ارسی، راهکاری برای کنترل نور روز

نمونه‌های موردی: خانه‌های دورهِی قاجار در قزوین

یوسف گرجی مهلبانی (نویسنده مسئول) [۱]، علی اصغر مفرد بوشهری [۲]

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۵/۱۳

چکیده

امروزه با توجه به این که افراد درصد قابل‌توجهی از ساعات روز را در ساختمان‌ها و محیط‌های مصنوع می‌گذرانند، تأمین نور طبیعی در این فضاها ضروری است. از طرفی باید دقت شود تابش خورشید می‌تواند منجر به ورود گرما به این فضاها گشته و بار سرمایشی در فصول گرم را افزایش دهد. همچنین تابش زیاد ممکن است موجب چشم‌زدگی شود. از این رو یکی از این راه‌کارهای معماری ایران برای این مسئله تعبیه‌ی ارسی با بهره‌مندی از شیشه‌های رنگی و ساده می‌باشد. در پژوهش حاضر دوازده نمونه از ارسی‌های به‌کار رفته در پنج خانه‌ی متعلق به دوره‌ی قاجار در شهر قزوین به عنوان نمونه‌های موردی مشخص شدند. از طریق شبیه‌سازی رایانه‌ایِ هر یک از این ارسی‌ها به‌وسیله‌ی نرم‌افزار اتوکد، درصد استفاده از هر رنگ از شیشه‌ها در آن‌ها مشخص شد. همچنین با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر طیف نور عبوری در ۵ نمونه از شیشه‌های رنگی مختلف متعلق به دوره‌ی قاجار به‌دست آمد. با استفاده از این داده‌ها، طیف عبوری از هر ارسی نیز مشخص شد و با چند نمونه از شیشه‌های امروزی و همچنین با طول موج حساس برای چشم انسان، مقایسه گردید. در این مرحله مشخص شد که ارسی‌های مورد بررسی، از لحاظ عبور نور مناسب برای چشم انسان، وضعیتی مطلوب داشته و حتی در برخی موارد از نمونه‌های امروزی نیز وضعیت بهتری دارند. همچنین درصد انرژی عبوری از ارسی‌های مختلف به‌طور تقریبی به‌دست آمد و ضمن مقایسه‌ی ارسی‌ها با یک‌دیگر، مشخص شد که ۲۸ تا ۵۲ درصد از انرژی تابشی خورشید در ناحیه‌ی مرئی توسط این ارسی‌ها جذب یا بازتابیده شده و به‌طور مستقیم وارد فضاهای داخلی نمی‌شود که این میزان با توجه به اقلیم قزوین، مقداری قابل قبول است.

واژه‌های کلیدی

ارسی، شیشه‌های رنگی، نور طبیعی، کنترل نور روز، انرژی تابشی خورشید.

۱. دانشیار گروه معماری، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

۱. مقدمه

انسان‌ها درطی سیر تکاملی خود با نور طبیعی سازگار شده‌اند. از این رو نور روز برای آسایش افراد ضروری است. ازطرفی با توجه به این‌که بسیاری از افراد، مدت زیادی از ساعات روز را در ساختمان‌ها و محیط‌های مصنوع سپری می‌کنند، فراهم آوردن نور طبیعی در این فضاها برای افراد، یک ضرورت اولیه به شمار می‌آید (Brainard et al, 2001). تأمین نور طبیعی کافی در ساختمان علاوه بر ارتقای آسایش افراد و تأثیراتی که بر سلامتی و روان کاربران دارد، می‌تواند باعث کاهش مصرف برق در بخش روشنایی ساختمان نیز گردد و از این رو نقش مؤثری در طراحی پایدار ایفا کند. از طرفی باید دقت شود، همان‌گونه که نور طبیعی وارد فضاهای داخلی می‌شود، تابش خورشید می‌تواند منجر به ورود گرما به این فضاها شود. این وضعیت در فصول سرد که به گرمایش نیاز است، می‌تواند بار گرمایشی را کاهش دهد و از این نظر یک ویژگی مطلوب به‌شمار می‌آید. ولی در فصول گرم باعث افزایش بار سرمایشی می‌شود. از این رو ضروری است تا در طراحی، علاوه بر کنترل خیرگی، گرمای حاصل از تابش خورشید نیز کنترل شود (Sayigh, 2014: 236).

در معماری گذشته‌ی ایران برای حل این مشکلات راه‌کارهای متعددی ارائه شده است که یکی از این راه‌کارها تعبیه‌ی ارسی در برابر تابش خورشید است تا علاوه برامکان عبور نور خورشید و تأمین نور طبیعی، تا حدی از عبور انرژی ناشی از تابش خورشید جلوگیری شود.

این ویژگی به این دلیل است که در گذشته، به منظور جلوگیری از عبور برخی از رنگ‌های موجود در نور سفید، از شیشه‌های رنگی در ارسی‌ها استفاده می‌کردند (امرایی، ۱۳۹۱: ۱۰۰). از این رو، می‌توان دریافت که ویژگی اساسی این شیشه‌های رنگی که دارای رنگ‌های متنوعی هستند، همین عبور طیفی متفاوت نور خورشید در ناحیه‌ی مرئی می‌باشد.

بنابراین این پژوهش، به بررسی عملکرد شیشه‌های رنگی (و ساده) به‌کاررفته در ارسی‌ها به عنوان یکی از راهکارهای کنترل نور طبیعی وارد شده به فضاهای داخلی در معماری ایران پرداخته است و در آن سعی شده تا با کمک شبیه‌سازی رایانه‌ای و همچنین تجهیزات آزمایشگاهی، ویژگی‌هایی مانند طیف نور عبوری و جذب شده در ناحیه‌ی مرئی توسط هر ارسی و درصد انرژی عبور کرده از آن (در تابش ناحیه‌ی مرئی)، مورد تحلیل قرار گیرند.

۲. پیشینه‌ی تحقیق

پژوهش‌های متعددی درمورد اهمیت بهره‌مندی از نور طبیعی در کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها صورت گرفته است. توجه به نور طبیعی نقش مهمی را در شکل‌گیری یک طرح پایدار ایفا می‌کند. چراکه درنظرگرفتن ملاحظات نور طبیعی در طراحی می‌تواند موجب کاهش مصرف برق در بخش روشنایی ساختمان شود و از این طریق به دست‌یابی به ساختمان‌هایی که به لحاظ زیست‌محیطی پایدارند، کمک می‌کند (Zhenjun & Shengwei, 2009: 1880). پژوهش‌ها حاکی از آن است که حدود ۲۵-۳۰ درصد از کل مصرف برق در ساختمان‌ها در بخش روشنایی الکتریکی صورت می‌گیرد (Lam et al., 2003)، لذا یک طراحی مناسب با بهره‌مندی از نور طبیعی می‌تواند نقش به‌سزایی در کاهش مصرف انرژی در ساختمان داشته باشد و منجر به شکل‌گیری ساختمانی کاراتر به لحاظ مصرف انرژی شود (Li & Tsang, 2008: 1457). در همین زمینه پژوهشی که در هنگ‌کنگ صورت گرفت نشان داد که استفاده از نور طبیعی در کنار نور مصنوعی می‌تواند تأثیر زیادی در کاهش مصرف برق در بخش روشنایی ساختمان‌ها داشته باشد. از طرفی باتوجه به اینکه میزان بهره‌وری نور خورشید (یعنی مقدار شار نوری به توان) بین ۹۰ تا ۱۲۰ لومن بر وات (بسته به شرایط مختلف مانند میزان ابرناکی) است، در حالی که این میزان در لامپ‌های رشته‌ای تنها حدود ۱۰ تا ۱۵ لومن بر وات و در لامپ‌های ال‌ای‌دی بین ۷۵ تا ۹۰ لومن بر وات می‌باشد، استفاده از نور طبیعی علاوه بر کاهش مصرف انرژی در بخش روشنایی، به‌منظور ایجاد روشنایی برابر با نورهای مصنوعی، حرارت کمتری تولید نموده و در نهایت باعث کاهش بار سرمایشی ساختمان نیز می‌گردد (Sayigh, 2014: 230)،(Danny & Josph, 2001:802)، (Xu & Yuehong, 2015: 495) & (Canziani et al., 2004: 1164). علاوه بر این چندین مطالعه درخصوص ارائه‌ی راهکارهایی مانند فیلم‌ها و غشاهای کنترل‌کننده‌ی تابش خورشید و سیستم‌های کنترل‌کننده و کاهنده‌ی روشنایی مصنوعی که در تطابق با نور طبیعی کار می‌کنند، با هدف بهره‌مندی مناسب‌تر از نور طبیعی و کاهش مصرف انرژی، صورت گرفته است (Li & et al, 2008: 1297).

