

سنجش میزان تأثیر نور روز بر روشنایی زمستان نشین و تابستان نشین خانه های سنتی ایرانی (نمونه مطالعاتی: خانه طباطبایی و خانه بروجردی کاشان)

امیرداد مصلحت جو^۱، سینا رزاقی اصل^۲

۱. دکترای تخصصی رشته معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۲. استادیار طراحی شهری، دانشکده شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

چکیده

نور، کلید درک فضا و عمده ترین مشخصه معماری ایرانی است؛ که از دیرباز در معماری سنتی ایران مورد استفاده قرار گرفته و مستقیماً بر کیفیت درک فضا تأثیر می گذارد. بر اساس پژوهش های صورت گرفته، در خانه های سنتی ایران نورگیرهای متنوعی برای تأمین روشنایی طبیعی تعبیه شده است. این پژوهش با هدف نقش قوانین حاکم بر نورپردازی و نورگذرها در الگوی توزیع نور روز در زمستان نشین و تابستان نشین خانه های سنتی ایرانی، بر آن است تا با روش تجربی و در قالب کمی، ضمن بررسی شرایط نورپردازی دو نمونه شاخص مطالعاتی خانه های کاشان - خانه طباطبایی و خانه بروجردی - به دنبال پاسخی بر این سؤال است که میزان نور روز در اتاق های تابستان نشین و زمستان نشین خانه های سنتی تا چه میزان با استانداردهای روز روشنایی مطابقت داشته است؟ به نظر می رسد الگوی نورپردازی و تناسب هندسی بنا توانسته است نیاز روشنایی محیطی را در این خانه ها برآورده سازد.

کلیدواژگان: نور روز، زمستان نشین، تابستان نشین، خانه های سنتی، معماری ایرانی.

مقدمه

نور، کلید اصلی درک بصری انسان از جهان است. چنان‌که درک رنگ‌ها، الگوها، مکان و فضا، همگی به کیفیت و کمیت نور بستگی دارد. از طرفی، جنبه‌ها و کارکردهای چندگانه نور، علاوه بر اقلیم، نقش‌های روان‌شناختی و زیبایی‌شناختی را نیز در بر گرفته است. تا آن‌جا که لوکوربوزیه چنین بیان می‌دارد: «معماری، بازی باشکوه نور در توده‌هاست» (Ahani, ۲۰۱۱: ۲۵-۳۶). اختلاف در شرایط اقلیمی و منطقه‌ای، منجر به ظهور انواع متفاوت ابنیه گردیده و عواملی مانند طبیعت، توپوگرافی، اقلیم و ویژگی‌های منطقه‌ای، در تعریف شکل و ساختار بنا و هماهنگی آن با آب و هوا و شرایط محیطی، مؤثر بوده است (Erarslan, ۲۰۱۹: ۵-۲۵). در این میان، معماری سنتی، نوعی سازگاری با محیط، سبک زندگی و شرایط جغرافیایی به وجود آورده که در ساختار بنا و ترجیحات موجود در خانه‌های سنتی، شکل می‌گیرد (Heston & Ayuningtyas, ۲۰۱۹: ۸۹۸-۹۰۹). همچنین طراحی مبتنی بر الگوهای سنتی، یک رویکرد مشخص در استفاده از نور طبیعی فراهم می‌کند؛ که نتیجه آن، صرفه‌جویی در میزان روشنایی و استفاده بهینه در الگوی مصرف خواهد بود (Wolf & Serpanos, ۲۰۲۰: ۴۷-۵۷). در سال‌های اخیر، با توجه به ضرورت استفاده از نور روز در معماری از یک سو و معرفی استانداردهای جدید روشنایی توسط انجمن‌های جهانی نورپردازی از سوی دیگر، پژوهش‌گران بسیاری را بر آن داشته تا تأثیرات نور طبیعی بر کیفیت فضای داخلی ابنیه را مورد ارزیابی قرار دهند. اما کمتر منبعی به بررسی الگوهای روشنایی ابنیه سنتی به ویژه خانه‌های سنتی ایران پرداخته است. ایران، با برخورداری از پیشینه بسیار طولانی در بناهای سنتی و بومی، از ویژگی‌های کالبدی غنی برخوردار است. نور، از مؤلفه‌های اصلی معماری سنتی ایرانی است؛ که می‌تواند مضامین تزئینی را چند برابر نموده و به عنوان ابزاری برای تأکید بر محورهای بصری، خدمت نماید (Ahani, ۲۰۱۱: ۲۵-۳۶) و با هدف تمرکز بر بهینه‌سازی رفتار بیوکلیماتیک بنا، رابطه معماری را با فضا و محیط توصیف کرده، به بازتعریف ادراک مشترک از محیط در گذشته، حال و آینده بپردازد (Di Salvo, ۲۰۲۰: ۴۵۷-۴۶۵). این پژوهش با هدف نقش‌قوانین حاکم بر نورپردازی و نورگذرها در الگوی توزیع نور روز در زمستان‌نشین و تابستان‌نشین خانه‌های سنتی ایرانی، بر آن است تا با روش تجربی و در قالب کمی، ضمن بررسی شرایط نورپردازی و مقایسه میزان تأثیر نور روز دو نمونه شاخص مطالعاتی خانه‌های کاشان — خانه طباطبایی و خانه بروجردی — با استاندارد جهانی، به دنبال یافتن پاسخی بر این سؤال است که میزان نور روز در اتاق‌های تابستان‌نشین و زمستان‌نشین خانه‌های سنتی تا چه میزان با استانداردهای روز روشنایی مطابقت داشته است؟ به نظر می‌رسد الگوی نورپردازی طراحی‌شده معماری سنتی در این اقلیم و تناسب هندسی بنا توانسته است نیاز روشنایی محیطی و فعالیتی را در این خانه‌ها برآورده سازد. از این رو، استخراج الگوی روشنایی این ابنیه و تعمیم آن به دیگر خانه‌ها می‌تواند راهکاری مناسب در طراحی نورپردازی طبیعی خانه‌های امروزی باشد.

ادبیات و پیشینه تحقیق

استفاده از نور روز در طول تاریخ معماری همواره مورد نظر معماران بوده و روش‌های سنتی متعددی در اقلیم‌های مختلف برای انتقال نور طبیعی به داخل فضا، دیده می‌شود. به عنوان مثال، در ایران و به ویژه در اقلیم گرم و خشک، روش‌های متنوعی برای کنترل و هدایت نور روز وجود دارد. اما بعد از اختراع چراغ برق و استفاده از نورهای مصنوعی، روش‌های نورپردازی طبیعی فراموش شد (طاهباز و همکاران، ۱۳۹۴: ۷۱-۸۱). علی‌رغم پیشرفت‌های چشم‌گیر در زمینه دانش نورپردازی طبیعی و سابقه معماری گذشته ایران در زمینه استفاده از جلوه‌های نورپردازی طبیعی، تحقیقاتی صرفاً توصیفی در رابطه با نورپردازی فضاهای معماری سنتی (مانند سلطان‌زاده، ۱۳۷۵) انجام گرفته است. اما در تحقیقی که در سال ۲۰۰۹ میلادی انجام گرفت،

^۱ شاخص بیوکلیماتیک یا متغیرهای زیست اقلیمی (Bioclimatic Variables) — که به شاخص اولگی (Olgay) نیز معروف است — شاخصی است که بیان‌گر شرایط آب و هوایی یک منطقه از نظر آسایش و راحتی گفته می‌شود. این شاخص از چهار عنصر — حداکثر دما، حداکثر رطوبت نسبی، حداقل دما، حداقل رطوبت نسبی — تشکیل شده است؛ که برای شرایط روزانه (حداکثر دما و حداقل رطوبت نسبی) و شرایط شبانه (حداقل دما و حداکثر رطوبت نسبی) محاسبه می‌گردد؛ نقطه تلاقی این دو عنصر در شرایط روزانه و شبانه، منطقه آسایش زیست اقلیمی انسانی را تعیین می‌کند و پیرامون آن، از میزان مطلوبیت کاسته می‌شود (Metaferia, ۲۰۲۲: ۵۱-۶۰).

۶ روش نورپردازی و ۲۶ نوع نورگیر در بناهای سنتی ایرانی شناسایی شد (Tahbaz & Moosavi, ۲۰۰۹: ۲۷۳-۲۷۸). در مطالعه دیگری، عملکرد انواع در/پنجره از لحاظ نور روز در بعضی از اتاق‌های خانه‌های عمری‌های کاشان در سال ۲۰۱۲ میلادی انجام شد؛ که مشخص گردید رابطه‌ای بین میزان روشنایی و نحوه توزیع نور طبیعی در فضاهای دارای در/پنجره با مشخصات نورگیر و هندسه فضا وجود دارد (Tahbaz, et al., ۲۰۱۱: ۴۷۹-۴۸۴). محققینی نیز بر روی تأثیرگذاری اجزای الحاقی سطوح نورگذر بر دریافت نور، کار کرده‌اند: طاهباز و همکاران (۱۳۹۲، ۱۳۹۴، ۱۳۹۵، ۱۳۹۶، ۱۳۹۷) الگوی نورپردازی طبیعی را تدقیق نمودند و ضمن تحلیل هندسی و بهینه‌سازی تناسبات اتاق‌های زمستان‌نشین و تابستان‌نشین، به اندازه‌گیری شرایط نور روز و تأثیر طراحی معماری در بازی نور طبیعی خنده‌های سنتی ایران پرداخته‌اند و مهدوی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵) در زمینه ترکیب رف نوری و سایبان در توزیع یکنواخت نور روز و سایر عناصر فضاهای داخلی (مانند مبلمان و سطوح بدنه‌های اتاق‌ها) مطالعه نموده‌اند؛ و در تحقیقاتی موضوعی، محمدی تبار و فیاض (۱۳۹۱) نشان داده‌اند که هر چه مبلمان کم‌تر باشد و در اطراف پنجره‌ها از مبلمان کم‌تری استفاده شده باشد و ضریب صیقلی بودن بدنه‌ها بیش‌تر باشد، میزان شدت روشنایی متوسط داخل اتاق، افزایش می‌یابد. در همین راستا، انجمن روشنایی اروپا (CIE)^۱، انجمن روشنایی آمریکا (IESNA)^۲، انجمن روشنایی چین (CIES)^۳، انجمن روشنایی هندوستان (ISLE)^۴ و سایر انجمن‌ها در کانادا و استرالیا؛ در تولید استانداردهای روشنایی طبیعی و مصنوعی فعالیت داشته‌اند (کلپر، ۱۴۰۰).

