Archive of SID

کارآیی شاخص‌های نور روز در تخمین روشنایی کافی در فضا بر اساس ارزیابی کاربران

نمونهٔ موردی: فضاهای آموزشی دانشکده‌های معماری شهر تهران[1]

نسترن شفوی‌مقدم[2]

محمد تحصیلدوست[4]
استادیار دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

زهراسادات زمردیان[3]
استادیار دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

دریافت: ۳ آذر ۱۳۹۷
پذیرش: ۹ بهمن ۱۳۹۷
(صفحهٔ ۵۶-۳۷)

کلیدواژگان: نور روز، آسایش بصری، شبیه‌سازی، شاخص‌های نورسنجی.

چکیده

قابل رؤیت بودن محیط اطراف برای کاربر نیازمند وجود نور کافی در فضا است، به طوری که فرد بدون خستگی چشم ناشی از انطباق‌های متوالی با نور کم یا زیاد قادر به انجام فعالیت خویش باشد. امروزه به کمک ابزارهای شبیه‌سازی و با بهره‌گیری از شاخص‌های منتج از مطالعات میدانی متخصصین، امکان تخمین و محاسبهٔ روشنایی و پیش‌بینی میزان رضایتمندی کاربران از شرایط نوری فضا فراهم است؛ پژوهش حاضر با هدف تعیین کارآمدترین شاخص در حوزهٔ کفایت نور روز، رتبه‌بندی شاخص‌های این حوزه از نظر میزان هماهنگی با ارزیابی ذهنی کاربران، و بررسی میزان تطابق حدود قابل قبول تعریف‌شده، طرح‌ریزی شده است. بدین منظور ناحیهٔ روشن پیش‌بینی‌شده به کمک شاخص‌های روشنایی افقی (E)، فاکتور نور روز (DF)، نور روز قابل استفاده (UDI)، و اتونومی فضایی نور روز (sDA) از طریق شبیه‌سازی با محدودهٔ روشن ترسیمی از سوی ۳۸۶ دانشجوی معماری در ۲۰ آتلیهٔ طراحی متعلق به دانشگاه‌های شهر تهران مقایسه شد. طبق نتایج، ذهن کاربران روشنایی افقی ۱۲۵ لوکس را مرز بین ناحیهٔ تاریک و تقریباً روشن و ۳۵۰ لوکس را مرز تفکیک ناحیهٔ تقریباً روشن و روشن می‌گیرد. در میان شاخص‌های استاتیک، DF>۲٪ و در میان شاخص‌های دینامیک مبتنی بر اقلیم، محدوده‌های «کاملاً روشن» مشخص‌شده به کمک شاخص sDA با در نظر گرفتن مقدار ۳۰۰ لوکس، برای حد پایین روشنایی، مطابقت بیشتری با ارزیابی کاربران دارد.

مقدمه

در دهه‌های اخیر کارشناسان با توجه به لزوم کاهش مصرف انرژی و همچنین تأثیرات مثبت فیزیکی و روانی نور طبیعی بر کاربرانْ استفاده از نور روز در ساختمان‌ها را یکی از جنبه‌های اصلی طراحی مطرح می‌کنند.[5] در فضاهای آموزشی استفادهٔ حداکثری از نور طبیعی و تأمین رضایتمندی بصری سبب ارتقای کیفیت محیط و افزایش سطح سلامت جسمی و روحی دانش‌آموزان و افزایش کارایی آنان می‌شود.[6] این موضوع در آتلیه‌های طراحی معماری، به سبب نیازهای نوری ویژه در فعالیت‌های متنوع دانشجویان (کار با قلم و کاغذ، کار

۱. ایـــن مقاله برگرفتـــه از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد نویسندهٔ اول است با عنوان *کارایی شاخص‌های نور روز در تخمین کیفیت روشـــنایی فضا مبتنی بر ترجیحات بصـــری کاربران؛ نمونهٔ موردی: تعدادی از فضاهای آموزشی دانشکده‌های معماری شهر تهران* که با راهنمایی نگارندگان دوم و ســـوم در دانشـــکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشـــتی در بهمن‌ماه سال ۱۳۹۷ دفاع شده است.

۲. کارشناس ارشد، معماری و انرژی، دانشگاه شهید بهشتی
n.shafavi@yahoo.com
۳. نویسندهٔ مسئول
z_zomorodian@sbu.ac.ir
4. m_tahsildoost@sbu.ac.ir

۵. نک:
L. Edwards & P. Torcellini, "Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupant".

www.SID.ir

Archive of SID

با رایانه، و...)، طولانی بودن مدت حضور کاربران، و همچنین گسترده بودن طیف سنی آنان (اساتید و دانشجویان) در این‌گونه فضاها اهمیت ویژه‌ای می‌یابد[۷]. از این رو لازم است برای تحقق شرایط نوری مناسب در این فضاها مشخص شود که منظور از شرایط نوری مطلوب چیست، عوامل مؤثر بر آن کدامند و چگونه می‌توان به ارزیابی درست عملکرد نور در فضا پرداخت تا از وقوع شرایط آزاردهندهٔ بصری برای کاربران پیشگیری شود. فراهم‌آوری شرایط نوری به گونه‌ای که آسایش بصری کاربران تأمین شود و پیام‌های دیداری به‌وضوح از محیط دریافت گردند، متأثر از عوامل مختلفی است که مقدار نور، میزان یکنواختی توزیع آن، میزان وقوع انعکاس‌های آزاردهنده و خیرگی، دمای رنگ نور، و همچنین مقدار و کیفیت دید به بیرون از جملهٔ آن‌ها است و در استانداردهای نوری مقادیر بهینه برای این عوامل بیان شده است[۸]. برای ارزیابی عملکرد ساختمان‌های در حال بهره‌برداری و یا پیش‌بینی عملکرد آن‌ها در مرحلهٔ طراحی و پیش از ساخت در هر یک از بخش‌های مذکور از شاخص‌هایی استفاده می‌شود که نمایندهٔ چند متغیر همگن با ارزش‌های مختلف هستند و پس از ترکیب، نهایتاً در قالب یک محدوده یا ارزش بیان می‌شوند. هدف در این مقاله، بررسی میزان قابل اعتماد بودن نتایج حاصل از شاخص‌های مربوط به عامل اول یعنی کافی بودن مقدار نور در فضا است و به این منظور جامعهٔ آماری در این پژوهش آتلیه‌های طراحی دانشکده‌های معماری شهر تهران در نظر گرفته شدند. شناخت انتظارات کاربران فضاهای آموزشی با کاربری آتلیهٔ طراحی معماری در کشور ایران و شهر تهران نیازمند تحقیقات بیشتری است و انجام این پژوهش می‌تواند بخشی از این مطالعات باشد و به طراحی فضاهای آموزشی مطلوب و هماهنگ با نیازهای کاربران در این منطقهٔ جغرافیایی کمک کند. ضمن آنکه آشنایی دانشجویان این رشته با مفاهیم مورد پرسش و همچنین توانایی درک و خواندن پلان فضا موجب می‌شود فرایند جمع‌آوری اطلاعات از طریق پرسش‌نامه تسهیل شود و نتایج دقیق‌تری به دنبال داشته باشد. در این تحقیق در پی یافتن پاسخ پرسش‌های اصلی ابتدا، با مطالعهٔ مبانی نظری و مرور سوابق تحقیقات گذشته، محدوده‌ها و شاخص‌های رایج مورد استفاده تعیین می‌شود. سپس، با تدوین روش تحقیق، ابزار و شرایط آن تبیین می‌گردد و بعد در قالب نتایجْ تحلیل و جمع‌بندی می‌شود.

پرسش‌های تحقیق

۱. به کمک کدام شاخص ارزیابی می‌توان تفسیر دقیق‌تری از ارزیابی ذهنی کاربران در خصوص کفایت روشنایی نور روز در یک فضا عرضه کرد؟

۲. در ذهن کاربر چه مقدار روشنایی بر حسب لوکس را می‌توان معیار روشن یا تاریک بودن فضا محسوب کرد؟

۳. عوامل بروز اختلاف میان ارزیابی کاربران و شاخص‌ها کدامند؟

۴. میزان مطابقت ضوابط سیستم ارزیابی لیید با ادراک ذهنی کاربران در تشخیص نواحی روشن فضا چقدر است؟

۶. نک:
R. Küller & C. Lindsten, "Health and Behavior of Children in Classrooms with and without Windows"; R.P. Leslie, "Capturing the DayLight Dividend in Buildings: why and how?; Heschong Mahone Group, "Windows and Classrooms: As Study of Student Performance and the indoor Environment".

۷. نک:
L. Bellia & M. Musto & G. Spada, "Illuminance Measurements through HDR Imaging Photometry in Scholastic Environment".

۸. نک:
J.Y. Garretón & R. Rodriguez & A. Pattini, "Effects of Perceived indoor Temperature on DayLight Glare Perception".

www.SID.ir

Archive of SID

۱. کفایت نور روز و روش‌های ارزیابی آن

قابل رؤیت بودن محیط اطراف به طور مناسب و به گونه‌ای که کاربر قادر به انجام فعالیت خویش باشد، نیازمند وجود نور کافی در فضا است. مقدار نور در فضا باید به گونه‌ای باشد که کاربر بتواند فعالیت خود را بدون مشکل و خستگی چشمِ ناشی از انطباق‌های متوالی با نور کم یا زیاد ادامه دهد.[۹] ارزیابیِ روشنایی روز در فضا می‌تواند به کمک شاخص‌ها و با دو روش اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی رایانه‌ای انجام گیرد. در سال‌های اخیر با پیشرفت‌های مهم و تأثیرگذار نرم‌افزارهای رایانه‌ای، ارزیابی عملکرد ساختمان با استفاده از شبیه‌سازی رو به افزایش است. در ارزیابی شرایط نوری فضا به کمک شبیه‌سازی رایانه‌ای لازم است تا، ضمن مشخص کردن مواردی از قبیل هندسه و فرم فضا، ویژگی‌های مصالح و منابع نوری (خورشید و آسمان) به مثابهٔ اطلاعات ورودی برای نرم‌افزار در نظر گرفته شود، شبکه‌ای از حسگرها در ارتفاع معینی (عموماً در ارتفاع سطح کار) تعیین شود، و به کمک داده‌های روشنایی به‌دست‌آمده در محل هر یک از این حسگرها، شاخص‌های مربوطه محاسبه شود و درنهایت، با کمک مقایسه با مقادیر توصیه‌شده در استانداردها و آیین‌نامه‌های نوری، تفسیر درستی از نتایج صورت گیرد و میزان رضایت کاربر از کفایت نور در فضا پیش‌بینی شود[۱۰]. «شدت روشنایی»[۱۱] کمیتی است که هم به طور مستقیم و هم غیر مستقیم و در محاسبهٔ شاخص‌های دیگر اطلاعات اولیه محسوب می‌شود و شامل شار نوری است که در واحد سطح دریافت و با واحد لومن بر متر مربع[۱۲] یا لوکس[۱۳] اندازه‌گیری و با نماد E نمایش داده می‌شود[۱۴]. شاخص‌های نورسنجی از نظر محدودهٔ زمانیِ مورد ارزیابی و در نظر گرفتن شرایط آسمان به دو گروه استاتیک[۱۵] و دینامیک[۱۶] تقسیم‌بندی می‌شوند. با شاخص‌های استاتیک ارزیابی برای یک وضعیت ثابت انجام می‌شود و شاخص «فاکتور نور روز»[۱۷] (DF) از جملهٔ آن‌ها است[۱۸]. مقدار این شاخص برابر است با نسبت بین روشنایی در داخل فضا و روشنایی در خارج از فضا در محیط بدون مانع تحت شرایط آسمان ابری[۱۹] و برای هر نقطهٔ مشخص از سطح کار به طور مجزا محاسبه می‌شود؛ اما عموماً با میانگین‌گیری در قالب یک عدد منفرد و برای ارزیابی کل یک فضا استفاده می‌شود و آستانهٔ آن با توجه به نوع فعالیت از ۲٪ تا ۵٪ متغیر است.[۲۰] به‌مرور زمان و با آشکار شدن محدودیت‌های رویکرد استاتیک، شاخص‌های دینامیک معرفی شدند که به سبب در نظر گرفتن پارامترهای طراحی، اقلیم و تغییرات وضعیت آسمان و به تبع آن تغییرات روشنایی بر اساس داده‌های هواشناسی، ارزیابی شرایط نوری فضا و آسایش بصری کاربران را در طول سال امکان‌پذیر می‌کنند[۲۱]. چون در این شاخص‌ها تغییرات آب‌وهوایی در نظر گرفته می‌شود، نتایج جامع‌تری به دست می‌دهند و عموماً برای ارزیابی‌های سالانه توسط شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای استفاده می‌شوند[۲۲] و از جملهٔ آن‌ها می‌توان به «روشنایی قابل استفادهٔ نور روز»[۲۳] (UDI) اشاره کرد، این شاخص نسبتی از دورهٔ اشغال در طول یک سال است که روشنایی افقی در یک نقطهٔ مشخص، در محدودهٔ معینی باشد. با در نظر گرفتن مقادیر حد پایین و حد بالای روشنایی، محدودهٔ زمانی ارزیابی‌شده به سه قسمت تقسیم می‌شود: مدت زمانی که روشنایی ناشی از نور روز بسیار کم است ($UDI_{underlit}$)، مقدار مناسبی دارد (UDI_{useful}) و یا به‌قدری زیاد است ($UDI_{overlit}$) که منجر به نبود آسایش بصری می‌شود[۲۴]. مقادیر تعیین‌شدهٔ حد بالا و پایین برای این شاخص در منابع مختلف متفاوت است، اما عموماً مقدار ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس با عنوان محدودهٔ کفایت نور پیشنهاد می شود.[۲۵] «کفایت (اتونومی) نور روز»[۲۶] (DA) شاخص دینامیک دیگری است که کافی بودن نور روز در فضای داخلی را نشان می‌دهد و برابر است با درصدی از دورهٔ زمانی اشغال فضا در طول یک سال که در آن مقدار روشنایی مورد نیاز در نقطه‌ای معین از فضا به‌تنهایی توسط روشنایی طبیعی قابل تأمین باشد. انجمن مهندسی روشنایی[۲۷] ۵۰٪ sDA300, را برای تحلیل کفایت نور

۹. نک:
BSI, "BS EN 12665:2011 Light and Lighting - Basic Terms and Criteria for Specifying Lighting Requirements".

