



بررسی تأثیر شیشه‌های رنگی بر میزان نور و انرژی عبوری در محدوده مرئی

محمد حق شناس^۱، زهرا قیابکلو^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، بخش انرژی و معماری، گروه معماری، دانشکده هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۴۵۸

۲- استادیار، بخش انرژی و معماری، گروه معماری، دانشکده هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۴۵۸

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۲/۵ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۸۷/۱۲/۲۸

چکیده

پنجره‌های با شیشه‌های رنگی که نور را در رنگ‌های متنوع و متعدد عبور می‌دهند، در عین حال می‌توانند از ورود درصد قابل توجهی از اشعه‌های گرم و سوزان به داخل نیز جلوگیری نمایند و به عنوان کنترل کننده نور نیز ایفای نقش نمایند. برای بررسی میزان این تأثیر، ۹ ارسی سنتی به عنوان نمونه موردی انتخاب شد و ساختار هندسی آنها برداشت گردید. سپس طیف انتقالی محدوده مرئی چهار رنگ شیشه‌های به کار رفته در آنها به وسیله اسپکتروفوتومتر به دست آمد و در مورد تأثیرات اقلیمی و تابشی آن بحث شد. نتایج نشان داد که در صورت جلوگیری از گسیل طول موج‌های بلند به داخل، استفاده از شیشه‌های رنگی میزان انرژی عبوری پنجره در محدوده مرئی را به یک سوم حالتی که شیشه بی‌رنگ استفاده شده باشد کاهش می‌دهد. همچنین راهکاری برای ورود بهینه تابش در مناطق گرمسیر پیشنهاد شده است.

واژه‌های کلیدی: شیشه کم‌گسیل رنگی، نور روز سرد، کنترل تابش، صرفه‌جویی انرژی، معماری ایران.

Investigation of Tinted Glazing's Effect in Transmission of Daylight and Energy in the Visible Spectrum

M. Haghshenas, Z. Ghiabaklou*

Department of Energy and Architecture, School of Architecture, Faculty of Fine Arts, University of Tehran,
P.O.Box: 14155-6458, Tehran, Iran

Abstract

Windows with tinted glazing transmit the light in various colors. They can prevent from transmission of a large amount of sun's spectrum and work as a sun-control. To investigate this effect, nine Persian vernacular "Orsi"s have been chosen as case studies and the window geometry and glazing color combination of them were studied and drawn. Then the transmission from four colors of their glazings has been measured by the use of spectrophotometer and the amount of energy and daylight passing through the whole window has been calculated. The results show that the energy transmittance of the Orsi is approximately one third as much as the amounts of transmitted energy from standard float glass, if the inward emission from the glazing surface is prevented. Also some applicable methods have been suggested for the optimized light transmission for the cooling dominated regions. *J. Color Sci. Tech.* 2(2009), 213-220. © Institute for Colorants, Paint and Coatings.

Keywords: Low-E tinted glazing, Cool daylight, Radiation control, Energy saving, Persian architecture.

۱- مقدمه

با توجه به اینکه بیش از ۴۶٪ انرژی تابشی خورشید در بازه محدود طول موج‌های طیف مرئی واقع است، حتی مسدود کردن قسمتی از تابش این طیف می‌تواند نقش مؤثری در جلوگیری از گرم شدن فضای داخل ساختمان ایفا نماید؛ درحالی‌که این موضوع، مدنظر آن سازمان قرار نگرفته است. علت این امر را شاید بتوان نگرانی از تاریک شدن فضای داخل و ترغیب ساکنین به استفاده از نورهای مصنوعی دانست، حال آن‌که شدت روشنایی ناشی از تابش خورشید هم در ایران بسیار بیش از حد نیاز است و ورود تمامی طیف تابشی علاوه بر گرم شدن فضای داخل موجبات ناراحتی‌های دیگری نظیر خیرگی ناشی از شدت تابش را فراهم می‌کند و بنابراین کاهش نسبی میزان عبور نور مرئی ضروری به نظر می‌رسد [۳]. از طرف دیگر، تأثیر طول موج‌های مختلف مرئی هم بر میزان بینایی انسان یکسان نیست و طول موج‌های ناحیه زرد-سبز بیشترین و طول موج‌های قرمز و آبی کمترین اثر را بر بینایی دارند [۴]. بنابراین کاهش عبور مرئی باید آگاهانه و با توجه به منحنی حساسیت چشم انسان صورت پذیرد.

