انتقال حرارت توسط پنجره

علي نوري[۱]، هادي كارگر شريف آباد[۲]
دانشكده مهندسي مكانيک، دانشگاه صنعتي شريف
تهران، صندوق پستي ۹۵۶۷-۱۱۳۶۵
anouri@sharif.edu

چکیده: *در اين مطالعه نرخ انتقال حرارت جابجايي و تشعشع به داخل ساختمان توسط يک پنجره سه جداره براي فصول گرم و سرد انجام شده است. انتقال حرارت تشعشع كه شامل تابش غير مستقيم محيط و مستقيم خورشيد است براي چهار جهت مختلف پنجره يعني جنوب، شمال، غرب و شرق محاسبه شده است. پنجره از سه لايه شيشه ساده غير رنگي با فاصله هوايي 3mm<s<19mm تشكيل شده است. نتايج بدست آمده نشان ميدهد كه نسبت انتقال حرارت تشعشع به انتقال حرارت جابجايي وابسته به جهت و مشخصات پنجره از لحاظ ضخامت، نوع شيشه ها و ساعت تابش خورشيد است. براي مثال نسبت انتقال حرارت تشعشع به جابجايي در فصل زمستان براي يک پنجره جنوبي سه جداره با فاصله هوايي s=5mm در حدود ۷ است كه تابش مستقيم و غير مستقيم آن به ترتيب w/m^2 ۵۶۳ و w/m^2 ۱۱۳ است.*

كلمات كليدي: پنجره، تابش خورشيد، ضريب جذب تابش خورشيد، ضريب انتقال حرارت كلي

۱. مقدمه

پنجره ها ضمن فراهم نمودن نور طبيعي براي محيط داخل ساختمان، ايجاد ارتباط بصري با محيط خارج، زيبايي ساختمان و فراهم نمودن راه فرار اضطراري در مواقع خطر، امكان استفاده از حرارت خورشيد را مهيا مي سازند.

از نقطه نظر حرارتي پنجره ها مقاومت ضعيفي دارند. در مناطق سرد، ۲۵-۱۰ درصد بار گرمايشي را تلف ميكنند و در مناطق گرم ورود تابش خورشيد از پنجره ها بار سرمايشي را افزايش مي دهند. يكي از راههاي كاهش بار سرمايشي مناطق گرم، كاهش حرارت عبوري خورشيد از شيشه ها با استفاده از پوششهايي با ضريب صدور كم[۳] مي باشد. اين پوششها باعث كاهش تشعشع خورشيد به محيط داخل ميشوند و تأثيري هم بر كاهش نور طبيعي خورشيد ندارند[۱].

هم چنين نصب اين پوششها روي سطح داخلي شيشه ها كه از امواج مادون قرمز جلوگيري ميكنند و ضمناً امواج نور مرئي را از خود عبور مي دهند، باعث كاهش اتلاف انرژي حرارت داخلي شده و در مناطق سرد از آنها استفاده ميشوند.

۱ – استاد
۲ - دانشجوي كارشناسي ارشد
3 low-emissivity

پنجره ها معمولاً از شيشه هاي ساده ساخته ميشوند كه در برابر عبور تشعشع خورشيد رفتار ضعيفي دارند، بطوريكه حدود ۹۰ درصد تشعشع خورشيد از اين شيشه ها عبور مي كند و توسط محيط داخل جذب ميشود و به حرارت تبديل مي شود. بعبارت ديگر شيشه هاي متعارف و معمولي در برابر جريان حرارت از خود مقاومتي نشان نمي دهند و به همين دليل حرارت زيادي را عبور ميدهند.

پوششهاي روي شيشه باعث تغيير ضرايب عبور، انعكاس و جذب شيشه مي شود. اين پوششها مي توانند طوري طراحي شوند تا طول موجهايي از تشعشع خورشيد را جذب يا منعكس كنند[۲]. لامپرت[۳]، سباستين و همكارش[۴] و سباستين و پتابي[۵] نتايج تحقيقاتي در مورد شيشه هايي با خواص انتخابي گزارش كرده اند. بيشترين كارآيي پنجره هاي چند جداره مربوط به شيشه هاي چند جداره با تخليه هواي بين آنها است زيرا انتقال حرارت بعلت كاهش ضريب انتقال حرارتي جابجايي كاهش مي يابد. سوليوان و همكاران[۶] تحقيقياتي در مورد پنجره ها با تخليه هوا بين شيشه ها انجام دادند. ريلي و همكاران[۷] تحقيقاتي را با پنجره هايي كه فضاي بين شيشه هاي آن با گازهاي جذب كننده تشعشع خورشيد پر شده باشد، مطالعه كرده اند. در اين مطالعه آنها نتايج حل عددي را با نتايج اندازه گيريها مقايسه نمودند.