مبانی نظری

نورپردازی روز، جهانی موازی با معماری است؛ که در آن معماران از تکنیک‌های تغییر پارادایم از روش‌های ساده به ابزارهای پیچیده‌تر شبیه‌سازی و محاسباتی، با تمرکز ویژه بر ردیابی مدل‌های آسمان، داده‌های هواشناسی، هندسه ساختمان و روش‌های محاسبه نور روز، بهره‌مند می‌شوند (Ayoub, ۲۰۱۹: ۳۶۰-۳۹۰). در این بین، نورگذرها تأثیر عمده‌ای بر میزان راحتی محیط داخلی ساختمان دارند و از منظر مصرف انرژی، از جمله عوامل مهم و حیاتی و از عناصر اصلی در طراحی بنا هستند؛ که بر رفتار ساکنین، راندمان انرژی و سیستم‌های انرژی ساختمان تأثیر می‌گذارند (Souviron, et al., ۲۰۱۹: ۲۶۸). هر مکانی دارای نور خاصی است؛ که تنها به آن تعلق دارد و بدین وسیله می‌توان جلوه‌های متفاوتی از فضای داخلی را که هر یک دارای ماهیت خاص خود از لحاظ ادراک فضایی است، ایجاد نماید. به این منظور، سطوح بازشوها، عمق فضا و ارتفاع، از مهم‌ترین عوامل ایجاد سطح روشنایی در فضاهای داخلی هستند (Jamala, et al., ۲۰۱۹: ۱۲-۴۴). روزه‌های روشنایی روز، عناصر ارتباط با بیرون و نمایان‌گر منظر ساختمان هستند و به بهبود روان‌شناختی زیستی سکنه کمک می‌کنند. نور روز، در بخش قابل توجهی از ساعات روزانه، فضا را روشن می‌کند و تأمین آن، در درجه نخست، بستگی به در دسترس بودن نور از بیرون و آب و هوای غالب بر منطقه و پس از آن، به محیط اطراف بنا، نورگذرها و پیکره‌بندی فضاهای داخلی، بستگی دارد (Wienold, ۲۰۰۹: ۹۴۴-۹۵۱). دسترسی و قرار گرفتن در معرض نور روز، نه تنها ریتم شبانه‌روزی را تنظیم می‌کند، بلکه بر کاهش خستگی نیز مؤثر است (Jones & Reinhart, ۲۰۱۹: ۳۴۳-۳۶۱). طراحی روشنایی روز، نه به میزان مقادیر فوتومتریک، بلکه به روش‌های مختلفی بستگی دارد که کاربران به نور پاسخ داده و آن را تجربه می‌کنند. بنابراین، دغدغه طراحی بر وابستگی انسان به نور روز، برای ایجاد آسایش محیطی، برای آن چه باعث ایجاد نشاط می‌شود، برای تأثیرات ساختمان بر محیط اطراف و بر ایجاد تفکرات معمار در برقراری حس مکان، دلالت دارد (Tregenza & Wilson, ۲۰۱۳: ۲). نور طبیعی و ارتباط بصری با فضای بیرون از فضای زندگی بدون شک یکی از اساسی‌ترین نیازهای جسمی و روانی بشر است؛ که نه تنها کارایی را افزایش می‌دهد، بلکه باعث افزایش بهره‌وری نیز می‌گردد. همچنین این کاهش تنش، باعث بهبود رفتار و سلامت روان و حفظ آسایش و افزایش آرامش خواهد شد (Makani, et al., ۲۰۱۲: ۴۵-۵۰).

^۱ CIE | International Commission on Illumination

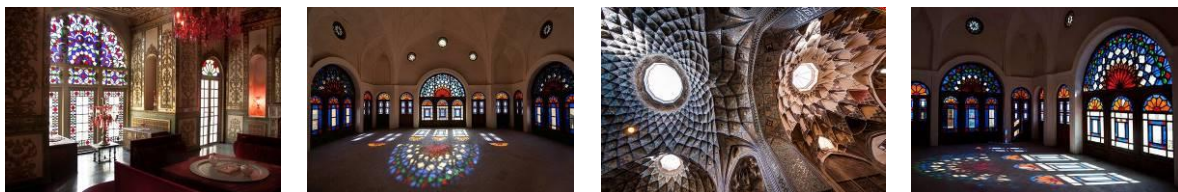
^۲ IESNA | Illuminating Engineering Society of North America

^۳ CIES | China Illuminating Engineering Society

^۴ ISLE | Indian Society of Lighting Engineers

اهمیت نور طبیعی روز در معماری

یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های نور طبیعی، توالی و دگرگونی آن در طول روز است؛ که باعث حرکت و تغییر حالت در ساعات مختلف می‌شود. نور طبیعی — که حامل انرژی حیات بخش درونی است — به عنوان یکی از منابع وجود حیات بر روی زمین، محسوب می‌گردد. علاوه بر آن، نور در هر یک از فصول، در آب و هوای مختلف و یا در هر زمان از طول روز، دارای چهره‌ای مخصوص به خود است و می‌تواند با رنگ‌ها و جلوه‌های متفاوت خود، باعث تغییر چهره یک مکان شود (Nabil & Mardaljevic, ۲۰۰۶: ۹۰۵-۹۱۳). بدین ترتیب، تأثیراتی در نمای خارجی ساختمان، فضاهای داخلی و فضاهای شهری، واقع می‌گردد. کنترل نور خورشید اغلب در مناطق خشک و بیابانی — که در آن تابش نور خورشید، شدید است — لازم است. در طول قرون، اشکال مختلفی از نورگذر طراحی شده است؛ تا به کمک آن‌ها، ورود نور به فضای داخلی به گونه‌ای باشد که باعث کاهش اختلاف در روشنایی بین داخل و خارج و کنترل و کاهش تابش نور، برای محافظت از سکنه در برابر روشنایی بیش از حد، شود (Phillips, ۲۰۱۲: ۲۱). نورگذرها از عناصر اصلی طراحی معماری هستند. اندازه‌ها و تناسب آن‌ها، ترتیب و ارتباط آن‌ها با یکدیگر، تنوع قابل توجهی در طراحی ساختمان‌ها ایجاد می‌کند (حائری و آقاجان، ۱۳۹۷: ۳۸). چگونگی توزیع نور، جهت و زاویه نور، درخشندگی و خیرگی، بستر ساز خصوصیات کیفی نور در فضا هستند (حیدری، ۱۳۹۸: ۴۲)؛ اگر کیفیت نور حاصل در فضا دارای الگوی توزیع نور یکنواخت بدون خیرگی و درخشندگی باشد (هومانی راد و همکاران، ۱۳۹۶: ۸۳-۶۶). بنابراین، نور از عناصر جدایی‌ناپذیر فضا تلقی می‌شود و بایستی در معماری ایران از الگویی خاص تبعیت کرده باشد (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۸). بخش‌های گوناگون فضاهای معماری سنتی ایران، گاه به صورتی غیرهم‌سان، از عوامل و پدیده‌های متفاوت در شکل‌گیری فضا تأثیر می‌پذیرفته و برخی از بخش‌های فضا، بیشتر بازتاب نیازها و خواسته‌های کارکردی بوده است. نور، به عنوان یکی از مؤلفه‌های معماری، از ناب‌ترین عناصری است که به دست معمار برش می‌خورد؛ تا چنان که وی شایسته می‌داند، آن را به کار گیرد، اندازه بگذارد و برایش تعیین شکل کند (صافیان و همکاران، ۱۳۹۰: ۹۳-۱۲۹). در خانه‌های قدیمی ایران، شیوه‌های مختلفی برای تأمین نور و روشنایی اتاق‌ها به کار رفته است؛ که هر یک از این نورگیرها شرایط متفاوتی از نظر نحوه نورگیری و کنترل گرمایش و سرمایش فضا ایجاد می‌کند (Tabbaz, et al., ۲۰۱۱: ۴۸۴-۴۷۹). با توجه به این که در کشور ایران به ویژه در مناطق گرم و خشک و بیابانی نظیر شهر کاشان، شدت روشنایی ناشی از تابش خورشید بسیار بیش‌تر از حد نیاز فضاهای کاربردی است و همچنین ورود تمامی طیف تابشی، تأثیراتی چون گرم‌شدن فضای داخل و ناراحتی‌های دیگری نظیر خیرگی ناشی از شدت تابش را به همراه دارد، کاربرد پنجره و بازشو در فضاها باید علاوه بر تأمین نیاز دید و روشنایی، شرایط گرمایی را نیز کنترل کرده و از بیش گرمایی در تابستان و پرت حرارت در زمستان جلوگیری کند (کاظم‌زاده و طاهباز، ۱۳۹۲: ۲۶-۱۷). در معماری سنتی ایران، با استفاده از عناصر مختلفی در کالبد بنا، نور طبیعی کاملاً تعدیل شده و دریافت می‌گردد. این عناصر بر اساس کاربردها به دو گروه کنترل‌کننده‌های نور (مانند رواق، تابش‌بند، سایه‌بان، سرادق، ساباط، پرده) و عناصر نورگیر (از جمله شباک، جام‌خانه، درو و پنجره مشبک، روزن، ارسی، روشن‌دان، هورنو و فخرالمدین، فریز و خوون، گلجام، پاچنگ، پالکانه) تقسیم می‌شوند. کنترل‌کننده‌های نور، نقش کنترل نور و تنظیم آن برای ورود به داخل بنا را بر عهده دارند؛ که یا (مانند رواق) جزئی از بنا هستند و یا (مانند پرده) عناصری هستند که به بنا افزوده می‌شوند. در کنار کنترل‌کننده‌های نور، عناصر دیگری مطرح می‌شوند که همگی نورگیر بوده و نقش هدایت نور را به داخل فضای معماری به عهده دارند. این عناصر، بر اساس فرم و ویژگی‌های خاص خود و نیز محل قرارگیری‌شان در بنا، نور مناسب و مورد نیاز را به فضای داخلی عبور می‌دهند (خامه‌چیان و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۳-۵).