مطالعاتی نیز در مورد تأثیر نور بر ایجاد آسایش بصری و روانی برای کاربران انجام شده است. در پژوهشی تأثیر دو متغیر دمای رنگ و شدت روشنایی بر احساسات افراد در محیط کار بررسی شد. در نهایت این نتیجه به‌دست آمد که

احساس راحتی و فراخی در شرایطی که از نور با دمای رنگ ۴ هزار درجه‌ی کلوین استفاده شده بود نسبت به زمانی که از نور با دمای رنگ ۲۷۰۰ درجه‌ی کلوین استفاده شد، در ۵۶ فردی که مورد مطالعه قرار داشتند، بیشتر بود. از طرفی در نور دارای دمای رنگ ۲۷۰۰ درجه‌ی کلوین احساس آرامش بیشتری وجود داشت (Manav, 2007: 983). در پژوهشی دیگر سه مطالعه بر روی مدل‌هایی با مقیاس‌های متفاوت (یک مطالعه در دانمارک و دو مطالعه در کانادا)،به صورت تجربی صورت گرفت. در این پژوهش مشخص شد که میزان عبور نور در شیشه‌ها، با میزان روشنایی، احساس زیبایی، طبیعی بودن، وضوح و دقت، همبستگی مثبت دارد. همچنین مشخص شد که میزان عبور نور با بروز پدیده‌ی چشم‌زدگی رابطه‌ی مستقیم دارد و اگرچه کاهش میزان عبور نور از شیشه می‌تواند موجب کاهش خیرگی گردد، ولی آزمایش‌ها نشان دادند که با کاهش عبور نور، فضای داخلی تاریک‌تر به نظر می‌رسد و میزان زیبایی، دقت و وضوح آن نیز کاهش می‌یابد. بنابراین بهتر است به‌منظور کاهش بروز چشم‌زدگی، به جای این‌که مسئله‌ی چشم‌زدگی را به عنوان یک پارامتر مستقل درنظر بگیریم، آن را در کنار سایر پارامترها در زمینه‌ی نورپردازی ملاحظه کنیم (Dubois, 2009: 95).

در آزمایشی که در سال ۱۹۷۹ میلادی توسط کوتل[1] انجام شد، از پنجره‌هایی استفاده شد که از مایعی مخصوص پر شده بودند. این مایع این قابلیت را داشت که در محدوده‌ی وسیعی از رنگ‌های مختلف، به صورت پیوسته تغییر رنگ دهد. در این آزمایش میزان نارضایتی افراد که در اتاقی نشسته و در معرض تابش نور عبوری از این پنجره بودند، اندازه‌گیری شد. در نهایت مشخص شد که در دمای رنگ بین ۴۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ درجه‌ی کلوین، کمترین میزان نارضایتی (حدود ۳۰ درصد) در افراد وجود دارد و هرچه از این محدوده دورتر شویم، چه به سمت دماهای بالاتر و چه دماهای پایین‌تر، میزان نارضایتی در افراد افزایش می‌یابد. البته طبق نموداری که از این آزمایش به‌دست آمد، میزان افزایش نارضایتی در دماهای پایین‌تر به مراتب بیش از دماهای بالاتر است. به طوری که بیشترین میزان نارضایتی مربوط به دمای ۲۵۰۰ درجه‌ی کلوین بوده (حدود ۹۰ درصد) ولی در دماهای بالاتر مانند ۲۰۰۰۰ درجه‌ی کلوین این میزان کمتر از ۵۰ درصد است (Cuttle, 1979: 140 &Boyce, 2014: 262). ممکن است یک دلیل برای این پدیده این باشد که دمای رنگ بالاتر همان احساس و اثر تابش خورشید را (در روزهای آفتابی و حتی در شرایط آسمان تمام‌ابری) به افراد منتقل می‌نماید (Bülow-Hübe, 1995) & (Dubois, 2009: 95).

همچنین نتایج پژوهش‌های متعددی نشان‌دهنده‌ی اولویت داشتن نور طبیعی بر نور مصنوعی در طراحی محیط‌های مصنوع می‌باشد (Van Bommel, 2004), (Vine, et al, 1998: 217) & (Boyce, et al, 2006). به عنوان نمونه در مطالعاتی که بر روی دو گروه از افراد که یکی از آن‌ها تنها در زیر نور مصنوعی و گروه دیگر در زیر نور ترکیبیِ طبیعی و مصنوعی فعالیت می‌کردند، مشخص شد که میزان اضطراب و نارضایتی در این دو گروه، در ماه ژانویه که میزان نفوذ نور طبیعی به فضای داخلی زیاد نیست (به علت تابش عمودی‌تر خورشید)، میزان اضطراب در این دو گروه تفاوت زیادی ندارد. بالعکس در ماه می‌که نور روز به میزان بیشتری به فضای داخلی نفوذ می‌کند، گروهی که تنها در زیر نور مصنوعی فعالیت می‌کنند، به میزان چشم‌گیری نارضایتی و اضطراب بیشتری دارند (Kerkhof, 1999). از طرفی بهره‌مندی از نور روز کیفیت محیطی فضای داخلی را افزایش داده و از نظر زیبایی‌شناسی نیز ویژگی‌های را (مانند امکان دید به اطراف از طریق پنجره) فراتر از نور مصنوعی فراهم می‌آورد (Leslie, 2003: 382).

در ایران نیز پژوهشی در سال ۱۳۸۷ انجام شد که در آن میزان نور عبوری، طیف انتقالی و انرژی عبوری از شیشه‌های رنگی در نه نمونه از ارسی‌های موجود در بناهای مختلف ایران محاسبه شد. درنهایت نیز مشخص شد که میزان انرژی انتقالی از طریق تشعشع، در هر ارسی نسبت به یک شیشه‌ی ساده، تقریباً یک‌سوم است (البته این میزان بدون احتساب انرژی جذب شده توسط شیشه است که به صورت طول موج‌های بلند وارد فضای داخل می‌شود). همچنین دراین پژوهش در همه‌ی ارسی‌های مورد بررسی درصد عبور نور در طول موج ۵۵۵ نانومتر که بیشترین حساسیت را برای چشم انسان دارد کم‌تر از ۴۰ درصد بود (حق‌شناس و قیابکلو، ۱۳۸۷).