۱۰. نک:
L. Heschong, *DayLight Metrics : PIER DayLighting Plus Research Program: Final Project Report*.

11. Illuminance
12. lm/m2
13. lux

۱۴. نک: زهـــرا قیابکلو، *مبانی فیزیک ساختمان۳: روشنایی الکتریکی*، ص ۴۷.

15. static Metric
16. dynamic Metric
17. DayLight Factor

۱۸. نک:
R.G. Hopkinson, *DayLighting*.

۱۹. نک:
C.F. Reinhart & J. Mardaljevic & Z. Rogers, "Dynamic DayLight Performance Metrics for Sustainable Building Design".

۲۰. نک:
CIBSE/SLL, "Lighting Guide 10: DayLighting and Windows Design,"; A. Nabil & J. Mardaljevic, "Useful DayLight Illuminance: A New Paradigm for Assessing DayLight in Buildings".

۲۱. نک:
Reinhart & Mardaljevic & Rogers, ibid.

www.SID.ir

Archive of SID

پیشنهاد می‌کند، یعنی درصدی از نقاط سطح که روشنایی بیش از ۳۰۰ لوکس را در حداقل ۵۰٪ زمان اشغال (از ساعت ۸ الی۱۸) دریافت می‌کنند. برای پیش‌بینی میزان رضایت کاربر از فضا لازم است تا برای شاخص‌های مذکور مقادیر مبنایی در نظر گرفته شود تا هرگاه مقدار محاسبه‌شده برای شاخصی در نقطه‌ای از فضا بیش از مقدار توصیه‌شده باشد، آن نقطه با عنوان «نقطهٔ روشن» محسوب شود و درنهایت فضا به دو بخش روشن و تاریک قابل تقسیم باشد[۲۸]. مقادیر توصیه‌شده در یکی از پرکاربردترین سیستم‌های ارزیابی ساختمان‌های سبز به نام لیید برای شاخص‌هایی که پیش از این معرفی شدند، مطابق «جدول ۱» است.

۲. پیشینهٔ تحقیق

در طی سال‌های ۱۹۴۹ تا ۲۰۱۸، تحقیقات متعددی در حوزهٔ آسایش بصری انجام گرفته که در تعدادی از آن‌ها، با کمک مقایسهٔ ارزیابی‌های حاصل از روش میدانی و شبیه‌سازی رایانه‌ای، به اعتبارسنجی این شاخص‌ها از نظر هماهنگی با نظرات کاربران پرداخته شده است، نتایج برخی از این تحقیقات نشان می‌دهد که رعایت موارد تعیین‌شده در آیین‌نامه‌ها و به دست آمدن مقادیر قابل قبول برای شاخص‌های مورد تأیید در آن‌ها، لزوماً منجر به دستیابی به محیطی نمی‌شود که با ترجیحات بصری کاربران همخوانی داشته باشد[۲۹]. در تعدادی از پژوهش‌های مذکور، برای آگاهی از میزان رضایت کاربر، از پرسش‌نامهٔ گزینه‌ای و مطرح کردن سؤالاتی از قبیل «مقدار روشنایی را در این فضا چگونه ارزیابی می‌کنید؟» استفاده شده و پاسخ‌گویی به آن با استفاده از طیف لیکرت انجام گرفته است[۳۰]. در برخی از پژوهش‌ها نیز، به کمک پرسش‌نامهٔ ترسیمی، از هر کاربر خواسته شده تا، با ترسیم خطوطی روی پلان فضا، محدودهٔ دارای روشنایی کافی را مشخص کند[۳۱]. به این ترتیب نتایج به‌دست‌آمده از هر یک از دو روش یادشده با نتایج شبیه‌سازی‌ها قابل مقایسه خواهد بود. به دلیل وسعت و تنوع پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه، از نظر روش کار، کاربری مورد بررسی، و...، و با توجه به موضوع تحقیق پژوهش حاضر، در ادامه تنها تحقیقاتی معرفی شده‌اند که در آن‌ها با استفاده از پرسش‌نامهٔ ترسیمی به مقایسهٔ شاخص‌های مربوط به کفایت نور با ارزیابی ذهنی کاربران پرداخته‌اند.

برای اولین بار رینهارت و وایزمن در سال ۲۰۱۲ طی پژوهشی از دانشجویان یک آتلیهٔ طراحی در دانشگاه کمبریج امریکا خواستند تا نواحی روشن و تاریک فضا را با ترسیم خطوطی روی پلان کلاس از هم متمایز کنند. با میانگین‌گیری از جواب‌های دانشجویان (میانگین فاصلهٔ عمودی از محدوده‌های ترسیم‌شده تا جبههٔ دارای پنجره) و مقایسهٔ آن با محدوده‌های روشن و تاریکی که با توجه به بازهٔ تعیین‌شده در استانداردهای نوری از ارزیابی‌های شاخص‌ها حاصل شده بود، مشخص شد که شاخص sDA با در نظر گرفتن ۳۰۰ لوکس، به منزلهٔ حداقل روشنایی، بیشترین هماهنگی را با نظر کاربران داشته است. این در حالی است که شاخص‌های DF و UDI در این زمینه عملکرد ضعیفی داشته‌اند[۳۲]. همین محققان در پژوهش دیگری در سال ۲۰۱۴، اعتبار شاخص sDA را، با روشی مشابه اما این بار به کمک میانگین‌گیری فضایی برای جمع‌بندی پاسخ‌های کاربران

جدول ۱. ضوابط مربوط به کفایت نور در سیستم ارزیابی لیید، تدوین: نگارندگان.

شاخص	سیستم ارزیابی	شرح ضابطه
فاکتور نور روز (DF)	لیید ۲	در حداقل ۷۵٪ از مساحت فضا، فاکتور نور روز بیش از ۲٪ باشد.
مقدار روشنایی (E)	لیید ۳	حداقل ۷۵٪ از مساحت فضا، در اعتدال پاییزی در ساعات ۹ صبح و ۳ بعد از ظهر، حداقل ۱۰ فوت کندلا (۱۰۸ لوکس) و حداکثر ۵۰۰ فوت کندلا (۵۴۰۰ لوکس) روشنایی دریافت کند.
	لیید ۴	حداقل ۷۵٪ از مساحت فضا، در اعتدال پاییزی در ساعات ۹ صبح و ۳ بعد از ظهر، تحت شرایط آسمان صاف، روشنایی بین ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس دریافت کند.
کفایت نور روز فضایی (sDA)	لیید ۴	درصدی از فضا که مقدار روشنایی حداقل ۳۰۰ لوکس را برای زمان حداقل ۵۰٪ از زمان اشغال فضا در یک سال (با احتساب ۱۰ ساعت اشغال در هر روز) دریافت کند، ۵۵٪ و یا بیشتر باشد.

۲۲. نک:
S. Carlucci & F. Causone & F. De Rosa & L. Pagliano, "A Review of Indices for Assessing Visual Comfort with a View to their Use in Optimization Processes to Support Building Integrated Design".
23. Useful DayLight Illuminance

۲۴. نک:
A. Nabil & J. Mardaljevic, "Useful DayLight Illuminances: A Replacement for DayLight Factors".

۲۵. نک:
J.A. Jakubiec, "The Use of ←

www.SID.ir

Archive of SID

(روشن و نیمه‌روشن تلقی شدن محدوده‌هایی که به‌ترتیب در ۷۵٪ و بین ۲۵٪ و ۷۵٪ از ترسیمات جزء نواحی روشن محسوب شده‌اند)، در ۱۱ فضای آموزشی واقع در کشورهای برزیل، کانادا، مصر، و امریکا بررسی کردند. دقت قابل قبول در ارزیابی‌های حاصل‌شده از به‌کارگیری شاخص مذکور نشان داد که استفاده از شاخص‌های دینامیک در طراحی‌ها و استانداردها نتایج مثبتی به دنبال خواهد داشت. این محققان، ضمن دادن تعریفی از فضای نیمه‌روشن، مقادیر ۳۰۰ و ۱۵۰ لوکس را به سبب بیشترین مطابقت با تعریف ذهنی کاربر به‌ترتیب برای حد پایین روشنایی برای نواحی روشن و نیمه‌روشن پیشنهاد کردند[۳۳].

نظام‌دوست و ویملنبرگ، با روش مشابهی، بار دیگر کارایی شاخص sDA را ارزیابی کردند و مقادیر ۱۰۰ و ۲۵۰ لوکس را به‌ترتیب مرز بین محدوده‌های تاریک و نیمه‌روشن و نیمه‌روشن و روشن پیشنهاد کردند. طبق نتایج در عمدهٔ فضاها عملکرد sDA قابل قبول بود؛ اما در فضاهای فاقد پنجره به بیرون یا دارای نورگیر سقفی اختلاف فاحشی میان نظر کاربران و نتایج ارزیابی شاخص مذکور مشاهده شد.[۳۴]

در پژوهش منکیوتو و همکاران نیز اختلاف قابل توجهی میان نتایج حاصل از به‌کارگیری شاخص sDA در شبیه‌سازی با نظرات کاربران مشاهده شد.[۳۵]

در «جدول ۲» تحقیقات مشابه معتبر برگرفته از مجلات *Building and Environment*، *LEUKOS*، و *Solar*

جدول ۲. مشخصات پژوهش‌های انجام‌گرفته با موضوع بررسی کارایی شاخص‌های معمول در حوزهٔ نور روز به کمک پرسش‌نامهٔ ترسیمی، تدوین: نگارندگان.

کاربری	کشور	شاخص‌ها	نرم‌افزار	هدف	نتیجه	روش تحقیق	تعداد فضا	تعداد پاسخ‌دهنده	منبع
آتلیهٔ طراحی	امریکا	DF, sDA, UDI	دیوا (DIVA)	بررسی توانایی شاخص‌های نورسنجی در پیش‌بینی شرایط نوری فضا از نظر تطابق با ارزیابی‌های کاربران	هماهنگی قابل قبول ارزیابی ذهنی کاربران با شاخص sDA با در نظر گرفتن ۳۰۰ لوکس به ازای آستانه. شاخص‌های DF و UDI مساحت فضای با روشنایی کافی را به‌ترتیب کمتر و بیشتر از آنچه در واقعیت هست، پیش‌بینی می‌کنند.	پرسش‌نامه ـ اندازه‌گیری ـ شبیه‌سازی	۲	۶۰	Reinhart & Weissman, "The Daylit Area - Correlating Architectural Sstudent Assessments with Current and Emerging Daylight Availability Metrics"
کلاس درس، آتلیهٔ طراحی	برزیل، کانادا، مصر، امریکا	sDA	دیوا	بررسی توانایی شاخص‌های نورسنجی در پیش‌بینی شرایط نوری فضا از نظر تطابق با ارزیابی‌های کاربران ــ پیشنهاد حد پایین و بالای روشنایی برای تعیین نواحی تاریک و روشن به کمک شاخص sDA	هماهنگی قابل قبول ارزیابی ذهنی کاربران با شاخص sDA در فضاهایی که به طور یکنواخت تاریک و یا روشن نباشند. پیشنهاد مقادیر ۳۰۰ و ۱۵۰ لوکس به‌ترتیب برای حد پایین روشنایی برای نواحی روشن و تقریباً روشن طبق بیشترین هماهنگی با تعریف ذهنی کاربر	پرسش‌نامه ـ اندازه‌گیری ـ شبیه‌سازی	۱۳	۳۴۱	Reinhart &. Rakha & Weissman, "Predicting the Daylit Area - A Comparison of Students Assessments and Simulations at eleven Schools of Architecture".
کلاس درس	اندونزی	DF, sDA, UDI	ریدینس (radiance)، دِی‌سیم (Daysim)	بررسی صحت معیارهای ارزیابی استانداردهای نوری و شاخص‌های نورسنجی معمول از نظر تطابق با ادراک کاربران از شرایط نوری محیط	هماهنگی بیشتر قواعد سرانگشتی نفوذ نور با ارزیابی کاربران نسبت به شاخص‌ها ــ اختلاف زیاد میان نتایج حاصل از به‌کارگیری شاخص sDA در شبیه‌سازی با نظرات کاربران	پرسش‌نامه ـ اندازه‌گیری ـ شبیه‌سازی	۵	۳۰(ثابت)	Mangkuto & Asri & Rohmah & Nugroho Soelami & Soegijanto, "Revisiting the National Standard of Daylighting in Indonesia: A Study of five Daylit Spaces in Bandung".
کلاس درس، درس، اداری، سایر	امریکا	sDA, ASE, cDA	ریدینس	مقایسهٔ درک کاربر از فضای روشن و مقایسهٔ آن با نتایج ارزیابی شاخص‌ها ــ پیشنهاد حد پایین و بالای روشنایی برای تعیین نواحی تاریک و روشن (چه مقدار روشنایی از طرف کاربران کاملاً روشن، تقریباً روشن، یا تاریک تلقی می‌شود)	هماهنگی قابل قبول شاخص sDA در عمدهٔ فضاهای مورد بررسی. پیشنهاد مقادیر ۱۰۰ و ۲۵۰ لوکس به‌ترتیب برای مرز بین محدوده‌های تاریک و تقریباً روشن و تقریباً روشن و روشن	پرسش‌نامه ـ اندازه‌گیری ـ شبیه‌سازی	۲۲	۲۶۰	Nezamdoost & Van Den Wymelenberg, "Revisiting the Daylit Area: Examining Daylighting Performance Using Subjective Human Evaluations and Simulated Compliance with the LEED Version 4 Daylight Credit".

