان eff_s برای پنجره دو جداره نیز به صورت زیر تعریف شده است:

$$eff_s = eff_8 \times eff_9 \quad (15)$$

با توجه به روابط تعریف شده برای eff_T ضریب تأثیر کلی پنجره دوجداره، دیده می‌شود که مقدار آن برای حالت مرجع برابر ۱ است و این حالتی است که هیچ‌یک از پارامترهای پنجره تغییر نکرده باشد. برای پنجره‌های مختلف مقدار ضریب تأثیر کلی متفاوت بوده و از حدود ۰/۱ تا ۱/۵ متغیر است. همچنین

τ_{ave} ضریب عبور میانگین لایه شیشه داخلی و خارجی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\tau_{ave} = \frac{\tau_a + \tau_b}{2}$$

در این رابطه τ_a ضریب عبور لایه خارجی شیشه و τ_b ضریب عبور لایه داخلی شیشه است.

جهت	با سایبان	بدون سایبان
جنوبی	۲.۰۴	۲.۶۵
شرقی	۱.۹۹	۲.۳۹
غربی	۲.۰۹	۲.۵۳
شمالی	۲.۵۶	۲.۷۱

۵- نتایج

در این تحقیق رابطه جدیدی براساس نتایج شبیه سازی پنجره در نرم افزار انرژی پلاس برای محاسبه میزان حرارت عبوری از پنجره ارائه شده است. در بررسی نتایج دقت این رابطه ارزیابی می شود و برای این منظور پنجره های با خصوصیات نوری مختلف، ابعاد و جهت های مختلف در طبقات مختلف ساختمان به طور تصادفی انتخاب و در نرم افزار انرژی پلاس طراحی و شبیه سازی شده و میزان عبور حرارت از این پنجره ها به دست آمده است. سپس میزان حرارت عبوری از همین پنجره ها با استفاده از رابطه به دست آمده (رابطه ۲۰)، نیز محاسبه شده و سپس نتایج این دو روش براساس داده های مجموع و میانگین سالیانه انتقال حرارت عبوری از پنجره در شش شهر تهران، تبریز، اهواز، یزد، رشت و بندرعباس مقایسه شده است. انتخاب شهرها با توجه به نیاز انرژی گرمایی- سرمایی سالیانه و نوع اقلیم بوده است. [۵] مقایسه نتایج در چند قسمت مختلف در زیر ارائه می شود.

۵-۱- پنجره های دارای مشخصات نوری و فیزیکی مختلف

در این قسمت چند نوع پنجره مختلف به طور تصادفی از بانک اطلاعاتی نرم افزار ویندو انتخاب شده و در دو حالت بدون سایبان

متر از سطح زمین و همچنین $\delta_{met} = 270 \text{ m}$ و $0.14a_{met}$ [۷] در این تحقیق استفاده شده است. حال با توجه به نوع سطح و همچنین سرعت باد بر روی سطح ضریب انتقال حرارت به صورت زیر محاسبه می شود.

$$h = D + EV_z + FV_z^2 \quad (17)$$

که در این رابطه، V_z سرعت موضعی باد برای ارتفاع z بوده و ضرایب D, E, F مربوط به جنس و شکل سطح است که برای شیشه $D=8.23, E=3.33, F=-0.036$ می باشد [۷].

پس از محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی بر روی سطح با در دست داشتن دمای خشک هوای خارج T_o (از داده های اقلیمی)، شار خورشیدی دریافتی بر روی سطح خارجی q_{solar}'' (از داده های اقلیمی) و دمای داخل T_{in} ، دمای $T_{Sol-Air}$ در این تحقیق به صورت زیر محاسبه شده است:

$$T_{Sol-Air} = \frac{h_o T_o + q_{solar}'' + u_i T_{in}}{h_o + u_i} \quad (18)$$

در این رابطه u_i به صورت زیر تعریف می شود:

$$u_i = u_{ref} \times eff_T \quad (19)$$

u_{ref} ضریب انتقال حرارت مرجع (مدل اولیه) و eff_T ضریب تأثیر کلی پنجره تک جداره است.