تصویر ۱. نمونه‌هایی از شیوه‌های نورگیری در معماری ایرانی

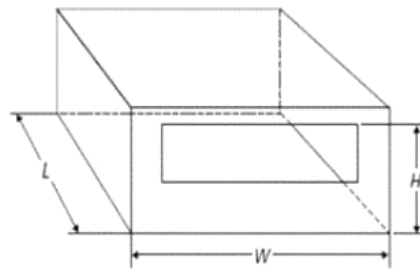
(مأخذ: حاجی قاسمی و کرباسی، ۱۳۸۷)

مؤلفه های هندسی مؤثر بر نور روز

عمق مناسب اتاق معمولاً تابعی از محل قرارگیری نورگیر و میزان روشنایی مورد نیاز است. عمق و تناسبات فضا با توجه به محل و ابعاد نورگیر هم چنین میزان انعکاس از سطوح داخلی اتاق، قابل تعیین می باشد. در فضاهایی که با نورگیر دیواری روشن می شوند و امکان دیدن پهنه آسمان در آن وجود دارد، برای آن که اتاق به خوبی روشن شود، نسبت عمق، پهنای و میزان انعکاس آن باید از فرمول زیر تبعیت کند (اولگیای و ایگن، ۱۴۰۳). این رابطه - که شاخص اتاق نامیده می شود - به صورت زیر است:

$$\frac{L}{W} + \frac{L}{H} \leq \frac{2}{1 - R_b}$$

فرمول ۱. نسبت عمق، پهنای و میزان انعکاس



(مأخذ: ۱۶-۱۷، CIBSE, ۱۹۹۹)

در این فرمول، L عمق اتاق از پنجره تا دیوار مقابل آن و بر حسب متر است، W عرض اتاق است که موازی سطح پنجره و بر حسب متر اندازه گیری می شود و R_b متوسط ضریب انعکاس از کلیه سطوح داخلی اتاق شامل سقف، دیوارها و کف می باشد (CIBSE, ۲۰۱۱: ۲۶). سطح در ابنیه سنتی، معمولاً از کاشی های سیمانی مسطح و نوع رنگ آن، طوسی روشن می باشد. بنابراین، ضریب انعکاس سیمان مسطح برابر با ۰.۴ و میزان انعکاس سطح آن، ۰.۶۸ می باشد (Boyce & Raynham, ۲۰۱۹: ۲۷۶). در نظر گرفتن شرایط آسمان به منظور عدم تأثیر پرتوهای مستقیم خورشید بر مقدار متوسط نور روز می باشد (احدی و همکاران، ۱۳۹۵: ۴۳). برای پنجره ای که نمای مقابل آن بلند است، مقدار روشنایی حاصل از نور مستقیم، بستگی به زاویه دید آسمان دارد (CIBSE, ۲۰۱۱: ۲۵). زاویه دید آسمان در مقطع برای پنجره ای با خط آسمان افقی و نامحدود تعریف شده است. زاویه دید آسمان در نما عبارت است از زاویه ای که از وسط پنجره به خط آسمان لبه های ساختمان و عمود بر پنجره، ترسیم شده و در نمای پنجره، قابل مشاهده است. مجموعه زوایای دید آسمان در نما و مقطع، نقاب آسمان را تشکیل می دهد؛ که به روش نقاب سایه روی نقاله سایه یاب، ترسیم می شود و با انطباق بر مسیر حرکت خورشید هر شهر، محدوده آسمان قابل مشاهده از مرکز پنجره را نشان می دهد:

- اگر زاویه دید عمودی به آسمان ۶۵ درجه باشد، در نتیجه نور روز وارد شده مناسب و کافی است.
- اگر زاویه دید عمودی به آسمان بین ۴۵ تا ۶۵ درجه باشد، در نتیجه با تمهیداتی مانند سطح بزرگتر پنجره و استفاده از نور مصنوعی، می توان نور روز کافی وارد اتاق شود.
- اگر زاویه دید عمودی به آسمان بین ۲۵ تا ۴۵ درجه باشد، در نتیجه به سختی می توان با پنجره بسیار بزرگ نور روز کافی به فضا وارد شود.
- اگر زاویه دید عمودی به آسمان کم تر از ۲۵ درجه باشد، در نتیجه ورود نور روز کافی به فضا غیر ممکن می شود. مگر این که تمام سطح دیوار پنجره شیشه ای باشد (CIBSE, ۲۰۱۴: ۱۰).

پارامترهای اصلی روشنایی

در سال های اخیر بهره گیری از نور روز به مثابه یک استراتژی طراحی برای کاهش مصرف انرژی روشنایی، بهبود آسایش بصری و بهره وری کاربران در فضا، گسترش یافته است. نور طبیعی و ارتباط بصری با محیط خارج، در فضاهای زیستی انسان - اعم از

محیط زندگی، کار، تفریح، تحصیل و امثالهم — علاوه بر افزایش کارایی و بازدهی، موجب کاهش اضطراب، بهبود رفتار و نیز حفظ و افزایش سلامتی می شود (احمدیان تازه محله، ۱۳۹۹). لذا آگاهی از تعاریف و پارامترهای اصلی روشنایی به منظور بهره برداری از آن ها در تعدیل میزان روشنایی، ضروری می نماید. جدول ۱ به شرح مختصر پارامترها و واحدهای نوری می پردازد.

جدول ۱. پارامترهای اصلی روشنایی (مأخذ: بویه رز، ۱۳۹۸)

نام فارسی	نام انگلیسی	تعریف	علامت	فرمول
لومن	Lumen	واحد اندازه گیری شار نوری است؛ که عبارت است از کل پرتوهای نور خارج شده در تمام جهات از یک منبع نور.	lm	$\Phi_x = \Phi_{lm/m^2}$
لوکس	Lux	واحد اندازه گیری شدت نور است؛ که عبارت است از میزان نور تابیده شده به سطح یا میزان روشنایی سطح.	lx	$\Phi_x = \Phi_{lm/m^2}$
کاندلا	candela	میزان نوری که تحت زاویه ای خاص از یک منبع بیرون می آید.	cd	$\Phi_x = \Phi_{cd.sr.m^{-2}}$
شار نور (میزان نور)	Luminous Flux	مشخص کننده کل توان نوری ساطع شده از یک منبع نور است که در واحد زمان سنجیده می شود. نماد این پارامتر، Φ و واحد اندازه گیری آن، لومن است؛ که به اختصار، lm نوشته می شود.	Lumen	$\Phi_x = \Phi_{lm/m^2}$
شدت نور	Light Intensity	برای اندازه گیری مقدار پخش نور در یک جهت خاص استفاده می شود. میزان شار نوری ناشی از یک منبع روشنایی را در یک استرادیان یا زاویه فضایی (Ω)، شدت روشنایی می گویند.	lm/ Ω (cd)	$I = \frac{\Phi}{\Omega}$
شدت روشنایی	Illuminance	معیاری برای اندازه گیری مقدار شار نوری است که به یک سطح می رسد و از حاصل تقسیم مقدار شار نوری تابیده به سطح (بر حسب لومن) بر مساحت سطح مورد بررسی (بر حسب مترمربع) به دست می آید.	Lux	$E = \frac{lm}{m^2}$
درخشندگی	Luminance	بیان کننده میزان روشنایی و درخشان بودن یک سطح است که بستگی مستقیم با سیقلی بودن آن سطح و رنگ آن دارد.	cd/m ²	$\Phi_l = \Phi_{cd/m^2}$
بهره الکتریکی	Electrical Efficacy	معیاری است که بیان می کند به ازای مصرف هر وات انرژی الکتریکی، چند لومن شار نوری توسط منبع نور تولید می شود.	lm/W	$\eta = \frac{\Phi}{P}$
بهره نوری	Luminous Efficacy	پارامتری است برای مقایسه منابع روشنایی با یکدیگر.	le	$le = \frac{\Phi_{out}}{\Phi_{in}(total)}$

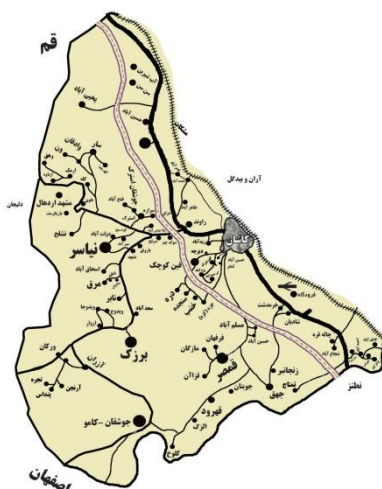
روش تحقیق

ضریب نور روز، مقدار آسمان قابل رؤیت و میزان روشنایی محیط، سه مؤلفه مهم در میزان استفاده تناسبات هندسی فضا از بهره نوری و تأثیر نسبت پنجره به دیوار در عمق نفوذ نور طبیعی در محیط داخلی می باشند (Wang, et al., ۲۰۲۰: ۶۴-۸۱). به همین منظور، اتاق های تابستان نشین و زمستان نشین خانه های تاریخی طباطبایی و بروجردی کاشان به عنوان نمونه مطالعاتی انتخاب شد؛ که به جهت دسترسی و سلامت بنا و ثبت میراث فرهنگی، قابل استناد بودند. روش دستیابی به داده ها و اطلاعات مربوط به خانه ها، از طریق برداشت میدانی و تکمیل مطالب به روش کتابخانه ای بوده است. شیوه تحلیل داده ها،

بر مبنای تحلیل عددی بر اساس استاندارد نورپردازی طبیعی ایران، آمریکا و انگلستان انجام گرفته است. هم چنین، برای یافتن مختصات موقعیت های نمونه های مورد مطالعه، از دستگاه GPS دستی استفاده شد. اندازه گیری ها با Digital Telemetry انجام و صحت محاسبات و یافته ها به کمک digital lux-meter که در سنجش و اندازه گیری روشنایی موجود در محیط کاربرد دارد، قابل راستی آزمایی است. در محاسبه میزان روشنایی مورد نیاز محیط و فعالیت در هر اتاق، از نرم افزار KSK Light Unit Converter تحت سیستم عامل ویندوز و نرم افزار تحت سیستم عامل اندروید Lighting Calculations استفاده گردید. این پژوهش، با روش تجربی در قالب کمی و به منظور بازشناسی قوانین حاکم بر نورپردازی بناهای ایرانی و نقش نور گذرها در الگوی توزیع نور طبیعی در زمستان نشین و تابستان نشین خانه های سنتی، ضمن واکاوی دو مورد شاخص این دسته از خانه های مسکونی، انجام گرفته است. بر مبنای استدلال استقرایی، نتایج به دست آمده، قابل تعمیم به دیگر اتاق ها و خانه های شهر کاشان می باشد.