به طور خلاصه می‌توان گفت که علی‌رغم مطالعات گسترده درمورد اهمیت نور روز در کاهش مصرف انرژی، افزایش کارایی افراد به‌ویژه در محیط‌های کاری، تأثیر روانشناختی نور روز و در نهایت اولویت داشتن آن نسبت به نور مصنوعی، در خصوص تأثیر شیشه‌های رنگی بر میزان عبور نور و انرژی انتقالی و به تبع آن نقشی که می‌تواند در تغییر بار سرمایش و گرمایش ساختمان ایفا

کند، مطالعات محدودی انجام شده است. با توجه به این‌که در مجموع مطالعات کمی در مورد این خصوصیات ارسی‌ها و شیشه‌های رنگی در ایران صورت گرفته و نمونه‌های موردی فراوانی مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند، این پژوهش برآن است تا تأثیر شیشه‌های رنگی ارسی‌ها بر میزان عبور نور و انرژی انتقالی را در دوازده ارسی متعلق به خانه‌های تاریخی شهر قزوین، مورد تحلیل قرار دهد.

۳. روش تحقیق

در این پژوهش با استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای درصد مساحت شیشه‌های رنگی و ساده‌ی به‌کار رفته در ارسی‌های مورد بررسی به دست آمد و از طریق انجام آزمایش و تحلیل داده‌های خروجی، میزان عبور نور در طول موج‌های مختلف ناحیه‌ی مرئی و همچنین انرژی عبوری از هر یک از ارسی‌ها بررسی شد. برای این منظور، ابتدا پنج خانه‌ی متعلق به دوره‌ی قاجار که امکان بازدید از آن وجود داشت، انتخاب شد. عوامل تأثیرگذار در انتخاب این بناها این بود که همه‌ی آن‌ها دارای ارسی هستند و از آن‌جایی که مربوط به یک دوره‌ی تاریخی و نیز یک منطقه‌ی کوچک (محدوده‌ی تاریخی شهر قزوین) می‌باشند، شباهت‌های فراوانی به‌لحاظ ملاحظات اقلیمی در آن‌ها به‌چشم می‌خورد. از این شباهت‌ها می‌توان به جهت‌گیری و درصد نسبی به‌کارگیری از شیشه‌های سفید و رنگی (که در این بناها به نسبت بسیاری از بناهای شهرهای مرکزی ایران به میزان بیشتری از شیشه‌های بی‌رنگ استفاده شده است) اشاره کرد. سپس در بازدیدهایی که توسط نگارندگان صورت گرفت مشخص شد که تعدادی از ارسی‌ها پس از بازسازی تغییر یافته و شکل قبلی خود را از دست داده‌اند و نسبت شیشه‌های رنگی به‌کار رفته در آن‌ها تغییر یافته است. بنابراین نباید در این پژوهش از این ارسی‌ها به‌عنوان نمونه‌های موردی استفاده می‌شد. در نهایت ارسی‌های به‌کار رفته در شاه‌نشین، تابستان‌نشین، سه‌دری‌های جنوبی و سه‌دری‌های شمالی در خانه‌ی بهروزی، شاه‌نشین و سه‌دری در خانه‌ی محصص، شاه‌نشین و دو نمونه از سه‌دری‌های خانه‌ی شهیدی، زمستان‌نشین و هفت‌دری غربی در خانه‌ی حاج‌فتحعلی و دو پنج‌دری شمالی در حسینیه‌ی امینی‌ها، به عنوان دوازده نمونه‌ی موردی، انتخاب شدند. پس از عکس‌برداری از هر یک ارسی‌ها، مدل دوبعدی آن‌ها به منظور محاسبه‌ی درصد مساحت شیشه‌های ساده و رنگی مختلف، به‌وسیله‌ی نرم‌افزار اتوکد، شبیه‌سازی شد. در این مرحله طرح گره‌های چوبی و شیشه‌های به‌کار رفته در ارسی‌ها همچنین رنگ این شیشه‌ها شبیه‌سازی شد. سپس داده‌های مربوط به هریک از ارسی‌ها در نرم‌افزار اکسل دسته‌بندی شد تا امکان مقایسه و تحلیل را به شکل مناسب‌تری فراهم آورد.

شکل ۱. خانه‌های بررسی شده؛ خانه‌ی حاج فتحعلی (۱)، خانه‌ی محصص (۲)، حسینیه‌ی امینی‌ها (۳)، خانه‌ی بهروزی (۴) و خانه‌ی شهیدی (۵)، (مأخذ: نگارندگان)

به منظور دست‌یابی به درصد عبور نور در طول موج‌های مختلف (در ناحیه‌ی مرئی) از ارسی‌ها، می‌بایست از دستگاه اسپکتروفوتومتر استفاده می‌شد. برای انجام آزمایش با این دستگاه نیاز است تا نمونه‌هایی با ابعاد مشخص (کمتر از ۲۰ سانتی‌متر) در آن قرار داده شود و پس از تابش نور توسط دستگاه به آن، درصد عبور نور در طول موج‌های مختلف به‌دست آید. لذا نیاز بود تا از هر ارسی نمونه‌هایی را برای انجام آزمایش به آزمایشگاه منتقل کنیم. ولی امکان جداسازی شیشه‌ها از ارسی‌های ساخت دوره‌ی قاجار وجود نداشت. لذا تصمیم بر این شد تا از هر

رنگ از شیشه‌ها یک نمونه تهیه شده و نتیجه‌ی به دست آمده از آزمایش بر روی آن‌ها را به تمام ارسی‌ها تعمیم دهیم. پس از پیگیری‌های فراوان و با کمک سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان قزوین، نمونه‌هایی از شیشه‌های رنگی آبی، قرمز، سبز، زرد و همچنین یک نمونه شیشه‌ی بی‌رنگ که همگی متعلق به دوره‌ی قاجار بودند، تهیه شد. در نهایت نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و نتایج آزمایش عبور طیفی نور از آن‌ها به صورت داده‌های عددی به‌دست آمد. این نتایج نیز برای دسته‌بندی و تحلیل‌های بعدی وارد نرم‌افزار اکسل شدند. میزان عبور نور در طول موج‌های مختلف (در ناحیه‌ی مرئی) از ارسی‌ها نیز، با توجه به مشخص شدن درصد مساحت هر یک از شیشه‌های رنگی و همچنین درصد عبور نور در طول موج‌های مختلف از شیشه‌های رنگی و ساده، با استفاده از میانگین وزنی، به دست آمد.

مرحله‌ی بعدی مقایسه‌ی انرژی عبوری از هر یک از ارسی‌ها بود که به این منظور نیز با استفاده از داده‌های به دست آمده در رابطه با درصد عبور نور در طول موج‌های مختلف (در ناحیه‌ی مرئی) از ارسی‌ها و همچنین درصد ثابت خورشیدی در هر محدوده از طول‌موج‌ها، معیاری تقریبی به‌دست آمد.

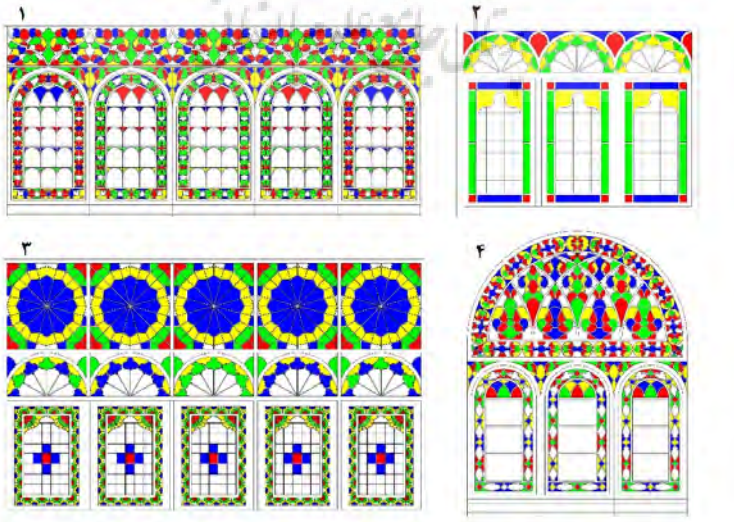
۴. محاسبه‌ی میزان استفاده از شیشه‌های رنگی مختلف در نمونه‌های موردی

