



تحلیل معیارهای تابش عبوری از مجموعه شیشه‌های رنگی ارسی‌های دوره صفوی

محمد حق شناس^۱، محمدرضا بمانیان^{۲*}، زهرا قیابکلو^۳

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۴۱۱۵-۳۳۵

۲- استاد، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۴۱۱۵-۳۳۵

۳- دانشیار دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۴۵۸

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۳ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۵/۳/۲۰

چکیده

هدف از این تحقیق، تکمیل مطالعات پیشین در مورد دلایل استفاده از شیشه‌های رنگی در معماری سنتی ایران است. روش تحقیق تلفیقی از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، برداشت میدانی و محاسبات عددی است. ابتدا طیف عبوری از نمونه شیشه‌های رنگی و ساده به وسیله دستگاه طیف‌سنج اندازه‌گیری شد، سپس درصد استفاده از هر رنگ شیشه در مجموعه ارسی‌ها با برداشت میدانی تعیین شد و در نهایت شاخص‌های مربوط به تابش عبوری از هر یک از ارسی‌ها با توجه به مشخصات نوری شیشه‌های منفرد و درصد استفاده از هر نوع شیشه در هر ارسی محاسبه شد. نتایج نشان داد انتخاب نوع شیشه در ارسی‌ها به صورتی بوده که بیش از آن که موجب کاهش عبور نور مرئی یا انرژی تابشی عبوری شود، عبور طول‌موج‌های مخرب برای پوست و سایر مواد و مصالح موجود در فضای داخلی ساختمان را کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: شیشه رنگی، ارسی، انتقال طیفی، عبور نور مرئی، ضریب تخریب پوست، ضریب تخریب CIE.

Analysis the Criteria of Solar Transmittance from Stained Glasses Used in Some of the Orosis from Safavid Dynasty

M. Haghshenas¹, M. R. Bemanian^{2*}, Z. Ghiabaklou³

¹ Faculty of Art, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran; P.O.Box: 14115-335.

² College of Fine Arts, University of Tehran, Enghelab Ave., Tehran, Iran; P.O.Box: 14155-6458.

Received: 26-05-2015

Accepted: 24-11-2015

Available online: 09-06-2016

Abstract

This research aims to complete previous studies on advantages of stained glass used in traditional Persian architecture. A research method combined of laboratory measurements, field surveys and numerical calculations was employed. Firstly, spectral transmittance of glazing samples were measured by spectrophotometer. Next, percentage of using each glass in each Orosi window were specified by field surveys; ultimately, the solar transmittance factors of each Orosi window were quantified based on the optical characteristics of individual glass samples, and percentage of using each of them in the Orosi window. The results indicated that although Orosi windows decrease transmission of visible light, but they reduce transmission of wavelengths harmful to human skin and damaging for materials, more than the reduction of visible light transmittance. *J. Color Sci. Tech.* 10(2016), 55-64©. Institute for Color Science and Technology.

Keywords: Stained glass, Orosi, Spectral transmittance, Visible transmittance, Skin damage Factor, CIE damage factor.

۱- مقدمه

اغلب عناصر به کار رفته در معماری ایران چندعملکردی بوده‌اند؛ به این معنا که تقریباً هیچ عنصری صرفاً برای زیبایی یا تزئین استفاده نمی‌شده است [۱]. به‌عنوان مثال کاربردی‌های موجود در فضای داخلی علاوه بر ایفای نقش تزئینی، انتقال بار ساختمان را هم انجام می‌دهد و کاشی‌کاری‌های موجود در گنبد یا دیوارهای مساجد علاوه بر زیبایی، نقش عایق رطوبتی جدارها را هم ایفا می‌کرده‌اند. شیشه‌های رنگی هم از این قاعده مستثنی نبوده‌اند و این شیشه‌ها علاوه بر تزئین و کیفیت بخشی به فضای داخلی، عملکردهای دیگری نیز بر عهده داشته‌اند. پیرنیا، دلیل استفاده از شیشه‌های رنگی را حفظ حریمیت افراد در فضای داخلی خانه می‌داند [۲]. برخی از مراجع، استفاده از شیشه‌های رنگی را عامل دفع حشرات مزاحم ذکر کرده‌اند [۳]. مؤلفین نیز در مطالعات قبلی خود تأثیر استفاده از شیشه‌های رنگی (مربوط به ۹ نمونه ارسی سنتی) را در کنترل انرژی تابشی ورودی به فضای داخلی ساختمان بررسی کرده‌اند [۴]. باوجود این، اثرات تابش خورشید به نور و انرژی محدود نمی‌شود.

بخشی از طول موج‌های خورشید می‌تواند سبب تخریب اثاثیه و مبلمان داخلی و حتی ایجاد سرطان پوست شود. سرطان پوست یکی از رایج‌ترین گونه‌های سرطان در بسیاری از کشورهاست [۵] و قرار گرفتن در معرض پرتو فرابنفش خورشید، یکی از اصلی‌ترین دلایل ایجاد آن به‌شمار می‌آید [۶]. مطالعات اخیر نشان می‌دهد تأثیر طول موج‌های نزدیک به طیف مرئی و به‌خصوص UVA (۳۴۰ تا ۴۰۰ نانومتر) در ایجاد سرطان پوست، بیشتر از چیزی است که پیشتر تصور می‌شد [۷، ۸]. این درحالی است که شیشه ساده معمول بخش قابل‌ملاحظه‌ای از تابش UVA خورشید را از خود عبور می‌دهد، به‌نحوی که هر فرد ساکن در فضای داخلی در طول روز به‌طور متوسط در معرض 1500 J/cm^2 تابش UVA قرار می‌گیرد [۹]. از طرف دیگر تأثیر طول موج‌های مرئی تابش خورشید بر رنگ‌پریدگی و فرسایش مبلمان و اثاثیه منزل نیز امری شناخته‌شده است [۱۰].