جذب ترجیحی در ناحیه طول موج‌های مرئی طیف، باعث ایجاد رنگ در شیشه می‌گردد. این نوع شیشه از زمان صفویه به معماری ایران وارد شده و در نورگیرها، شبک‌ها و پنجره‌های با شیشه‌های رنگی و گره‌چینی (ارسی) به کار رفته است. در مقاله حاضر برای بررسی میزان تأثیر این شیشه‌ها در کاهش ورود انرژی، ساختار هندسی و ترکیب رنگی چند نمونه ارسی انتخاب شد. سپس طیف انتقالی مرئی و انرژی تابشی عبوری در محدوده مرئی هر یک از انواع شیشه‌های رنگی به کار رفته در آن محاسبه شد. میزان انرژی عبوری از طریق تابش آنها با شیشه ساده مقایسه شد و ضمن توجه به یکسان نبودن حساسیت چشم انسان برای طول موج‌های متفاوت مرئی، نقش مسدود سازی طیف مرئی تابش بر میزان نور و انرژی ورودی ساختمان بررسی گردید. هدف این تحقیق، باز کردن افق دیگری از معماری سنتی ایران است. ضمن این‌که ایده کاهش آگاهانه شدت روشنایی و بهره‌گیری بهینه از تابش خورشید با تأکید بر پتانسیل استفاده از شیشه‌های رنگی در اقلیم‌های با نیاز سرمایش غالب مدنظر قرار گرفته است. نوآوری‌های مقاله حاضر شامل بررسی تأثیر مسدود سازی طیف مرئی بر میزان نور و انرژی می‌باشد و در انتهای بحث، راهکاری عملی در جهت استفاده بهینه از شیشه‌های ساختمانی با توجه به اقلیم و فرهنگ ایران پیشنهاد شده است.

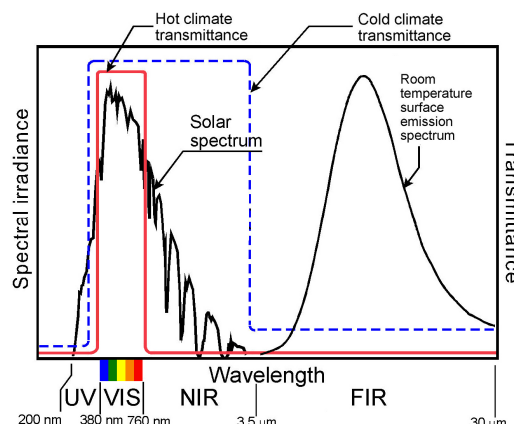
۲- بخش تجربی

۱-۲- مواد و وسایل

در این تحقیق، نمونه‌های قدیمی شیشه‌های به کار رفته در ارسی‌های سنتی در چهار رنگ قرمز، زرد، آبی و سبز (آلمان) از میراث فرهنگی

کشور ایران در منطقه‌ای واقع شده که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی در بین نقاط جهان در بالاترین رده‌ها قرار دارد. میزان تابش خورشیدی در ایران بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال تخمین زده شده است که البته بالاتر از میزان متوسط جهانی است [۱]. در ایران به طور متوسط سالیانه بیش از ۲۸۰ روز آفتابی گزارش شده است که بسیار قابل توجه می‌باشد ولی در عین حال استفاده از سایه‌اندازی و کنترل تابش ورودی در هنگام استفاده از نور مستقیم خورشید را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. سایه‌اندازها، تنوع بسیار زیادی مانند انواع کنسول‌های عمودی و افقی، کرکره خارجی، پرده‌های داخلی، سایبان‌های سبک، استفاده از عوامل خارجی مانند درختان و ... دارد. در این میان، یکی از مواردی که تاکنون کمتر به آن پرداخته شده است سایه‌اندازی توسط خود شیشه می‌باشد.

شیشه به عنوان ماده‌ای که توانایی گذردهی امواج الکترومغناطیسی را دارد، مقداری از انرژی را در حین عبور - به صورت انعکاس و جذب - از ورود آن به ساختمان ممانعت می‌کند. حتی شفاف‌ترین و بی‌رنگ‌ترین شیشه‌ها هم به قسمت عمده‌ای از امواج فرابنفش و فروسرخ اجازه عبور نمی‌دهند. یکی از معتبرترین مراجعی که ضمن طرح بحث شیشه‌های با قابلیت انتخاب طیفی به نقش آنها در جهت جلوگیری از افزایش بار سرمایش ساختمان پرداخته است سازمان انرژی آمریکا^۱ می‌باشد [۲]. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، پیشنهاد این سازمان برای اقلیم‌های سرد، استفاده از شیشه‌های با حداکثر انتقال تشعشعی در محدوده‌های مرئی و فروسرخ، و در اقلیم‌های گرم، استفاده از شیشه‌های با انتقال حداکثر در محدوده مرئی بوده است. ضمن این‌که عبور طیف‌های با طول موج بلند ناشی از گسیل اجسام گرم شده در هیچ یک از این اقلیم‌ها توصیه نشده است.



شکل ۱: طیف عبوری پیشنهاد شده توسط سازمان انرژی آمریکا برای اقلیم‌های سرد و گرم.