یکی از عوامل مهم در گزینش بناها به عنوان نمونه‌های موردی جهت تحلیل و مقایسه‌ی ارسی‌های به‌کار رفته در آن‌ها، مشابه بودن شرایط اقلیمی و همچنین مواردی چون زاویه‌ی ارتفاع، زاویه‌ی جهت‌نمای خورشید و میزان ابرناکی آسمان بود. چراکه این عوامل از مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار در چگونگی طراحی ارسی، به شمار می‌روند. از این رو به‌منظور دست‌یابی به نتایج قابل‌اطمینان‌تر، تمامی نمونه‌های موردی در محدوده‌ی تاریخی شهر قزوین، انتخاب شدند. ویژگی مشترک دیگر این بناها تعلق تمامی آن‌ها به دوره‌ی قاجار می‌باشد. پس از بررسی ارسی‌های مورد نظر، مشخص شد که شیشه‌های رنگی به‌کار رفته در همه‌ی آن‌ها شامل رنگ‌های آبی، قرمز، سبز و زرد است که در کنار شیشه‌های بی‌رنگ مورد استفاده قرار می‌گرفتند. برای ساخت این شیشه‌های رنگی از مواد مختلفی استفاده می‌کردند که در جدول ۱ به آن‌ها اشاره شده است.

جدول ۱: انواع شیشه‌های رنگی و مواد به کار رفته در ساختار آن‌ها (مأخذ: حامی، ۱۳۷۸)

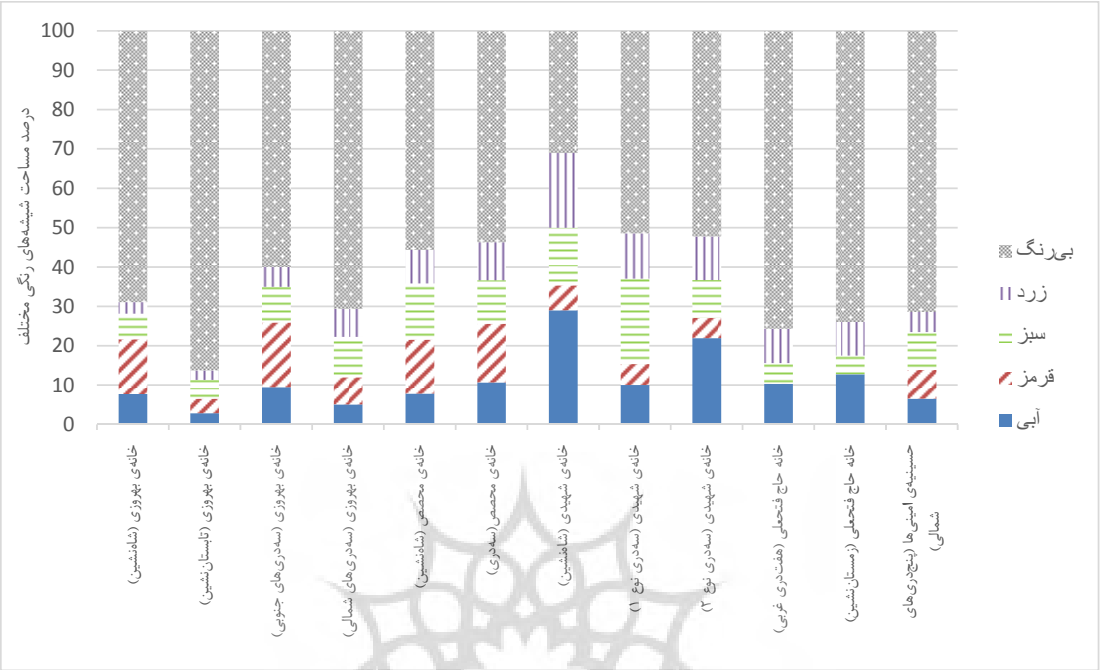
رنگ شیشه	مواد رنگی به کار رفته در شیشه ها
آبی	کبالت
زرد	گوگرد
سبز	کرم
قرمز	مس

به منظور دست‌یابی به میزان عبور طیفی نور خورشید و همچنین درصد انرژی تابشی عبوری در ناحیه‌ی مرئی از هر ارسی نیاز بود تا مساحت هر کدام از شیشه‌های رنگی به‌کار رفته در آن‌ها مشخص شود. برای نیل به این هدف با استفاده از نرم‌افزار اتوکد، تمامی ارسی‌ها شبیه‌سازی رایانه‌ای شدند.



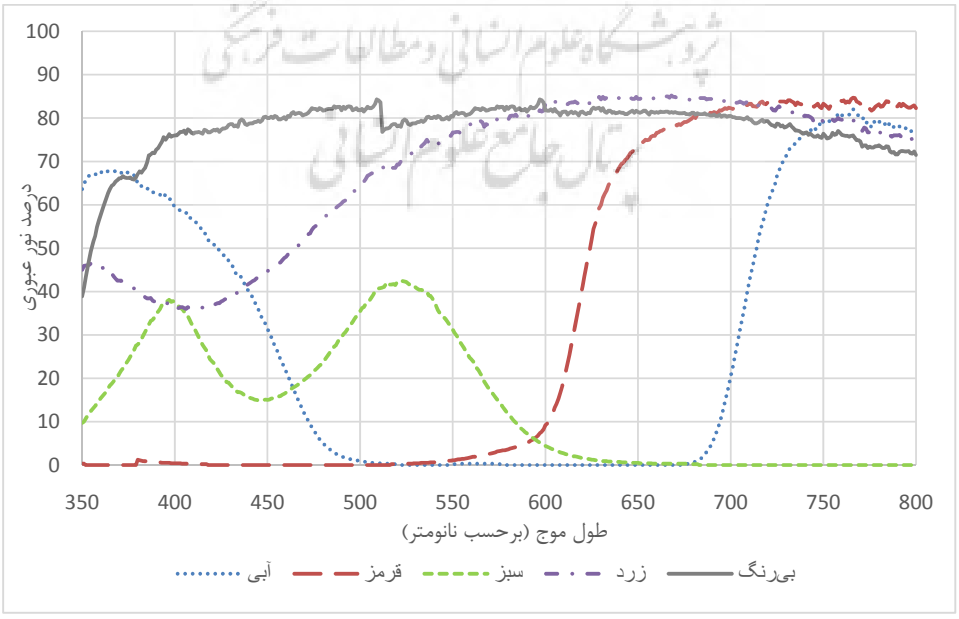
شکل ۲. نمونه‌هایی از شبیه‌سازی ارسی‌ها با استفاده از نرم‌افزار اتوکد، شاه‌نشین خانه‌ی محصص (۱)، سه‌دری خانه‌ی شهیدی (۲)، شاه‌نشین خانه‌ی شهیدی (۳) و سه‌دری خانه‌ی محصص (۴) (مأخذ: نگارندگان)

در محاسبه‌ی سطح شیشه‌های رنگی و ساده، سعی شده است که مساحت گره‌های چوبی و چهارچوب‌ها از مساحت کل ارسی کم شود تا به مقدار دقیق‌تری دست‌یابیم. در ادامه درصد مساحت هر یک از شیشه‌های رنگی به‌کاررفته در ارسی‌های مورد بررسی برای مقایسه‌ی بهتر به صورت نموداری آمده است (شکل ۱).



شکل ۳. درصد مساحت شیشه‌های رنگی به کار رفته در ارسی‌های بررسی شده در بناهای مختلف (با ذکر موقعیت ارسی در بنا) (مأخذ: نگارندگان)

بر اساس شکل ۱ می‌توان دریافت که در ۱۱ ارسی از مجموع ۱۲ ارسی، مساحت شیشه‌های بی‌رنگ و ساده بیش از ۵۰ درصد است که این مسئله، به دلیل اهمیت ورود نور و در کنار آن انرژی بیشتر به خانه‌های این دوره از معماری در شهر قزوین نسبت به بناهای ساخته‌شده در شهرهای مرکزی با اقلیم گرم، می‌باشد.