باتوجه به این‌که شیشه‌های رنگی به‌دلیل مسدود کردن بخشی از طول موج‌های مرئی و همچنین نزدیک به طیف مرئی تابش، عملکرد متفاوتی نسبت به شیشه‌های ساده دارند، فرضیه تأثیر آنها در کاهش طول موج‌های مخرب خورشید دور از ذهن نیست. هدف از این تحقیق، تکمیل مطالعه قبلی مؤلفین در مورد تأثیرات مختلف استفاده از شیشه‌های رنگی در معماری سنتی ایران است؛ برای این منظور، موارد به شرح زیر تکمیل شده‌اند: الف) بررسی صرفاً به‌بازة طول موج‌های مرئی محدود نشده و کل بازة تابشی خورشید را دربر گرفته است. ب) مطالعه شاخص‌های تابش خورشیدی تکمیل تر شده و به‌غیر از بررسی دقیق‌تر انرژی تابشی عبوری، عوامل دیگری نظیر «ضرب عبور نور مرئی»، «ضرب عبور فرابنفش»، «ضرب تخریب CIE» (مربوط به اثرات مخرب تابش بر اشیا و لوازم داخل ساختمان)،

و «ضرب تخریب پوست» (مربوط به اثرات مخرب تابش بر پوست انسان) هم در نظر گرفته شده است. ج) بررسی‌ها از مطالعه صرف جسم سیاه فراتر رفته و با استفاده از منابع جدیدتر و استانداردهای مرتبط، تصحیح شده است. د) تعداد نمونه‌های بررسی‌شده از ۹ به ۲۲ نمونه افزایش یافته تا نتایج دقیق‌تر و قابل‌استنادتری حاصل شود. مقادیر جذب، بازتابش و انتقال نور تابشی از اجسام با استفاده از طیف‌سنجی تعیین می‌شوند. از آنجاکه این مقادیر نسبت به انرژی تابشی به اجسام سنجیده می‌شوند، به‌صورت درصد یا مقداری بین صفر و یک ارائه می‌شوند [۱۱]. روش انجام پژوهش به این‌صورت بوده که در ابتدا طیف عبوری از نمونه شیشه‌ها با استفاده از سه دستگاه طیف‌سنج در محدوده طول موج‌های ۲۰۰ الی ۵۰۰۰ نانومتر مشخص شد و شاخص‌های مربوط به تابش خورشیدی عبوری از شیشه‌ها محاسبه شدند. سپس ۲۲ نمونه ارسی سنتی مربوط به ۱۶ خانه دوره صفوی انتخاب و درصد استفاده از هر نوع شیشه در آنها مشخص شد. به‌منظور محاسبه شاخص‌های تابش عبوری از مجموعه ارسی‌ها، شاخص‌های مربوط به تابش عبوری از شیشه‌های منفرد برحسب درصد کاربرد هر یک از آنها در ارسی‌ها وزن‌دهی شدند. در نهایت نسبت این شاخص‌ها به شاخص‌های تابش عبوری از شیشه ساده با یکدیگر مقایسه شد تا مشخص شود اگر در ارسی‌ها به‌جای شیشه‌های رنگی صرفاً از شیشه‌های ساده استفاده شده بود تابش عبوری از آنها چه تفاوتی می‌کرد؟

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد

شیشه‌های رنگی به‌کار رفته در معماری سنتی از تنوع نسبتاً زیادی برخوردار هستند. برخی از آنها در داخل ایران و به‌روش‌های دستی تولید می‌شده‌اند و برخی دیگر از سایر کشورها (به‌خصوص آلمان) وارد می‌شده‌اند [۱۲]. بررسی دقیق تابش عبوری از ارسی‌های سنتی، مستلزم آزمایش تک‌تک شیشه‌های به‌کار رفته در آن است؛ اما از آنجا که انجام این کار عملاً امکان‌پذیر نیست، مجبور به انجام آزمایش صرفاً بر روی برخی از نمونه‌ها و تعمیم نتایج به کل مجموعه هستیم. بنابراین در این تحقیق چهار نمونه شیشه رنگی از نوع آلمانی (به رنگ‌های قرمز، زرد، آبی و سبز) به همراه شیشه ساده با همکاری سازمان میراث فرهنگی فارس تهیه و آزمایش عبور طیفی با استفاده از دستگاه طیف‌سنج بر روی آنها انجام شد.

۲-۲- روش کار

۲-۲-۱- اندازه‌گیری طیف انتقالی نمونه شیشه‌ها

طیف انتقالی نمونه شیشه‌ها سه مرتبه با سه دستگاه طیف‌سنج به شرح زیر بررسی شدند:

$e^{-0.012\lambda}$ = خواهد بود در شرایطی که طول موج (λ) به نانومتر وارد شود. مقادیر نرمال $C_\lambda S_\lambda \Delta_\lambda$ برای طول موج‌های مختلف از استاندارد ISO:9050 استخراج می‌شود [۱۴]. بر این اساس، τ_{df} عددی بین صفر و یک (یا به صورت درصد) به دست می‌آید که برای طول موج‌های ۳۰۰ تا ۶۰۰ نانومتر محاسبه می‌شود. بالا بودن میزان τ_{df} به معنای مضر بودن طیف عبوری از شیشه برای اشیاء و لوازم درون ساختمان و پایین بودن آن به معنای جذب یا انعکاس این طول موج‌های مضر توسط شیشه خواهد بود.

(ج) ضریب تخریب پوست: براساس رابطه ۳ محاسبه شده است [۱۴].

$$F_{sd} = \frac{\sum_{\lambda=300}^{400} T(\lambda) E_\lambda S_\lambda \Delta_\lambda}{\sum_{\lambda=300}^{400} E_\lambda S_\lambda \Delta_\lambda} \quad (3)$$

که در این رابطه: E_λ طیف مؤثر در آفتاب‌سوختگی برحسب CIE^۱ است. مقادیر نرمال $E_\lambda S_\lambda \Delta_\lambda$ برای محاسبه ضریب تخریب پوست از استاندارد ISO:9050 استخراج می‌شود [۱۴]. بر این اساس، F_{sd} عددی بین صفر و یک (یا به صورت درصد) به دست می‌آید که برای طول موج‌های ۳۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر محاسبه می‌شود. بالا بودن میزان F_{sd} به معنای مضر بودن طیف عبوری از شیشه برای پوست انسان و پایین بودن آن به معنای جذب یا انعکاس این طول موج‌ها توسط شیشه خواهد بود.

(د) عبور فرابنفش: براساس رابطه ۴ محاسبه شده است [۱۴، ۱۳].

$$T_{uv} = \frac{\sum_{\lambda=300}^{380} T(\lambda) S_\lambda \Delta_\lambda}{\sum_{\lambda=300}^{380} S_\lambda \Delta_\lambda} \quad (4)$$

که در این رابطه، مقادیر نرمال $S_\lambda \Delta_\lambda$ از استانداردهای مرتبط استخراج می‌شود [۱۳، ۱۴]. به این صورت، میزان T_{uv} عددی مابین صفر و یک (یا به صورت درصد) به دست می‌آید. بالا بودن T_{uv} به معنای عبور بخش عمده طول موج‌های UVC از شیشه، و پایین بودن آن، به معنای جذب یا انعکاس این طول موج‌ها به وسیله شیشه خواهد بود.