2- Human photopic response

1- The U.S. Department of Energy (DOE)

در بررسی‌های انجام شده بر روی ارسی‌های موجود مشاهده شد که شیشه‌های قدیمی مورد استفاده در آنها، ساخت کارخانه‌ای در آلمان بوده و در چهار رنگ قرمز، زرد، آبی سیر و سبز به کار می‌رفته است [۵]. اما متأسفانه نام کارخانه و ترکیب شیمیایی تشکیل‌دهنده شیشه‌ها مشخص نشد. از آنجا که امکان جداسازی قطعات شیشه به کار رفته در تک‌تک بناها - حتی برای مدت زمان محدود آزمایش - بنا به ملاحظات حفاظت از بناهای تاریخی ممکن نبود، یک نمونه از هر رنگ از این شیشه‌ها با همکاری سازمان میراث فرهنگی فارس تهیه شد و طیف انتقالی مرئی هر نمونه (از طول موج ۳۶۰ تا ۷۵۰ نانومتر) توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر موجود در آزمایشگاه فیزیک رنگ پژوهشکده صنایع رنگ ایران مشخص گردید. در این آزمایش، دستگاه برای اندازه‌گیری انتقال طیفی تنظیم شده بود و با توجه به نیم‌شفاف بودن نمونه‌ها، آنها پشت کره نور جمع‌کن قرار گرفتند تا نور به صورت پراکنده به نمونه برخورد نماید و میزان انتقال مشخص شود. سپس نتایج آزمایش، برای بررسی تأثیر طیف‌های عبوری بر بینایی انسان با منحنی حساسیت چشم مقایسه گردید [۶].

فارس تهیه شد و دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل CE-7000A برای اندازه‌گیری انتقال طیفی نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲- روش کار

یکی از مشکلات پیش رو، یافتن نمونه ارسی‌های سنتی بود که کمترین میزان دخل و تصرف در ساختار و ترکیب رنگ شیشه‌های آنها ایجاد شده باشد. در نهایت نه نمونه ارسی (شش نمونه واقع در شیراز، یک نمونه از بوشهر، یک نمونه از یزد و یک نمونه از کرمانشاه) که ترکیب رنگ و هندسه آنها در مرمت تقریباً بدون تغییر باقی مانده بود انتخاب شد و هندسه، ساختار و ترکیب رنگ آنها به وسیله حضور در محل برداشت گردید. موارد برداشت شده به وسیله نرم‌افزار اتوکد شبیه‌سازی شد و درصد استفاده از هر رنگ شیشه در ساختار ارسی، به وسیله همین نرم‌افزار مشخص گردید. به عنوان نمونه، ارسی اصلی و مشابه‌سازی شده در نرم‌افزار مربوط به عمارت باغ دولت‌آباد یزد در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲: نمونه اصلی ارسی مربوط به عمارت باغ دولت‌آباد یزد (چپ) و نمونه مشابه‌سازی شده در نرم‌افزار (راست).

(black body source)-تهیه شده از وبگاه دانشگاه مریلند [۹]- محاسبه شده و سپس حاصلضرب انرژی به دست آمده از هر طول موج در میزان انتقال آن در زاویه نرمال برای مقایسه عبور طیفی از ارسی‌ها مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین ذکر این نکته ضروری است که مسلمان اعداد به دست آمده بیانگر انرژی عبوری از شیشه در زمان و مکانی خاص نیستند. این اعداد صرفاً معیاری هستند که می‌تواند مقایسه انرژی عبوری از مجموعه ارسی‌ها را با یکدیگر و با شیشه ساده مرجع تسهیل نماید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی میزان استفاده از هر رنگ شیشه در ارسی‌ها

پس از برداشت نمونه‌ها و درصدگیری، مشاهده شد که ترکیب رنگ ارسی در نمونه‌های بزرگ مقیاس (با ارتفاع سقف بیشتر از پنج متر) و کوچک مقیاس (با ارتفاع سقف کمتر از پنج متر) با یکدیگر متفاوت است. شیشه‌های زرد رنگ بیشترین میزان و شیشه‌های آبی رنگ کمترین میزان استفاده را در ارسی‌های به کار رفته در فضاهای بزرگ مقیاس داشت. این در حالی است که در نمونه‌های کوچک مقیاس تقریباً تمامی رنگها به صورت مساوی به کار رفته بودند. علت این امر احتمالاً نیاز فضاهای بزرگ مقیاس به نورگیری و درخشندگی بیشتر بوده است. ذکر این نکته جالب توجه است که انتظار می‌رفت با توجه به هزینه بالای شیشه‌های قرمز رنگ -که حدود سه برابر سایر شیشه‌های رنگی قیمت دارند- شاهد کاربرد درصد پائینی از آنها در ارسی‌های سنتی باشیم. اما نتایج نشان‌دهنده کاربرد قابل توجه شیشه‌های قرمز هم در نمونه‌های بزرگ مقیاس و هم در نمونه‌های کوچک مقیاس بوده است. درصد استفاده از هر رنگ شیشه در ترکیب‌بندی کلی ارسی‌های برداشت شده در جدول ۱ ارائه شده است.

