

ارسی، راهکاری برای کنترل نور روز نمونه‌های موردی: خانه‌های دوره‌ی قاجار در قزوین

یوسف گرجی مہلبانی (نویسنده مسئول)، علی اصغر مفرد بوشهری^۲

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۵/۱۳

چکیده

امروزه با توجه به این که افراد درصد قابل توجهی 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 رایانه‌ای 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 بین‌المللی امام خمینی (ره)

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

۱. مقدمه

انسان‌ها در طی سیر تکاملی خود با نور طبیعی سازگار شده‌اند. از این رو نور روز برای آسایش افراد ضروری است. از طرفی 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 بر امکان 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 (امرای، 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 به‌عنوان 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 در نظر گرفتن 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 کارا تر 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 & Canziani et al., 2004: 495) & (Yuehong, 2015: 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

تابش خورشید را (در روزهای آفتابی و حتی در شرایط آسمان تمام‌ابری) به افراد منتقل می‌نماید (Bülw-Hübe, 1995) & (Dubois, 2009: 95).

همچنین نتایج پژوهش‌های متعددی نشان‌دهنده‌ی اولویت داشتن نور طبیعی بر نور مصنوعی در طراحی محیط‌های مصنوعی می‌باشد (Van Bommel, 2004). (Boyce, et al, 2006) & (Vine, et al, 1998: 217). 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 ترکیبی 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 عمودی تر خورشید)، میزان اضطراب در این دو گروه تفاوت زیادی ندارد. بالعکس در ماه می که 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. در نهایت 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 در این 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 در مورد 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

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 آمایش‌ها 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 در نظر بگیریم، آن را در کنار سایر پارامترها در زمینه‌ی نورپردازی ملاحظه کنیم (Dubois, 2009: 95).

در آزمایشی که در سال ۱۹۷۹ میلادی توسط کوتل^۱ 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

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 به کار 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، سه‌دربی‌های جنوبی و سه‌دربی‌های شمالی در خانه‌ی بهروزی، شاه‌نشین و سه‌دربی در خانه‌ی محصص، شاه‌نشین و دو نمونه از سه‌دربی‌های خانه‌ی شهیدی، زمستان‌نشین و هفت‌دربی غربی در خانه‌ی حاج‌فتحعلی و دو پنج‌دربی شمالی در حسینیه‌ی امینی‌ها، به‌عنوان دوازده نمونه‌ی موردی، انتخاب شدند. پس از عکس‌برداری از هر یک ارسی‌ها، مدل دوبعدی آن‌ها به‌منظور 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 هر یک از ارسی‌ها در نرم‌افزار اکسل دسته‌بندی شد تا امکان مقایسه و تحلیل را به شکل مناسب‌تری فراهم آورد.

کند، مطالعات محدودی انجام شده است. با توجه به این که 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 آن جایی که مربوط به یک دوره‌ی تاریخی و نیز یک منطقه‌ی کوچک (محدوده‌ی تاریخی شهر قزوین) می‌باشند، شباهت‌های فراوانی به‌لحاظ ملاحظات اقلیمی در آن‌ها به چشم می‌خورد. از این شباهت‌ها می‌توان به جهت‌گیری و درصد نسبی به‌کارگیری از شیشه‌های سفید و رنگی (که در این بناها به نسبت بسیاری



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

پس از تابش نور توسط دستگاه به آن، درصد عبور نور در طول موج‌های مختلف به دست 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

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

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 به‌کار رفته در ساختار آن‌ها (مأخذ: حامی، ۱۳۷۸)