(ه) عبور انرژی تابشی: محاسبه دقیق تابش عبوری در یک زمان و مکان مشخص، به در نظر گرفتن عواملی نظیر عرض جغرافیایی محل، زاویه سمت و ارتفاع خورشید، جهت قرارگیری پنجره نسبت به جنوب جغرافیایی، زاویه پنجره نسبت به افق، شرایط جوی و درصد ابرناکی آسمان، تعیین سایه‌اندازی اجسام اطراف، و ... نیاز دارد [۱۵]. اما در نظر گرفتن همه این عوامل نمی‌تواند معیار مناسبی برای مقایسه ارسی‌هایی به دست دهد که در تمام این موارد با یکدیگر اختلاف دارند. حق شناس و قیابکلو برای حل این مشکل، سنجش تمام پنجره‌ها نسبت به انرژی تابشی یک جسم سیاه با دمای ۵۵۰۰

محدوده طول موج‌های ۲۰۰ الی ۱۱۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف‌سنج مدل UV/VIS T80+ ساخت شرکت PG Instruments Ltd.

محدوده طول موج‌های ۳۰۰ الی ۵۰۰۰ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف‌سنج مدل Carry 500 UV-VIS-NIR.

آزمایش FT-IR در محدوده بسامدهای ۴۰۰ الی ۴۰۰۰ (طول موج‌های ۲۵۰۰ تا ۲۵۰۰۰ نانومتر) با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر Thermo Nicolet NEXUS 670 FT-IR.

در دو آزمایش اول، طیف انتقالی شیشه‌ها در محدوده طول موج‌های تابش خورشیدی فرابنفش، مرئی، و زیرقرمز نزدیک (۲۰۰ الی ۵۰۰۰ نانومتر) و در آزمایش سوم، طیف انتقالی شیشه‌ها در محدوده طول موج‌های زیرقرمز دور به دست آمد.

۲-۲-۲- محاسبه شاخص‌های تابش عبوری از نمونه شیشه‌ها

پس از مشخص شدن طیف انتقالی از نمونه شیشه‌ها، شاخص‌های تابش عبوری از آنها به شرح زیر محاسبه شدند.

(الف) عبور نور مرئی: براساس رابطه ۱ محاسبه شده است [۱۴، ۱۳].

$$T_{vis} = \frac{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} T(\lambda) D_\lambda V(\lambda) \Delta_\lambda}{\sum_{\lambda=380nm}^{780nm} D_\lambda V(\lambda) \Delta_\lambda} \quad (1)$$

که در این رابطه: D_λ نسبت توزیع طیفی منبع نور به توزیع طیفی استاندارد D65^۱ است؛ $V(\lambda)$ ضریب روشنایی طیفی بر اساس منحنی بینایی طیفی^۲ و Δ_λ فاصله میان طول موج‌ها^۳ است. مقادیر $D_\lambda V(\lambda) \Delta_\lambda$ به صورت نرمال شده از استانداردهای مرتبط استخراج می‌شود [۱۳، ۱۴]. $T(\lambda)$ نیز میزان انتقال طیفی شیشه در هر طول موج (λ) است. بر این اساس، T_{vis} عددی بین صفر و یک (یا به صورت درصد) به دست می‌آید که برای قسمت مرئی طیف (طول موج‌های ۳۸۰ تا ۷۸۰ نانومتر) محاسبه می‌شود. پائین بودن میزان T_{vis} به معنای کاهش قدرت واقعی دید در فضای داخلی و بالا بودن آن به معنای افزایش قدرت واقعی دید در فضای داخل خواهد بود.

(ب) ضریب تخریب CIE: براساس رابطه ۲ محاسبه شده است [۱۴].

$$\tau_{df} = \frac{\sum_{\lambda=300}^{600} T(\lambda) C_\lambda S_\lambda \Delta_\lambda}{\sum_{\lambda=300}^{600} C_\lambda S_\lambda \Delta_\lambda} \quad (2)$$

که در این رابطه: S_λ نسبت توزیع طیفی تابش خورشید^۴ است و C_λ

- 1- Relative Spectral Distribution of Illuminant D65
- 2- Spectral Luminous Efficiency for Photopic Vision
- 3- Wavelength Interval
- 4- Relative Spectral Distribution of Solar Radiation

5- CIE Erythral Effectiveness Spectrum

و قزوین انتخاب شدند و درصد استفاده از هر نوع شیشه در مجموعه ارسی با تصویربرداری و برداشت نمونه‌های آن به دست آمد. در برداشت‌ها مشخص شد که در برخی ارسی‌ها علاوه بر شیشه‌های قرمز، آبی، سبز، زرد، و شیشه ساده، آینه‌های تزئینی هم استفاده شده که درصد کاربرد آنها به صورت جداگانه معین شد.

۲-۲-۴- تعیین شاخص‌های تابش عبوری از مجموعه ارسی‌ها

به منظور محاسبه شاخص‌های تابش عبوری از مجموعه ارسی‌ها، شاخص‌های مربوط به تابش عبوری از شیشه‌های منفرد برحسب درصد کاربرد هر یک از آنها در ارسی‌ها وزن‌دهی شدند. در نهایت، شاخص‌های تابش عبوری از مجموعه ارسی‌ها با شاخص‌های تابش عبوری شیشه ساده مقایسه شد تا مشخص شود اگر در ارسی‌ها به جای شیشه‌های رنگی صرفاً از شیشه ساده استفاده شده بود، تابش عبوری از آنها چه تفاوتی می‌کرد؟

۳- بحث و نتایج

۳-۱- نتایج آزمون‌های انتقال طیفی

نتایج بررسی نمونه‌های شیشه نشان داد که طیف انتقالی شیشه‌ها در محدوده زیر قرمز دور بسیار اندک و قابل اغماض بود. از آنجا که هدف مقاله بررسی واکنش شیشه‌ها نسبت به طیف تابشی خورشید است، صرفاً طیف انتقالی شیشه‌ها در محدوده‌های فرابنفش، مرئی، و زیرقرمز نزدیک در شکل ۱ مشخص شده است.

