مطالعات معماری ایران ۱۶

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال هشتم، شماره ۱۶، پاییز و زمستان ۱۳۹۸

◆ عمارت‌های باغ نظر شیراز و دگرگونی‌های کالبدی ـ کارکردی آن‌ها
● علی اسدپور

◆ نویافته‌های سردر مسجدجامع ارگ بم پس از زلزلهٔ ۱۳۸۲
● عیسی اسفنجاری کناری/ امیرحسین کریمی/ نسرین پورعیدی‌وند

◆ معماری نویافتهٔ دورهٔ ساسانی در منطقهٔ دماوند
● محمدرضا نعمتی/ عباسعلی رضایی‌نیا

◆ طراحی معماری به کمک پیشینه‌ها؛ مطالعهٔ شیوه‌های بهره‌گیری معماران حرفه‌ای ایران از پیشینه‌های طراحی
● الهام مهردوست/ احمد امین‌پور/ حمید ندیمی

◆ سیر تحول حرم حضرت معصومه(س) با تأکید بر سلسله‌مراتب ورود (تشرف) از دورهٔ صفوی تا دورهٔ قاجار
● محمد رضایی ندوشن/ سید عبدالهادی دانشپور/ مصطفی بهزادفر

◆ بررسی تطبیقی معماری بازار تاریخی تجریش و مرکز خرید ارگ تهران بر اساس نظریهٔ سینومرفی (هم‌ساختی کالبد_رفتار)
● ثریا تفکر/ آزاده شاهچراغی/ فرح حبیب

◆ تداوم ساختار خانوادهٔ گسترده در خانه‌های تک‌خانواری معاصر؛ نمونهٔ موردی: بررسی سکونت خانوادگی مهاجران افغان در ایران
● مسعود ناری قمی/ مهدی ممتحن/ معصومه احسانی

◆ واکاوی تعامل بین گونه‌های شکلی مسکن سنتی و ارتباطات فضایی با استفاده از ابزار نحو فضا (نمونهٔ موردی: خانه‌های سنتی کاشان)
● پوریا سعادتی وقار/ اسماعیل ضرغامی /عبدالحمید قنبران

◆ شناخت الگوی کارکرد فضا در حسینیه‌های شهر تفت
● مریم رجبی/ محمدرضا نقصان محمدی/ مهدی منتظرالحجه

◆ بررسی کارایی شاخص‌های نور روز در ارزیابی کیفیت آسایش بصری کاربران
● نسترن شفوی مقدم/ محمد تحصیلدوست/ زهراسادات زمردیان

◆ الگوی درونی‌سازی ارزش‌ها در آموزش معماری؛ طرح، کاربست و آزمون مدلی برای رشد عاطفی دانشجویان در کارگاه طراحی
● فرهاد شریعت راد

◆ حاشیه‌نویسی در معماری: رویکردی نظام‌مند در راستای تحرک‌بخشی و توسعهٔ پایه‌های نظری، پژوهشی و انتقادی معماری
● مریم غروی الخوانساری

www.SID.ir

مطالعات معماری ایران

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال هشتم، شماره ۱۶، پاییز و زمستان ۱۳۹۸
صاحب امتیاز: دانشگاه کاشان
مدیر مسئول: دکتر علی عمرانی‌پور
سردبیر: دکتر غلامحسین معماریان
مدیر داخلی: دکتر بابک عالمی

هیئت تحریریه (به‌ترتیب الفبا):
دکتر ایرج اعتصام. استاد دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات
دکتر مجتبی انصاری. دانشیار دانشگاه تربیت مدرس
دکتر امیرحسین چیت‌سازیان. دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر پیروز حناچی. استاد دانشگاه تهران
دکتر شاهین حیدری. استاد دانشگاه تهران
دکتر ابوالقاسم دادور. استاد دانشگاه الزهرا (س)
دکتر بابک عالمی. استادیار دانشگاه کاشان
دکتر علی عمرانی پور. استادیار دانشگاه کاشان
دکتر حسین کلانتری. دانشیار جهاد دانشگاهی
دکتر اصغر محمد مرادی. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر غلامحسین معماریان. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر محسن نیازی. استاد دانشگاه کاشان

درجه علمی پژوهشی دوفصلنامه مطالعات معماری ایران طی نامه شماره ۱۶۱۶۷۶ مورخ ۱۳۹۰/۰۸/۲۱ دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ابلاغ گردیده است.

پروانه انتشار این نشریه به شماره ۹۰/۲۳۰۳۰ مورخ ۹۱/۹/۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی صادر شده است.

این نشریه حاصل همکاری مشترک علمی دانشگاه کاشان با دانشکده معماری دانشگاه تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه الزهرا (س)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه شهید رجایی و پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری جهاد دانشگاهی است.

نشریه مطالعات معماری ایران در پایگاه استنادی علوم کشورهای اسلامی (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، پایگاه مجلات تخصصی نور (noormags.ir)، پرتال جامع علوم انسانی (ensani.ir) و بانک اطلاعات نشریات کشور (magiran.com) نمایه می‌شود.

تصاویر بدون استناد در هر مقاله، متعلق به نویسنده آن مقاله است.

(نسخه الکترونیکی مقاله‌های این مجله، با تصاویر رنگی در تارنمای نشریه قابل دریافت است.)

عکس روی جلد: حمیدرضا بانی
(چهارسوق بازار تاریخی نراق)
ویراستار ادبی فارسی: معصومه عدالت‌پور
ویراستار انگلیسی: مهندس غزل نفیسه تابنده
همکار اجرایی: مهندس نغمه اسدی چیمه
دورنگار: ۵۵۹۱۳۱۳۲-۰۳۱
نشانی دفتر نشریه: کاشان، بلوار قطب راوندی، دانشگاه کاشان، دانشکده معماری و هنر، کدپستی: ۵۳۱۵۳-۸۷۳۱۷
رایانامه: j.ir.arch.s@gmail.com
پایگاه اینترنتی: jias.kashanu.ac.ir
شاپا: ۰۶۳۵-۲۲۵۲

ناشر: مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری (RICeST)
انتشارات: ۳۶۴۶۸۴۵۲-۰۷۱
نمابر: ۳۶۴۶۸۳۵۲-۰۷۱

این نشریه در «ایران ژورنال» نظام نمایه‌سازی مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری (RICeST) به نشانی http://ricest.ac.ir و پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC) به نشانی http://isc.gov.ir نمایه می‌شود.

www.SID.ir

فهرست

۵ **عمارت‌های باغ نظر شیراز و دگرگونی‌های کالبدی ـ کارکردی آن‌ها**
علی اسدپور

۲۵ **نویافته‌های سردر مسجدجامع ارگ بم پس از زلزلهٔ ۱۳۸۲**
عیسی اسفنجاری کناری/ امیرحسین کریمی/ نسرین پورعیدی‌وند

۴۷ **معماری نویافتهٔ دورهٔ ساسانی در منطقهٔ دماوند**
محمدرضا نعمتی/ عباسعلی رضایی‌نیا

۶۱ **طراحی معماری به کمک پیشینه‌ها؛ مطالعهٔ شیوه‌های بهره‌گیری معماران حرفه‌ای ایران از پیشینه‌های طراحی**
الهام مهردوست/ احمد امین‌پور/ حمید ندیمی

۸۱ **سیر تحول حرم حضرت معصومه(س) با تأکید بر سلسله‌مراتب ورود (تشرف) از دورهٔ صفوی تا دورهٔ قاجار**
محمد رضایی ندوشن/ سید عبدالهادی دانشپور/ مصطفی بهزادفر

۱۰۵ **بررسی تطبیقی معماری بازار تاریخی تجریش و مرکز خرید ارگ تهران بر اساس نظریهٔ سینومرفی (هم‌ساختی کالبد ـ رفتار)**
ثریا تفکر/ آزاده شاهچراغی/ فرح حبیب

۱۳۳ **تداوم ساختار خانوادهٔ گسترده در خانه‌های تک‌خانواری معاصر؛ نمونهٔ موردی: بررسی سکونت خانوادگی مهاجران افغان در ایران**
مسعود ناری قمی/ مهدی ممتحن/ معصومه احسانی

۱۵۳ **واکاوی تعامل بین گونه‌های شکلی مسکن سنتی و ارتباطات فضایی با استفاده از ابزار نحو فضا (نمونهٔ موردی: خانه‌های سنتی کاشان)**
پوریا سعادتی وقار/ اسماعیل ضرغامی/ عبدالحمید قنبران

۱۸۱ **شناخت الگوی کارکرد فضا در حسینیه‌های شهر تفت**
مریم رجبی/ محمدرضا نقصان محمدی/ مهدی منتظرالحجه

۲۰۵ **بررسی کارایی شاخص‌های نور روز در ارزیابی کیفیت آسایش بصری کاربران (مطالعهٔ موردی: فضاهای آموزشی دانشکده‌های معماری شهر تهران)**
نسترن شفوی مقدم/ محمد تحصیلدوست/ زهراسادات زمردیان

۲۲۹ **الگوی درونی‌سازی ارزش‌ها در آموزش معماری**
طرح، کاربست و آزمون مدلی برای رشد عاطفی دانشجویان در کارگاه طراحی
فرهاد شریعت راد

۲۴۷ **حاشیه‌نویسی در معماری: رویکردی نظام‌مند در راستای تحرک‌بخشی و توسعهٔ پایه‌های نظری، پژوهشی و انتقادی معماری**
مریم غروی الخوانساری

۲۷۳ **راهنمای تدوین و ارسال مقاله**

۲۷۵ **بخش انگلیسی**

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی کارایی شاخص‌های نور روز در ارزیابی کیفیت آسایش بصری کاربران (مطالعهٔ موردی: فضاهای آموزشی دانشکده‌های معماری شهر تهران)*

علمی پژوهشی

نسترن شفوی مقدم**
محمد تحصیلدوست***
زهراسادات زمردیان****

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹

چکیده

اطمینان یافتن از ورود مقادیر مناسبی از نور روز به داخل فضا، به‌خصوص در فضاهای آموزشی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ زیرا در کنار تأثیر مثبت نور طبیعی بر خلق‌وخو، تمرکز و کیفیت یادگیری دانش‌آموزان و دانشجویان، وجود نور بیش از حد نیاز و عدم کنترل آن، منجر به بروز خیرگی و نارضایتی بصری می‌شود. امروزه به کمک شبیه‌سازی و با بهره‌گیری از شاخص‌ها، امکان پیش‌بینی کیفیت روشنایی و میزان رضایتمندی کاربران از شرایط نوری فضا (از نظر مقدار نور و خیرگی) فراهم شده است. هدف پژوهش پیش رو، بررسی میزان قابل اعتماد بودن ارزیابی‌های حاصل از شاخص‌های نورسنجی در فضاهای آموزشی است؛ به این منظور، عملکرد نور روز در تعدادی از آتلیه‌های طراحی معماری دانشگاه‌های تهران به دو روشِ «شبیه‌سازی و محاسبه شاخص‌های مربوط به مقدار نور و خیرگی» و «مطالعهٔ میدانی و آگاهی از نظریات کاربران به کمک پرسشنامه» مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به‌دست‌آمده از دو روش با یکدیگر مقایسه شد. نتایج پژوهش حاکی از آن است که در میان شاخص‌های پیش‌بینی مقدار نور، بیشترین همبستگی با نظریات کاربران مربوط به شاخص روشنایی لحظه‌ای E_p>n lx (n بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ لوکس) بوده است. شاخص‌های $E_{P\text{-}LEED}$، sDA و UDI، با شباهت زیادی از نظر میزان همبستگی با نظر کاربران، در رتبه‌های بعدی جای می‌گیرند. این در حالی است که میان شاخص‌های خیرگی مورد بررسی و نظر کاربران، همبستگی ضعیف بوده یا رابطه‌ای وجود نداشته است. عملکرد مناسب ضوابط UDI300-3000,50%>75% و ASE1000lx,250h<10%، به‌ترتیب برای تشخیص فضاهای قابل قبول از نظر مقدار نور و خیرگی، از دیگر نتایج حاصل‌شده از این پژوهش است.

کلیدواژه‌ها:

نور روز، آسایش بصری، شبیه‌سازی، شاخص‌های نورسنجی، پژوهش میدانی.

مطالعات معماری ایران
دو فصلنامه معماری ایرانی
شماره ۱۶ ـ پاییز و زمستان ۹۸

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد نویسندهٔ اول با عنوان *کارایی شاخص‌های نور روز در تخمین کیفیت روشنایی فضا مبتنی بر ترجیحات بصری کاربران (نمونهٔ موردی: تعدادی از فضاهای آموزشی دانشکده‌های معماری ـ شهر تهران)* به راهنمایی نویسندهٔ دوم و سوم است.

** دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه شهید بهشتی
*** استادیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی
*** استادیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، نویسنده مسئول، z_zomorodian@sbu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

پرسش‌های پژوهش

۱. کدام شاخص، تفسیر دقیق‌تری از ارزیابی ذهنی کاربران در خصوص کفایت روشنایی نور روز و میزان آزاردهندگی خیرگی در یک فضا ارائه می‌کند؟

۲. استناد به حدود قابل قبول توصیه‌شده برای شاخص‌ها از سوی متخصصان و استانداردها تا چه میزان به پیش‌بینی دقیق میزان رضایت کاربر در فضا منجر خواهد شد؟

مقدمه

تأمین آسایش کاربر در فضای داخلی ساختمان، دارای جنبه‌های مختلفی است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به آسایش بصری اشاره کرد. فراهم کردن شرایط نوری به‌گونه‌ای که آسایش بصری کاربران تأمین شود و پیام‌های دیداری به‌وضوح از محیط دریافت شوند، متأثر از عوامل مختلفی است که مقدار نور و نحوهٔ توزیع آن، انعکاس‌های آزاردهنده، درجهٔ خیرگی و دمای رنگ نور از جملهٔ آن‌هاست (Garretón, Rodriguez, and Pattini 2016). طبق نتایج تحقیقات، استفادهٔ صحیح از نور روز در فضاهای آموزشی، سبب ارتقای سطح سلامت جسمی و روحی دانش‌آموزان، افزایش تمرکز و کیفیت یادگیری و به‌طور کلی بهبود کارایی آنان می‌شود (Heschong Mahone Group 2003). در میان انواع فضاهای آموزشی، تأمین آسایش بصری در آتلیه‌های طراحی معماری، به‌سبب نیازهای نوری ویژهٔ فعالیت‌های متنوع دانشجویان (کار با قلم و کاغذ، کار با رایانه و...)، طولانی بودن مدت‌زمان حضور کاربران و همچنین گسترده بودن طیف سنی آنان (اساتید و دانشجویان) در این‌گونه فضاها، اهمیت بیشتری داشته و دشوارتر است (Bellia, Musto, and Spada 2011). ازاین‌رو برنامه‌ریزی برای استفادهٔ کارآمد از نور طبیعی و برقراری شرایط آسایش بصری برای کاربران فضاهای مذکور، از مواردی است که لازم است مورد توجه قرار گیرد. برای ارزیابیِ دو عامل مهم‌تر مؤثر بر آسایش بصری مرتبط با نور روز، یعنی کافی بودن مقدار نور دریافتی و عدم وقوع خیرگی آزاردهنده، از شاخص‌هایی استفاده می‌شود که نمایندهٔ چند متغیر همگن با ارزش‌های مختلف بوده و پس از ترکیب، در نهایت در قالب یک محدوده یا ارزش بیان می‌شوند و کیفیت روشنایی محیط را تعیین می‌کنند. شاخص‌های نورسنجی، از نظر محدودهٔ زمانیِ مورد ارزیابی و در نظر گرفتن شرایط آسمان، به دو گروه استاتیک و دینامیک تقسیم‌بندی می‌شوند. ارزیابی انجام‌گرفته توسط شاخص‌های استاتیک تنها برای یک برههٔ زمانی کوتاه بوده و محاسبات برای یک وضعیت ثابت انجام می‌گیرد. اما شاخص‌های دینامیک با در نظر گرفتن پارامترهای طراحی، اقلیم و تغییرات وضعیت آسمان و به‌تبع آن تغییرات روشنایی بر اساس داده‌های هواشناسی، شرایط نوری فضا و آسایش بصری کاربران را در طول یک سال ارزیابی می‌کنند و نتایج جامع‌تری را ارائه می‌دهند (Reinhart, Mardaljevic, and Rogers 2006). شاخص‌های دینامیک به کمک مدل‌سازی نور روز مبتنی بر اقلیم و شبیه‌سازی قابل محاسبه‌اند؛ بدین صورت که با مشخص کردن مواردی از قبیل هندسه و فرم فضا، ویژگی‌های مصالح و منابع نوری (خورشید و آسمان) به‌عنوان داده‌های ورودی برای نرم‌افزار، شبکه‌ای از حسگرها در ارتفاع معینی (عموماً در ارتفاع سطح کار) تعیین می‌شود و به کمک داده‌های روشنایی به‌دست‌آمده در محل هریک از این حسگرها، شاخص‌های مربوط محاسبه می‌شوند. برای پیش‌بینی میزان رضایت کاربر از شرایط نوری، لازم است تا برای شاخص‌های مذکور مقادیری به‌عنوان مبنا تعیین شود تا قضاوت دربارهٔ کافی نبودن، مناسب بودن و یا زیاده از حد بودن نور در نقاط مختلف فضای مورد بررسی امکان‌پذیر شود (Reinhart and Weissman 2012).

تاکنون شاخص‌های متعددی برای ارزیابی میزان روشنایی و خیرگی پیشنهاد شده‌اند. شاخص «فاکتور نور روز[1] (DF)» از جمله شناخته‌شده‌ترین شاخص‌های استاتیک برای ارزیابی مقدار نور در فضاست و مقدار آن برابر است با نسبت بین روشنایی در داخل فضا و روشنایی در خارج از فضا، در محیط بدون مانع تحت شرایط آسمان ابری. فاکتور نور روز برای هر نقطهٔ مشخص از سطح کار به‌طور مجزا محاسبه می‌شود، اما عموماً به‌وسیلهٔ میانگین‌گیری در قالب یک عدد منفرد و برای ارزیابی کل یک فضا مورد استفاده قرار می‌گیرد و آستانهٔ پذیرش آن با توجه به نوع فعالیت از

www.SID.ir

Archive of SID

۲% تا ۵% متغیر است (Nabil and Mardaljevic 2005). از جمله شاخص‌های دینامیک برای ارزیابی مقدار نور نیز می‌توان به «روشنایی قابل‌استفاده نور روز[۲] (UDI)» اشاره کرد که عبارت است از نسبتی از دورهٔ اشغال در طول یک سال که روشنایی افقی در یک نقطهٔ مشخص، در محدودهٔ معینی باشد. وجود مقادیری به‌عنوان حد پایین و حد بالای روشنایی، محدودهٔ زمانی ارزیابی‌شده را به سه قسمت تقسیم می‌کند: مدت‌زمانی که روشنایی ناشی از نور روز بسیار کم است ($UDI_{underlit}$)، مقدار مناسبی دارد (UDI_{useful}) و یا به قدری زیاد است ($UDI_{overlit}$) که منجر به عدم آسایش بصری می‌شود (Nabil and Mardaljevic 2006). مقادیر تعیین‌شده به‌عنوان حد بالا و پایین برای این شاخص در منابع مختلف متفاوت است اما عموماً مقدار ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس به‌عنوان محدودهٔ کفایت نور پیشنهاد می‌شود (Jakubiec 2014). «کفایت (اتونومی) نور روز[۳] (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[۴]، sDA300,50% را برای تحلیل کفایت نور پیشنهاد می‌کند؛ یعنی درصدی از نقاط سطح که روشنایی بیش از ۳۰۰ لوکس را در حداقل ۵۰% از زمان اشغال (از ساعت ۸ تا ۱۸) دریافت می‌کنند و حداقل مقدار قابل قبول برای آن برابر با ۵۵% است.

شاخص احتمال خیرگی عدم آسایش[۵] (DGP) از جمله پرکاربردترین شاخص‌های استاتیک برای تشخیص درجهٔ آزاردهندگی خیرگی در یک لحظهٔ مشخص و برای یک زاویه‌دید معین است و مقادیر بیش از ۰/۴۵ برای این شاخص، وقوع خیرگی غیرقابل تحمل برای بیننده را نشان می‌دهد. به‌سبب زمان‌بر بودن محاسبهٔ DGP، نسخه‌ای ساده‌شده از شاخص مذکور ارائه شده که برای ارزیابی صحنه‌هایی که در آن خورشید قابل رؤیت نیست، مناسب است. در محاسبهٔ DGPs[۶] از پارامترهای درخشندگی و زاویهٔ رؤیت صرف‌نظر شده و تنها بر اساس مقادیر روشنایی دریافتی در سطح چشم بیننده (E_V) محاسبه می‌شود (Wienold 2009) (معادلهٔ ۱).

$$DGP_S|_{Wienold} = 6.22 \times 10^{-5}.E_V + 0.184 \qquad (1)$$

شاخص دینامیک «عدم آسایش بصری فضایی[۷] (sVD)» به‌منظور ارزیابی سالانهٔ وضعیت فضا از نظر وقوع خیرگی مورد استفاده قرار می‌گیرد و درصدی از فضا را که در آن مقدار DGP برای مدت‌زمان مشخصی (عموماً ۲۰% از دورهٔ زمانی اشغال فضا)، بیشتر از ۰/۴۵ است، نشان می‌دهد (Zomorodian and Tahsildoost 2017). قرارگیری در معرض تابش سالانه[۸] (ASE) نیز شاخص دینامیک دیگری است که به‌عنوان روشی برای تشخیص شرایط آزاردهنده (بصری و حرارتی) معرفی شده است. این شاخص، تابش مستقیم خورشید را به‌عنوان عاملی برای ایجاد نارضایتی در نظر می‌گیرد و بر همین اساس درصد فضایی را که مقدار روشنایی مستقیم بیشتر از ۱۰۰۰ لوکس را در حداقل ۲۵۰ ساعت از دورهٔ اشغال دریافت می‌کند، نشان می‌دهد. حداکثر مقدار قابل قبول پیشنهادی برای این شاخص، ۱۰% است. شاخص «فراهم بودن نور روز[۹] (DAv)» از دیگر شاخص‌هایی است که برای تشخیص خیرگی به‌صورت DAv3000lx,5% مورد استفاده قرار می‌گیرد و بیانگر درصدی از فضاست که در بیش از ۵% از دورهٔ زمانی اشغال فضا، روشنایی بیش از ۱۰ برابر مقدار مورد نیاز (عموماً ۳۰۰ لوکس) دریافت می‌کند (Jakubiec 2014).

۱. پیشینهٔ پژوهش

در میان تحقیقات مرتبط با موضوع آسایش بصری انجام‌گرفته در سال‌های ۱۹۴۹ تا ۲۰۱۸، در سال‌های اخیر تعدادی از تحقیقات به کمک مقایسه ارزیابی‌های حاصل از روش میدانی و شبیه‌سازی رایانه‌ای، به اعتبارسنجی این شاخص‌ها از نظر هماهنگی با نظریات کاربران پرداخته‌اند. در سال ۲۰۱۲، طی تحقیقی گسترده در فضاهایی با کاربری متنوع در ایالات متحدهٔ آمریکا، شاخص‌های *sDA* و *ASE* به‌عنوان دو شاخص مناسب برای پیش‌بینی رضایت کاربران از مقدار نور و آزاردهندگی خیرگی پیشنهاد شدند (Lisa Heschong 2012). در همین سال رینهارت و وایزمن، طی پژوهشی

www.SID.ir

Archive of SID

در یک آتلیهٔ طراحی در دانشگاه کمبریج آمریکا به این نتیجه رسیدند که شاخص *sDA* با در نظر گرفتن ۳۰۰ لوکس به‌عنوان 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 (Reinhart and Weissman 2012). در سال ۲۰۱۴، در پژوهشی گسترده‌تر، اعتبار شاخص *sDA* در کشورهای برزیل، کانادا، مصر و آمریکا بررسی شد. طبق نتایج، شاخص مذکور در فضاهایی که به‌طور یکنواخت تاریک یا روشن باشند، دقیق نخواهد بود (Reinhart, Rakha, and Weissman 2014). نظام‌دوست و ویملنبرگ در پژوهشی در فضاهای با شرایط نوری متنوع بار دیگر کارایی شاخص *sDA* را مورد ارزیابی قرار دادند و طبق نتایج در فضاهای دارای پنجرهٔ داخلی یا نورگیر سقفی، اختلاف فاحشی میان نظر کاربران و نتایج ارزیابی شاخص مذکور مشاهده شد (Nezamdoost and Van Den Wymelenberg 2017a). همین محققان در پژوهشی دیگر دریافتند که شاخص *ASE* برای ارزیابی خیرگی مناسب نبوده و به‌دلیل در نظر گرفته نشدن عواملی مانند امکان جابه‌جایی کاربر و یا میزان حساسیت فعالیت وی، برای همهٔ فضاها قابل‌استفاده نخواهد بود (Nezamdoost and Van Den Wymelenberg 2017b). مَنکیوتو و همکاران نیز با بررسی تعدادی فضای آموزشی به این نتیجه رسیدند که قواعد سرانگشتی نفوذ نور (نفوذ نور به میزان یک سوم عمق اتاق و یا ۱/۵ برابر ارتفاع پنجره) در مقایسه با شاخص‌ها، مطابقت بیشتری با ارزیابی کاربران دارد. در این تحقیق اختلاف قابل توجهی میان نتایج حاصل از به‌کارگیری شاخص *sDA* در شبیه‌سازی با نظریات کاربران مشاهده شد (Mangkuto et al. 2016). در سال ۲۰۱۶، کُرسوی و همکاران توانایی شاخص‌های به کار گرفته‌شده توسط آیین‌نامهٔ لیید و بازهٔ پذیرش مورد قبول آن‌ها را به کمک مقایسه با ارزیابی ذهنی دانش‌آموزان مدرسه‌ای در کاشان که از طریق پرسشنامه حاصل شد، مورد آزمون قرار دادند و مشاهده کردند که مقدار نور و میزان آزاردهندگی خیرگی تخمین زده‌شده، به‌ترتیب توسط sDA و ASE با آنچه کاربران احساس می‌کرده‌اند متفاوت بوده است (Korsavi, Zomorodian, and Tahsildoost 2016). در پژوهشی که به‌تازگی در چهار کلاس درس در آمریکا با هدف بررسی مطابقت شاخص‌های دینامیک با نظریات کاربران انجام گرفت، مشخص شد که همبستگی بالایی میان ادراک کاربر و شاخص‌های sDA و UDI وجود دارد. همچنین طبق نتایج، شاخص خیرگی DGPs نسبت به سایر شاخص‌ها با نظریات کاربران مطابقت بیشتری دارد (Zomorodian and Tahsildoost 2018). به‌طور کلی، طبق نتایج تحقیقات مذکور، نحوهٔ عملکرد شاخص‌های یکسان در «موقعیت‌های جغرافیایی مختلف»، متفاوت بوده و به نظر می‌رسد علت این موضوع، تأثیرگذاری فرهنگ و اقلیم بر احساس آسایش بصری افراد باشد. از آنجایی که بازهٔ توصیه‌شده برای شاخص‌های آسایش بصری، بر اساس مطالعات میدانی در کاربری‌ها و اقلیم‌های مشخصی با جامعهٔ آماری محدودی صورت‌گرفته، ممکن است در سایر کاربری‌ها و اقلیم‌ها آنچنان که باید، با ارزیابی ذهنی کاربران مطابقت نداشته باشد. بنابراین لازم است شاخص‌های مذکور طی پژوهش‌های میدانی در هر منطقهٔ جغرافیایی، مطابق با ترجیحات بصری کاربران همان منطقه، تدقیق و الزامات مربوط نیز تدوین شوند.

