دوفصل‌نامه علمی معماری، شهرسازی و هنر
۱۴۰۰ | ۱ | ۲

ارزیابی کیفیت نور روز ساختمان آتلیه معماری پردیس هنرهای زیبای تهران

نرمین خیری[۱]، احمدرضا خلیلی[۲]*

[۱] کارشناس ارشد، گروه فناوری معماری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
[۲] استادیار، گروه معماری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. نویسنده مسئول.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۸ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱

چکیده

سرعت پیشرفت‌های علمی به‌ویژه در زمینه فناوری‌های نوین در صنعت ساختمان از یک‌سو و لزوم کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر از سوی دیگر، بهره‌گیری از منبع عظیم نور خورشید را یک ضرورت ساخته‌اند. در این پژوهش در وهله اول کیفیت نور روز در یکی از ساختمان‌های قدیمی دانشکده معماری دانشگاه تهران بررسی شده، سپس میزان تاثیر سایبان پویا در بهبود کیفیت روشنایی محیط داخلی ساختمان مورد ارزیابی قرار گرفته است. فرآیند طراحی با شبیه‌سازی مدل ساختمان با استفاده از نرم‌افزارهای طراحی محاسباتی راینو-گراس‌هاپر و به‌کارگیری پلاگین شبیه‌سازی کلایمت استودیو، مطابق با شرایط زمانی و آب و هوایی شهر تهران آغاز می‌گردد و سپس شاخص‌های روشنایی روز و خیرگی در وضع موجود و پس از نصب سایبان پویا، تحلیل می‌شوند. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهند که در اقلیم تهران، سایبان‌های سازگار می‌توانند نور روز را به‌طور موثری توزیع کنند و آسایش بصری را افزایش دهند. این نتیجه‌گیری به هیچ‌وجه از کارایی عالی ساختمان آتلیه معماری پردیس هنرهای زیبای تهران در تامین نور روز کافی در فضای آموزشی نمی‌کاهد و صحت عملکرد آن را تایید می‌کند. با این‌حال، برای تنظیم میزان روشنایی داخلی و سازگاری با تغییرات آب و هوایی، استفاده از سایبان پویای هوشمند، راه حل بسیار ارزشمندی در اختیار طراحان می‌گذارد. هرچند ساختمان در شرایط قابل قبول قرار دارد اما استفاده از سایبان پویا برای جلوگیری از تابش خیره‌کننده در جبهه جنوبی در بیشتر اوقات سال ضروری است. نتایج نشان از قرارگیری شرایط در محدوده آسایش بصری و مصرف بهینه انرژی به‌دلیل انطباق‌پذیری سایبان با شرایط اقلیمی به‌صورت هوشمند دارند که در متن تحقیق به تفصیل توضیح داده می‌شوند.

واژگان کلیدی: آسایش بصری، آسایش حرارتی، روشنایی روز، سایبان انطباق‌پذیر.

* نویسنده مسئول: E-mail: Ahmadreza.khalili068@gmail.com

مقدمه

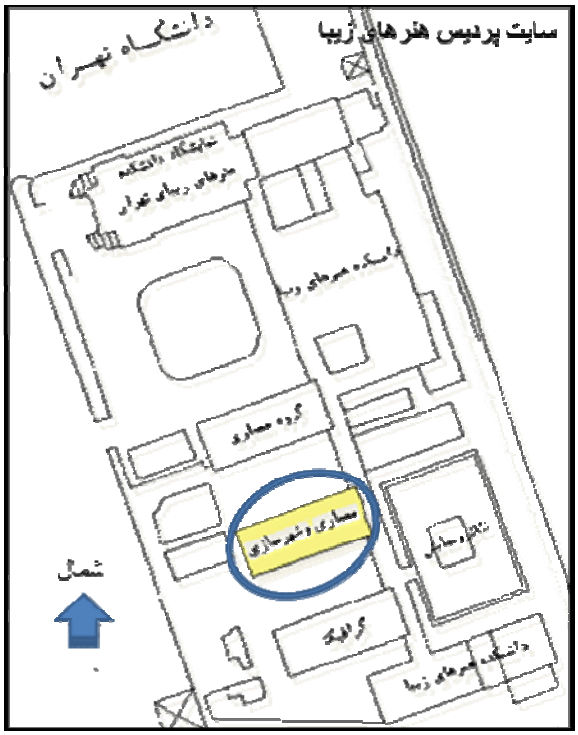
انرژی مصرفی ساختمان‌ها بخش عمده‌ای از کل انرژی‌های مصرفی در کشورهای توسعه‌یافته را تشکیل می‌دهند. افزایش آگاهی از مشکلات زیست‌محیطی ناشی از تولید و مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر، لزوم یافتن راهکارهای قابل اعتماد و پایدار برای حل این معضلات را ضروری ساخته است. نور خورشید بالقوه منبعی تجدیدپذیر و توانمند برای تامین بخشی از نور و انرژی گرمایی ساختمان‌ها است. در فضایی که نور طبیعی منبع اصلی روشنایی است، با توجه به نوع کاربری، میزان و یا محدوده معینی از روشنایی مورد نیاز می‌باشد (Reinhart & Weissman, 2012: 155). ساختمان‌های آموزشی در این مقوله جایگاه ویژه‌ای دارند. زیرا نور طبیعی جزو ضروری‌ترین نیازهای اولیه فضاهای آموزشی است. هدف اصلی این پژوهش باززنده‌سازی بناهای واجد ارزش معاصر در بافت‌های شهری است که راه رسیدن به آن تزریق عملکرد جدید و ایجاد پویایی در بنا یا بافت واجد ارزش می‌باشد. پیش‌درآمد این موضوع تامین آخرین استانداردهای آسایش اقلیمی و محیطی در بنا می‌باشد. سعی شده است با تحلیل انرژی به‌وسیله نرم‌افزار شبیه‌سازی و تحلیل انرژی، میزان استعداد و پتانسیل بناهای واجد ارزش جهت نیل به هدف، به آزمون گزارده شود. علاوه بر این فرضیه مطرح‌شده در تقابل با نتایج به‌دست‌آمده مورد سنجش و ارزیابی قرار خواهد گرفت.

ساختمان آتلیه معماری در پردیس هنرهای زیبای دانشگاه تهران با ۷۲ سال استفاده مداوم از ساختمان، گویای درایت و اطلاع طراح از نیاز کاربران به روشنایی روز و لزوم کاهش استفاده از روشنایی مصنوعی در ساختمان است. لذا این ساختمان به‌عنوان نمونه مورد مطالعه در این پژوهش انتخاب گردید. برای این منظور ابتدا مدل ساختمان تولید و با جانمایی در محیط طبیعی و شرایط آب و هوایی یک‌ساله تهران نسبت به اثبات فرضیه تحقیق اقدام شده است. پرسش‌های تحقیق در پی یافتن میزان پاسخگویی ساختمان آتلیه معماری دانشکده هنرهای زیبا دانشگاه تهران به نیازمندی کاربران به روشنایی روز است و اینکه آیا فضای داخلی ساختمان، از روشنایی روز کافی در طول روز برخوردار است؟ پرسش آخر اینکه در صورت استفاده از سایبان پویا، تغییرات کیفیت روشنایی روز در درون فضای داخلی چگونه خواهد بود؟ در این مقاله در وهله اول چگونگی و کیفیت حضور نور طبیعی در ساختمان با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی و طراحی محاسباتی راینو / گراس‌هاپر و پلاگین کلایمت استودیو مطابق با شرایط زمانی و آب‌وهوایی شهر تهران (EPW)، مورد بررسی قرار می‌گیرند و سپس نتایج به‌دست‌آمده ارائه می‌گردند. در ادامه با استفاده از تکنیک صفحات تاشو در طراحی سایبان، یکنواختی نور روز و سازگاری با محیط، شبیه‌سازی می‌شوند و مورد تحلیل قرار می‌گیرند. از سایبان متحرک در زمینه کنترل حرارت و دما، روشنایی روز و خیرگی در ساختمان استفاده می‌شود. همچنین بهره‌گیری از فناوری اطلاعات و نرم‌افزارهای تخصصی و فناوری‌های زیست‌پذیر و پایدار، بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان را تضمین می‌کند. این امر به‌دلیل امکان تنظیم و انطباق شرایط محیطی فضای داخلی ساختمان با شرایط و تغییرات اقلیمی با استفاده از ابزارهای روز است. فناوری‌های جدید، فرصت تحقیقاتی مناسبی برای معماران و مهندسان فراهم ساخته‌اند تا به راهکارهای نو در حل معضلات موجود در بخش ساختمان دست یابند.