معرفی نمونه های مطالعاتی: خانه طباطبایی، خانه بروجردی؛ کاشان.

شهرستان کاشان با مختصات جغرافیایی 33.98° شمالی و 51.58° شرقی، به مساحت 9647 مترمربع در ناحیه مرکزی ایران و در شمال استان اصفهان قرار گرفته است؛ که از طرف شرق و شمال به دشت کویر، از جنوب شرق به اردستان و از سمت غرب به شهرستان دلجان، محلات و گلپایگان متصل است. جهت سلسله جبال در این ناحیه، از شمال غربی به جنوب شرقی، با ارتفاع آن از سطح دریا، 982 متر می باشد. بر اساس تقسیمات کشوری، شهر کاشان از سال 1355 هـ.ش. تاکنون از توابع استان اصفهان محسوب می شود. این شهر، در میان راه دو کلانشهر تهران (244 کیلومتر) و اصفهان (216 کیلومتر) و در میان کوه های کرکس نطنز و کویر مرکزی ایران واقع شده است. این منطقه از لحاظ پوشش گیاهی بسیار فقیر بوده و در آن بوته ها و درختچه ها - کم و بیش - یافت می شوند.



تصویر ۵. نقشه شهرستان کاشان
(مأخذ: تارنمای شهرداری کاشان^۱)

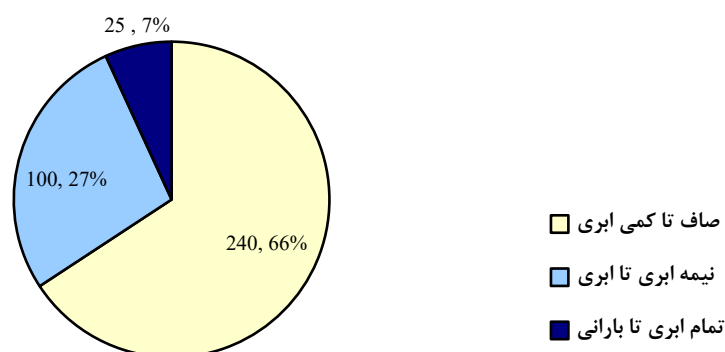
مطابق با سیستم کوپن^۲ در تقسیم بندی اقلیمی، اقلیم کاشان از نوع BWhsa است و آب و هوای گرم و بیابانی دارد. بر پایه فرمول اقلیمی دومارتون^۳ - که بر پایه ضریب خشکی است و دو عامل مهم دما و باران را مد نظر دارد - چون ضریب خشکی

^۱ <https://www.kashan.ir/>

^۲ سیستم کوپن (Köppen) سامانه ای برای طبقه بندی اقلیمی است؛ که در این فرمول، B خشک بودن، W شدت خشکی است؛ که در آن مقدار باران سالانه (1305) کمتر از میزان متوسط دمای سالانه به سانتی گراد (19.7) است، h متوسط دمای سالانه بیش از 18 درجه سانتی گراد، s علامت بارش باران در فصول سرد سال یا زمستان و a بیان گر آن که دمای گرم ترین ماه سال از 22 درجه سانتی گراد بیشتر است.

^۳ De Martonne

کاشان ۴.۵ است، کاشان دارای آب و هوای بسیار بسیار گرم و خشک است. این امر باعث آن خواهد شد که مناسب ترین وقت گردشگری در کاشان، فقط ماه بهمن باشد. تابش مستقیم آفتاب در این مناطق شدید بوده و بر سطوح افقی، انرژی گرمایی تولید می نماید. آسمان این مناطق در بیش تر اوقات سال بدون ابر است. این امر منجر به میانگین دمای سالانه ۲۸ درجه سانتی گراد و بارش ۱۱۶ میلی متر در سال می شود. رطوبت کم و نبودن ابر در آسمان باعث می شود که دامنه تغییرات دمای هوا در این منطقه بسیار زیاد شود. به طوری که میانگین درجه حرارت هوا در تابستان ها تا ۴۵ درجه سانتی گراد برسد. در حالی که در شب، دمای سطح زمین به سرعت کاهش یافته و به ۱۵ درجه سانتی گراد می رسد. طبق آمار سالیانه، آسمان شهر کاشان در حدود ۲/۳ از سال، آفتابی است؛ که روزهای تابستان، سهم بیش تری دارند. اما آسمان صاف در زمستان و بهار دارای سهم کم تری است.

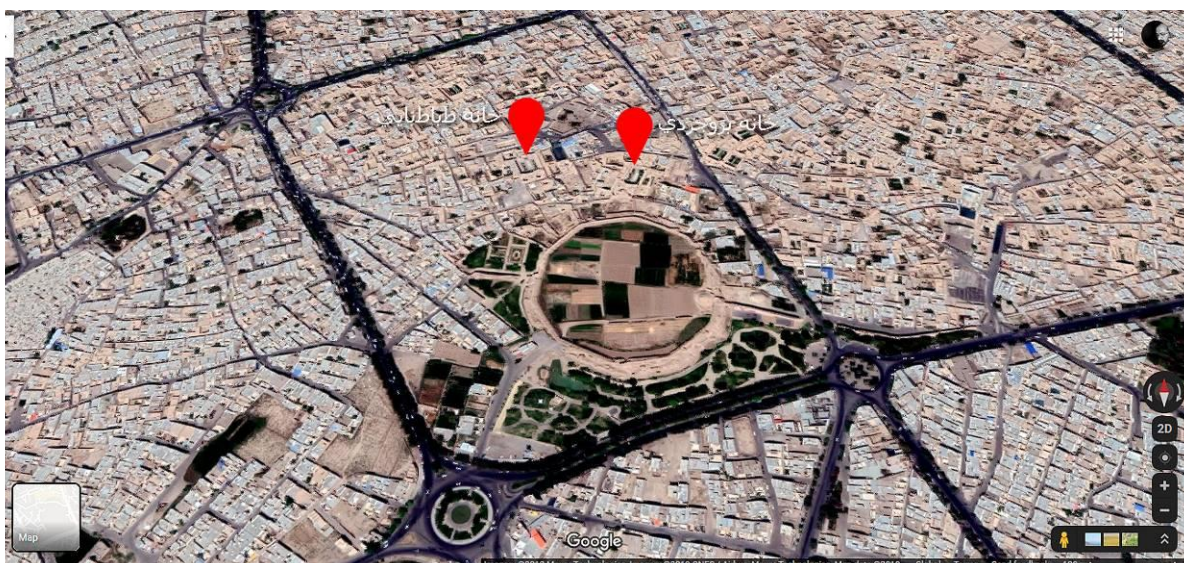


نمودار ۱. درصد روزهای صاف/کمی ابری، نیمه ابری/ابری، تمام ابری/ بارانی شهر کاشان در سال ۲۰۲۴ میلادی
 (مأخذ: تارنمای هواشناسی جهانی^۱)

خانه های تاریخی کاشان به عنوان گنجینه ای گران بها از معماری اصیل ایرانی و از جالب ترین جاذبه های این شهر است؛ که مانند نگینی بر انگشتر آثار تاریخی منطقه کاشان، جلوه نمایی می کنند. از این میان، خانه طباطبایی به عنوان عروس خانه های ایران و خانه بروجردی به عنوان سمبل معماری خانه های کاشان^۲ به دلیل سلامت اثر و اصالت مستندات بنا، به عنوان نمونه های مطالعاتی این پژوهش انتخاب شده اند.

^۱ <https://www.weather.com>

^۲ به نقل از تارنمای بنیاد فرهنگ کاشان (www.kashanica.com)