۲. هدف پژوهش

هدف مقالهٔ پیش رو، بررسی میزان قابل اعتماد بودن نتایج حاصل از شاخص‌های مربوط به پیش‌بینی مقدار نور و درجهٔ آزاردهندگی خیرگی در فضاهای آموزشی است. برای این منظور، آتلیه‌های طراحی دانشکده‌های معماری شهر تهران به‌عنوان جامعهٔ آماری انتخاب شده است. قرارگیری کشور ایران در نواحی پرتابش زمین و بالا بودن تعداد روزهای آفتابی در بیشتر نقاط آن از جمله شهر تهران (با ۲۹۰۳ ساعت آفتابی در طول یک سال طبق داده‌های هواشناسی ایستگاه مهرآباد (Römer n.d.)) می‌تواند بر نحوهٔ ادراک روشنایی محیط و آستانهٔ تحمل در برابر نور کم یا زیاد تأثیرگذار باشد. به‌سبب آنکه تاکنون ترجیحات بصری کاربران در کشور ایران آن‌طور که باید مورد بررسی قرار نگرفته است، نتایج انجام این پژوهش می‌تواند به‌عنوان بخشی از این مطالعات، به طراحی فضاهای مطلوب و هماهنگ با نیازهای کاربران، در این منطقه جغرافیایی کمک کند. ضمن آنکه آشنایی دانشجویان معماری با مفاهیم مورد پرسش،

www.SID.ir

Archive of SID

موجب می‌شود فرایند جمع‌آوری اطلاعات از طریق پرسشنامه، تسهیل شده و نتایج دقیق‌تری را به دنبال داشته باشد. این تحقیق در پی یافتن پاسخ پرسش‌های اصلی زیر است:

۱. کدام شاخص، تفسیر دقیق‌تری از ارزیابی ذهنی کاربران در خصوص کفایت روشنایی نور روز و میزان آزاردهندگی خیرگی در یک فضا ارائه می‌کند؟

۲. استناد به حدود قابل قبول توصیه‌شده برای شاخص‌ها از سوی متخصصان و استانداردها تا چه میزان به پیش‌بینی دقیق میزان رضایت کاربر در فضا منجر خواهد شد؟

به این منظور 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 متعاقباً در قالب نتایج تحلیل و جمع‌بندی می‌شود.

۳. روش پژوهش

مراحل تحقیق حاضر که متشکل از دو روش میدانی و شبیه‌سازی است، چهار گام اصلی را شامل می‌شود:

۱. آگاهی از میزان رضایت کاربران از مقدار و نحوهٔ توزیع نور و همچنین میزان آزاردهندگی خیرگی در فضاهای منتخب به کمک پرسشنامه؛

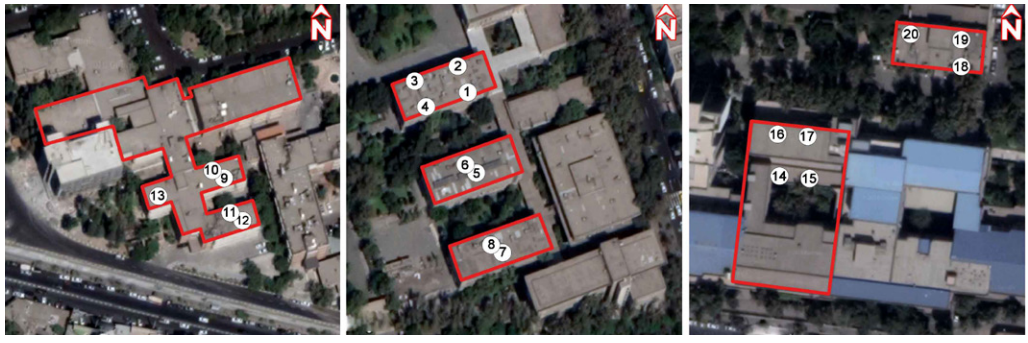
۲. شبیه‌سازی شرایط نوری فضا برای لحظه پاسخ‌گویی کاربران و همچنین در طول سال و تولید داده‌های روشنایی؛ محاسبهٔ شاخص‌های نور و خیرگی؛ و در نهایت ارزیابی شرایط نوری فضاهای مورد بررسی به کمک محدودهٔ مورد پذیرش توصیه‌شده برای شاخص‌ها؛

۳. مقایسهٔ ارزیابی‌های حاصل از به‌کارگیری شاخص‌ها (نتایج مرحلهٔ ۲) با ارزیابی‌های کاربران (نتایج مرحلهٔ ۱)؛

۴. رتبه‌بندی شاخص‌ها از نظر دقت پیش‌بینی درجهٔ رضایتمندی کاربران در شرایط واقعی.

۳. ۱. بخش میدانی

از میان فضاهای آموزشی ۱۱ دانشکدهٔ هنر و معماری موجود در شهر تهران، ۲۰ آتلیه طراحی معماری متعلق به دانشکده‌های معماری هنرهای زیبا، شهید بهشتی و علم و صنعت، به‌سبب ویژگی‌های فضایی و فراهم بودن امکان دسترسی برای جمع‌آوری داده‌های لازم و توزیع پرسشنامه میان دانشجویان، به‌عنوان جامعهٔ نمونه انتخاب شدند. تنوع از نظر جهت‌گیری، نوع نورگیر (اعم از دیواری، سقفی، زیر سقفی و...)، نسبت جدارهٔ شفاف به کدر، سامانه‌های کنترل‌کنندهٔ نوری، آرایش مبلمان فضا و... معیار انتخاب نمونه‌ها بوده است. نقشهٔ هوایی محل قرارگیری آتلیه‌های مورد بررسی در تصویر ۱ نشان داده شده است. تصاویر و مشخصات آتلیه‌ها در پیوست ۱ قابل مشاهده است.



تصویر ۱: از راست به چپ: تصاویر هوایی از ساختمان دانشکده‌های علم و صنعت، هنرهای زیبا و شهید بهشتی به همراه محل قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه (Google n.d.)

www.SID.ir

Archive of SID

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 طاقچهٔ نوری دارند. مساحت آتلیه‌ها مقادیری بین ۵۲ و ۲۴۳ مترمربع دارد و درصد جدارهٔ شفاف به کدر یا WWR[۱۰] در آن‌ها بین ۱۰% و ۴۰% متغیر است. همچنین نسبت جدارهٔ شفاف به مساحت کف یا WFR[۱۱] در آن‌ها مقداری بین ۳% تا ۳۵% دارد. ارتفاع کف‌پنجره‌ها از ۱ تا ۱/۲۰ متر متغیر بوده و ارتفاع بالای پنجره‌ها نیز در بازه صفر تا ۱/۸ متر قرار دارد. از میان فضاهای مورد بررسی، سه فضا بدون مانع خارجی قابل توجه برای نورگیری بوده و در باقی فضاها درخت‌ها و ساختمان‌ها واقع‌شده در نزدیکی نورگیرها، در بیشتر مواقع موجب سایه‌اندازی و یا سد نمودن تابش مستقیم خورشید می‌شوند. ضریب عبور نور روز[۱۲] شیشهٔ کلاس‌ها با محاسبهٔ نسبت روشنایی دریافتی توسط سنسور نورسنج در دو حالتِ «پشت شیشه پنجره (رو به محیط بیرون)» و «بدون حضور شیشه» تعیین شد که مقدار آن بین ۰/۷ و ۰/۸۲ با مقدار میانگین ۰/۷۶ بوده است. مشخصات نورسنج مورد استفاده در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱: مشخصات نورسنج مورد استفاده

مدل	TES-1332A Light Meter
بازهٔ اندازه‌گیری	20/200/2000/20000 Lux (1330A also Footcandle for 1334A) 200/2000/20000/200000 Lux (1332A) 20000lux-reading x 10;200000 lux-reading x 100
تفکیک‌پذیری و دقت	0.1 lux +/-3% rdg +/-0.5% f.s. (10,000 lux) (calibrated to standard incandescent lamp, 2856 K)
شرایط کارکرد	0° to 40°C (32°F to 104°F) < 70% R.H.

جز در پنج کلاس، چیدمان مبلمان فضا به‌گونه‌ای بوده که کاربران به‌طور موازی با نورگیرهای جانبی قرار گرفته‌اند (تصویر ۱۱ در پیوست ۱). همچنین عمدهٔ پاسخ دهندگان (۶۶%) در فاصلهٔ کمتر از چهار متر از نورگیر فضا قرار داشته و درصد کمی (۵%) از افراد در فاصلهٔ بیش از هشت متر با آن بوده‌اند. پاسخ‌دهندگان از میان دانشجویان حاضر در آتلیه‌های مذکور (با محدودهٔ سنی ۱۸ تا ۳۰ سال) که حداقل دو ماه را در فضای مورد بررسی گذرانده بودند و به‌سبب تجربهٔ شرایط نوری آن فضا، توانایی ارزیابی آسایش بصری در درازمدت را داشتند، انتخاب شدند. بخش اول پرسشنامهٔ مورد استفاده، سؤالات فردی را شامل می‌شود و سن، جنسیت، میزان حساسیت به نور شدید، ترجیحات نوری و نوع فعالیت فرد در فضا را مورد پرسش قرار می‌دهد. بخش دوم، سؤالاتی دربارهٔ میزان رضایت از روشنایی محیط، نحوهٔ توزیع نور روز در فضا، میزان آزاردهندگی بصری ناشی از سطوح روشن اطراف کاربر و یا قرارگیری منابع نوری شدید در میدان دید را در بر می‌گیرد (جدول ۲).

جدول ۲: سؤالات پرسشنامهٔ توزیع‌شده میان کاربران فضاها

الف. اطلاعات فردی													
۱	سن												
۲	جنس												
۳	چقدر به نور شدید حساسید؟	بسیار زیاد	|	6	|	5	|	4	|	3	|	2	| 1 |	بسیار کم

www.SID.ir

Archive of SID

۴	از نظر شرایط نوری کدام را بیشتر می‌پسندید؟	کلاس شمالی☐	کلاس جنوبی☐	کلاس شرقی☐	کلاس غربی☐
۵	فعالیت عمدهٔ شما در این کلاس چیست؟	کار با قلم و کاغذ ☐	کار با کامپیوتر☐		
ب. ارزیابی وضعیت نوری کلاس					
۶	درمجموع چقدر از مقدار نور طبیعی رضایت دارید؟	کاملاً راضی	|6|5|4|3|2|1|	کاملاً ناراضی	
۷	چقدر از میزان یکنواختی توزیع نور طبیعی در این کلاس رضایت دارید؟	کاملاً راضی	|6|5|4|3|2|1|	کاملاً ناراضی	
۸	نور مستقیم خورشید در این کلاس چقدر آزاردهنده است؟	کاملاً غیرآزاردهنده	|6|5|4|3|2|1|	کاملاً آزاردهنده	
۹	انعکاس نور از سطوح اطرافتان (دیوار، کف، تخته، میز، ...) چقدر آزاردهنده است؟	کاملاً غیرآزاردهنده	|6|5|4|3|2|1|	کاملاً آزاردهنده	
۱۰	وجود هم‌زمان نواحی تاریک و روشن در محدودهٔ دیدتان، چقدر آزاردهنده است؟	کاملاً غیرآزاردهنده	|6|5|4|3|2|1|	کاملاً آزاردهنده	

تعداد پاسخ‌دهندگان 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 خرداد توزیع شده و وضعیت آسمان متغیر بوده است. بر اساس مقیاس یک‌دهم برای بیان میزان ابرناکی، در ۳۵٪ از روزهای توزیع پرسشنامه، آسمان صاف (پوشش ابر در آسمان کمتر از 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. باید افزود در تمامی روزها تابش مستقیم خورشید وجود داشته است. زمان توزیع پرسشنامه‌ها عمدتاً بین ساعات ۱۱ تا ۱۳ بوده و هنگام توزیع پرسشنامه، لامپ‌ها خاموش و پرده‌ها کنار زده شدند و پاسخ‌گویی به سؤالات تنها در شرایط تابش نور طبیعی انجام گرفته است. این نکته باید مورد توجه قرار گیرد 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 و نه در طولانی‌مدت، ناگزیر موجب کاهش دقت در داده‌های حاصل از پرسشنامه‌ها می‌شود و به همین سبب سعی شده است تا تعداد ارزیابی‌های مربوط به هر فضا، حداکثر مقدارِ ممکن باشد. 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 اندازه‌گیری شد.