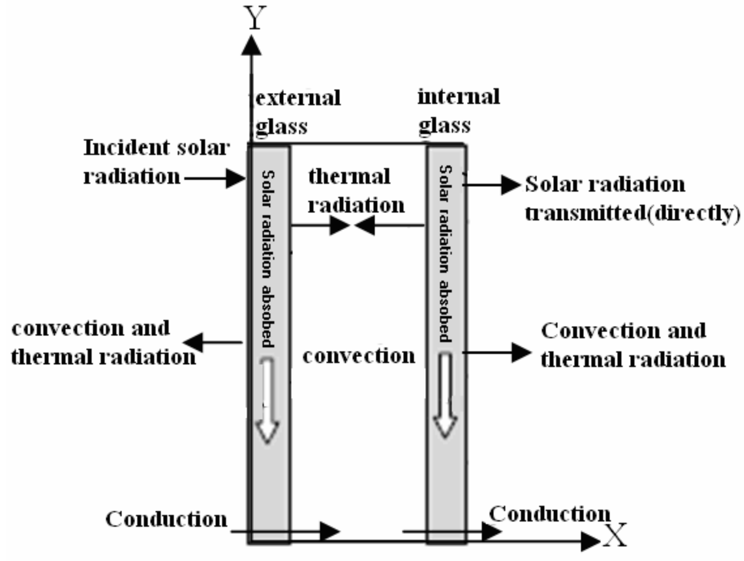
برنير و بورت[۸] اثر انحناي شيشه را همراه گاز پركننده در فضاي بين شيشه ها روي ضريب انتقال حرارت كلي بررسي نمودند. ژاو و همكاران[۹] اثر جابجايي طبيعي را در كارآيي حرارتي پنجره ها مطالعه كرده اند. تحقيقات جديدي براي كاهش بار حرارتي ساختمانها روي پنجره هايي كه فاصله بين شيشه هاي آن از مواد تغيير فاز دهنده[4] پر شده، شروع شده است[۱]. آنها بطور تجربي خواص اپتيكي پنجره هاي مختلف را همراه با PCM و بدون PCM مطالعه كردند و از نتايج آن براي مدل كردن سيستمها و ارزشيابي كارآيي حرارتي آنها استفاده كرده اند. منز و همكاران[۱۰] سيستم مشابهي را پيشنهاد كردند كه در آنها گرما درPCM موجود در فضاي بين شيشه ها جذب ميشود و بعداً براي گرم كردن محيط داخلي مورد استفاده قرار مي گرفت.

براي محاسبه مقدار عبور تشعشع خورشيد از پنجره، ميزان تابش خورشيد كه در هر مكان به سطح شيشه برخورد مي كند، ضروري است. از آنجايي كه اندازه گيري تابش خورشيد در هر مكان در دسترس نيست، لذا استفاده از مدلهاي رياضي امكانپذير است. در ايران، دانشيار[۱۱] براساس روابط تجربي پالتريج و پراكتور يك مدل تجربي براي تخمين شدت تشعشع خورشيدي براي شهرهاي ايران پيشنهاد كرده است. صميمي[۱۲] شدت تشعشع را وابسته به ارتفاع محل درنظر گرفت و با توجه به مدل ارائه شده توسط ماينل رابطه اي براي محاسبه شدت تشعشع مستقيم ارائه داده است. كارشناس[۱۳] بر اساس معادله خطي آنگستروم يك رابطه آماري براي محاسبه شدت تشعشع روي سطح زمين و براي شهرهاي ايران بدست آورده است. با استفاده از داده هاي كارشناس[۱۳]، ضرائب معادله آنگستروم تابعي از دما، ميزان بارندگي، ارتفاع محل، عرض جغرافيايي و ساعت آفتابي در نظر گرفته شده است. بهادري نژاد و ميرحسيني[۱۴] با استفاده از مدل آنگستروم و رگرسيون، ضريب صافي هوا را بر حسب پارامترهاي دما، رطوبت نسبي، ميزان بارندگي روزانه و كسر ساعت آفتابي براي شهرهاي ايران ارائه داده اند.

۲. مدل رياضي

ضريب انتقال حرارت كلي پنجره و ضريب جذب لايه هاي شيشه پارامترهاي مهم یک پنجره است. شكل(۱) كليه پارامترهاي مؤثر در انتقال حرارت یک پنجره دولايه اي را نشان ميدهد.

[4] Phase change material



شکل ۱: **پارامترهاي مؤثر در انتقال حرارت از يک پنجره دوجداره**

حتي در غياب تشعشع خورشيد و نفوذ هوا از فضاي بين شيشه و قاب و پائين قاب و ديوار، انتقال حرارت توسط پنجره از آنچه تصور ميشود پيچيده تر است. اين دشواري به خاطر شکل و خواص خود قاب است که کاملاً با شيشه متفاوت است. در نتيجه، انتقال گرما بين دو طرف يک پنجره شامل عبور تشعشع از لايه هاي شيشه و انتقال گرما توسط قاب و شيشه ها است. انتقال حرارت از قاب و بخش کناري شيشه ها در مجاور قاب دوبعدي است. بخش کناري شيشه، شامل محدوده اي بعرض ۶/۵cm از لبة شيشه قرار دارد. بنابراين، آناليز انتقال حرارت توسط قاب و شيشه ها شامل (۱) ناحيه مرکزي شيشه، (۲) ناحيه کناري شيشه و (۳) قاب پنجره است. کل نرخ انتقال حرارت بين دو طرف يک پنجره برابراست با:

$$\dot{q}_w = \dot{q}_c + \dot{q}_e + \dot{q}_f + \dot{q}_r = (UA)_w (T_i - T_o) + \mathrm{SHGC}(\mathrm{A_g} I Sin\theta) \qquad (۱)$$

که در آن

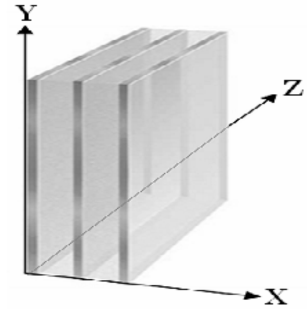
$$(UA)_w = (UA)_c + (UA)_e + (UA)_f \qquad (۲)$$

U ضريب انتقال حرارت کلي، SHGC ضريب جذب خورشيد[5] و A سطح است. انديسهاي w، c، e، g و f بترتيب معرف پنجره، مرکز شيشه، بخش کناري شيشه بعرض ۶/۵cm و قاب است. I شدت تابش خورشيد روي سطح خارجي شيشه و θ زاويه بين اشعه تابش با سطح شيشه است.

ضريب U_c بخش مرکزي شيشه: استفاده از مقادير و نمودارهاي تجربي براي تعيين ضريب کلي انتقال حرارت بخش مرکزي شيشه داراي خطا است زيرا موارد محدودي وجود دارد که شرائط محيط اطراف پنجره شبيه شرائط فرض شده است. از اين جهت لازم است با استفاده از روابط موجود براي انتقال حرارت جابجايي، تابشي و هدايت، ضريب انتقال حرارت کلي بخش مرکزي شيشه محاسبه شود. براي توضيح روش محاسبه و روابط مربوطه، يک پنجره سه جداره که

[5] Solar heat gain coefficient

از سه لايه شيشه با ضخامتهاي مختلف و دولايه گاز تشكيل شده است را در نظر ميگيريم(شكل ۲) . ضريب انتقال حرارت كلي بخش مركزي شيشه فقط شامل اثر شيشه ها و لايه هاي گاز ميباشد و از رابطه زير محاسبه ميشود:



شكل ۲: **پنجره با سه لايه شيشه**

$$U_c=\left(\frac{1}{h_i}+\frac{1}{h_o}+\frac{\delta_1}{k_{g1}}+\frac{\delta_2}{k_{g2}}+\frac{\delta_3}{k_{g3}}+\frac{1}{h_{si}}+\frac{1}{h_{so}}\right)^{-1} \quad (۳)$$

h_i ضريب انتقال حرارت تركيبي جابجايي آزاد و تشعشع سطح داخل، h_o ضريب انتقال حرارت تركيبي جابجايي اجباري و تشعشع سطح خارج، h_{si} ضريب انتقال حرارت تركيبي محفظه داخلي، h_{so} ضريب انتقال حرارت تركيبي محفظه خارجي، δ ضخامت شيشه و k_g ضريب هدايت حرارتي شيشه ميباشند.

چرچيل و چيو[۱۵] براي محاسبه ضريب انتقال حرارت جابجايي آزاد بين هوا و يک سطح قائم رابطه زير را پيشنهاد ميكند.

$$h_{ci}=\frac{k_{air}}{H}(0.825+0.325Ra^{\frac{1}{6}})^2 \quad (٤)$$

كه H ارتفاع شيشه ، $Ra = g\beta\Delta TH^3/\alpha\nu$ عدد رالي هوا در دماي متوسط و k_{air} ضريب هدايت حرارتي هوا در دماي متوسط است. انتقال حرارت تشعشع بين سطوح داخلي و سطح شيشه برابر است با:

$$h_{ri}=0.84\sigma\frac{T_i^4-T_g^4}{T_i-T_g} \quad (۵)$$

ضريب انتقال حرارت تركيبي سطح داخلي از جمع دو رابطه فوق بدست مي آيد. بعلت وزش باد در محيط بيرون, انتقال حرارت جابجايي بيرون از نوع اجباري است و از رابطه زير محاسبه ميشود:

$$Nu_{co}=\frac{H}{k_{air}}0.664pr^{\frac{1}{3}}Re^{0.5} \quad (٦)$$

كه در آن $Nu_{co}=Hh_{co}/k_{air}$ و $Re=Hv/\nu$ است. v سرعت متوسط باد و ν مقدار لزجت سينماتيكي هوا در دماي متوسط بيرون ميباشند.

انتقال حرارت تشعشع سطح خارجي شيشه خارجي، h_{ro} مانند رابطه (۵) با جايگزيني T_g بجاي T_i و T_o بجاي T_g بدست مي آيد. ضريب انتقال حرارت تركيبي سطح خارج شيشه نيز از جمع دو ضريب انتقال حرارت جابجايي و تشعشع سطح فوق بدست مي آيد.

$h_s = h_{rs} + h_{cs}$ تركيبي از انتقال حرارت تشعشع و جابجايي در عبور از فاصله هوايي بين دو لايه شيشه است. بخش جابجايي آن بر حسب موقعيت شيشه نسبت به حالت قائم از رابطه زير بدست مي آيد:

$$Nu_{cs}=\begin{cases}0.035Ra^{0.38}, & 0<\theta<30^{o}\\ 0.100Ra^{0.31}, & 30<\theta<60^{o}\\ 0.160Ra, & 60<\theta<90^{o}\end{cases} \tag{۷}$$

كه در آن $Nu_{cs}=g\beta(T_{g2}-T_{g3})S^3/\alpha\nu$ و S ضخامت فاصله هوايي بين دو شيشه در دماهاي T_{g2} وT_{g3} است. θ زاويه بين سطح شيشه نسبت به حالت قائم است.

با فرض فاصله بين دو لايه شيشه بعنوان يک محفظه، مک گروگر و همکارش[١٦] ضريب انتقال حرارت جابجايي آزاد داخل يک محفظه را توسط رابطه زير پيشنهاد ميکنند.

$$h_{cs} = \frac{k_{gas}}{S}0.046Ra^{\frac{1}{3}} \tag{۸}$$

در صورتي كه $Nu_{cs} < 1$ باشد در اين صورت انتقال حرارت در فاصله هوايي بصورت هدايت است، يعني $h_{cs}=k_{gas}/S$ ميباشد. بخش تشعشع ضريب انتقال حرارت فاصله هوايي برابر است با:

$$h_{rs}=\frac{\sigma(T_2-T_3)(T_2^2-T_3^2)}{\frac{1}{\varepsilon_1}+\frac{1}{\varepsilon_2}-1} \tag{۹}$$

كه در آن $\sigma = ۵/۶۷\times۱۰^{-۸} w/m^2.k^4$ ، ε_1 و ε_2 ضرايب صدور سطوح شيشه در طرفين فاصله هوايي است.

ضريب U_e بخش كناري شيشه: شيشه ها در پنجره هاي دو و سه جداره توسط جداكننده هاي نواري از جنس فلز يا غير فلز از جمله آلومينيوم، پشم شيشه، چوب و بوتيل از يكديگر جدا ميشوند. براي ايجاد آب بندي لبه ها و يكسان نگه داشتن عرض فاصله هوايي از نوارهاي جداكننده پيوسته استفاده ميشود. اين جداكننده ها بين شيشه ها كه در دماهاي مختلف با دماي شيشه قرار دارند به عنوان يک پل هاي حرارتي ناخواسته عمل ميكنند. اين اتصال كوتاه ممكن است انتقال حرارت از پنجره را بطور قابل ملاحظه اي افزايش دهد. انتقال حرارت در بخش كناري پنجره دوبعدي و اندازه گيريها نشان ميدهند كه اثرات لبه تا فاصله اي به عرض ۶/۵cm از محيط شيشه محدود ميشود.
معادله (۱۰) ضريب U_e بخش كناري يک پنجره را نسبت به ضريب U_c بخش مركزي محاسبه مي كند كه ضرايب آن در جدول(۱) بترتيب براي جدا كننده فلزي و جداكننده هاي عايق آمده است.

$$U_e = aU_c^4 + bU_c^3 + cU_c^2 + dU_c + e \tag{۱۰}$$

جدول ۱: **ضرايب رابطه مربوط به ضريب انتقال حرارت كلي ناحيه كناري شيشه بر حسب مقادير ناحيه مركزي شيشه**

	a	b	c	d	e
جدا كننده فلزي	$2*10^{-4}$	10^{-3}	$11*10^{-2}$	$48*10^{-3}$	۲/۳٤
جداكننده عايق	$72*10^{-4}$	$68*10^{-3}$	$21*10^{-2}$	$65*10^{-2}$	$54*10^{-2}$

ضريب U_f قاب: قاب يک پنجره شامل تمام اجزاء پنجره به استثناء شيشه است. تعيين انتقال حرارت توسط قاب به علت اشكال مختلف، ابعاد، ساختمان و تركيب مختلف مواد مشكل است. اكثر قابها از چوب، آلومينيوم، وينيل يا فايبرگلاس ساخته شده اند. ولي، استفاده از تركيب آنها(آلومينيوم با دور چوبي و وينيل با دور آلومينيوم) در بهبود شكل ظاهري و عمر ان مؤثر است. آلومينيوم بخاطر قيمت ارزان، عمر زياد، سادگي در ساخت و ضد زنگ بودن آن در قاب استفاده ميشود. ولي بدليل بالا بودن هدايت حرارتي آن در حداقل توجه قرار دارد. جاي تعجب نيست كه ضريب Uf قاب آلومينيومي بيشترين مقدار را داراست و بنابراين انتقال حرارت يک قاب آلومينيومي نسبت به پنجره هايي كه از چوب يا وينيل ساخته شده باشند بيشتر است. انتقال حرارت از قاب آلومينيومي را ميتوان با داخل كردن پلاستيكهايي بين قطعات آن بعنوان حائل هاي حرارتي كاهش داد. ضخامت اين پلاستيكها تاثير زيادي روي انتقال حرارت قاب دارند. در قاب هاي آلومينيومي بدون نوارهاي پلاستيكي، مقاومت اوليه در مقابل انتقال حرارت بعلت ضريب انتقال حرارت سطح داخلي است. ضريب U_f قابهاي آلومينيمي براي ضخامتهاي مختلف در حدود $10.1 w/m^2.^{\circ}c$ و قابهاي چوبي و وينيل با ضخامت 3mm: 2.9، ضخامت 18mm: 2.8 و ضخامت 33mm : $2.7 w/m^2.^{\circ}c$ مي باشد. بايد توجه داشت كه ضريب U_f قاب فلزي و بنابراين نرخ انتقال حرارت توسط يک قاب فلزي بيش از سه برابر مقدار آن براي قاب چوبي يا وينيل است.

۳. تابش عبوري از شيشه(q_r)

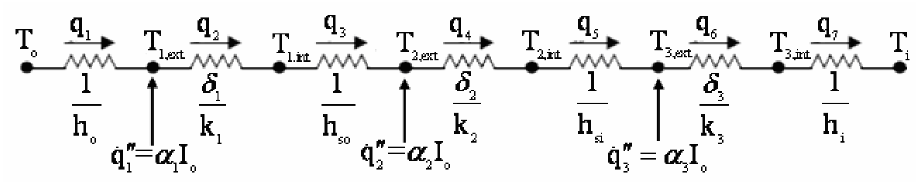
هنگاميكه تابش خورشيد به سطح يك شيشه شفاف برخورد مي كند، بخشي از آن به محيط بيرون منعكس مي شود (حدود ۸ درصد)بخشي از آن (۵۰-۵ درصد و بستگي به تركيب و ضخامت شيشه دارد.)جذب مي شود و بقيه از شيشه عبور ميكند.

براي يک شيشه شفاف و تقويت شده به ضخامت ۳mm، ضرايب عبور ۸٦ درصد، انعكاس ۸ درصد و جذب ٦ درصد است.خواص اپتيكي شيشه معمولاً براي برخورد تابش عمودي به سطح ارائه مي شود. ضرائب عبور،انعكاس و جذب شيشه اساساً براي زاويه برخورد بين ۹۰-٦۰ تقريباً ثابت است. جذب تابش خورشيدي بوسيله شيشه نهايتاً توسط انتقال حرارت جابجائي و تابشي از دو طرف شيشه به محيطهاي داخل و خارج منتقل مي شود. مجموع عبور تابش خورشيد از شيشه و انتقال بخشي از تابش جذب شده در شيشه بداخل اطاق، جذب گرماي خورشيد ناميده مي شود. نسبت گرماي خورشيد به تابش برخورد به شيشه را ضريب جذب خورشيد ناميده مي شود و بصورت زير بيان مي شود.

$$\text{SHGC} = \tau_s + f_i \alpha_s \qquad (۱۱)$$

كه در آن α_S , τ_S بترتيب ضريب عبور و جذب شيشه و f_i كسري از تابش جذب شده توسط شيشه كه به محيط داخل جريان دارد.

مدار الكتريكي كل انتقال حرارت كه توسط عبور مستقيم تابش خورشيد و در اثر اختلاف دما بين محيط داخل و خارج به همراه جذب تابش خورشيد توسط لايه هاي شيشه و انتقال آن به دو طرف صورت ميگيرد بشكل زير است.



شکل ۳: **مدار الکتريکي معادل انتقال حرارت بين محيط داخل و خارج**

با توجه به مدار الکتريکي فوق، معادله انتقال حرارت کلي که به محيط داخل منتقل مي شود برابر است با:

$$q_7 = U(T_o - T_i) + \frac{\alpha_1 I_o}{h_o}U + \alpha_2 I_o\left[\frac{1}{h_o} + \frac{\delta_1}{k_1} + \frac{1}{h_{so}}\right]U + \alpha_3 I_o\left[\frac{1}{h_o} + \frac{\delta_1}{k_1} + \frac{1}{h_{so}} + \frac{\delta_2}{k_2} + \frac{1}{h_{si}}\right]U + \tau_{total} I_o \qquad (۱۲)$$

با حذف اولين ترم سمت راست معادله(۱۲) و تقسيم ترمهاي باقيمانده بر I_o، ضريب جذب خورشيد بدست مي آيد.

معادله مربوط به تابش کل بر واحد سطح برابر است با:

$$I_t = C_N I_{ND} \mathrm{Cos}\theta + \frac{C I_{ND}}{C_N^{\ 2}} \qquad (۱۳)$$

که ترم اول در سمت راست معادله شدت تابش مستقيم و ترم دوم شدت تابش ديفيوز را نشان مي دهد. در رابطه فوق، C_N عدد صافي و C ضريب مربوط به هر ماه در [۱۷] آمده است و θ زاويه برخورد بين اشعه خورشيد با عمود بر سطح است.

شدت تابش خورشيد روي سطح زمين و در يک روز آفتابي که توسط مدل آسمان صاف ASHRAE پيشنهاد شده به قرار زير است:

$$I_{ND} = \frac{A}{\exp\left(\frac{B}{\mathrm{Sin}\beta}\right)} \qquad (۱۴)$$

که در آن I_{ND} شدت تابش مستقيم عمود بر سطح ، A تابش ظاهري خورشيد در جرم هواي صفر ، B ضريب تضعيف آتمسفر و β زاويه ارتفاع خورشيد است. مقادير A و B براي اول هر ماه و براي آتمسفر با عدد صافي $C_N=1$ توسط[۱۷] ارائه شده است.

براي يک سطح قائم $\mathrm{Cos}\theta = \mathrm{Cos}\beta \mathrm{Cos}\gamma$ که γ زاويه سمت ديوار-خورشيد صفحه مورد نظر ميباشد و مقدار آن برابر زاوية بين خط عمود بر صفحه قائم و تصوير افقي پرتو خورشيد ميباشد و به صورت زير محاسبه ميشود:

$$\gamma = \phi \pm \psi \qquad (۱۵)$$

رابطه فوق براي حالتي که زاويه سمت صفحه(ψ) نسبت به جهت جنوب اندازه گيري شود، معتبر است. ϕ زاويه سمت خورشيد بوده و برابر است با:

$$\mathrm{Cos}\phi = \frac{\mathrm{Sin}\beta \mathrm{Sin}\varphi - \mathrm{Sin}d}{\mathrm{Cos}\beta \mathrm{Cos}\varphi} \qquad (۱۶)$$

φ معرف عرض جغرافيايي مكان مورد نظر و d زاويه انحراف خورشيد در هر ماه كه از [۲۱] بدست مي آيد.
براي تخمين نرخ تابش ديفيوز به سطح غير افقي در يک روز آفتابي از رابطه زير ميتوان استفاده کرد.

$$I_{d\theta} = CI_{ND}\frac{۱+\cos\theta}{۲} \quad (۱۷)$$

معادله(۱۸) نسبت تابش ديفيوز آسمان را روي يک سطح قائم به مقدار آن روي يک سطح افقي در يک روز آفتابي محاسبه مي کند که از درونيابي منحني مربوط به مقادير تجربي[۱۷] بدست آمده است.

$$\frac{I_{dv}}{I_{dh}} = -0.106\cos\theta^4 + 0.0692\cos\theta^3 + 0.431\cos\theta^2 + 0.359\cos\theta + 0.5435 \quad (۱۸)$$

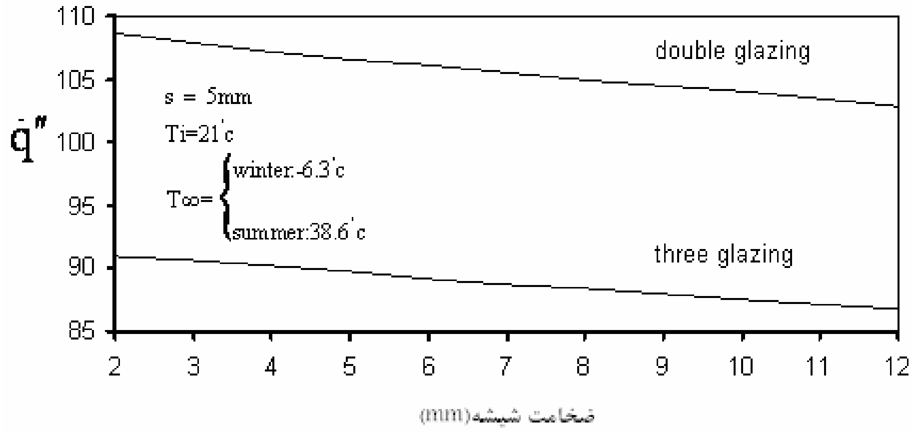
در تعيين نرخ تابش کلي به يک سطح با جهت اختياري، انرژي منعکس شده روي سطح نيز بايد مد نظر قرار گيرد. معمولي ترين حالت مربوط به انعكاس انرژي خورشيد از زمين به يک سطح مورب يا ديوار قائم است. براي چنين حالتي نرخ انرژي منعکس شده به ديوار برابر است با:

$$I_R = \rho_g\left(\frac{۱-\cos\theta}{۲}\right)I_{tH} \quad (۱۹)$$

كه در آن I_R نرخ انرژي منعکس شده به ديوار، ρ_g ضريب انعكاس زمين يا سطح افقي و I_{tH} نرخ تابش کلي(مستقيم بعلاوه ديفيوز) که به يک سطح افقي يا زمين برخورد ميکند، مي باشد. کل تابش به صفحه قائم برابر $I_{Dv}+I_{dv}+I_R$ خاهد بود.

۳. نتايج و بحث

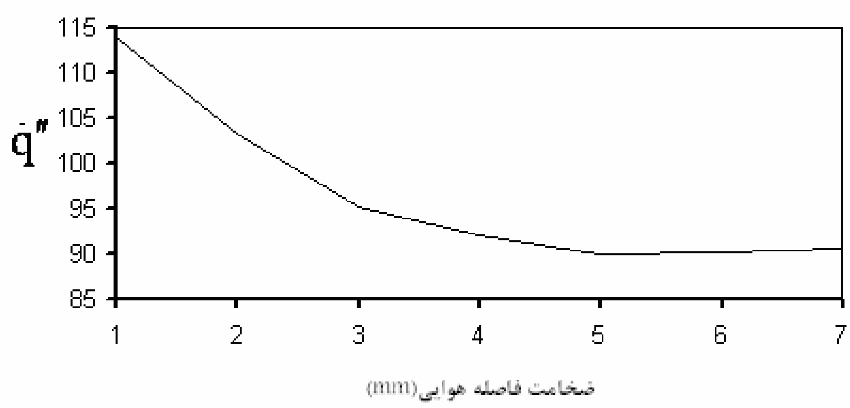
براي بررسي اثر پارامترهاي مختلف از يک پنجره يک لنگه سه جداره با قاب آلومينيومي و شيشه هاي ساده در شهر تهران با دماي متوسط $۳۸/۶^{\circ c}$ براي تابستان و $-۶/۳^{\circ c}$ براي زمستان استفاده شده و دماي مؤثر اطاق در طول سال $۲۱^{\circ c}$ درنظر گرفته شده است. با توجه به رابطه(۳)، افزايش ضخامت شيشه باعث كاهش ضريب انتقال حرارت كلي ناحيه مركزي شيشه و بدنبال آن كاهش ضريب انتقال حرارت کلي پنجره ميشود. اثر اين افزايش بر انتقال حرارت جابجايي پنجره دو و سه جداره در شکل(۴) نشان داده شده است. تغيير ضخامت شيشه اثر ناچيزي در ضريب جذب تابش خورشيد دارد و تقريباً ثابت است. مقدار متوسط روزانه تابش عبوري از پنجره كه از حاصلضرب تابش عمودي بر پنجره و ضريب جذب تابش خورشيد بدست مي آيد، در فصل زمستان شامل ماههاي آبان، آذر، دي و بهمن براي جهات جنوب، شمال و شرق يا غرب بترتيب ۶۷۶، ۸۰ و ۸۶ w/m^2 است. همين مقادير براي فصل گرم که شامل ماههاي خرداد، تير، مرداد و شهريور است بترتيب ۳۷۴، ۸۴ و ۱۱۸ w/m^2 مي باشد. کل شار حرارتي عبوري از پنجره در فصل زمستان از اختلاف مقادير شکل(۴) و مقادير ذکر شده و در فصل تابستان از جمع آنها بدست مي آيد. از شکل(۴) نتيجه ميشود که با افزايش ضخامت شيشه نسبت كاهش ضريب انتقال حرارت کلي به کاهش ضريب جذب خورشيد بيشتر است و با آنکه تابش كمتري از خورشيد جذب ميشود، مقدار ناچيزي از آن تلف ميشود.



شکل ۴ :**اثر ضخامت شيشه بر انتقال حرارت جابجايي پنجره**

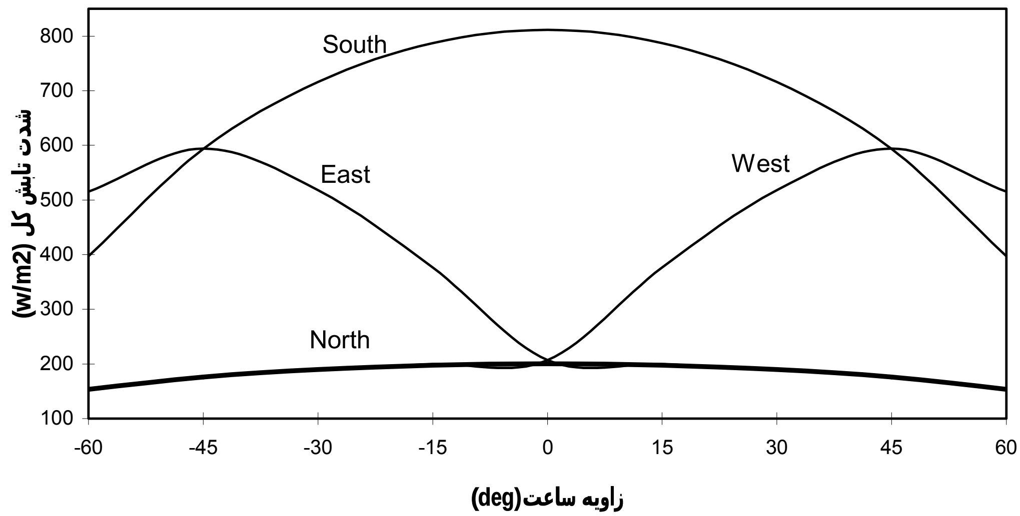
از شکلهاي فوق همچنين مشاهده ميشود پنجره هايي که در جهت جنوب قرار دارند نسبت به جهات ديگر از ميزان انتقال حرارت بزرگتري برخوردارند که ناشي از زياد بودن تابش خورشيد رسيده به شيشه هاي جنوبي ميباشد.

طبق رابطه(۸)، افزايش عرض فاصله هوايي باعث کاهش ضريب انتقال حرارت جابجايي طبيعي بين دولايه شيشه و کاهش ضريب انتقال حرارت جابجايي ترکيبي محفظه ميشود و با توجه به رابطه(۳) ضريب انتقال حرارت کلي بخش مرکزي شيشه را کاهش مي دهد. افزايش بيش از اندازه اين فاصله بدليل تبديل شدن رژيم انتقال حرارت هدايتي به جابجايي در محفظه، اثر منفي دارد. مطالعات تجربي نشان ميدهد هنگاميکه فاصله هوايي کمتر از ۱۳mm است، جريان جابجايي هوا بين دو لايه شيشه وجود ندارد و انتقال حرارت توسط مکانيزم هدايت انجام ميگيرد. ولي هنگاميکه فاصله هوايي بيش از ۱۳mm است، جريان جابجايي شروع و افزايش ضريب انتقال حرارت برمزيت ضخيم بودن عرض فاصله هوايي غلبه ميکند. در نتيجه، ضريب انتقال حرارت تقريباً ثابت ميماند(شکل ۵). کل شار حرارتي عبوري از پنجره در فصل زمستان از اختلاف منحني انتقال حرارت جابجايي و مقدار متوسط تابش عبوري خورشيد زمستان و در فصل تابستان از جمع منحني انتقال حرارت جابجايي و مقدار متوسط تابش عبوري خورشيد تابستان از شکل(۵) بدست مي آيد.

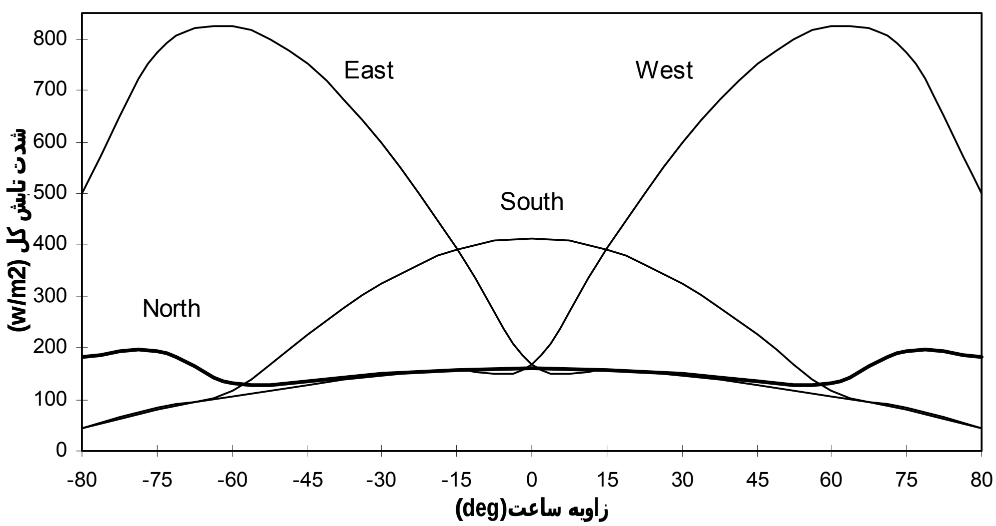


شکل ۵: **اثر ضخامت فاصله هوايي بر انتقال حرارت جابجايي براي يک پنجره سه جداره**

شدت تابش روي سطح قائم به مکان، روز در سال، زمان در روز و جهت وابسته است. عرض جغرافيايي، زاويه انحراف خورشيد، زاويه ساعت و زاويه سمت ديوار-خورشيد بترتيب اثرهاي فوق رانشان ميدهند. در شکل(۶)و(۷) اثر پارامترهاي فوق بغير از عرض جغرافيايي در شدت تابش کل خورشيد روي سطح قائم نشان داده شده است.



شکل ۶: **شدت تابش کل خورشيد در برخورد بسطح شيشه در دي ماه**



شکل ۷: **شدت تابش کل خورشيد در برخورد بسطح شيشه در تير ماه**

طبق رابطه(۱) شار حرارتي پنجره با تابش خورشيد نسبت مستقيم دارد. لذا مقدار تابشي که از طريق پنجره وارد اتاق مي شود از ضرب مقادير منحنيهاي فوق در ضريب جذب تابش خورشيد بدست مي آيد.

٤. مراجع

[1] Ismail, K.A.R. and Henriquez,J.R.,Modeling and Simulation of a Simple Glass Window, Solar Energy Materials & Solar Cells,VOL. 80, PP.355-374, (2003)

[2] Ismail, K.A.R. and Henriquez,J.R., Two-Dimensional Model for the Double Glass Naturally Ventilated Window, International Journal of Heat and Mass Transfer,VOL. 48, PP.461-475, (2005)

[3] Lampert,C.M., Heat Mirror Coatings for Energy Conserving Windows, Solar Energy Materials & Solar Cells,VOL. 6, PP.1-41, (1981)

[4] Sebastian,P.J. and Sivaramakrishnan,V., cdSe thin Films as Solar Control Coatings, Solar Energy Materials & Solar Cells,VOL. 27, PP.321-326 , (1992)

[5] Sebastian,P.J. and Pattabi,M., Solar Control Characteristics of Cu2Se Coating, Journal Physics,D:Application,VOL. 25, PP.981-985, (1992)

[6] Sullivan,R., Arasteh,D.K.,Beck,F.A. and Selkowitz,S.E., Energy Performance of Evacuated Glazing in Residential Buildings, ASHRAE Trans.,VOL. 102,Part 2, PP.220-227, (1996)

[7] Railly,S., Arasteh,D.K. and Rubin,M.,The Effects of Infrared Absorbing Gassesb on window heat transfer: a Comparison of Theory and Experiments, Solar Energy Materials,VOL. 20, PP.277-288, (1990)

[8] Bernier,m.A. and Bourret,B., Effects of Glass plate Curvature on the U-Factor of Sealed Insulated Glazing Units, ASHRAE Trans.,VOL. 103,Part 1, PP.270-277, (1997)

[9] Zhao,Y., Goss,P.W. and Curcija,D.,Prediction of the Multicellular Flow Regime of Natural Convection in Fenestration Glazing Cavities, ASHRAE Trans.,VOL. 103,Part 1, PP.1009-1020, (1997)

[10]Manz,h.,Egolf,P.W.,Suter,P. and Goetzberger,A.,TIM-PCM External Wall System for Solar Space Heating and Daylighting, Solar Energy,VOL. 61, No.6 ,PP.369-379, (1997)

[11]Daneshyar,M.,Solar Radiation Statistics for Iran",Solar Energy,Vol.21,PP.345-349,(1978)

[12]Samimi, j.,Estimation of Height-Dependent Solar Irradiation and Application the Solar Climate of Iran ,Solar Energy,Vol.52,N.5,PP.401-409,(1994)

[۱۳] كارشناس، م.، انرژي خورشيدي قابل دسترس در ايران و مدلهاي پيشگو كننده آن، دانشگاه شيراز، (۱۳۷۷)

[١٤]بهادري نژاد،م. و ميرحسيني، ع.، ضريب صافي هوا براي شهرهاي مختلف ايران، سومين همايش بين المللي بهينه سازي مصرف سوخت در ساختمان،ص٦٠٤-٦١١،(١٣٨٢)

[15]Churchil,S.W. and Chu,H.H.S.,Correlating Equation for Laminar and Turbulent Free Convection from Vertical Plate,Int. J. Heat Mass Transfer,Vol.18,PP.1323-1329,(1975)

[16]MacGroger,R.K. and Emery,A.P., Free Convection through Vertical Plane Layers:Moderate and High Prandtl Number Fluids,J. Heat Transfer,vol.91,PP.391,(1969)

[17]ASHRAE Handbook, Fundamentals Volume, American Society of heating,Refrigeration and Air-Conditioning Engineers,Inc.,Atlanta,GA. ,(1989)