شکل ۴. درصد عبور نور در طول موج‌های واقع در محدوده‌ی ۳۵۰-۸۰۰ نانومتر، در شیشه‌های مورد بررسی (ترسیم شده با دقت ۱ نانومتر) (مأخذ: نگارندگان)

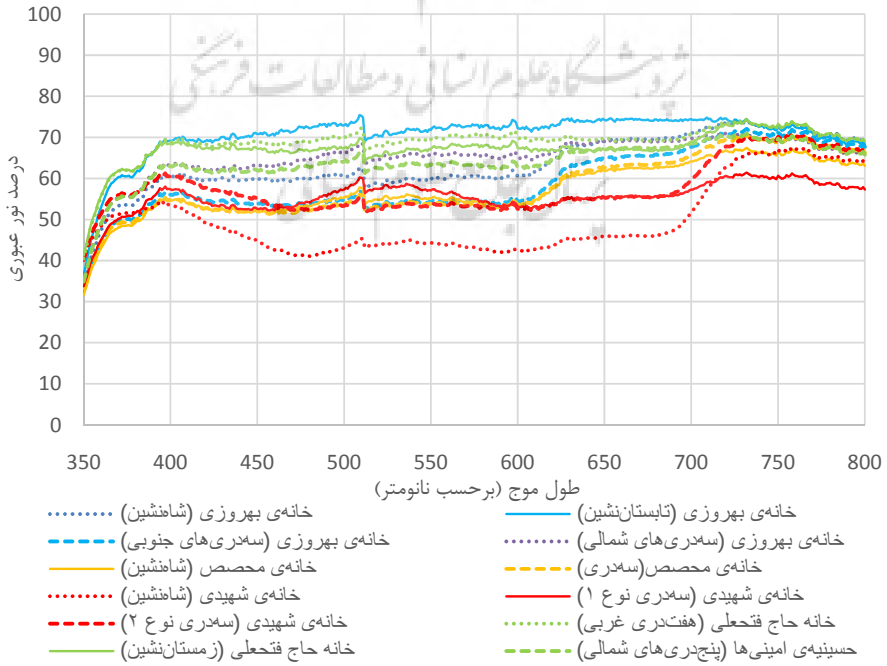
میزان نور عبوری از هر یک از شیشه‌های رنگی و ارسی‌ها برای این که بتوانیم طیف نور عبوری در ناحیه‌ی مرئی را در نمونه‌های مختلف ارسی‌های مورد استفاده در خانه‌های تاریخی قزوین (متعلق به دوره‌ی قاجاریه) به دست آوریم، نیاز بود تا نمونه‌هایی از شیشه‌های رنگی هریک از ارسی‌ها را برای انجام آزمایش به آزمایشگاه مورد نظر منتقل کنیم. اما از آن‌جایی که امکان جداسازی شیشه‌های مورد استفاده در این بناها به هیچ وجه وجود نداشت، چند نمونه از شیشه‌های رنگی و ساده که به دوره‌ی قاجاریه مربوط می‌شد، برای انجام آزمایش تهیه شد. برای دست‌یابی به طیف نور عبوری از این شیشه‌ها (در ناحیه‌ی مرئی)، از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل M350 Double Beam در ناحیه فرابنفش و مرئی[۲] استفاده شد.

محدوده‌ی طول موج‌های مورد آزمایش در بین ناحیه‌ی ۳۵۰ تا ۸۰۰ نانومتر تنظیم شد و پس از قراردادن نمونه‌های مختلف در دستگاه، داده‌های اولیه مربوط به درصد هر یک از طول موج‌های عبوری از این شیشه‌ها به‌دست آمد. سپس با استفاده از نرم‌افزار اکسل[۳]، این داده‌ها طبقه‌بندی و بر اساس آن‌ها نموداری ترسیم شد (شکل ۲).

همان‌طور که در این نمودار دیده می‌شود، نمودار حاصل شده از درصد نور عبوری در طول موج‌های مختلف در شیشه‌ی بی‌رنگ و ساده، با نمودار مربوط به طیف انتقالی شیشه‌های ساده‌ی امروزی تاحدی متفاوت است. دلیل این موضوع این است که این شیشه‌ها بسیار قدیمی بوده و همزمان با دوره‌ی قاجار ساخته شده‌اند. بنابراین کاملاً همگن نبوده و تاحدی نیز دچار فرسایش شده‌اند. در نتیجه طیف انتقالی آن‌ها با شیشه‌های امروزی یکسان نیست.

موضوع دیگری که در این نمودار به چشم می‌خورد این است که میزان عبور نور در شیشه‌های بی‌رنگ و زرد به‌مراتب بیش‌تر از شیشه‌های آبی، قرمز و سبز می‌باشد. طبق محاسبات انجام شده، مقدار عددی درصد عبور نور در شیشه‌های مختلف در محدوده‌ی طول موج‌های ۳۵۰ تا ۸۰۰ نانومتر، برای شیشه‌های آبی ۲۹.۷۶ درصد، شیشه‌های قرمز ۳۲.۸۵ درصد، شیشه‌های سبز ۱۴.۱۲درصد، شیشه‌های زرد ۶۸،۱۱ درصد و شیشه‌های بی‌رنگ ۷۷.۷۸ درصد به‌دست آمد.

به منظور به‌دست آوردن میزان نور عبوری در طول موج‌های مختلف از هر یک ارسی‌ها به فضاهای مجاور، با توجه به این‌که شیشه‌های رنگی متنوعی در آن‌ها به‌کار رفته بود و مساحت‌های این شیشه‌ها نیز در هر ارسی نسبت به ارسی دیگر متمایز بود، می‌بایست میانگین وزنی از میزان نور عبوری در طول‌موج‌های مختلف، به نسبت سطح شیشه‌ها گرفته می‌شد. این مرحله نیز توسط نرم‌افزار اکسل در هریک از طول موج‌های صحیح موجود در محدوده‌ی ۳۵۰ تا ۸۰۰ نانومتر (یعنی ۴۵۱ داده عددی) صورت پذیرفت تا دقت نمودار ترسیمی نیز افزایش یابد (شکل ۳).

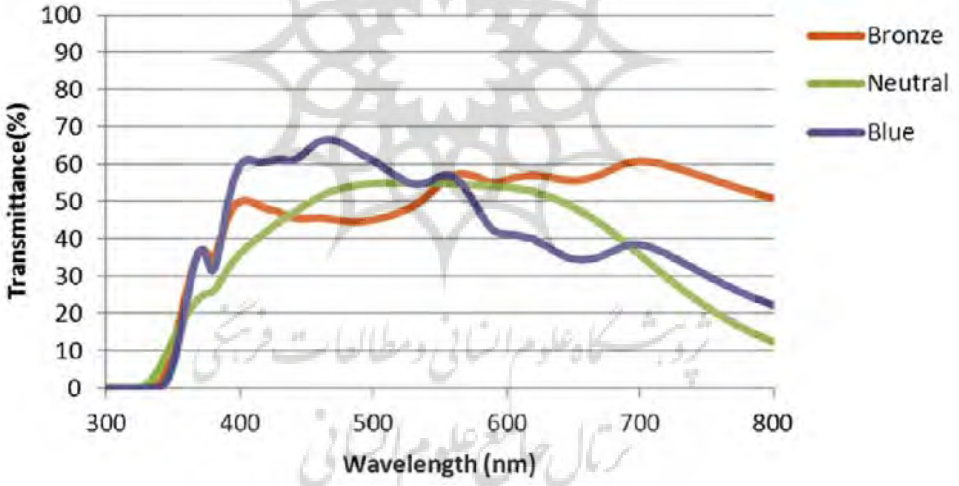


شکل ۵. میزان عبور نور از ارسی‌های مختلف در طول موج‌های ناحیه‌ی مرئی، مأخذ: نگارندگان