رنگ شیشه	مواد رنگی به‌کار رفته در شیشه‌ها
آبی	کبالت
زرد	گوگرد
سبز	کرم
قرمز	مس

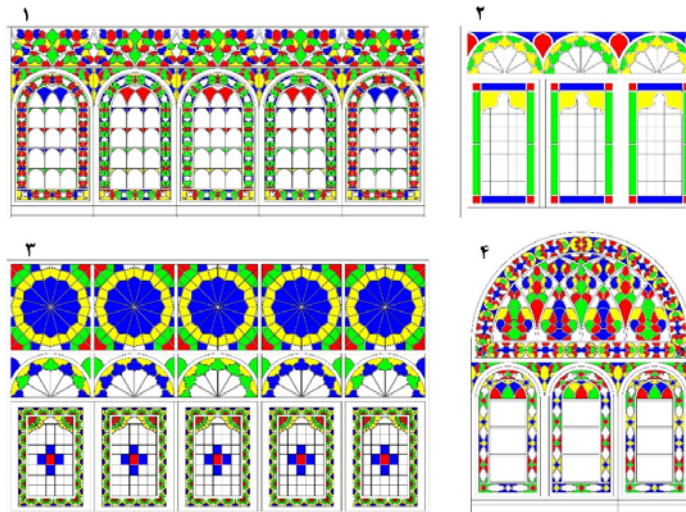
به‌منظور دست‌یابی به میزان عبور طیفی نور خورشید و همچنین درصد انرژی تابشی عبوری در ناحیه‌ی مرئی از هر ارسی نیاز بود تا مساحت هر کدام از شیشه‌های رنگی به‌کار رفته در آن‌ها مشخص شود. برای نیل به این هدف با استفاده از نرم‌افزار اتوکد، تمامی ارسی‌ها شبیه‌سازی رایانه‌ای شدند.

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

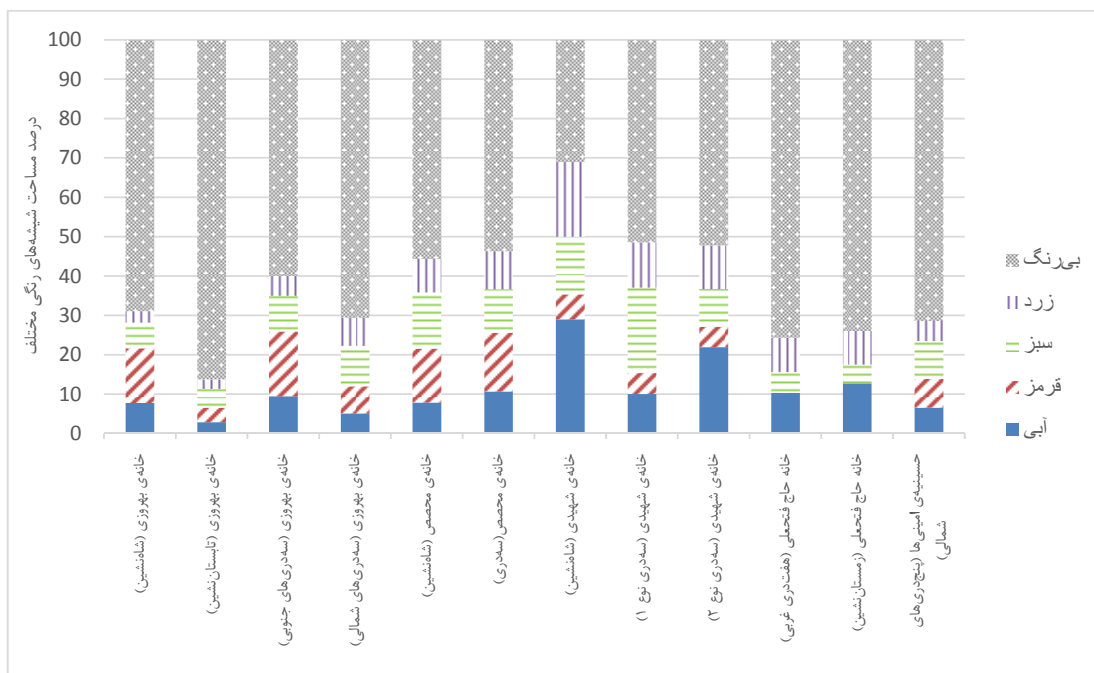
یکی از عوامل مهم در گزینش بناها به عنوان نمونه‌های موردی جهت تحلیل و مقایسه‌ی ارسی‌های به‌کار رفته در آن‌ها، مشابه بودن شرایط اقلیمی و همچنین مواردی چون



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

دست یابیم. در ادامه درصد مساحت هر یک از شیشه‌های رنگی به کاررفته در ارسی‌های مورد بررسی برای مقایسه‌ی بهتر به صورت نموداری آمده است (شکل ۱).