پس از محاسبه دمای $T_{Sol-Air}$ سطح خارجی و با مشخص بودن دمای داخل اتاق T_{in} می توان از روابط زیر میزان حرارت عبوری از پنجره Q را در تمامی ساعات سال به دست آورد. البته باید توجه داشت که این انتقال حرارت برای شیشه به دست آمده است و انتقال حرارت از قاب باید جداگانه محاسبه شود.

$$Q = 4.5419(T_{Sol-Air} - T_{in}) \times (1 + 0.15 eff_T \times \tau_{ave} \left(\frac{f}{eff_s} + eff_T \right)) / m \quad (20)$$

در این رابطه eff_s ضریب تأثیر سایبان بوده و f از رابطه زیر و m از جدول ۲ به دست می آید:

$$f = 0.27 - 0.61 eff_T + 3.989 eff_T^2 - 2.06 eff_T^3 \quad (21)$$

این پنجره‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. البته در این پنجره‌ها دمای داخل برابر ۲۳ درجه ثابت بوده و ارتفاع مرکز پنجره‌ها از سطح زمین برابر ۱/۵ متر فرض شده است. میزان تأثیر تغییرات این دو پارامتر بر دقت نتایج در قسمت‌های بعدی ارائه شده است. در حالت با سایبان نیز برای هر یک از پنجره‌ها سایبان افقی به صورت جدول ۴ انتخاب شده است.