www.SID.ir

Archive of SID

Energy معرفی شده‌اند. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که میان ارزیابی‌های حاصل از تفسیر مقادیر شاخص‌های نورسنجی موجود و ارزیابی ذهنی کاربران رابطهٔ قوی‌ای نیست و در آیین‌نامه‌های نوری لازم است شاخص‌های مورد استفاده برای ارزیابی نور روز و محدوده‌های مشخص‌شده برای آن‌ها بر پایهٔ انجام تحقیقات میدانی متناسب با نوع کاربری و منطقهٔ جغرافیایی و با در نظر گرفتن ترجیحات بصری کاربران تعیین شوند تا پیش‌بینی دقیق‌تری از کیفیت آسایش بصری در فضا انجام گیرد.

۳. روش تحقیق

به طور کلی مراحل تحقیق حاضر، که متشکل از دو روش میدانی و شبیه‌سازی است، به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

۱) ارزیابی محدودهٔ روشن در فضاهای مورد بررسی توسط کاربران،[۳۶]

۲) شبیه‌سازی نور روز در فضاهای مذکور به صورت لحظه‌ای و سالانه مبتنی بر اقلیم برای تولید داده‌های روشنایی، به طوری که نزدیک به واقعیت و نمایانگر تجربهٔ کاربر از شرایط نوری فضا باشد،

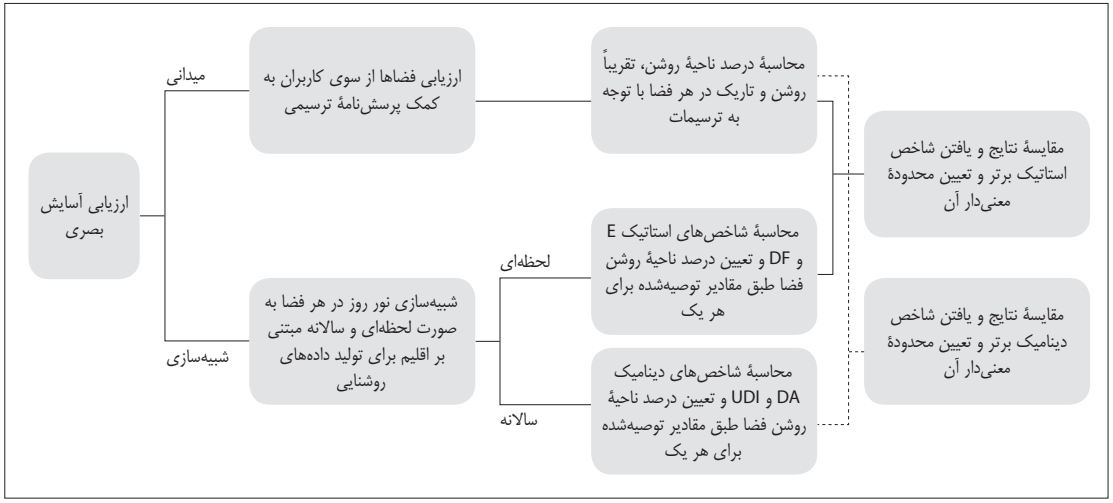
۳) استفاده از نتایج شبیه‌سازی برای محاسبهٔ شاخص‌های E، DA، DF و UDI،

۴) مقایسهٔ ارزیابی‌های ترسیمی کاربران با ارزیابی‌های انجام‌گرفته به کمک شاخص‌ها.

خلاصه‌ای از فرایند تحقیق در «تصویر ۱» ارائه شده است.

۳. ۱. بخش میدانی

از میان فضاهای آموزشی ۱۱ دانشکدهٔ هنر و معماری موجود در شهر تهران، ۲۰ آتلیهٔ طراحی معماری (۸، ۵، و ۷ آتلیه به‌ترتیب متعلق به دانشکده‌های معماری هنرهای زیبا، شهید بهشتی، و علم و صنعت)، به سبب ویژگی‌های فضایی و داشتن امکان دسترسی برای جمع‌آوری داده‌های لازم و توزیع پرسش‌نامه میان دانشجویان، با عنوان جامعهٔ نمونه انتخاب شدند. آتلیه‌های معماری مورد بررسی نیز به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که از نظر جهت‌گیری، نوع نورگیر (اعم از دیواری، سقفی، زیر سقفی، و...)،



تصویر ۱. روش انجام تحقیق، تدوین: نگارندگان.

26. DayLight Autonomy
27. IES: Illuminating Engineering Society

۲۸. نک:
C.F. Reinhart & D.A. Weissman, "The Daylit Area - Correlating Architectural Student Assessments with Current and Emerging DayLight Availability Metrics".

۲۹. نک:
Ibid; A. Nezamdoost & K.G. Van Den Wymelenberg, "Revisiting the Daylit Area: Examining DayLighting Performance Using Subjective Human Evaluations and Simulated Compliance with the LEED Version 4 DayLight Credit"; A. Handina & N. Mukarromah & R.A. Mangkuto & R.T. Atmodipoero, "Prediction of DayLight Availability in a Large Hall with Multiple Facades Using Computer Simulation and Subjective Perception"; R.A. Mangkuto & A.D. Asri & M. Rohmah & F.X. Nugroho Soelami & R.M. Soegijanto, "Revisiting the National Standard of DayLighting in Indonesia: A Study of five Daylit Spaces

www.SID.ir

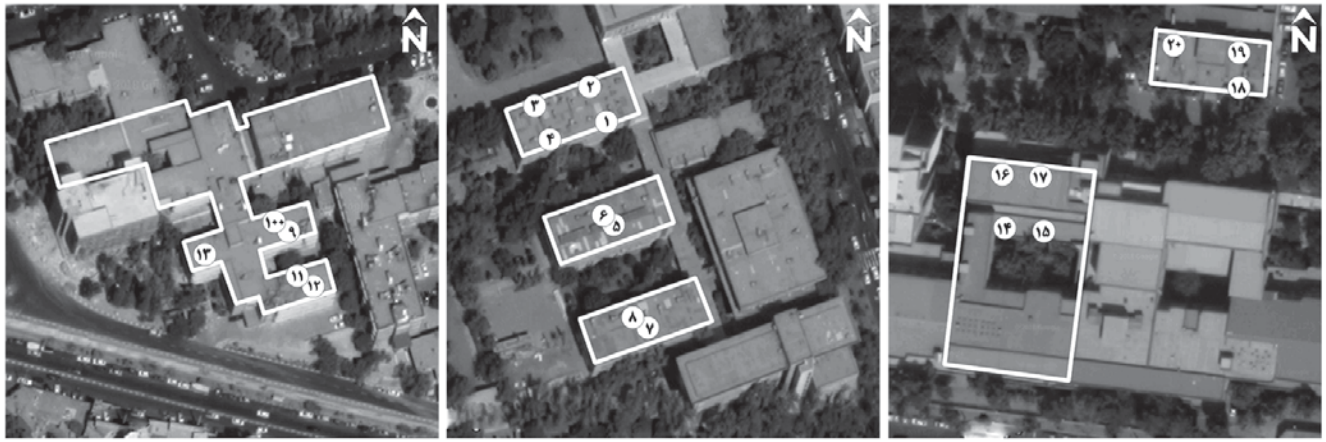
Archive of SID

نسبت جدارهٔ شفاف به کدر، سیستم‌های کنترل‌کنندهٔ نوری، آرایش مبلمان فضا، و... متفاوت و حداکثر تنوع در شرایط نوری را داشته باشند. نقشهٔ هوایی محل قرار گیری آتلیه‌های مورد بررسی در «تصویر ۲» نشان داده شده است.

از ۲۰ آتلیهٔ مورد بررسی، ۲۰٪ آن‌ها نورگیر شمالی دارند، ۲۵٪ دارای نورگیر جنوبی هستند، و ۴۵٪ نیز در هر دو جبههٔ شمالی و جنوبی دارای نورگیرند. تنها یک آتلیه جبههٔ نورگیر غربی و یک آتلیه جبههٔ نورگیر شرقی دارد. آتلیه‌های منتخب دارای انواع مختلف نورگیر شامل نورگیرهای سقفی، زیر سقفی و جانبی (دیواری) هستند و یک‌چهارم کل آتلیه‌ها دارای طاقچهٔ نوری هستند. مساحت آتلیه‌ها مقادیری بین ۵۲ تا ۲۴۳ متر مربع داشته و درصد جدارهٔ شفاف به کدر[۳۷] (WWR) در آن‌ها بین ۱۰٪ و ۴۰٪ متغیر است. همچنین نسبت جدارهٔ شفاف به مساحت کف[۳۸] (WFR) در آن‌ها مقداری بین ۳٪ تا ۳۵٪ است. اکابهٔ پنجره‌ها از ۱ تا ۱٫۲۰ متر متغیر است و ارتفاع بالای پنجره‌ها نیز در بازهٔ صفر تا ۱٫۸ متر قرار دارد. لازم به ذکر است سه فضا بدون مانع خارجی قابل توجه برای نورگیری هستند و در باقی فضاها درخت‌ها و ساختمان‌های واقع در نزدیکی نورگیرها، در بیشتر مواقع موجب سایه‌اندازی و یا سد کردن تابش مستقیم خورشید می‌شوند. نوع شیشهٔ به‌کاررفته در نمونه‌های مورد بررسی از نوع تک‌جدارهٔ شفاف و ضریب عبور نور روز[۳۹] (VLT) آن‌ها بین ۰٫۷ و ۰٫۸۲ با مقدار میانگین ۰٫۷۶ است. در این پژوهش از دانشجویان حاضر در آتلیه‌های مذکور (با محدودهٔ سنی ۱۸ الی ۳۰ سال) که مدت زمان کافی (حداقل دو ماه) را در فضاهای مورد بررسی گذرانده بودند و به سبب تجربهٔ شرایط نوری آن فضا، توانایی ارزیابی آسایش بصری در درازمدت را داشتند، خواسته شد تا محدوده‌ای از کلاسشان را که به طور میانگین در طول سال روشنایی کافی دریافت می‌کند، با ترسیم خط بسته‌ای روی نقشهٔ فضا، که در اختیارشان بود، مشخص کنند. تعداد پاسخ‌دهندگان پرسش‌نامه‌ها در هر فضا، بسته به تعداد حاضران، متغیر بوده و از هر فرد تنها برای ارزیابی یک فضا استفاده شده و در کل ۳۸۶ ارزیابی صورت گرفته است. پرسش‌نامه‌ها در طول ماه‌های اسفند و اردیبهشت و اوایل ماه خرداد توزیع شده و وضعیت آسمان متغیر بوده است. بر اساس مقیاس یک‌دهم برای بیان میزان ابرناکی[۴۰]، در ۳۵٪ از روزهای توزیع پرسش‌نامه، آسمان صاف (پوشش ابر در آسمان کمتر از

in Bandung"; K.G. Van Den Wymelenberg, "Evaluating Human Visual Preference and Performance in an Office Environment Using Luminance-based Metrics"; Y. Bian & T. Luo, "Investigation of Visual Comfort Metrics from Subjective Responses in China: A Study in Offices