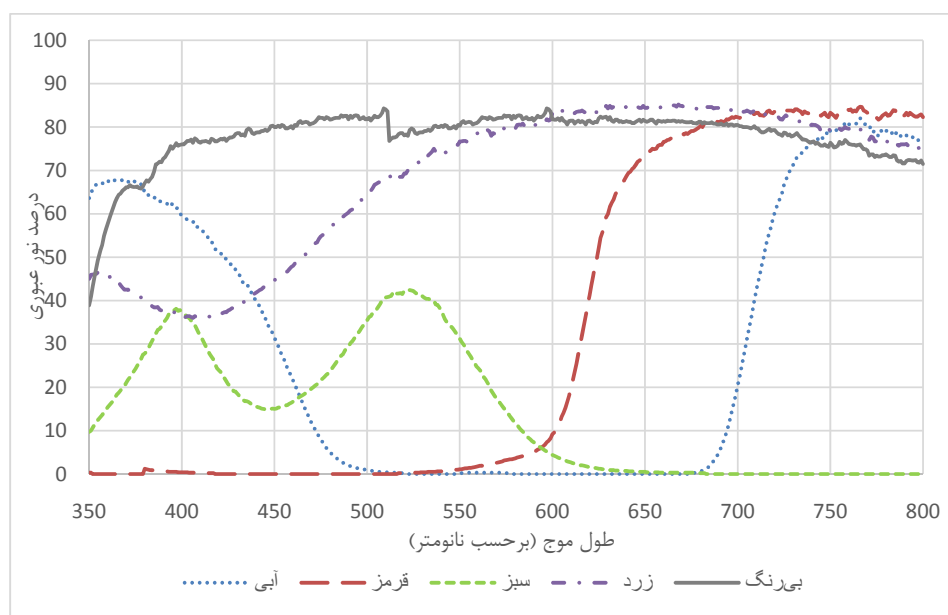
در محاسبه‌ی سطح شیشه‌های رنگی و ساده، سعی شده است که مساحت گره‌های چوبی و چهارچوب‌ها از مساحت کل ارسی کم شود تا به مقدار دقیق‌تری



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

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.

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



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)

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.

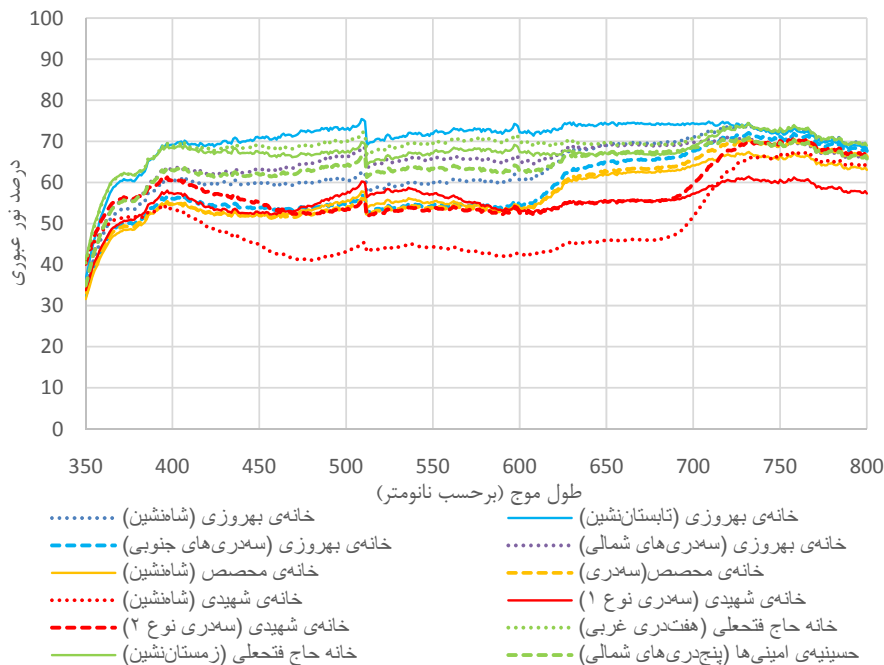
موضوع دیگری که در این نمودار به چشم می‌خورد این است که میزان عبور نور در شیشه‌های بی‌رنگ و زرد به مراتب بیشتر از شیشه‌های آبی، قرمز و سبز می‌باشد. طبق محاسبات انجام شده، مقدار عددی درصد عبور نور در شیشه‌های مختلف در محدوده‌ی طول موج‌های ۳۵۰ تا ۸۰۰ نانومتر، برای شیشه‌های آبی ۲۹.۷۶ درصد، شیشه‌های قرمز ۳۲.۸۵ درصد، شیشه‌های سبز ۱۴.۱۲ درصد، شیشه‌های زرد ۶۸.۱۱ درصد و شیشه‌های بی‌رنگ ۷۷.۷۸ درصد به دست آمد.