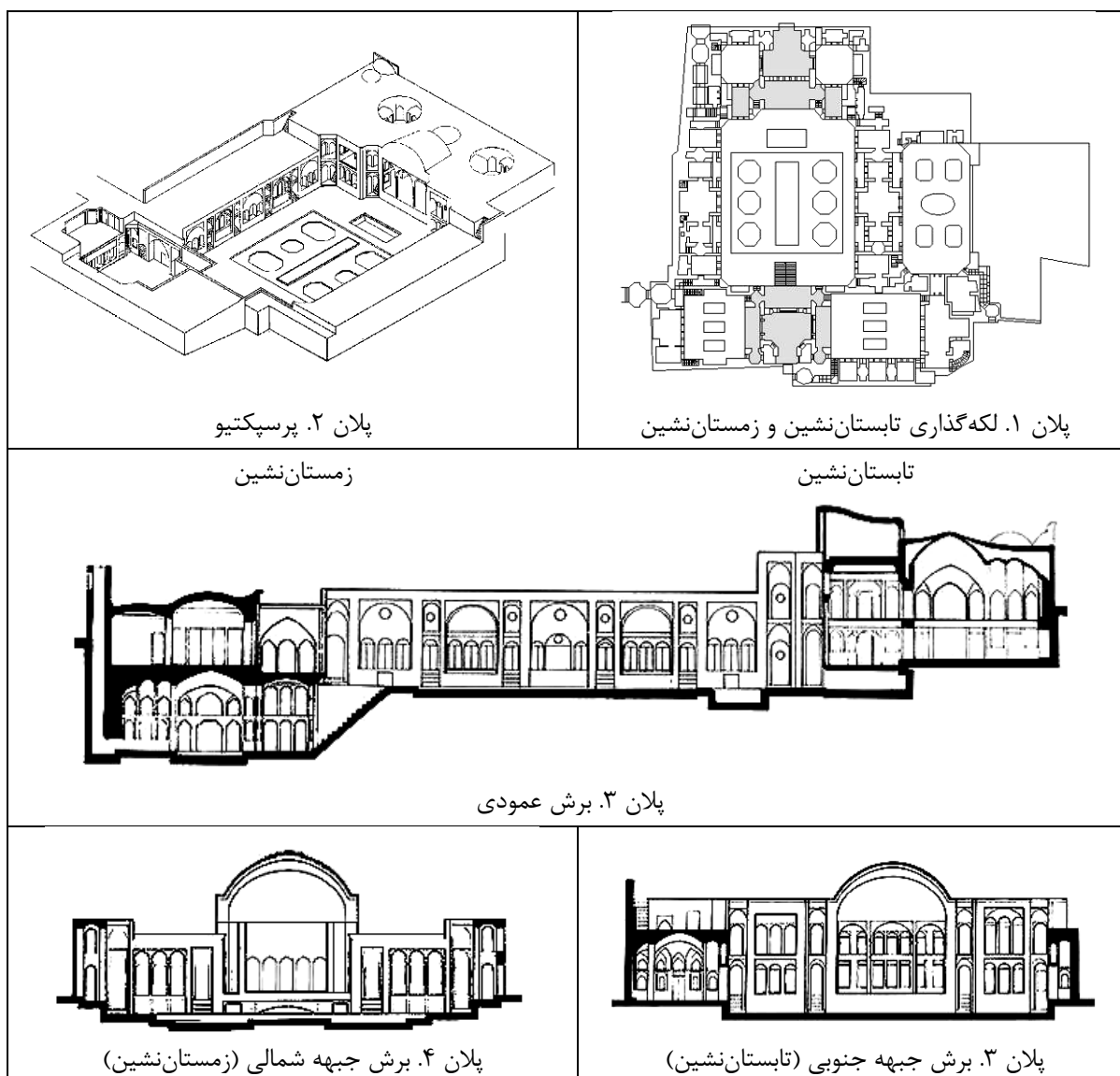


تصویر ۶. نقشه (۱:۱۰,۰۰۰) موقعیت خانه طباطبایی و خانه بروجردی در مرکز شهر کاشان.
 (مأخذ: Google Map@۲۰۲۰)^۱

جدول ۲. برداشت میدانی و مشخصات فیزیکی خانه طباطبایی، کاشان (مأخذ: حاجی قاسمی و کرباسی، ۱۳۸۷)

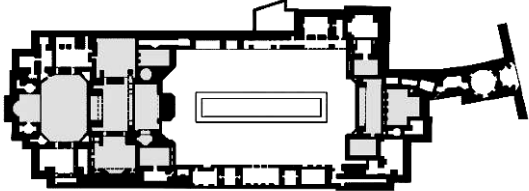
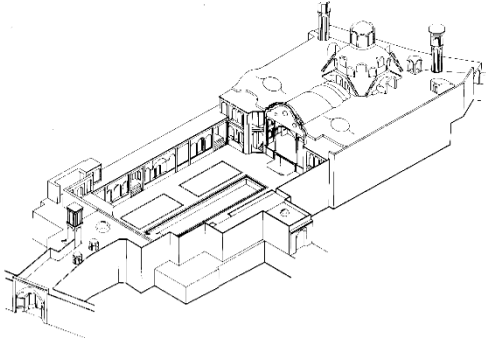
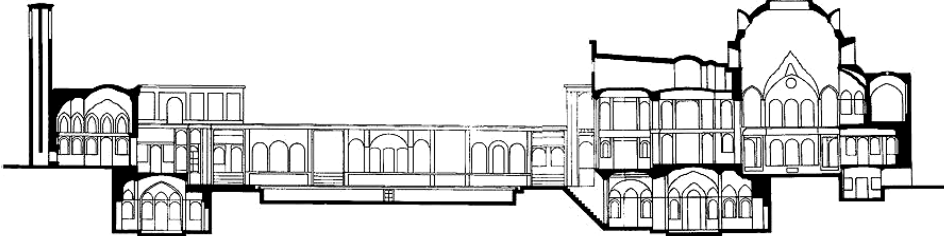
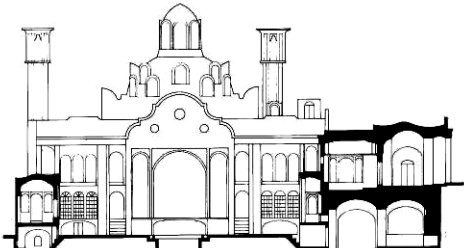
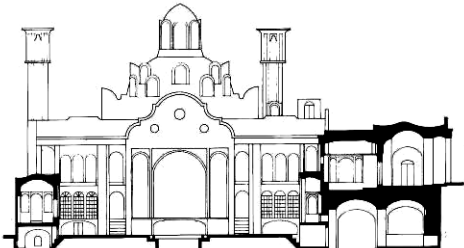
خانه طباطبایی	
کاشان، خیابان علوی، خیابان قلعه جلالی.	$33.9748^{\circ} \text{ N}, 51.4391^{\circ} \text{ E}$
	
تصویر ۷. جبهه جنوب شرقی (تابستان نشین)	تصویر ۸. جبهه شمال غربی (زمستان نشین)

^۱ <https://www.google.com/maps>



جدول ۳. برداشت میدانی و مشخصات فیزیکی خانه بروجردی، کاشان (مأخذ: حاجی قاسمی و کرباسی، ۱۳۸۷)

خانه بروجردی	
کاشان، خیابان علوی، خیابان قلعه جلالی.	۳۳.۹۷۴۶° N, ۵۱.۴۴۰۷° E
	

تصویر ۹. جبهه جنوب شرقی (تابستان نشین)	تصویر ۱۰. جبهه شمال غربی (زمستان نشین)
	
پلان ۵. لکه گذاری تابستان نشین و زمستان نشین	پلان ۶. پرسپکتیو
تابستان نشین	زمستان نشین
	
پلان ۷. برش عمودی	
پلان ۸. برش جبهه جنوبی (تابستان نشین)	پلان ۹. برش جبهه شمالی (زمستان نشین)
	

جدول ۴. مشخصات فیزیکی فضاهای مورد مطالعه (مأخذ: حاجی قاسمی و کرباسی، ۱۳۸۷)

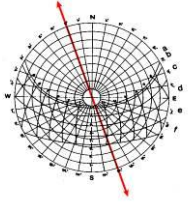
خانه	اتاق	ابعاد (m)	مساحت (m ²)	نوع نورگذر	ابعاد نورگذر	الحاقيات
طباطبایی (۱۳*۱۶*۱۵)	تابستان نشین	۱۱.۴*۷.۶*۷.۲	۸۶	ارسی در/پنجره مشبک گلجام روزن	۶.۴*۶	ایوان شاه نشین سهدری
	زمستان نشین	۴.۴*۶.۴*۴	۲۸	ارسی در/پنجره مشبک گلجام	۴.۶*۳.۲	سهدری تالار ایوانچه

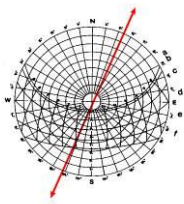
گنبد ایوان شاهنشین سهدری	۴.۶*۴.۴	ارسی در/پنجره مشبک گلجام روزن هورنو	۴۶	۸.۴*۵.۴*۵.۲	تابستان نشین	بروجردی (۱۲*۱۳*۱۱)
سهدری پنجدری تالار مہتابی	۴.۲*۲.۶	ارسی در/پنجره مشبک گلجام	۲۲	۴.۹*۴.۶*۳	زمستان نشین	

داده‌ها و یافته‌ها

عامل نور روز، درصدی است حاصل تقسیم میزان روشنایی داخلی فضا به روشنایی بیرون، بدون در نظر گرفتن تابش مستقیم خورشید محاسبه می‌شود (Baker & Steemers, ۲۰۰۷: ۲). یکی از موارد مهم در توزیع نور روز مناسب در فضا، نسبت میان عمق اتاق و ارتفاع پنجره (ضریب اتاق)، نسبت سطح نورگذر به کف اتاق و میزان آسمان قابل رؤیت در وضعیت همسایگی‌ها (نما و برش) است. (CIBSE, ۱۹۹۹). در تمامی خانه‌ها معمولاً اتاق‌های زمستان نشین رو به جنوب و آفتاب گیر و اتاق‌های تابستان نشین رو به شمال و سایه گیر و دارای پلان‌هایی با فرم مستطیل هستند. این اتاق‌ها با جهت گیری از جنوب شرقی تا جنوب غربی برای زمستان نشین و شمال شرقی تا شمال غربی برای تابستان نشین، با زاویه‌های ۲۴ تا ۷۰ درجه قرار گرفته‌اند و در مقابل آن‌ها ایوان و یا مہتابی وجود دارد. اتاق‌های زمستان نشین و تابستان نشین مورد بررسی، با حداقل زاویه ۵۵ و حداکثر ۶۸ درجه زاویه قائم به آسمان دید دارند. همچنین، آن‌ها در نما حداقل ۱۳۰ درجه و حداکثر ۱۳۵ درجه آسمان را مشاهده می‌کنند (جدول ۵). با ترسیم این خطوط بر روی مسیر حرکت خورشید، درصد آسمان قابل رؤیت برای هریک از اتاق‌ها به تفکیک مشخص می‌شود؛ که در حداقل آن، ۶۲ درصد و برای حداکثر آن، ۶۸ درصد است (جدول ۶).

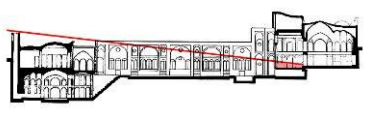
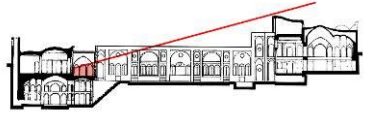
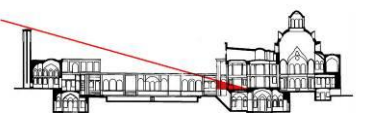
جدول ۵. میزان آسمان قابل رؤیت و زاویه دید به آسمان در مقطع خانه‌های کاشان

خانه	نقاب آسمان	درصد نقاب آسمان	جهت گیری اتاق	زاویه دید آسمان در مقطع	زاویه دید آسمان در نما
طباطبایی		۶۸٪	۲۰ درجه جنوب شرقی	۵۵	۱۳۵

۱۳۰	۶۸	۲۴ درجه شمال غربی	۶۲٪		بروجردی
-----	----	----------------------	-----	---	---------

محدوده آسمان بدون مانع دید در مقطع برای اتاق های تابستان نشین حداقل ۱۲۰ و حداکثر ۲۴۰ سانتی متر و برای اتاق های زمستان نشین، حداقل ۱۴۰ و حداکثر ۱۶۰ سانتی متر می باشد. بدین معنی که برای فرد نشسته روی زمین و یا روی میز کار با ارتفاع ۸۰ سانتی متر، استفاده از نور آسمان میسر است. در اتاق های با ارتفاع محدود بدون مانع دید (بالتر از ۱۰۰ سانتی متر) نور کاملاً کافی به انتهای اتاق می رسد و به راحتی می توان از نور آسمان بهره برد و از روشنایی طبیعی به جای نور مصنوعی، حداکثر استفاده کرد (جدول ۶).

جدول ۶. محدوده آسمان بدون مانع دید در مقطع

ارتفاع آسمان قابل رؤیت در انتهای اتاق	محدوده بی خط آسمان در مقطع	اتاق	خانه
۲۴۰ cm		تابستان نشین	طباطبایی
۱۴۰ cm		زمستان نشین	
۱۲۰ cm		تابستان نشین	بروجردی
۱۶۰ cm		زمستان نشین	

جدول ۷. محاسبه شاخص اتاق بر مبنای هندسه اتاق و عمق نفوذ روشنایی

خانه بروجردی		خانه طباطبایی		مشخصات فیزیکی
زمستان نشین	تابستان نشین	زمستان نشین	تابستان نشین	
۰.۴	۰.۴	۰.۴	۰.۴	(R _b) ضریب انعکاس سطح
۲.۶	۴.۶	۳.۲	۶.۴	(H) ارتفاع تاج پنجره از کف (متر)
۴.۶	۵.۴	۶.۴	۷.۶	(W) عرض اتاق (متر)
۴.۹	۸.۴	۴.۴	۱۱.۴	(L) عمق اتاق (متر)

۳	۵.۲	۴	۷.۲	(H') ارتفاع کف تا سقف (متر)
۲.۸	۳.۳	۲	۳.۳	شاخص اتاق

مطابق با نشریه ۱۱۰ و استاندارد ۱۳۹۷ و مبحث ۱۳ مقررات ملی ساختمان، کمیته ملی روشنایی مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، برای شدت روشنایی غالب اماکن، مقادیر پیشنهادی داده است. این مقادیر بر اساس ایمنی، راحتی و زیبایی در نظر گرفته شده‌اند. به عنوان مثال مقدار روشنایی لازم برای اتاق نشیمن معادل ۵۴ لوکس و برای فعالیت در اتاق نشیمن معادل ۳۲۳ لوکس در نظر گرفته شده است. این ارزیابی بیان می‌دارد که با توجه به نیازهای بصری انسان در فعالیت‌های مختلف، وضعیت روشنایی در شدت روشنایی موجود در مقایسه با روشنایی استاندارد، چگونه است.

جدول ۸. ارزیابی شدت روشنایی طبیعی با توجه به نیازهای بصری انسان در فعالیت‌های مختلف

شدت روشنایی	وضعیت روشنایی	شرایط نیاز به روشنایی مصنوعی و کمکی
کمتر از ۱۰۰ لوکس	روشنایی ناکافی	نیاز به روشنایی الکتریکی
۱۰۰ تا ۳۰۰ لوکس	روشنایی نسبتاً ناکافی	نیاز به روشنایی کمکی در برخی شرایط
۳۰۰ تا ۹۰۰ لوکس	روشنایی کافی	عدم نیاز به روشنایی کمکی
۹۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس	روشنایی عالی	عدم نیاز به روشنایی کمکی
بیشتر از ۲۰۰۰ لوکس	احتمال خیرگی	نیاز به کنترل خیرگی در برخی شرایط

(مأخذ: ۹۱۳-۹۰۵: ۲۰۰۶: Nabil & Mardaljevic)

حال به کمک این جداول و استانداردهای لازم، محاسبات روشنایی در چند مرحله انجام می‌شود:

۱. استخراج مقدار لوکس مورد نیاز مطابق با استاندارد کمیته ملی روشنایی
۲. محاسبه مقدار لومن مورد نیاز از حاصل ضرب مساحت (مترمربع) در لوکس
۳. برآورد تعداد لامپ مورد نیاز بر اساس بهره الکتریکی محیط

محاسبات روشنایی

مقدار نور مورد نیاز در تابستان نشین و زمستان نشین خانه طباطبایی و خانه بروجردی عبارت است از:

۱. نور محیط اتاق؛ که از حاصل ضرب مقدار لوکس محیط، در مساحت اتاق به دست می‌آید.
۲. نور فعالیت در اتاق؛ که از حاصل ضرب مقدار لوکس لازم فعالیت، در مساحت اتاق محاسبه می‌شود.

جدول ۹. میزان روشنایی مورد نیاز برای محیط بر حسب شدت روشنایی استاندارد

خانه	اتاق	مساحت (m ^۲)	میزان روشنایی (lm)
طباطبایی	تابستان نشین	۸۶	۴۶۴۴
	زمستان نشین	۲۸	۱۵۱۲
بروجردی	تابستان نشین	۴۶	۲۴۸۴
	زمستان نشین	۲۲	۱۱۸۸

جدول ۱۰. میزان روشنایی مورد نیاز برای فعالیت در محیط بر حسب شدت روشنایی استاندارد

خانه	اتاق	مساحت (m ^۲)	میزان روشنایی (lm)
طباطبایی	تابستان نشین	۸۶	۲۷۷۷۸
	زمستان نشین	۲۸	۹۰۴۴
بروجردی	تابستان نشین	۴۶	۱۴۸۵۸
	زمستان نشین	۲۲	۱۱۶۲۸

تحلیل یافته ها

درصد سطح نورگیر به کف اتاق در تابستان نشین این خانه ها، ۴۴ درصد و در زمستان نشین آن ها، از ۴۸ تا ۵۲ درصد متغیر است (جدول ۱۱). میزان آسمان قابل رؤیت بین نمونه های مطالعاتی از ۶۲ تا ۶۸ درصد متغیر است. (جدول ۵) در خانه طباطبایی، بنا به سمت جنوب شرقی با زاویه ۲۰ درجه و در خانه بروجردی، بنا به سمت شمال غربی با زاویه ۲۴ درجه چرخیده است. حداقل ارتفاع آسمان قابل رؤیت در انتهای ترین بخش اتاق ها، ۱۲۰ و حداکثر ۲۴۰ سانتی متر از کف می باشد. به این معنی که عمیق ترین فاصله از پنجره هم می تواند از نور روز و یا نور آسمان استفاده کند؛ که خود یکی از مهم ترین شرایط برای بهره گیری از نور روز است (جدول ۶). با مقایسه شاخص اتاق به دست آمده (جدول ۷) و شاخص استاندارد اتاق (فرمول ۱)، مشاهده می شود که هندسه اتاق ها با عمق نفوذ روشنایی در آن ها تناسب دارد.

جدول ۱۱. تناسبات زمستان نشین و تابستان نشین در عمق نفوذ روشنایی نور روز

خانه	اتاق	درصد نقاب آسمان	نسبت سطح نورگیر به کف	عمق اتاق	عرض اتاق	ارتفاع تاج پنجره از کف	شاخص اتاق	نتیجه
طباطبایی	تابستان نشین	۲۲٪	۴۴٪	۱۱.۴	۷.۶	۶.۴	۳.۳	تناسبات فضا برای عمق نفوذ روشنایی نور روز دارای استاندارد لازم است.
	زمستان نشین		۵۲٪	۴.۴	۶.۴	۳.۲	۲	تناسبات فضا برای عمق نفوذ روشنایی نور روز دارای استاندارد لازم است.
بروجردی	تابستان نشین	۲۰٪	۴۴٪	۸.۴	۵.۴	۴.۶	۳.۳	تناسبات فضا برای عمق نفوذ روشنایی نور روز دارای استاندارد لازم است.
	زمستان نشین		۴۸٪	۴.۹	۴.۶	۲.۶	۲.۸	تناسبات فضا برای عمق نفوذ روشنایی نور روز دارای استاندارد لازم است.

جدول ۱۲. روشنایی مورد نیاز برای محیط

خانه	اتاق	مساحت (A) m ^۲	شار موجود (φ)	ضریب بهره (CU)	ضریب نگهداری (MF)	شدت روشنایی (Eav)	روشنایی مورد نیاز (lx)
طباطبایی	تابستان نشین	۸۶	۴۶۴۴	۰.۴	۰.۶۸	۱۴	۴.۴
	زمستان نشین	۲۸	۱۵۱۲	۰.۴	۰.۶۸	۱۴	۱.۴
بروجردی	تابستان نشین	۴۶	۲۴۸۴	۰.۴	۰.۶۸	۱۴	۲.۴
	زمستان نشین	۲۲	۱۱۸۸	۰.۴	۰.۶۸	۱۴	۱.۱

جدول ۱۳. روشنایی مورد نیاز برای فعالیت

خانه	اتاق	مساحت (A) m ²	شار موجود (ϕ)	ضریب بهره (CU)	ضریب نگهداری (MF)	شدت روشنایی (Eav)	روشنایی مورد نیاز (lx)
طباطبایی	تابستان نشین	۸۶	۲۷۷۷۸	۰.۴	۰.۶۸	۸۸	۲۸
	زمستان نشین	۲۸	۹۰۴۴	۰.۴	۰.۶۸	۸۸	۹
بروجردی	تابستان نشین	۴۶	۱۴۸۵۸	۰.۴	۰.۶۸	۸۸	۱۴.۸
	زمستان نشین	۲۲	۷۱۰۶	۰.۴	۰.۶۸	۸۸	۷.۱

محاسبات نشان می دهند که تناسبات فضا — یعنی نسبت عرض و طول به ارتفاع — با معادلات استاندارد ضریب اتاق، منطبق است. لذا در کلیه موارد تناسبات فضا برای عمق نفوذ روشنایی مناسب است.

تعدیل روشنایی

در بسیاری از محاسبات روشنایی، میزان نوری که به یک سطح می تابد دارای اهمیت بسیاری است. شدت روشنایی به بیان ساده معیاری برای اندازه گیری مقدار شار نوری است که به یک سطح می رسد (جدول ۱۴). بدین تعبیر، هدف از محاسبات روشنایی داخلی، محاسبه تعداد چراغ های مورد نیاز، تعیین نحوه قرارگیری منبع نور، تأمین حداقل شدت روشنایی متوسط، توزیع مناسب روشنایی در نقاط مختلف، محدود کردن خیرگی و ملاحظات زیبایی می باشد (Singh, ۲۰۱۸: ۱۶۸-۱۷۲).

جدول ۱۴. مقایسه لومن بر وات انواع لامپ (مأخذ: Singh, ۲۰۱۸)

میزان روشنایی (lm)	۱۰۰ تا ۲۲۰	۲۲۰	۴۰۰	۷۰۰	۹۰۰	۱۳۰۰
لامپ رشته ای	۱۵ وات	۲۵ وات	۴۰ وات	۶۰ وات	۷۵ وات	۱۰۰ وات
هالوژن	۱۰ وات	۱۸ وات	۲۸ وات	۴۲ وات	۵۳ وات	۷۰ وات
LED	۲ وات	۴ وات	۶ وات	۱۰ وات	۱۳ وات	۱۸ وات

با توجه به فرمول ۴ و جدول ۱۱ و با فرض استفاده معمول از لامپ های رشته ای در اتاق های مسکونی، می توان میزان روشنایی مورد نیاز هر اتاق و میزان روشنایی مورد نیاز برای فعالیت در آن اتاق را محاسبه و تعداد لامپ مورد نیاز برای تعدیل میزان روشنایی با استانداردهای لازم را برآورد نمود.

$$Eav = \frac{\Phi}{A} (CU)(MF)$$

فرمول ۲. شدت روشنایی بر حسب لوکس

$$lm = \frac{(A) * (Eav)}{(MF) * (CU)}$$

فرمول ۳. روشنایی مورد نیاز در هر اتاق

(مأخذ: بوبه رز، ۱۳۹۸)

$$E = \frac{lm}{m^2}$$

فرمول ۴. نسبت لوکس و لومن

جدول ۱۵. روشنایی مورد نیاز برای محیط

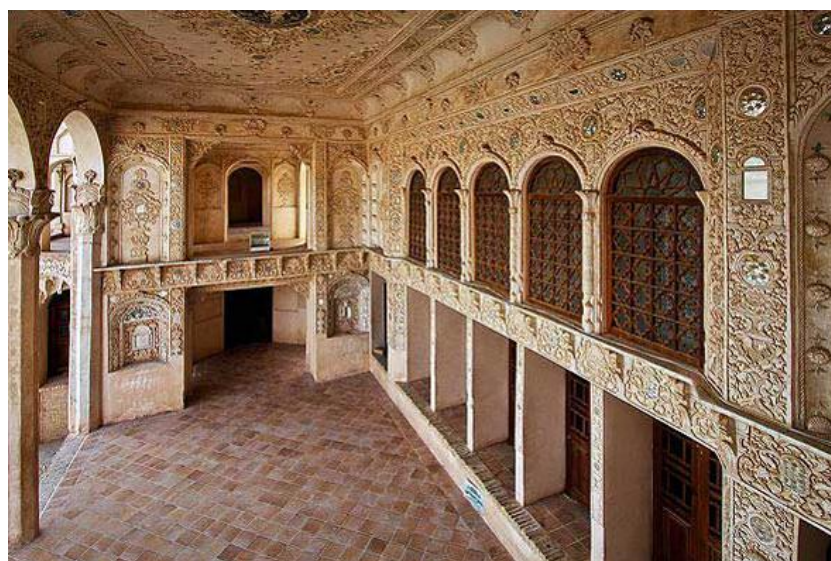
خانه	اتاق	مساحت (A) m ²	روشنایی مورد نیاز (lx)	میزان روشنایی مورد نیاز (lm)	نتیجه
طباطبایی	تابستان نشین	۸۶	۴.۴	۳۷۸	برای تعدیل میزان روشنایی محیط، یک لامپ رشته ای ۴۰ وات نیاز است.
	زمستان نشین	۲۸	۱.۴	۴۰	برای تعدیل میزان روشنایی محیط، لامپ نیاز نیست.

بروجردی	تابستان نشین	۴۶	۲.۴	۱۱۰	برای تعدیل میزان روشنایی محیط، یک لامپ رشته ای ۱۵ وات نیاز است.
	زمستان نشین	۲۲	۱.۱	۲۴	برای تعدیل میزان روشنایی محیط، لامپ نیاز نیست.

جدول ۱۶. روشنایی مورد نیاز برای فعالیت

خانه	اتاق	مساحت (A) m ^۲	روشنایی مورد نیاز (lx)	میزان روشنایی مورد نیاز (lm)	نتیجه
طباطبایی	تابستان نشین	۸۶	۲۸	۲۴۰۸	برای تعدیل روشنایی فعالیت در محیط، دو لامپ رشته ای ۱۰۰ وات نیاز است.
	زمستان نشین	۲۸	۹	۲۵۲	برای تعدیل روشنایی فعالیت در محیط، یک لامپ رشته ای ۲۵ وات نیاز است.
بروجردی	تابستان نشین	۴۶	۱۴.۸	۶۸۰	برای تعدیل روشنایی فعالیت در محیط، یک لامپ رشته ای ۶۰ وات نیاز است.
	زمستان نشین	۲۲	۷.۱	۱۵۶	برای تعدیل روشنایی فعالیت در محیط، یک لامپ رشته ای ۱۵ وات نیاز است.

چنانچه مشاهده می شود، علی رغم تناسبات لازم فضا برای نفوذ عمق روشنایی روز در هر اتاق، میزان روشنایی اتاق ها نسبت به میزان روشنایی استاندارد امروزی کمبودهای مختصری دارد؛ که به کمک نور مصنوعی قابل جبران است. به نظر می رسد وجود آینه هایی که در سطوح (سقف و دیوار) محیط تعبیه گردیده، کمبود نور روز در برخی از اتاق ها را جبران و این نقصان را رفع می کرده است. تصویر ۱۱ آینه کاری ایوان شاه نشین خانه طباطبایی را نشان می دهد.



تصویر ۱۱. آینه کاری ایوان شاه نشین خانه طباطبایی، کاشان
 (مأخذ: حاجی قاسمی و کرباسی، ۱۳۸۷)

نتیجه گیری

نتایج بررسی های این تحقیق نشان داد که در اتاق های تابستان نشین و زمستان نشین، ضریب اتاق و میزان نفوذ نور روز، از عمق اتاق بیش تر است. در نتیجه دورترین نقطه نسبت به پنجره، امکان رؤیت آسمان را برای فرد نشسته (و حتی فرد ایستاده) فراهم می کند. در اتاق های عمیق تر، ارتفاع تاج پنجره، بیش تر شده است؛ تا عمق نفوذ روشنایی نسبت به عمق اتاق بیش تر شود. همچنین، از آن جایی که پنجره ها به قاب های کوچکی تقسیم شده اند و در بخش خورشیدی، شیشه های رنگی به کار

رفته است، در نتیجه نسبت به سطوح بزرگ پنجره‌های جدید، نور روز یکنواخت‌تری به عمق فضا وارد می‌شود. لذا اگرچه عمق اتاق‌ها از عمق نفوذ نور کم‌تر است، اما نور واردشده، دارای خیرگی بسیار کمی است و وجود قاب‌های کوچک و متعدد و رنگی باعث می‌شود تا توزیع نور یکنواخت باشد. نور روز بخشی از برنامه‌ریزی کالبدی در معماری را تشکیل می‌دهد؛ که به بررسی تأثیرات نور طبیعی بر ساختمان می‌پردازد و هدف از آن، برآورده‌شدن و فراهم‌آوردن نور بهینه در اتاق و شرایط لازم برای کار و فراهم‌سازی آسایش در محیط می‌باشد. در عمل، بهبود استفاده از نور طبیعی ثابت باعث می‌شود تا میلیون‌ها آمپر انرژی، صرفه‌جویی شود. با این حال، مهم‌ترین معیار برای تأمین نور طبیعی در ساختمان‌ها محدود به سؤالات اقتصادی نیست. بلکه تأکید بر استفاده از نور روز، بهزیستی فیزیولوژیکی و سلامت انسان، مورد اهمیت است. به علاوه، نور خورشید تأثیر مهمی در سلامت روانی انسان دارد؛ که روزانه، بدون کم‌ترین هزینه‌ای در اختیار ما قرار می‌گیرد. لذا اگر می‌خواهیم از نورپردازی طبیعی کافی برای ساختمان‌ها استفاده کنیم، باید مناسب‌ترین طراحی برای آن، در تنظیم نورگذرها برای مطابقت با استاندارد نیازهای روشنایی برنامه‌ریزی شود. نتیجه آن‌که:

۱. برای بهره‌مندی از نور روز، لازم است که زاویه دید آسمان، نسبت سطح نورگذر به کف فضا، تناسبات هندسی فضا، ارتفاع تاج نورگیر و هم‌جواری‌ها، مورد توجه قرار گیرد.
۲. در معماری امروز، اتاق‌ها غالباً دارای زاویه دید کم‌تر از ۲۵ درجه هستند؛ که باعث می‌شود تا در فضای مجاور پنجره، خیرگی ایجاد شود و عمق اتاق نیز نور کافی نداشته باشد. این مسئله در زمستان نیز تشدید می‌شود. لذا طبق نمونه‌های بررسی این میزان باید در حدود ۶۵ درصد باشد.
۳. هر چه ارتفاع تاج نورگیر بیش‌تر باشد، میزان نور یکنواخت‌تری وارد عمق فضا می‌شود.
۴. تناسبات هندسی فضا باید از فرمول میزان روشنایی با شدت روشنایی (فرمول ۱) تبعیت کند.
۵. هم‌جواری‌ها و ارتفاع بدنه مقابل پنجره‌ها، از مؤلفه‌های مؤثر بر روشنایی و توزیع یکنواخت نور است.



فهرست منابع

- احدی، امین‌اله؛ مسعودی‌نژاد، مصطفی و پیریایی، آرمین (۱۳۹۵). طراحی صحیح پنجره‌ها به منظور دستیابی به میزان نور روز مناسب در خانه‌های آپارتمانی شهر تهران، هویت شهر، ۲۵(۱۰): ۴۱-۵۰.
<https://www.magiran.com/p2284291>
- احمدیان‌تازه‌مجله، کاوه (۱۳۹۹). آشنایی با اصول طراحی روشنایی، چاپ ششم، تهران: نشر طراح.
- بویه‌رژ، علی (۱۳۹۸). روشنایی فنی، تهران: حافظ پژوه.
- حائری‌مازندرانی، محمدرضا و آقاجان، عماد (۱۳۹۷). نقش فضا در معماری ایران، چاپ دوم، تهران: دفتر پژوهش‌های فرهنگی.
- حیدری، شاهین (۱۳۹۸). معماری و روشنایی، تهران: مؤسسه انتشارات.
- خامه‌چیان، اسما؛ آزاد، مصطفی و طاهباز، منصوره (۱۳۹۷). تحلیل هندسی و تناسبات پنجره‌های ارسی‌ها (نمونه موردی: هفت‌ارسی خانه‌های کاشان)، دوفصلنامه هنرهای صناعی ایران، ۲(۱): ۵-۲۳.
<https://10.22052/1.2.5>
- سلطان‌زاده، حسین (۱۳۷۵). پنجره‌های قدیمی تهران، تهران: دفتر پژوهش‌های فرهنگی.
- سلطانی، مهرداد و منصوری، امیر و فرزین، احمدعلی (۱۳۹۱). تطبیق نقش الگو و مفاهیم مبتنی بر تجربه در فضای معماری، باغ نظر، ۲۱(۹): ۱۲-۳.
https://www.bagh-sj.com/article_1698.html
- صافیان، محمدجواد؛ انصاری، مائده؛ غفاری، علی و مسعود، محمد (۱۳۹۰). بررسی پدیدارشناختی — هرمنوتیک نسبت مکان با هنر معماری، نشریه پژوهش‌های فلسفی دانشگاه تبریز، ۵(۸): ۹۳-۱۲۹.
https://philosophy.tabrizu.ac.ir/article_176.html
- طاهباز، منصوره؛ جلیلیان، شهربانو؛ موسوی، فاطمه و کاظم‌زاده، مرضیه (۱۳۹۴). تأثیر طراحی معماری در بازی نور طبیعی در خانه‌های سنتی ایران، آرمانشهر، ۱۵: ۷۱-۸۱.
https://www.armanshahrjournal.com/article_33642.html
- کاظم‌زاده، مرضیه و طاهباز، منصوره (۱۳۹۲). اندازه‌گیری و بررسی شرایط نور روز در خانه‌های قدیمی کرمان (نمونه موردی خانه امینیان)، فصلنامه هنرهای زیبا — معماری و شهرسازی، ۲(۱۸): ۱۷-۲۶.
https://jfaup.ut.ac.ir/article_50523.html
- کرباسی، کلود و حاجی قاسمی، کامبیز (۱۳۸۷). گنجنامه: فرهنگ آثار معماری اسلامی ایران، دفتر اول (ویراست دوم): خانه‌های کاشان، تهران: مرکز اسناد و تحقیقات دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی.
- کلهر، حسن (۱۴۰۰). مهندسی روشنایی، چاپ سی‌ام، تهران: شرکت سهامی انتشارات کتاب‌های درسی ایران.
- محمدی تبار، آیت و فیاض، ریما (۱۳۹۱). طراحی داخلی یک اتاق خواب نمونه برای استفاده بهینه از نور طبیعی، نامه معماری و شهرسازی، ۸: ۵-۱۷.
<https://ensani.ir/fa/article/492029>
- موسوی، فاطمه؛ محمودی زرنندی، مهناز و طاهباز، منصوره (۱۳۹۷). تأثیر هندسه و سطح نورگیر پنجره‌های اتاق‌های زمستان‌نشین بر عمق نفوذ نور روز (مطالعه موردی: خانه‌های سنتی یزد)، هویت شهر، ۳۶(۱۲): ۵-۱۸.
<https://sanad.iau.ir/fa/Article/795278?FullText=FullText>



مهدوی نژاد، محمدجواد؛ طاهباز، منصوره؛ و دولت آبادی، مهناز. (۱۳۹۵). بهینه سازی تناسبات و نحوه استفاده از رف نوری در معماری کلاس های آموزشی، هنرهای زیبا، ۲۱(۲): ۸۱-۹۲.
<https://10.22059/jfaup.2016.60164>
اولگیای، ویکتور و ایگن ام. دیوید (۱۴۰۳). روشنایی و نورپردازی در معماری، ترجمه محمد طلوع خراسانیان، تهران: طراح، دایره صنعت.

هومانی راد مرضیه و طاهباز، منصوره و پورمند، حسنعلی (۱۳۹۶). الگوی نورپردازی طبیعی در گنبدخانه های مساجد تاریخی اصفهان، فصلنامه پژوهش های معماری اسلامی، ۱۶(۵): ۸۳-۶۶.
<https://jria.iust.ac.ir/article-66-83-16-5-fa.html>

- Ahani, F. (۲۰۲۰). Natural light in traditional architecture of Iran: lessons to remember. *Light in engineering, architecture and the environment*, 121, ۲۵-۳۶.
- Ayoub, M. (۲۰۱۹). ۱۰۰ Years of daylighting: A chronological review of daylight prediction and calculation methods. *Solar Energy*, ۱۹۴, ۳۶۰-۳۹۰.
- Baker, N, & Steemers, K. (۲۰۲۲). ۴th Ed., Daylight Design of Buildings, Routledge, London.
- Boyce, P. & Raynham, P. (۲۰۱۹). ۳rd Ed., The SLL Lighting Handbook, CIBSE. London: The Society of Light and Lighting.
- Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE). (۱۹۹۹). Lighting Guide ۱۰: Day Lighting and window Design. London: Authir,
- Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE). (۲۰۱۱). Lighting Guide ۵: Lighting for Education.. London: Authir,
- Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE). (۲۰۱۴). Lighting Guide ۱۰: Day Lighting and window Design. London: Authir.
- Di Salvo, S. (۲۰۲۰). New Technologies for Adaptive Architecture. In *Urban and Transit Planning* (۴۵۷-۴۶۵). Springer, Cham.
- Erarslan, A. (۲۰۱۹). A Contemporary Interpretation of Vernacular Architecture. The Architecture of Nail Çakirhan, Turkey. *YBL Journal of Built Environment*, 7(۱), ۵-۲۵.
- Heston, Y. P. & Ayuningtyas, Y. R. (۲۰۱۹). Housing Preference Transformation in Selayar Islands Regency. *KnE Social Sciences*, ۸۹۸-۹۰۹.
- Jamala, N., Wika, A. N., & Kusno, A. (۲۰۱۹, October). Analysis of Daylight Distribution on Building Height and Space Depth. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing. ۱(۶۱۹): ۱۲-۴۴.
- Jones, N. L. & Reinhart, C. F. (۲۰۱۹) 'Effects of real-time simulation feedback on design for visual comfort', *Journal of Building Performance Simulation*. Taylor & Francis, ۱۲(۳): ۳۴۳-۳۶۱.
- Makani, V.; Khorram, A. & Ahmadipur, Z. (۲۰۱۲). Secrets of light in traditional houses of Iran. *International Journal of Architecture and Urban Development*, 2(۳): ۴۵-۵۰.
- Metaferia, K. T. (۲۰۲۲). The Bioclimatic Chart Informed Urban Design for Debre Berhan Town. *Journal of Urban Development Studies*, 2(۲), ۵۱-۶۰.
- Nabil, A., & Mardaljevic, J. (۲۰۰۶). Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy and buildings*, 38(۷): ۹۰۵-۹۱۳.
- Phillips, D. (۲۰۱۲). *Daylighting*. Routledge.
- Singh, A. P. (۲۰۱۸). Built Architecture: The Role of Natural Light.



- Souviron, J., Van Moeseke, G., & Khan, A. Z. (۲۰۱۹). Analysing the environmental impact of windows: A review. *Building and environment*.
- Tahbaz, M. & Moosavi, F. (۲۰۰۹). Daylighting Methods in Iranian Traditional Architecture (Green Lighting)/ CISBAT ۲۰۰۹ Proceeding, Septamber ۲-۳, (۲۷۳-۲۷۸), Lausanne.
- Tahbaz, M. Jalilian, S. Moosavi, F. (۲۰۱۱). Assessment of Iranian Traditionl Door-Windows, A Proposal to Proceedings Septamber ۱۴-۱۶, (۲۷۳-۲۷۸). Lausanne.
- Tregenza, P. & Wilson, M. (۲۰۱۳). *Daylighting: architecture and lighting design*. Routledge.
- Wang, Y.; Wang, R.; Li, G. & Peng, C. (۲۰۲۰). An investigation of optimal window-to-wall ratio based on changes in building orientations for traditional dwellings. *Solar Energy*, ۱۹۵, ۶۴-۸۱.
- Wienold, J. (۲۰۰۹, July). Dynamic daylight glare evaluation. In *Proceedings of Building Simulation*. ۹۴۴-۹۵۱.
- Wolf, M. & Serpanos, D. (۲۰۲۰). Architectures. In *Safe and Secure Cyber-Physical Systems and Internet-of-Things Systems* (۴۷-۵۷). Springer, Cham.