شکل ۳ نشان می‌دهد که در ۱۱ ارسی از ۱۲ ارسی که در خانه‌های مربوط به دوره‌ی قاجر در شهر قزوین مورد بررسی قرار گرفتند، درصد عبور نور در طول موج ۵۵۵ نانومتر، که در بالاترین نقطه از منحنی حساسیت چشم انسان قرار دارد، بیش از ۵۰ درصد می‌باشد. این میزان در ۶ ارسی (یعنی ۵۰ درصد از کل ارسی‌ها)، بیش از ۶۰ درصد است. این موضوع به این دلیل است که در همه‌ی نمونه ارسی‌های بررسی‌شده، مجموع مساحت شیشه‌های بی‌رنگ و زرد کم‌تر از ۵۰ درصد نیست و در ۹۱ درصد از این ارسی‌ها این میزان بیش‌از ۶۲ درصد است.

برای مقایسه‌ی درصد عبور نور در ارسی‌های مورد بررسی، با شیشه‌های امروزی که با توجه به طیف ترجیهی و با بهره‌مندی از تکنولوژی‌های پیشرفته ساخته شده‌اند و دارای بهره‌وری انرژی بالایی نیز می‌باشند، نمودار عبور طیفی سه نمونه شیشه آورده شده است (شکل۴). این نمونه‌ها شامل شیشه‌های آبی و برنزی یک لایه با ضخامت ۶ میلی‌متر و همچنین یک شیشه‌ی بی‌رنگ دوجداره می‌باشند که در کارخانه‌ای در شهر کبک کانادا ساخته شده‌اند. ضخامت جداره‌های داخلی و خارجی شیشه‌ی بی‌رنگ به‌ترتیب ۴ و ۶ میلیمتر و فاصله‌ی میان دوجداره ۹ میلیمتر (هوا) می‌باشد (Arsenault et al., 2012: 226).

همان‌طور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، در این سه نمونه سعی شده تا میزان عبور نور در طول‌موج‌های نزدیک به ۵۵۵ نانومتر به حداکثر و در طول موج‌های بیش‌تر و کم‌تر از این مقدار، کاهش یافته و به صفر نزدیک گردد. اما نکته‌ی قابل توجه در مقایسه‌ی این شیشه‌ها با ارسی‌های بررسی شده این است که میزان عبور نور در طول موج ۵۵۵ نانومتر در این شیشه‌ها کمتر از ۶۰ درصد است؛ در حالی که این مقدار در نیمی از ارسی‌ها بیش از ۶۰ درصد و در ۱۶ درصد از آن‌ها بیش از ۷۰درصد می‌باشد. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که این ارسی‌ها از نظر عبور نور، نسبت به سه شیشه‌ی مورد نظر، برای چشم انسان مناسب‌ترند.



شکل ۶: طیف عبوری از سه شیشه‌ی برنزی، بی‌رنگ و آبی (مأخذ: Arsenault et al.، ۲۰۱۲)

۵. درصد انرژی عبوری در ناحیه‌ی مرئی در هر یک از ارسی‌ها

برای مقایسه‌ی تقریبی میزان انرژی جذب شده و عبوری در هر یک از نمونه‌های شیشه‌های رنگی، ثابت خورشیدی معادل ۱۳۶۷ وات بر متر مربع در نظر گرفته شد (Iqbal, 1983: 48). همچنین فرولیچ و همکارانش در مرکز تابش جهان (WRC[۴]) واقع در سوئیس، توانستند در مورد توزیع طیفی تابش خورشید، مقادیر جدیدی ارائه کنند (Fröhlich & Wehrli: 1981) (Fröhlich & Brusa: 1981). با بهره‌مندی از این مقادیر و به‌منظور ارائه‌ی مختصر این داده‌ها، جدول ۲ ترسیم شد. این جدول طیف نور خورشید را به‌طور تقریبی به رنگ‌ها و مقادیر انرژی تابشی مختلف در طول‌موج‌های متفاوت، تقسیم می‌نماید.

جدول ۲: تقسیم بندی تقریبی طیف نور خورشید به رنگ‌ها و مقادیر انرژی مختلف در طول موج‌های متفاوت

طول‌موج (nm)		رنگ متناظر با آن	مقدار تابش (W/m^2)		درصد ثابت خورشیدی (I_{sc}) در هر محدوده از طول‌موج‌ها	
فرابنفش	کمتر از ۳۹۰	-	۹۸.۱۹		۷.۱۹	
مرئی	۴۵۵-۳۹۰	بنفش	۱۰۸.۸۵	۶۳۴.۴۱	۷.۹۷	۴۶.۴۱
	۴۹۲-۴۵۶	آبی	۷۳.۶۳		۵.۳۹	
	۵۷۷-۴۹۳	سبز	۱۶۰		۱۱.۷۰	
	۵۹۷-۵۷۸	زرد	۳۵.۹۷		۲.۶۳	
	۶۲۲-۵۹۸	نارنجی	۴۳.۱۴		۳.۱۵	
	۷۷۰-۶۲۳	قرمز	۲۱۲.۸۲		۱۵.۵۷	
فروسرخ	بیش‌تر از ۷۷۰	-	۶۳۴.۴		۴۶.۴۰	

برداشت از Iqbal, 1983

در ادامه از درصد ثابت خورشیدی متناظر با هر بازه از طول‌موج‌های مرئی که در جدول۲ آمده، صرفاً جهت مقایسه‌ی میزان انرژی عبوری در طول‌موج‌های مختلف، از ارسی‌ها استفاده شده است. چراکه محاسبه‌ی دقیق میزان انرژی تابشی خورشید که پس از رسیدن به سطح زمین، از شیشه‌های رنگی ارسی‌ها نیز عبور کرده و وارد فضاهای داخلی می‌شوند به پارامترهای بسیاری مانند زاویه‌ی ارتفاع، زاویه‌ی جهت‌نمای خورشید و میزان ابرناکی آسمان و ... بستگی دارد. لذا در این پژوهش هدف از طرح این مقادیر، تنها انجام یک مقایسه‌ی کلی درمورد خاصیت عبور و جذب انرژی، میان انواع شیشه‌های رنگی به‌کار رفته در ارسی‌های مورد مطالعه بوده است.

به منظور تخمین درصد انرژی تابشی عبوری از ارسی‌های مختلف در ناحیه مرئی، پس از به‌دست آوردن درصد سطح شیشه‌های رنگی و ساده در نمونه‌های ارسی و همچنین میزان عبور نور از آن‌ها در طول موج‌های ناحیه‌ی مرئی، این روش توسط نگارندگان پیشنهاد شد و مورد استفاده قرار گرفت.

$$M_{(a\sim b)} = (\sum_{\lambda=a}^{b} T_\lambda) / (b\text{-}a)$$

$$P_E = ((M_{(390\sim455)} \cdot P_{(390\sim455)}) + (M_{(456\sim492)} \cdot P_{(456\sim492)}) + (M_{(493\sim577)} \cdot P_{(493\sim577)}) + (M_{(578\sim597)} \cdot P_{(578\sim597)}) + (M_{(598\sim622)} \cdot P_{(598\sim622)}) + (M_{(623\sim770)} \cdot P_{(623\sim770)})) \cdot (2.1547)$$

رابطه‌ی ۱: تخمین درصد انرژی تابشی عبوری از ارسی‌های مختلف در ناحیه مرئی، استنتاج از کار تحقیقاتی صورت گرفته توسط نگارندگان.