به منظور به دست آوردن میزان نور عبوری در طول موج‌های مختلف از هر یک ارسی‌ها به فضاهای مجاور، با توجه به این که شیشه‌های رنگی متنوعی در آن‌ها به کار رفته بود و مساحت‌های این شیشه‌ها نیز در هر ارسی نسبت به ارسی دیگر متمایز بود، می‌بایست میانگین وزنی از میزان نور عبوری در طول موج‌های مختلف، به نسبت سطح شیشه‌ها گرفته می‌شد. این مرحله نیز توسط نرم‌افزار اکسل در هر یک 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).

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 دوهی 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 به دست 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



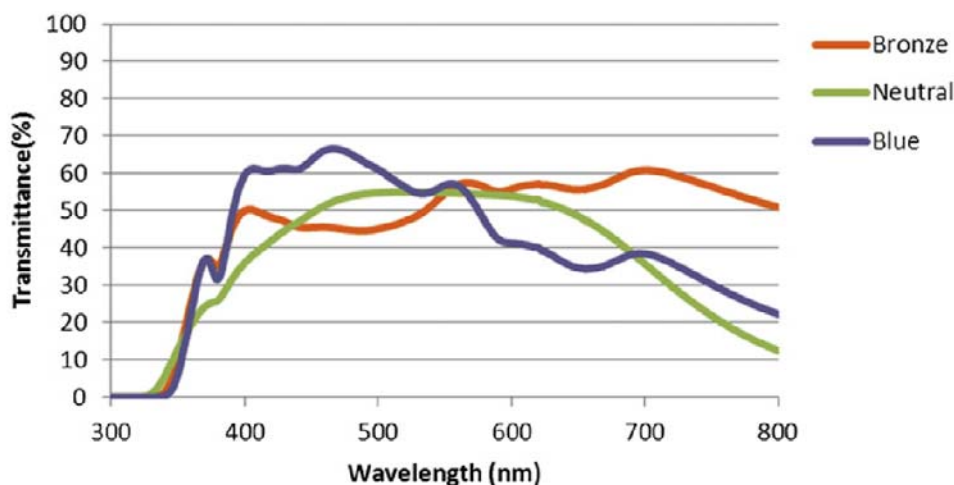
شکل ۵. میزان عبور نور از ارسی‌های مختلف در طول موج‌های ناحیه‌ی مرئی، مأخذ: نگارندگان

می‌باشند که در کارخانه‌ای در شهر کبک کانادا ساخته شده‌اند. ضخامت جداره‌های داخلی و خارجی شیشه‌ی بی‌رنگ به ترتیب 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 طول موج‌های 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 ۷۰ درصد 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 ۳ نشان می‌دهد که در ۱۱ ارسی از ۱۲ ارسی که در خانه‌های مربوط به دوره‌ی قاجار 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 نمونه‌ی ارسی‌های بررسی شده، مجموع مساحت شیشه‌های بی‌رنگ و زرد کم‌تر از ۵۰ درصد نیست و در ۹۱ درصد از این ارسی‌ها این میزان بیش از ۶۲ درصد است.

برای مقایسه‌ی درصد عبور نور در ارسی‌های مورد بررسی، با شیشه‌های امروزی که با توجه به طیف ترجیحی و با بهره‌مندی از تکنولوژی‌های پیشرفته ساخته شده‌اند و دارای بهره‌وری انرژی بالایی نیز می‌باشند، نمودار عبور طیفی سه نمونه شیشه آورده شده است (شکل ۴). این نمونه‌ها شامل شیشه‌های آبی و برنزی یک لایه با ضخامت ۶ میلی‌متر و همچنین یک شیشه‌ی بی‌رنگ دوجداره



شکل ۴: طیف عبوری از سه شیشه‌ی برنزی، بی‌رنگ و آبی (مأخذ: Arsenault et al., ۲۰۱۲)

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 طول موج‌های متفاوت، تقسیم می‌نماید.