نام	ضخامت	ضرب عبور	ضرب انعکاس	ضرب انعکاس	ضرب عبور	ضرب انعکاس	ضرب انعکاس	ضرب عبور	ضرب گسیل	ضرب گسیل	ضرب هدایت
شیشه	شیشه	خورشیدی در	خورشیدی در	خورشیدی در	نور مرئی	نور مرئی در	نور مرئی در	فروسرخ در	نیمگروی	نیمگروی	حرارتی
میلیمتر	میلیمتر	تابش عمود	تابش عمود رو به تابش	تابش عمود	تابش عمود	تابش عمود	تابش عمود	تابش مستقیم	فروسرخ	فروسرخ	
Ref	۳.۰۰	۰.۸۳	۰.۰۸	۰.۰۸	۰.۹۰	۰.۵۸	۰.۰۸	۰	۰.۸۴	۰.۸۴	۱.۰۰
n1	۵.۶۴	۰.۰۳	۰.۷۱	۰.۱۹	۰.۰۵	۰.۵۸	۰.۱۷	۰.۱۲	۰.۸۴	۰.۸۴	۱.۰۰
n2	۵.۶۶	۰.۰۴	۰.۱۶	۰.۴۸	۰.۰۵	۰.۱۷	۰.۳۷	۰	۰.۸۴	۰.۳۵	۱.۰۰
n3	۵.۶۱	۰.۰۵	۰.۶۵	۰.۲۰	۰.۴۸	۰.۱۹	۰.۴۸	۰	۰.۱۵	۰.۸۴	۱.۰۰
n4	۵.۶۶	۰.۰۸	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۴	۰	۰.۸۴	۰.۸۴	۱.۰۰
n5	۵.۶۶	۰.۱۰	۰.۰۹	۰.۳۸	۰.۱۴	۰.۱۰	۰.۳۴	۰	۰.۸۴	۰.۵۳	۱.۰۰
n6	۵.۶۶	۰.۱۳	۰.۰۸	۰.۳۶	۰.۱۴	۰.۰۸	۰.۳۴	۰	۰.۸۴	۰.۶۱	۱.۰۰
n7	۵.۷۲	۰.۱۵	۰.۰۶	۰.۲۴	۰.۲۳	۰.۲۱	۰.۰۶	۰	۰.۰۶	۰.۸۴	۱.۰۰
n8	۵.۶۱	۰.۱۸	۰.۴۸	۰.۱۵	۰.۲۰	۰.۱۶	۰.۰۸	۰	۰.۰۶	۰.۸۴	۱.۰۰
n9	۱۲.۰۹	۰.۲۰	۰.۱۹	۰.۰۵	۰.۵۳	۰.۰۷	۰.۰۶	۰	۰.۸۴	۰.۸۴	۰.۷۴
n10	۹.۴۰	۰.۲۳	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۵۶	۰.۰۶	۰.۰۶	۰	۰.۸۴	۰.۸۴	۱.۰۰
n11	۶.۰۰	۰.۲۵	۰.۰۹	۰.۲۳	۰.۳۷	۰.۰۶	۰.۰۶	۰	۰.۸۴	۰.۱۴	۰.۹۰
n12	۵.۵۶	۰.۲۸	۰.۵۰	۰.۲۴	۰.۲۷	۰.۱۸	۰.۱۴	۰	۰.۰۷	۰.۸۴	۱.۰۰
n13	۵.۶۱	۰.۳۰	۰.۰۷	۰.۱۵	۰.۵۹	۰.۰۸	۰.۰۵	۰	۰.۸۴	۰.۲۱	۱.۰۰
n14	۶.۷۶	۰.۲۳	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۲۹	۰.۰۸	۰.۰۸	۰	۰.۲۹	۰.۸۴	۰.۷۱
n15	۳.۱۵	۰.۲۵	۰.۴۱	۰.۴۸	۰.۶۸	۰.۱۹	۰.۱۵	۰	۰.۸۴	۰.۰۴	۱.۰۰
n16	۶.۳۸	۰.۲۸	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۳۰	۰.۰۵	۰.۰۵	۰	۰.۸۴	۰.۳۰	۰.۷۵
n17	۲.۲۱	۰.۴۰	۰.۳۷	۰.۴۵	۰.۸۰	۰.۰۶	۰.۰۵	۰	۰.۸۴	۰.۰۴	۱.۰۰
n18	۳.۰۲	۰.۴۳	۰.۱۵	۰.۱۲	۰.۴۳	۰.۱۶	۰.۱۳	۰	۰.۸۴	۰.۹۴	۰.۸۸
n19	۱۰.۰۰	۰.۴۵	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۴۴	۰.۱۲	۰.۰۵	۰	۰.۸۴	۰.۸۴	۰.۵۵
n20	۳.۸۶	۰.۴۸	۰.۴۰	۰.۳۴	۰.۷۷	۰.۰۵	۰.۱۵	۰	۰.۰۳	۰.۸۴	۱.۰۰
n21	۸.۵۸	۰.۵۰	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۸۱	۰.۰۷	۰.۰۷	۰	۰.۸۴	۰.۸۴	۰.۴۸
n22	۴.۸۸	۰.۵۳	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۷۸	۰.۰۷	۰.۰۷	۰	۰.۸۴	۰.۸۴	۱.۰۰
n23	۱۸.۷۵	۰.۵۵	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۸۱	۰.۰۷	۰.۰۷	۰	۰.۸۴	۰.۸۴	۱.۰۰
n24	۶.۳۸	۰.۵۸	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۵۴	۰.۰۶	۰.۰۶	۰	۰.۸۴	۰.۸۴	۰.۷۵
n25	۳.۹۶	۰.۶۰	۰.۱۹	۰.۲۵	۰.۸۶	۰.۰۶	۰.۰۶	۰	۰.۸۴	۰.۰۹	۱.۰۰
n26	۱۳.۱۴	۰.۶۳	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۸۶	۰.۰۷	۰.۰۷	۰	۰.۸۴	۰.۸۴	

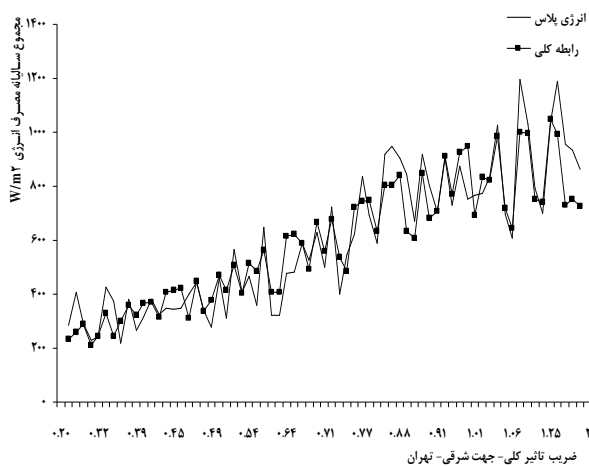
آن از $0/23$ تا $1/51$ متغیر است. با توجه به این شکل‌ها دیده می‌شود که با افزایش eff_T مقدار حرارت عبوری Q از پنجره در جهات مختلف افزایش می‌یابد. البته این نتیجه برای حالت‌هایی که eff_T آنها به یکدیگر نزدیک است درست نیست.