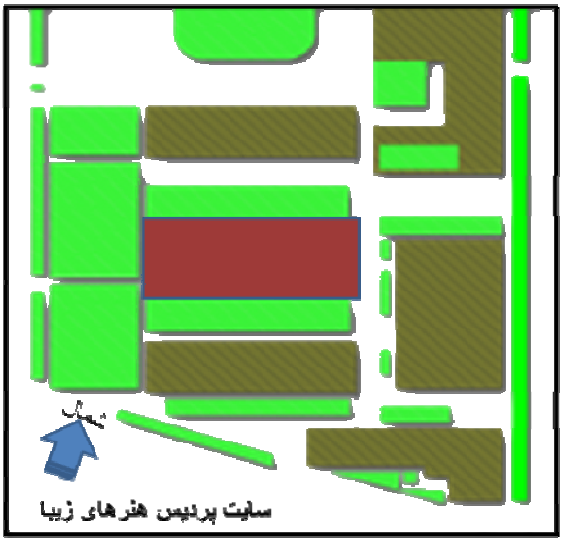
معرفی ساختمان آتلیه معماری دانشکده هنرهای زیبای دانشگاه تهران

بازه زمانی ساخت مجموعه سال‌های ۱۹۴۸-۱۹۴۱ می‌باشد. مجموعه از هشت بلوک ساختمانی با حجم‌های مکعب مستطیل یا ترکیبی از آنها تشکیل شده است. این ساختمان‌ها پیرامون و یا بین حیاط‌ها قرار گرفته‌اند. در ضلع غربی

مجموعه، ساختمان‌های آتلیه‌های معماری به‌صورت سه حجم مکعب مستطیل با دو طبقه روی پیلوتی، قرار دارند. جهت‌گیری این ساختمان‌ها به‌گونه‌ای است که بیش‌ترین نورگیری آنها، از جبهه‌های شمالی و جنوبی باشد. بنابراین در امتداد محور شرقی-غربی توسعه یافته‌اند. حیاط‌ها به‌منظور ایجاد فاصله بین بلوک‌های ساختمانی برای تامین نور، تهویه و چشم‌انداز به اطراف، طراحی شده‌اند. سازه بناها از بتن مسلح است و ترکیبی از اندودهای سیمانی به‌همراه بازشوهای شیشه‌ای، مصالح اصلی نمای ساختمان‌ها را تشکیل می‌دهند. موقعیت ساختمان آتلیه معماری نسبت به سایت پردیس دانشکده هنرهای زیبا در ضلع جنوب غربی دانشگاه در تصاویر (۱و۲) آورده شده است.



تصویر ۱. موقعیت ساختمان آتلیه معماری پردیس هنرهای زیبا دانشگاه تهران (نگارندگان)



تصویر ۲. موقعیت ساختمان آتلیه معماری پردیس هنرهای زیبا دانشگاه تهران (نگارندگان)

پیشینه پژوهش

تحقیق در زمینه استفاده از نور روز و آسایش بصری در محیط‌های آموزشی به سال‌های دور برمی‌گردد. در دهه اخیر نیز تحقیقاتی در این زمینه انجام شده‌اند که می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود: مطالعاتی با موضوع ارزیابی نور روز و خیرگی در کلاس‌های درس با استفاده از شاخص‌های پویا، مطالعه موردی: دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی (فدایی اردستانی و همکاران، ۱۳۹۷) و مطالعه عملکرد بهتر دانشجویان با بهره‌گیری مناسب از نور روز در کلاس‌های آموزشی، بررسی موردی: دانشکده معماری دانشگاه علم و صنعت ایران، همچنین برنامه‌ریزی معماری استفاده بهینه از نور روز در کلاس درس مدارس (نخعی و همکاران، ۱۳۹۴)، تحقیقی در پی یافتن راهکارهای بهینه‌سازی فضاهای آموزشی مدارس کشور (بردی حق‌نیا و بردی حق‌نیا، ۱۳۹۵) و گروه معماری وشهرسازی، دانشگاه ایوان‌کی سمنان (محمدی، ۱۳۹۷) که تاثیر نور در معماری فضاهای آموزشی را مورد بررسی قرار داده‌اند. لیم و همکاران نیز پژوهشی را به‌منظور ارزیابی نور روز در یک ساختمان اداری در مالزی انجام داده‌اند، منزن و کلاریچ، بهینه‌سازی انرژی و نور روز را برای یک سایبان شیبدار ثابت و پرده کرکره‌های داخلی بر روی پنجره در نمای جنوبی ساختمان ارائه داده‌اند. شن و زمپلیکو نیز تاثیر استراتژی‌های متفاوت کنترل سایبان را بر روی مصرف انرژی و آسایش بصری در یک فضای اداری بررسی کرده‌اند (shen & tzempelikos, 2013). هرچند نمونه‌های تحقیقاتی دیگری نیز در این راستا انجام شده‌اند که قابل تامل هستند اما خلا پژوهشی در این زمینه به‌دلیل پیشرفت سریع فناوری‌های روز و اهمیت صرفه‌جویی انرژی کاملا مشهود می‌باشد.

بیان مسئله

نور و روشنایی ورودی از بازشوها و پنجره‌های ساختمان آموزشی باید واجد شرایط خاصی باشند تا نه فقط تاثیر منفی بر عملکرد کاربران نداشته باشند بلکه بر میزان بهره‌وری آنها بیافزایند. تنظیم لحظه‌ای میزان روشنایی روز در حد مطلوب در فضای آموزشی و به‌ویژه در ساختمان‌های قدیمی در زمان تغییرات آب‌وهوایی نیاز به استفاده از فناوری‌های نوین دارد. سیستم سایه‌اندازی پویا با بهره‌گیری از الگوریتم کنترل میزان بازشوها و تنظیم روشنایی، امروزه به کمک آمده است. فراهم‌کردن شرایط نوری به‌گونه‌ای که آسایش بصری کاربران تامین شود و پیام‌های دیداری به وضوح از محیط دریافت شوند، متاثر از عوامل مختلفی است که مقدار نور و نحوه توزیع آن، انعکاس‌های آزاردهنده، درجه خیرگی و دمای رنگ نور از جمله آنها هستند (garreton & rodriguez & pattini, 2016). استفاده از نور روز در محیط آموزشی، سطح سلامت جسمی کاربران را افزایش می‌دهد، استرس آنها را کم می‌کند و در نتیجه کارآیی آنها بیش‌تر می‌شود. این تحقیق در پی ارزیابی شرایط موجود ساختمان آتلیه معماری از لحاظ میزان آسایش بصری و مصرف انرژی در ساختمان مذکور و همچنین بررسی شرایط در صورت افزودن سایبان پویا و انطباق‌پذیر است.

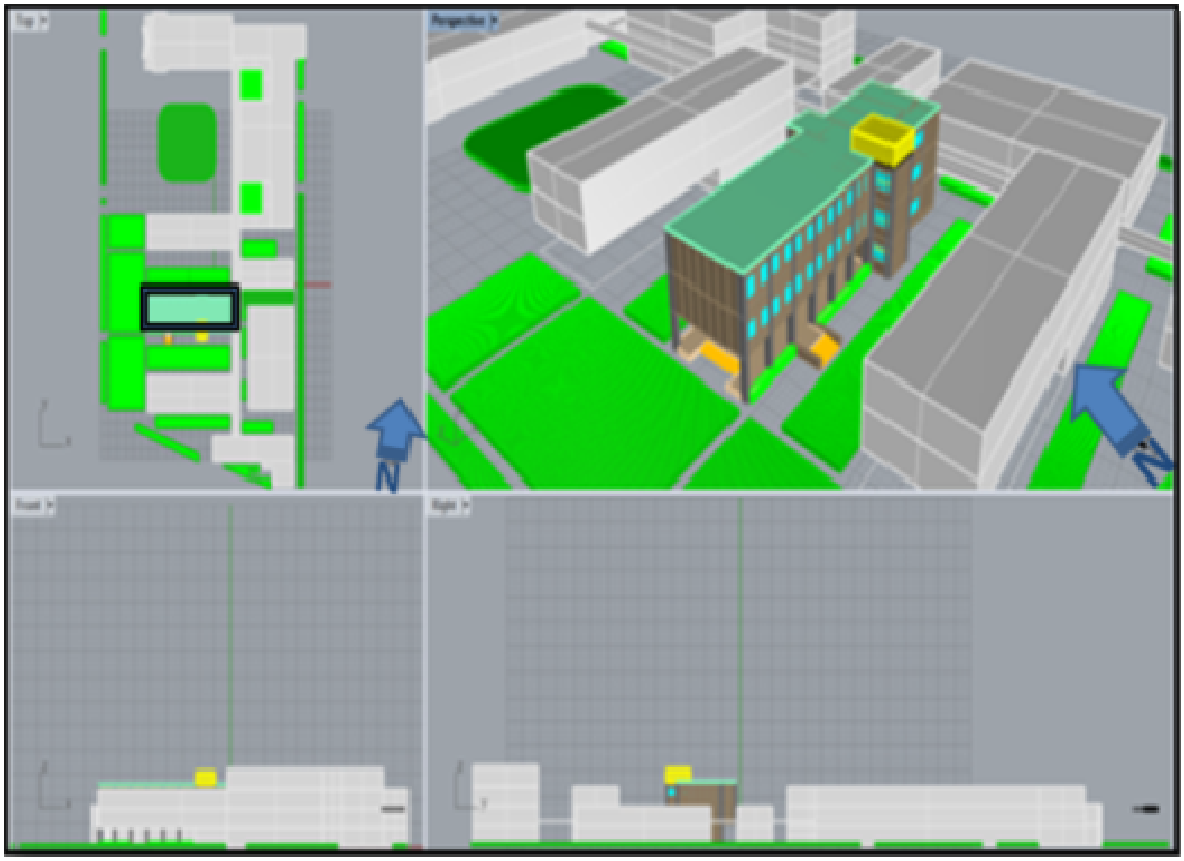
فرضیه تحقیق

بیشتر تحقیقاتی که به آسایش بصری در فضاهای آموزشی پرداخته‌اند بر اساس سنجش آثار نور روز بر عملکرد استفاده‌کنندگان استوار بوده‌اند. همچنین معیارهای آسایش محیطی موثر بر یادگیری و ارتقای کیفی کالبد فضاهای

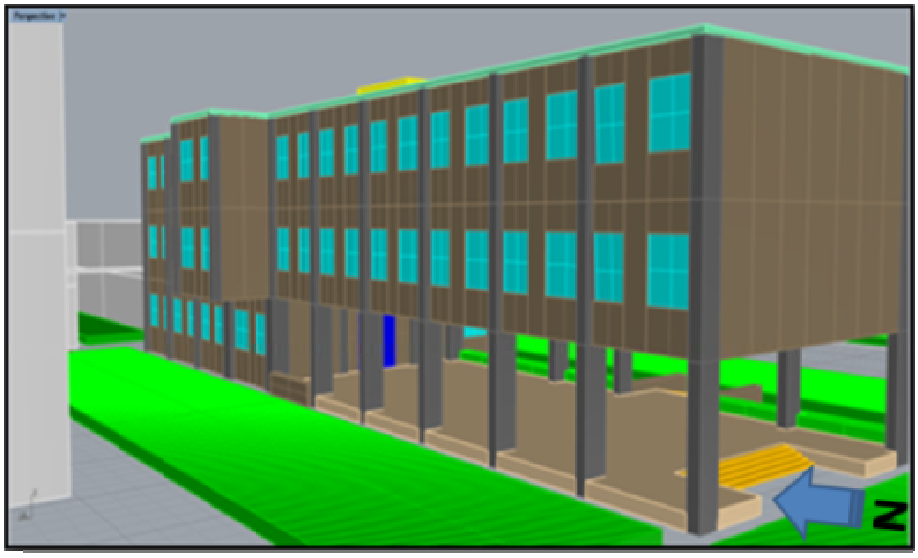
آموزشی مبتنی بر بهبود یادگیری را بازشناسایی و تحلیل کرده‌اند. اما هدف این پژوهش استفاده از فناوری‌های نوین و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی است که ضمن ارزیابی کیفیت نور روز در درون فضای آموزشی، در جهت تنظیم شرایط و معیارهای محیطی موثر بر آسایش بصری، راهکار عملی ارائه نماید. در تحقیق پیش‌رو شاخص‌های کیفیت نور با فرض اینکه طراحی فضای آموزشی آتلیه معماری با توجه به لزوم تامین آسایش بصری کاربران انجام شده باشد، با استفاده از فناوری شبیه‌سازی، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. معیار سنجش نیز استانداردهای ایران و جهان می‌باشد. راهکار پیشنهادی هم آزمون شده است و نتایج آن ارزیابی می‌گردد.

روش تحقیق

همان‌طور که در تصویر ۱ ملاحظه می‌شود، ساختمان متشکل از همکف که از پیلوتی، ورودی و کلاس‌ها تشکیل شده است و دو طبقه مشابه که کلاس‌ها و آتلیه‌ها را در خود جای داده‌اند، می‌باشد. تصویر سه‌بعدی با استفاده از نرم‌افزار راینو و افزونه گراس‌هاپر بر اساس پلان مذکور ترسیم شد. درها، پنجره‌ها و همچنین مواد و مصالح ساختمانی در آن لحاظ گردیدند.



تصویر۳. موقعیت و جانمایی مدل ساختمان آتلیه معماری (نمای جنوبی) و محیط پردیس (نگارندگان)



تصویر ۴. نمای شمالی مدل ساختمان آتلیه معماری (نگارندگان)

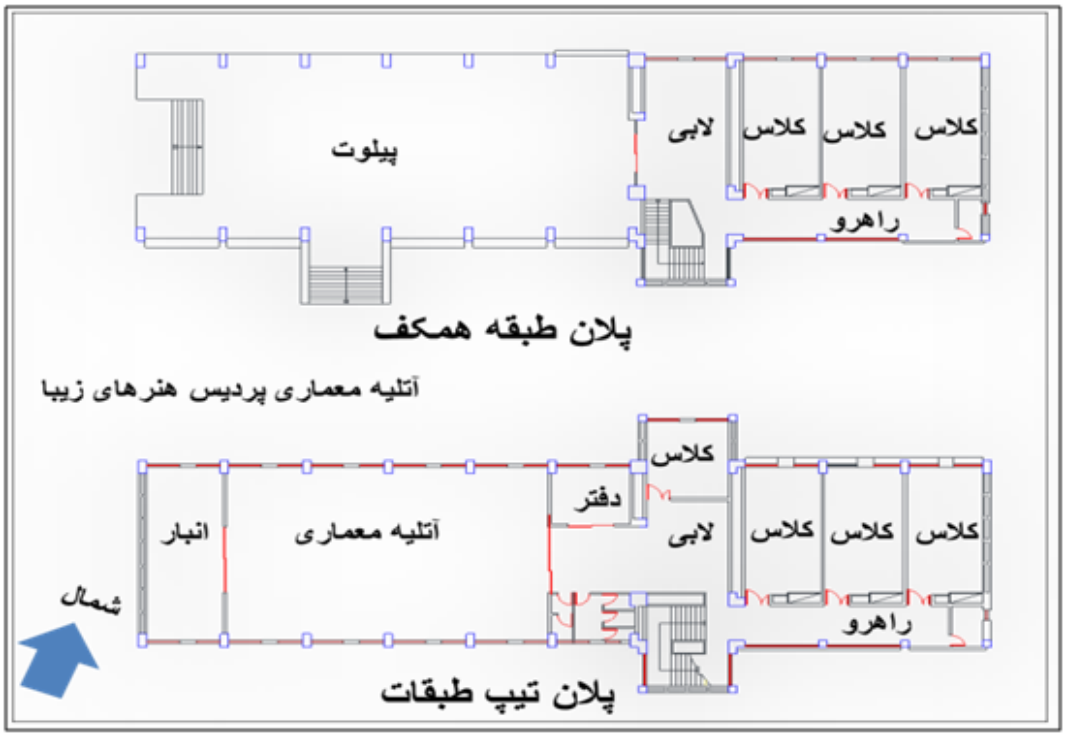
بر اساس مقررات کار، استاندارد ایران و IESNA میزان بازتاب سطوح داخلی و خارجی آتلیه مورد مطالعه در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول۱. میزان بازتاب سطوح (گلمحمدی،۱۳۹۶)

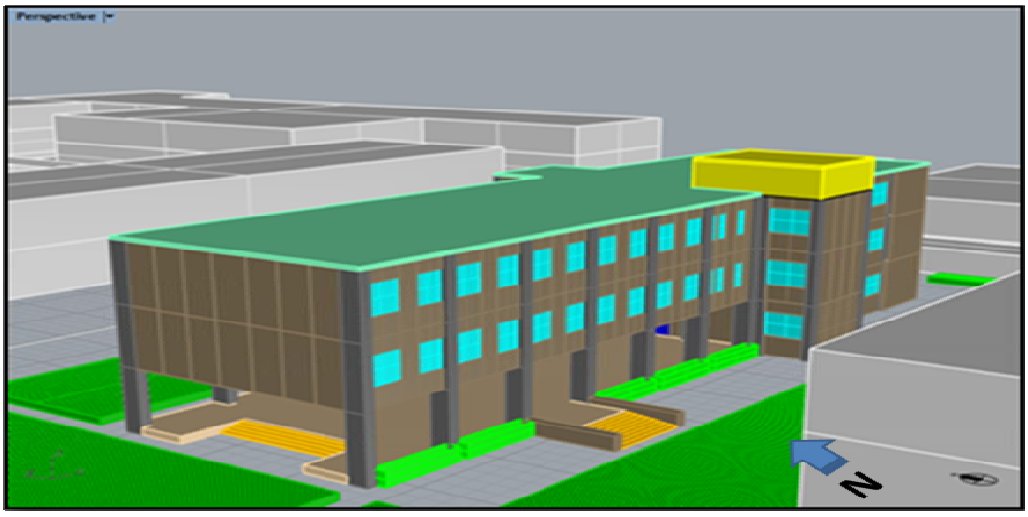
ساختار مدل	دیوارها	سقف	کف	شیشه	پوسته انطباق‌پذیر	سطح زمین	میز و صندلی	قاب پنجره	محدوده خیرگی
درصد بازتاب ادغام شده	٪۵۰	٪۹۰	٪۲۰	شیشه دو جداره ، ٪۸۰ انتقال نور	٪۷۷	٪۲۰	٪۵۰	٪۱۰	کمتر از ٪۳۵

صفحه کار برای تجزیه و تحلیل نور روز، ۷۵ سانتیمتر بالاتر از کف در نظر گرفته شده است. سنسورها برای تجزیه و تحلیل نور روز با فواصل ۵۰ سانتیمتر از هم و ساعت کار از ساعت ۸ تا ۱۸ در نظر گرفته شده است. برای آنالیز نور لحظه‌ای ساعت ۱۲/۳۰ بعد از ظهر، حداقل روشنایی مفید ۵۰۰ لوکس و آسمان برای چهار حالت: ابری، نیمه ابری، بدون ابر و بر اساس اطلاعات آب و هوایی تهران برای روزهای بیست و یکم ماه‌های مارس، ژوئن، سپتامبر و دسامبر در نظر گرفته شده است که در اینجا فقط حالت بدون ابر نمایش داده می‌شود. همچنین آنالیز نور سالیانه برای چهار حالت: با سایبان باز، نیمه‌باز، بسته و بدون سایبان محاسبه شده است که در اینجا فقط حالت سایبان بسته نمایش داده می‌شود. نتایج شاخص‌های (UDI)، (DA)، (ASE)، (AVG LUX)، (Blinds open) و (DGP) به‌صورت آماری و دیاگرامی نمایش داده می‌شوند. تصویر ۵ پلان‌های ساختمان آتلیه معماری است که شامل طبقه

همکف و تیپ طبقات با فضاهای پیلوت، فضای ورودی، کلاس‌ها و آتلیه‌ها می‌باشد. تصویر ۶ نیز نمای شماتیک جنوبی ساختمان را نشان می‌دهد.



تصویر۵. پلان طبقه همکف و تیپ طبقات ساختمان آتلیه معماری (نگارندگان)



تصویر۶. نمای جنوبی مدل ساختمان آتلیه معماری (نگارندگان)

معرفی قابلیت‌های نرم‌افزارهای مورد استفاده در پژوهش

نرم‌افزار راینو یک نرم‌افزار شبیه‌سازی طراحی سه‌بعدی معماری است که قابلیت نصب پلاگین‌های متنوعی در خود دارد. از مزیت‌های این نرم‌افزار مدل‌سازی پوسته‌های پیچیده با دستورات ساده است. پلاگین گراس‌هاپر هم که در نرم‌افزار راینو نصب شده است طراحی پارامتریک و پیچیده را ممکن می‌سازد. پلاگین کلایمت استودیو در راینو و گراس‌هاپر قرار دارد و از موتور جستجوی انرژی پلاس استفاده می‌کند. این پلاگین قابلیت‌های زیادی دارد، از جمله می‌توان به تحلیل نور روز، نور مصنوعی، خیرگی و انرژی اشاره کرد. علاوه بر این می‌توان از گزارش‌دهی و اعتبارسنجی نور روز بر اساس استانداردها به ویژه استاندارد لید؛ آنالیزگیری سریع و آسان، قابلیت ارزیابی پوسته‌ها و سایبان‌های هوشمند و دینامیک بدون نیاز به کدنویسی نام برد. در این تحقیق برای مدل‌سازی ساختمان آتلیه معماری از نرم‌افزار راینو و برای طراحی پوسته پویا از پلاگین گراس‌هاپر به‌صورت کدنویسی بهره گرفته شده است. در آخر از پلاگین کلایمت استودیو در راستای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شده است.

شبیه‌سازی

اطلاعات استاندارد مربوط به شرایط آب و هوایی شهر تهران، برای بررسی عملکرد مدل در رابطه با شبیه‌سازی حرکت خورشید، تجزیه و تحلیل نور روز و میزان خیرگی، در نرم‌افزار وارد می‌شوند و بنا بر نیاز سیستم، اطلاعات لازم در رابطه با نوع و رنگ مواد و مصالح سقف، کف، دیوار و شیشه انتخاب می‌گردند. بعد از آنالیز اطلاعات توسط رایانه، گزارش‌هایی از جمله: ترسیم مدل سه‌بعدی تابش و مسیر حرکت خورشید، دیاگرام‌ها و نمودارهای نور لحظه‌ای و سالیانه، خیرگی سالیانه و رندر خیرگی تهیه می‌شوند که برای اطلاع و استفاده در طراحی در اختیار قرار می‌گیرد. با توجه به حجم بالای اطلاعات ورودی به نرم‌افزار در خصوص آب و هوای شهر تهران، آدرس‌دهی در جدول زیر صورت گرفته است.

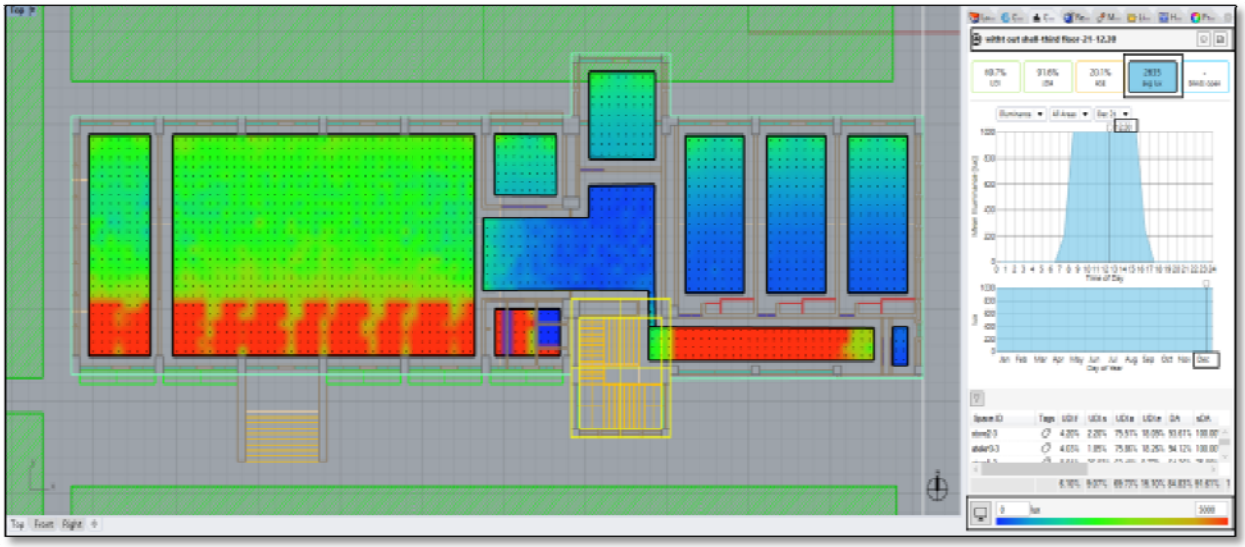
جدول۲. جدول اطلاعات تکمیلی مدخل دریافت فایل آب‌وهوای تهران (فایل‌های ورودی به نرم‌افزار؛ نگارندگان)

موتورهای جستجو در راینو	انرژی پلاس، دی‌سیم و ...
موتور جستجو مورد استفاده در کلایمت استودیو	انرژی پلاس
موقعیت مکانی پروژه در سایت انرژی پلاس	قاره آسیا، کشور ایران، ایستگاه هواشناسی مهرآباد IRN_TE_Tehran-Mehrabad.Intl.Ap.407540_TMYx.2003-2017

نتایج و بحث

نور لحظه‌ای در یک زمان خاص و شرایط ثابت ارزیابی می‌شود در حالی‌که محاسبه نور سالیانه براساس اطلاعات سالیانه آب و هوا و تغییر شرایط اقلیمی در طول سال ارزیابی می‌شود. نتایج بیان‌گر وضع موجود کیفیت نور روز در فضای داخلی ساختمان است و انتخاب گزینه مطلوب به تجزیه‌وتحلیل و مقایسه تاثیرات سایبان پویا بر کیفیت نور روز، بستگی دارد. در این پژوهش، شاخص در دسترس بودن نور روز که ترکیبی از شاخص‌های کفایت نور روز (DA) و روشنایی قابل استفاده نور روز (UDI) است، معیار سنجش می‌باشد. همان‌طور که در بالا ذکر شد، شرط در دسترس بودن نور روز برای مدل، درصدی از نقاط سطح کار است که روشنایی بیش از پانصد لوکس تا پنج هزار لوکس را در حداقل ۵۰ درصد زمان اشغال از ساعت ۸ تا ۱۸دریافت می‌کنند. به تعبیری دیگر درصدی از دوره زمانی اشغال فضا در طول یک‌سال که در آن مقدار روشنایی مورد نیاز در نقطه‌ای معین از فضا به تنهایی توسط روشنایی

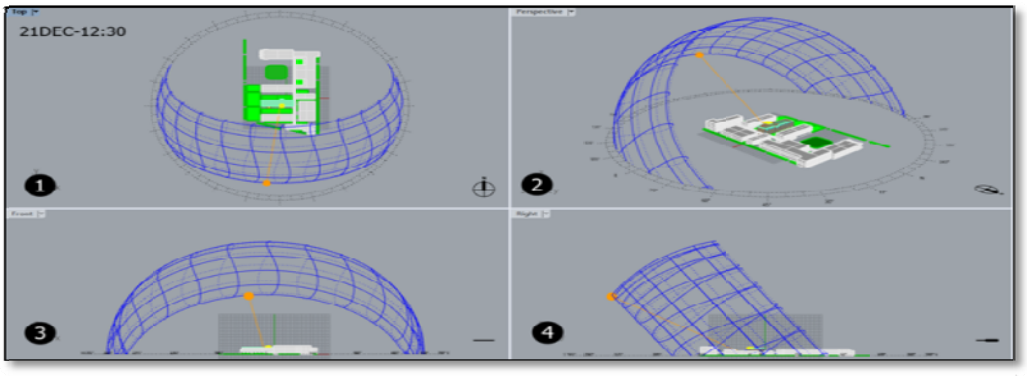
طبیعی قابل تامین باشد. براساس شاخص کفایت نور روز فضایی (SDA) در سیستم ارزیابی ساختمان‌های سبز به نام لید۴، بیش از ۵۵ درصد نقاط سطح کار باید دارای شرایط مذکور باشند. مقدار درصد نور دریافتی حسگرها، چهار مرتبه از نقاط را مشخص می‌کنند؛ نقاط پرنور (UDI-e)، نقاط با نور روز کافی (UDI-a)، نقاط با نور روز جزئی (UDI-s) و نقاط با حداقل نور روز (UDI-f). نقاط پرنور، نقاطی هستند که بیشتر از ۱۰ برابر لوکس حداقل تعیین شده در کمتر از ۵ درصد از زمان اشغال را دارا هستند و با رنگ قرمز نشان داده می‌شوند. احتمال خیرگی در این نقاط بیشتر از دیگر نقاط است. درصدهایی از زمان فعالیت که حسگرها در طول سال دریافت می‌کنند، با طیف رنگی نشان داده می‌شوند. در تصویر ۷ این رنگ‌ها در جبهه جنوبی و در مجاورت بازشوها به رنگ قرمز و در محل‌هایی که کمترین نور را دریافت می‌کنند به رنگ آبی دیده می‌شوند.

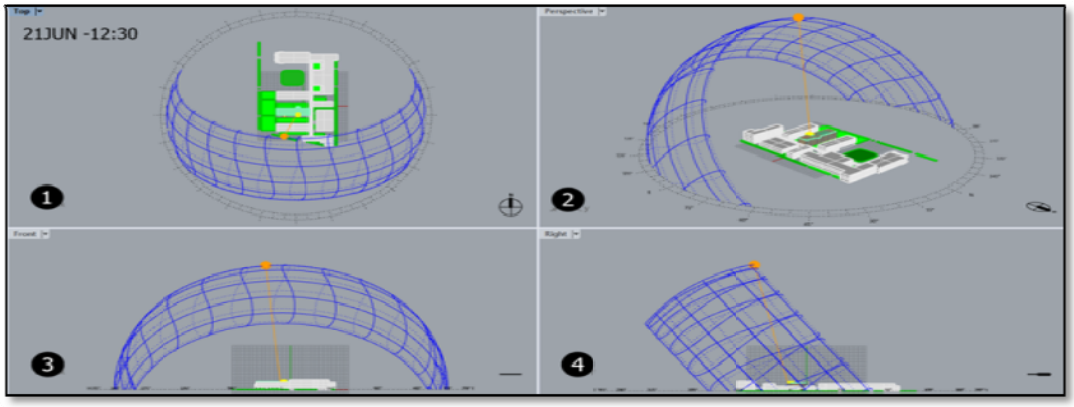


تصویر۷. طیف رنگی معرف درصدهای زمانی که حسگرها در طول سال نور دریافت می‌کنند (نگارندگان)

آنالیز سایت

زاویه تابش و مسیر حرکت خورشید نسبت به سایت در طی ساعات روز و ماه‌های مختلف تغییر می‌کنند. این تغییر باعث تغییر شرایط اقلیمی و به تبعیت از آن تنظیم شرایط محیط در داخل ساختمان می‌گردد. جهت نشان‌دادن آزیموت و موقعیت خورشید نسبت به سایت، تصاویر زیر تولید شده‌اند. (تصویر۸)



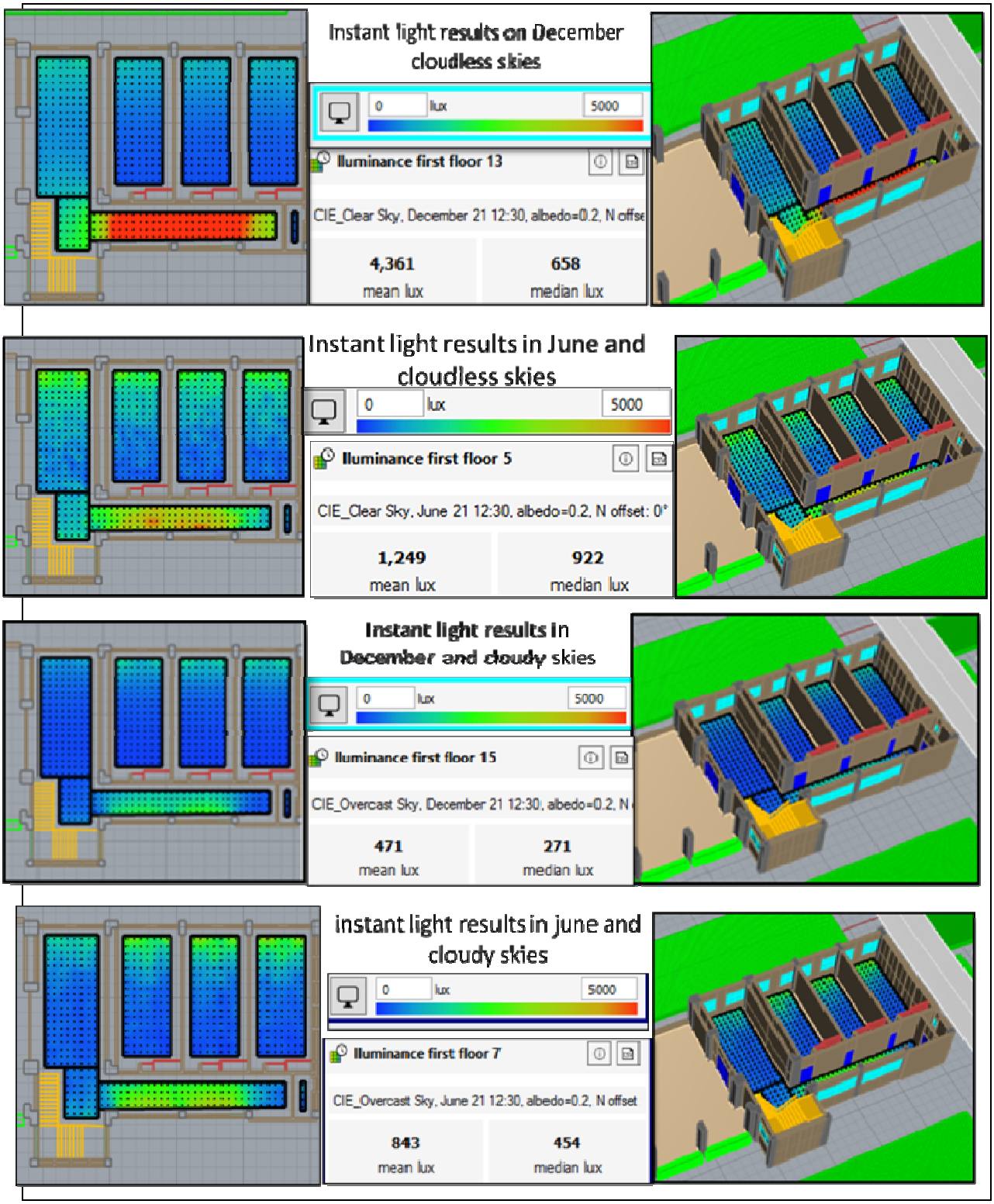


تصویر۸. شبیه‌سازی موقعیت خورشید در روزهای منتخب به ترتیب – ۲۱ دسامبر – ۲۱ ژوئن (نگارندگان)

با توجه به جهت‌گیری ساختمان و موقعیت جغرافیایی تهران، انتخاب امتداد شرقی- غربی ساختمان، بهترین نور را در تمام فصول برای فضای داخلی تامین می‌کند. همانطور که ملاحظه می‌شود، در امتداد بدنه جنوبی بازشوهای مناسب جهت ورود نور خورشید به داخل آتلیه‌ها تعبیه شده‌اند. در جهت شمال بازشوهای متقارن با بدنه جنوبی وجود دارند که به‌دلیل تابش غیرمستقیم نور خورشید در مرتبه بعدی از لحاظ نفوذ نور روز قرار دارند. در سمت شرق و غرب تقریبا پنجره‌ای وجود ندارد. با عنایت به مسیر حرکت خورشید در طول روز، زاویه تابش از پایین‌ترین نقطه در شرق شروع و به‌تدریج زاویه تابش اوج می‌گیرد و در میانه روز در سمت جنوب به بالاترین ارتفاع خود می‌رسد و در نهایت در غرب دوباره به حضیض می‌رسد. در دو جهت شرق و غرب به دلیل زاویه کم تابش، نور به‌صورت مستقیم به بدنه ساختمان می‌تابد و باعث خیرگی آزاردهنده‌ای می‌گردد، اما در دو جهت دیگر این مورد کمتر اتفاق می‌افتد.

نور لحظه‌ای

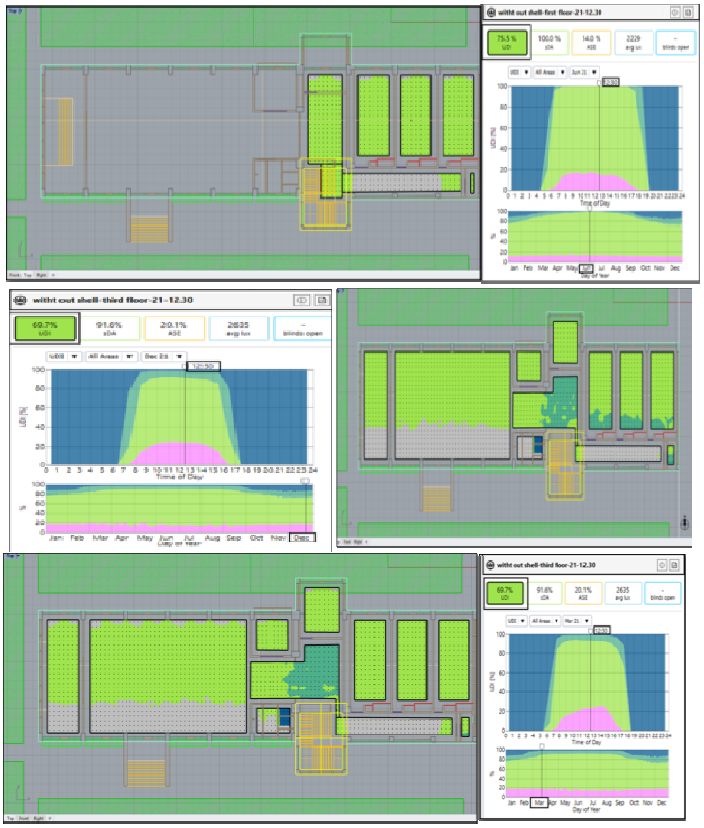
گزارش شاخص نور لحظه‌ای با تعیین نوع آسمان و با انتخاب ماه، روز، ساعت، ضریب سپیداری و اطلاعات مواد و مصالح مربوط به سقف، کف و دیوارها، ارائه می‌شود و وضعیت روشنایی در هر یک از نقاط سطح کار، لوکس میانگین و همچنین لوکس نقطه وسط را در یک لحظه خاص نشان می‌دهد. از تحلیل داده‌های نور لحظه‌ای نمی‌توان نتیجه کلی گرفت و اعداد فقط نشان‌دهنده وضعیت روشنایی در یک زمان خاص هستند، از این‌رو با مقایسه جداول که مربوط به چهار ماه از سال با وضعیت آسمانی متفاوت می‌باشند، می‌توان مشاهده کرد که با ابری‌شدن آسمان از شدت تابش به‌نحو چشمگیری کاسته می‌شود. همچنین با تغییر زاویه تابش خورشید از انقلاب تابستانی به انقلاب زمستانی، میزان تابش تغییر چشمگیری می‌کند و در اعتدالین بهاری و پاییزی، شدت تابش تقریبا یکسان است (تصویر۹). به‌عنوان نمونه نتایج حاصل از نور لحظه‌ای در فضای داخلی ساختمان ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود با ابری شدن آسمان در ماه دسامبر لوکس میانگین از ۴۳۶۱ لوکس به ۴۷۱ لوکس و نقطه میانی از ۶۵۸ لوکس به ۲۷۱ لوکس کاهش می‌یابد. همچنین در ماه ژوئن لوکس میانگین از ۱۲۴۹ لوکس به ۸۴۳ لوکس و نقطه میانی از ۹۲۲ لوکس به ۴۵۴ لوکس کاهش پیدا می‌کند. تفاوت آسمان ابری با آسمان صاف در هر دو ماه معنادار است.



تصویر۹. نتایج نور لحظه‌ای در ماه‌های دسامبر و ژوئن و با آسمان صاف و ابری در طبقه همکف (نگارندگان)

نور مفید سالیانه

برای به‌دست آوردن نتایج آنالیز شاخص نور مفید سالیانه ابتدا بازه زمانی فعالیت یا ساعات کار از ساعت ۸ تا ۱۸ در پلاگین مربوطه وارد می‌شود، با توجه به اطلاعاتی که قبلا در رابطه با مدل در نرم‌افزار لحاظ شده‌اند، نتایج همانند نور لحظه‌ای به‌صورت عددی و نموداری ظاهر می‌شوند. جهت اختصار مطلب، در ذیل چند نمونه از نتایج استخراجی آورده شده‌اند (تصویر ۱۰).



تصویر۱۰. نتایج نمونه نور مفید روز سالیانه طبقات ساختمان (نگارندگان)

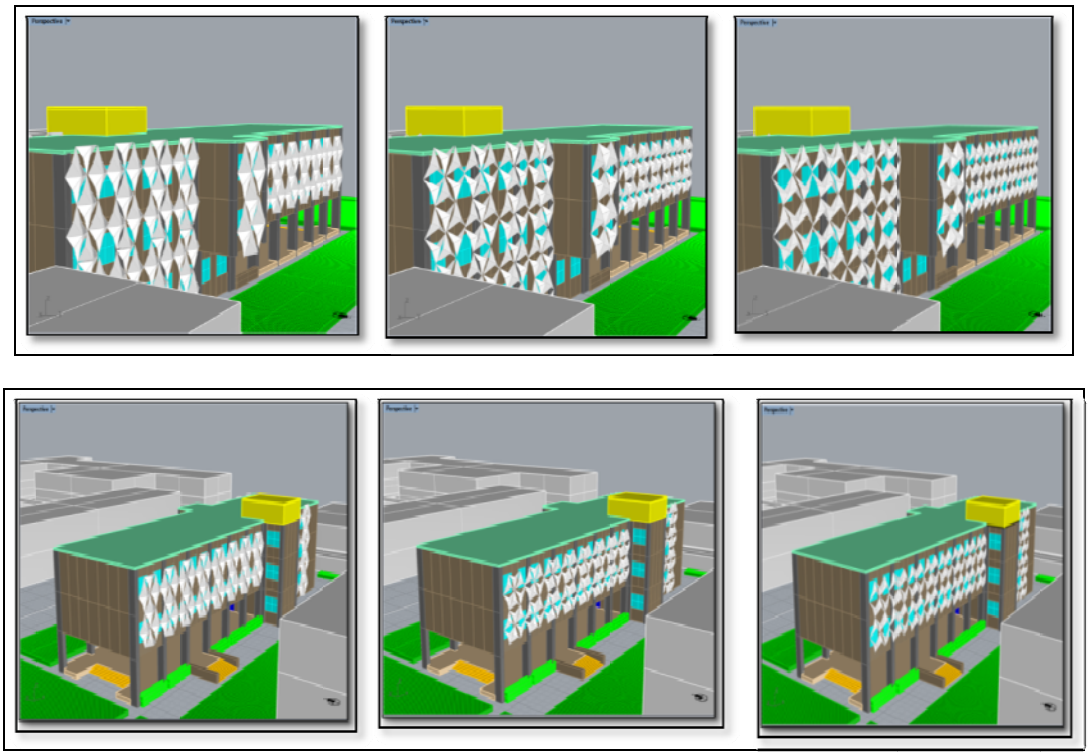
خلاصه نتایج آنالیز نور مفید سالیانه فضای داخلی ساختمان مدل با توجه به شاخص‌های مربوطه در جدول ۳ آورده شده‌اند:

جدول ۳. نتایج شاخص‌های نور مفید سالیانه بدون سایبان پویا (نگارندگان)

نتایج شاخص‌های نور مفید سالیانه بدون سایبان					
شاخص‌های نور	UDI	s DA	ASE	Avg LUX	Blinds open
طبقه همکف	۷۵.۵۰٪	۱۰۰.۰۰٪	۱۴.۰۰٪	۲۲۲۹	۰.۰۰٪
طبقه اول	۶۶.۸۰٪	۹۵.۰۰٪	۱۸.۶۰٪	۳۰۳۸	۰.۰۰٪
طبقه دوم	۶۹.۷۰٪	۹۲.۰۰٪	۲۰.۱۰٪	۲۶۳۵	۰.۰۰٪

گزارش آنالیز وضع موجود ساختمان نشان می‌دهد که درصد سالیانه نور مفید روز از ساعت ۵:۳۰ تا ۱۸:۳۰ و حدود ۷۰/۶۶ درصد از کل زمان را دربرمی‌گیرد. کفایت نور هم در کل زمان ۹۵/۶۶ درصد و قرارگرفتن در معرض نور خورشید سالیانه هم در محدوده زمانی بین ساعت ۶:۳۰ تا ۱۶:۳۰ در حدود ۱۸/۱۶درصد زمان است که در این مدت

جهت کاهش خیرگی نیاز به سایبان است. به‌طور میانگین ۲۶۳۴ لوکس نور در درون فضای داخلی وجود داشت که نسبت خوبی است. درصد زمانی که نیاز به سایبان نیست ۸۲ درصد می‌باشد. برای ملاحظه تاثیر سایبان پویا بر نتایج شاخص‌های نور مفید سالیانه، با انتخاب پنجره‌ها و تعیین استاندارد مورد عمل نظیر لید۴، آنالیز جدید ظاهر می‌شود. گزارش‌ها برای سه حالت سایبان یعنی باز، نیمه‌باز و بسته تهیه شده‌اند. همان‌طور که در تصاویر و جداول پایین ملاحظه می‌شود، وجود سایبان در نما بر نتایج تاثیر مثبت دارد. برای رسیدن به وضعیت ایده‌آل و نزدیک‌شدن نتایج به نرخ استاندارد در شاخص‌ها، امکان بازگشت به داده‌های اولیه و اصلاح و تغییر آنها از جمله طراحی مجدد سایبان و انتخاب مصالح جدید وجود دارد. در زیر گزارش آنالیز نور سالیانه برای مدل با پنجره دارای سایبان باز، نیمه‌باز و بسته، نشان داده شده است.



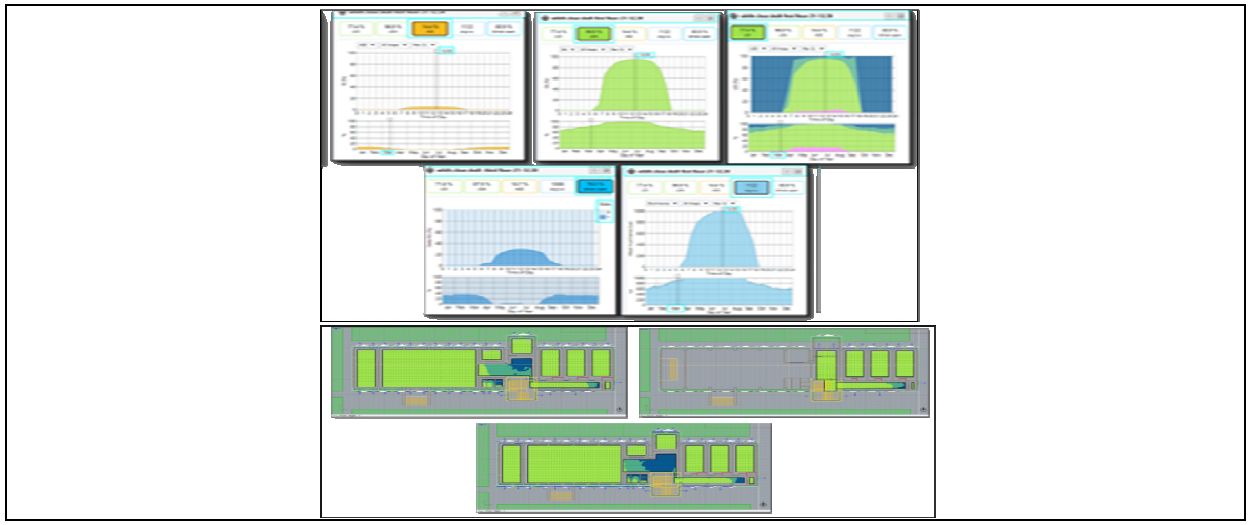
تصویر۱۱. سه حالت باز، نیمه‌باز و بسته سایبان که نمونه‌ای از حالت‌های سایبان پویا می باشند (نگارندگان)

گزارش آنالیز پنجره دارای سایبان خارجی نشان می‌دهد که درصد سالیانه نور مفید روز از ساعت ۵:۳۰ تا ۱۸:۳۰ و حدود ۷۴/۶۲ درصد از کل زمان را دربرمی‌گیرد. کفایت نور هم در کل زمان ۹۱/۴۳ درصد و قرارگرفتن در معرض نور خورشید سالیانه هم در محدوده زمانی بین ساعت ۶:۳۰ تا ۱۶:۳۰ در حدود ۱۷/۲۳ درصد زمان است که در این مدت برای کاهش خیرگی نیاز به سایبان است. به‌طور میانگین ۱۱۶۲ لوکس، نور در درون فضای داخلی وجود داشت که نسبت خوبی است. درصد زمانی که نیاز به سایبان نیست ۷۹ درصد می‌باشد.

جدول۴. نتایج شاخص نور مفید سالیانه با سایبان بسته (نگارندگان)

نتایج شاخص‌های نور مفید سالیانه با سایبان بسته پویا					
شاخص‌های نور	UDI	s DA	ASE	Avg LUX	Blinds open
طبقه همکف	۷۷.۴۰٪	۹۶.۹۰٪	۱۴.۰۰٪	۱۱۲۲	۸۰.۹۰٪
طبقه اول	۷۴.۰۰٪	۸۹.۵۰٪	۱۸.۶۰٪	۱۲۹۰	۷۸.۳۰٪
طبقه دوم	۷۱.۸۰٪	۸۷.۹۰٪	۱۸.۷۰٪	۱۰۸۸	۷۸.۰۰٪

مقایسه بین جداول ۳ و ۴ نشان می‌دهد که نسبت‌های مربوط به کیفیت نور روز، تفاوت‌هایی با هم دارند. بیشترین تفاوت مربوط به شاخص لوکس میانگین (Avg Lux) است که از مقدار ۳۰۳۸ لوکس به ۱۲۹۰ لوکس کاهش یافته است. این تعدیل بر شدت نور و میزان خیرگی در فضا تاثیر می‌گذارد.



تصویر۱۲. نتایج شاخص‌های نور مفید سالیانه در طبقات با سایبان بسته (نگارندگان)

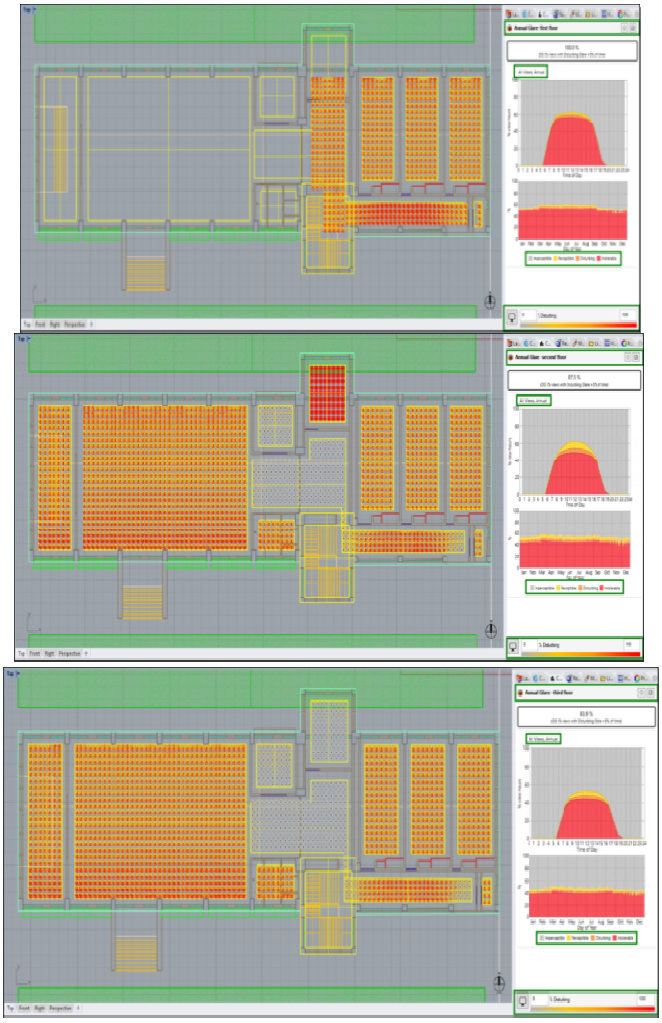
تصویر ۱۲ نمونه نتایج به‌دست‌آمده از وضعیت شاخص نور مفید سالیانه را در حالتی که از سایبان استفاده شود، نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری از آنالیز شاخص نور سالیانه

نتایج عملکرد نور روز برای همه حالت‌های شبیه‌سازی‌شده نشان می‌دهند که درصد شاخص‌ها بهبود یافته‌اند. با حرکت سایبان به سمت بسته‌شدن از درصد زمان کلی کاسته شده و خیرگی در حد قابل‌قبول است. لوکس میانگین هم نصف و به لوکس پایه نزدیک شده است. عملکرد بصری که از برآیند کلیه شاخص‌ها به‌دست می‌آید نشان از بهبود کیفیت نور روز در کلاس‌ها و آتلیه‌ها دارد. در حقیقت، حتی اگر درصد کیفیت نور در مقایسه با حالت پایه کاهش نشان دهد، درصد زمانی که میزان روشنایی در یک محدوده آسایش قرار دارد، افزایش می‌یابد. البته جدول مربوط به وضع موجود ساختمان نشان از قرارگیری مقادیر شاخص‌های روشنایی روز در داخل محدوده مورد قبول دارد، اما با قراردادن سایبان پویا می‌توان نسبت به بهبود شرایط و تنظیم لحظه‌ای شدت تابش در درون فضای داخلی متناسب شرایط بیرونی اقدام کرد.

خیرگی سالیانه

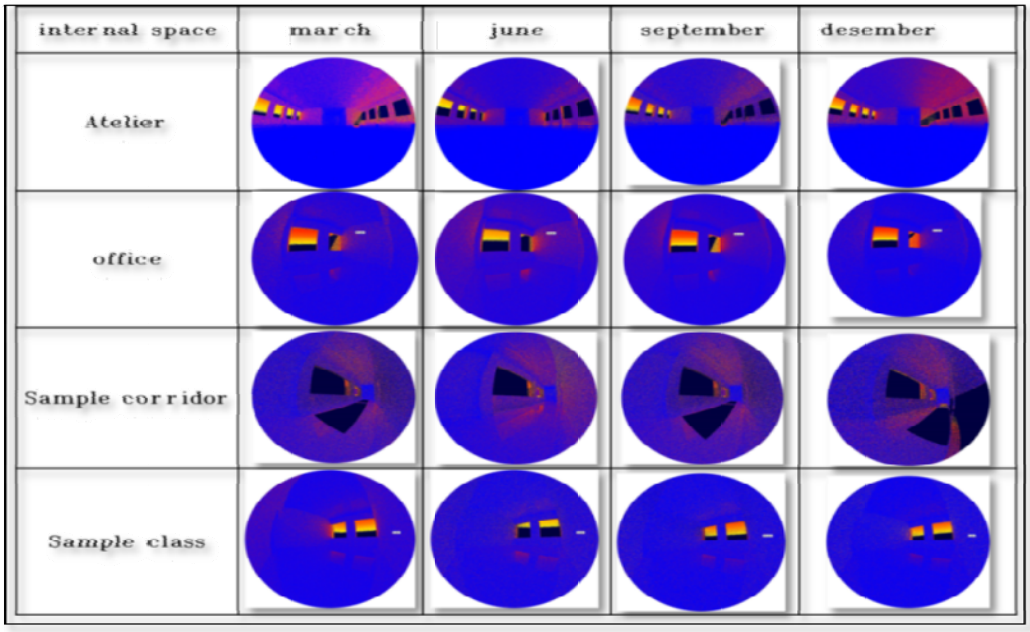
خیرگی یک پارامتر قابل اندازه‌گیری روشنایی محسوب می‌شود و به‌دلیل روشنایی بیش از حد و تراکم نور در یک ناحیه ایجاد می‌شود. شاخص سالیانه خیرگی از موارد مهم در جهت کاهش میزان احتمال خیرگی و تنظیم روشنایی مفید در محدوده تعیین‌شده می‌باشد. در تصویر۱۳ وضعیت خیرگی سالیانه در طبقات ساختمان نمایش داده شده است. برای برطرف‌کردن این مشکل، از طریق سایبان پویا بین منبع نور خورشید و خط دید، زاویه مناسب ایجاد می‌شود که باعث کاهش محدوده خیرگی می‌گردد. با تغییر زاویه تابش خورشید، سایبان پویا نیز طبق برنامه تنظیمی خود تغییر حالت می‌دهد و با بسته شدن، میزان ورودی نور را متناسب می‌نماید و از شدت آن که موجب آزردگی دید می‌شود، می‌کاهد.



تصویر ۱۳. وضعیت خیرگی سالیانه طبقات (نگارندگان)

برای نشان‌دادن خیرگی به‌صورت تصویر لحظه‌ای از نقاطی در فضای داخلی آتلیه، دفتر اساتید، نمونه راهرو و کلاس به سمت بازشوها رندر تهیه شده است. تصویر ۱۴ رندر برای چهار فضا و چهار ماه، از دید چشم ماهی را به نمایش

می‌گذارد. شدت نور در مجاورت بازشوها شروع می‌شود و به سمت عمق فضا از شدت آن کاسته می‌شود. با تغییر جهت دید، میزان خیرگی نیز تغییر می‌کند.



تصویر ۱۴. وضعیت خیرگی از نقاط داخلی فضاها (نگارندگان)

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر با هدف بررسی کارایی نور روز و آسایش بصری در ساختمان آتلیه معماری پردیس هنرهای زیبا دانشگاه تهران و در اقلیم تهران انجام شده است. از آنالیز، تحلیل و شبیه‌سازی برای مطالعه میزان آسایش بصری و توزیع مناسب نور روز در فضاهای داخلی استفاده شده است. این شبیه‌سازی‌ها برای سایبان نمونه نیز تکرار شد تا معلوم گردد که تا چه اندازه وجود سایبان بر شاخص‌های نور روز اثرگذار است. از آن‌جا که انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات اقلیمی یعنی ایجاد شرایط مطلوب در درون فضای داخلی است، نتیجه‌ای که حاصل کنترل شاخص‌ها در محدوده تعریف‌شده می‌باشد، یکی از مهم‌ترین نتایج در مورد شاخص نور لحظه‌ای شدت تابش بیش از حد به ویژه در ماه دسامبر است. با توجه به این نتیجه، استفاده از پرده یا سایبان برای جلوگیری از تابش خیره‌کننده در بیشتر اوقات ضروری است. با عنایت به جهت‌گیری شمالی کلاس‌ها، از خیرگی ناراحت‌کننده خبری نیست و محدوده آن با توجه به شعاع پرتوهای منعکس‌شده از محیط، در نزدیکی پنجره‌ها می‌باشد. در جهت شرق و غرب از بازشو استفاده نشده است و به تبع آن هیچ‌گونه نور آزاردهنده‌ای به داخل ساختمان راه نمی‌یابد. نور اصلی، از سمت جنوب به آتلیه‌ها می‌تابد و بیشترین اثر را بر تغییرات شدت و کیفیت نور می‌گذارد. مطالب بالا بر لزوم کنترل نور خیره‌کننده در بیشتر زمان‌ها در این جهت دلالت دارند. با اضافه‌کردن سایبان پویا در جهت جنوبی ساختمان و تنظیم نحوه باز و بسته‌شوندگی آن متناسب با تغییرات مسیر و زاویه تابش خورشید و شرایط آب‌وهوایی در فصول سال، شرایط آسایش بصری برای کاربران فراهم می‌شود. حالت‌های سایبان از کامل باز بودن تا بسته‌شدن، نشان از تاثیر حضور سایبان بر کنترل شدت تابش و خیرگی دارد. با حرکت سایبان به سمت بسته‌شدن، درصد زمان روشنایی کمتر از نور مفید پایه افزایش و درصد زمان روشنایی در حد مجاز کاهش می‌یابد. همچنین درصد زمان داشتن نور بالاتر از

نور پایه و نور خیره‌کننده، کاهش می‌یابد. این کاهش و افزایش‌ها دلیلی بر خوب یا بد بودن نیستند، بلکه نشان از تغییر درصد زمان حضور نور روز در نسبت‌های مختلف در فضای داخلی است. با عنایت به هوشمندسازی سایبان برای انطباق‌پذیری با تغییرات محیطی، میزان بازشوندگی سایبان متناسب با شدت تابش براساس داده‌های آماری آب و هوایی سالیانه خواهد بود. در نتیجه در هر زمان، روشنایی بهینه با بازده مطلوب در سطح کار وجود خواهد داشت. با توجه به نیاز استفاده از نور روز در محیط‌های آموزشی و پتانسیل اقلیم تهران در تامین نور کافی، نتایج نشان می‌دهند در این اقلیم، سایبان انطباق‌پذیر و به‌ویژه در جبهه جنوبی، می‌تواند به‌طور موثر نور روز را توزیع نماید و آسایش بصری را افزایش دهد. این نتیجه‌گیری به‌هیچ عنوان از کارآیی عالی ساختمان آتلیه معماری پردیس هنرهای زیبای تهران و توجه طراحان به حضور روشنایی روز در فضای آموزشی آن نمی‌کاهد و تاییدی بر صحت عمل آن دارد. نتیجه تحلیل‌های فنی انجام‌شده در نمونه مورد مطالعه فوق و ارائه راهکارها و پیشنهادهای ساختاری به میزان موثری شرایط آسایش محیطی را با استانداردهای روز هماهنگ ساخته است. این پژوهش نشان می‌دهد تامین شرایط لازم جهت باززنده‌سازی بناهای واجد ارزش به‌وسیله تمهیدات ساختاری امری امکان‌پذیر می‌باشد که با تعریف کاربری مناسب و برنامه‌ریزی پویا، چرخه حیات این بناها که به‌عنوان عضوی در حافظه تاریخی بافت نمود می‌یابند، برای نسل‌های آتی حفظ می‌شوند. با شناسایی محل‌هایی از فضاهای آموزشی که احتمال خیرگی در آن‌ها بالاست، می‌توان با بهره‌گیری از سایبان‌های متحرک هوشمند، میزان شاخص‌های نور روز را همواره در حد مجاز استاندارد ایران قرار داد. لذا این الگو می‌تواند هم در طراحی‌های جدید و هم در ساختمان‌های موجود، مورد استفاده قرار گیرد. هر چند این تحقیق به بحث انرژی ورود نکرد، اما در پژوهش‌های آتی می‌توان نقش روشنایی روز در مصرف انرژی در ساختمان آتلیه معماری را تبیین نمود.

فهرست منابع

- بردی حق‌نیا، حلیم و بردی حق‌نیا، رحیم. (۱۳۹۵). ***راهکارهای بهینه‌سازی فضاهای آموزشی مدارس کشور***، *فصل‌نامه مطالعات علوم اجتماعی*، ۲(۲)،۵۵-۵۰.
- پوراحمدی، محبوبه و خان‌محمدی، محمدعلی و مظفر، فرهنگ. (۱۳۹۸). ***بررسی تحلیلی تاثیر پارامترهای کالبدی پوسته در ایجاد آسایش بصری خانه‌های سنتی اقلیم گرم و خشک ایران***. *اندیشه معماری*، ۴(۸)، ۱۵۳-۱۳۵.
- عبدایمانی، هانیه و رهبری‌منش، کمال. (۱۳۹۷). ***بررسی عملکرد عنصر نور و رنگ در طراحی مرکز آموزشی و درمانی***، سومین کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و طراحی شهری در تبریز.
- فدایی اردستانی، محمدعلی و همکاران. (۱۳۹۷). ***ارزیابی نور روز و خیرگی در کلاس‌های درس با استفاده از شاخص‌های پویا***، *صفه*، ۲۸(۸۳)، ۴۰-۲۵.
- گلمحمدی، رستم. (۱۳۹۶). ***راهنمای اندازه‌گیری و ارزیابی روشنایی در محیط کار. کد OEL-L-9507***، تهران: دانشجو.
- محمدی، عرفان و همکاران. (۱۳۹۷). ***بررسی و تحلیل تاثیر نور در معماری فضاهای آموزشی***. *فصل‌نامه معماری‌شناسی*، ۱(۱)، ۶-۱.
- نخعی، جلال و همکاران. (۱۳۹۴). ***برنامه‌ریزی معماری استفاده بهینه از نور روز در کلاس درس مدارس نمونه موردی: دبستان آموزشی هدایت قم***. دومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در عمران، معماری و شهرسازی.

- Favoino, Fabio & Doya, Maxime & Loonen, Roel C. G. M & Goia, Francesco & Bedon, Chiara & Babich, Francesco (Eds.). (2018). ***Building performance simulation and characterisation of adaptive facades – adaptive facade network.*** TU Delft Open.

- Garreton, Julieta Yamin, Rodriguez, Roberto & Pattini, Andrea. (2016). ***Effects of perceived Indoor Temperature on Daylight Glare perception***. *Building Research and information*, 44(8), 907-919.
- USGBC (U.S. Green Building Council). (2019). ***LEEDv4.1, Building Design and Construction***. Retrieved January 22, 2019, from https://www.usgbc.org/resources/leed-v41-building-design-and-construction-beta-guide-january-2019.
- Reinhart, Christoph F. & Weissman, Daniel A. (2012). ***The Daylit Area–Correlating Architectural student Assessment with Current and Emerging Daylight Availability Metrics.*** *Buildin and Environment*, 50, 155-164.
- Shen, Hui & Athanasios, Tzempelikos. (2013). ***Sensitivity analysis on daylighting and energy performance of perimeter offices with automated shading***. *Building and Environment*, 59, 303-314.