۳. ۲. بخش شبیه‌سازی

نسخهٔ پنجم نرم‌افزار راینو[۱۳] برای تولید مدل‌های سه‌بعدی کلاس‌های منتخب و نسخهٔ چهارم افزونهٔ دیوا برای گرس هاپر[۱۴] که برای محاسبات از موتورهای محاسباتی ریدینس[۱۵] و دی سیم[۱۶] استفاده می‌کند، برای انجام ارزیابی‌های لحظه‌ای و سالانهٔ نور روز انتخاب شدند. برای شبیه‌سازی آسمان از اطلاعات ساعتی آب‌وهوایی (تابش مستقیم و پراکنده) مربوط به فایل آب‌وهوایی (TM2) نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی موجود (مهرآباد، شرق و شمال تهران) استفاده شد و داده‌های روشنایی در شبکهٔ مفروض در سطح میز کار در ارتفاع ۰/۸ متری از سطح کف داخلی با ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی‌متر محاسبه شدند. مقادیر پارامترهای شبیه‌سازی مورد استفاده توسط موتورهای محاسباتی در جدول ۳ نشان داده شده است:

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳: مقادیر پارامترهای مورد استفاده در شبیه‌سازی

ar[۱۷]	aa[۱۸]	as[۱۹]	ad[۲۰]	*ab[۲۱]
256	0.1	256	1024	4

* در محاسبهٔ شاخص ASE، مقدار ab برابر با صفر در نظر گرفته شد.

شاخص‌های منتخب ارزیابی مقدار نور و خیرگی در جدول ۴، قابل مشاهده‌اند. شایان ذکر است در این پژوهش به‌علت متفاوت بودن جایگاه کاربران و نیاز به آگاهی از وضعیت کلی کلاس، از شاخص‌های خیرگی مبتنی بر شبکه (و نه مبتنی بر تصویر که نیازمند تعیین موقعیت قرارگیری کاربر و میدان دید وی به‌طور دقیق است) استفاده شده است.

جدول ۴: شاخص‌های بررسی‌شده در پژوهش

نوع	ارزیابی فضا از نظر مقدار نور		ارزیابی فضا از نظر خیرگی	
	شاخص	ضابطهٔ ارزیابی	شاخص	ضابطهٔ ارزیابی
استاتیک	E_p	%Area with ($E_p \geq n\ lx$) ≥75% *($n \in \{50,75,100,125,150,200,250,\ldots,500\}$)*	E_p	%Area with ($E_p \geq n\ lx$) ≤10% *($n \in \{800,1000,1500,\ldots,5000\}$)*
	$E_{P\text{-}LEED}$	%Area with ($E_p \geq 300\ lx$) ≥75% *@21sep,9 a.m & 3 p.m*	$E_{P\text{-}LEED}$	%Area with ($E_p \geq 3000\ lx$) ≤10% *@21sep,9 a.m & 3 p.m*
	DF	%Area with (DF≥2%) ≥75%	DF	%Area with (DF≥5%) ≤10%
			DGPs	%Area with (DGPs ≥0.45) ≤10%
دینامیک	UDI	%Area with (UDI300-3000≥50%) ≥75%	sVD	$sVD_{DGP>=0.45,20\%}$≤10%
	sDA	sDAnlx,50%≥55% *($n \in \{100,150,200,300,\ldots,700\}$)*	ASE	ASE1000lx,250h ≤10%
			DAv	DAv3000lx,5% ≤10%

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون همبستگی استفاده شد. سطح معناداری در این پژوهش برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شده است.

٤. یافته‌های پژوهش

٤. ١. شبیه‌سازی

مطابق با داده‌های روشنایی حاصل از شبیه‌سازی مربوط به لحظهٔ توزیع پرسشنامه در کلاس‌های مورد بررسی، حداقل نیمی از مساحت کلاس‌های ۲، ۳، ۱۰ـ۱۳ و ۱۷ روشنایی بیش از ۳۰۰ لوکس دریافت کرده و نسبت به سایر کلاس‌ها روشن‌تر بوده‌اند. در مقابل، کلاس‌های ۱۴ و ۲۰، عمده مساحت فضا روشنایی کمتر از ۵۰ لوکس داشته و در مقایسه با دیگر کلاس‌ها نور طبیعی کمتری دریافت کرده است. طبق داده‌های روشنایی سالانه، در کلاس‌های ۲، ۱۰ـ۱۳ و ۱۸، درصد زیادی از فضا (۷۵% و بالاتر) روشنایی حداقل ۳۰۰ لوکس را در دست‌کم نیمی از دورهٔ اشغال در طول سال دریافت می‌کنند. دریافت این میزان روشنایی در درصد قابل توجهی (۵۵% تا ۷۵%) از کلاس‌های ۱، ۳، ۶، ۸ و ۱۵ نیز اتفاق می‌افتد. این در حالی است که در کلاس ۱۴ تنها ۱۰% از فضا این مقدار روشنایی را دریافت می‌کند (تصویر ۲).

با یک نگاه کلی به درصد فضای دارای روشنایی کافی بر اساس هرکدام از شاخص‌ها می‌توان دریافت که در عمدهٔ موارد، کمترین درصد پیش‌بینی‌شده برای ناحیهٔ دارای نور کافی، مربوط به شاخص استاتیک DF بوده است. همچنین، ارزیابی‌های مربوط به شاخص‌های دینامیک sDA و UDI بسیار مشابه بوده است. در کلاس‌های ۹ـ۱۳، ۱۵ و ۱۸ اختلاف حداقل و حداکثر درصد محدودهٔ دارای نور کافی پیش‌بینی‌شده توسط شاخص‌ها به بیش از ۵۰% می‌رسد. به نظر می‌رسد دریافت میزان بیشتری از تابش مستقیم در کلاس‌های ۹ـ۱۳ و ۱۸ به‌واسطهٔ داشتن WFR

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص	شماره ی نمونه و جهت پنجره																					
	شمالی				جنوبی				شرقی	غربی	شمالی و جنوبی											
	۲	۳	۱۶	۱۷	۱	۴	۱۴	۱۵	۱۸	۱۹	۲۰	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
DF>2%	۴۵٪	۳۶٪	۳۳٪	۴۰٪	۲۴٪	۱۳٪	۵٪	۲۹٪	۲۸٪	۲۰٪	۱۶٪	۱۵٪	۲۹٪	۱۴٪	۳۱٪	۲۲٪	۴۱٪	۵۰٪	۳۷٪	۳۵٪
E_P>300lx @21sep-9am	۷۴٪	۵۸٪	۵۰٪	۵۸٪	۴۰٪	۲۲٪	۹٪	۴۷٪	۴۶٪	۳۵٪	۲۴٪	۲۸٪	۵۰٪	۲۷٪	۴۹٪	۳۴٪	۷۴٪	۹۴٪	۷۶٪	۶۱٪
E_P>300lx @21sep-3pm	۶۷٪	۵۵٪	۴۸٪	۵۷٪	۴۵٪	۲۵٪	۸٪	۴۴٪	۳۲٪	۲۸٪	۳۰٪	۲۸٪	۴۶٪	۲۹٪	۵۰٪	۳۴٪	۷۳٪	۹۵٪	۷۴٪	۷۱٪
$sDA_{300/50\%}$	۷۸٪	۵۸٪	۲۶٪	۳۸٪	۵۷٪	۳۲٪	۱۰٪	۶۷٪	۸۱٪	۳۴٪	۲۶٪	۲۸٪	۵۵٪	۲۹٪	۵۹٪	۴۸٪	۹۸٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪
$UDI_{300-3000lx/50\%}$	۷۴٪	۵۵٪	۲۴٪	۳۶٪	۵۳٪	۲۹٪	۱۰٪	۶۲٪	۷۲٪	۳۵٪	۲۴٪	۲۶٪	۵۳٪	۲۷٪	۵۸٪	۴۵٪	۹۵٪	۹۴٪	۹۴٪	۹۹٪

تصویر ۲: درصد فضای دارای روشنایی کافی در هر فضا بر اساس شاخص‌های استاتیک و دینامیک

بیشتر نسبت به سایر کلاس‌ها (به‌ترتیب ۲۶% و ۱۸%) و وجود نورگیر سقفی و همین طور پنجرهٔ جنوبی در کلاس ۱۵ موجب شده است تا ارزیابی شاخص DF که تحت شرایط آسمان ابری انجام می‌گیرد و تابش مستقیم در آن در نظر گرفته نمی‌شود، تفاوت فاحشی با ارزیابی‌های شاخص‌های دیگر داشته باشد. به بیان دیگر، استفاده از آسمان ابری برای محاسبهٔ نور روز به کمک شاخص‌های استاتیک در اقلیم‌های آفتابی قابل اعتماد نخواهد بود. همچنین انجام ارزیابی توسط شاخص‌های استاتیک در کلاس‌هایی که ورود نور طبیعی به داخل فضا به‌سبب ابعاد، جهت و نوع نورگیر، وابستگی بیشتری به زاویهٔ ارتفاع خورشید دارد، راه‌حل مناسبی برای مشخص کردن وضعیت کلی فضا از نظر نورگیری نیست. چنان‌که طبق نتایج، در کلاس شمارهٔ ۱۸ که بالاترین مقدار WFR را در میان کلاس‌های تک‌جهته با نورگیر جنوبی داراست نیز به‌سبب تغییر زاویهٔ ارتفاع خورشید در طول سال، ارزیابی شاخص‌های استاتیک و دینامیک، تفاوت چشمگیری (۵۱%) دارند.

تصویر ۳، درصدی از هریک از فضاهای مورد بررسی را که طبق شاخص‌های محاسبه‌شده در معرض وقوع خیرگی قرار دارند، نشان می‌دهد. طبق نتایج، در کلاس‌هایی که تنها در جبههٔ شمالی دارای نورگیر هستند، شاخص DF در مقایسه با سایر شاخص‌ها، درصد بیشتری از فضا را دارای پتانسیل وقوع خیرگی تشخیص داده است. به نظر می‌رسد قضاوت بر اساس نسبت روشنایی و در نظر نگرفتن مقادیر مطلق و همچنین ارزیابی تحت شرایط آسمان ابری و عدم در نظرگیری تابش مستقیم توسط شاخص DF، علت این تفاوت باشد. مشابه بخش قبل، بیشترین اختلاف بین حداقل و حداکثر مقادیر شاخص‌های خیرگی نیز مربوط به کلاس‌های ۱۵ و ۱۸ است. بر اساس نتایج، بیشترین درصد فضای در معرض خیرگی در هر کلاس مربوط به شاخص DAv بوده است.

شاخص	شماره ی نمونه و جهت پنجره																					
	شمالی				جنوبی				شرقی	غربی	شمالی و جنوبی											
	۲	۳	۱۶	۱۷	۱	۴	۱۴	۱۵	۱۸	۱۹	۲۰	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
DGPs>0.45	۱٪	۱٪	۱٪	۱٪	۱٪	۱٪	۲٪	۶٪	۱٪	۱٪	۱٪	۱٪	۲٪	۱٪	۱٪	۱٪	۲٪	۵٪	۱۰٪	۴٪
DF>5%	۱۱٪	۱۰٪	۶٪	۹٪	۱٪	۱٪	۲٪	۳٪	۸٪	۸٪	۵٪	۲٪	۵٪	۳٪	۶٪	۱٪	۲٪	۵٪	۳٪	۱٪
$DAv_{3000/5\%}$	۰٪	۱٪	۱٪	۳٪	۴۱٪	۲۵٪	۹٪	۴۳٪	۴۶٪	۲۳٪	۱۳٪	۱۳٪	۱۶٪	۱۱٪	۱۶٪	۲۳٪	۲۸٪	۳۰٪	۳۰٪	۲۴٪
$ASE_{1000,250h}$	۱٪	۱٪	۱٪	۱٪	۲۸٪	۱۵٪	۵٪	۱۵٪	۳۳٪	۷٪	۱٪	۸٪	۱۲٪	۷٪	۱۲٪	۱۲٪	۲۱٪	۲۲٪	۲۱٪	۱۷٪
$sVD_{DGP>0.45/20\%}$	۱٪	۱٪	۱٪	۱٪	۱۴٪	۸٪	۳٪	۳٪	۱۱٪	۳٪	۱٪	۳٪	۶٪	۲٪	۵٪	۵٪	۱۱٪	۱۴٪	۱۴٪	۸٪

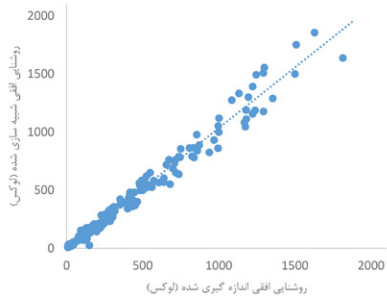
تصویر ۳: درصد فضای در معرض خیرگی در هر فضا بر اساس شاخص‌های استاتیک و دینامیک

٤. ۱. ۱. اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی

در شبیه‌سازی‌های لحظه‌ای 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 در تصویر ۴ قابل مشاهده است. حداقل همبستگی میان مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی برابر با ۸۶% بوده است.

www.SID.ir

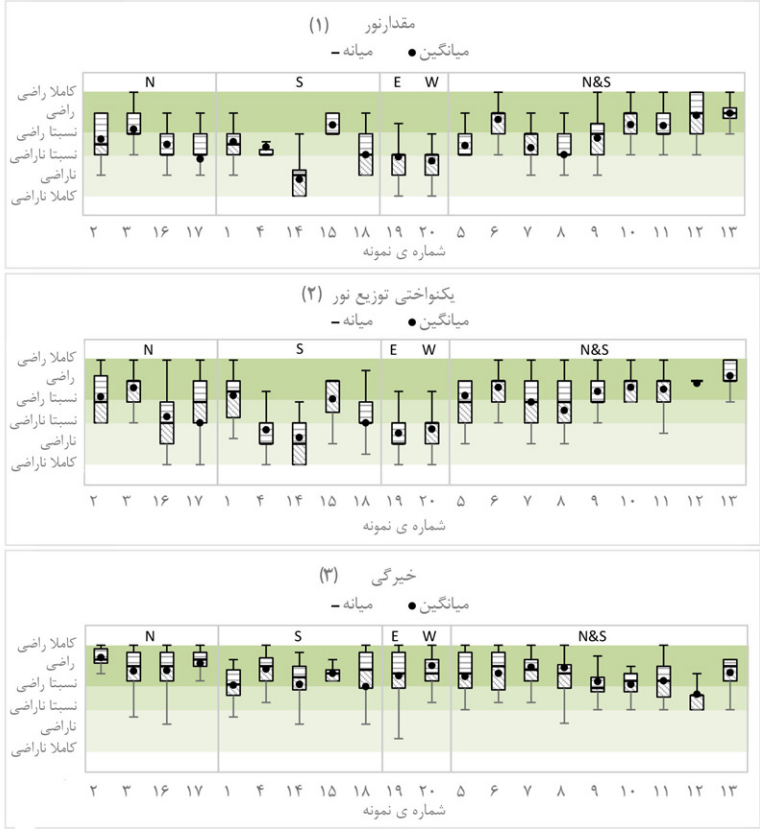
Archive of SID



تصویر ۴: مقدار همبستگی میان روشنایی اندازه‌گیری‌شده در شرایط واقعی و شبیه‌سازی

٤. ۲. پرسشنامه

طبق نتایج، عمدهٔ پاسخ‌دهندگان بین ۱۸ تا ۲۵ ساله بوده و تنها ۱۴% آن‌ها ۲۶ سال و یا بالاتر داشته‌اند. ۶۶% از پاسخ‌دهندگان زن و ۳۴% مرد بوده‌اند. نزدیک به ۵۲% از کاربران از کلاس شمالی و ۴۸% از کلاس جنوبی به‌عنوان کلاس مورد علاقه خود از نظر وضعیت نوری نام برده‌اند. این موضوع می‌تواند نشانگر این نکته باشد که مشارکت‌کنندگان علاقه‌مند به نور زرد و مستقیم (جنوبی) و یا نور سرد و پراکنده (شمالی) در این پژوهش، نسبتی تقریباً برابر دارند. طبق پاسخ‌ها، کار با قلم و کاغذ و کار با رایانه به‌ترتیب عمده فعالیت ۵۹% و ۳۶% از کاربران را تشکیل می‌دهد. ۵% از کاربران نیز هر دو نوع فعالیت به میزان تقریباً برابر انجام می‌دهند. نتایج ارزیابی‌های کاربران دربارهٔ مقدار و نحوهٔ توزیع روشنایی روز و همچنین بروز پدیدهٔ خیرگی در هر کلاس، در تصویر ۵ نشان داده شده است.



تصویر ۵: میانگین نظریات کاربران دربارهٔ مقدار نور، یکنواختی و خیرگی به تفکیک کلاس‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

طبق آنچه در این بخش گفته شد، درمجموع، کلاس‌ها از نظر خیرگی در وضعیت قابل قبول قرار داشته و تنها مقدار نور و نحوهٔ توزیع آن، نارضایتی‌هایی را به همراه داشته است. گفتنی است در تصاویر اول و دوم به‌ترتیب میانگین پاسخ های کاربران به سؤالات ۶ و ۷ نشان داده شده است. نتایج ارائه‌شده در تصویر سوم نیز میانگین پاسخ‌های کاربران به سؤالات ۸ و ۹ و ۱۰ است که هر سه به ارزیابی میزان خیرگی مربوط بوده‌اند.

۵. تحلیل یافته‌ها

۵. ۱. همبستگی ارزیابی‌های کاربران و شاخص‌ها

به‌منظور بررسی اینکه از میان شاخص‌های موجود، کدام‌یک می‌تواند درجهٔ رضایتمندی کاربران را با دقت بیشتری پیش‌بینی کند و به‌عبارت دیگر حساسیت کدام‌یک از این شاخص‌ها نسبت به شرایط، شباهت بیشتری به حساسیت کاربران دارد، همبستگی پاسخ‌های کاربران و مقدار شاخص‌ها محاسبه شد که نتایج آن در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مقدار نور: جدول ۵ ضرایب همبستگی پاسخ‌ها و شاخص‌های استاتیک و دینامیک مربوط به مقدار نور را نشان می‌دهد. ضرایب همبستگی بیش از ۰/۳ با درجات اشباع مختلفی از رنگ سبز و مقادیر کمتر از آن با رنگ قرمز مشخص شده‌اند.

جدول ۵: ضرایب همبستگی شاخص‌های مقدار نور و ارزیابی‌های کیفی کاربران

		شاخص		شمارهٔ سؤال	
				6	7
استاتیک	% of Area with E_p > n lux	50		.445**	.433**
		75		.503**	.495**
		100		.556**	.545**
		125		.568**	.553**
		150		.571**	.553**
		175		.577**	.550**
		200		.577**	.542**
		250		.571**	.520**
		300		.556**	.501**
		350		.543**	.478**
		400		.531**	.459**
		450		.519**	.445**
		500		.510**	.433**
	% of Area with DF>2%			.432**	.436**
	% of Area with $E_{P\text{-}LEED}$>300 lux (@9 a.m)			.481**	.466**
	% of Area with $E_{P\text{-}LEED}$>300 lux (@3 p.m)			.488**	.475**
دینامیک	$sDA_{n\,lux/50\%}$	100		.483**	.526**
		150		.480**	.528**
		200		.464**	.504**
		300		.453**	.461**
		400		.427**	.420**
		500		.395**	.377**
		600		.348**	.323**
		700		.298**	.278**
	$UDI_{300\text{-}3000/50\%}$			0.463	.463**
* sig<0.05 significant correlation		** significant correlation sig<0.01			

همان طور که انتظار می‌رفت، میان مقادیر شاخص‌های ارزیابی مقدار نور و پاسخ کاربران به سؤالات ۶ و ۷ نسبت به سایر سؤالات، همبستگی بیشتری وجود دارد و پاسخ‌های کاربران به سؤالات بخش خیرگی، ارتباط ضعیفی با

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص‌های مذکور داشته است. با وجود این، هیچ‌یک از شاخص‌های مورد بررسی، همبستگی بالایی با پاسخ‌های کاربران نداشته‌اند و می‌توان گفت شاخص‌های کنونی در پیش‌بینی درجهٔ رضایت کاربران (امتیاز ۱ و بسیار کم تا امتیاز ۶ و بسیار زیاد) از مقدار نور در فضا ناتوان‌اند. طبق جدول ۵، مقدار همبستگی پاسخ سؤال ۶ و شاخص روشنایی لحظه‌ای E_p، در بازهٔ ۱۰۰ تا ۳۰۰ لوکس به بیشترین مقدار خود (بیش از ۰/۵۵) می‌رسد. شاخص‌های sDA، $E_{P\text{-}LEED}$ (با آستانهٔ ۱۰۰ تا ۳۰۰ لوکس) و UDI، با شباهت زیادی از نظر مقدار ضریب همبستگی (۰/۴۵ تا ۰/۴۸) به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی جای می‌گیرند. طبق نتایج به نظر می‌رسد پاسخ‌دهندگان هنگام اعلام میزان رضایت خود از میانگین وضعیت نورگیری فضا در طول سال تا حدودی تحت‌تأثیر شرایط نوری لحظهٔ پاسخ‌گویی بوده‌اند به همین سبب شاخص E_p با درجهٔ رضایتمندی کاربران همبستگی بالاتری داشته و در این میان، درصد فضای با روشنایی ۱۰۰ تا ۳۰۰ لوکس دارای تأثیر تعیین‌کننده‌تری بر رضایت کاربر بوده است. اثرپذیری ارزیابی‌های کاربران از وضعیتی که در لحظهٔ پاسخ‌گویی تجربه می‌کنند و به‌تبع آن همبستگی بیشتر با شاخص‌های استاتیک، از نتایجی است که در تحقیق دیگری نیز به آن اشاره شده است (Nezamdoost and Wymelenberg 2017b). در نظر گرفتن مقادیر روشنایی ۱۰۰ تا ۳۰۰ لوکس به‌عنوان حد پایین برای sDA نیز به پیش‌بینی‌های دقیق‌تر به کمک شاخص مذکور منجر شده است. طبق آنچه گفته شد، به نظر می‌رسد نمی‌توان رضایت کاربر از مقدار نور را وابسته به مقدار مشخصی از روشنایی دانست؛ چنان‌که طبق نتایج، پاسخ کاربر به سؤال ۶، با درصد فضای با حد روشنایی از ۷۵ تا ۵۰۰ لوکس دارای همبستگی معنی‌دار با ضریب همبستگی مشابه و بیش از ۰/۵ بوده است و می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که مجموعهٔ مقادیر روشنایی و نه تک‌تک آن‌ها در رضایت کاربر تأثیرگذار بوده‌اند. به‌منظور مشخص کردن محدودهٔ قابل قبول برای مقادیر شاخص E_p بر اساس نظر کاربران، نتایج شبیه‌سازی لحظه‌ای به‌صورت نقاطی در نموداری که محور افقی آن حد پایین روشنایی و محور عمودی آن درصد فضای با مقدار مشخصی روشنایی را نشان می‌دهد، ارائه شده است. رنگ این نقاط نمایانگر میزان رضایت کاربر از مقدار نور بر اساس پاسخِ داده‌شده (با استفاده از طیف لیکرت از ۱ تا ۶) به سؤال ۶ است. امتیازات ۲ـ۱، ۴ـ۳ و ۶ـ۵ به‌ترتیب نمایندهٔ رضایت کَم، متوسط و زیاد در نظر گرفته شده و خطوط جداکننده این سه بخش در تصویر ۶ نشان داده شده‌اند.

تصویر ۶: نتایج شبیه‌سازی‌های لحظه‌ای بر اساس میزان رضایت کاربران

www.SID.ir

Archive of SID

خطوط جداکننده به‌صورت تابع چندجمله‌ای بوده و مشخص می‌کنند که درصد فضای با بیش از هریک از مقادیر روشنایی به چه میزان باشد تا کاربر، فضا را از نظر مقدار نور، قابل قبول (امتیاز ۴ـ۳) یا کاملاً رضایت‌بخش (امتیاز ۶ـ۵) بداند؛ بنابراین برای تخمین میزان رضایتمندی کاربران از نحوهٔ نورگیری فضا لازم است درصد فضای دریافت‌کنندهٔ روشنایی با مقادیر مختلف محاسبه و با نمودار مذکور تطبیق داده شود تا مشخص شود فضای مورد بررسی از نظر نوری غیرقابل قبول، قابل قبول و یا ارجح است. طبق نمودار می‌توان گفت در صورتی که حداقل ۵۰% از فضا، روشنایی بیش از ۳۰۰ لوکس دریافت کند، احتمال اینکه مقدار روشنایی از نظر کاربر در وضعیت قابل قبولی قرار داشته باشد زیاد است. این در حالی است که برای داشتن فضایی که میزان رضایت از مقدار روشنایی در آن بالا باشد، لازم است حداقل ۶۸% از فضا این مقدار روشنایی را دریافت کند. به نظر می‌رسد عدم استفاده از یک آستانهٔ مشخص در ضابطهٔ لیید (روشنایی لحظه‌ای بیش از ۳۰۰ لوکس در ساعات ۹:۰۰ و ۱۵:۰۰ اعتدال پاییزی) و ارزیابی بر اساس مجموعه مقادیر روشنایی به کمک نمودار فوق به پیش‌بینی‌های دقیق‌تری منجر شود. به‌طور مشابه، به‌منظور یافتن محدودهٔ قابل قبول برای شاخص sDAnlux,50% بر طبق نظریات کاربران، نتایج شبیه‌سازی سالانه نیز به‌صورت نقاطی در نموداری که محور افقی آن حد پایین روشنایی (n) و محور عمودی آن درصد فضای با مقدار مشخصی روشنایی در ۵۰% از زمان اشغال را نشان می‌دهد، ارائه شده است (تصویر ۷).

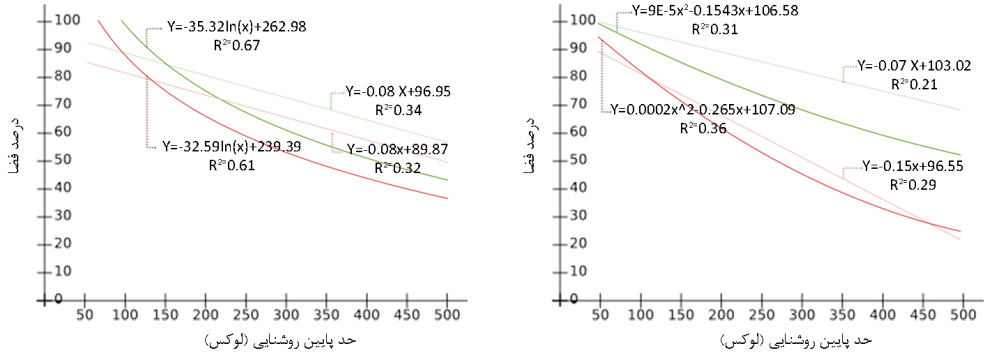
تصویر ۷: نتایج شبیه‌سازی‌های سالانه بر اساس میزان رضایت کاربران

مطابق ضابطهٔ لیید ۴، مقدار قابل قبول برای شاخص sDA300lux,50% حداقل برابر با ۵۵% است. در تصویر ۷ نیز مشاهده می‌شود که تلاقی sDA300lux,50% با درصد فضای ۵۵%، روی خط قرمز جداکنندهٔ محدودهٔ قابل قبول و غیرقابل قبول قرار دارد. شایان ذکر است طبق همین ضابطه، فضایی از نظر شرایط نوری کاملاً مناسب است که مقدار شاخص مذکور در آن حداقل برابر با ۷۵% باشد. این در حالی است که در نمودار به‌دست‌آمده، برای تأمین رضایتمندی بالا، مقدار حداقل ۶۲% برای این شاخص کفایت می‌کند. تصویر ۸، نمودارهای مزبور و نموداری را که به روش مشابه از پژوهشی میدانی در کشور ایالات متحدهٔ آمریکا به دست آمده است، نشان می‌دهد (Nezamdoost

www.SID.ir

Archive of SID

and Van Den Wymelenberg 2017b). گفتنی است فضاهای مورد بررسی در پژوهش مذکور، دارای کاربری های اداری و آموزشی بوده و تمامی ارزیابی‌های نوری در این فضاها توسط دانشجویان معماری با سن کمتر از ۳۰ سال انجام گرفته است.



تصویر ۸: مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده برای محدودهٔ قابل قبول و ارجح از نظر مقدار نور در این تحقیق و پژوهش مشابه پیشین. (خطوط پررنگ و کمرنگ به‌ترتیب مربوط به پژوهش حاضر و پژوهش پیشین هستند.)

در تصویر سمت راست که مقایسهٔ محدودهٔ پذیرش شاخص E_p را در جامعهٔ نمونه مورد بررسی در دو پژوهش امکان‌پذیر می‌کند، مشاهده می‌شود که حد پایین محدودهٔ قابل قبول به‌دست‌آمده در هر دو پژوهش نسبتاً مشابه است و حداکثر اختلاف در درصد فضای توصیه‌شده با روشنایی بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ لوکس اتفاق افتاده که کمتر از ۱۰% است. این در حالی است که حد پایین محدودهٔ ارجح طبق نتایج دو پژوهش تفاوت زیادی دارد و اختلاف درصد توصیه‌شده برای فضای دارای روشنایی از ۳۵۰ لوکس به بالا به بیش از ۱۵% می‌رسد. تصویر چپ نیز محدودهٔ قابل قبول شاخص sDA را بر اساس ارزیابی‌های کاربران دو پژوهش مذکور نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که حد پایین محدودهٔ قابل قبول و ارجح در دو پژوهش تفاوت زیادی دارد و اختلاف درصد توصیه‌شده برای مقادیر روشنایی بیش از ۲۵۰ لوکس به بالا به ۱۰ تا ۱۵درصد هم می‌رسد. به این ترتیب به نظر می‌رسد در جامعهٔ مورد بررسی در این تحقیق، با مقادیر روشنایی کمتر نیز می‌توان رضایت نسبی کاربران را فراهم آورد. تفاوت انتظارات افراد از شرایط مطلوب نوری که خود ناشی از تفاوت در اقلیم و فرهنگ است، می‌تواند یکی از علل تفاوت معادلات خط به‌دست‌آمده برای پیش‌بینی رضایت کاربران در دو پژوهش باشد. تفاوت در کاربری فضاهای مورد بررسی از دیگر عواملی است که می‌توان به آن اشاره کرد. طبق آنچه مشاهده شد، اصلاح ضوابط نوری استانداردهای مربوط با توجه به انتظارات کاربران هر منطقهٔ جغرافیایی ضروری به نظر می‌رسد.

خیرگی: مشابه بخش قبل، ضرایب همبستگی میان پاسخ‌های کاربران و شاخص‌های خیرگی نیز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۶ قابل‌مشاهده است.

طبق نتایج، در میان شاخص‌های خیرگی، $sVD_{DGPs>0.45,20\%}$ و ASE1000lx,250h به‌ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۲۵- و ۰/۲۱-، بهتر از سایر شاخص‌ها عمل کردند اما در کل، میزان همبستگی آن‌ها با پاسخ کاربران ضعیف بوده است. به‌رغم نتایج (Karlsen et al. 2015) که در آن رابطهٔ قوی میان شاخص‌های بر پایهٔ روشنایی و احساس خیرگی مشاهده شد، عدم کارایی شاخص‌های مبتنی بر روشنایی در نتایج پژوهش‌های دیگر نیز دیده شده است (Lisa Heschong 2012; Nezamdoost and Van Den Wymelenberg 2017b; Van Den Wymelenberg and Inanici 2016; Van Den Wymelenberg, Inanici, and Johnson 2010). مرتبط بودن احساس خیرگی با درخشندگی، تأثیرپذیری میزان نارضایتی از تفاوت‌های فردی و همچنین در نظر گرفته نشدن پارامترهای

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶: ضرایب همبستگی شاخص‌های خیرگی و ارزیابی‌های کیفی کاربران

			سؤال		
	شاخص		8	9	10
Static	% of Area >n lux	800	-.205**	-.107*	-0.048
		1000	-.201**	-.128*	-0.073
		1500	-.150**	-.143**	-.106*
		2000	-.149**	-.123*	-.132**
		3000	-.180**	-0.082	-.170**
		5000	-.182**	-.111*	-.214**
	% of Area with DGPs>0.45		-0.091	-.101*	-.128*
	% of Area with DF>5%		.211**	.120*	.110*
	% of Area with $E_{P\text{-}LEED}$>3000 lux (@9a.m)		-0.002	0.006	0.043
	% of Area with $E_{P\text{-}LEED}$>3000 lux (@3p.m)		-0.002	0.006	0.043
Dynamic	$sDA_{1lux,50\%}$	800	-.221**	-0.094	-0.019
		1000	-.203**	-0.072	-0.069
		2000	-.146**	-0.092	-.146**
		3000	-0.07	-0.007	0.017
	$DAv_{3000/5\%}$		-.241**	-.109*	0.006
	$ASE_{1000,\ 250h}$		-.282**	-.106*	-0.006
	$sVD_{DGPs0.45/20\%}$		-.288**	-.117*	-0.051

زمانی (مدت‌زمان در معرض خیرگی بودن) و امکان تطابق‌پذیری فرد با شرایط (با تغییر زاویه دید، تغییر مکان و...) در ارزیابی‌های شاخص‌ها از دلایلی است که می‌توان برای این مسئله ذکر کرد. باید ذکر کرد که میان پاسخ سؤال‌های ۶ و ۷ و مقدار شاخص‌های روشنایی لحظه‌ای در بازهٔ ۸۰۰ تا ۱۵۰۰ لوکس و همچنین شاخص DGPs که آن‌هم بر پایهٔ مقادیر بالای روشنایی در ارتفاع چشم کاربر عمل می‌کند، همبستگی متوسط و معناداری مشاهده می‌شود که البته دور از انتظار نبوده است؛ زیرا قاعدتاً هرچه مقدار روشنایی دریافتی- حتی مقادیر بالای آن- افزایش یابد، فضا روشن‌تر بوده و کاربر از مقدار و نحوهٔ توزیع روشنایی رضایت بیشتری خواهد داشت؛ هرچند طبق نتایج بخش قبل، تأثیر روشنایی در بازهٔ ۱۰۰ تا ۳۰۰ لوکس بر پاسخ‌ها بیشتر بوده است.

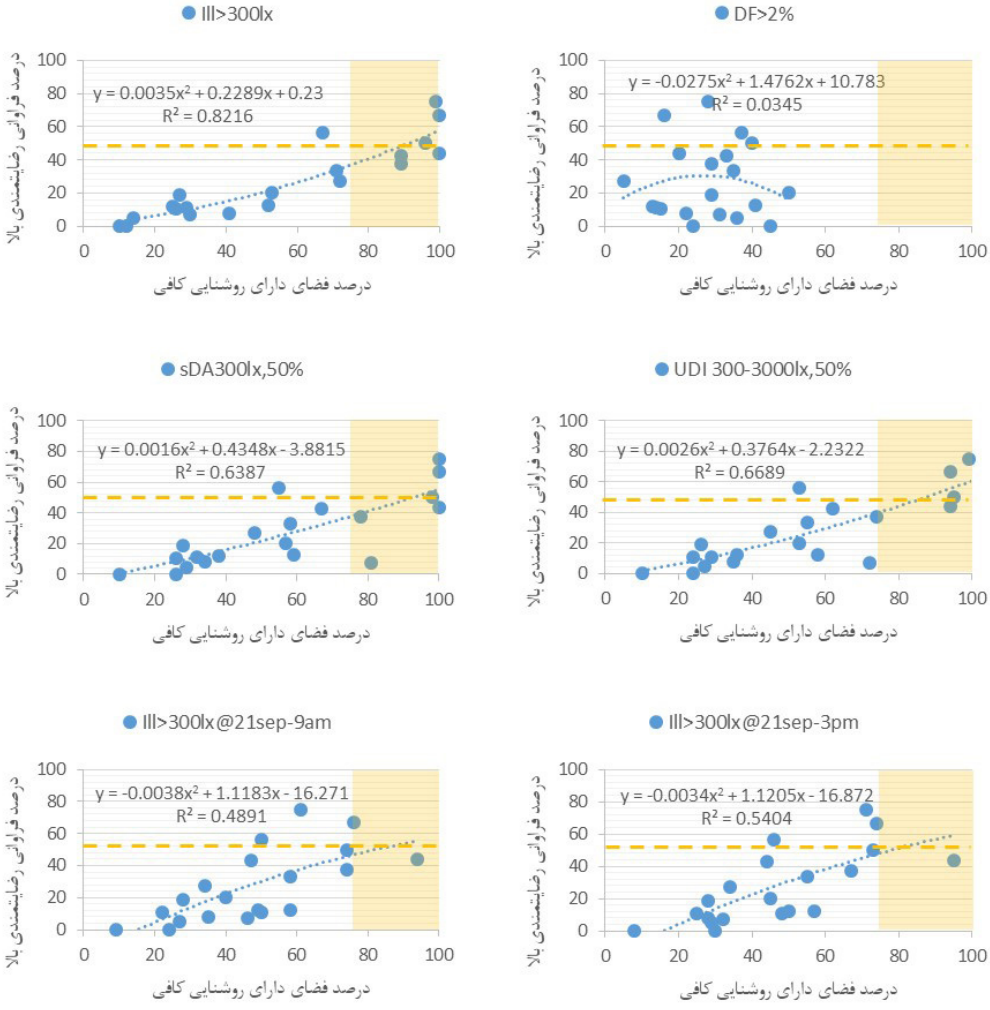
۵. ۲. معنی‌داری حدود قابل قبول توصیه‌شده برای شاخص‌ها

مقدار نور: در بخش قبل مشخص شد که میان معیارهای ارزیابی شاخص‌های کنونی و ادراک کاربران همبستگی بالایی وجود ندارد؛ اما آیا به کمک شاخص‌ها می‌توان برتری نسبی فضاها از نظر شرایط روشنایی را تعیین کرد و به‌عبارت دیگر آیا می‌توان ادعا کرد هرچه درصد فضای دارای روشنایی کافی طبق ارزیابی شاخص‌ها بیشتر شود، درصد افراد رضایتمند از مقدار نور در فضا نیز بیشتر خواهد شد؟ برای پاسخ به این پرسش، در هریک از نمونه‌های مورد بررسی، درصد افراد با رضایت بالا از مقدار نور فضا (امتیاز ۵-۶ به سؤال ۶) محاسبه و رابطهٔ آن با درصد فضای دارای روشنایی کافی طبق تشخیص شاخص‌های E_p، DF، sDA و UDI بررسی شد که نتایج آن در تصویر ۹ قابل مشاهده است. با مقایسهٔ مقادیر R^2 به‌دست‌آمده برای هریک از شاخص‌ها، می‌توان دید شاخص استاتیک E_p با آستانهٔ ۳۰۰ لوکس، نسبت به سایر شاخص‌ها رابطهٔ قوی‌تری با درصد افراد رضایتمند از مقدار نور در فضا داشته است (R^2=0.82). پس از آن شاخص‌های UDI و sDA به‌ترتیب با ضرایب تعیین ۰/۶۷ و ۰/۶۴، بهترین عملکرد

www.SID.ir

Archive of SID

را داشته‌اند. ضعیف‌ترین عملکرد نیز مربوط به شاخص DF بوده است؛ به‌طوری که تقریباً هیچ رابطه‌ای بین درصد فضای دارای DF>2% و درصد افراد رضایتمند از مقدار نور مشاهده نشد (R^2=0.03).



تصویر ۹: رابطهٔ درصد فضای دارای روشنایی کافی طبق ارزیابی شاخص‌ها و درصد فراوانی رضایتمندی بالا از مقدار روشنایی

طبق ضوابط آیین‌نامه‌های نوری، عموماً مقدار ۷۵% به‌عنوان حداقل قابل قبول برای شاخص‌های ارزیابی کفایت نور در نظر گرفته می‌شود (محدودهٔ زردرنگ در نمودار). به‌منظور بررسی اینکه ارزیابی‌هایی که با در نظر گرفتن این مقدار به‌عنوان معیار پذیرش فضا انجام می‌شوند تا چه حد با ارزیابی‌های کاربران راجع به فضا مشابهت خواهد داشت، به این صورت عمل شد: ابتدا تعداد فضاهایی که از نظر شاخص‌ها و ۵۰% از پاسخ‌دهندگان هر فضا دارای شرایط مطلوب تشخیص داده شدند (امتیاز ۶ یا ۵ به سؤال ۶)، محاسبه شد. تعداد فضاهایی که هم از نظر شاخص‌ها غیرقابل قبول بوده‌اند و هم درصد افراد با رضایتمندی بالا در آن‌ها کمتر از ۵۰% بوده نیز مشخص شد. سپس درصد اشتراک پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط هر ضابطه و نظریات کاربران محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۷ قابل مشاهده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷: درصد اشتراک پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط هر ضابطه و نظریات کاربران

ضابطه	درصد اشتراک در پیش بینی فضاهای غیر قابل قبول	درصد اشتراک در پیش بینی فضاهای قابل قبول	درصد اشتراک در مجموع
Area with(E_p≥300lx)≥75%%	81%	50%	75%
Area with(DF≥2%) ≥75%%	100%	0%	80%
sDA300lx,50%≥75%	81%	50%	75%
Area with(UDI300-3000≥50%)≥75%%	94%	75%	90%
Area with $E_{P\text{-}LEED}$>300lx ≥75%%	94%	0%	75%

در میان ۲۰ نمونهٔ مورد بررسی، تنها در چهار کلاس ۶، ۱۰، ۱۲ و ۱۳، حداقل ۵۰% از پاسخ‌دهندگان از مقدار نور روز در فضا ابراز رضایت کرده بودند. طبق نتایج، بیشترین مشابهت با نظر کاربران در پیش‌بینی فضای قابل قبول و غیرقابل قبول از نظر مقدار نور، مربوط به شاخص UDI بوده است و همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، از میان ۱۶ فضای با نورگیری غیر مطلوب، ۱۵ فضا به‌درستی توسط شاخص مذکور شناسایی شدند. این شاخص همچنین توانسته سه فضا از چهار فضای با نورگیری مطلوب از نظر کاربران را به‌درستی پیش‌بینی کند. عملکرد بهتر شاخص UDI در مقایسه با سایر شاخص‌ها در نتایج پژوهش (Zomorodian and Tahsildoost 2018) نیز دیده می‌شود. شاخص‌های sDA و E_p نیز که عملکردشان بسیار مشابه بوده است، به‌طور مشترک در رتبه بعدی جای می‌گیرند. گفتنی است از میان فضاهای مورد بررسی، سه کلاس توسط این دو شاخص دارای نورگیری مطلوب تشخیص داده شدند درحالی‌که کمتر از نیمی از پاسخ‌دهندگان در فضاهای مذکور، رضایتمندی بالا داشته‌اند. همچنین این شاخص‌ها در شناسایی دو فضای دارای نورگیری مطلوب ناتوان بوده‌اند. به نظر می‌رسد بازهٔ پذیرش در نظر گرفته‌شده برای شاخص DF بسیار سخت‌گیرانه باشد؛ زیرا طبق این شاخص، هیچ‌یک از فضاهای بررسی‌شده، حتی فضاهایی که درصد زیادی از افراد رضایتمندی بالا داشته‌اند، روشنایی کافی دریافت نمی‌کنند و قابل قبول نیستند. این موضوع همچنین دربارهٔ شاخص $E_{P\text{-}LEED}$ نیز صادق است. لذا آستانه‌های در نظر گرفته‌شده و محدوده‌های قابل قبول نیازمند بازنگری بوده و به این منظور باید نمونه‌های بیشتری مورد بررسی قرار گیرند. درمجموع با توجه به همبستگی بالای UDI با درصد افراد رضایتمند در فضا و عملکرد بهتر آن در شناسایی فضاهای با نورگیری مطلوب و نامطلوب، استفاده از ضابطهٔ UDI300-3000,50%>75% برای ارزیابی مقدار نور در فضاهای آموزشی شهر تهران، مناسب‌تر از سایر شاخص‌های موجود به نظر می‌رسد.

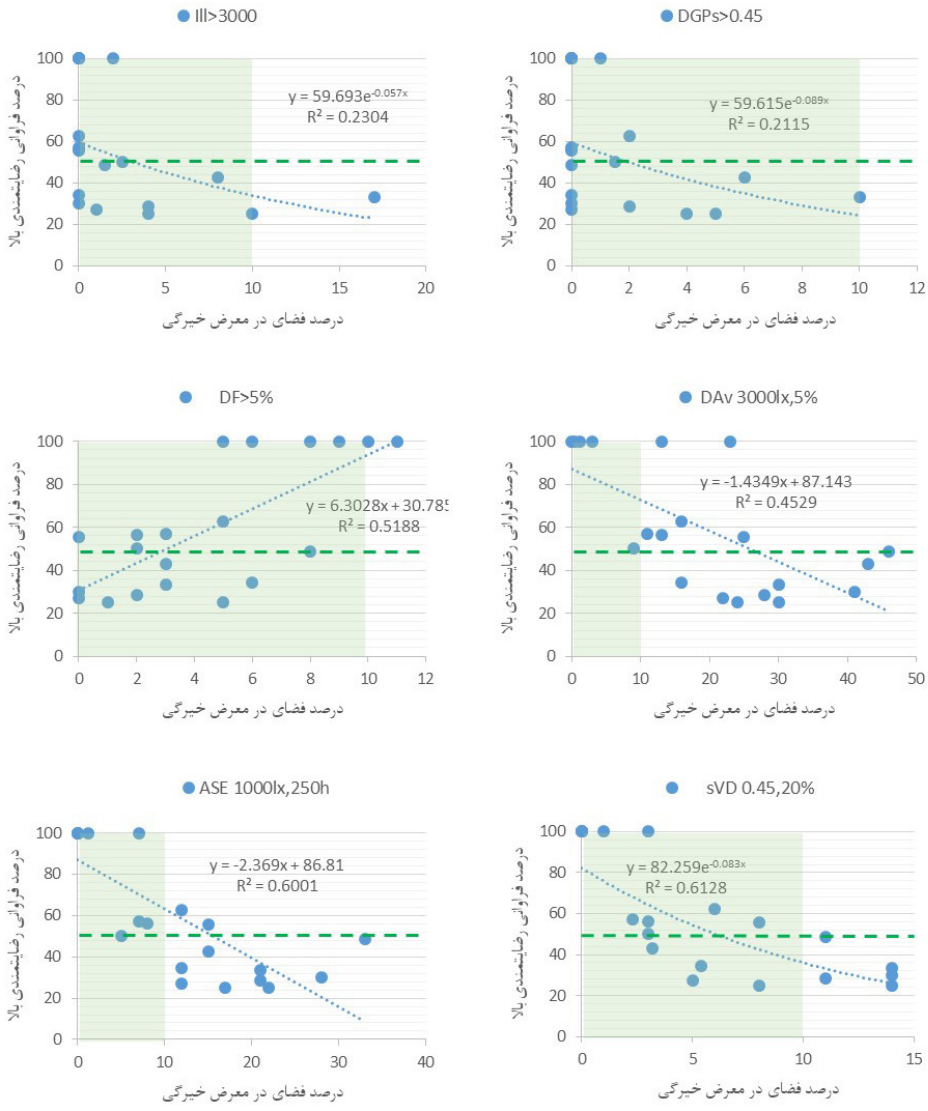
خیرگی: مشابه بخش قبل، رابطهٔ همبستگی میان شاخص‌های خیرگی مورد بررسی و درصد رضایتمندی بالای کاربران بر اساس پاسخشان به سؤالات ۸، ۹ و ۱۰ مورد بررسی قرار گرفت که طبق نتایج، شاخص‌های مذکور با پاسخ سؤال ۸، همبستگی بیشتری داشته‌اند. لذا در ادامه تنها به مقایسهٔ ارزیابی‌های انجام‌گرفته توسط شاخص‌ها و کاربران دربارهٔ قابل قبول بودن فضا از نظر میزان آزاردهندگی خیرگی ناشی از نور مستقیم پرداخته خواهد

طبق تصویر ۱۰، شاخص‌های $sVD_{DGPs>0.45,20\%}$ و ASE1000lx,250h به‌ترتیب با ضرایب تعیین ۰/۶۱ و ۰/۶، بیشترین همبستگی را با درصد افراد رضایتمند داشته‌اند و شاخص‌های DAv، EP و DGPs با ضرایب تعیین کمتر از ۰/۵، در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. استفاده از شاخص DF برای تشخیص احتمال وقوع خیرگی در جامعهٔ مورد بررسی مناسب نبوده؛ زیرا طبق نمودار مربوط، برخلاف انتظار، با افزایش مقدار این شاخص درصد رضایتمندی نیز بالا رفته است.

در میان ۲۰ نمونهٔ مورد بررسی، در ۱۲ کلاس، حداقل ۵۰% از پاسخ‌دهندگان از عدم وقوع خیرگی ابراز رضایت کرده بودند. با فرض اینکه حداکثر میزان قابل قبول برای درصد فضای در معرض خیرگی، ۱۰% باشد (محدودهٔ سبزرنگ در نمودار)، طبق نتایج، درمجموع بیشترین مشابهت با نظر کاربران در پیش‌بینی فضای قابل قبول و غیرقابل قبول از نظر خیرگی، مربوط به شاخص ASE بوده است و همان طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، از میان ۱۲

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر ۱۰: رابطهٔ درصد فضای در معرض خیرگی آزاردهنده طبق ارزیابی شاخص‌ها و درصد فراوانی رضایتمندی بالا از خیرگی

فضای با نورگیری مطلوب، ۹ فضا به‌درستی توسط شاخص مذکور شناسایی شدند. همچنین تمامی فضاهایی که کمتر از ۵۰% از پاسخ‌دهندگان در آن‌ها رضایتمندی بالا داشتند، از نظر شاخص مذکور نیز غیرقابل قبول بوده‌اند. شایان ذکر است آستانه و بازهٔ پذیرش تعیین‌شده برای شاخص DAv بسیار سخت‌گیرانه به نظر می‌رسد؛ زیرا طبق مقادیر در نظر گرفته‌شده برای این شاخص، درصد زیادی از فضاهایی که از نظر کاربران مطلوب بوده‌اند (۷ کلاس)، مردود شده‌اند. در مقابل، شاخص‌های DGPs، E_p و DF در پیش‌بینی فضاهای دارای مشکل خیرگی سهل‌گیرانه عمل کرده‌اند و آستانه‌های تعیین‌شده برای این شاخص‌ها با معیارهای ذهنی کاربران همخوانی نداشته است.

درمجموع با توجه به همبستگی بالای ASE با درصد افراد رضایتمند در فضا و عملکرد بهتر آن در شناسایی فضاهای مطلوب و نامطلوب از نظر خیرگی، استفاده از ضابطهٔ ASE1000lx,250h<10% برای ارزیابی خیرگی در فضاهای آموزشی شهر تهران مناسب‌تر از سایر شاخص‌های موجود به نظر می‌رسد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸: درصد اشتراک پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط هر ضابطه و نظریات کاربران

شاخص	درصد اشتراک در پیش بینی فضاهای غیر قابل قبول	درصد اشتراک در پیش بینی فضاهای قابل قبول	درصد اشتراک در مجموع
%Area with(E_p≥3000*lx*)≤10%	13%	100%	65%
%Area with(DGPs≥0.45)≤10%	0%	100%	60%
%Area with(DF≥5%)≤10%	0%	92%	55%
DAv3000lx,5%≤10%	100%	42%	65%
ASE1000lx,250h≤10%	100%	75%	90%
$sVD_{DGPs>0.45,20\%}$≤10%	50%	92%	75%

نتیجه

در پژوهش حاضر، میزان قابل‌اعتماد بودن نتایج حاصل از ارزیابی‌های شاخص‌ها از طریق مقایسه با ارزیابی‌های کاربران، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از شاخص‌های پرکاربرد موجود، برای ارزیابی کیفیت آسایش بصری در ۲۰ آتلیه طراحی معماری استفاده شد، نتایج به‌دست‌آمده با ارزیابی‌های کاربران مقایسه شد و شاخص‌ها بر اساس میزان دقت در پیش‌بینی رضایتمندی کاربران رتبه‌بندی شدند. طبق نتایج، در میان شاخص‌های معمول مربوط به پیش‌بینی مقدار نور، بیشترین همبستگی با درجهٔ رضایت کاربران مربوط به شاخص استاتیک E_p>n lx بوده که میزان این همبستگی برای مقادیر ۱۰۰ تا ۳۰۰ لوکس به‌عنوان آستانهٔ روشنایی مشابه بوده است. شاخص‌های sDA ،E_{P-LEED} (با آستانهٔ ۱۰۰ تا ۳۰۰ لوکس) و UDI، با شباهت زیادی از نظر میزان همبستگی با نظر کاربران در رتبه‌های بعدی جای می‌گیرند. با توجه به عدم امکان تعیین یک مقدار مشخص به‌عنوان آستانهٔ روشنایی (n) برای شاخص‌های E_p>nlx و همین طور sDAnlx,50% به‌علت تشابه ضرایب همبستگی به‌دست‌آمده در آستانه‌های مختلف، نموداری ارائه شد که ارزیابی وضعیت فضا را با توجه به درصد فضای دریافت‌کنندهٔ مقادیر مختلف روشنایی (۵۰ تا ۵۰۰ لوکس) امکان‌پذیر می‌کند. در میان شاخص‌های خیرگی، $sVD_{DGPs>0.45,20\%}$ و ASE1000lx,250h بهتر از سایر شاخص‌ها عمل کردند اما در کل میزان همبستگی آن‌ها با درجهٔ رضایتمندی کاربران ضعیف بوده است. به‌منظور سنجش میزان توانایی ضوابط مورد استفاده در آیین‌نامه‌ها برای تشخیص قابل قبول بودن یا نبودن فضا از نظر مقدار نور و خیرگی، رابطهٔ مقادیر به‌دست‌آمده برای شاخص‌ها در هریک از بیست فضای بررسی‌شده و درصد افراد با رضایتمندی بالا، مورد بررسی قرار گرفت که طبق نتایج، ضوابط UDI300-3000,50%>75% و ASE1000lx,250h<10% به‌ترتیب برای تشخیص فضاهای قابل قبول از نظر مقدار نور و آزاردهندگی خیرگی مناسب‌ترند. لازم است بیان شود به‌دلیل وجود محدودیت زمانی، در پژوهش حاضر توزیع پرسشنامه برای آگاهی از میزان رضایت کاربران از شرایط نوری کلی فضا به‌صورت مقطعی و در یک روز و یک زمان انجام گرفت؛ بنابراین تأثیرپذیری ارزیابی‌ها از شرایط نوری در هنگام پاسخ‌گویی و به‌تبع آن کاهش دقت نتایج محتمل است. به‌منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر و تعمیم ارزیابی‌های کاربران به کل سال پیشنهاد می‌شود پرسشنامه در مقاطع مختلفی از روز (ساعات ابتدایی، میانی و انتهایی) و همچنین در طول سال و تحت شرایط متنوع آسمان میان پاسخ‌دهندگان توزیع شود. ضمن اینکه طیف سنی محدود پاسخ‌دهندگان و همچنین بررسی فضاهایی با کاربری واحد و تنها در یک منطقهٔ جغرافیایی، مانع از تعمیم‌پذیری نتایج می‌شود. لذا انجام پژوهش مشابه در ابعاد وسیع‌تر با تعداد نمونه‌های بیشتر و در کاربری‌های مختلف از دیگر مواردی است که لازم است مورد توجه قرار گیرد. همچنین به‌دلیل عدم وجود مشکل قابل توجه خیرگی در نمونه‌های در دسترس به دلیل وجود موانع در اطراف نورگیرها، لازم است صحت نتایج به‌دست‌آمده در زمان وقوع خیرگی شدید نیز بررسی شود.

www.SID.ir

Archive of SID

پی‌نوشت‌ها

1. Daylight Factor
2. Useful Daylight Illuminance
3. Daylight Autonomy
4. IES: Illuminating Engineering Society
5. Discomfort Glare Probability
6. Simplified DGP
7. Spatial Visual Discomfort
8. Annual Sunlight Exposure
9. Daylight Availability
10. Window to Wall Ratio
11. Window to Floor Ratio
12. Visible Light Transmission (VLT)
13. Rhinoceros 5
14. DIVA for Grasshopper
15. Radiance
16. Daysim
17. Ambient Resolution
18. Ambient Accuracy
19. Ambient Sampling
20. Ambient Division
21. Ambient Bounces

پیوست ۱) تصاویر و مشخصات فضاهای مورد بررسی

تصویر ۱۱: تصاویر فضاهای مورد بررسی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۹: مشخصات فضاهای مورد بررسی

نام دانشگاه	کد نمونه	طبقه	مساحت (متر مربع)	WWR (%)	WFR (%)	رف نوری	پرده	تعداد جهت نورگیری	جهت نورگیر	نورگیر سقفی	نورگیر زیرسقفی	عمق در راستای عمود بر جبهه نورگیر	تعداد پاسخ‌دهندگان
هنرهای زیبا	۱	۱	۶۸	۱۳	۹	×	√	۱	جنوب	×	×	۴,۹	۱۰
	۲	۱	۵۹	۲۴	۱۵	×	√	۱	شمال	×	×	۵,۰	۸
	۳	۱	۶۸	۲۴	۱۲	×	√	۱	شمال	×	×	۶,۰	۹
	۴	۱	۶۹	۱۰	۷	×	√	۱	جنوب	×	×	۶,۰	۹
	۵	۱	۲۴۳,۵	۱۷	۱۲	×	×	۲	شمال و جنوب	×	×	۶,۲	۱۶
	۶	۲	۲۴۳,۵	۱۷	۱۲	×	×	۲	شمال و جنوب	×	×	۶,۲	۱۶
	۷	۱	۲۳۵	۱۷	۱۲	×	×	۲	شمال و جنوب	×	×	۶,۲	۲۱
	۸	۲	۲۳۵	۱۷	۱۲	×	×	۲	شمال و جنوب	×	×	۶,۲	۳۲
شهید بهشتی	۹	۱	۹۵	۴۰	۲۶	√	√	۲	شمال و جنوب	×	√	۵,۴	۱۱
	۱۰	۲	۱۹۵	۳۷	۲۶	√	√	۲	شمال و جنوب	×	√	۵,۴	۱۴
	۱۱	۲	۱۹۵	۳۷	۲۶	√	√	۲	شمال و جنوب	×	√	۵,۰	۱۶
	۱۲	۲	۱۴۴	۳۷	۲۶	√	×	۲	شمال و جنوب	×	√	۵,۰	۹
	۱۳	۱	۹۵	۴۰	۲۶	√	√	۲	شمال و جنوب	×	√	۵,۳	۸
علم و صنعت	۱۴	۱	۶۵	۱۱	۳	×	×	۱	جنوب	×	×	۸,۱	۳۶
	۱۵	۱	۵۲	۱۷	۴	×	×	۱	جنوب	√	×	۸,۳	۷
	۱۶	۱	۷۰	۱۳	۵	×	√	۱	شمال	√	×	۹,۴	۳۸
	۱۷	۱	۷۰	۱۲	۶	×	√	۱	شمال	√	×	۸,۱	۲۵
	۱۸	۰	۷۶	۳۷	۱۸	×	×	۱	جنوب	×	√	۶,۹	۴۱
	۱۹	۰	۷۶	۳۸	۱۲	×	×	۱	شرق	×	√	۱۱,۲	۲۵
	۲۰	۰	۷۶	۳۸	۱۲	×	×	۱	غرب	×	√	۱۱,۲	۳۵

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۰: مشخصات نوری پنجره و سطوح در نمونه‌های مورد بررسی

مشخصات نوری سطوح			شهید بهشتی	تهران	علم و صنعت ساختمان ۱	علم و صنعت ساختمان ۲
ضریب عبور نور روز شیشه		پنجره (تک‌جداره)	٪۷۵	٪۷۵	٪۷۵	٪۸۰
		نورگیر سقفی	-	-	٪۵۰	-
ضریب بازتاب سطح	سقف	سفید	٪۶۰	٪۶۰	٪۶۰	٪۶۰
		خاکستری	-	-	٪۱۰	-
	دیوارهای داخلی	سفید	٪۶۰	٪۶۰	٪۷۰	٪۶۰
		آبی	-	٪۵۰	٪۴۰	-
		سبز	-	-	٪۵۰	-
		زرد	-	٪۶۰	٪۵۰	-
		بنفش	-	٪۵۰	-	-
		خاکستری	-	-	٪۵۰	-
		دیوار خارجی	٪۳۰	٪۳۰	٪۳۰	٪۳۰
		کف	٪۳۰	٪۳۰	٪۳۰	٪۳۰
		میز	٪۶۰	٪۶۰	٪۴۰	٪۶۰
		تابلوی اعلانات	٪۱۰	٪۱۰	-	٪۸۰
		تخته سفید	٪۸۰	٪۸۰	٪۸۰	٪۸۰
		تخته سبز	-	٪۱۰	٪۱۰	-
		قاب پنجره	٪۲۰	٪۴۰	٪۲۰	٪۴۰
		درب	٪۶۰	٪۶۰	٪۵۰	٪۱۰
		آسفالت	٪۱۰			
		ساختمان‌های اطراف	٪۳۰			

مطالعات معماری ایران
دو فصلنامه معماری ایرانی
شماره ۱۶ ـ پاییز و زمستان ۹۸

منابع

ـ Bellia, Laura, Marilena Musto, and Gennaro Spada. 2011. Illuminance Measurements through HDR Imaging Photometry in Scholastic Environment. *Energy and Buildings* 43 (10): 2843–2849.

ـ Garretón, Julieta Yamin, Roberto Rodriguez, and Andrea Pattini. 2016. Effects of Perceived Indoor Temperature on Daylight Glare Perception. *Building Research and Information* 44 (8): 907–919.

ـ Google. [Map Showing Location of Shahid Beheshti, Tehran and Elm o Sanat Universities]. earth.google.com/web/ (April 5, 2018).

ـ Heschong Mahone Group. 2003. Windows and Offices: A Study of Office Worker Performance and the Indoor Environment. *California Energy Commision* 37 (4): 414–435.

ـ Jakubiec, John Alstan. 2014. The Use of Visual Comfort Metrics in the Design of Daylit Spaces. Massachusetts Institute of Technology. http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/91295.

ـ Karlsen, Line, Per Heiselberg, Ida Bryn, and Hicham Johra. 2015. Verification of Simple Illuminance Based Measures for Indication of Discomfort Glare from Windows. *Building and Environment* 92: 615–626.

www.SID.ir

Archive of SID

_ Korsavi, Sepideh S., Zahra S. Zomorodian, and Mohammad Tahsildoost. 2016. Visual Comfort Assessment of Daylit and Sunlit Areas: A Longitudinal Field Survey in Classrooms in Kashan, Iran. *Energy and Buildings* 128: 305–318.

_ Lisa Heschong. 2012. *Daylight Metrics : PIER Daylighting Plus Research Program: Final Project Report*. California Energy Commission.

_ Mangkuto, Rizki A. et al. 2016. Revisiting the National Standard of Daylighting in Indonesia: A Study of Five Daylit Spaces in Bandung. *Solar Energy* 126: 276–290.

_ Nabil, A., and John Mardaljevic. 2005. Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm for Assessing Daylight in Buildings. *Lighting Research & Technology* 37 (1): 41–57.

_ Nabil, Azza, and John Mardaljevic. 2006. Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors. *Energy and Buildings* 38 (7): 905–913.

_ Nezamdoost, Amir, and Kevin G. Van Den Wymelenberg. 2017a. Revisiting the Daylit Area: Examining Daylighting Performance Using Subjective Human Evaluations and Simulated Compliance with the LEED Version 4 Daylight Credit. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America* 13 (2): 107–123.

_ Nezamdoost, Amir, and Kevin Van Den Wymelenberg. 2017b. A Daylighting Field Study Using Human Feedback and Simulations to Test and Improve Recently Adopted Annual Daylight Performance Metrics. *Journal of Building Performance Simulation* 10 (5–6): 471–483.

_ Reinhart, Christoph F., John Mardaljevic, and Zack Rogers. 2006. Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America* 3 (1): 7–31.

_ Reinhart, Christoph F., and Daniel A. Weissman. 2012. The Daylit Area - Correlating Architectural Student Assessments with Current and Emerging Daylight Availability Metrics. *Building and Environment* 50: 155–164.

_ Reinhart, Christoph, Tarek Rakha, and Dan Weissman. 2014. Predicting the Daylit Area - A Comparison of Students Assessments and Simulations at Eleven Schools of Architecture. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America* 10 (4): 193–206.

_ Römer, Dr. Ulrich. WeatherOnline Ltd. - Meteorological Services. https://www.weatheronline.co.uk/weather/maps/city?FMM=1&FYY=2007&LMM=12&LYY=2017&WMO=40754&CONT=asie&REGION=0024&LAND=IR&ART=SON&R=0&NOREGION=0&LEVEL=162&LANG=en&MOD=tab (August 13, 2018).

_ Wienold, Jan. 2009. Dynamic Daylight Glare Evaluation. In *Eleventh International IBPSA Conference: Building Simulation*, , 944–951.

_ Van Den Wymelenberg, Kevin, and Mehlika Inanici. 2016. Evaluating a New Suite of Luminance-Based Design Metrics for Predicting Human Visual Comfort in Offices with Daylight. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America* 12 (3): 113–138.

_ Van Den Wymelenberg, Kevin, Mehlika Inanici, and Peter Johnson. 2010. The Effect of Luminance Distribution Patterns on Occupant Preference in a Daylit Office Environment. *LEUKOS - Journal of Illu-*

www.SID.ir

Archive of SID

minating Engineering Society of North America 7 (2): 103–122.

_ Zomorodian, Zahra S, and Mohammad Tahsildoost. 2017. Assessment of Window Performance in Classrooms by Long Term Spatial Comfort Metrics. *Energy and Buildings* 134: 80–93.

_ Zomorodian, Zahra S, and Mohammad Tahsildoost. 2018. Assessing the Effectiveness of Dynamic Metrics in Predicting Daylight Availability and Visual Comfort in Classrooms. *Renewable Energy*.

www.SID.ir