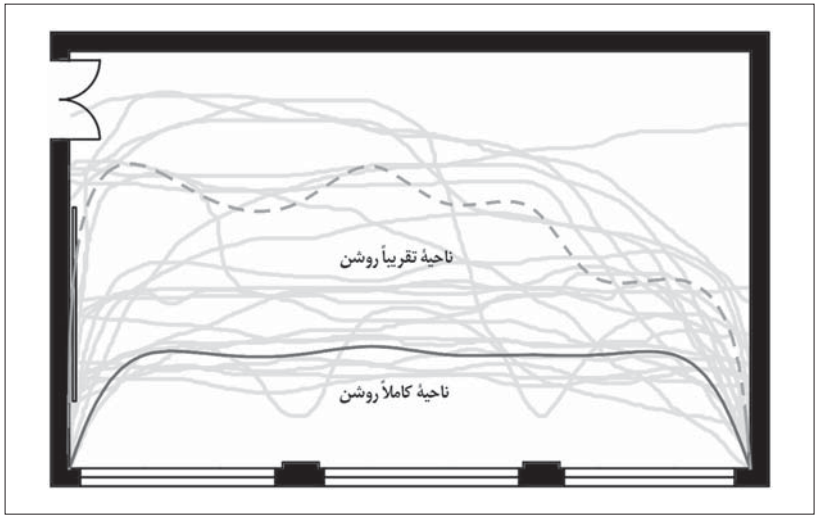
تصویر ۲. به ترتیب از راست به چپ: تصاویر هوایی از ساختمان دانشکده‌های علم و صنعت، هنرهای زیبا و شهید بهشتی به همراه محل قرار گیری نمونه‌های مورد مطالعه؛ برگرفته از http://maps.google.com.



www.SID.ir

Archive of SID

(۰/۱)، در ۴۴٪ از روزها آسمان نیمه‌ابری (پوشش ابر در آسمان بین ۰/۱ تا ۰/۵) و در ۲۰٪ روزها آسمان ابری (پوشش ابر در آسمان بین ۰/۵ تا ۰/۹) بوده است. لازم به ذکر است که در همهٔ روزها تابش مستقیم خورشید بود و از توزیع پرسش‌نامه در روزهای کاملاً ابری، بارانی، و یا مه‌آلود اجتناب شده است. زمان توزیع پرسش‌نامه‌ها عمدتاً بین ساعات ۱۱ الی ۱۳ بوده (به‌جز چهار آتلیه که زمان شروع کلاس ساعت ۱۴ بوده و به‌ناچار پرسش‌نامه بین ساعات ۱۴ و ۱۵ توزیع شده است) و هنگام توزیع پرسش‌نامه اثر سایه‌بان داخلی و روشنایی مصنوعی حذف شده (لامپ‌ها خاموش و پرده‌ها کنار زده شدند) و پاسخ‌گویی به سؤالات تنها در شرایط تابش نور طبیعی انجام گرفته است. به این نکته باید توجه شود که متغیر بودن محل قرارگیری کاربران در داخل فضا در طول برگزاری کلاس در یک ترم و همچنین متأثر بودن ارزیابی‌ها از شرایط تجربه‌شده در گذشتهٔ نزدیک کاربران ــ نه در طولانی‌مدت ــ ناگزیر موجب کاهش دقت در داده‌های حاصل از پرسش‌نامه‌ها می‌شود و به همین دلیل سعی شده است تا تعداد ارزیابی‌های مربوط به هر فضا، حداکثر مقدارِ ممکن باشد. نمونه‌ای از ترسیمات کاربران مربوط به ناحیهٔ روشن آتلیهٔ شمارهٔ ۱۸، در «تصویر ۳» قابل مشاهده است. هم‌زمان با پاسخ‌گویی کاربران به پرسش‌نامه، روشنایی افقی در ارتفاع سطح کار (حدوداً ۰/۸ متر از کف) در شش نقطه از فضا، با استفاده از نورسنج TES1332A اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین محدودهٔ روشن و تقریباً روشن هر فضا طبق نظر کاربران، ارزیابی‌های ترسیمی مربوط به هر کلاس نقطه‌یابی شد و به کمک نرم‌افزار اکسل[۴۱] چارک اول و سوم فواصل ترسیمات تا جبههٔ دارای پنجره محاسبه شد (تصویر ۳).



with DayLight"; S.S. Korsavi & Z.S. Zomorodian & M. Tahsildoost, "Visual Comfort Assessment of Daylit and Sunlit Areas: A Longitudinal Field Survey in Classrooms in Kashan, Iran".

تصویر ۳ (راست). نمونه‌ای از ترسیمات کاربران مربوط به آتلیهٔ شماره ۱۸ (خطوط خاکستری نشان‌دهندهٔ ناحیهٔ روشن ترسیمی توسط هر یک از پاسخ‌دهندگان و خطوط ساده و خط‌چین به‌ترتیب مشخص‌کنندهٔ ناحیهٔ «کاملاً روشن» و ناحیهٔ «تقریباً روشن» طبق ارزیابی‌های کل کاربران)، تدوین: نگارندگان.

جدول ۳ (چپ). مقادیر پارامترهای مورد استفاده در شبیه‌سازی، تدوین: نگارندگان.

۳. ۲. بخش شبیه‌سازی

نسخهٔ پنجم نرم‌افزار راینو[۴۲] برای تولید مدل‌های سه‌بعدی کلاس‌های منتخب و نسخهٔ چهارم افزونهٔ دیوا برای گرس‌هاپر[۴۳]، که برای محاسبات از موتورهای محاسباتی ریدینس و دی‌سیم استفاده می‌کنند، برای ارزیابی‌های لحظه‌ای و سالانهٔ نور روز انتخاب شدند. بازتاب سطوح داخلی فضا، درصد شفافیت شیشه‌ها[۴۴]، و موانع خارجی از جمله ساختمان‌ها و گیاهان اطراف مطابق با دستورالعمل مربوطه[۴۵] در شبیه‌سازی لحاظ شدند. برای شبیه‌سازی آسمان از اطلاعات ساعتی آب‌وهوایی (تابش مستقیم و پراکنده) مربوط به فایل آب‌وهوایی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (TM2) استفاده شد. مقادیر پارامترهای شبیه‌سازی مورد استفاده توسط موتورهای محاسباتی در «جدول ۳» نشان داده شده است.

شاخص‌های انتخاب‌شده برای مقایسه با ارزیابی کاربران، که به نوعی برای پیش‌بینی میزان رضایت کاربر از مقدار روشنایی حاصل از نور روز در طول زمان به کار می‌آیند، شامل DF، sDA و UDI در شبکهٔ مفروض در سطح میز کار است که در ارتفاع

ar	aa	as	ad	ab
۲۵۶	۰/۱	۲۵۶	۱۰۲۴	۴

www.SID.ir

Archive of SID

۰٫۸ متری از سطح کف داخلی با ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی متر و رو به بالا واقع شده است. ضمن آنکه درصد فضا با در نظر گرفتن مقدار معینی روشنایی (۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰، ۵۰۰) بر حسب لوکس برای حد پایین، در هر نقطه از شبکهٔ مفروض در لحظهٔ پاسخ‌گویی نیز محاسبه شد تا مشخص شود کاربران چه مقدار از روشنایی را روشنایی کافی در ذهن خود در نظر می‌گیرند. به منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از آزمون‌های تی‌ـ استیودنت[۴۶]، آنوا[۴۷]، همبستگی، و تحلیل رگرسیون استفاده شد. سطح معناداری در این پژوهش برابر با ۰٫۰۵ در نظر گرفته شده است.

۴. نتایج

۴. ۱. ارزیابی کاربران

در پرسش‌نامهٔ ترسیمی از کاربران خواسته شد تا نظر خود را در خصوص شرایط نوری کلاس بیان کنند. به این منظور هر کاربر در پلان فضا (که در اختیار داشت) محدوده‌ای از کلاس را که به نظرش در طول سال از روشنایی کافی برای انجام فعالیت‌ها بهره‌مند است، مشخص کرد. نتایجْ تأثیر مشخصات معماری فضا بر ارزیابی‌های کاربران را نشان می دهد. طبق آزمون آنوا، میان ترسیمات کاربران در کلاس‌های با جهت‌گیری متفاوت، اختلاف معنی‌داری وجود دارد و میانگین ناحیهٔ روشن ترسیمی در کلاس‌های رو به شمال ۵۱٪ و در خصوص جهات جنوب و شرق و غرب نیز به ترتیب ۳۹٪ و ۳۰٪ و ۲۸٪ است. این در حالی است که حداکثر میانگین روشنایی برابر با ۷۰٪ و متعلق به کلاس‌هایی است که در هر دو جبههٔ شمالی و جنوبی دارای نورگیرند. همچنین نتایج آزمون آماری تی‌ـ استیودنت نشان می‌دهد که وجود نورگیر سقفی در کلاس‌های تک‌جهته بر درصد ناحیهٔ روشن ترسیمی کاربران تأثیر می‌گذارد، چنان‌که طبق نتایج، میانگین روشنایی در کلاس‌های ۱۵، ۱۶ و ۱۷، که نورگیر سقفی دارند، نسبت به کلاس‌های تک‌جهتهٔ فاقد آن بالاتر (در حدود ۱۳٪) است. بین مقدار WFR و درصد ناحیهٔ روشن ترسیمی کاربران نیز رابطهٔ همبستگی متوسط (r=۰٫۳۸) مشاهده شد. این در حالی است که میان WWR و ناحیهٔ روشن ترسیمی رابطهٔ همبستگی بسیار ضعیف است یا رابطه‌ای وجود ندارد (r=۰٫۰۳). به منظور جمع‌بندی ترسیمات و تعیین محدودهٔ تاریک و روشن در هر کلاس، ناحیه‌ای که در عمدهٔ ترسیمات (بیش از ۷۵٪) به منزلهٔ ناحیهٔ روشن مشخص شده «بخش کاملاً روشن» و ناحیه‌ای که در تعداد قابل توجهی از ترسیمات (بیش از ۲۵٪) به منزلهٔ ناحیهٔ روشن مشخص شده «بخش تقریباً روشن» و باقی قسمت‌ها نیز «بخش تاریک» در نظر گرفته شد. در «جدول ۴» محدوده‌های مذکور و نسبت مساحتشان به کل فضا و همچنین میانگین کل درصد مساحت فضای روشن ترسیمی (مجموع درصد مساحت ترسیمات افراد در هر کلاس و تقسیم بر تعداد) به تفکیک هر کلاس نشان داده شده است.

طبق «جدول ۴» درصد ناحیهٔ کاملاً روشن کلاس‌ها از ۱۳٪ تا ۱۰۰٪ متغیر است و درصد ناحیهٔ تقریباً روشن نیز مقداری بین ۲۸٪ تا ۱۰۰٪ دارد. کلاس‌های شمارهٔ ۱۱، ۱۳ و ۱۰ دارای بیشترین درصد ناحیهٔ کاملاً روشن (بیش از ۷۰٪) هستند و کمترین درصد این ناحیه (۲۱٪ و کمتر) متعلق به کلاس‌های ۱۹، ۲۰ و ۱۴ است.

۴. ۲. نتایج شبیه‌سازی

داده‌های روشنایی لحظه‌ای حاصل از شبیه‌سازی کلاس‌های مورد بررسی در نرم‌افزار دیوا در «تصویر ۴» ارائه شده است. لازم به ذکر است کلاس‌های ۹، ۱۴، ۱۶–۲۰ در چند روز متفاوت از سوی کاربران ارزیابی شدند و شبیه‌سازی لحظه‌ای روشنایی برای کلاس‌های مذکور نیز در چند نوبت و متناظر با شرایط واقعی تجربه‌شده حین پاسخ‌گویی انجام گرفت. مطابق با «تصویر ۴» درصد زیادی (۵۰٪ و بیشتر) از مساحت کلاس‌های ۲، ۳، ۱۰–۱۳، و ۱۵ روشنایی بیش از ۵۰۰ لوکس دریافت کرده‌اند و نسبت

۳۰. نک:
Heschong, ibid; Korsavi & Zomorodian & Tahsildoost, ibid; J.A. Jakubiec & C.F. Reinhart, "A Concept for Predicting Occupants' Long-Term Visual Comfort within Daylit Spaces"; A. Nezamdoost & K. Van Den Wymelenberg, "A DayLighting Field Study Using Human Feedback and Simulations to Test and Improve Recently Adopted Annual DayLight Performance Metrics"; A. Michael & C. Heracleous, "Assessment of Natural Lighting Performance and Visual Comfort of Educational Architecture in Southern Europe: The Case of Typical Educational School Premises in Cyprus".

۳۱. نک:
Reinhart & Weissman, ibid; Nezamdoost & Van Den Wymelenberg, ibid; Mangkuto & Asri & Rohmah & Nugroho Soelami & Soegijanto, ibid; C.F. Reinhart & T. Rakha & D. Weissman, "Predicting the Daylit Area - A Comparison of Students Assessments and Simulations at eleven Schools of Architecture".

۳۲. نک:
Reinhart & Weissman, ibid".

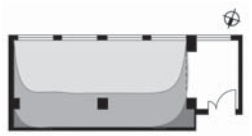
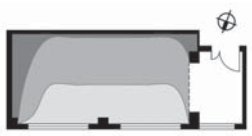
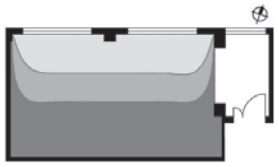
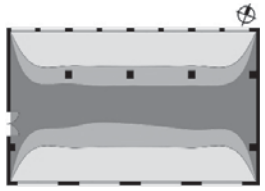
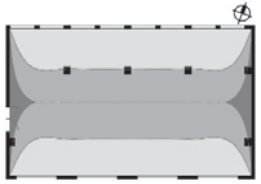
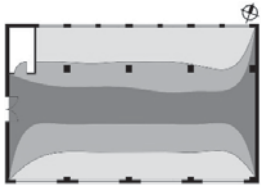
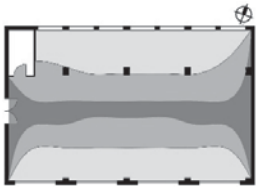
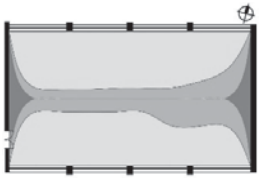
۳۳. نک:
C. Reinhart & T. Rakha & D. Weissman, ibid.

www.SID.ir

Archive of SID

به سایر کلاس‌ها روشن‌تر بوده‌اند. در مقابل، در کلاس‌های ۱۴ و ۲۰ عمدهٔ مساحت فضا روشنایی کمتر از ۵۰ لوکس بوده و در مقایسه با دیگر کلاس‌ها دریافت نور طبیعی کمتری داشته‌اند.

در «تصویر ۵» داده‌های روشنایی سالانه مربوط به هر کلاس به صورت درصد فضای دریافت‌کنندهٔ مقدار مشخصی از روشنایی در حداقل نیمی از دورهٔ اشغال نشان داده شده است. مطابق با شکل مذکور در کلاس‌های ۲، ۱۰–۱۳ و ۱۸ درصد زیادی از فضا (۷۵٪ و بالاتر) روشنایی حداقل ۳۰۰ لوکس را در

شمارهٔ نمونه	تصویر	کاملاً روشن (٪)	تقریباً روشن (٪)	میانگین کل (٪)	شمارهٔ نمونه	تصویر	کاملاً روشن (٪)	تقریباً روشن (٪)	میانگین کل (٪)
۱		٪۵۶	٪۹۶	٪۷۷	۲		٪۳۵	٪۸۶	٪۶۵
۳		٪۲۸	٪۵۱	٪۵۳	۴		٪۲۳	٪۴۹	٪۵۱
۵		٪۴۲	٪۶۷	٪۶۳	۶		٪۴۸	٪۹۶	٪۷۳
۷		٪۳۷	٪۷۱	٪۵۸	۸		٪۴۵	٪۸۳	٪۶۰
۹		٪۲۴	٪۶۹	٪۵۳	۱۰		٪۷۱	٪۹۵	٪۸۵

جدول ۴. محدوده‌های روشن، تقریباً روشن، و تاریک با توجه به ارزیابی‌های ترسیمی کاربران به تفکیک کلاس‌ها

←

۳۴. نک:
A. Nezamdoost and K. G. Van Den Wymelenberg, ibid.

۳۵. نک:
Mangkuto & Asri & Rohmah & Nugroho Soelami & Soegijanto, ibid.

۳۶. بر اساس روش مورد استفاده در:
Reinhart & Weissman, ibid; Nezamdoost & Van Den Wymelenberg, ibid.

37. Window to Wall Ratio
38. Window to Floor Ratio
39. Visible Light Transmission

۴۰. نک: قیابکلو، *مبانی فیزیک ساختمان ۵: نور روز*.

41. MS EXCEL
42. Rhinoceros 5
43. DIVA for Grasshopper
44. Visible Light Tranmission (VLT)

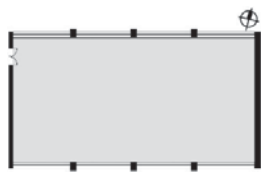
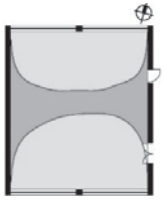
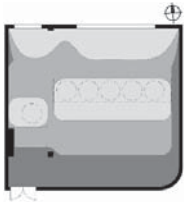
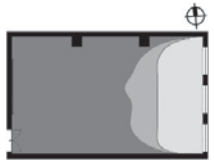
۴۵. نک:
L. Heschong, ibid.

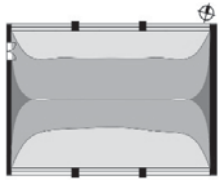
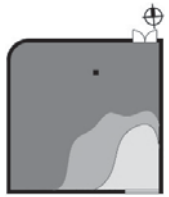
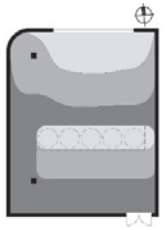
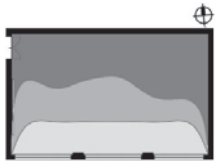
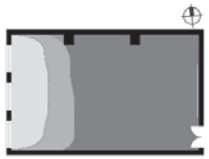
46. T-Student
47. ANOVA

www.SID.ir

Archive of SID

دست‌کم نیمی از دورهٔ اشغال در طول سال دریافت می‌کنند و به بیان دیگر در این کلاس‌ها شاخص ٪۵۰ ,sDA300 مقداری بیش از ٪۷۵ دارد. دریافت این میزان روشنایی در درصد قابل توجهی (٪۵۵ تا ٪۷۵) از کلاس‌های ۱، ۳، ۶، ۸ و ۱۵ نیز اتفاق

شمارهٔ نمونه	تصویر	کاملاً روشن (٪)	تقریباً روشن (٪)	میانگین کل (٪)
۱۱		٪۱۰۰	٪۱۰۰	٪۱۰۰
۱۳		٪۷۴	٪۱۰۰	٪۸۷
۱۵		٪۲۹	٪۸۵	٪۵۵
۱۷		٪۳۹	٪۷۶	٪۵۷
۱۹		٪۲۱	٪۳۳	٪۳۰

شمارهٔ نمونه	تصویر	کاملاً روشن (٪)	تقریباً روشن (٪)	میانگین کل (٪)
۱۲		٪۴۳	٪۹۷	٪۷۴
۱۴		٪۱۳	٪۲۸	٪۲۳
۱۶		٪۲۴	٪۵۵	٪۴۴
۱۸		٪۲۵	٪۵۳	٪۴۲
۲۰		٪۱۷	٪۳۲	٪۲۷

ادامهٔ جدول ۴.
محدوده‌های روشن، تقریباً روشن، و تاریک با توجه به ارزیابی‌های ترسیمی کاربران به تفکیک کلاس‌ها

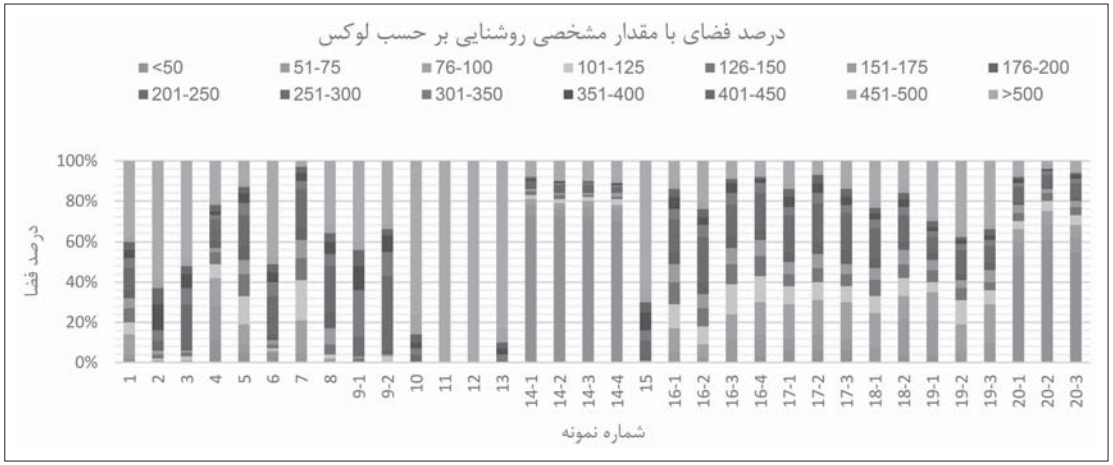
www.SID.ir

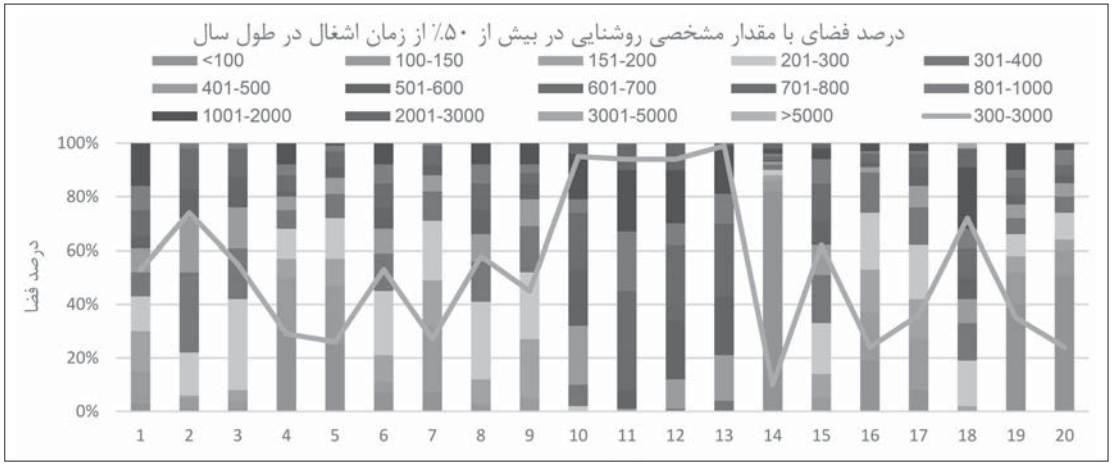
Archive of SID

می‌افتد. این در حالی است که در کلاس ۱۴ شاخص مذکور کمترین مقدار را دارد که برابر است با ۱۰٪.

۴. ۲. ۱. اعتبار سنجی نتایج

در شبیه‌سازی‌های لحظه‌ایِ شرایط نوری کلاس‌ها، با در نظر گرفتن موقعیت خورشید، طبق تاریخ و زمان مورد بررسی و همچنین آسمانی نزدیک به واقعیت، شرایط شبیه‌سازی و شرایطی که کاربر در زمان پاسخ‌گویی به پرسش‌نامه تجربه می‌کند، مشابه در نظر گرفته شد. برای اطمینان از صحت نتایج، مقدار روشنایی افقی اندازه‌گیری‌شده در شش نقطه از فضا در حین پاسخ‌گویی با نتایج شبیه‌سازی لحظه‌ای مقایسه شد که حداقل همبستگی برابر با ۸۶٪ در نمونه‌های ۵ و ۱–۲۰





تصویر ۴ (بالا). داده‌های روشنایی حاصل از شبیه‌سازی لحظه‌ای کلاس‌های مورد بررسی مربوط به زمان توزیع پرسش‌نامه‌ها، تدوین: نگارندگان.
تصویر ۵ (پایین). داده‌های روشنایی حاصل از شبیه‌سازی سالانه کلاس‌های مورد بررسی، تدوین: نگارندگان.

www.SID.ir

Archive of SID

نشان‌دهندهٔ دقت و اعتبار نتایج است. مقدار همبستگی میان روشنایی اندازه‌گیری‌شده در شرایط واقعی و شبیه‌سازی به تفکیک نمونه‌های مختلف در «جدول ۵» ارائه شده است. در این جدول ملاحظه می‌شود که میانگین مقدار همبستگی ۹۸٪ بوده است.

۴. ۲. ۲. مقایسهٔ شبیه‌سازی و ارزیابی کاربران

۴. ۲. ۲. ۱. مقدار روشنایی لحظه‌ای

داده‌های روشنایی مربوط به لحظهٔ پاسخ‌گویی کاربر این امکان تشخیص را فراهم می‌کند که ارزیابی آن‌ها به چه میزان متأثر از روشنایی بخش‌های مختلف فضا در همان لحظه و نیز چند درصد تحت تأثیر عوامل دیگری غیر از روشنایی بوده است. بدین منظور به کمک آزمون همبستگی رابطهٔ درصد ناحیهٔ روشن ترسیمی افراد و درصد فضای با بیش از مقدار مشخصی روشنایی در زمان پاسخ‌گویی بررسی شد و طبق نتایجْ میان ارزیابی کاربر و درصد فضای با بیش از ۷۵ تا ۳۰۰ لوکس رابطهٔ همبستگی قوی‌تری ($r>0/55$) مشاهده شد (جدول ۶). بدین معنی که هر چه درصد فضای دریافت‌کنندهٔ روشنایی با مقادیر مذکور بیشتر شود، بخش بزرگ‌تری از فضا در نظر کاربر دارای روشنایی کافی خواهد بود و احتمال ترسیم ناحیهٔ روشنِ بزرگ‌تر بیشتر است.