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

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

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

برداشت از Iqbal, 1983

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

$M_{(a-b)}$: میانگین درصد عبور نور از هر ارسی در طول

موج‌های موجود در بازه‌ی a تا b نانومتر

$P_{(a-b)}$: درصد ثابت خورشیدی در محدوده‌ی

طول موج‌های a تا b نانومتر (که از شکل ۶ به دست 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 تا ۷۷۰ نانومتر به دست آمد. به منظور امکان مقایسه‌ی

بهتر، این مقادیر به صورت نموداری ارائه شدند (شکل ۵).

همچنین با توجه به این که حدود ۴۶.۴۱ درصد از کل انرژی

تابشی خورشید مربوط به بازه‌ی مرئی می‌شود، درصد

انرژی جذب شده و بازتاب شده توسط شیشه‌های ارسی در

ناحیه‌ی مرئی به کل مقدار انرژی تابشی خورشید در هر

سه ناحیه‌ی فرورسرخ، مرئی و فرا بنفش تقسیم شد تا میزان

تأثیرگذاری جذب و بازتاب انرژی در ناحیه‌ی مرئی در این

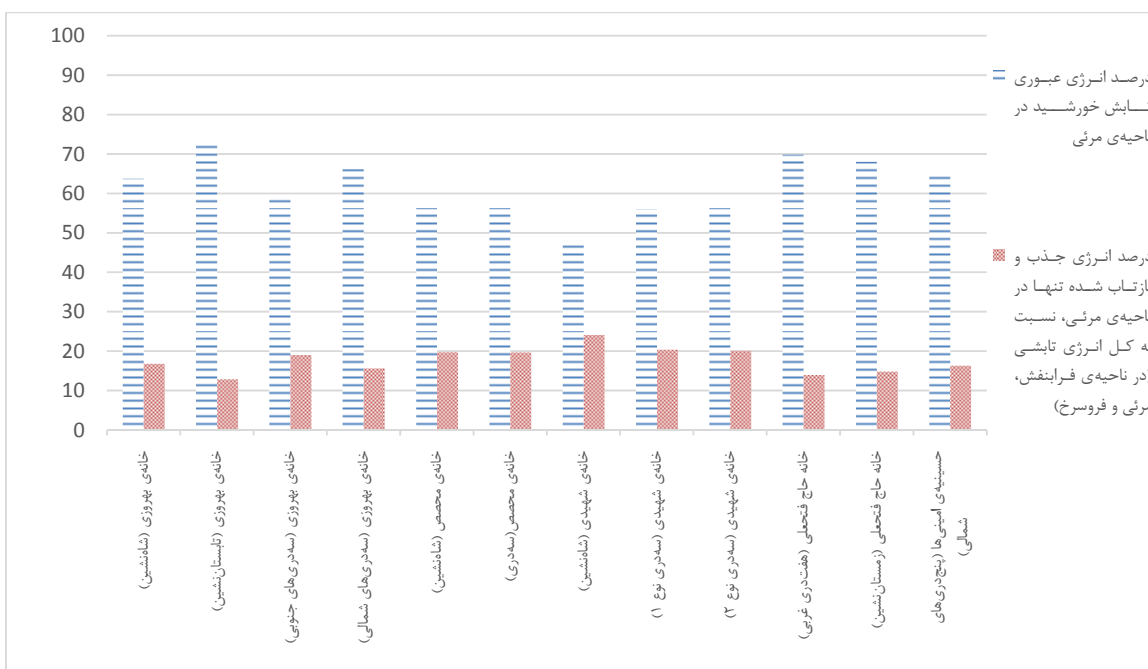
ارسی‌ها کاملاً مشخص شود.

در ادامه از درصد ثابت خورشیدی متناظر با هر بازه از طول موج‌های مرئی که در جدول ۲ آمده، صرفاً جهت مقایسه‌ی میزان انرژی عبوری در طول موج‌های 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 در مورد خاصیت عبور و جذب انرژی، میان انواع شیشه‌های رنگی به کار رفته در ارسی‌های مورد مطالعه بوده است.

به منظور تخمین درصد انرژی تابشی عبوری از ارسی‌های مختلف در ناحیه مرئی، پس از به دست 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.