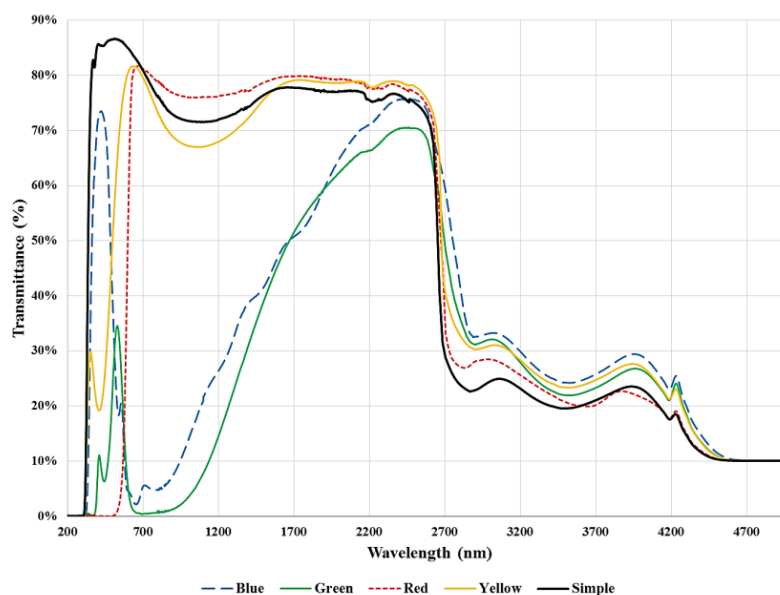
درجه کلونین را پیشنهاد کرده‌اند [۴]؛ اما از آن زمان تاکنون راه‌حل‌های بهتری نیز برای این قضیه پیشنهاد شده است. گیمارد و دوپونت در ۲۰۰۹، جداول طیفی مربوط به تابش خورشیدی استاندارد بر روی سطح زمین (جرم هوا = ۱.۵) را برای سطوح دارای زوایای مختلف نسبت به افق پیشنهاد کرده‌اند [۱۶]. این جداول، مبنایی را برای استاندارد ASTM G197 فراهم کرده است. به این صورت تأثیر عوامل جوی استاندارد و زاویه قرارگیری پنجره نسبت به سطح افق هم لحاظ می‌شود و اعداد به دست آمده قابل اتکا تر خواهند بود. بنابراین عبور انرژی تابشی بر اساس رابطه ۵ محاسبه شده است [۱۷].

$$T_{energy} = \frac{\sum_{\lambda=280}^{4000} T(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot (E_{D\lambda} + E_{d\lambda})}{\sum_{\lambda=280}^{4000} \Delta\lambda \cdot (E_{D\lambda} + E_{d\lambda})} \quad (5)$$

که در این رابطه، $E_{D\lambda}$ و $E_{d\lambda}$ به ترتیب طیف مرجع مستقیم و پراکنده برای جسم واقع در سطح زمین دارای زاویه ۹۰ درجه نسبت به افق هستند که از استاندارد ASTM G197 استخراج می‌شوند [۱۷].

۲-۲-۳- تعیین درصد استفاده از هر شیشه در مجموعه ارسی

۲۲ نمونه ارسی سنتی مربوط به ۱۶ خانه دوره صفوی (شامل خانه داوودی، خانه اخوان، خانه شیخ‌الاسلام، خانه صدر، خانه بقایی، خانه بزرگ‌زاد، خانه نیلفروشان، خانه رنگرزها، خانه افتاده، خانه حاج پطروس، خانه نقشبند، خانه تقوی، خانه مشیر، خانه زاولیان، خانه بهشتی، و خانه حکیم شفایی) واقع در شهرهای شیراز، اصفهان، یزد،



شکل ۱: نتایج آزمون انتقال طیفی شیشه‌ها در محدوده فرابنفش، مرئی، و زیر قرمز نزدیک (طول موج‌های ۲۰۰ تا ۵۰۰۰ نانومتر).

۲-۲- نتایج محاسبه شاخص‌های خورشیدی

نتایج مربوط به عبور انرژی خورشیدی از هریک از شیشه‌ها به تفکیک طول موج در شکل ۲ مشخص شده است. در این شکل، میزان عبور شیشه‌ها برحسب توزیع تابشی خورشیدی در سطح زمین و در زاویه ۹۰ درجه نسبت به افق، وزن‌دهی شده است. به این صورت مشخص می‌شود که قابلیت انتقال طیفی زیاد شیشه در طول موج‌هایی که توزیع تابشی خورشید در آنها اندک است، تأثیر چندانی بر شاخص‌های خورشیدی آن نخواهد داشت.

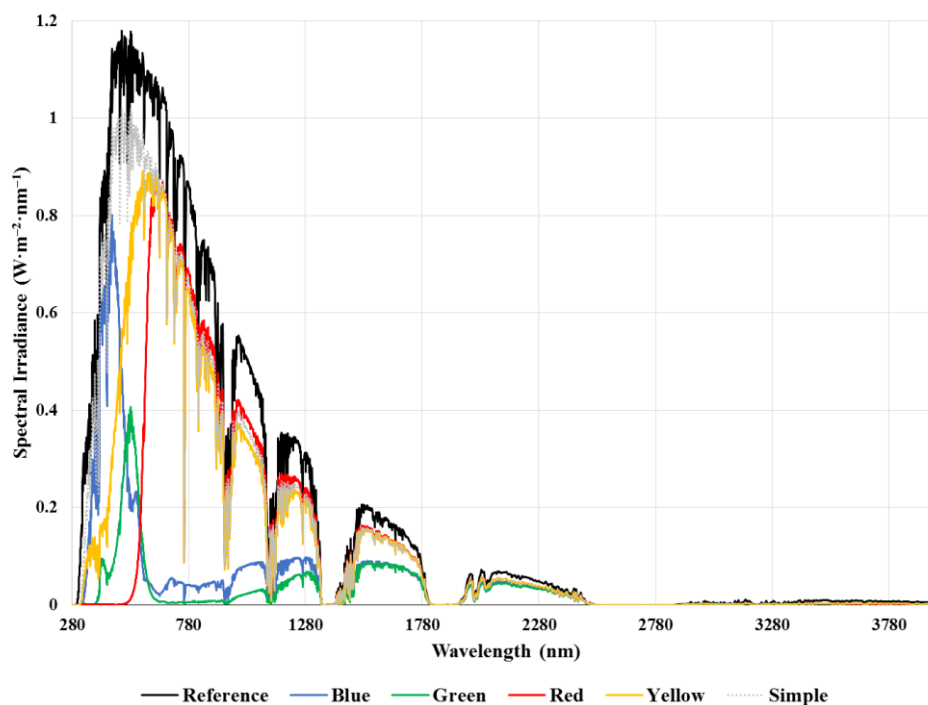
باتوجه به نتایج آزمون انتقال طیفی نمونه شیشه‌ها، نتایج محاسبه پنج شاخص عبور نور مرئی (T_{vis})، عبور فرابنفش (T_{uv})، ضریب تخریب CIE (T_{df})، ضریب تخریب پوست (F_{sd})، و انرژی تابشی عبوری (T_{energy}) در جدول ۱ مشخص شده است.