طبق نتایج تحلیل رگرسیون، مقدار R^2 مدل مذکور برابر است با ۰٫۴۹۱ و این ضریب تعیین نشان‌دهندهٔ آن است که حدوداً نیمی از تغییرات در ارزیابی ترسیم‌شده وابسته به عوامل یادشده و نیمی دیگر تابع عوامل دیگری غیر از کمّیت روشنایی است، این عوامل از جمله شامل تفاوت‌های فردی و تأثیر یکنواختی توزیع نور در فضا و نیز در رنگ مصالح است، همچنین، در هنگام تابیدن نور، جنس مصالح به‌کاررفته نیز روشن‌تر یا تاریک‌تر به نظر آمدن فضا مؤثر است. به منظور تحقیق این سؤال که معیار تمییز ناحیهٔ روشن از تاریک در ذهن کاربر چند لوکس روشنایی است و مرز ناحیهٔ روشن و تاریک بر چه مقدار روشنایی منطبق است، ابتدا به کمک شبیه‌سازی لحظه‌ای، درصد فضای با مقدار مشخصی روشنایی و سپس اختلاف درصد مساحت به‌دست‌آمده از روش مزبور با درصد مساحت ناحیهٔ «روشن» طبق نظر کاربران برای هر کلاس در شرایط آسمان مشابه شرایط اندازه‌گیری محاسبه شد تا مشخص شود که در نظر گرفتن چه مقدار روشنایی منجر به تخمین دقیق‌تری از مساحت ناحیهٔ روشن شده است. با فرض آنکه تخمین با خطای کمتر از ۱۵٪ مجاز در نظر گرفته شود، درصد پیش‌بینی‌های قابل قبولِ صورت‌گرفته با احتساب مقادیر مختلف روشنایی برای حد پایین آن نشان داد که در عمدهٔ وضعیت‌های مورد بررسی (۶۷٪ از موارد)، می‌توان، با در نظر گرفتن ۲۵۰ تا ۳۵۰ لوکس برای حد پایین روشنایی، محدودهٔ روشن را با دقت مناسبی تخمین زد. لازم به ذکر است در کلاس‌های شمارهٔ ۲، ۳، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳

شمارهٔ نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹ (۱)	۹ (۲)	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴ (۱)	۱۴ (۲)	۱۴ (۳)
ضریب همبستگی	۱	۱	۰/۹۹	۱	۰/۸۶	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۹۷	۱	۰/۹۹	۰/۹۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱
شمارهٔ نمونه	۱۴ (۴)	۱۵	۱۶ (۱)	۱۶ (۲)	۱۶ (۳)	۱۶ (۴)	۱۷ (۱)	۱۷ (۲)	۱۷ (۳)	۱۸ (۱)	۱۸ (۲)	۱۹ (۱)	۱۹ (۲)	۱۹ (۳)	۲۰ (۱)	۲۰ (۲)	۲۰ (۳)
ضریب همبستگی	۱	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۹۴	۱	۰/۹۲	۱	۱	۱	۰/۸۶	۰/۹۹	۰/۹۹

جدول ۵ (راست). مقدار همبستگی میان روشنایی اندازه‌گیری‌شده در شرایط واقعی و شبیه‌سازی به تفکیک نمونه‌های مختلف، تدوین: نگارندگان.

جدول ۶ (چپ). مقادیر r و p در بررسی رابطهٔ همبستگی میان درصد ناحیهٔ روشن ترسیمی توسط کاربران و نتایج شبیه‌سازی لحظه‌ای، تدوین: نگارندگان.

درصد فضای با بیش از n لوکس روشنایی	R-value
۵۰	۰/۴۷۵
۷۵	۰/۶۱۹
۱۰۰	۰/۶۳۹
۱۲۵	۰/۶۲۳
۱۵۰	۰/۵۹۴
۱۷۵	۰/۵۹۷
۲۰۰	۰/۵۸۶
۲۵۰	۰/۵۸۲
۳۰۰	۰/۵۶۹
۳۵۰	۰/۵۳۲
۴۰۰	۰/۵۰۹
۴۵۰	۰/۴۸۳
۵۰۰	۰/۴۸۲

www.SID.ir

Archive of SID

و ۱۵، در محدودهٔ یادشده، اختلافی بیش از ۲۰٪ میان ارزیابی کاربران و نتایج شبیه‌سازی مشاهده می‌شود. در این کلاس‌ها در نظر گرفتن مقادیر بالاتر از ۳۵۰ لوکس برای حد روشنایی، با تخمین با دقت مجاز از فضای روشن، همراه بوده‌اند. در کلاس شمارهٔ ۱۸ نیز آستانهٔ روشنایی بیش از ۳۵۰ لوکس منجر به تخمین دقیق‌تری شده است، هرچند پیش‌بینی‌های با استفاده از آستانهٔ روشنایی کمتر از آن نیز دقت قابل قبولی داشته‌اند. مشابه نتایج برخی پژوهش‌ها[۴۸]، با دقت در مشخصات فیزیکی کلاس‌های مذکور (۲، ۳، ۹، ۱۰،۱۲، ۱۳، ۱۵ و ۱۸) به نظر می‌رسد داشتن WWR و WFR بالاتر و به‌تبع آن ورود نور طبیعی بیشتر به فضا و همچنین توزیع یکنواخت‌تر نور به سبب نحوهٔ قرارگیری پنجره‌ها و رنگ روشن سطوح موجب شده است تا این کلاس‌ها تقریباً در همهٔ قسمت‌ها نور کافی دریافت کنند و بنابراین کاربران در هنگام ارزیابی ترسیمی محدوده‌ای را با عنوان ناحیهٔ روشن مشخص کرده‌اند که به طور نسبی روشنایی بیشتری نسبت به قسمت‌های دیگر دریافت کرده است و این لزوماً به معنای تاریک بودن و روشنایی ناکافی در باقی نواحی نیست. در صورت صرف نظر از کلاس‌های «یکنواخت روشن»، در نظر گرفتن فضای روشن با آستانهٔ ۲۵۰ تا ۳۵۰ لوکس در ۸۷٪ وضعیت‌های مورد بررسی، با ارزیابی کاربران مطابقت قابل قبولی داشته است. به منظور یافتن مقدار دقیق‌تر برای آستانهٔ روشنایی، آن دسته از کلاس‌های مورد مطالعه که واجد شرایط فوق بودند، در گروهی جدا قرار داده شدند، ضمن آنکه دسته‌بندی دیگری نیز بر اساس تعداد جبههٔ نورگیر برای کلاس‌ها در نظر گرفته شد. درصد پیش‌بینی‌های با اختلاف کمتر از ۱۵٪ در هر یک از دسته‌بندی‌های مذکور در «جدول ۷» قابل مشاهده است.

همان‌طور که در جدول مذکور مشاهده می‌شود حد روشنایی ۳۵۰ لوکس در تخمین ناحیهٔ روشن مربوط به کلاس‌های دارای نورگیر از یک جهت و نیز کلاس‌هایی که به طور یکنواخت روشن نباشند، در بیش از ۷۰٪ موارد با ارزیابی کاربران مطابقت داشته است. این در حالی است که در کلاس‌های دارای نورگیر از دو جهت و کلاس‌های روشن یکنواختْ حد روشنایی ۵۰۰ لوکس نسبت به مقادیر مورد بررسی با پیش‌بینی‌های دقیق‌تری همراه بوده است. به روش مشابه، اختلاف درصد مساحت ناحیهٔ «تقریباً روشن» و درصد فضای با مقدار مشخصی روشنایی بر حسب لوکس محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد برای اینکه کاربران یک محدوده را تاریک ارزیابی کنند، یعنی نواحی که در بیش از ۷۵٪ از ترسیمات «ناکافی» در نظر گرفته شده، در نظر گرفتن مقدار ۱۰۰ تا ۱۵۰ لوکس برای حد پایین روشنایی مناسب است. در «جدول ۸» می‌توان دید که مقدار ۱۲۵ لوکس، برای تشخیص محدودهٔ تاریک در همهٔ دسته‌بندی‌های در نظر گرفته‌شده، عملکرد قابل قبولی داشته و در بیش از ۷۰٪ از مواقع، با ارزیابی‌های کاربران مطابق بوده است.

۴. ۲. ۲. ۲. ارزیابی‌های کاربران و شاخص‌های استاتیک

به منظور بررسی میزان تطابق معیار روشنایی کافی در نظر گرفته‌شده در شاخص‌های استاتیک با ارزیابی‌های کاربران، درصد ناحیهٔ روشن از نظر پاسخ‌دهندگان در روش ترسیمی

۴۸. نک:
Reinhart & Rakha & Weissman, ibid.

جدول ۷. درصد پیش‌بینی‌های مربوط به مساحت ناحیهٔ روشن با اختلاف کمتر از ۱۵٪ با ارزیابی کاربران به کمک شبیه‌سازی لحظه‌ای، تدوین: نگارندگان.
جدول ۸ (صفحهٔ روبه‌رو، بالا). درصد پیش‌بینی‌های مربوط به مساحت ناحیهٔ تقریباً روشن با اختلاف کمتر از ۱۵٪ با ارزیابی کاربران به کمک شبیه‌سازی لحظه‌ای، تدوین: نگارندگان.

	مقادیر در نظر گرفته‌شده برای حد پایین روشنایی بر حسب لوکس												
گروه مورد بررسی	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۲۵	۱۵۰	۱۷۵	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۵۰	۴۰۰	۴۵۰	۵۰۰
همهٔ کلاس‌ها	٪۶	٪۱۸	٪۱۸	٪۲۴	٪۳۳	٪۳۹	٪۴۵	٪۵۵	٪۵۵	٪۵۸	٪۵۸	٪۵۸	٪۶۱
همه به‌جز کلاس‌های یکنواخت روشن	٪۵	٪۲۳	٪۲۳	٪۳۲	٪۴۵	٪۵۵	٪۶۴	٪۶۸	٪۶۸	٪۷۳	٪۶۴	٪۵۹	٪۵۹
کلاس‌های یکنواخت روشن	٪۹	٪۹	٪۹	٪۹	٪۹	٪۹	٪۹	٪۲۷	٪۲۷	٪۲۷	٪۴۵	٪۵۵	٪۶۴
کلاس‌های دارای نورگیر از دو جهت	٪۱۰	٪۱۰	٪۱۰	٪۱۰	٪۳۰	٪۳۰	٪۳۰	٪۳۰	٪۳۰	٪۳۰	٪۵۰	٪۶۰	٪۷۰
کلاس‌های دارای نورگیر از یک جهت	٪۴	٪۲۲	٪۲۲	٪۳۰	٪۳۵	٪۴۳	٪۵۲	٪۶۵	٪۶۵	٪۷۰	٪۶۱	٪۵۷	٪۵۷

www.SID.ir

Archive of SID

با درصد ناحیهٔ روشن حاصل از تعیین آستانهٔ ۳۵۰ لوکس در روشنایی افقی، شاخص DF با آستانهٔ ۲٪ و همچنین ضابطهٔ لیید ۳ مربوط به اطلاق عبارت «روشن» به بخش‌هایی از فضا، که در ساعات ۹:۰۰ و ۱۵:۰۰ در اعتدال پاییزی روشنایی بیش از ۳۰۰ لوکس دریافت می‌کنند، مقایسه شد که نتایج آن در «جدول ۹» قابل مشاهده است.

مشاهده می‌شود که شاخص DF>۲٪ در تشخیص ناحیهٔ روشن در مجموع کل کلاس‌ها بهتر از ضابطه‌های دیگر عمل کرده است؛ و به طور کلی به‌جز آن دسته از کلاس‌ها که دارای نورگیر از دو جهت و یا به صورت یکنواخت روشن هستند، استفاده از آستانهٔ ۲٪ برای شاخص مذکور در عمده وضعیت‌های مورد بررسی (۷۶٪ و بالاتر) منجر به تخمین ناحیهٔ روشن با دقت قابل قبول شده است. به نظر می‌رسد ارزیابی انجام‌شده به کمک شاخص DF تحت شرایط آسمان ابری و در نظر نگرفتن روشنایی ناشی از تابش مستقیم خورشید در کلاس‌های دارای نورگیر از دو جهت، که درصد زیادی از گروه کلاس‌های یکنواخت روشن را نیز تشکیل داده‌اند، موجب افزایش خطا (بیش از ۱۵٪) در پیش‌بینی ناحیهٔ روشن و کاهش تعداد پیش‌بینی‌های درست در این دو گروه شده است. طبق نتایج، در ضابطهٔ لیید، در نظر گرفتن ساعت ۱۵:۰۰ برای تشخیص ناحیهٔ روشن در کل کلاس‌ها نسبت به ارزیابی در ساعت ۹:۰۰ عملکرد نسبتاً بهتری داشته است. به طور کلی در کلاس‌های دارای نورگیر در دو جهت، ارزیابی وضعیت نورگیری در اعتدال پاییزی به‌خوبی می‌تواند معرف میانگین وضعیت نورگیری در کل سال طبق نظر کاربران باشد. این در حالی است که ضابطهٔ DF>۲٪ برای کلاس‌های دارای نورگیر از یک جهت مناسب‌تر خواهد بود.