۳-۲- بررسی طیف عبوری از تک تک شیشه‌ها و مجموعه ارسی

از طرف دیگر، نتیجه آزمون طیف انتقالی در ناحیه طول موج‌های ۳۶۰ تا ۷۵۰ نانومتر از نمونه شیشه‌های رنگی، به همراه منحنی حساسیت چشم انسان در شکل ۳ ارائه شده است. حساسیت چشم یک کمیت نسبی می‌باشد که معمولاً با عددی بین صفر و یک مشخص می‌شود. کمیت فوق این قابلیت را دارد که به صورت درصد نوشته شود و به طور همزمان در جهت مقایسه با طیف انتقالی شیشه ارائه گردد [۲، ۶].

روش ابداعی این تحقیق، برای محاسبه طیف عبوری مجموعه ارسی‌ها در ذیل شرح داده شده است. در صورتی که موارد ذیل موجود باشد:

$T_{y\lambda}$: طیف انتقالی شیشه زرد در طول موج λ

$T_{r\lambda}$: طیف انتقالی شیشه قرمز در طول موج λ

P_y : درصد استفاده از شیشه زرد در ارسی

P_r : درصد استفاده از شیشه قرمز در ارسی

$T_{b\lambda}$: طیف انتقالی شیشه آبی در طول موج λ

$T_{g\lambda}$: طیف انتقالی شیشه سبز در طول موج λ

P_b : درصد استفاده از شیشه آبی در ارسی

P_g : درصد استفاده از شیشه سبز در ارسی

طیف انتقالی مجموعه ارسی در طول موج λ با معادله ۱ به دست می‌آید:

$$T_{total\lambda} = T_{y\lambda} \cdot P_y + T_{b\lambda} \cdot P_b + T_{r\lambda} \cdot P_r + T_{g\lambda} \cdot P_g \quad (1)$$

این محاسبات برای طول موج‌های ۳۶۰ تا ۷۵۰ نانومتر و برای هر ۹ نمونه ارسی مورد مطالعه انجام شد و نتیجه نهایی با منحنی طیف عبوری شیشه ساده مرجع مقایسه گردید [۷].

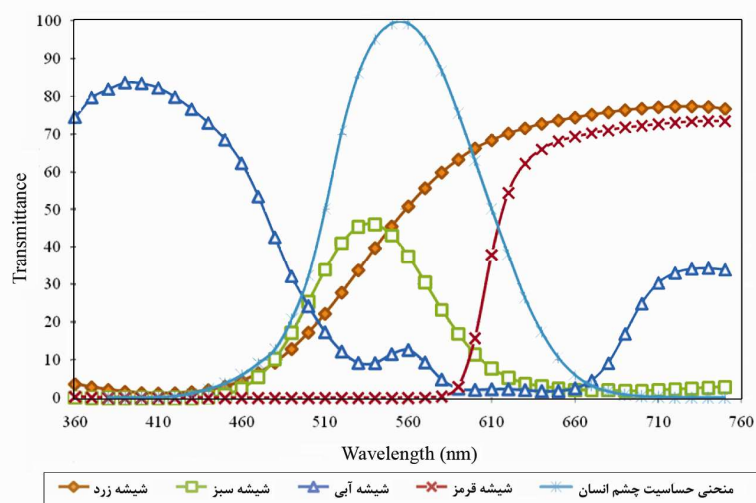
در شرایط عادی، عواملی همچون عرض جغرافیایی، اقلیم، زمان، زاویه سمت و ارتفاع خورشید در آسمان، جهت قرارگیری پنجره نسبت به جنوب جغرافیایی، زاویه پنجره نسبت به افق، درصد ابرناکی آسمان و... در میزان انرژی دریافتی و عبوری پنجره مؤثرند [۸]. در صورتی که هدف، بررسی یک نمونه شیشه یا پنجره خاص در اقلیم‌های گوناگون باشد تمامی عوامل بالا باید مدنظر قرار گیرند. اما از آنجا که درصد استفاده از شیشه‌های رنگی در هر یک از ارسی‌های بررسی شده متفاوت است و این پنجره‌های متفاوت در مناطق اقلیمی مختلفی نیز واقع شده‌اند، مسلماً تأثیر دادن فاکتورهای فوق نمی‌توانست معیاری برای مقایسه آنها به دست دهد.