باتوجه به این جدول، مشخص می‌شود که شیشه‌های قرمز، سبز، و زرد حداقل میزان عبور طول موج‌های مخرب را دارند. در مقابل،

عبور انرژی شیشه‌های ساده، زرد، و قرمز نسبت به بقیه بیشتر است. از نظر عبور نور مرئی هم شیشه‌های ساده و زرد بهتر هستند. این نتایج نشان می‌دهد کاربرد شیشه ساده شفاف در ارسی موجب بیشینه شدن عبور نور مرئی و عبور انرژی می‌شود اما در مقابل، اثرات مخرب ناشی از طول موج‌های تابشی را هم زیاد می‌کند. افزایش کاربرد شیشه سبز در ارسی، ضمن کاهش عبور طول موج‌های مخرب، عبور نور مرئی و عبور انرژی را هم کم می‌کند؛ کاربرد شیشه قرمز باعث به کمینه رسیدن عبور طول موج‌های مخرب می‌شود، اما فضا به دلیل کاهش قابل ملاحظه عبور نور مرئی تاریک می‌شود. در این حالت عبور انرژی هم اندکی کاهش می‌یابد. شیشه زرد مجموعه تمام شاخص‌های خورشیدی را کاهش می‌دهد اگرچه این کاهش در بخش عبور طول موج‌های فرابنفش و مخرب محسوس‌تر است. شیشه آبی هم مجموعه شاخص‌ها را کم می‌کند اما با این تفاوت که بیشترین کاهش در بخش عبور نور مرئی اتفاق می‌افتد.

جدول ۱: نتایج محاسبه شاخص‌های تابش عبوری از شیشه‌های رنگی و ساده.

شیشه ساده (%)	شیشه زرد (%)	شیشه قرمز (%)	شیشه سبز (%)	شیشه آبی (%)	
۸۵,۹	۶۹,۷	۱۸,۷	۲۰,۵	۱۸,۱	T_{vis}
۶۵,۰	۲۳,۸	۰,۲	۰,۳	۳۶,۲	T_{uv}
۷۷,۷	۳۱,۴	۱,۱	۸,۸	۴۸,۸	T_{df}
۱۹,۳	۷,۷	۰,۱	۰,۳	۹,۲	F_{sd}
۷۸,۷	۶۲,۹	۵۰,۵	۱۰,۶	۲۴,۲	T_{energy}



شکل ۲: انرژی عبوری از شیشه‌ها به تفکیک طول موج.

کاهش عبور طول موج‌های مخرب و مهم‌ترین مزیت شیشه ساده، عبور نور مرئی زیاد است. ضمن این‌که در برداشته‌ها مشخص شد اغلب ارسی‌های بررسی شده در بخش‌های کم‌ارتفاع‌تر خود (بخش‌های موجود در مخروط دید افراد نشسته یا ایستاده) از شیشه ساده و در بخش‌های بالاتر از ارتفاع دید انسانی از شیشه رنگی استفاده می‌کرده‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که توجه هم‌زمان به شیشه‌های دارای حداکثر عبور نور مرئی و حداقل عبور طول موج‌های مخرب در تعیین رنگ‌بندی شیشه‌ها در ارسی مؤثر بوده‌اند. آینه به‌علت عدم عبور نور از محاسبات آتی حذف شده است.

۳-۳- درصد استفاده از هر شیشه در ارسی‌ها

درصد استفاده از هر نوع شیشه (شامل شیشه بی‌رنگ، شیشه زرد، شیشه سبز، شیشه آبی، شیشه قرمز، و آینه) حاصل از بررسی نمونه‌های موردی در جدول ۲ مشخص شده است. برای این‌که مقایسه کاربرد شیشه‌ها ساده‌تر باشد، میانگین استفاده از هر نوع شیشه در تمامی ۲۲ ارسی، در جدول ۳ ذکر شده است. جدول ۳ نشان می‌دهد که تفوق استفاده از شیشه در ارسی‌ها به ترتیب با شیشه قرمز، شیشه ساده، و شیشه سبز است. همان‌طور که در بخش ۳-۲ ذکر شد، مهم‌ترین مزیت شیشه‌های قرمز و سبز،

جدول ۲: درصد استفاده از هر نوع شیشه در مجموعه ارسی‌ها.

خانه	محل ارسی	شیشه بی‌رنگ (%)	آینه (%)	شیشه زرد (%)	شیشه سبز (%)	شیشه آبی (%)	شیشه قرمز (%)
خانه داوودی	ارسی اصلی	۵۰	۰	۱۰	۱۰	۲۰	۱۰
خانه اخوان	ارسی اصلی	۱۰	۰	۲۰	۳۰	۱۰	۳۰
خانه شیخ‌الاسلام	ارسی پنج‌دری	۳۰	۰	۱۰	۳۰	۰	۳۰
خانه صدر	ارسی اصلی	۱۵	۰	۱۵	۳۰	۲۰	۲۰
خانه بقایی	ارسی شرقی	۲۰	۱۰	۲۰	۱۰	۱۰	۳۰
خانه بقایی	ارسی اصلی	۵	۵	۳۰	۱۰	۳۰	۲۰
خانه بزرگ‌زاد	ارسی اصلی	۲۰	۰	۱۰	۳۰	۱۰	۳۰
خانه نیلفروشان	ارسی سهدری	۳۵	۰	۲۰	۱۰	۱۵	۲۰
خانه نیلفروشان	ارسی اصلی	۲۰	۰	۳۰	۵	۳۵	۱۰
خانه رنگ‌رها	ارسی اصلی	۱۰	۵	۲۰	۳۰	۱۰	۲۵
خانه افتاده	ارسی شرقی	۲۵	۵	۲۰	۱۰	۱۰	۳۰
خانه حاج پطروس	ارسی سهدری	۲۰	۰	۵	۳۵	۳۰	۱۰
خانه حاج پطروس	ارسی اصلی	۲۰	۵	۵	۳۰	۱۰	۳۰
خانه حاج پطروس	ارسی خلوت	۵۰	۰	۵	۵	۱۰	۳۰
خانه نقشبند	ارسی سهدری راست	۵۰	۰	۳۰	۰	۰	۲۰
خانه نقشبند	ارسی حوضخانه	۲۵	۰	۲۰	۲۰	۳۰	۵
خانه تقوی	ارسی اصلی	۲۵	۵	۱۰	۳۰	۱۰	۲۰
خانه مشیر	ارسی اصلی	۱۰	۰	۱۵	۲۰	۲۰	۳۵
خانه زاویان	ارسی اصلی	۱۵	۰	۵	۴۰	۱۰	۳۰
خانه بهشتی	ارسی اصلی	۲۰	۰	۱۰	۰	۴۰	۳۰
خانه حکیم شفایی	ارسی اصلی	۵	۵	۳۰	۱۰	۳۰	۲۰

جدول ۳: متوسط کاربرد هر شیشه در ارسی‌های بررسی شده.