۴. ۲. ۲. ۳. ارزیابی‌های کاربران و شاخص‌های دینامیک

برای بررسی میزان هماهنگی شاخص‌های مبتنی بر اقلیم با ارزیابی‌های کاربران، اختلاف درصد ناحیهٔ روشن پیش‌بینی‌شده به کمک ارزیابی کاربران با UDI 300-3000 lx, ۵۰٪، و DAnlux, ۵۰٪ نیز محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد همان‌طور که پیش‌تر در بخش مقایسهٔ ارزیابی کاربران و شبیه‌سازی لحظه‌ای مشاهده شد، در کلاس‌هایی که به طور یکنواخت روشن هستند (۲، ۳، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۵ و ۱۸) استفاده از حدود روشنایی بالاتر برای DA عملکرد بهتری داشته است. ضمن آنکه

جدول ۹ (پایین). درصد پیش‌بینی‌های مربوط به مساحت ناحیهٔ روشن با اختلاف کمتر از ۱۵٪ با ارزیابی کاربران، تدوین: نگارندگان.

مقادیر در نظر گرفته‌شده برای حد پایین روشنایی بر حسب لوکس														
گروه مورد بررسی	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۲۵	۱۵۰	۱۷۵	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۵۰	۴۰۰	۴۵۰	۵۰۰
همهٔ کلاس‌ها	٪۴۸	٪۴۸	٪۶۱	٪۷۳	٪۶۴	٪۶۴	٪۵۵	٪۴۲	٪۳۶	٪۳۶	٪۳۳	٪۳۰	٪۱۸
همه به‌جز کلاس‌های یکنواخت روشن	٪۴۵	٪۴۵	٪۶۴	٪۷۳	٪۵۹	٪۵۵	٪۴۱	٪۲۷	٪۱۸	٪۱۸	٪۱۸	٪۱۸	٪۱۴
کلاس‌های یکنواخت روشن	٪۵۵	٪۵۵	٪۵۵	٪۷۳	٪۷۳	٪۸۲	٪۸۲	٪۷۳	٪۷۳	٪۷۳	٪۶۴	٪۵۵	٪۲۷
کلاس‌های دارای نورگیر از دو جهت	٪۵۰	٪۵۰	٪۸۰	٪۸۰	٪۷۰	٪۷۰	٪۷۰	٪۵۰	٪۶۰	٪۵۰	٪۴۰	٪۴۰	٪۲۰
کلاس‌های دارای نورگیر از یک جهت	٪۴۸	٪۴۸	٪۵۲	٪۷۰	٪۶۱	٪۶۱	٪۴۸	٪۳۹	٪۲۶	٪۳۰	٪۳۰	٪۲۶	٪۱۷

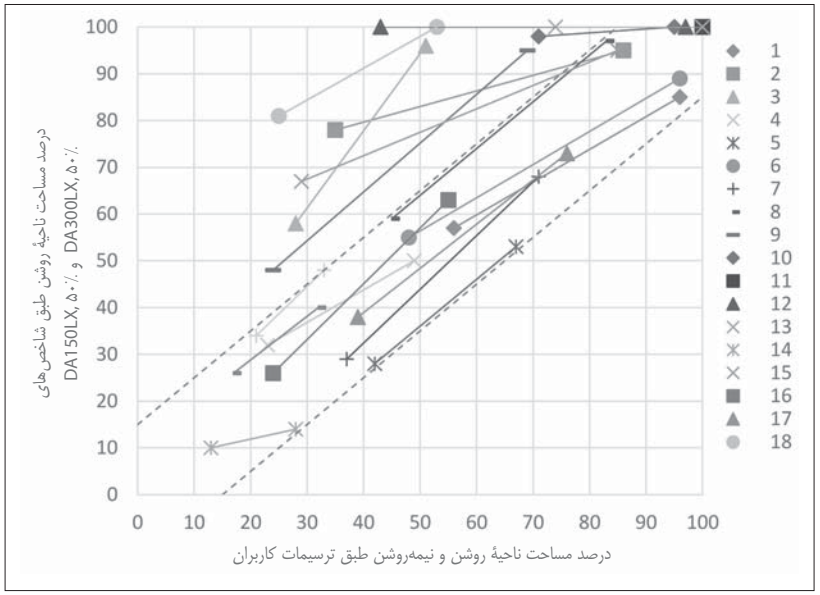
ضابطهٔ در نظر گرفته‌شده برای تشخیص ناحیهٔ روشن				
گروه مورد بررسی	ILL> 350 در لحظهٔ پاسخ‌گویی	DF>۲٪	ILL> 300 در ۲۱ سپتامبر ساعت ۹	ILL> 300 در ۲۱ سپتامبر ساعت ۱۵
همهٔ کلاس‌ها	٪۵۸	٪۷۶	٪۶۴	٪۷۳
همه به‌جز کلاس‌های یکنواخت روشن	٪۷۳	٪۸۲	٪۷۳	٪۷۳
کلاس‌های یکنواخت روشن	٪۲۷	٪۶۴	٪۴۵	٪۷۳
کلاس‌های دارای نورگیر از دو جهت	٪۳۰	٪۳۰	٪۹۰	٪۹۰
کلاس‌های دارای نورگیر از یک جهت	٪۷۰	٪۹۶	٪۵۲	٪۶۵

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص UDI نیز در این کلاس‌ها با خطای بیشتری در تخمین ناحیهٔ روشن همراه بوده است. همچنین در تخمین محدودهٔ تقریباً روشن، مقدار ۱۵۰ لوکس برای DA فارغ از دسته‌بندی در نظر گرفته‌شده در ۸۵٪ کلاس‌ها عملکرد مناسبی داشته است. به منظور بررسی دقیق‌تر، اختلاف درصد ناحیهٔ روشن و تقریباً روشن ترسیمِ کاربران به‌ترتیب با ناحیهٔ روشن تشخیص داده‌شده با شاخص‌های DA300lx, ۵۰٪ و DA150lx, ۵۰٪ مورد استفاده در ضابطهٔ LEED-4 در «تصویر ۶» نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که استفاده از ۳۰۰ و ۱۵۰ لوکس با عنوان حد پایین روشنایی در ۶۰٪ از کلاس‌ها عملکرد قابل قبولی داشته است و تخمین محدودهٔ روشن را با خطای کمتر از ۱۵٪ ممکن می‌کند. این در حالی است که در ۴۰٪ از کلاس‌ها کاربران ناحیهٔ کوچک‌تری را برای ناحیهٔ روشن در طول سال در نظر گرفته‌اند.

درصد پیش‌بینی‌های درست برای محدودهٔ روشن تحت هر یک از مقادیر روشنایی و هرکدام از دسته‌بندی‌های در نظر گرفته‌شده برای کلاس‌ها در «جدول ۱۰» قابل مشاهده است. طبق این جدول، برای ارزیابی به کمک شاخص DA، در نظر گرفتن مقدار ۳۰۰ لوکس برای حد آستانه در کلاس‌های غیر یکنواخت روشن، بهترین عملکرد را داشته، درحالی‌که در کلاس‌های غیر یکنواخت روشن مقدار ۵۰۰ لوکس مطابقت بیشتری با ارزیابی کاربران داشته است. در دسته‌بندی کلاس‌ها از نظر تعداد جهت نورگیر، اگر مقدار آستانهٔ ۴۰۰ لوکس برای کلاس‌های با یک جهت نورگیر در نظر باشد، مناسب‌تر به نظر می‌رسد، این در حالی است که برای کلاس‌های دارای نورگیر در دو جهت، مقادیر ۳۰۰ و ۵۰۰ لوکس عملکرد مشابهی داشته‌اند. با توجه به آنکه در این دسته از کلاس‌ها، نسبت مساحت جدارهٔ شفاف به دیوار و یا کف تغییرات قابل توجهی داشته است، به نظر می‌رسد که تقسیم‌بندی کلاس‌ها از نظر تعداد جهت نورگیر به‌تنهایی کافی نیست و عامل تأثیرگذار دیگری نظیر WWR و WFR نیز باید در نظر گرفته شود. ضمن آنکه طبق نتایج، شاخص UDI نیز مانند sDA بهترین عملکرد را در پیش‌بینی ناحیهٔ روشن کلاس‌های غیر یکنواخت روشن داشته



تصویر ۶ (بالا). مقایسهٔ درصد مساحت نواحی روشن و تقریباً روشن مشخص‌شده از سوی کاربران و نواحی روشن مشخص‌شده توسط شاخص DA با در نظرگیری ۱۵۰ و ۳۰۰ لوکس برای آستانه در ۵۰٪ از زمان اشغال، تدوین: نگارندگان.

گروه مورد بررسی	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰–۳۰۰۰
همهٔ کلاس‌ها	٪۱۰	٪۱۵	٪۲۵	٪۶۰	٪۶۵	٪۶۵	٪۴۰	٪۳۵	٪۴۰	٪۳۰	٪۵	٪۵	٪۵۵
همه به‌جز کلاس‌های یکنواخت روشن	٪۹	٪۱۸	٪۳۶	٪۱۰۰	٪۸۲	٪۵۵	٪۳۶	٪۳۶	٪۳۶	٪۳۶	٪۹	٪۹	٪۹۱
کلاس‌های یکنواخت روشن	٪۱۱	٪۱۱	٪۱۱	٪۱۱	٪۴۴	٪۷۸	٪۴۴	٪۳۳	٪۴۴	٪۲۲	٪۰	٪۰	٪۱۱
کلاس‌های دارای نورگیر از دو جهت	٪۱۱	٪۲۲	٪۳۳	٪۵۶	٪۴۴	٪۵۶	٪۲۲	٪۲۲	٪۲۲	٪۱۱	٪۰	٪۰	٪۴۴
کلاس‌های دارای نورگیر از یک جهت	٪۹	٪۹	٪۱۸	٪۶۴	٪۸۲	٪۷۳	٪۵۵	٪۴۵	٪۵۵	٪۴۵	٪۹	٪۹	٪۶۴

جدول ۱۰ (پایین). درصد پیش‌بینی‌های مربوط به مساحت ناحیهٔ روشن با اختلاف کمتر از ۱۵٪ با ارزیابی کاربران به کمک شبیه‌سازی سالانه، تدوین: نگارندگان.

www.SID.ir

Archive of SID

است. درحالی‌که در مجموع کل کلاس‌ها تنها در ۵۵٪ فضاها ارزیابی این شاخص با ارزیابی کاربران مطابقت دارد و عمدهٔ پیش‌بینی‌هایی که برای شاخص مذکور قابل قبول نیستند، مربوط به کلاس‌های یکنواخت روشن است.

بنا بر «جدول ۱۱» پیش‌بینی‌های درست ناحیهٔ تقریباً روشن با در نظر گرفتن مقدار ۱۵۰ لوکس در همهٔ گروه‌ها درصد بالایی (بیش از ۸۰٪) قابل مشاهده است، به‌جز کلاس‌های یکنواخت روشن که مقدار ۲۰۰ لوکس عملکرد بهتری داشته است.

درمجموع طبق آنچه گفته شد، در میان شاخص‌های استاتیک، DF>۲٪، برخلاف نتایج پژوهش‌ها[۴۹]، در بیشتر موارد با پیش‌بینی‌های دقیقْ همراه و نسبت به روشنایی افقی لحظه‌ای عملکرد بهتری داشته است. در میان شاخص‌های مبتنی بر اقلیم، محدودهٔ روشن مشخص‌شده به کمک شاخص sDA با در نظر گرفتن مقدار ۳۰۰ لوکس برای حد پایین روشنایی، مطابقت بیشتری با ارزیابی کاربران دارد که البته این مطابقت جز در فضای یکنواخت روشن بیشتر خواهد بود. مقدار ۳۰۰ لوکس در پژوهش‌های مشابه[۵۰] نیز برای آستانهٔ روشنایی شاخص sDA پیشنهاد شده است، درحالی‌که طبق نتایج یکی از تحقیقات[۵۱] پیش‌بینی‌های sDA250lx, ۵۰٪ به نظرات کاربران نزدیک‌تر بوده است. لازم به ذکر است در مواردی[۵۲] نیز شاخص sDA در پیش‌بینی نظرات کاربران چندان موفق عمل نکرده است (جدول ۱۲).

۵. جمع‌بندی

در این پژوهش به منظور بررسی میزان هماهنگی شاخص‌های معمول در حوزهٔ کفایت نور روز با ارزیابی ذهنی کاربران و بررسی میزان معنی‌داری حدود قابل قبول تعریف‌شده در استاندارد لیید، ناحیهٔ روشن پیش‌بینی‌شده به کمک شاخص‌های نورسنجی پرکاربرد مربوط به تشخیص کافی بودن نور با محدودهٔ روشن ترسیم‌شده از سوی کاربرانِ تعدادی از آتلیه‌های طراحی دانشگاه‌های شهر تهران مقایسه شد. طبق نتایج جهت نورگیر،

گروه مورد بررسی	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰–۳۰۰۰
همهٔ کلاس‌ها	٪۵۰	٪۸۵	٪۶۰	٪۴۰	٪۴۰	٪۲۰	٪۱۵	٪۵	٪۵	٪۰	٪۰	٪۰	٪۴۰
همه جز کلاس‌های یکنواخت روشن	٪۳۶	٪۱۰۰	٪۴۵	٪۱۸	٪۱۸	٪۹	٪۹	٪۰	٪۰	٪۰	٪۰	٪۰	٪۱۸
کلاس‌های یکنواخت روشن	٪۶۷	٪۶۷	٪۷۸	٪۶۷	٪۶۷	٪۳۳	٪۲۲	٪۱۱	٪۱۱	٪۰	٪۰	٪۰	٪۶۷
کلاس‌های دارای نورگیر از دو جهت	٪۶۷	٪۸۹	٪۶۷	٪۴۴	٪۴۴	٪۲۲	٪۱۱	٪۰	٪۰	٪۰	٪۰	٪۰	٪۴۴
کلاس‌های دارای نورگیر از یک جهت	٪۳۶	٪۸۲	٪۵۵	٪۳۶	٪۳۶	٪۱۸	٪۱۸	٪۹	٪۹	٪۰	٪۰	٪۰	٪۳۶

جدول ۱۱ (بالا). درصد پیش‌بینی‌های مربوط به مساحت ناحیهٔ روشن با اختلاف کمتر از ۱۵٪ با ارزیابی کاربران به کمک شبیه‌سازی سالانه، تدوین: نگارندگان.

جدول ۱۲ (پایین). درصد پیش‌بینی‌های مربوط به مساحت ناحیهٔ روشن با اختلاف کمتر از ۱۵٪ با ارزیابی کاربران، تدوین: نگارندگان.

	شاخص و حد در نظر گرفته‌شده برای تشخیص ناحیهٔ روشن					
	استاتیک				دینامیک	
گروه مورد بررسی	ILL>350 در لحظهٔ پاسخ‌گویی	DF>۲٪	ILL>300 در ۲۱ سپتامبر ساعت ۹	ILL>300 در ۲۱ سپتامبر ساعت ۱۵	DA300lx, ۵۰٪	UDI 300-3000, ۵۰٪
همهٔ کلاس‌ها	٪۵۸	٪۷۶	٪۶۴	٪۷۳	٪۶۰	٪۵۵
همه به‌جز کلاس‌های یکنواخت روشن	٪۷۳	٪۸۲	٪۷۳	٪۷۳	٪۱۰۰	٪۹۱
کلاس‌های یکنواخت روشن	٪۲۷	٪۶۴	٪۴۵	٪۷۳	٪۱۱	٪۱۱
کلاس‌های دارای نورگیر از دو جهت	٪۳۰	٪۳۰	٪۹۰	٪۹۰	٪۵۶	٪۴۴
کلاس‌های دارای نورگیر از یک جهت	٪۷۰	٪۹۶	٪۵۲	٪۶۵	٪۶۴	٪۶۴

۴۹. نک:
Reinhart & Weissman, ibid; Handina & Mukarromah & Mangkuto & Atmodipoero, ibid.

۵۰. نک:
Reinhart & Weissman, ibid; Reinhart & Rakha & Weissman, ibid.

۵۱. نک:
Nezamdoost & Van Den Wymelenberg, ibid.

www.SID.ir

Archive of SID

وجود نورگیر سقفی، و مقدار WFR در ارزیابی‌های کاربران تأثیرگذار است. در کلاس‌هایی که تقریباً در همهٔ قسمت‌ها نور کافی دریافت می‌کردند، کاربران در هنگام ارزیابی ترسیمی محدوده‌ای را ناحیهٔ روشن مشخص کرده‌اند که به طور نسبی روشنایی بیشتری نسبت به قسمت‌های دیگر دریافت کرده است و این لزوماً به معنای تاریک بودن و روشنایی ناکافی در باقی نواحی نیست. بنابراین برای تصمیم‌گیری در مورد حد پایین روشنایی مناسب برای استفاده در شاخص‌ها، از آن دسته از کلاس‌های مورد مطالعه که واجد شرایط فوق بودند، صرف نظر شد. طبق نتایج این پژوهش، ذهن کاربران، در لحظهٔ پاسخ‌گویی، مقدار روشنایی افقی ۱۲۵ لوکس را برای تعیین مرز بین ناحیهٔ تاریک و تقریباً روشن و ۳۵۰ لوکس را برای جدا کردن ناحیهٔ تقریباً روشن و روشن در نظر می‌گیرد. برای ارزیابی‌های طولانی‌مدت به کمک شاخص مبتنی بر اقلیم DA، با در نظر گرفتن مقدار ۳۰۰ و ۱۵۰ لوکس برای حد پایین روشنایی، می‌توان با دقت قابل قبولی محدودهٔ روشن و تقریباً روشن مشخص‌شده از سوی کاربران را پیش‌بینی کرد. در میان شاخص‌های استاتیک نیز، DF>۲٪ هماهنگی بیشتری با ارزیابی کاربران دارد. به طور کلی طبق نتایج این پژوهش، در میان ضابطه‌های مربوط به ارزیابی ناحیهٔ روشن در نسخهٔ چهارم لیید، sDA300lx, ۵۰٪ و پس از آن معیار روشنایی بیش از ۳۰۰ لوکس در اعتدال پاییزی با ادراک ذهنی کاربران آتلیه‌های طراحی شهر تهران مطابقت قابل قبولی دارد، به طوری که در بیش از ۷۳٪ موارد توانسته است محدودهٔ روشن را با دقت مناسبی پیش‌بینی کند. در پژوهش حاضر در یک برههٔ زمانی از سال از دانشجویان خواسته شد تا ارزیابی خود را از میانگین شرایط نوری در کل سال عرضه کنند و همان‌طور که مشاهده شد، این ارزیابی تا حد زیادی وابسته به شرایط نوری در لحظهٔ پاسخ‌گویی بوده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی توزیع پرسش‌نامه در چند مقطع زمانی در طول سال و تحت شرایط متنوع آسمان انجام گیرد تا ارزیابی‌ها به کل سال قابل تعمیم باشند و به این ترتیب قابلیت مقایسه با شاخص‌های دینامیک را داشته باشند. بررسی تعداد نمونه‌های بیشتر و در نظر گرفتن فاکتورهای انسانی تأثیرگذار بر ارزیابی کاربران از دیگر مواردی است که لازم است مورد توجه باشد. ضمن آنکه به دلیل تردید در پیش‌بینی نحوهٔ استفاده از سایه‌بان داخلی در کلاس‌ها در طول سال، از در نظر گرفتن آن در شبیه‌سازی‌های سالانه صرف نظر شد. نحوهٔ برخورد کاربران با سایه‌بان در فضاهای آموزشی و چگونگی در نظر گرفتن آن در شبیه‌سازی‌ها نیازمند تحقیقات بیشتری است و نتایج آن می‌تواند به ارزیابی‌های دقیق‌تر توسط شاخص‌ها کمک کند.

منابع و مآخذ

قیابکلو، زهرا. *مبانی فیزیک ساختمان ۳: روشنایی الکتریکی*، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۱.

ـــــــــ . *مبانی فیزیک ساختمان ۵: نور روز*، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۲.

Bellia, L. & M. Musto & G. Spada. "Illuminance Measurements through HDR Imaging Photometry in Scholastic Environment", in *Energy Build.*, vol. 43, No. 10 (2011), pp. 2843-2849.

Bian, Y. & T. Luo. "Investigation of Visual Comfort Metrics from Subjective Responses in China: A study in Offices with Daylight", in *Build. Environ.*, Vol. 123 (2017), pp. 661-671.

BSI, "BS EN 12665:2011 Light and Lighting - Basic Terms and Criteria for Specifying Lighting Requirements", (2011), p. 48.

Carlucci, S. & F. Causone & F. De Rosa & L. Pagliano. "A Review of Indices for Assessing Visual Comfort with a View to their Use in Optimization Processes to Support Building

۵۲. نک:
Mangkuto & Asri & Rohmah & Nugroho Soelami & Soegijanto, ibid.

www.SID.ir

Archive of SID

Integrated Design", in *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Vol. 47 (2015), pp. 1016-1033.

CIBSE/ SLL. "Lighting Guide 10: Daylighting and Windows Design", in *Chart. Inst. Build. Serv. Eng.*, 1999.

Edwards, L. & P. Torcellini. "A Literature Review of the Effects of Natural Light on Building Occupants", in *Technical Report*, 2002.

Garretón, J.Y. & R. Rodriguez & A. Pattini. "Effects of Perceived indoor Temperature on Daylight Glare Perception", in *Build. Res. Inf.*, Vol. 44, No. 8 (2016), pp. 907-919.

Handina A. & N. Mukarromah & R.A. Mangkuto & R.T. Atmodipoero. "Prediction of Daylight Availability in a Large Hall with Multiple Facades Using Computer Simulation and Subjective Perception", in *Procedia Eng.*, Vol. 170 (2017), pp. 313-319.

Heschong Mahone Group. "Windows and Classrooms: As Study of Student Performance and the indoor Environment", No. October, 2003.

Heschong, Lisa. *Daylight Metrics : PIER Daylighting Plus Research Program: Final Project Report*, California Energy Commission, No. 96, 2012.

Hopkinson, R.G. *Daylighting*, London: Butterworth-Heinemann Ltd, 1966.

Jakubiec, J.A. & C.F. Reinhart. "A Concept for Predicting Occupants' Long-Term Visual Comfort within Daylit Spaces", in *LEUKOS - J. Illum. Eng. Soc. North Am.*, Vol. 12, No. 4 (2015), pp. 185-202.

Jakubiec, J.A. "The Use of Visual Comfort Metrics in the Design of Daylit Spaces by Signature Redacted", 2014, access at: https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/91295

Korsavi, S.S. & Z.S. Zomorodian & M. Tahsildoost. "Visual Comfort Assessment of Daylit and Sunlit Areas: A Longitudinal Field Survey in Classrooms in Kashan, Iran", in *Energy Build.*, vol. 128 (2016), pp. 305-318.

Küller, R. & C. Lindsten. "Health and Behavior of Children in Classrooms with and without Windows", in *Journal of Environmental Psychology*, Vol. 12, No. 4 (Dec. 1992), pp. 305-331.

Leslie, R.P. "Capturing the Daylight Dividend in Buildings: Why and How?, in R.P. Leslie, *Building and Environment*, 38(2) (2003), pp. 381-385.

Mangkuto, R.A. & A.D. Asri & M. Rohmah & F.X. Nugroho Soelami & R. M. Soegijanto. "Revisiting the National Standard of Daylighting in Indonesia: A Study of five Daylit Spaces in Bandung", in *Sol. Energy*, Vol. 126 (2016), pp. 276-290.

Michael, A. & C. Heracleous. "Assessment of Natural Lighting Performance and Visual Comfort of Educational Architecture in Southern Europe: The Case of Typical Educational School Premises in Cyprus", in *Energy Build.*, Vol. 140 (2016), pp. 443-457.

Nabil, A. & J. Mardaljevic. "Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm for Assessing Daylight in Buildings" in *Light. Res. Technol.*, Vol. 37, No. 1 (2005), pp. 41-59.

Nabil, A. & J. Mardaljevic. "Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors", in *Energy Build.*, Vol. 38, No. 7 (2006), pp. 905-913.

Nezamdoost, A. & K.G, Van Den Wymelenberg. "A Daylighting Field Study Using Human Feedback and Simulations to Test and Improve Recently Adopted Annual Daylight Performance Metrics", in *J. Build. Perform. Simul.*, Vol. 10, No. 5-6 (2017), pp. 471-483.

Nezamdoost, A. & K.G. Van Den Wymelenberg. "Revisiting the Daylit Area: Examining Daylighting Performance Using Subjective Human Evaluations and Simulated Compliance with the LEED Version 4 Daylight Credit", in *LEUKOS - J. Illum. Eng. Soc. North Am.*, Vol. 13, No. 2 (2017), pp. 107-123.

Reinhart, C.F. & T. Rakha & D. Weissman. "Predicting the Daylit Area - A Comparison of Students Assessments and Simulations at eleven Schools of Architecture", in *LEUKOS - J. Illum. Eng. Soc. North Am.*, Vol. 10, No. 4 (2014), pp. 193-206.

Reinhart, C.F. & J. Mardaljevic & Z. Rogers. "Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design", in *LEUKOS - J. Illum. Eng. Soc. North Am.*, Vol. 3, No. 1 (2006), pp. 7-31.

Reinhart, C.F. & D.A. Weissman. "The Daylit Area - Correlating Architectural Student Assessments with

www.SID.ir

Archive of SID

Current and Emerging Daylight Availability Metrics", in *Build. Environ.*, Vol. 50 (2012), pp. 155–164.

Van Den Wymelenberg, K.G. "Evaluating Human Visual Preference and Performance in an Office Environment Using Luminance-based Metrics", in *Univ. Washingt.*, (Aug 2012), pp. 1-328.

www.SID.ir