بنابراین برای مقایسه انرژی عبوری مجموعه ارسی‌ها، حالتی مجرد مدنظر قرار گرفت. در مورد زاویه تابش، از زاویه عمود^۱ (همان زاویه تابش دستگاه اسپکتروفوتومتر در محاسبه طیف انتقالی) استفاده شد. از آنجا که منبع انرژی مورد نظر (خورشید) را می‌توان به عنوان یک جسم سیاه با دمای ۵۵۰۰ K و ضریب گسیل یک تصور کرد، انرژی ساطع شده هر طول موج از جسمی با شرایط مذکور بر اساس قانون تابش جسم سیاه پلانک با استفاده از نرم افزار صفحه گسترده

1- Normal incident

جدول ۱: درصد استفاده از هر رنگ شیشه در ترکیب‌بندی کلی ارسی‌های برداشت شده

نمونه	محل قرارگیری	زرد	سبز	آبی	قرمز
۱	مجموعه ارگ کریمخان شیراز	٪۴۱٫۷۷	٪۱۵٫۳۹	٪۱۹٫۰۱	٪۲۳٫۸۳
۲	مجموعه ارگ کریمخان شیراز	٪۴۵٫۷۷	٪۱۲٫۸۶	٪۲۲٫۱۶	٪۱۹٫۲۱
۳	عمارت باغ دولت آباد یزد	٪۳۱٫۲۹	٪۳۰٫۶۸	٪۱۴٫۷۴	٪۲۳٫۲۹
۴	تکیه معاون‌الملک کرمانشاه	٪۳۶٫۰۲	٪۲۲٫۳۰	٪۱۴٫۶۲	٪۲۷٫۰۶
متوسط بزرگ مقیاس					
۵	خانه رضازاده بوشهر	٪۲۱٫۶۷	٪۲۵٫۳۴	٪۲۶٫۶۷	٪۲۶٫۳۲
۶	امامزاده زنجیری شیراز	٪۲۵٫۹۰	٪۲۵٫۸۲	٪۲۱٫۷۸	٪۲۶٫۵۰
۷	شبستان مسجد نصیرالملک شیراز	٪۲۵٫۳۵	٪۲۲٫۶۳	٪۲۴٫۶۸	٪۲۷٫۳۴
۸	شبستان مسجد نصیرالملک شیراز	٪۲۷٫۶۴	٪۲۱٫۷۲	٪۲۳٫۹۳	٪۲۶٫۷۱
۹	شبستان مسجد نصیرالملک شیراز	٪۲۱٫۸۸	٪۳۰٫۴۰	٪۲۳٫۶۵	٪۲۴٫۰۷
متوسط کوچک مقیاس					
		٪۲۴٫۴۹	٪۲۵٫۱۸	٪۲۴٫۱۴	٪۲۶٫۱۹

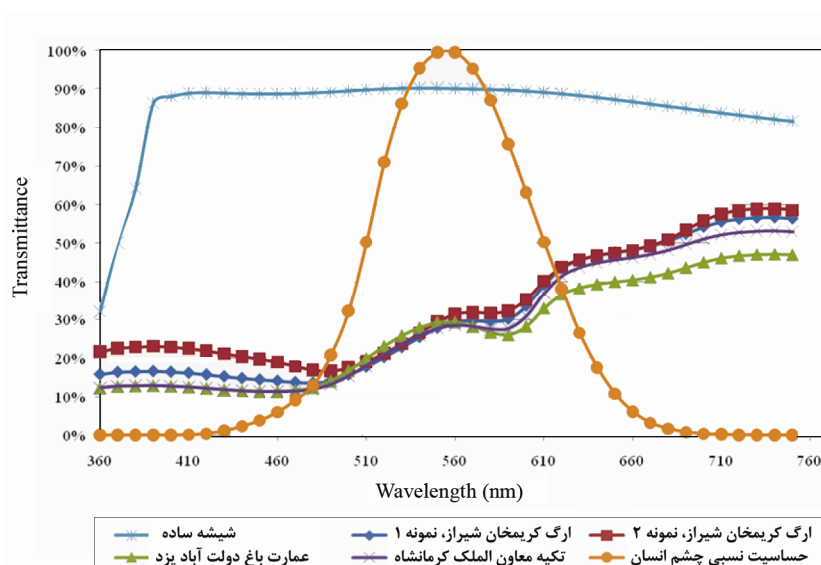


شکل ۳: نتیجه آزمون طیف انتقالی از نمونه شیشه‌های رنگی در طول موج‌های ۳۶۰ تا ۷۵۰ نانومتر.

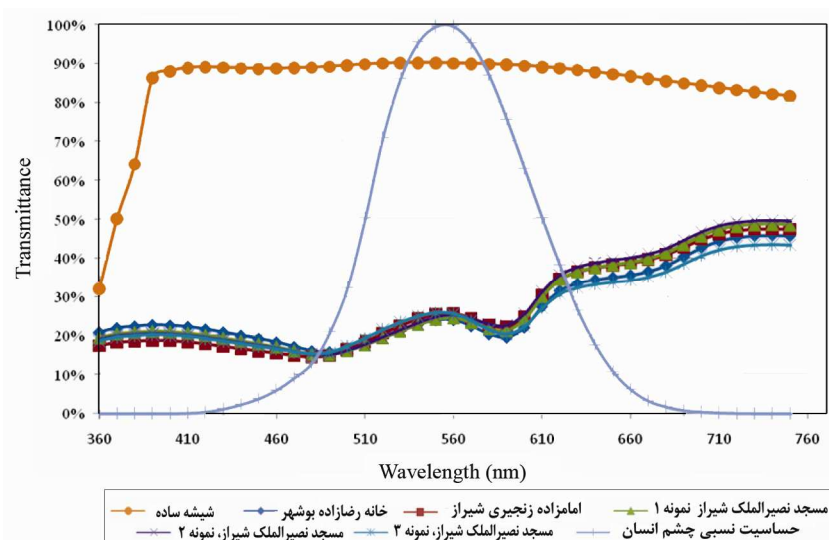
طول موج‌ها بیش از ۵۰٪ نیست به عنوان یک شیشه بهینه از لحاظ عبور نور نمی‌تواند مدنظر قرار گیرد.

تغییرات کلی عبور نور بر اساس طول موج در نمونه‌های ارسی که در بخش تجربی قید شده است، نشان می‌دهد علی‌رغم تفاوت حدود ۱۰ درصدی استفاده از شیشه زرد و آبی‌رنگ در نمونه‌های کوچک مقیاس و بزرگ مقیاس، نمودارهای کلی عبور طیفی در آنها (شکل‌های ۴ و ۵) تقریباً مشابه است. این نمودارها همچنین تأیید می‌کنند که با توجه به نامناسب بودن عبور طیفی شیشه‌ها، طول موج‌های عبوری از مجموعه ارسی هم نتوانستند میزان تابش نور بهینه منطبق با حساسیت بینایی انسان را در فضای داخل ساختمان به وجود آورند.

شکل ۳ نشان می‌دهد که طیف عبوری در هیچ کدام از نمونه‌های شیشه با منحنی حساسیت چشم مطابقت ندارد. همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد، شیشه‌های آبی و قرمز در محدوده‌ای که چشم بیشترین حساسیت را دارد حداقل میزان نور را عبور می‌دهند. اما متأسفانه شیشه‌های زرد رنگ، که انتظار می‌رفت بیشترین میزان روشنایی را ایجاد کنند، طیف زرد - نارنجی را از خود عبور می‌دهند و حداکثر عبور طیفی آنها در محدوده طول موج‌های ۶۳۰-۷۵۰ نانومتر اتفاق می‌افتد که با میزان بیشینه حساسیت چشم (۵۵۰ نانومتر) منطبق نیست. در مورد شیشه‌های سبز نیز اگرچه میزان بیشینه طیف عبوری آنها با میزان بیشینه حساسیت چشم انطباق نسبی دارد اما با توجه به این که میزان انتقال طیفی این شیشه در هیچ یک از



شکل ۴: تغییرات عبور نور بر حسب طول موج در نمونه ارسی های بزرگ مقیاس.



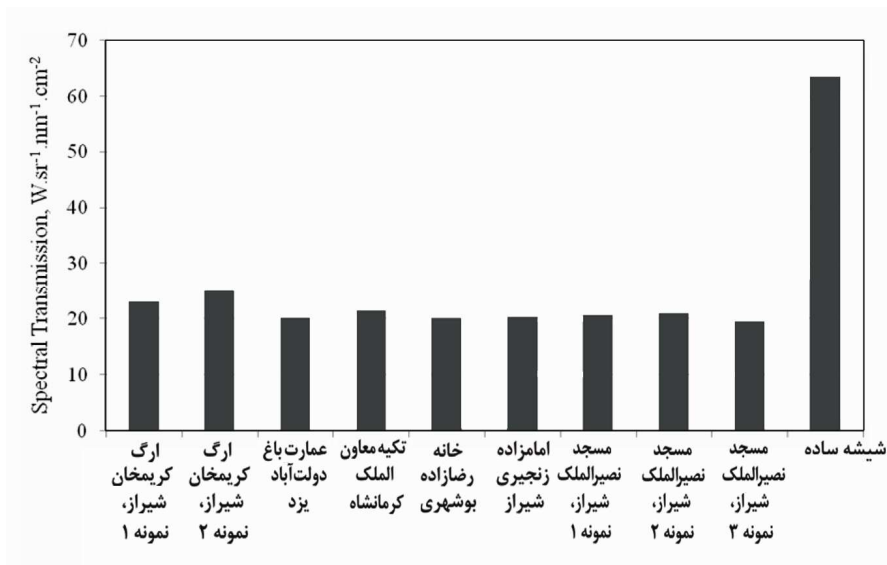
شکل ۵: تغییرات عبور نور بر حسب طول موج در نمونه ارسی های کوچک مقیاس.

انرژی عبوری تک تک طول موج ها - در شکل ۶ نشان داده شده است و با حالتی که به جای شیشه های رنگی از شیشه ساده بی رنگ مرجع استفاده شده باشد مقایسه شده است. این نمودار مشخص می کند که در مجموع، انرژی انتقالی از طریق تشعشع، در هر یک از ارسی های برداشت شده حدود یک سوم حالتی است که صرفاً از شیشه ساده استفاده شده باشد. با این وجود، از آنجا که قسمت عمده ای از انرژی توسط شیشه های رنگی جذب می شود و بر اثر گسیل طول موج های بلند (در محدوده فروسرخ دور) دوباره به داخل برمی گردد در مورد تأثیر اقلیمی این شیشه ها نمی توان اظهار نظر دقیقی نمود.

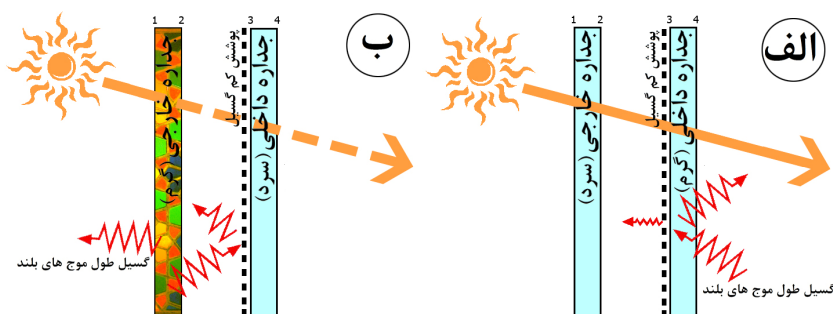
این نمودارها همچنین نشان می دهند که در تمامی نمونه های مورد بررسی، درصد عبور طول موج های بالاتر (که سطح انرژی پائین تری دارند) حدود دو برابر بیشتر از طول موج های پائین (با سطح انرژی بالا) می باشد. عبور طیف های کم انرژی در ارسی ها از لحاظ اقلیمی بسیار جالب توجه است و می تواند به جلوگیری از ورود انرژی به فضای داخل کمک کند.

۳-۳- مقایسه انرژی عبوری مجموعه ارسی ها

انرژی کل عبوری هر یک از ارسی های بررسی شده - برابر حاصل جمع



شکل ۶: مقایسه مجموع انرژی عبوری از طریق تابش در طول موج های بررسی شده در نمونه‌های ارسی.



شکل ۷: مقایسه استفاده از شیشه‌های رنگی در مجموعه کم‌گسیل.

۳-۴- پیشنهاد استفاده از شیشه‌های رنگی در مجموعه‌های کم‌گسیل

برای کاهش اثر گسیل دهندگی شیشه، از پوشش‌های خاص استفاده می‌شود و در نتیجه وقتی شیشه گرم می‌شود به جای این که گرمای خود را گسیل دهد، آن را بازتابش می‌کند. بیشترین بازدهی شیشه‌های کم‌گسیل فعلی (شکل ۷-الف) در مناطق با نیاز گرمایشی غالب است. در این مناطق که شدت تابش خورشید زیاد نیست حداکثر استفاده از انرژی تابشی خورشید مدنظر است ضمن اینکه بایستی از هدر رفتن گرمای ایجاد شده توسط سیستم‌های مکانیکی داخل ساختمان جلوگیری شود. در این شرایط، اضافه کردن پوشش کم‌گسیل می‌تواند از هدر رفتن گرما به وسیله گسیل طول موج‌های

بلند به خارج جلوگیری نماید و در جهت حفظ حرارت در درون ساختمان نقش ایفا نماید. در حالی که استفاده از این شیشه‌ها در مناطق گرم، می‌تواند موجب به دام افتادن گرما در درون ساختمان شود و آسایش حرارتی ساکنان را با مشکل جدی مواجه کند. از طرف دیگر، همان طور که قبلاً بیان شد، گسیل طول‌موج‌های بلند به داخل ساختمان (توسط شیشه‌های رنگی گرم شده بر اثر جذب تابش) می‌تواند تأثیر مثبت آنها در جلوگیری از ورود انرژی تابشی مستقیم را خنثی سازد. بنابراین استفاده از راهکاری برای جلوگیری از ورود این امواج به داخل می‌تواند برطرف کننده این مشکل باشد. با توجه به این موضوع که حدود دو سوم مناطق ایران دارای اقلیمی با بار سرمایش غالب می‌باشد و استفاده از توصیه‌ها و روش‌های مناطق

۴- نتیجه گیری

شیشه‌های رنگی می‌توانند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر دریافت انرژی پنجره داشته باشند و در صورت جلوگیری از ورود امواج گسیل شده با طول موج بالا به داخل، میزان انرژی عبوری در محدوده مرئی را به حدود یک سوم کاهش دهند. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به تمرکز این مقاله بر نور و انرژی طیف مرئی، سازندگان محترم شیشه جهت مسدود سازی طیف‌های فرابنفش و فروسرخ در شیشه‌های پیشنهادی برای مناطق سردسیر یا گرمسیر، باید از نتایج سایر مطالعات انجام شده استفاده کنند. طیف انتقالی شیشه‌های رنگی قدیمی با حساسیت بینایی انسان منطبق نیست. بنابراین تاریخ بودن فضاهای سنتی که این شیشه‌ها در ارسی‌های آنها به کار رفته دور از انتظار نمی‌باشد. با توجه به تنوع کنونی شیشه‌های رنگی و در دسترس بودن نمونه‌های متعدد با میزان عبور طیفی متفاوت، مسلماً امکان انتخاب شیشه‌هایی که بیشترین همخوانی ممکن را با حساسیت چشم انسان داشته باشد در مجموعه‌های کم‌گسیل فراهم است و بررسی انتقال طیفی این شیشه‌ها، قبل از استفاده، در جهت جلوگیری از تاریخ شدن فضای داخل ساختمان توصیه می‌شود.

تشکر و قدردانی

از سرکار خانم مهندس خلیلی، مسئول آزمایشگاه فیزیک رنگ پژوهشکده صنایع رنگ به دلیل انجام آزمون طیف انتقالی بر روی نمونه‌های شیشه سپاسگزاری می‌شود.

سردسیر در آنها کاربردی نیستند، ارائه راهکارهای عملی برای جلوگیری از گرم شدن بیش از حد فضای داخل ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، استفاده از شیشه‌های رنگی در مجموعه‌های کم‌گسیل (شکل ۷-ب) در این مقاله پیشنهاد شده است. طی این پیشنهاد، شیشه‌های رنگی میزان نور ورودی ساختمان را به صورت بهینه و با توجه به منحنی حساسیت چشم کاهش می‌دهند و در نتیجه بار سرمایش کلی ساختمان کاهش می‌یابد. از طرف دیگر از آنجا که دمای جداره خارجی شیشه بر اثر جذب انرژی تابشی خورشید افزایش می‌یابد و این جداره هم شروع به گسیل طول موج‌های بلند می‌کند، استفاده از پوشش کم‌گسیل بر روی سطح سوم مجموعه دو جداره، می‌تواند امکان گسیل این طول موج‌ها به فضای داخل را منتفی سازد. البته مجهز کردن شیشه‌های رنگی با پوشش‌های کم‌گسیل (استفاده از این پوشش بر روی سطح دوم مجموعه دو جداره) هم می‌تواند تأثیر مشابهی داشته باشد که برای رعایت اختصار در مقاله از بیان آن خودداری می‌شود. با توجه به تنوع بسیار گسترده آب و هوایی ایران، مسلماً نمی‌توان برای تمام مناطق آن دستورالعمل یکسانی ارائه کرد و استفاده از شیشه‌های کم‌گسیل یا شیشه‌های رنگی باید با توجه به منطقه اقلیمی صورت گیرد به گونه‌ای که بیشترین تطابق را با اقلیم و فرهنگ ما داشته باشد.

۵- مراجع

1. B. Safaai, M. Khalaji Asadi, H. Taghzadeh, A. Jilavi, G. Taleghani, M. Danesh, Estimating Solar Energy Potential in Iran and Related Radiation Atlas. *J. Nuclear Sci. Tech.* 33(2005), 27-34.
2. E. S. Lee, Spectrally Selective Glazings. Federal Technology Alert, New Technology Energy Management Program, Federal Energy Management Program, DOE/EE-0173, 1998.
3. M. Tahbaz, Evaluating Solar Energy and Daylight Simultaneously in Window Design. PhD. Thesis School of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Tehran, 2004, 24-59.
4. S. K. Shevell, The Science of Color. 2nd edition. Elsevier science & Optical Society of America (OSA). (2003), 16-91
5. M. Amrayi, Orsi: The windows to the light. SAMT publication, Tehran. (2004), 100-101.
6. W. R. McCluney, Introduction to Radiometry and Photometry. Artech House, Inc. Norwood. USA. 1994, 33-36
7. E. L. Bourhis, Glass: Mechanics and Technology. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. (2008), 39-44.
8. T. Muneer, Solar Radiation and Daylight Models. 2nd edition. Elsevier Butterworth-Heinemann publications. Oxford. (2004), 13-17.
9. URL-
<http://www.wam.umd.edu/~toh/SimpleModels/BlackbodySource.xls> (visited on 2009/01/10).