شیشه بی‌رنگ (%)	آینه (%)	شیشه زرد (%)	شیشه سبز (%)	شیشه آبی (%)	شیشه قرمز (%)
۲۲	۲	۱۷	۱۸	۱۷	۲۳

می‌دهند هم عبور مرئی و هم انرژی عبوری در مجموعه ارسی‌ها نسبت به شیشه ساده کاهش داشته است. البته در ارسی‌هایی نظیر ارسی سه‌دری سمت راست خانه نقشبند (که ۸۰٪ شیشه‌های آن را شیشه زرد و ساده تشکیل می‌دهد) میزان این کاهش کمتر است. در شکل‌های ۵، ۶، و ۷، به ترتیب ضریب عبور طول‌موج‌های مخرب برای مواد و مصالح داخلی ساختمان، ضریب عبور طول‌موج‌های مخرب برای پوست، و ضریب عبور فرابنفش مجموعه ارسی‌ها به نسبت شیشه ساده مقایسه شده است. این شکل‌ها هم کاهش شاخص‌های خورشیدی مربوط به عبور طول‌موج‌های مخرب را نسبت به شیشه ساده نشان می‌دهند؛ اگرچه میزان این کاهش، نسبت به کاهش عبور طول‌موج‌های مرئی یا عبور انرژی محسوس‌تر است. این موضوع نشان می‌دهد با وجود این‌که کاربرد شیشه‌های رنگی در ارسی‌ها باعث کاهش عبور طول‌موج‌های مرئی و تاریک‌شدن نسبی ساختمان می‌شود، اما تأثیر آنها در کاهش عبور طول‌موج‌های فرابنفش و طول‌موج‌های مخرب برای مواد و پوست بیشتر است.

۳-۴- تعیین شاخص‌های خورشیدی برای ارسی‌ها

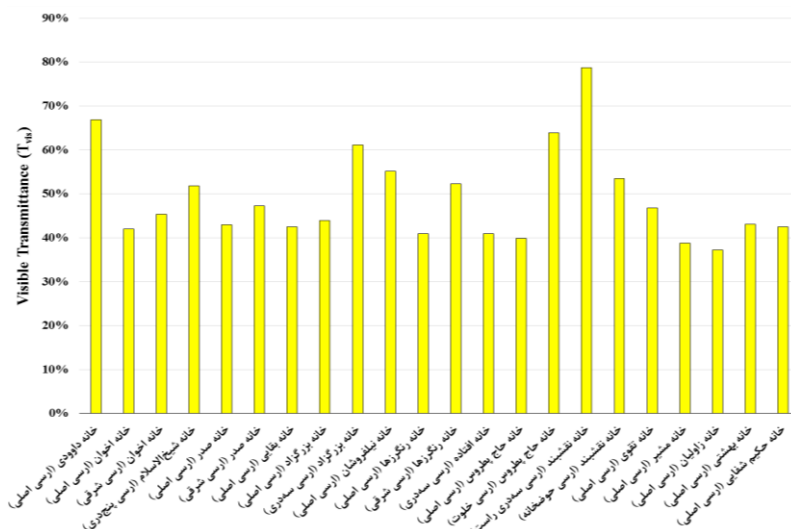
پس از تعیین شاخص‌های خورشیدی برای تک‌تک شیشه‌ها، و تعیین درصد کاربرد هر یک در مجموعه ارسی‌ها، شاخص‌های خورشیدی برای هر ارسی برحسب دو عامل قبلی محاسبه شدند. به‌منظور تعیین شاخص‌های خورشیدی در هر ارسی، شاخص‌های خورشیدی هر نوع از شیشه‌های به کار رفته در آن باتوجه به درصد کاربرد آن نوع شیشه در ارسی وزن‌دهی شدند. نتیجه این محاسبات در جدول ۴ ذکر شده است.

در شکل‌های ۳ الی ۷، نسبت هر یک از شاخص‌های محاسبه‌شده مربوط به مجموعه ارسی‌ها به شاخص مربوط به شیشه ساده با یکدیگر مقایسه شده است. این شکل‌ها نشان می‌دهند جایگزینی شیشه‌های رنگی به جای شیشه ساده در ارسی مذکور، موجب چه میزان تغییر در شاخص خورشیدی مربوطه شده است.

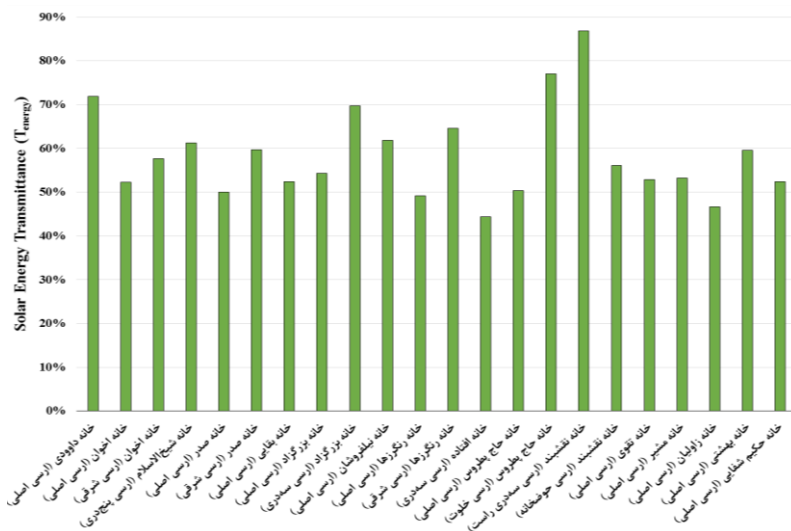
در شکل ۳، عبور مرئی هر یک از ارسی‌ها و در شکل ۴، انرژی عبوری آنها با شیشه ساده مقایسه شده است. این شکل‌ها نشان

جدول ۴: شاخص‌های خورشیدی برای ارسی‌ها

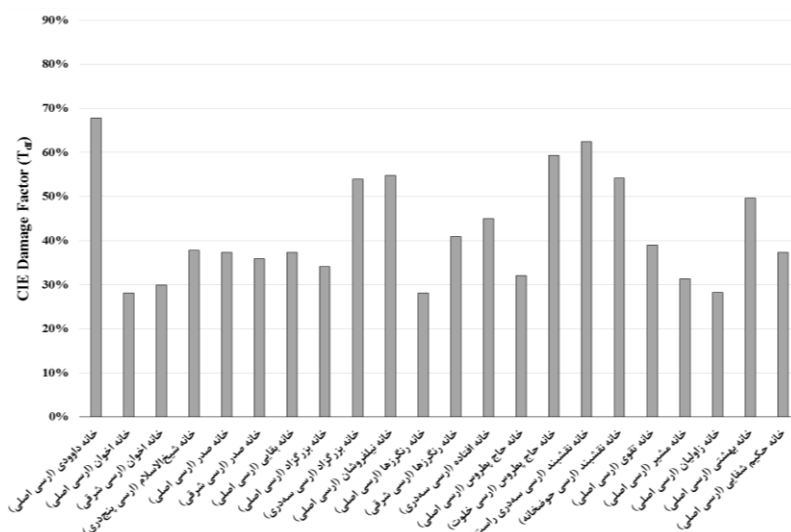
خانه	محل ارسی	T(vis) (%)	T(df) (%)	F(sd) (%)	T(uv) (%)	T(energy) (%)
خانه داوودی	اتاق ارسی اصلی	۵۷،۵	۵۲،۷	۱۲،۳	۴۲،۲	۵۶،۶
خانه اخوان	اتاق ارسی اصلی	۳۶،۱	۲۱،۹	۴،۵	۱۵،۰	۴۱،۲
	اتاق شرقی	۳۹،۰	۲۳،۳	۵،۲	۱۷،۳	۴۵،۴
خانه شیخ‌الاسلام	اتاق پنج‌دری	۴۴،۵	۲۹،۴	۶،۷	۲۲،۰	۴۸،۲
خانه صدر	اتاق ارسی اصلی	۳۶،۹	۲۹،۰	۶،۰	۲۰،۷	۳۹،۳
	اتاق شرقی	۴۰،۶	۲۷،۹	۶،۴	۲۱،۵	۴۶،۹
خانه بقایی	اتاق ارسی اصلی	۳۶،۴	۲۹،۰	۶،۱	۲۱،۳	۴۱،۲
خانه بزرگ‌زاد	ارسی اصلی	۳۷،۷	۲۶،۵	۵،۷	۱۹،۱	۴۲،۸
	ارسی سه‌دری	۵۲،۵	۴۱،۹	۹،۷	۳۳،۰	۵۴،۹
خانه نیلفروشان	ارسی اصلی	۴۷،۳	۴۲،۶	۹،۴	۳۲،۸	۴۸،۷
خانه رنگرها	ارسی اصلی	۳۵،۲	۲۱،۸	۴،۵	۱۵،۰	۳۸،۷
	ارسی شرقی	۴۴،۹	۳۱،۸	۷،۳	۲۴،۷	۵۰،۹
خانه افتاده	ارسی سه‌دری	۳۵،۱	۳۴،۹	۷،۱	۲۵،۲	۳۴،۹
	ارسی اصلی	۳۴،۲	۲۵،۰	۵،۳	۱۸،۰	۳۹،۶
خانه حاج پطروس	ارسی اندرونی	۵۴،۹	۴۶،۱	۱۱،۰	۳۷،۴	۶۰،۶
	ارسی سه‌دری راست	۶۷،۶	۴۸،۵	۱۲،۰	۳۹،۷	۶۸،۳
خانه نقشبند	ارسی حوضخانه	۴۵،۹	۴۲،۱	۹،۲	۳۱،۹	۴۴،۲
خانه تقوی	ارسی اصلی	۴۰،۲	۳۰،۳	۶،۶	۲۲،۴	۴۱،۶
خانه مشیر	ارسی اصلی	۳۳،۳	۲۴،۴	۵،۰	۱۷،۴	۴۱،۹
خانه زاولیان	ارسی اصلی	۳۲،۰	۲۱،۹	۴،۳	۱۴،۷	۳۶،۷
خانه بهشتی	ارسی اصلی	۳۷،۰	۳۸،۵	۸،۳	۲۹،۹	۴۶،۹
خانه حکیم شفایی	ارسی اصلی	۳۶،۴	۲۹،۰	۶،۱	۲۱،۳	۴۱،۲



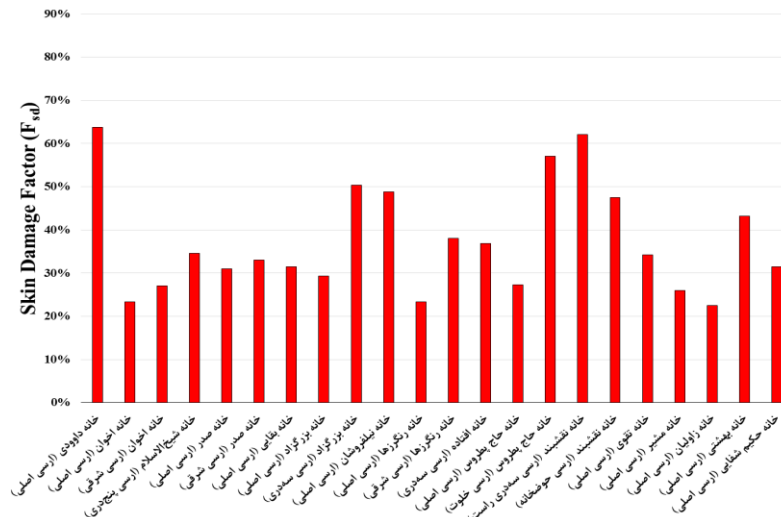
شکل ۳: مقایسه نسبت عبور نور مرئی از مجموعه ارسی‌ها به عبور نور مرئی شیشه ساده.



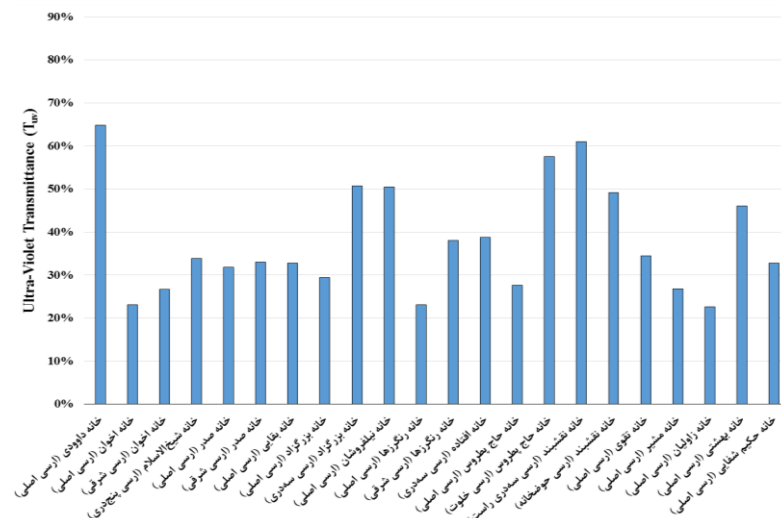
شکل ۴: مقایسه نسبت عبور انرژی از مجموعه ارسی‌ها به عبور انرژی شیشه ساده.



شکل ۵: مقایسه نسبت ضریب تخریب CIE از مجموعه ارسی‌ها به ضریب تخریب CIE شیشه ساده.



شکل ۶: مقایسه نسبت تخریب پوست مجموعه ارسی‌ها به ضریب تخریب پوست شیشه ساده.



شکل ۷: مقایسه نسبت عبور فرابنفش مجموعه ارسی‌ها به عبور فرابنفش شیشه ساده.

جدول ۵ نشان می‌دهد استفاده از شیشه‌های رنگی در ارسی‌های بررسی‌شده، موجب تغییراتی به شرح زیر در شاخص‌های خورشیدی مربوط به ارسی‌ها شده است: درحالی‌که میزان عبور نور مرئی ارسی‌ها تا حد نصف شیشه‌های ساده کاهش یافته است، اما ضریب تخریب مواد در ارسی‌ها، نزدیک به ۶۰٪ نسبت به شیشه ساده کاهش داشته است. ضریب تخریب پوست و همچنین میزان عبور فرابنفش در ارسی‌ها نیز نزدیک به یک‌سوم شیشه ساده شده است. بنابراین همانطور که مشاهده می‌شود شیشه‌های رنگی به کار رفته در ارسی‌ها در مجموع بیش از آن‌که عبور مرئی را کاهش دهند، عبور طول‌موج‌های مخرب برای پوست و مصالح را کاهش داده‌اند. درعین حال، میزان انرژی عبوری ارسی‌ها نیز نزدیک به ۴۰٪ نسبت به شیشه ساده کاهش داشته است.

در نهایت به منظور تسهیل مقایسه شاخص‌های مربوط به ارسی‌ها و شیشه ساده، میانگین شاخص‌های مربوط به ارسی‌ها در جدول ۵ با شاخص‌های مربوط به شیشه ساده مقایسه شده است.

جدول ۵: مقایسه میانگین شاخص‌های ارسی‌های بررسی‌شده با شیشه ساده.

T _{energy} (%)	T _{uv} (%)	F _{sd} (%)	T _{df} (%)	T _{vis} (%)	
۸۳	۶۵	۱۹	۸۰	۸۹	شیشه ساده
۴۸	۲۵	۷	۳۳	۴۳	میانگین شاخص‌ها در ارسی‌های بررسی‌شده
۵۸	۳۸	۳۸	۴۱	۴۸	نسبت میانگین شاخص‌ها در ارسی‌های بررسی‌شده به شیشه ساده

۴- نتیجه گیری

میانگین یکی از کمترین میزان استفاده را در ارسی‌ها داشته است) شاید گزینه مناسبی برای کاربرد در ارسی باشد چون عبور طول موج‌های مخرب را کاهش می‌دهد بدون اینکه عبور نور مرئی را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد؛ عبور انرژی هم در این حالت نسبت به شیشه ساده کاهش چندانی ندارد. در مقابل، کاربرد شیشه آبی در ارسی را نمی‌توان چندان توصیه کرد زیرا با وجود کاهش عبور نور مرئی و عبور انرژی، کمکان بخش قابل توجهی از طول موج‌های مخرب از شیشه آبی عبور می‌کنند. البته مشخص کردن دقیق درصد استفاده از هر نوع شیشه در ارسی به عوامل متعددی نظیر کاربری اتاق، اهمیت مواد و مصالح موجود در فضای داخلی آن، و نوع پوشش افراد حاضر در فضای داخلی بستگی دارد و تعیین درصد استفاده از هر نوع شیشه در مجموعه کاربری‌های معماری خود می‌تواند موضوع تحقیق جداگانه‌ای باشد.

در این تحقیق، پنج شاخص عبور مرئی، عبور انرژی، عبور فرابنفش، ضریب تخریب CIE، و ضریب تخریب پوست برای ۲۲ نمونه از ارسی‌های سنتی بازمانده از دوره صفوی بررسی شد. در این بررسی مشخص شد رنگ‌بندی شیشه در ارسی‌های سنتی به صورتی بوده که با وجود کاهش میزان عبور طول موج‌های مرئی به عددی نزدیک به نصف، عبور طول موج‌های مخرب برای پوست یا مصالح بیش از شصت درصد کاهش داشته است. به عبارت دیگر انتخاب نوع شیشه در ارسی‌ها به صورتی بوده که با وجود کاهش عبور مرئی و عبور انرژی، عبور طول موج‌های مخرب را تا حد بسیار بیشتری کاهش می‌دهد. البته نمی‌توان ادعا کرد که رنگ‌بندی در ارسی‌های سنتی در حالت ایده‌آل قرار داشته است زیرا هنوز گزینه‌های زیادی برای بهبود وضعیت موجود وجود دارد. به عنوان مثال شیشه زرد (که به طور

۵- مراجع

1. M. K. Pirnia, Styles of iranian architecture. Tehran, Sorush Danesh, (2005).
2. M. K. Pirnia, Introduction to Islamic architecture. 8th Ed. Tehran, The Iran University of Science and Technology Publications, (2004).
3. V. Makani, A. Khorram, Z. Ahmadipur, Secrets of light in traditional houses of Iran. *Int. J. Archit. Urban Dev.* 3(2012), 45-50.
4. M. Haghshenas, Z. Ghiabaklou, Investigation of tinted glazing's effect in transmission of daylight and energy in the visible spectrum. *J. Color Sci. Tech.* 4(2009), 213-220.
5. T. L. Diepgen, M. Fartasch, H. Drexler, J. Schmitt, Occupational skin cancer induced by ultraviolet radiation and its prevention. *British J. Dermatol.* 167(2012), 76-84.
6. S. Mason, R. Jorg Reichrath, Sunlight vitamin D and skin cancer. *Anticancer Agents in Med. Chem.* 13(2012), 83-97.
7. H. Ikehata, S. Higashi, S. Nakamura, Y. Daigaku, Y. Furusawa, Y. Kamei, T. Ono, Action spectrum analysis of UVR genotoxicity for skin: the border wavelengths between UVA and UVB can bring serious mutation loads to skin. *J. Invest. Dermatol.* 133(2013), 1850-1856.
8. A. Tewari, R. P. Sarkany, A. R. Young, UVA1 induces cyclobutane pyrimidine dimers but not 6-4 photoproducts in human skin in vivo. *J. Invest. Dermatol.* 132(2012), 394-400.
9. B. Diffey, Population exposure to solar UVA radiation. *European J. Dermatol.* 6/3(1996), 221-222.
10. B. P. Jelle, Solar radiation glazing factors for window panes, glass structures and electrochromic windows in buildings— Measurement and calculation. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells.* 116(2013), 291-323.
11. M. D. Fairchild, Color appearance models. John Wiley & Sons, (2013).
12. M. Amrayi, Orsi: The windows to the light. Tehran, SAMT publication, (2004).
13. British Standards Institution, BS EN 410: Glass in Building. Determination of luminous and solar characteristics of glazing. London, (2011).
14. International Standards Organization, ISO 9050: Glass in building - Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors, (2003).
15. T. Muneer, Solar radiation and daylight models. 2nd Ed., Oxford, Routledge, (2004).
16. C. A. Gueymard, W. C. duPont, Spectral effects on the transmittance, solar heat gain, and performance rating of glazing systems. *Sol. Energy*, 83(2009), 940-953.
17. ASTM International, ASTM G197-14: Standard Table for Reference Solar Spectral Distributions: Direct and Diffuse on 20° Tilted and Vertical Surfaces. West Conshohocken, PA, (2014).