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

$$P_E = ((M_{(390-455)} \cdot P_{(390-455)}) + (M_{(456-492)} \cdot P_{(456-492)}) + (M_{(493-577)} \cdot P_{(493-577)}) + (M_{(578-597)} \cdot P_{(578-597)}) + (M_{(598-622)} \cdot P_{(598-622)}) + (M_{(623-770)} \cdot P_{(623-770)})) \cdot (2.1547)$$



شکل ۷. تخمین درصد انرژی تابشی عبوری از ارسی های مختلف در ناحیه ۳۹۰-۷۷۰ نانومتر (مرئی) و درصد انرژی جذب و بازتاب شده در ناحیه مرئی نسبت به کل انرژی تابشی (با استفاده از درصد ثابت خورشیدی I_{sc}) در هر محدوده از طول موجها که در شکل ۴ آمده است). مأخذ: نگارندگان

بیش از ۵۰ درصد بود. در آزمایشی که برای مشخص کردن میزان عبور نور در طول موجهای مختلف از شیشه های رنگی و ساده ی متعلق به دوره ی قاجار انجام شد، درصد عبور نور از شیشه های ساده و زرد، به مراتب بیش تر از نمونه های آبی، قرمز و سبز به دست آمد. این مقدار برای شیشه های زرد ۶۸،۱۱ درصد و برای شیشه های بی رنگ ۷۷،۷۸ درصد بود. در حالی که درصد عبور نور به دست آمده برای شیشه های آبی ۲۹،۷۶ درصد، شیشه های قرمز ۳۲،۸۵ درصد و شیشه های سبز ۱۴،۱۲ درصد بود. بنابراین با توجه به درصد بالای استفاده از شیشه های بی رنگ و زرد و همچنین درصد عبور نور بالا در آن ها، مشخص شد که یکی از عوامل تأثیرگذار بر انتخاب شیشه های 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 مرحله ی بعد داده هایی در مورد میزان نور عبوری در طول موجهای مختلف از هر ارسی، به دست آمد. نمودار ترسیم شده از این داده ها نشان داد که در ۹۱ درصد از ارسی های مورد بررسی، بیش از ۵۰ درصد نور در طول موج ۵۵۵ نانومتر، که چشم انسان بیشترین حساسیت را دارد، از شیشه های ارسی عبور می کند. نکته ی قابل توجه این است که در نیمی از کل ارسی ها، این مقدار بیش از ۶۰ درصد

شکل ۵ نشان می دهد 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 ناحیه ی مرئی به طور مستقیم وارد فضاهای داخلی نمی شود. این موضوع خود کمک می کند تا افزایش دمای نامطلوب به ویژه در فصول گرم که نیاز به بار سرمایشی وجود دارد، کمتر رخ دهد. همچنین با مقایسه ی درصد انرژی جذب شده و بازتاب شده توسط شیشه های ارسی در ناحیه ی مرئی نسبت به کل مقدار انرژی تابشی خورشید، در نمونه های مورد بررسی، مشخص شد که این مقدار بین ۱۲ تا ۲۴ درصد است. میانگین آن نیز در همه ی ارسی ها حدود ۱۷،۸ درصد بود. این عدد بیانگر این موضوع است که شیشه های به کار رفته در ارسی تنها با احتساب مقدار جذب و بازتابی که در طول موجهای ناحیه ی مرئی نور خورشید انجام می دهند، می توانند به این میزان از ورود انرژی تابشی بکاهند.

۶. نتیجه گیری

پس از بررسی ۱۲ عدد نمونه ی ارسی مختلف مشخص شد که در تمامی آن ها از شیشه های رنگی و ساده در کنار هم استفاده شده است. شیشه های رنگی شامل رنگ های آبی، قرمز، سبز و زرد بودند. میزان استفاده از شیشه های رنگی در آن ها متفاوت بود، ولی نکته ی قابل توجه این است که در ۹۱ درصد از آن ها، مساحت شیشه ی بی رنگ و ساده،

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، خانه‌ی 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.

می‌باشد. سپس از مقایسه‌ی طیف عبوری ارسی‌ها با طیف عبوری از سه شیشه‌ی برنزی، بی‌رنگ و آبی امروزی که با توجه به طیف ترجیحی 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. در نهایت 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 با توجه به این‌که حدود ۴۶.۴۱ درصد از کل انرژی تابشی خورشید در بازه‌ی مرئی می‌باشد، درصد انرژی جذب‌شده و بازتاب‌شده 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

پی‌نوشت

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 علمی-پژوهشی 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.