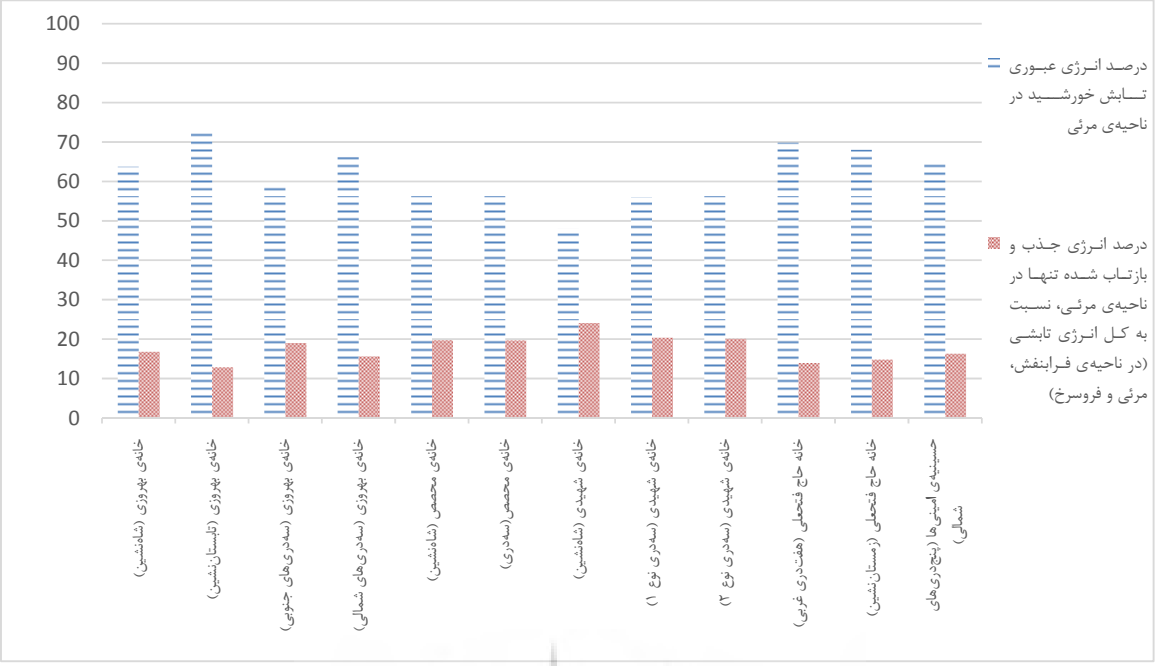
T_λ: درصد عبور نور از هر ارسی در طول موج λ

$M_{(a\sim b)}$: میانگین درصد عبور نور از هر ارسی در طول موج‌های موجود در بازه‌ی a تا b نانومتر

$P_{(a\sim b)}$: درصد ثابت خورشیدی در محدوده‌ی طول‌موج‌های a تا b نانومتر (که از شکل۶ به‌دست می‌آید)

P_E: درصد انرژی تابشی عبوری از ارسی‌های مختلف در ناحیه مرئی

با استفاده از رابطه‌ی مذکور، درصد تقریبی انرژی عبوری از هر ۱۲ نمونه‌ی ارسی در طول موج‌های ناحیه‌ی ۳۹۰ تا۷۷۰ نانومتر به دست آمد. به‌منظور امکان مقایسه‌ی بهتر، این مقادیر به صورت نموداری ارائه شدند (شکل۵). همچنین باتوجه به این‌که حدود ۴۶.۴۱ درصد از کل انرژی تابشی خورشید مربوط به بازه‌ی مرئی می‌شود، درصد انرژی جذب‌شده و بازتاب شده توسط شیشه‌های ارسی در ناحیه‌ی مرئی به کل مقدار انرژی تابشی خورشید در هر سه ناحیه‌ی فروسرخ، مرئی و فرا بنفش تقسیم شد تا میزان تأثیرگذاری جذب و بازتاب انرژی در ناحیه‌ی مرئی در این ارسی‌ها کاملاً مشخص شود.



شکل ۷. تخمین درصد انرژی تابشی عبوری از ارسی‌های مختلف در ناحیه ۳۹۰-۷۷۰ نانومتر (مرئی) و درصد انرژی جذب و بازتاب شده در ناحیه‌ی مرئی نسبت به کل انرژی تابشی (با استفاده از درصد ثابت خورشیدی (I_{sc}) در هر محدوده از طول‌موج‌ها که در شکل۴ آمده است)، مأخذ: نگارندگان

شکل ۵ نشان می‌دهد که درصد تقریبی انرژی عبوری از ۱۲ نمونه ارسی بررسی شده بین ۴۸ تا ۷۲ درصد است. این بدان معناست که در این بناها حدود ۲۸ تا ۵۲ درصد از انرژی تابشی خورشید در ناحیه‌ی مرئی به‌طور مستقیم وارد فضاهای داخلی نمی‌شود. این موضوع خود کمک می‌کند تا افزایش دمای نامطلوب به‌ویژه در فصول گرم که نیاز به بار سرمایشی وجود دارد، کمتر رخ دهد. همچنین با مقایسه‌ی درصد انرژی جذب‌شده و بازتاب شده توسط شیشه‌های ارسی در ناحیه‌ی مرئی نسبت به کل مقدار انرژی تابشی خورشید، در نمونه‌های مورد بررسی، مشخص شد که این مقدار بین ۱۲ تا ۲۴ درصد است. میانگین آن نیز در همه‌ی ارسی‌ها حدود ۱۷.۸ درصد بود. این عدد بیانگر این موضوع است که شیشه‌های به‌کار رفته در ارسی تنها با احتساب مقدار جذب و بازتابی که در طول موج‌های ناحیه‌ی مرئی نور خورشید انجام می‌دهند، می‌توانند به این میزان از ورود انرژی تابشی بکاهند.

۶. نتیجه‌گیری

پس از بررسی ۱۲ عدد نمونه‌ی ارسی مختلف مشخص شد که در تمامی آن‌ها از شیشه‌های رنگی و ساده در کنار هم استفاده شده است. شیشه‌های رنگی شامل رنگ‌های آبی، قرمز، سبز و زرد بودند. میزان استفاده از شیشه‌های رنگی در آن‌ها متفاوت بود، ولی نکته‌ی قابل توجه این است که در ۹۱ درصد از آن‌ها، مساحت شیشه‌ی بی‌رنگ و ساده، بیش از ۵۰ درصد بود. در آزمایشی که برای مشخص کردن میزان عبور نور در طول موج‌های مختلف از شیشه‌های رنگی و ساده‌ی متعلق به دوره‌ی قاجار انجام شد، درصد عبور نور از شیشه‌های ساده و زرد، به‌مراتب بیش‌تر از نمونه‌های آبی، قرمز و سبز به‌دست آمد. این مقدار برای شیشه‌های زرد ۶۸،۱۱ درصد و برای شیشه‌های بی‌رنگ ۷۷.۷۸ درصد بود. در حالی که درصد عبور نور به‌دست آمده برای شیشه‌های آبی ۲۹.۷۶ درصد، شیشه‌های قرمز ۳۲.۸۵ درصد و شیشه‌های سبز ۱۴.۱۲درصد بود. بنابراین با توجه به درصد بالای استفاده از شیشه‌های بی‌رنگ و زرد و همچنین درصد عبور نور بالا در آن‌ها، مشخص شد که یکی از عوامل تأثیرگذار بر انتخاب شیشه‌های رنگی در معماری ایران، توجه به اقلیم بوده است. چرا که در شهر قزوین به نسبت شهرهای مرکزی و کویری مانند یزد و کاشان نیاز بیشتری به نور خورشید برای تأمین آسایش ساکنان وجود داشته است.