جدول ۵ درصد خطای میانگین و مجموع سالیانه برای حالت بدون سایبان در جهت‌های مختلف

شرقی	شرقی	شمالی	شمالی	جنوبی	جنوبی	غربی	غربی
میانگین	مجموع	میانگین	مجموع	میانگین	مجموع	میانگین	مجموع
۱۳.۳	۱۳.۳	۱۲.۴	۱۲.۴	۱۲.۵	۱۲.۴	۱۳.۰	۱۳.۰
۱۴.۷	۱۴.۶	۱۷.۶	۱۷.۶	۱۳.۸	۱۳.۸	۱۴.۰	۱۴.۰
۱۴.۵	۱۴.۵	۱۲.۶	۱۲.۵	۱۴.۳	۱۴.۳	۱۴.۲	۱۴.۲
۱۳.۶	۱۳.۷	۱۴.۷	۱۴.۶	۱۴.۶	۱۴.۶	۱۲.۳	۱۲.۳
۱۴.۸	۱۴.۸	۱۱.۴	۱۱.۴	۱۶.۰	۱۵.۹	۱۲.۹	۱۳.۰
۱۵.۰	۱۵.۰	۱۱.۴	۱۱.۴	۱۵.۰	۱۵.۰	۱۲.۹	۱۲.۹

جدول ۶ درصد خطای میانگین و مجموع سالیانه برای حالت با سایبان در جهت‌های مختلف

شرقی	شرقی	شمالی	شمالی	جنوبی	جنوبی	غربی	غربی
میانگین	مجموع	میانگین	مجموع	میانگین	مجموع	میانگین	مجموع
۱۵.۲	۱۵.۲	۱۲.۷	۱۲.۷	۱۶.۴	۱۶.۴	۱۴.۶	۱۴.۶
۱۵.۷	۱۵.۷	۱۴.۷	۱۴.۶	۱۵.۶	۱۵.۵	۱۵.۳	۱۵.۳
۱۶.۳	۱۶.۳	۱۴.۰	۱۴.۰	۱۶.۵	۱۶.۶	۱۵.۳	۱۵.۳
۱۴.۷	۱۴.۸	۱۴.۶	۱۴.۵	۱۶.۵	۱۶.۵	۱۳.۸	۱۳.۸
۱۶.۳	۱۶.۳	۱۲.۴	۱۲.۴	۱۸.۲	۱۸.۲	۱۴.۷	۱۴.۷
۱۶.۴	۱۶.۴	۱۲.۲	۱۲.۲	۱۷.۵	۱۷.۵	۱۴.۶	۱۴.۶



شکل ۱ نمودار میانگین سالیانه انتقال حرارت عبوری از پنجره براساس ضریب تأثیر کلی برای جهت شرقی (تهران)

جدول ۴ مشخصات شیشه‌های استفاده شده در قسمت ۵-۱

عمق	عرض	درصد	گاز	استفاده شده	ضخامت	ارتفاع	عرض	نام	نام	نام
سایبان	سایبان	زنون	کریتون	آرگون	هوا	حفره	شیشه	شیشه	لایه	پنجره
افقی	افقی	افقی	افقی	افقی	افقی	افقی	افقی	افقی	افقی	افقی
(متر)	(متر)	(متر)	(متر)	(متر)	(متر)	(متر)	(متر)	(متر)	(متر)	(متر)
m1	n15	n15	۰.۹۸	۱.۰۲	۶	۵۶	۰	۴۴	۰	۱.۰۹
m2	n3	n15	۲.۰۱	۲.۱۷	۱۸	۱۰۰	۰	۰	۰	۲.۱۳
m3	n12	n17	۱.۴۲	۱.۸۲	۲۰	۴۵	۰	۰	۵۵	۱.۷۵
m4	n43	n2	۱.۷۰	۱.۸۷	۲۲	۳۰	۰	۰	۷۰	۱.۷۶
m5	n17	n12	۲.۳۲	۲.۴۱	۱۶	۱۰۰	۰	۰	۰	۲.۵۸
m6	n43	n1	۱.۶۸	۰.۸۴	۷	۴۴	۶	۵۰	۰	۱.۹۸
m7	n3	n5	۰.۷۲	۰.۹۴	۹	۳۵	۱۶	۰	۴۹	۰.۸۸
m8	n50	n17	۱.۹۵	۱.۸۵	۱۶	۶۶	۳۴	۰	۰	۲.۴۰
m9	n4	n46	۲.۲۸	۰.۷۲	۱۷	۵	۰	۵۰	۴۵	۲.۲۸
m10	n11	n1	۰.۶۸	۰.۵۳	۱۴	۳۶	۱۳	۵۱	۰	۰.۸۷
m11	n45	n41	۱.۰۹	۱.۱۶	۳	۱۳	۰	۸۷	۰	۱.۴۰
m12	n7	n10	۱.۷۰	۲.۲۱	۱۶	۹۰	۰	۱۰	۰	۱.۹۵
m13	n14	n6	۱.۴۶	۲.۱۰	۱۲	۷۸	۰	۰	۲۲	۱.۴۶
m14	n38	n11	۱.۴۹	۰.۶۹	۲۰	۳۳	۰	۰	۶۷	۱.۵۷
m15	n41	n24	۲.۳۰	۱.۴۵	۲۱	۹۵	۰	۵	۰	۲.۴۳
m16	n4	n64	۱.۷۰	۰.۷۰	۹	۴۱	۰	۰	۵۹	۱.۷۲
m17	n7	n27	۱.۷۴	۱.۳۶	۲۲	۸	۰	۰	۹۲	۲.۰۹
m18	n41	n28	۲.۲۸	۱.۴۰	۷	۱۰۰	۰	۰	۰	۲.۴۴
m19	n39	n26	۲.۳۹	۱.۴۹	۱۷	۴۵	۰	۵۵	۰	۲.۴۴
m20	n63	n39	۰.۸۴	۱.۲۳	۳	۳۶	۶۴	۰	۰	۰.۹۷
m21	n19	n64	۱.۹۹	۲.۴۲	۲۴	۴۳	۹	۰	۴۸	۲.۲۹
m22	n27	n14	۱.۷۲	۱.۵۶	۱۵	۳۰	۰	۱۹	۵۱	۲.۱۴
m23	n16	n27	۱.۸۲	۲.۰۷	۲۲	۱۲	۴۹	۳۹	۰	۱.۹۵
m24	n53	n23	۱.۹۵	۲.۴۳	۵	۹۵	۰	۵	۰	۲.۰۰
m25	n57	n54	۱.۱۴	۲.۰۷	۲۳	۸۲	۰	۰	۱۸	۱.۱۴
m26	n62	n18	۱.۷۱	۱.۴۹	۱۳	۷۵	۲۵	۰	۰	۲.۱۰
m27	n27	n23	۰.۸۹	۱.۳۴	۵	۲۴	۰	۲۶	۵۰	۰.۲۷
m28	n29	n28	۲.۴۲	۱.۴۰	۱۵	۵	۹۵	۰	۰	۲.۸۹
m29	n55	n55	۰.۹۴	۲.۱۸	۳	۱۹	۰	۸۱	۰	۱.۰۵
m30	n24	n26	۱.۴۵	۰.۸۱	۲	۱۰۰	۰	۰	۰	۱.۶۸
m31	n31	n34	۱.۸۵	۲.۰۲	۱۴	۵۷	۰	۴۳	۰	۱.۸۷
m32	n10	Ref	۲.۰۴	۲.۱۵	۱	۴۰	۶۰	۰	۰	۲.۵۳
m33	n36	n32	۱.۲۷	۱.۰۸	۱۵	۲۴	۰	۰	۷۶	۱.۷۰
m34	n33	n23	۰.۸۱	۲.۲۳	۲	۳۱	۶۹	۰	۰	۱.۱۸
m35	n31	n65	۲.۰۵	۲.۰۷	۲	۵۷	۱۷	۰	۴۹	۲.۵۲
m36	n34	n26	۰.۷۴	۰.۵۳	۱	۹۳	۰	۷	۰	۰.۸۸
m37	Ref	n33	۱.۶۲	۰.۹۸	۱	۸۳	۰	۱۷	۰	۱.۹۳

نتایج این بخش براساس میانگین، خطای میانگین سالیانه کل پنجره‌ها و همچنین میانگین، خطای مجموع سالیانه کل پنجره‌ها در جدول‌های ۵ و ۶ برای شهرهای مختلف و حالت‌های با سایبان و بدون سایبان ارائه شده است. با توجه به این جدول‌ها دیده می‌شود که خطای رابطه به‌دست آمده نسبت به نتایج نرم‌افزار انرژی پلاس در هر یک از شهرها در حدود ۱۰-۱۵ درصد بوده که قابل قبول است. مقدار خطا بسته به شرایط مختلف (تغییر اقلیم) برای پنجره‌های مختلف تغییر کرده اما در محدوده ۱۰-۱۵ درصد است. همچنین شکل‌های ۱ تا ۴ نمودار ضریب تأثیر کلی eff_T را براساس میانگین سالیانه انتقال حرارت عبوری از پنجره برای چهار جهت مختلف در تهران نشان می‌دهند. در این شکل‌ها ابتدا مقدار eff_T برای هر یک از پنجره‌های موردنظر در حالت با سایبان و بدون سایبان محاسبه شده و سپس به‌صورت صعودی مرتب شده که مقدار

۵-۲- تغییر سایر مشخصات فیزیکی پنجره

۵-۲-۱- تغییر ارتفاع از سطح زمین

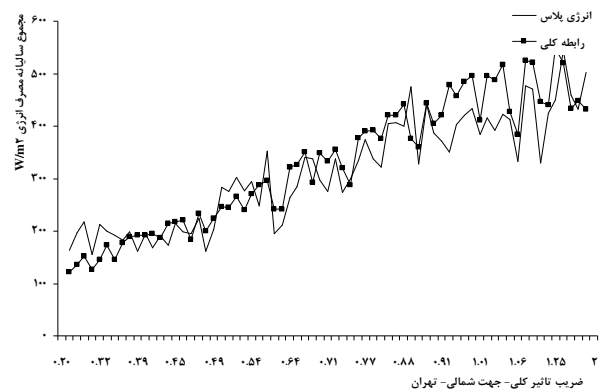
در این قسمت میزان حرارت عبوری از پنجره برای پنجره‌های قسمت ۵-۱ (البته با مساحت ۱ مترمربع) در ارتفاع‌های مختلف (از یک طبقه تا ۱۵ طبقه با ارتفاع طبقات برابر ۳ متر و پنجره در وسط دیوار)، برای جهت جنوبی، حالت بدون سایبان و دمای داخل برابر ۲۳ درجه (ثابت) در شهر تهران با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس و همچنین رابطه به‌دست آمده، محاسبه و مقایسه شده است. هدف از این قسمت بررسی دقت رابطه به‌دست آمده برای تغییرات ارتفاع از سطح زمین پنجره است. نتایج این بخش نیز براساس میانگین، خطای میانگین سالیانه برای کل پنجره‌ها در جدول ۷ برای شهر تهران ارائه شده است. با توجه به این جدول دیده می‌شود که مقدار خطا در طبقات مختلف متفاوت بوده و در حدود ۱۲-۱۵ درصد است.

جدول ۷ خطای میانگین سالیانه برای طبقات مختلف

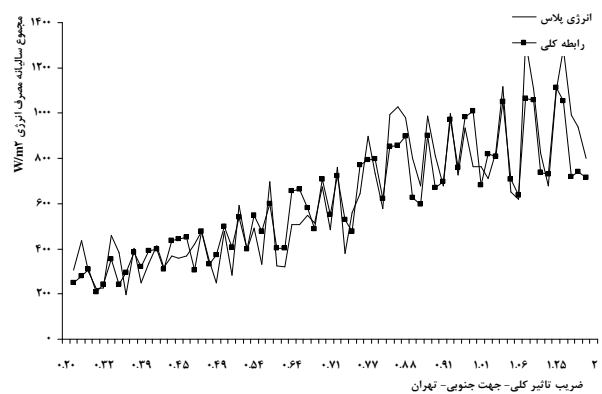
نام طبقه	خطای میانگین سالیانه %
طبقه ۱	۱۱.۵۲
طبقه ۳	۱۵.۰۶
طبقه ۶	۱۴.۵۵
طبقه ۹	۱۴.۶۳
طبقه ۱۲	۱۴.۸۷
طبقه ۱۵	۱۵.۰۸

۵-۲-۲- تغییر دمای داخل

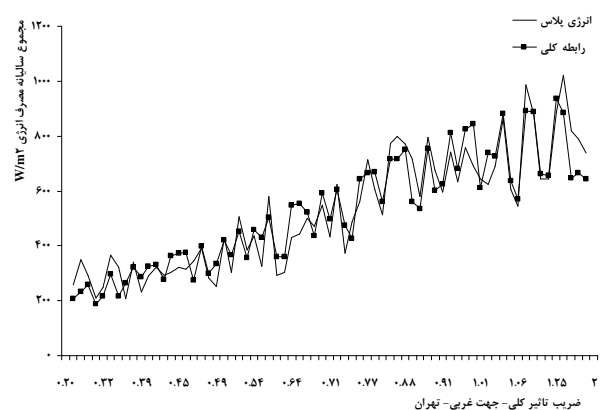
در این قسمت نیز میزان حرارت عبوری از پنجره برای پنجره‌های قسمت ۵-۱، در ارتفاع ثابت ۱/۵ متر از سطح زمین، برای جهت جنوبی، حالت بدون سایبان و دمای داخل مختلف (۱۹، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۷ درجه) در شهر تهران با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس و همچنین رابطه به‌دست آمده، محاسبه و مقایسه شده است. هدف از این قسمت نیز بررسی دقت رابطه به‌دست آمده برای تغییرات دمای داخل است. نتایج این بخش نیز براساس میانگین، خطای میانگین سالیانه برای کل پنجره‌ها در جدول ۸ برای دماهای مختلف داخل ساختمان ارائه شده است. با توجه به این جدول دیده می‌شود که مقدار خطا با تغییر دمای داخل از ۱۹ به ۲۷ درجه، حدود ۱۴ درصد ثابت است.



شکل ۲ نمودار میانگین سالیانه انتقال حرارت عبوری از پنجره براساس ضریب تأثیر کلی برای جهت شمالی (تهران)



شکل ۳ نمودار میانگین سالیانه انتقال حرارت عبوری از پنجره براساس ضریب تأثیر کلی برای جهت جنوبی (تهران)



شکل ۴ نمودار میانگین سالیانه انتقال حرارت عبوری از پنجره براساس ضریب تأثیر کلی برای جهت غربی (تهران)

جدول ۸ خطای میانگین سالیانه برای دماهای مختلف داخل ساختمان

خطای میانگین سالیانه %	دمای داخل
۱۳.۹۷	درجه ۱۹
۱۴.۱۵	درجه ۲۱
۱۴.۲۱	درجه ۲۳
۱۴.۱۷	درجه ۲۵
۱۴.۰۳	درجه ۲۷

که با افزایش eff_T میزان حرارت عبوری از پنجره و میزان مصرف انرژی پنجره افزایش پیدا می کند.

با به کارگیری این نتایج، مهندس یا معمار ساختمان دیگر نیازی به طراحی و شبیه سازی پنجره های مختلف (با سایبان یا بدون سایبان در جهت ها و طبقات مختلف) در نرم افزارهای شبیه سازی ندارد، چون این کار مستلزم وقت و تخصص می باشد. با استفاده از نتایج این تحقیق وی به سادگی می تواند پنجره بهینه را (با محاسبه eff_T) انتخاب و درصد بهبود آن را با دقت مناسبی محاسبه کند. همچنین با توجه به اینکه با ترکیب های مختلفی از پارامترهای پنجره می توان eff_T یکسانی را به دست آورد، بنابراین می توان فقط با تغییر چند پارامتر دلخواه به نتیجه مورد نظر دست یافت.

۷- منابع

- [1] Ballocco, M. A. Forastriere, G. Grazzini, G. C. Righini, "Experimental result of transparent, reflective and absorbing properties of some building material", Energy and Building; Vol. 32, 2000, pp. 315-321.
- [2] Michael J. Witte, Robert H. Henninger, "Testing and validation of new building energy simulation program", Seventh International IBPSA Conference Rio de Janeiro, Brazil, August 13-15, 2001.
- [3] J. Karlsson, A. Roos, "Evaluation of window energy rating models for different houses and European climates", Solar Energy; Vol. 76, 2004, pp. 71-77.
- [4] J. Karlsson, B. Karlsson, "A simple Model For Assessing The Energy Performance Of Window", Energy and Buildings; Vol. 33, 2001, pp. 641-651.
- [5] Xiande Fang, "A study of the U-factor of a window with a cloth curtain", Applied Thermal Engineering; Vol. 21, 2001, pp. 549-558.
- [6] Window 5 Software: www.windows.lbl.gov
- [7] Energyplus Engineering Document. The US Department of Energy. www.energyplus.com
- [8] ASHRAE, Handbook, heating, ventilating, and air-conditioning applications, 2005.
- [9] مبحث نوزدهم، "صرفه جویی در مصرف انرژی"، مقررات ملی ساختمان ها، صفحه ۶۵-۷۴، سال ۱۳۸۱.

۶- تحلیل، بررسی و کاربرد نتایج

هدف اصلی از این تحقیق ارائه روشی ساده برای انتخاب و مقایسه انواع مختلف پنجره با خصوصیات حرارتی مختلف، در طبقات و جهات مختلف، با تغییر شرایط محیطی و در حالت های با سایبان و بدون سایبان بود که با توجه به نتایج، به صورت خلاصه نکات زیر به دست آمده است.

۱- نتایج رابطه به دست آمده برای انواع مختلف شیشه به نتایج شبیه سازی در نرم افزار انرژی پلاس نزدیک بوده و در حدود ۱۰-۱۵ درصد اختلاف وجود دارد.

۲- با تغییر پارامترهای مختلف محیطی مانند دمای داخل، ارتفاع، جهت، مساحت پنجره، مساحت سایبان نتایج خوبی از رابطه مورد نظر در مقایسه با نتایج شبیه سازی در نرم افزار انرژی پلاس به دست آمده است.

۳- با افزایش eff_T مقدار حرارت عبوری از پنجره افزایش می یابد. البته این نتیجه برای حالت هایی که eff_T آنها به یکدیگر نزدیک است درست نیست.

بنابراین برای انتخاب پنجره بهینه پیشنهاد می شود:

الف) در صورت موجود بودن داده های مورد نیاز، میزان حرارت عبوری از پنجره توسط رابطه به دست آمده، برای کل ساعات سال محاسبه شده و به این صورت مقایسه انجام شود.

ب) در صورت استفاده نکردن از رابطه به دست آمده، در حالتی که eff_T پنجره ها به یکدیگر نزدیک نباشد (کمترین فاصله ۰/۱۵) می توان پنجره ها را مقایسه و پنجره بهتر را انتخاب نمود. پنجره ای که eff_T کمتری دارد، بهینه است.

ج) البته در حالتی که eff_T پنجره ها به یکدیگر نزدیک است، میزان حرارت عبوری از پنجره تغییر چندانی نمی کند و می توان به طور کلی از این اصل برای انتخاب پنجره بهینه استفاده کرد