نورپردازی طبیعی در خانه‌های سنتی کاشان
نمونهٔ موردی: خانهٔ عامری‌ها

منصوره طاهباز*
شهربانو جلیلیان**
فاطمه موسوی***
مرضیه کاظم‌زاده****

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۰۱

چکیده
بهره‌برداری از نور روز در معماری، علاوه بر تأمین نیازهای روانی و جسمی انسان، مصرف انرژی‌های فسیلی را نیز کاهش می‌دهد. از این دیدگاه، معماری غنی کشور ما دستاوردها و تجربیات ارزشمندی دارد که نیازمند بازشناسی و معرفی به جامعهٔ معماری ایران و جهان است. تحقیق حاضر با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی و شبیه‌سازی کامپیوتری، تلاش می‌کند تا نحوهٔ توزیع نور و میزان آن در انواع فضاها و نورگیرهای قدیمی نشان دهد و گامی در جهت بهره‌گیری مجدد از این ایده‌ها در معماری امروز بردارد. برای شناسایی عملکرد نورگیرها در معماری ایرانی یکی از خانه‌های قدیمی کاشان به نام خانهٔ عامری‌ها انتخاب شد. این خانه دارای هفت حیاط و ۸۵ فضا با ابعاد متفاوت و نورگیرهای متنوع و مستقر در جبهه‌های مختلف است. در روزهای بهار، تابستان و زمستان ۱۳۹۰ برداشت‌های میدانی از چهارده فضای این مجموعه انجام شد. ابعاد دقیق فضاها و نورگیرهای آن، موقعیت فضا در مجموعه، جهت جغرافیایی، موقعیت آن در حیاط، موقعیت نورگیر در دیوار، نسبت سطح نورگیر به سطح فضا، بازتاب نور و ویژگی‌های رنگ روکار دیوارها و میزان روشنایی دریافتی در فضا به‌دست آورده شد. سپس با استفاده از معیارها و روش‌های محاسباتی معرفی‌شده در کتاب‌های راهنمای نورپردازی، اعم از طبیعی و مصنوعی، اطلاعات گردآوری‌شده در چهار مرحله تحلیل گردید. مرحلهٔ اول ویژگی‌های فضا، مرحلهٔ دوم هندسه و همسایگی‌های فضا، مرحلهٔ سوم وضعیت نورگیری فضاها در زمان برداشت و مرحلهٔ چهارم وضعیت نورگیری فضاها در یک سال که با استفاده از برنامهٔ شبیه‌سازی ریدینس انجام شد. نتایج تحقیق، رابطهٔ شکل و محل قرارگیری نورگیر را با کیفیت نور داخلی از نظر فیزیک نور، روشن کرده و توانسته الهام‌بخش طراحان معاصر برای ارتقای عملکرد نوری فضا و طراحی نورگیر در فضاهایی با عملکرد امروزی باشد.

کلیدواژه‌ها
نورپردازی طبیعی، یکنواختی و تنوع روشنایی، بی‌خط آسمان، ضریب اتاق، خیرگی.

* دانشیار دانشکده معماری دانشگاه شهید بهشتی، نویسنده مسئول، m_tahbaz@yahoo.com
** کارشناس ارشد معماری
*** کارشناس ارشد معماری
**** دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه آزاد واحد تهران مرکز

پرسش‌های پژوهش

۱. نحوهٔ نورپردازی طبیعی در فضاهای دارای نورگیر از نظر میزان روشنایی، یکنواختی توزیع نور و کنترل خیرگی چگونه است؟

۲. در خانهٔ عامری‌های کاشان، چه رابطه‌ای میان میزان روشنایی و نحوهٔ توزیع نور طبیعی با مشخصات نورگیر، هندسهٔ فضا و همسایگی‌های آن وجود دارد؟

مقدمه

کشور ایران با بیش از هفت هزار سال سابقهٔ شهرنشینی و وضعیت توپوگرافی و جغرافیایی بسیار متنوع، یکی از گنجینه‌های تاریخ معماری جهان محسوب می‌شود. تنوع اقلیمی از یک سو و سابقهٔ طولانی سکونت از سوی دیگر، موجب شده تا این سرزمین در زمینهٔ معماری و شهرسازی، دستاوردهای درخور توجه و ارزشمندی داشته باشد؛ از جمله این دستاوردها می‌توان به شیوه‌های نورپردازی طبیعی، در ساختمان و فضاهای شهری اشاره کرد. مطالعه‌ای که چند سال قبل بر روی بناهای تاریخی ایران انجام شد، نشان داد که شش سیستم نورپردازی دیواری و سقفی همراه با ۲۶ نوع نورگیر در معماری ایران وجود داشته است (Tahbaz & Mousavi 2009) که هرکدام با توجه به محل استقرار و نوع کاربری فضا، دارای قواعد و معیارهای طراحی و جزئیات اجرایی خاص خود بوده است.

تحقیق حاضر با اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی کامپیوتری، تلاش می‌کند تا با نحوهٔ توزیع نور و میزان آن از طریق نورگیرهای قدیمی، در فضاهای مختلف آشنا شده و در صورت مناسب‌بودن، گامی در جهت بهره‌گیری مجدد از این ایده‌ها در معماری امروز بردارد.

برای انتخاب نمونهٔ موردی، یکی از خانه‌های قدیمی کاشان، به نام خانهٔ عامری‌ها که از نظر دسترسی و سلامتِ بنا وضعیت مناسبی دارد و دارای انواع اتاق‌ها با تعداد و اشکال مختلف نورگیر است، در نظر گرفته شد. نتایج تحقیق رابطهٔ شکل و محل قرارگیری نورگیر و فضاهای متعلق به آن‌ها را با کیفیت نور داخلی از نظر فیزیک نور مشخص کرده و توانسته الهام‌بخش بهبود عملکرد نوری فضا و شیوه‌های مختلف طراحی نورگیر در فضاهایی با عملکرد امروزی باشد.

۱. ضرورت تحقیق

معماری جدید ایران به‌خصوص در بخش‌های مسکونی، آموزشی و اداری که نیاز مبرمی به تأمین روشنایی دارند، کاملاً به روشنایی مصنوعی وابسته است و عملاً استفاده از نور طبیعی را که منطقی‌ترین، باصرفه‌ترین و سالم‌ترین نوع روشنایی در ساعات روز است، به فراموشی سپرده. با توجه به مشکلات موجود در زمینهٔ تأمین انرژی فسیلی، همچنین مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویهٔ این نوع از انرژی، لزوم بازنگری در شیوه‌های متداول ساخت‌وساز و استفاده از سیستم‌های پیشرفتهٔ نورپردازی طبیعی، ضروری است.

بررسی شیوه‌های مختلف نورپردازی طبیعی در معماری گذشتهٔ ایران، حکایت از سبکی دارد که در آن، نورپردازی با روش‌های غیرفعال انجام شده و هر فضا با توجه به نوع عملکرد، دارای نورگیر خاص با اندازه و مشخصات ویژه بوده است. این امر نشان‌دهندهٔ استفاده از استانداردهای تعریف‌شده برای تأمین نیازهای روشنایی فضاها می‌باشد. با توجه به وضعیت فعلی کشور از نظر محدودیت‌های دسترسی به سیستم‌های پیشرفتهٔ مورد استفاده در کشورهای صنعتی از یک سو و پیشینهٔ غنی معماری ایران از سوی دیگر، طبیعی است که حل مشکلات نورپردازی در بناهای امروزی، قبل از آنکه متکی به سیستم‌ها و تکنولوژی‌های پیشرفته باشد، می‌تواند با شناخت صحیح راهکارها و تجربیات بومی به‌کاررفته در معماری گذشتهٔ ایران، تأمین گردد؛ لذا انجام هر تحقیق در جهت کشف قوانین و ضوابط به‌کاررفته در این معماری، می‌تواند راهگشای مناسبی برای حل این مشکلات باشد.

۲. پیشینهٔ تحقیق

در طول تاریخ، نور روز و طراحی ساختمان با توجه به بهره‌گیری بهینه از این نعمت طبیعی، همواره مورد توجه معماران بوده است. بعد از کشف برق و اختراع لامپ که امکان روشن کردن فضاهای داخلی به‌صورت مصنوعی را به‌وجود آورد، استفاده از نور طبیعی روز مورد غفلت قرار گرفت. تجربهٔ صدسالهٔ اخیر نشان داد که نیاز فیزیکی و روانی انسان به نور روز، بسیار عمیق‌تر و اساسی‌تر از تأمین روشنایی با استفاده از نیروی برق است؛ لذا سالیان درازی است که مطالعات مربوط به نور روز و بهره‌گیری بهینه از آن، در کشورهای پیشرفتهٔ دنیا مورد توجه ویژه قرار گرفته است.

در این رابطه، انجمن‌های بین‌المللی نظیر CIE انجمن روشنایی اروپا، IESNA انجمن روشنایی امریکا، CIES انجمن روشنایی چین، ILSE انجمن روشنایی هندوستان و سایر انجمن‌های علمی و تحقیقاتی در استرالیا و کانادا، انجام تحقیقات و تولید استانداردهای نورپردازی، اعم از نور طبیعی و مصنوعی را به عهده گرفته‌اند.

در چند سال اخیر، با توجه به گسترش سطح دانش علمی در کشور و علاقه‌مندی برخی از دانشجویان به انجام پروژه‌های تحقیقاتی، در زمینهٔ نورپردازی طبیعی در رشتهٔ معماری، تحقیقاتی به‌صورت تئوریک در زمینهٔ محاسبات نور روز یا به روش پیمایش میدانی در رابطه با شرایط نورپردازی طبیعی در فضاهای آموشی یا اداری انجام شده است. از جمله این تحقیقات، می‌توان به طاهباز ۱۳۸۳، صنعتی ۱۳۸۵، فیضمند ۱۳۹۰، کاظم‌زاده ۱۳۹۰ و... اشاره کرد.[۱] تأسیس انجمن مهندسی روشنایی و نورپردازی ایرانیان، اقدام مثبت دیگری در این زمینه است.

ضرورت استفاده از نور روز در معماری از یک سو و توسعهٔ نرم‌افزاری از سوی دیگر، امکانات مناسبی برای رمزگشایی علل موفقیت و یا ناموفقیت فضاهای مختلف در امر نورپردازی، حاصل کرده است. با ورود این دانش به ایران، مسیر جدیدی در نحوهٔ مطالعهٔ نور روز در فضاهای تاریخی به‌وجود آمده است. تحقیق حاضر با توجه به این رویکرد، در نظر دارد تا با استفاده از مطالعات میدانی به‌کمک ابزارهای اندازه‌گیری نور روز و با بهره‌گیری از قابلیت تعمیم‌بخشی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی نور، نظیر ریدینس که امکان توسعهٔ برداشت‌های میدانی به کل سال را فراهم می‌کند، همچنین استفاده از کتاب‌های راهنمای مرتبط با نورپردازی و معیارهای ارزیابی معرفی‌شده در این عرصه، به ارزیابی شرایط نورپردازی در فضاهای تاریخی بپردازد. شهر تاریخی کاشان با وجود خانه‌های تاریخی، وضعیت قابل قبولی را برای انجام تحقیقات میدانی فراهم کرده است؛ لذا ساختمان‌های تاریخی این شهر به‌عنوان جامعهٔ آماری مطالعاتی انتخاب شد.

۳. روش و مراحل انجام تحقیق

برای اجرای این پژوهش و اندازه‌گیری میزان روشنایی در فضاهای متنوع در خانهٔ عامری‌های کاشان، از روش چهار مرحله‌ای زیر استفاده شد:

۱. اتاق‌های سه دری، پنج دری، هفت دری (ترکیب ارسی و در/ پنجره) و فضاهای دارای نورگیرهای سقفی شناسایی و انتخاب شد و یک شبکهٔ ۶۰ سانتی‌متر در ۶۰ سانتی‌متر در ارتفاع ۷۰ سانتی‌متری از کف هر فضا (ارتفاع متداول میزهای کار و مطالعه) برای سنجش روشنایی به‌کمک دستگاه‌های سیار روشنایی‌سنج، تعریف شد.

۲. پس از ترسیم خطوط هم‌نور به‌کمک برنامهٔ اکسل، نحوهٔ توزیع نور در فضاهای انتخابی مشخص شد، سپس به‌کمک رابطهٔ ضریب یکنواختی، مقدار یکنواختی یا تنوع روشنایی در این فضاها تعیین گردید.

۳. به‌کمک شبیه‌سازی کامپیوتری و با استفاده از نرم‌افزارهای اکوتکت و ریدینس، میزان نور دریافتی فضاها در طول سال و عملکرد سالیانهٔ آن از نظر تأمین نور لازم (با توجه به نحوهٔ استفاده از فضا) روشن و تجزیه و تحلیل شد.

۴. عملکرد انواع نورگیر در نمونه‌های انتخابی با توجه به ویژگی‌های فضای مربوط به آن تعیین گردید. در این بررسی، میزان روشنایی دریافتی در قسمت‌های مختلف فضا، تضاد موجود در فضا از نظر خیرگی یا کم‌نوری، یکنواختی توزیع نور در مقرهای رفتاری فضا، میزان روشنایی دریافتی روی سطوح افقی (سطح مرجع) و دیوارهای مختلف فضا از نظر کم‌نورترین و روشن‌ترین قسمت‌ها مشخص شد.

۳-۱. محل و زمان انجام تحقیق

کاشان با طول جغرافیاییِ ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقهٔ شرقی و عرض جغرافیاییِ ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقهٔ شمالی، در ارتفاع ۹۸۲/۳ متری از سطح دریاهای آزاد قرار گرفته است. این شهر از شمال به کویر مرکزی ایران و شهرستان قم، از جنوب به شهرستان‌های نطنز، بُرخوار و میمه، از مشرق به دشت کویر و از مغرب به شهرستان محلات محدود می‌شود. قرارگیری در مجاورت کویر موجب شده که آب و هوای این شهر، از خیلی گرم و خشک کویری در تابستان تا سرد در زمستان متغیر باشد.

۳-۱-۲. خانهٔ عامری‌ها

خانهٔ عامری‌ها در بافت تاریخی کاشان قرار گرفته است. این خانه هفت حیاط بزرگ و کوچک دارد. در این حیاط‌ها اتاق‌های متعددی وجود دارد که در جبهه‌های مختلف قرار گرفته و دارای ابعاد و تناسبات متفاوتی هستند. علاوه بر اتاق، فضای دیگری به نام حوضخانه نیز در بعضی از حیاط‌ها احداث شده که فاقد دیوارنما و در نتیجه فاقد پنجره است و ارتباط بینایی، نوری و حرارتی مستقیمی با فضای باز حیاط دارد. اتاق‌ها به‌کمک نورگیرهای متعدد و متنوع، روشنایی، دید و منظر، تهویه و تبادل حرارتیِ لازم را تأمین می‌کنند. نورگیرهای این مجموعه از دو گروه سقفی و دیواری تشکیل شده که نوع سقفی آن، غالباً به‌صورت گشودگی‌هایی در اطراف کلاه‌فرنگی دیده می‌شود.

نوع دیواری به‌صورت در/ پنجره یا ارسی دارای اشکال، ابعاد و خصوصیات متنوعی از نظر میزان بازشو، نسبت سطح شیشه‌خور به سطح چوب، رنگ شیشه، جهت قرارگیری و غیره است. انتخاب نوع نورگیر و تعداد در/ پنجره براساس موقعیت، ابعاد و عملکرد فضا صورت گرفته است. در این تحقیق، برای مشخص‌شدن تأثیر هندسه، جهت، ابعاد و اندازهٔ فضا و ویژگی‌های نورگیر بر نحوهٔ پخش روشنایی، تعداد هشت اتاق سه دری و پنج دری، دو تالار زمستان‌نشین و آینه، دو فضای میانی با نورگیرهای سقفی و یک حوضخانه با یک جبههٔ باز و نورگیر سقفی، مطالعه شد. تصویر ۱ محل قرارگیری و نام انتخابی اتاق‌های مورد مطالعه در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.

تصویر۱: مجموعه عامری‌های کاشان و موقعیت فضاهای برداشت‌شده

۳-۲. ابزار گردآوری اطلاعات

برای برداشت دقیق اطلاعات روشنایی، از دستگاه‌های دیجیتالی روشنایی‌سنج دیتالاگر، روشنایی‌سنج حافظه‌دار، روشنایی‌سنج ساده و دستگاه آنالیز رنگ استفاده شد (جدول ۱). اطلاعات لازم در سه زمان متفاوت از سال ۱۳۹۰، شامل ۵ و ۶ اردیبهشت، ۲۰ و ۲۱ تیر و ۲۰ تا ۲۲ دی‌ماه، برداشت شد. علت انتخاب این زمان‌ها پوشش نسبتاً مناسب به گرم‌ترین روزهای تابستان، سردترین روزهای زمستان و روزهای معتدل بهار بود. در این باره، یک دستگاه روشنایی‌سنج دیتا لاگر برای برداشت اطلاعات محلی، روی بام خانه نصب شد. این دستگاه در تاریخ‌های مذکور به‌صورت شبانه‌روزی اطلاعات را ثبت می‌کرد (تصویر ۲).

جدول ۱- مشخصات دستگاههای برداشت اطلاعات

روشنایی سنج دیتالاگر TES ۱۳۳۹R	روشنایی سنج حافظه دار ST-۸۸۰۹A	روشنایی سنج ساده ST-۱۳۰۱	دستگاه آنالیز رنگ RGB-۱۰۰۲	متر دیجیتال Leica DISTO^{TM} D۳a
ذخیره داخلی داده های روشنایی تا ۴۰۰۰۰ داده	حفظ داده ها در کامپیوتر و دامنه اندازه گیری صفر تا ۴۰۰۰۰۰ لوکس	بدون حافظه ذخیره اطلاعات – دامنه صفر تا ۵۰۰۰۰ لوکس	اندازه گیری ویژگی های مختلف رنگ – آر جی بی[۱]، فام، غلظت و درخشندگی[۲]	اندازه گیری از راه دور– سه بعدی و محاسبه انواع زاویه و قوس

۱ - RGB

۲ - Hue, Saturation, Luminance (HSL)

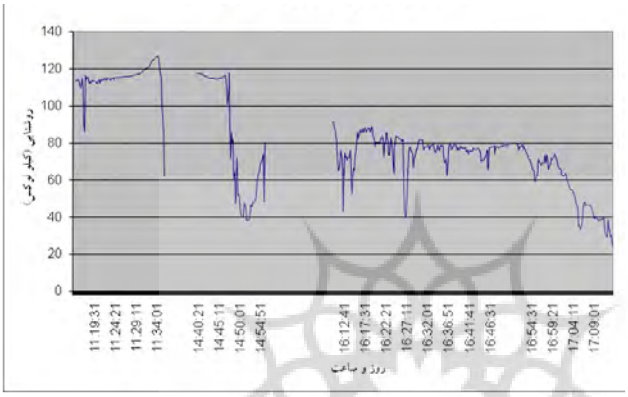
تصویر ۲- برداشت اطلاعات روشنایی روی پشت بام، حیاط و داخل فضاها

۳-۳. روش گردآوری اطلاعات

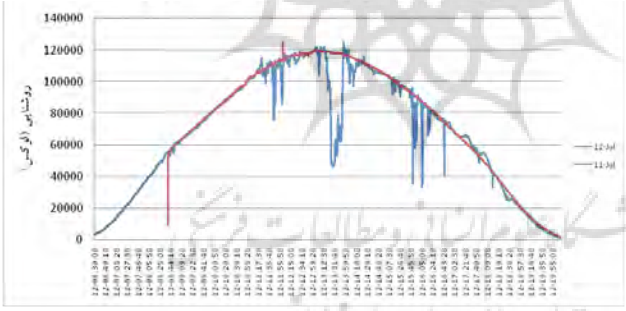
برداشت اطلاعات در فضاهای انتخابی، روی یک شبکهٔ ۶۰ سانتی‌متر در ۶۰ سانتی‌متر و در ارتفاع ۷۰ سانتی‌متری از سطح زمین و در ساعات مختلف روز، به‌کمک دستگاه روشنایی‌سنج انجام شد. همچنین دستگاه آنالیز رنگ برای تعیین درصد بازتاب نور (براساس رنگ سطح) از سطوح مختلف فضا نظیر سقف، کف و دیوارها استفاده شد. به‌کمک این دستگاه آر جی بی رنگ دیوار و سقف اندازه‌گیری شد و در برنامهٔ شبیه‌سازی برای تعیین میزان انعکاس سطوح از آن استفاده گردید. اندازهٔ دقیق فضاها شامل طول و عرض و ارتفاع طاق، اعم از ارتفاع پاتاق، تاج قوس و اندازهٔ دقیق پنجره‌ها شامل تعداد و ابعاد دهنه، ارتفاع پنجره در بخش شیشه‌خور و قاب، ارتفاع تاج بالای پنجره و خورشیدی آن با استفاده از متر دیجیتالی برداشت شد. این اندازه‌گیری‌ها در ترسیم پرسپکتیو فضاها برای نمایش ویژگی‌های فضا و در شبیه‌سازی کامپیوتری استفاده شد. ابعاد حیاط‌ها به‌منظور تعیین فاصله نمای مقابل از پنجره فضاهای انتخابی اندازه‌گیری شد. برداشت اطلاعات در روزهای انتخابی از حدود ساعت ۹ صبح تا ۵ عصر انجام شده است.

در تاریخ جمع‌آوری اطلاعات، به‌دلیل حاکمیت شرایط ناپایدار و احتمال تغییرات لحظه‌ای وضعیت آسمان از تمام ابری به نیمه‌ابری یا صاف، همچنین امکان مقایسهٔ وضعیت روشنایی فضای داخلی با میزان روشنایی محیط خارجی در زمان اندازه‌گیری، یک دستگاه روشنایی‌سنج روی سطح بام نصب و داده‌های برداشت‌شده در نمودارهای تصویر ۳ ترسیم گردید. همان‌طور که در این نمودارها ملاحظه می‌شود، حداکثر روشنایی آسمان کاشان در زمان برداشت، از ۶۰۰۰۰ لوکی در زمستان تا ۱۲۰ هزار لوکس در بهار و تابستان متغیر بوده است.

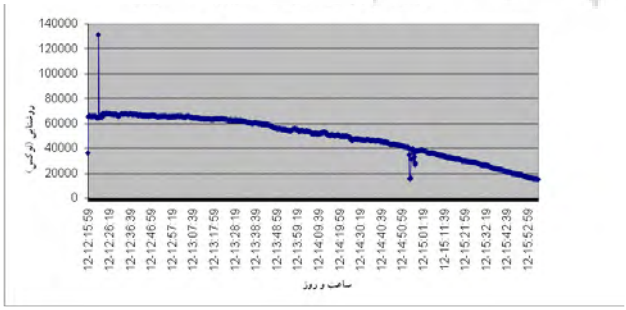
روشنایی روی سطح خانه عامری‌ها ۲۶ می ۲۰۱۱



میزان روشنایی روی سطح بام خانه عامری‌ها ۱۲ جولای ۲۰۱۲



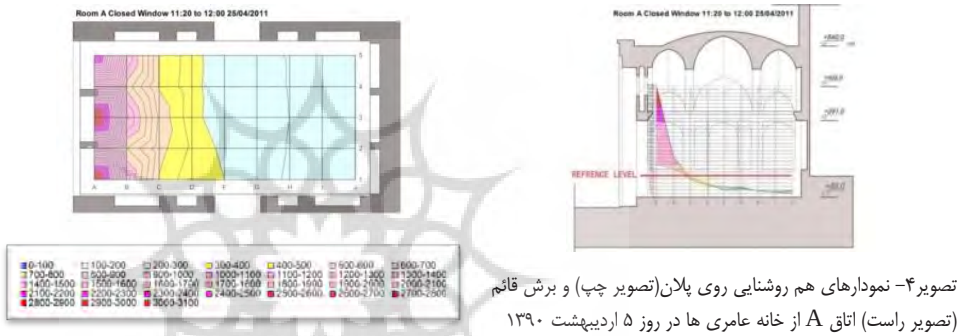
روشنایی روی بام خانه عامری‌ها ۱۲ ژانویه ۲۰۱۲ (لوکس)



تصویر ۳: روشنایی روی بام خانه عامری‌های کاشان در روزهای انتخابی (از چپ به راست) بهار، تابستان و زمستان ۱۳۹۰

۳-۴. روش تحلیل اطلاعات

بعد از اندازه‌گیری مقدار روشنایی در شبکه و ارتفاع مورد نظر در هر اتاق، داده‌ها توسط برنامهٔ اکسل روی نمودار سه بعدی ترسیم شد و خطوط هم‌روشنایی هر فصا در پلان و مقطع ترسیم گردید. این خطوط نحوهٔ توزیع روشنایی در فضاهای مورد مطالعه در زمان برداشت میدانی را نشان می‌دهد. طیف رنگی به‌کاررفته در این نمودارها براساس نیاز فعالیت‌های بینایی و فعالیت‌های عمومی[۵] طبقه‌بندی گردید که در آن، روشنایی کمتر از ۱۰۰ لوکس (آبی پررنگ) به‌عنوان روشنایی کم، روشنایی ۱۰۰ تا ۳۰۰ لوکس (آبی کم‌رنگ) به‌عنوان روشنایی مکمل، روشنایی ۳۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس (زرد تا بنفش) به‌عنوان روشنایی مکفی و روشنایی بیش از ۲۰۰۰ لوکس (قرمز) به‌عنوان روشنایی بیش از اندازه و گاه همراه با خیرگی در نظر گرفته شد (تصویر ۴). این تقسیم‌بندی را Mardaljevic and Nabil براساس دامنه‌های قابل قبول و غیرقابل قبول روشنایی روی سطح کار، به نام روشنایی مفید نور[۶] روز تعریف کرده‌اند. (Nabil and Mardaljevic 2005)



تصویر۴- نمودارهای هم روشنایی روی پلان(تصویر چپ) و برش قائم (تصویر راست) اتاق A از خانه عامری ها در روز ۵ اردیبهشت ۱۳۹۰

در ادامه به‌منظور تکمیل اطلاعات و فراهم‌کردن امکان مقایسهٔ وضعیت فضاهای مختلف نسبت به یکدیگر، موارد زیر بررسی شد:

۳-۴-۱. خصوصیات فضا

این خصوصیات شامل موقعیت فضا در خانه و جهت قرارگیری آن در پلان سایت، همچنین ابعاد و تناسبات و شکل نورگیر فضا همراه با عکس‌های آن است (تصویر ۱).

۳-۴-۲. هندسهٔ فضا[۷]

مشخصات هندسی و وسعت فضا نسبت به محل قرارگیری آن، همچنین شکل و تناسبات نورگیر در نحوهٔ توزیع نور در فضا نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. نحوهٔ توزیع نور در فضا در کیفیت ادراکی فضا مؤثر است. در فضاهایی که فعالیت‌های بینایی انجام می‌شود، مثل دفاتر کار و کلاس‌های درس، هر چه نحوهٔ توزیع نور در فضا یکنواخت‌تر باشد، فضا از کیفیت روشنایی بهتری برخوردار خواهد بود. در چنین فضاهایی، روشنایی کم‌نورترین نقطهٔ فضا نباید از ۳۰ تا ۴۰ درصد نورانی‌ترین نقطهٔ فضا کمتر باشد. در غیر این صورت، تضاد نوری ایجادشده در فضا مناسب نبوده و راحتی دید مختل خواهد شد.[۸]

۳-۴-۲-۱. عمق و تناسبات فضا

الف. ضریب اتاق[۹]

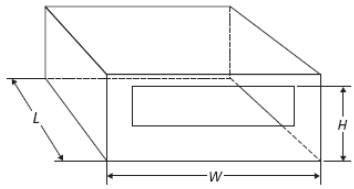
عمق مناسب فضا معمولاً تابعی از محل قرارگیری نورگیر از یک طرف و میزان روشنایی لازم از طرف دیگر است. عمق و تناسبات فضا با توجه به محل و ابعاد نورگیر، همچنین میزان انعکاس از سطوح داخلی فضا تعیین‌پذیر است. در فضاهایی که با نورگیر دیواری روشن می‌شوند و امکان دیدن پهنهٔ آسمان در آن وجود دارد، نسبت عمق، پهنا و میزان انعکاس فضا باید از رابطهٔ (۱) تبعیت کند تا فضا به‌خوبی روشن شود. این رابطه ضریب اتاق نامیده می‌شود. (Lighting Guide 10. 1999, p. 16-17)

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

در رابطهٔ (۱) L عمق فضا از پنجره تا دیوار مقابل آن، W عرض فضا به موازات سطح پنجره و H ارتفاع تاج پنجره از کف فضا بر حسب متر است (تصویر ۵). Rb متوسط ضریب انعکاس از همهٔ سطوح داخلی فضا شامل سقف، دیوارها و کف برحسب درصد است(Lighting Guide 05. 2011, p. 26). جدول ۲ عمق‌های مختلف فضا براساس رابطهٔ بالا و تصویر ۵ نمونهٔ اتاق را نشان می‌دهد.

جدول ۲- رابطه عمق فضا و عمق نفوذ روشنایی
(Ref: Lighting Guide ۱۰, ۱۹۹۹, p ۱۶)

Reflectance *Rb*	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6
Room width (m)	3	10	3	10	3	10
Window head height (m)						
2.5	4.5	6.7	5.4	8.0	6.8	10.0
3	5.0	7.7	6.0	9.2	7.5	11.5
3.5	5.4	8.6	6.5	10.4	8.1	13.0

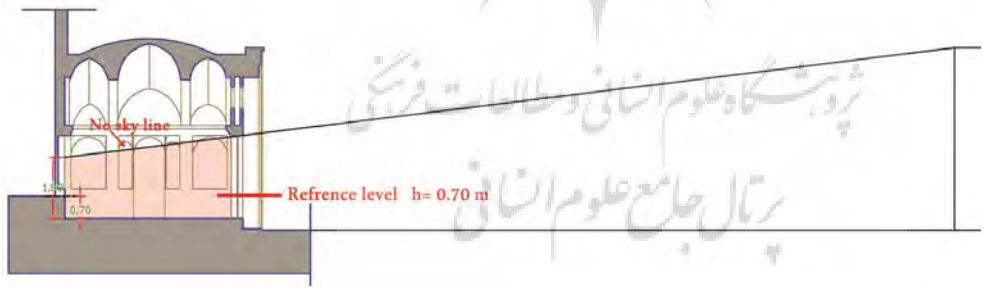


تصویر ۵- مشخصات هندسی یک فضا با نورگیر دیواری یک طرفه
(Ref: Lighting Guide ۰۵, ۲۰۱۱, p. ۲۶)

۳-۴-۲-۲. همسایگی‌ها

۳-۴-۲-۲-۱. بی‌خط آسمان[۱۰]

در نورگیرهای دیواری یک‌طرفه، در وضعیتی که مانعی در مقابل نورگیر قرار نداشته و آسمان از داخل فضا قابل دیدن باشد، عمق مفید اتاق تقریباً دو برابر ارتفاع تاج نورگیر است؛ ولی در شرایطی که در بیرون ساختمان موانعی در مقابل نورگیر قرار گرفته باشد، مثل اکثر فضاهای واقع در بافت‌های شهری، خط آسمان‌نمای مقابل نورگیر، تعیین‌کنندهٔ عمق مفید فضاست. بی‌خط آسمان، بخش بهره‌مند از روشنایی آسمان[۱۱] در یک فضا را از محدوده‌های محروم از روشنایی آسمان تفکیک می‌کند (تصویر ۶). در محدودهٔ بی‌خط آسمان اتاق که امکان استفادهٔ مستقیم از روشنایی آسمان را ندارد، مقدار نور کافی نبوده و نیاز به استفاده از روشنایی کمکی وجود دارد.[۱۲]



تصویر ۶- محدوده آسمان بدون خط

۳-۴-۲-۲-۲. زاویهٔ دید آسمان[۱۳]

نور روز دسترس‌پذیر در یک فضا بستگی به میزان روشنایی رسیده به پنجره دارد. این مقدار روشنایی نیز بستگی به این دارد که پنجره تا چه حد توسط موانع خارجی مستور شده باشد. محاسبهٔ این مقدار معمولاً در آسمان تمام‌ابری، یعنی هنگامی که کمترین میزان نور روز فراهم است، انجام می‌شود (Lighting Guide 10. 1999, p. 25). برای پنجره‌ای که نمای مقابل آن طولانی است، مقدار روشنایی حاصل از نور مستقیم آسمان، بستگی به زاویهٔ دید آسمان دارد. زاویهٔ دید آسمان که با Θ نشان داده می‌شود، محدوده‌ای است که از وسط ارتفاع پنجره نسبت به خط آسمان‌نمای مقابل و خط بالای نورگیر ترسیم می‌شود (Lighting Guide 10. 1999, p. 25). زمانی که پنجره افق آسمان را می‌بیند و در بالای آن نیز سایبانی وجود ندارد، زاویهٔ دید آسمان برابر ۹۰ درجه خواهد بود. اگر

به اندازهٔ ۲۵ درجه سایبان در بالای پنجره قرار گیرد، این زاویه ۶۵ درجه خواهد شد). برای کنترل یکنواختی نور در داخل فضا، از روش‌های ترسیمی محدودهٔ بی‌خط آسمان و ضریب اتاق در کنار روش‌های محاسباتی یا شبیه‌سازی ضریب نور روز می‌توان استفاده کرد (Lighting Guide 05. 2011, p. 25).

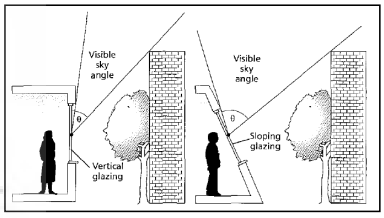
۳-۴-۲-۲-۲-۱. زاویهٔ دید آسمان در مقطع[۱۴]

در کتاب‌های راهنمای روشنایی زاویهٔ دید آسمان که در مقطع ترسیم می‌شود، برای پنجره‌ای واقع در یک کوچه، با خط آسمان افقی و نامحدود تعریف شده است (تصویر ۷). با توجه به اینکه در خانه‌های سنتی، پنجره‌ها از داخل حیاط‌های مرکزی به آسمان دید دارند، زاویهٔ دید آسمان در مقطع (تصویر ۸) به‌طور کامل، محدودهٔ آسمان قابل مشاهده از پنجره را نشان نمی‌دهد. به همین دلیل در تحقیق حاضر، مفهوم جدیدی به نام زاویهٔ دید آسمان در نما برای تعیین زاویهٔ دید آسمان پنجرهٔ واقع در یک حیاط مرکزی تعریف شد.

۳-۴-۲-۲-۲-۲. زاویهٔ دید آسمان در نما[۱۵]

مفهوم زاویهٔ دید آسمان در نما عبارت است از زاویه‌ای که از نقطهٔ وسط پنجره به دو خط آسمان لبه‌های حیاط عمود بر دیوار پنجره رسم می‌شود (تصویر ۹). این زاویه در نمای پنجره ترسیم‌شدنی است و معلوم می‌کند که از ۱۸۰ درجه برش افقی، چند درجه از آسمان از داخل پنجره دیدنی است. مجموعه زوایای دید آسمان در مقطع و نما، نقاب آسمان[۱۶] را تشکیل می‌دهد که به روش نقاب سایه[۱۷] الگی روی نقاله سایه‌یاب[۱۸] ترسیم می‌شود و با انطباق بر نقشهٔ مسیر خورشید[۱۹] کاشان، محدودهٔ آسمان قابل مشاهده از مرکز نورگیر را نشان می‌دهد (تصویر ۱۰). نقاب آسمان مفهوم به‌کاررفته در این تحقیق است که مشخص می‌کند در خانه‌های حیاط مرکزی، اتاق‌ها از مجموع نیمکرهٔ آسمان، به چند درصد آن دید دارند و چه سهمی از روشنایی آسمان را دریافت می‌کنند. رابطهٔ (۲) نسبت آسمان قابل مشاهده[۲۰] SV به کل نیمکرهٔ آسمان S را بر حسب درصد نشان می‌دهد.

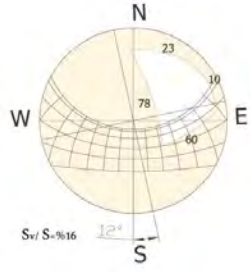
$$S_V/S = \text{visible sky ratio (\%)} \qquad (۲)$$



تصویر ۷- روش تعیین زاویه دید آسمان از نورگیر
(Ref: Lighting Guide ۱۰, ۱۹۹۹, p. ۲۵)

تصویر ۸- زاویه دید آسمان در مقطع

تصویر۹- زاویه دید آسمان در نما



تصویر۱۰- نقاب آسمان

۳-۴-۲-۲-۳. ضریب نور روز[۲۱]

با توجه به تغییرات مداوم میزان روشنایی روز در وضعیت‌های مختلف آسمان (صاف، نیمه‌ابری تا تمام‌ابری)، مقدار روشنایی نور روز ثابت نیست و متناسب با زمان (ساعت، روز و فصل) تغییر می‌کند؛ لذا محاسبات نور روز پیچیدگی‌هایی دارد و باید براساس تغییرات لحظه به لحظه زاویهٔ تابش خورشید نسبت به سطح دریافت‌کننده،

وضعیت آسمان و شرایط جوی متغیر محاسبه شود. به‌منظور دستیابی به مفهومی جامع و فارغ از این تغییرات، از ضریبی به نام ضریب نور روز (Hopkinson 1963, p. 50-54) استفاده می‌شود. ضریب نور روز به‌جای تعیین مقدار روشنایی در داخل اتاق، نسبت روشنایی روی سطح کار داخل اتاق را به روشنایی دریافتی از نور آسمان، در سطح افقی واقع در فضای باز خارج اتاق، در شرایطی که هیچ مانعی در مقابل آسمان قرار نگرفته باشد، نشان می‌دهد. ضریب نور روز با درصد نمایش داده می‌شود. این ضریب می‌تواند برای یک نقطه از اتاق یا به‌صورت متوسط در یک فضا محاسبه شود. این محاسبات توسط کامپیوتر نیز انجام می‌شود و خطوط هم‌ضریب روی پلان و مقطع یا پرسپکتیو فضا ترسیم می‌گردد. شایان ذکر است درحالی‌که ضریب نور روز میزان حداقل دریافت روشنایی طبیعی در یک فضا را تعیین می‌کند، قادر نیست کیفیت نور از نظر مشکلات بینایی را مشخص کند (The SLL lighting Handbook 2009, p. 132). متوسط ضریب نور روز برای تعیین مقدار روشنایی عمومی ناشی از نور آسمان در فضا به‌کار می‌رود. برای اطمینان از اینکه فضا روشنایی قابل قبولی دارد، متوسط ضریب نور روز نباید کمتر از ۲ درصد باشد. در صورتی که متوسط ضریب نور روز ۵ درصد باشد، فضا به‌قدر کافی روشن بوده و در طی روز نیازی به استفاده از روشنایی کمکی ندارد و یکنواختی توزیع نور نیز مناسب است. درصورتی‌که متوسط ضریب نور روز در یک فضا بین ۲ تا ۵ درصد باشد، معمولاً در طی روز نیاز به استفاده از روشنایی کمکی وجود خواهد داشت. در شرایطی که اتاق مورد مطالعه در داخل یک کوچه با دو خط آسمان افقی موازی واقع شود و آسمان از فاصلهٔ بین آن‌ها دیده شود، متوسط ضریب نور روز روی سطح کار از طریق رابطهٔ (۳) محاسبه می‌شود.

$$DF_{Ave} = \frac{T A_w \theta}{A (1 - R^2)} \qquad (۳)$$

در رابطهٔ (۳) DFAve متوسط ضریب نور روز بر حسب درصد، T ضریب شفافیت شیشه به اضافهٔ اثر کثیفی (BS 8206-2: 2008)، Aw مساحت سطح شیشه‌خور پنجره برحسب مترمربع، θ زاویهٔ دید آسمان روی سطح عمود بر شیشهٔ پنجره بر حسب درجه، A مجموع مساحت سطوح داخلی شامل سقف، دیوارها و کف به‌علاوهٔ سطح پنجره برحسب مترمربع، R متوسط ضریب انعکاس سطوح داخلی است. برای فضایی با سقف سفید و دیوارهایی با انعکاس متوسط این ضریب برابر ۰٫۵ است (Lighting Guide 05. 2011, p. 25). همان‌طور که در رابطهٔ (۳) می‌شود، زاویهٔ دید آسمان ارتباط مستقیم با متوسط ضریب نور روز در داخل فضا دارد (تصویر ۱۱). به‌عبارت دیگر، هرچه زاویهٔ دید آسمان بازتر و بزرگ‌تر باشد، متوسط ضریب نور روز در داخل اتاق بیشتر خواهد بود.

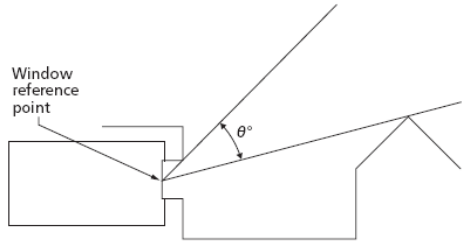
۳-۴-۲-۲-۴. ضریب جهت[۲۲] نورگیر

مقدار روشنایی رسیده از نورگیر واقع در جهات مختلف را ضریب جهت نورگیر می‌نامند. ضریب جهت نورگیر ضریبی است که در ضریب نور روز ضرب می‌شود و میزان روشنایی دریافتی از نورگیر با توجه به جهت قرارگیری، آن را محاسبه می‌کند (Lighting Guide 10. 1999, p. 65-69). ضریب جهت نورگیر دارای عددی کمتر از یک برای جهت شمال (کمترین نور دریافتی از آسمان)، عدد یک برای جهات شرق و غرب و عدد بیش از یک برای جهت جنوب (بیشترین نور دریافتی از آسمان) است (جدول ۳).

جدول ۳ – ضریب جهت نورگیر

Orientation	Factor
North	0.97
East	1.15
South	1.55
West	1.21
Horizontal	1.00

(Lighting Guide ۱۰, ۱۹۹۹, p. ۶۵-۶۹)



تصویر ۱۱– زاویه دید آسمان
(Lighting Guide ۰۵, ۲۰۱۱, p. ۲۵)

۳-۴-۳. ضریب یکنواختی روشنایی[۲۳]

این ضریب شرایط یکنواختی یا تنوع روشنایی در محل کار یا محیط پیرامون آن را نشان می‌دهد (The SLL Code for Lighting 2012, p. 298) و معلوم می‌کند که آیا این فضا برای انجام فعالیت‌های بینایی مناسبتر است یا برای فعالیت‌های عمومی. درصورتیکه ضریب یکنواختی بیش از ۰/۶ و ضریب یکنواختی در محیط پیرامونی نزدیک ۰/۴ باشد، فضا برای انجام فعالیت‌های بینایی در سطح کار (۷۰ سانتی‌متر) مناسب است. درصورتیکه ضریب یکنواختی کمتر از ۰/۴ باشد، فضا برای فعالیت‌های عمومی که جذابیت بینایی بیش از روشنایی بینایی اهمیت دارد[۲۴]، مناسب خواهد بود (Ibid, p. 18-35) در محاسبات مربوط به نور روز «نسبت یکنواختی روشنایی» شرایط یکنواختی توزیع روشنایی[۲۵] را تعیین می‌کند و از رابطهٔ (۴) محاسبه می‌شود (Ibid, p. 110)

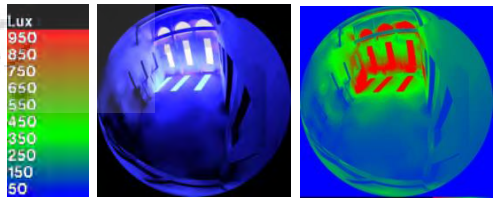
$$d = E_{min}/E_{ave} \qquad (۴)$$

در این رابطه، d نسبت یکنواختی روشنایی، EAve معدل روشنایی نقاط مختلف فضا روی سطح مرجع (ارتفاع اندازه‌گیری روشنایی) و Emin کمترین مقدار روشنایی اندازه‌گیری‌شده روی همان سطح است.

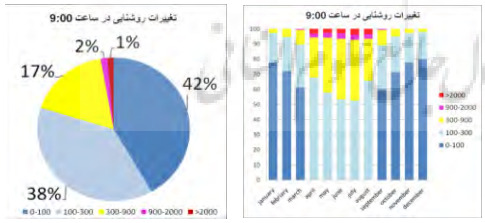
۳-۴-۴. روشنایی نور روز و بهره‌مندی فضا از نور روز

برای به‌دست‌آوردن تصویری سه‌بعدی از فضای مورد بحث در یک لحظهٔ خاص، از نرم‌افزار اکوتکت برای ترسیم خروجی استفاده شد. این پرسپکتیوها شامل دو تصویر حقیقی[۲۶] و مجازی[۲۷] است. در تصاویر سه‌بعدی فضاها که به‌وسیلهٔ برنامهٔ ریدنیس محاسبه شده است، براساس معیار روشنایی مفید نور روز[۲۸]، روشنایی روز در حداقل سه بازه تقسیم‌بندی می‌شود که در تصاویر شبیه‌سازی‌شده توسط رنگ نشان داده شده است. رنگ آبی پررنگ برای روشنایی کمتر از ۱۰۰ لوکس است که نور روز کافی نیست و باید از روشنایی کمکی استفاده شود. رنگ سبز برای روشنایی قابل قبول، یعنی ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس و رنگ قرمز برای روشنایی بیش از ۲۰۰۰ لوکس استفاده می‌شود که احتمال خیرگی در آن زیاد است (تصویر ۱۲).

سپس نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار اکسل به‌صورت نمودار بهره‌مندی فضا از نور روز برای کل سال ترسیم شده است (تصویر ۱۳). در این تصویر، نمودار میله‌ای نشان‌دهندهٔ شرایط روشنایی فضا در ماه‌های مختلف سال و نمودار دایره‌ای نشان‌دهندهٔ شرایط روشنایی کلی فضا در طول سال است. این نمودارها نشان می‌دهند که در چه درصدی از مساحت فضا در سطح کار مورد نظر، روشنایی کافی نبوده و برای فعالیت‌های بینایی نیاز به روشنایی تکمیلی وجود دارد (رنگ‌های آبی پررنگ و آبی کم‌رنگ) و چند درصد از مساحت فضا در طول سال دارای روشنایی کافی بوده (رنگ زرد و صورتی) یا احتمالاً در ایامی از سال خیرگی در آن اتفاق می‌افتد (رنگ قرمز).



تصویر ۱۲- تصویر سه بعدی فضا: حقیقی (راست) و مجازی (چپ)



تصویر ۱۳- نمودار درصد بهره مندی فضا از نور روز در طی سال

۴. نتایج تحقیق

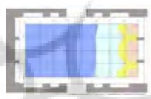
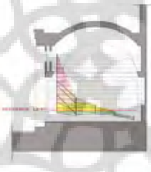
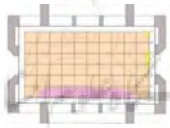
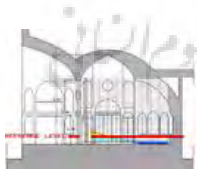
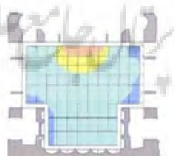
با توجه به ویژگی فضاهای مختلف خانهٔ عامری‌های کاشان، شرایط نورپردازی آن‌ها از نظر کمیت روشنایی و نحوهٔ توزیع نور طبیعی بررسی شد. برای تأمین این هدف، به هندسه و نحوهٔ ساخت فضا از یک سو و شرایط نورگیری آن از سوی دیگر توجه شد. در این راستا هشت فضای دارای در/ پنجره، دو فضای دارای ارسی، دو فضای دارای نورگیر

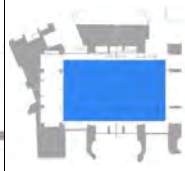
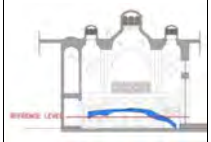
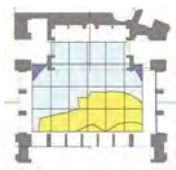
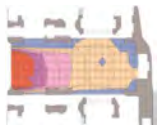
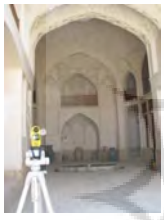
سقفی و یک حوضخانه با نورگیر سقفی و جانبی، از مجموعه عامری‌ها که در جهات جغرافیایی و حیاط‌های مختلف واقع شده‌اند، نورسنجی شد. داده‌های حاصل به نرم‌افزار اکسل منتقل و نمودارهای هم‌روشنایی هر فضا روی پلان و مقطع آن ترسیم گردید. تحلیل خطوط هم‌روشنایی، نحوهٔ توزیع روشنایی در قسمت‌های مختلف فضا در زمان انجام اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. در مرحلهٔ اول، با توجه به این خطوط و بررسی هندسه فضا و ویژگی‌های نورگیر، تحلیل مقدماتی دربارهٔ کمیت نورپردازی فضاها انجام شد.

۴-۱. نحوه توزیع نور با توجه به هندسهٔ فضا و نورگیر

در جدول ۴ هندسهٔ فضا و نورگیر و نمودارهای هم‌روشنایی در مقطع و افق (سطح کار در ارتفاع ۷۰ سانتی‌متری) با توجه به ویژگی فضاهای مورد مطالعه ارائه شده است. از مقایسهٔ این ویژگی‌ها نتایج زیر به‌دست می‌آید:

جدول ۴: ویژگی فضاهای مختلف و نحوهٔ توزیع نور در آن‌ها (برداشت‌شده به‌کمک دستگاه‌های نورسنج)

نام فضا و ویژگی های آن	نمودارهای هم روشنایی بر حسب لوکس 0-100 100-300 300-900 900-2000 >2000		هندسه فضا و نورگیر (متر)	
فضای A سه دری نور روی بام: ۸۰ کیلولوکس جهت: رو به شرق ضریب یکنواختی: ۰/۳۸			عرض : ۳/۱۷ عمق : ۵/۹۱ ارتفاع: ۵/۳۸ ارتفاع ارسی : ۲/۵۶ ارتفاع گلجام : ۴/۰۴ ضریب جهت نورگیر: ۱/۱۵	
فضای B پنج دری نور روی بام: ۹۷ کیلولوکس جهت: رو به غرب ضریب یکنواختی: ۰/۳۲			عرض: ۶/۶۰ عمق: ۳/۳۲ ارتفاع : ۵/۴۳ ارتفاع در: ۱/۸۵ ارتفاع خورشیدی: ۲/۳۵	
فضای E پنج دری دو طرفه نور روی بام: ۶۰ کیلولوکس جهت: روبه شمال و جنوب ضریب یکنواختی: ۰/۶۲			عرض : ۶/۸۵ عمق : ۴/۱۰ ارتفاع : ۶/۷۶ ارتفاع ارسی: ۲/۵۵ ارتفاع پاتاق : ۴/۳۳	
فضای G ارسی سه درکی و دو در نور روی بام: ۷۵ تا ۸۵ کیلولوکس جهت: رو به شمال ضریب یکنواختی: ۰/۴۱			عرض انتها : ۵/۷۳ عرض جلو : ۹ عمق : ۸ ارتفاع : ۸/۴۰ ارتفاع ارسی : ۲/۷۸ ارتفاع پاتاق : ۴/۸۸	
فضای K پنج دری نور روی بام: ۱۱۳ کیلولوکس جهت: رو به شرق ضریب یکنواختی: ۰/۳۸			عرض: ۶/۷۶ عمق: ۲/۱۵ ارتفاع : ۳/۷۶ ارتفاع در: ۱/۹۰ ارتفاع خورشیدی: ۲/۳۷	

نام فضا و ویژگی های آن	نمودارهای هم روشنایی بر حسب لوکس 0-100 100-300 300-900 900-2000 >2000		هندسه فضا و نورگیر (متر)	
فضای N نورگیر سقفی نور روی بام: ۷۵ کیلولوکس جهت: لایه دوم ضریب یکنواختی: ۰/۴۱			عرض : ۷/۶۶ عمق : ۵/۱۳ ارتفاع : ۹ نورگیرها: ۳ روشندان، ۴ هورنو در سقف، چند در/ پنجره و ارسی	
فضای P ارسی پنج درکی و دو دو دری نور روی بام: ۶۲ کیلولوکس جهت: رو به جنوب ضریب یکنواختی: ۰/۶۲			عرض انتها : ۴/۷۸ عرض جلو : ۸/۵۹ عمق :۷/۱۰ ارتفاع : ۸/۵۰ ارتفاع ارسی : ۲/۱۰ ارتفاع پاتاق : ۴/۵۷	
فضای Q تالار حوضخانه نور روی بام: ۶۵ تا ۶۸ کیلولوکس جهت: رو به شمال ضریب یکنواختی: ----			عرض: ۴/۵۲ عمق : ۱۲/۶۶ ارتفاع : ۸/۵۹ ارتفاع طاق ورودی: ۷/۸۸ نورگیر: یک جبهه باز و روشندان هشت ضلعی	

– در شرایطی که نور روی بام نسبتاً یکسان است، بخشی از انتهای فضاهای عمیق، نور کافی ندارند؛ اما در فضاهای کم‌عمق (با ارتفاع ثابت)، معمولاً تا انتهای فضا نور کافی وجود دارد. فضاهایی با دو سمت پنجره، می‌توانند با عمق بیشتر، دارای نور کافی باشند.

– وسعت سطح شفاف در فضاهای مختلف یک‌پنجم تا یک‌سوم سطح کف فضاست. توزیع سطح شفاف در عرض فضا از طریق تعداد زیاد در/ پنجره (سه، پنج و هفت دری) و بزرگی تاج بالای نورگیر که سطحی تقریباً برابر سطح شفاف قسمت اصلی نورگیر را تشکیل می‌دهد، تأمین می‌شود. ابعاد نورگیر تأثیر درخور توجهی بر میزان نور دریافتی توسط فضا دارد؛ به‌طوری‌که میزان روشنایی در فضای کم‌عمق به‌دلیل سطح نورگیر کمتر مشابه فضای عمیق با سطح نورگیر بیشتر است و سطح نورگیر وسیع‌تر موجب توزیع یکنواخت‌تر نور شده است.

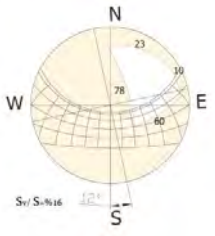
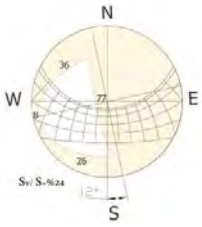
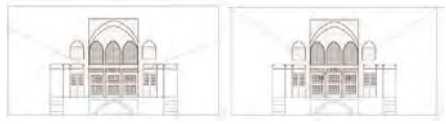
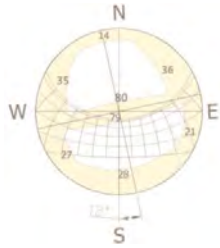
– تنوع در تعداد و ویژگی‌های نورگیرها موجب تفاوت در ضریب یکنواختی فضاهای گوناگون شده است. در پاره‌ای از فضاهای مورد مطالعه (A, B, G, K) ضریب یکنواختی ۰/۳ تا ۰/۵ است که آن‌ها را برای انجام فعالیت‌های عمومی مناسب کرده است. در دو فضای Eو P با ضریب یکنواختی ۰/۶ تا ۰/۷ امکان استفاده از همهٔ سطوح این فضاها برای انجام فعالیت‌های بینایی، فراهم است. در فضای Q ضریب یکنواختی کمتر از ۰/۳ است که نایکنواختی روشنایی را نشان می‌دهد. فضای N که در لایهٔ میانی قرار دارد و از سقف نورگیری می‌کند، کم‌نورترین فضای مورد مطالعه بوده که در بیشتر ایام سال، روشنایی کمتر از ۱۰۰ لوکس دارد. این فضا برای فعالیت‌هایی مثل استراحت یا عبور و مرور مناسب است.

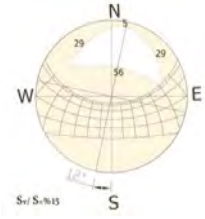
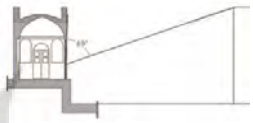
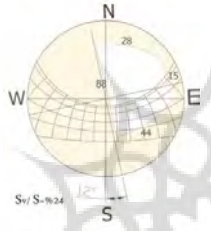
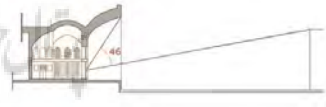
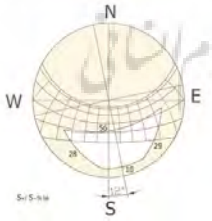
۴-۲. نحوهٔ توزیع نور با توجه به همسایگی‌ها

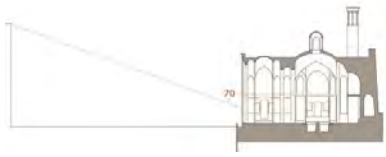
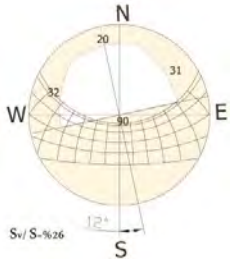
در مرحلهٔ دوم برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و کامل‌تر، همسایگی فضاهای مختلف نظیر موقعیت قرارگیری فضا در مجموعه و حیاط مربوط به آن، فاصلهٔ آن از نمای روبه‌رو و ارتفاع خط آسمان نمای روبه‌رو (زاویهٔ دید آسمان در مقطع و در نما)، محدودهٔ بی‌خط آسمان از داخل فضا، نقاب آسمان و ضریب جهت نورگیر، همچنین جنس و رنگ روکار نماهای پیرامونی و کف حیاط که میزان انعکاس سطوح خارجی را تعیین می‌کند، بررسی شد (جدول ۵ و ۶).

از مقایسهٔ این جداول، نتایج زیر به‌دست می‌آید:

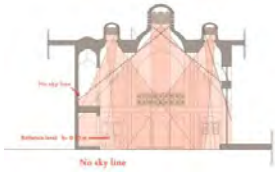
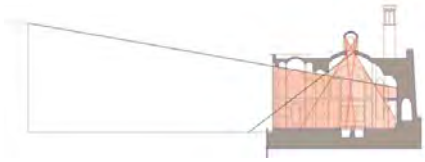
جدول ۵: زاویهٔ دید آسمان و نقاب آسمان در فضاهای مختلف

ویژگی ها	زاویه دید آسمان در مقطع و نما	نقاب آسمان
فضای A فاصله از نمای مقابل: ۲۱/۴۷ متر ارتفاع نمای مقابل: ۵/۶ متر عمق: ۳/۱۷ متر عمق نفوذ روشنایی: ۶ متر	زاویه دید آسمان در مقطع : ۶۸ زاویه دید آسمان در نما : ۹۸ 	سطح قابل دید از نورگیر: ۱۶٪ نیمکره آسمان  ضریب جهت نورگیر: ۱/۱۵
فضای B فاصله از نمای مقابل: ۲۱/۴۷ متر ارتفاع نمای مقابل: ۵/۶ متر عمق: ۳/۷ متر عمق نفوذ روشنایی: ۷/۳ متر	زاویه دید آسمان در مقطع : ۷۱ زاویه دید آسمان در نما : ۱۱۸ 	سطح قابل دید از نورگیر: ۲۴٪ نیمکره آسمان  ضریب جهت نورگیر: ۱/۲۱
فضای E دو طرفه فاصله از نمای مقابل: ۲۴/۹ متر و ۱۰/۴۷ متر ارتفاع نمای مقابل: ۸ متر عمق: ۴/۱۶ متر عمق نفوذ روشنایی: ۱۰ متر	زاویه دید آسمان در مقطع : ۵۱ و ۶۶ زاویه دید آسمان در نما : ۱۳۲ و ۱۰۹ 	سطح قابل دید از نورگیر : ۴۵٪ نیمکره آسمان  ضریب جهت نورگیر: ۰/۹۷ و ۱/۵۵

ویژگی ها	زاویه دید آسمان در مقطع و نما	نقاب آسمان
فضای G با ایوان مسقف به عمق ۵ متر فاصله از نمای مقابل: ۲۹ متر و ۱۰/۴۷ متر ارتفاع نمای مقابل: ۸/۴ متر عمق: ۴/۹ متر و ۸ متر عمق نفوذ روشنایی: ۷ متر و ۱۱ متر	زاویه دید آسمان در مقطع : ۵۱ زاویه دید آسمان در نما : ۱۲۱ 	سطح قابل دید از نورگیر : ۱۵٪ نیمکره آسمان  ضریب جهت نورگیر: ۰/۹۷
فضای K فاصله از نمای مقابل: ۱۰/۱۱متر ارتفاع نمای مقابل: ۵/۸۷ متر عمق: ۲/۸متر عمق نفوذ روشنایی: ۶ متر	زاویه دید آسمان در مقطع : ۷۳  زاویه دید آسمان در نما : ۱۰۷ 	سطح قابل دید از نورگیر : ۲۴٪ نیمکره آسمان  ضریب جهت نورگیر: ۱/۱۵
فضای N فاصله از نمای مقابل: ۱۰/۱۱متر ارتفاع نمای مقابل: ۵/۸۷ متر عمق: ۲/۸ متر عمق نفوذ روشنایی: ۶ متر	زاویه دید آسمان در مقطع : ۰ زاویه دید آسمان در نما : ۰ 	سطح قابل دید از نورگیر : ۰٪ نیمکره آسمان
فضای P با ایوان مسقف به عمق ۵ فاصله از نمای مقابل: ۲۸/۳۵ متر ارتفاع نمای مقابل: ۹ متر عمق: ۴/۷۳متر و ۷/۶ متر عمق نفوذ روشنایی: ۸ متر و ۹/۶متر	زاویه دید آسمان در مقطع : ۴۶  زاویه دید آسمان در نما : ۱۲۳ 	سطح قابل دید از نورگیر : ۱۶٪ نیمکره آسمان  ضریب جهت نورگیر: ۱/۵۵

فضای Q حوضخانه با نمای باز فاصله از نمای مقابل: ۲۸/۳۵ متر ارتفاع نمای مقابل: ۱۲/٦ متر عمق: ۱۲/٦٦متر عمق نفوذ روشنایی: ۱۱ متر	زاویه دید آسمان در مقطع : ۷۰  زاویه دید آسمان در نما : ۱۱۷ 	سطح قابل دید از نورگیر : ۲٦٪ نیمکره آسمان  ضریب جهت نورگیر: ۰/۹۷

جدول ۶: محدوده بی خط آسمان در فضاهای مختلف

فضای A 	فضای K
فضای B 	فضای N 
فضای E 	فضای P
فضای G 	فضای Q 

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

– در همهٔ فضاها امکان دیدن آسمان حتی در عمق فضا وجود دارد (حداقل تا ارتفاع ۱۸۰ سانتی‌متر) یعنی در همهٔ قسمت‌های فضا شخص ایستاده می‌تواند آسمان را ببیند و نماهای مقابل به نسبت فاصله از دیوار نورگیر، ارتفاع مناسبی دارند (از یک به پنج برای فضاهای عمیق تا یک به دو برای فضاهای کم‌عمق). به‌عبارت دیگر، خط آسمان

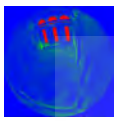
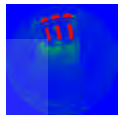
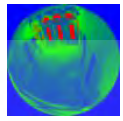
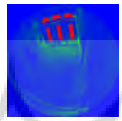
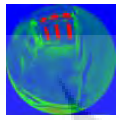
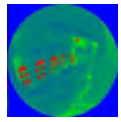
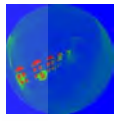
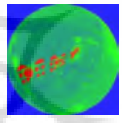
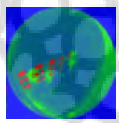
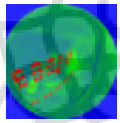
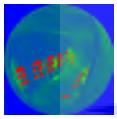
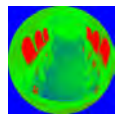
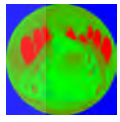
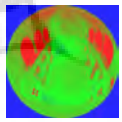
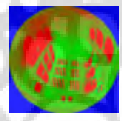
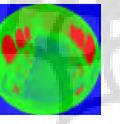
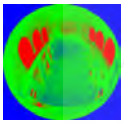
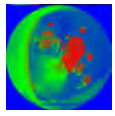
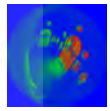
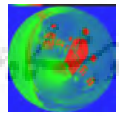
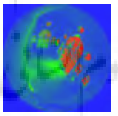
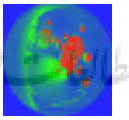
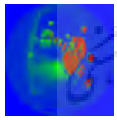
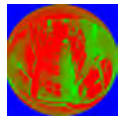
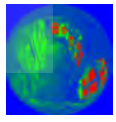
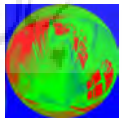
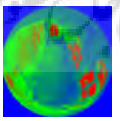
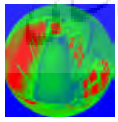
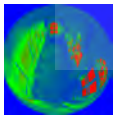
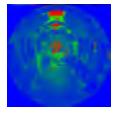
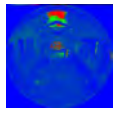
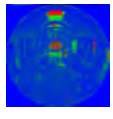
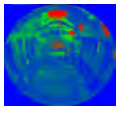
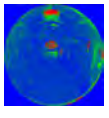
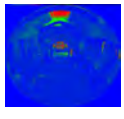
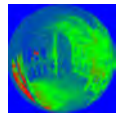
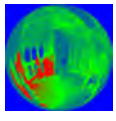
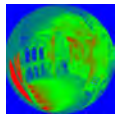
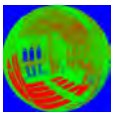
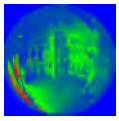
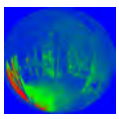
نمای مقابل همواره با توجه به عرض حیاط و عمق فضا تنظیم شده است.

– زاویهٔ دید آسمان در هیچ‌یک از فضاها کمتر از ۴۰ درجه در مقطع (از ۹۰ درجه) و کمتر از ۷۵ درجه در نما (از ۱۸۰ درجه) نیست و به‌طور متوسط، حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد سطح نیمکرهٔ آسمان از مرکز نورگیر قابل مشاهده است.

۴-۳. نحوهٔ توزیع نور در طول سال

در مرحلهٔ سوم به‌کمک نرم‌افزار ریدینس، وضعیت فضا برای غالب اوقات سال شبیه‌سازی شده است. جدول ۷ نشان‌دهندهٔ نکات زیر است:

جدول ۷: میزان روشنایی در ساعات مختلف روز در فصول گرم و سرد براساس مدل‌های ریدنس

	میزان روشنایی (لوکس)					
	۹ صبح		۱۲ ظهر		۱۵ عصر	
	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان
فضای : A						
فضای : B						
فضای : E						
فضای : G						
فضای : K						
فضای : N						
فضای : P						

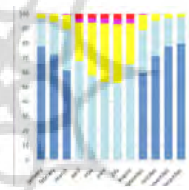
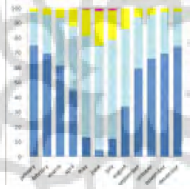
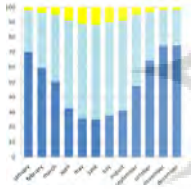
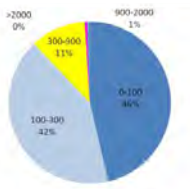
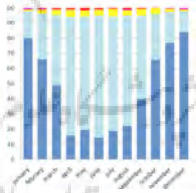
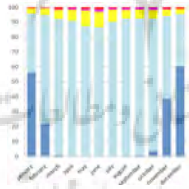
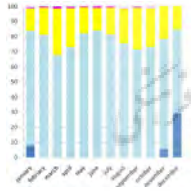
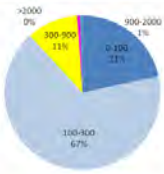
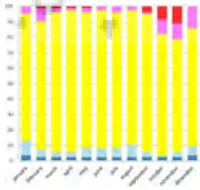
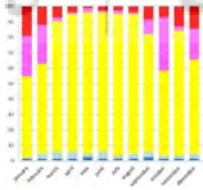
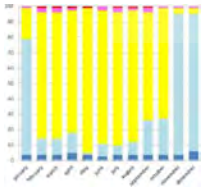
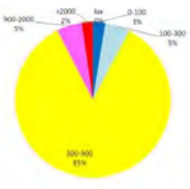
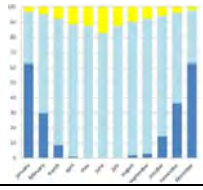
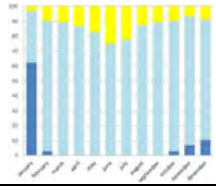
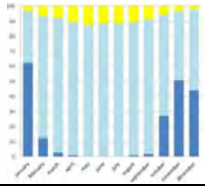
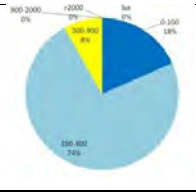
– در فضاهای رو به شمال، ظهرها به‌خصوص در فصل گرم، نور بیشتر از سایر مواقع است. قرارگیری فضاها رو به شرق و غرب از یک سو، موجب کم‌نورتر شدن آن‌ها در فصل سرد نسبت به فصل گرم است و از سوی دیگر، فضاهای رو به شرق صبح، روشن‌تر از عصر و فضاهای رو به غرب عصر، روشن‌تر از صبح هستند. فضاهای رو به جنوب، ظهرها به‌خصوص در فصل سرد، روشن‌تر از سایر اوقات است.

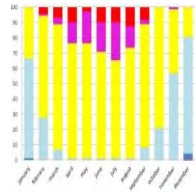
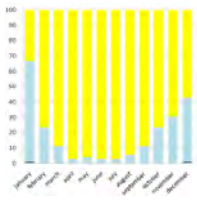
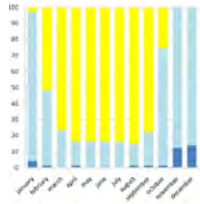
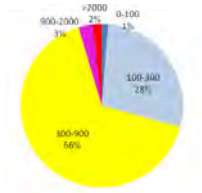
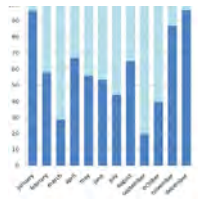
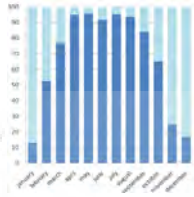
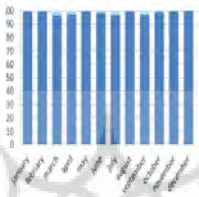
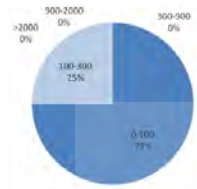
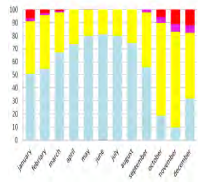
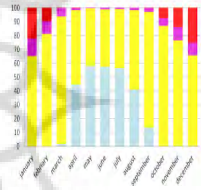
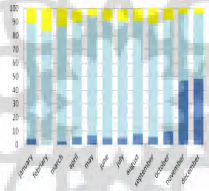
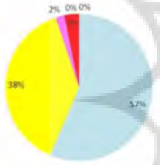
– وجود شیشه‌های بی‌رنگ یا نمای باز، موجب بروز خیرگی روی سطح نورگیر یا دهانهٔ باز فضا شده است. همچنین لکهٔ آفتاب واردشده به فضا می‌تواند باعث خیرگی شود.

۴-۴. نحوهٔ توزیع نور در داخل و احتمال بروز خیرگی

در مرحلهٔ چهارم به‌کمک نرم‌افزار اکسل میزان روشنایی و نحوهٔ توزیع آن در داخل فضا و احتمال بروز خیرگی، مطالعه شد. نتایج جدول ۸ به شرح زیر است:

جدول ۸: روشنایی کمکی، روشنایی مکفی و خیرگی در فضاهای مختلف

زمان	درصد سطح فضا از نظر روشنایی در ماه های مختلف ۹ صبح	۱۲ ظهر	۱۵ عصر 0-100 100-300 300-900 900-2000 >2000	درصد سطح فضا از نظر روشنایی در طول سال
فضای: A				
فضای : B				
فضای :E				
فضای: G				

زمان	درصد سطح فضا از نظر روشنایی در ماه های مختلف ۹ صبح	۱۲ ظهر	۱۵ عصر 0-100 100-300 300-900 900-2000 >2000	درصد سطح فضا از نظر روشنایی در طول سال
فضای : K				
فضای: N				
فضای: P				

– در فضاهای دارای نورگیر دیواری، نور در فصل گرم بیشتر از فصل سرد است؛ درحالی‌که در فضاهای با نورگیر سقفی، پرنورترین موقعیت متعلق به ظهر فصل سرد است.

– فضاهای عمیق و فضاهای کم‌عمقی که سایبان عریض دارند، از یک‌چهارم تا یک‌دوم سطحشان دارای روشنایی کم بوده و یک‌چهارم تا نزدیک سه‌چهارم سطحشان روشنایی مکمل نیاز دارند.

– فضاهای واقع در لایهٔ دوم، سه‌چهارم سطحشان دارای روشنایی کم و بقیه نیاز به روشنایی مکمل است.

– گسترش سطح نورگیر به اندازهٔ سطح‌نما و عدم وجود سایبان (حتی در فضای رو به شمال) موجب بروز خیرگی در یک‌سوم سطح فضا شده است.

– فضاهای کم‌عمق و فضاهای با سایبان کم‌عرض و فضاهایی که از دو سمت نورگیر دارند، تقریباً همیشه روشنایی مکفی دارند.

جمع‌بندی

نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که طراحی نورپردازی طبیعی در بنای تاریخی عامری‌ها از قواعد دقیقی تبعیت کرده و شامل چهار مرحلهٔ زیر است:

مرحلهٔ اول کنترل شرایط همسایگی‌های فضاست. در این مرحله، با توجه به اهمیت دسترسی به نور روز و سهم نور آسمان و انعکاس نماهای خارجی در روشنایی فضای داخلی، سعی شده حجم بنا و فضاهای مجاور آن طوری انتخاب شود که زاویه‌های دید آسمان، در مقطع و نما و نقاب آسمان فضای داخلی در شرایط خوبی قرار گیرد. در این بنا موقعیت همسایگی‌ها طوری در نظر گرفته شده که همهٔ فضاهای اصلی دارای بیش از ۴۰ درجه زاویهٔ دید آسمان باشند.

مرحلهٔ دوم کنترل عمق و هندسه فضاست. عمق همهٔ فضاها کمتر از عمق نفوذ روشنایی (با توجه به شکل نورگیرهای دیواری و هندسهٔ فضا و نمای مقابل آن) در نظر گرفته شده است. از جمله دلایل این تصمیم‌گیری می‌توان به لزوم کنترل خیرگی در این فضاها اشاره کرد. انتخاب عمق کمتر از عمق نفوذ روشنایی، دست طراح را در انتخاب نوع قاب و شیشه پنجره‌ها باز می‌گذارد؛ بنابراین، با افزودن عوامل کنترل‌کنندهٔ روشنایی مثل شیشهٔ رنگی یا قاب مشبک، روشنایی انتهای فضا کمتر از حد مجاز نشده است. با توجه به آفتابگیری برخی از فضاها (رو به جنوب، شرق و غرب) و شدت زیاد روشنایی در روزهای صاف، استفاده از قاب‌های مشبّک و شیشه‌های رنگی خصوصاً در تاج پنجره‌ها، امکان کنترل توزیع روشنایی را فراهم و از ایجاد تضاد روشنایی و خیرگی در فضای داخلی جلوگیری کرده است. فضاهای سه دری و پنج دری، دارای نورگیرهای دیواری در تمام نمای خود بوده و ارتفاع بالای نورگیر آن‌ها با استفاده از انواع تاج، بیش از ارتفاع یک در معمولی انتخاب شده است. سقف همهٔ فضاها نیز تاق و تویزه یا تاق گنبدی است که مجموعه این شرایط به توزیع یکنواخت‌تر روشنایی در فضای داخلی کمک کرده است. همان‌طور که در نمونه‌های مورد مطالعه دیده شد، حتی در فضاهای آفتابگیر درصد مواقع و سطوح دارای خیرگی بسیار کم بوده و ضریب یکنواختی در حد ۰/۳ تا ۰/۵ کنترل شده و از ایجاد تضاد روشنایی و اختلال در آسایش بینایی به‌خصوص برای فعالیت‌های عمومی جلوگیری شده است.

مرحلهٔ سوم طراحی فضاهای خاص است. فضاهای واقع در محورهای اصلی و طولانی حیاط، بهترین بهره‌گیری را از منظرهٔ حیاط و موقعیت مکانی برده و دارای هندسه و طرحی متفاوت است. این فضاها دارای سطحی بزرگ‌تر، ارتفاعی بیشتر (دو طبقه) و نورگیر وسیع‌تر است که به افزایش عمق فضا و توزیع یکنواخت روشنایی در آن کمک کرده است. در شرایطی که عمق فضا به دلایل طراحی خیلی زیاد شده است مثل فضای حوضخانه، علاوه بر نورگیر دیواری (جانبی)، از نورگیر سقفی در عمق فضا استفاده شده است. نورگیرهای سقفی علاوه بر تأمین روشنایی، امکان تهویه و حرکت جریان هوا را نیز فراهم کرده‌اند.

مرحلهٔ چهارم طراحی در لایه‌های میانی است که دسترسی مستقیم به نور روز ندارد. در این لایه‌ها فضاهایی قرار گرفته‌اند که با استفاده از نورگیرهای سقفی و نورهای غیرمستقیم فضاهای مجاور آن‌ها روشن شده‌اند. اگرچه میزان روشنایی در این فضاها بسیار کمتر از حد روشنایی مفید نور روز، یعنی کمتر از ۱۰۰ لوکس در بیشتر ایام سال است، حفاظت آن‌ها از نوسانات دمای خارجی و توزیع نسبتاً یکنواخت روشنایی در داخل، امکان استفاده از آن‌ها برای فعالیت‌های کم‌تحرک مثل استراحت یا فعالیت‌های غیر دائم مثل عبور را میسر کرده است. نکتهٔ جالب دربارهٔ این فضاها، دسترسی از طریق فضاهای جانبی است. به‌عبارت دیگر، هیچ‌وقت از فضای بسیار روشن حیاط مستقیماً به این فضاهای تاریک وارد نمی‌شوند و عبور از فضاهای جانبی برای رسیدن به فضاهای میانی به چشم امکان می‌دهد تا با محیط نسبتاً تاریک آن‌ها تطابق پیدا کند.

همهٔ این موارد، آموزه‌هایی است که از بررسی نورپردازی در یک بنای سنتی حاصل شده و می‌تواند راهنمایی مفید و کاربردی برای نورپردازی طبیعی در بناهای امروزی باشد. به‌عبارت دیگر، این مطالعه نشان می‌دهد که نورپردازی طبیعی برخلاف نورپردازی مصنوعی، از ابتدای شروع طراحی و ایده‌های اولیهٔ آن باید مورد توجه قرار گیرد و در مراحل مختلف طراحی از ایده‌پردازی‌های کلی تا طراحی جزئیات اجزایی مد نظر معمار قرار داشته باشد. امید است

معماران امروز نیز همچون معماران گذشته نسبت به مسائل محیطی طرح حساس باشند و از دانش و فناوری‌های روز برای ارتقای کیفیت طرح خود بهره‌برداری کنند.

پی نوشت

۱. طاهباز، منصوره ۱۳۸۳. قاب هُرم/ شیدی پنجره- ارزیابی همزمان نور و گرمای خورشید در طراحی پنجره در یک دورهٔ یکساله. پایان‌نامهٔ دکتری معماری، تهران: دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی.
صنعتی، لیلا ۱۳۸۵. پنجره و خورشید- اصول طراحی پنجره براساس تنظیم نور و سایه. پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد معماری، تهران: دانشکده معماری دانشگاه شهید بهشتی. فیضمند، ندا. ۱۳۹۰. ملاحظات طراحی معماری برای بهرهوری از نور روز در ساختمان‌های آموزشی اقلیم گرم و خشک ایران. پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد معماری گرایش فنی. تهران: دانشکده هنر دانشگاه تربیت مدرس.
کاظم‌زاده، مرضیه. ۱۳۹۰. اصلاح طرح میان فضاها (آتریوم) برای بهبود کارایی حرارتی و بهرهوری از نور روز در اقلیم گرم و خشک بهویژه ساختمان‌های عمومی شهر کرمان. پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد معماری. تهران: دانشکده معماری دانشگاه شهید بهشتی.
۲. برای اطلاعات بیشتر در این زمینه به وب سایت www.iesi.ir مراجعه کنید.

3. RGB

4. Hue, Saturation, Luminance (HSL)

۵. در کتاب‌های راهنمای روشنایی، فعالیت‌های انسان به دو گروه کلی تقسیم می‌شود: فعالیت‌های عمومی شامل اموری مثل خرید، تفریح، قدم‌زدن، صحبت‌کردن و امثال آن که دیدن فعالیت اصلی محسوب نشده و نقش کمکی دارد. فعالیت‌های بینایی شامل اموری مثل مطالعه، نقاشی و کارهای دقیق چشمی است که دیدن نقش اصلی را ایفا می‌کند. (Lighting Guide 05. 2011, p. 55)

6. Useful Daylight Illuminance (UDI)

7. Geometry of space

۸. تنوع یا یکنواختی روشنایی در فضاهای مختلف متفاوت است. در فضاهایی که با فعالیت‌های عمومی، یکنواختی روشنایی ۰/۴ و در فضاهایی با فعالیت‌های چشمی، یکنواختی روشنایی ۰/۷ بین سطح کار و محدودهٔ نزدیک آن باید وجود داشته باشد (Lighting Guide 05. 2011, p. 3).

9. room index

10. no sky line area

11. sky light

۱۲. ارتفاع سطح کار در تعیین محدودهٔ بی‌خط آسمان نقش دارد. برای نورگیری مناسب حداقل ۸۰٪ سطح کار باید نور آسمان را داشته باشد (Lighting Guide 05. 2011, p. 26; The SLL lighting Handbook, 2009, p. 134). اگر بخش درخور توجهی از سطح کار در محدودهٔ بی‌خط آسمان قرار گیرد، نمی‌تواند از نور آسمان بهره‌مند گردد.

13. Visible Sky Angle

14. visible sky angle in section

15. visible sky angle in façade

16. sky mask

17. shading mask , رازجویان ۱۳۸۸ فصل سوم

18. mask protractor

19. sun path chart

20 visible sky ratio
21. daylight factor
22. orientation factor
23. Uniformity (illuminance) (Uo)

۲۴. در فضاهایی که انجام فعالیت‌های بینایی در درجهٔ اول اهمیت قرار دارد، مثل فضاهای صنعتی، آموزشی یا اداری، روشنی بینایی اهمیت بیشتری دارد و باید به‌خوبی تأمین شود. در فضاهایی که فعالیت‌های عمومی در درجهٔ اول است، مثل فضاهای تفریحی، مراکز خرید یا مسکونی جذبهٔ بینایی اهمیت بیشتری دارد و روشنی بینایی می‌تواند با اهمیت کمتری مطرح شود (The SLL lighting Handbook, 2009, p. 119).

25. Uniformity Ratio of Illuminance
26. true picture
27. false picture
28. UDI

منابع

ـ رازجویان، محمود. ۱۳۸۸. *آسایش به‌وسیله معماری همساز با اقلیم*. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.

ـ طاهباز، منصوره، شهربانو جلیلیان، فاطمه موسوی. ۱۳۹۱. *بررسی عملکرد در/پنجره از نظر نور روز در نمونه‌هایی از خانه‌های قدیمی کاشان*. تهران: معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید بهشتی.

- BS 8206-2. (2008). Lighting for buildings. Code of practice for daylighting. London: British Standards Institution (BSI).

- Hopkinson, R. G. (1963). Architectural Physics, lighting. London. Her Majesty's Stationary Office.

- Lighting Guide 10. (1999). Daylighting and Window Design. London: The Society of Light and Lighting. CIBSE.

- Lighting Guide 05. (2011). Lighting for Education. London: The Society of Light and Lighting. CIBSE.

- Nabil, A. and J. Mardaljevic. (2005). Useful daylight illuminate: A new paradigm for assessing, daylight in buildings. Lighting Research and Technology, Vol. 37, No. 1.

- Tahbaz, Mansoureh and Fatemeh Moosavi. (2009). Daylighting Methods in Iranian Traditional Architecture (Green Lighting). CISBAT 2009 Proceedings, Lausanne, 2-3 SEP, pp. 273-278.

- The SLL lighting Handbook. (2009). London: The Society of Light and Lighting. CIBSE.

- The SLL Code for lighting. (2012). London: The Society of Light and Lighting. CIBSE.