در مرحله‌ی بعد داده‌هایی در مورد میزان نور عبوری در طول موج‌های مختلف از هر ارسی، به دست آمد. نمودار ترسیم‌شده از این داده‌ها نشان داد که در ۹۱ درصد از ارسی‌های مورد بررسی، بیش از ۵۰ درصد نور در طول موج ۵۵۵ نانومتر، که چشم انسان بیشترین حساسیت را دارد، از شیشه‌های ارسی عبور می‌کند. نکته‌ی قابل توجه این است که در نیمی از کل ارسی‌ها، این مقدار بیش از ۶۰ درصد

می‌باشد. سپس از مقایسه‌ی طیف عبوری ارسی‌ها با طیف عبوری از سه شیشه‌ی برنزی، بی‌رنگ و آبی امروزی که با توجه به طیف ترجیهی ساخته شدند، مشخص شد که میزان عبور نور در طول موج ۵۵۵ نانومتر در این شیشه‌ها کمتر از ۶۰ درصد است؛ به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که در مجموع ارسی‌های مورد بررسی، از نظر عبور نور، نسبت به سه شیشه‌ی مورد نظر، برای چشم انسان مناسب‌ترند. درنهایت نیز درصد انرژی عبوری در ناحیه‌ی مرئی در هر یک از ارسی‌ها محاسبه شد و پس از تحلیل و بررسی مشخص شد که حدود ۲۸ تا ۵۲ درصد از انرژی تابشی خورشید در ناحیه‌ی مرئی از ارسی‌ها عبور نکرده و به‌طور مستقیم وارد فضاهای داخلی نمی‌شود. لذا باتوجه به این‌که حدود ۴۶.۴۱ درصد از کل انرژی تابشی خورشید در بازه‌ی مرئی می‌باشد، درصد انرژی جذب‌شده و بازتاب شده توسط شیشه‌های ارسی، قابل توجه خواهد بود. این میزان از عدم عبور انرژی تابشی با توجه به اقلیم قزوین، که در زمستان نیاز زیادی به گرمایش فضاهای داخلی وجود دارد، مقدار قابل قبولی می‌باشد. با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت که در معماری ایران، استفاده از ارسی با بهره‌مندی مناسب و مؤثر از شیشه‌های رنگی متناسب با نیازهای اقلیمی، یکی از راه‌کارهای مناسب جهت کنترل نور و انرژی ورودی به فضاهای داخلی بوده است.

۷. تشکر و قدردانی

از سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان قزوین که در رابطه با بازدید از خانه‌های تاریخی شهر قزوین (خانه‌ی بهروزی، خانه‌ی محصص، خانهِ شهیدی، خانه‌ی حاج فتحعلی و حسینیه‌ی امینی‌ها) و نیز در اختیار گذاشتن نمونه‌های شیشه‌های رنگی مورد نیاز جهت انجام آزمایش، همکاری لازم را معمول نمودند و همچنین سرکار خانم مهندس انصاری مسئول آزمایشگاه شیمی معدنی واقع در دانشکده‌ی علوم پایه دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره) جهت فراهم آوردن امکان آزمایش با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر، تشکر می‌گردد.

پی نوشت

1. Cuttle
2. UV - Visible
3. Microsoft Excel
4. World Radiation Center

فهرست منابع

- امرایی، مهدی (۱۳۹۱). ارسی، پنجره‌های رو به نور، تهران، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).
- حامی، احمد (۱۳۷۸). مصالح ساختمانی، تهران، چاپ دهم، انتشارات دانشگاه تهران.
- حق‌شناس، محمد؛ قیابکلو، زهرا (۱۳۸۷). بررسی تأثیر شیشه‌های رنگی بر میزان نور و انرژی عبوری در محدوده‌ی مرئی، نشریه‌ی علمی‌پژوهشی علوم و فناوری رنگ، سال دوم، جلد ۲، شماره‌ی ۴.
- Arsenault Hélène, Hébert Marc, Dubois Marie-Claude (2012). Effects of glazing colour type on perception of daylight quality, arousal, and switch-on patterns of electric light in office rooms, Building and Environment, Vol. 56, pp. 223-231.
- Boyce PR, Veitch JA, Newsham GR, Jones CC, Heerwagen J, Myer M, et al (2006). Lighting quality and office work: two field simulation experiments, Lighting Res Technol, No. 3, Vol. 38, pp. 191-223.
- Boyce PR (2014). Human Factors in Lighting, Boca Raton, Third Edition, CRC Press.
- Brainard GC, et al (2001). Action spectrum for melatonin regulation in human: evidence for a novel circadian photoreceptor, Journal of Neurosci, Vol. 21, pp. 6405–6412.
- Bülow-Hübe H (1995). Subjective reactions to daylight in rooms: effect of using low-emittance coatings on windows, Lighting Res Technol, No. 1, Vol. 27, pp. 37-44.
- Canziani R, Peron F, Rossi G (2004). Daylight and energy performances of a new type of light pipe, Energy Build, No. 11, Vol. 36, pp. 1163–1176.
- Cuttle C (1979). Subjective assessments of the appearance of special performance glazing in offices, Lighting Research and Technology, Vol. 11, pp. 140–149.
- Danny HW Li, Josph C Lam (2001). Evaluation of lighting performance in office buildings with daylighting controls, Energy and Buildings, Vol. 33, pp. 793-803.
- Dubois MC (2009). Effect of glazing types on daylight quality in interiors: conclusions from three scale model studies, Conference Proceedings Experiencing Light, Eindhoven, Holland, October 26th 2009.
- Fröhlich C, Brusa RW (1981). Solar radiation and its variation in time, Solar Physics, Vol. 74, pp. 209-215.
- Fröhlich C, Wehrli C (1981). Spectral Distribution of Solar Irradiance from 25000 nm to 250 nm, World Radiation Center, Davos, Switzerland, Private Communication.
- Iqbal M (1983). An Introduction to Solar Radiation, Ontario: Academic Press.

- Kerkhof GA (1999). Licht en Prestatie, Proceedings Symposium Licht en Gezondheid, Amsterdam.
- Lam JC, Li DHW, Cheung SO (2003). An analysis of electricity end-use in airconditioned office buildings in Hong Kong, Building and Environment, No. 3, Vol. 38, pp. 493-498.
- Leslie RP (2003). Capturing the Daylight Dividend in Buildings: Why and How?, Building and Environment, Vol. 38, pp. 381-385.
- Li DHW, Tsang EKW (2008). An analysis of daylighting performance for office buildings in Hong Kong, Building and Environment, No. 9, Vol. 43, pp. 1446-1458.
- Li DHW, Lam TNT, Wong SL, Tsang EKW (2008). Lighting and cooling energy consumption in an open-plan office using solar film coating, Energy, Vol. 33, pp. 1288-1297.
- Manav B (2007). An experimental study on the appraisal of the visual environment at offices in relation to colour temperature and illuminance, Building and Environment, Vol. 42, pp. 979-83.
- Sayigh A (2014). Sustainability, Energy and Architecture, Case Studies in Realizing Green Buildings, Cambridge, Academic Press.
- Van Bommel WJM, Van Den Beld GJ (2004). Lighting for work: a review of visual and biological effects, Lighting Res Technol, No. 4, Vol. 36, pp. 255-269.
- Vine E, Lee E, Clear R, DiBartolomeo D, Selkowitz S (1998). Office worker response to an automated venetian blind and electric lighting system: a pilot study, Energy Building, Vol. 28, pp. 205-218.
- Xu Yu, Yuehong Su (2015). Daylight availability assessment and its potential energy saving estimation, a literature review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 52, pp. 494-503.
- Zhenjun Ma, Shengwei Wang (2009). Building energy research in hong kong: a review, Energy Reviews, Vol. 13, pp. 1870-1883.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی