

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۲۵
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰

محبوبه پوراحمدی^۱، محمدعلی خانمحمدی^۲، فرهنگ مظفر^۳

ارزیابی شاخصه‌های خیرگی در ساختمان‌های آموزشی اقلیم گرم و خشک ایران

چکیده

خیرگی ناراحت‌کننده یک مسئله بسیار مهم در ساختمان‌های استفاده‌کننده از نور روز است؛ با این حال، توافق بر روی شاخصه‌های خیرگی و معیارهای آنها دشوار است، از آن جایی که هر مقدار اندازه‌گیری شده باید همبستگی مشخصی را با درک ساکنین فضا داشته باشد. قابلیت اجرای معیارها برای هر شاخص خیرگی باید با توجه به ویژگی‌های جمعیت شناختی و تفاوت‌های فرهنگی و ترجیحات تعیین شود. هدف این پژوهش تعیین شاخصه‌های مناسب برای ارزیابی خیرگی ناراحت‌کننده در اقلیم گرم و خشک ایران با استفاده از تکنیک تصاویر با محدوده دینامیکی بالا HDR و ارزیابی پس از سکونت است. ارزیابی در کلاس‌های آموزشی دانشگاه پیام نور مهریز با ۵۰ شرکت‌کننده انجام شد. نتایج نشان داد، DGP قابل اعتمادترین شاخص برای صحنه‌های خیرگی غیرقابل درک، آزاردهنده و غیرقابل تحمل بود. UGR در بین شاخصه‌های دیگر، بالاترین ضریب همبستگی را برای صحنه‌های خیرگی قابل درک (۰/۳۴) داشت. DGI در صحنه‌های خیرگی غیرقابل درک و غیرقابل تحمل دارای ضریب همبستگی قابل قبول بود و CGI بیشترین ضریب همبستگی را در صحنه‌های خیرگی آزاردهنده (۰/۳۱) داشت. VCP به دلیل ضریب واریاسیون بالا از محاسبات حذف شد. آنچه از نتایج به دست می‌آید، این است که DGP قابل اعتمادترین نتایج را در سطوح متفاوت خیرگی بر اساس ارزیابی ذهنی افراد در بین ۵ شاخصه دیگر به دست می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: خیرگی ناراحت‌کننده، آسایش بصری، نور روز، شاخصه‌های خیرگی.

^۱ دانشجوی دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، استان تهران، شهر تهران

E-mail: Ma_pourahmadi@arch.iust.ac.ir

^۲ دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، استان تهران، شهر تهران (نویسنده مسئول مکاتبات)

E-mail: Khanmohammadi@iust.ac.ir

^۳ دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران، استان تهران، شهر تهران

E-mail: M.mozaffar@iust.ac.ir

^۴ این مقاله برگرفته از رساله دکتری معماری محبوبه پوراحمدی با عنوان «بهینه‌سازی بازشوها از منظر خیرگی در ساختمان‌های آموزشی اقلیم گرم و خشک ایران؛ نمونه موردی: ساختمان‌های دانشگاهی شهر یزد» است که با راهنمایی دکتر محمدعلی خانمحمدی و دکتر فرهنگ مظفر در دانشگاه علم و صنعت ایران در حال انجام است.

مقدمه

عموماً پذیرفته شده است که نور روز و دید، موجب ایجاد سلامتی، آسایش و محیطی کار سالم برای کاربران می‌شوند. بر طبق چندین پژوهش، مردم نور طبیعی را در محیط زندگی و کار ترجیح می‌دهند (Hopkinson, 1972; Nazzal, 2005). نور طبیعی تأثیر بسزایی در سلامتی و شادابی ساکنان از جنبه‌های ادراکی، فیزیولوژیکی، روانی و اقتصادی دارد (Cantin & Dubois, 2011; Sapia, 2013). ولی اگر ناراحتی بصری اتفاق بیفتد، این امتیازات منتفی خواهند شد. به عبارتی دیگر، همزمان در نظر گرفتن این نکته مهم است که همیشه حضور نور روز یک نکته مثبت نیست (Jakubiec & Reinhart, 2012). یکی از پیامدهای منفی نور روز، ایجاد خیرگی ناراحت‌کننده برای کاربران است که موجب اختلال در عملکرد آنها می‌شود.

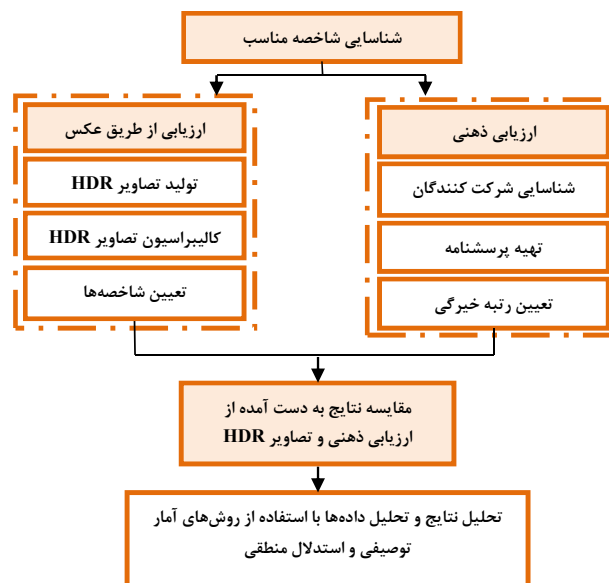
تعداد زیادی از شاخصه‌های خیرگی ناراحت‌کننده به منظور کمیت‌بخشی صحیح و تعیین سطوح درک خیرگی پیشنهاد شده‌اند. با این حال شاخصه‌های خیرگی موجود، به‌طور گسترده‌ای ارزیابی‌های متناقضی را بر روی یک صحنه خیرگی مشابه نشان داده‌اند (Suk & Schiler, 2013).

اهداف تحقیق

هدف اصلی این پژوهش، یافتن میزان تأثیر شاخصه‌های متفاوت خیرگی در ساختمان‌های آموزشی اقلیم گرم و خشک ایران است. هدف فرعی پژوهش نیز بررسی میزان تأثیر شاخصه‌های متفاوت خیرگی در سطوح متفاوت آن (نامحسوس، محسوس، آزاردهنده و غیرقابل تحمل) و شناسایی کاربردی‌ترین شاخصه‌ها است.

سؤالات تحقیق

سؤال کلی پژوهش را می‌توان به صورت زیر بیان نمود: کدام یک از شاخص‌های خیرگی ناراحت‌کننده به منظور ارزیابی خیرگی در ساختمان‌های آموزشی اقلیم گرم و خشک ایران، مناسب‌تر است و بیشترین میزان همبستگی را با متوسط نمرات ذهنی شرکت‌کنندگان داراست؟
سؤال فرعی نیز به شکل زیر مطرح می‌شود: عملکرد شاخصه‌های متفاوت خیرگی در سطوح متفاوت خیرگی (خیرگی نامحسوس، محسوس، آزاردهنده و غیرقابل تحمل)، به منظور پیش‌بینی خیرگی ناراحت‌کننده چگونه است؟



شکل ۱. مراحل شناسایی شاخصه مناسب

روش تحقیق: این پژوهش، در مدت زمان مشخص با تکرار اندازه‌گیری‌ها و با حضور تعداد مشخصی شرکت‌کننده خیرگی را در محیط‌های آموزشی دانشگاهی، ارزیابی می‌کند. پژوهش با یک بازبینی کوتاه از معیارهای خیرگی رایج (هم بر پایه درخشندگی و هم بر پایه روشنایی) و معیارهای پیشنهاد شده آغاز می‌شود. سپس نقاط قوت و ضعف این معیارها و پیشنهادها مشخص شده، معیارهای طراحی مربوطه بازبینی می‌شوند. به این منظور، برای ارزیابی ذهنی مسائل مربوط به خیرگی از تعداد مشخصی شرکت‌کننده استفاده خواهد شد که در بازه زمانی معلوم با تکرار اندازه‌گیری‌ها به ارزیابی خیرگی خواهند پرداخت. این ارزیابی با استفاده از پرسش‌نامه انجام خواهد شد و برای استخراج معیارها، از تجهیزات و تکنیک‌های مربوط (عکسبرداری تصاویر HDR^۱، استفاده از تجهیزات لومیننس متر و لوکس متر، تجهیزات و ابزار کالیبراسیون، نرم‌افزارهای مرتبط) استفاده خواهد شد. نتایج پرسش‌نامه با استفاده از تحلیل‌های آماری مربوطه تحلیل شده و در نهایت شاخص مناسب برای ارزیابی خیرگی ارائه خواهد شد. مراحل انجام پژوهش در شکل ۱ به تصویر کشیده شده است.

پیشینه تحقیق: در محیط‌های آموزشی، به دلیل میزان بالای فعالیت‌های بصری که در اکثر موارد در طول روز انجام می‌شود، توجه به نور و به‌خصوص روشنایی طبیعی اهمیت بالایی دارد. مطالعات موردی در فضاهای آموزشی نشان داده است که دانش‌آموزانی که در کلاس‌های دارای نور روز مناسب تحصیل می‌کنند، به لحاظ سلامت روحی در وضعیت بهتری قرار دارند (Heschong, Wright, & Okura, 2002). پژوهش‌های متعددی به منظور ارزیابی خیرگی و آسایش بصری در ساختمان‌های آموزشی انجام شده است. بیان و ما در پژوهشی که در یک مؤسسه آموزشی در گوانجوی چین انجام شد به این نتیجه دست یافتند که DGP ساده شده افزایش یافته (eDGPs) قادر به جایگزینی کامل DGP در پیش‌بینی مسائل آسایش بصری مبتنی بر زمان است و eDGPs این مزیت را دارد که می‌تواند در نظر سنجی‌های

طولانی مدت یا آنالیزها به سرعت محاسبه شود (Bian & Ma, 2018). منگکوتو و همکاران در پژوهشی به منظور ارزیابی خیرگی در یک کتابخانه در دانشگاهی در اندونزی به این نتیجه رسیدند که هیچ کدام از معیارهای پیش بینی شده، همبستگی بالایی با متوسط نمرات ذهنی نداشتند. بزرگ ترین مربع ضریب همبستگی متعلق به لومینانس منبع خیرگی (Ls) و احتمال خیرگی نور روز (DGP) بود. علاوه بر این آستانه این معیارها بر اساس ارزیابی ذهنی شرکت کنندگان به دست آمد (Mangkuto, Kurnia, Azizah, & Soelami, 2017). سوک و همکاران پژوهش های اعتبارسنجی را بر روی پنج شاخصه خیرگی در یک مدرسه معماری در کالیفرنیا انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که عملکرد DGP در غیاب خیرگی و حضور خیرگی ناراحت کننده بهترین است و DGI خیرگی را کمتر از حد تخمین می زند (Suk, Schiler, & Kensek, 2016).

با توجه به نتایج متفاوت پژوهش ها، نمی توان تاثیرات فرهنگی و شرایط اقلیمی را در درک خیرگی نادیده گرفت. تفاوت های جمعیت شناسی و فرهنگ ناظر که به عنوان اقلیم و شرایط داخلی که فرد در طول بخش عمده ای از زندگی اش به آن عادت کرده است، ارزیابی خیرگی را تحت تأثیر قرار می دهند (Pierson, Wienold, & Bodart, 2017). بیشتر پژوهش های انجام شده در زمینه درک خیرگی در کشورهای اروپایی، استرالیا و آمریکا انجام شده و پژوهش های محدودی در کشورهای شرقی آسیا (Bian & Luo, 2017; Hirning, Isoardi, & Garcia-Hansen, 2016; Mangkuto et al., 2017) انجام گرفته است. این موارد اهمیت توجه به این مسئله در ایران و به ویژه در ساختمان های آموزشی را متذکر می شود.

بررسی معیارهای خیرگی موجود

خیرگی زمانی اتفاق می افتد که چشم ها با روشنایی مشخصی سازگار شده باشند، سپس نور آزاددهنده، منحرف و گاهی اوقات خیره کننده در داخل میدان بصری ظاهر گردد. خیرگی پدیده پیچیده ای است و رویکردهای متفاوتی در ارزیابی آن برای محاسبه قابلیت های ایجاد ناراحتی به کار گرفته شده اند. چندین معیار با ساختار اساسی معادله خیرگی متناسب هستند. شاخص های اصلی ارزیابی خیرگی شامل احتمال آسایش بصری^۲ (VCP)، شاخص خیرگی CIE^۳ (CGI)، شاخص خیرگی ناراحت کننده^۴ (DGI)، نسبت خیرگی یکنواخت^۵ (UGR) و احتمال خیرگی ناراحت کننده^۶ (DGP) هستند که در ادامه به صورت مختصر توضیح داده خواهند شد.

احتمال آسایش بصری (VCP): این شاخص به وسیله گوث (Guth, 1963) به منظور ارزیابی خیرگی ناراحت کننده معرفی شد و سپس برای استفاده در انواع سیستم های روشنایی ویرایش گردید (IES, 1966). VCP فقط برای ارزیابی اندازه های معمول مثل چراغ های نصب شده در سقف با روشنایی یکنواخت پیشنهاد شده است. بنابراین برای استفاده با منابع غیریکنواخت، خیلی بزرگ یا خیلی کوچک از قبیل لامپ های هالوژنی یا برای ارزیابی خیرگی نور روز مناسب نیست (Harrold, Mennie, 2003).

شاخص خیرگی CIE (CGI): به منظور تصحیح تناقضات ریاضی BGI^۷ برای منابع خیرگی متعدد، اینهورن شاخص جدیدی را ارائه کرد که بعداً توسط CIE پذیرفته شد و بنابراین شاخص خیرگی CIE نامیده شد (Einhorn, 1979).

شاخص خیرگی ناراحت کننده (DGI): این شاخص از CGI مشتق شده است و هدف آن پیش بینی خیرگی منابع بزرگ از قبیل بازشوهاست. مقدار DGI با سطوح مختلف از خیرگی ناراحت کننده همراه است. مقدار ۲۲ به عنوان یک آستانه قابل قبول منطقی در نظر گرفته شده است (Chaiwiwatworakul, Chirarat, tananon, 2009; Nazzal, 2005).

نسبت خیرگی یکنواخت (UGR): مقدار این شاخص بین ۱۰ (غیرقابل محسوس) تا ۳۴ (غیرقابل تحمل) با گام‌های سه واحدی متغیر است. مشابه CGI مقدار ۱۹ معمولاً به عنوان مرز بین راحتی و خیرگی ناراحت‌کننده در نظر گرفته می‌شود.

احتمال خیرگی ناراحت‌کننده (DGP): DGP به وسیله وینلد و کریستوفرسون پیشنهاد شد. این شاخص بر اساس روشنایی عمودی چشم و همچنین درخشندگی منبع خیرگی، زاویه فضایی آن و موقعیت شاخص است. فرمول DGP برای تعیین خیرگی، روشنایی عمودی چشم را با عناصر شاخصه‌های خیرگی موجود ترکیب می‌کند. در مقایسه با شاخصه‌های خیرگی موجود، DGP همبستگی بسیار قوی‌ای را با واکنش کاربران درباره درک خیرگی نشان می‌دهد. در جدول ۱ تعدادی از شاخصه‌های ناراحتی خیره‌کننده در چهار مقیاس احساس خیرگی، مقایسه شده‌اند.

جدول ۱. معرفی تعدادی از شاخصه‌های خیرگی ناراحت‌کننده در چهار مقیاس احساس خیرگی

DGP	UGR	DGI	CGI	VCP	درجه احساس خیرگی
>0.45	>28	>31	>28	<40	غیرقابل تحمل
0.40-0.45	22-28	24-31	22-28	40-60	آزاردهنده
0.35-0.40	13-22	18-24	13-22	60-80	قابل درک
<0.35	<13	<18	<13	>80	غیرقابل درک

منبع: Carlucci, Causone, De Rosa, & Pagliano, 2015

خلاصه مقدمات آزمایش

در این بخش نحوه انتخاب ساختمان مناسب جهت انجام مطالعات میدانی، معرفی ساختمان و کلاس‌های مورد بررسی و تجهیزات مورد نیاز ارائه خواهد شد.

نحوه انتخاب ساختمان مناسب جهت انجام مطالعات میدانی: به منظور انتخاب ساختمان مناسب جهت انجام مطالعات میدانی، ۶ دانشگاه متفاوت در یزد مورد بررسی قرار گرفت. این ساختمان‌ها شامل دانشکده دکتر سلطانی دانشگاه آزاد یزد، دانشکده معماری دانشگاه آزاد یزد، دانشکده فنی حرفه‌ای حضرت رقیه (س)، دانشکده عمران دانشگاه یزد، دانشگاه پیام نور زارچ و دانشگاه پیام نور مهریز بود. عوامل مورد بررسی شامل فاصله تا ساختمان‌های مجاور، جهت‌گیری کلاس‌ها، متوسط درصد پنجره به دیوار، وجود سایه‌بان و اندازه ارتفاع کف پنجره بود. نتایج بررسی در جدول ۲ خلاصه شده است. همان‌گونه که از این جدول مشخص است، با توجه به اهداف پژوهش، بهترین حالت وضعیتی است که تا فاصله ۱۰۰ متری مانع بصری وجود نداشته باشد، علاوه بر این کلاس‌ها در جبهه‌های متفاوت جایگذاری شده باشند تا شرایط متفاوت نوری تجربه شود، متوسط درصد پنجره به دیوار حداکثر باشد تا میزان نور بیشتری وارد شده و حداکثر امکان خیرگی وجود داشته باشد، سایه‌بان به دلیل امکان قابلیت تعمیم‌پذیری وجود داشته و اندازه ارتفاع کف پنجره حداقل باشد. از بین گزینه‌های مورد بررسی عوامل موجود در دانشگاه پیام نور یزد به بهترین حالت با اهداف پژوهش هماهنگ شده است و بنابراین به عنوان نمونه موردی برای مطالعات میدانی در نظر گرفته شد.

جدول ۲. بررسی عوامل متفاوت در ساختمان‌های مورد بررسی

اندازه ارتفاع کف پنجره	وجود سایه‌بان	متوسط درصد پنجره به دیوار	جهت‌گیری کلاس‌ها	فاصله تا ساختمان‌های مجاور	
۱/۱ متر	بله	۴۰ درصد	جنوب شرقی شمال غربی	شمال: بدون مانع تا فاصله ۱۰۰ متری	دانشکده مهندسی دانشگاه آزاد یزد
				جنوب: ۱۰ متری	
				شرق: ۸ متری	
۰/۸ متر	خیر	۳۵ درصد	جنوب شرقی شمال غربی	غرب: ۸ متری	دانشکده معماری دانشگاه آزاد یزد
				شمال: بدون مانع تا فاصله ۱۰۰ متری	
				جنوب: بدون مانع تا فاصله ۱۰۰ متری	
۱ متر	خیر	۳۰ درصد	جنوب شرقی شمال غربی	شرق: ۳۰ متر	دانشکده فنی حرفه‌ای حضرت رقیه (س)
				غرب: بدون مانع تا فاصله ۱۰۰ متری	
				شمال: ۵ متری	
۱ متر	بله	۴۰ درصد	جنوب شرقی شمال غربی	جنوب: بدون مانع تا فاصله ۱۰۰ متری	دانشکده عمران دانشگاه یزد
				شرق: بدون مانع تا فاصله ۱۰۰ متری	
				غرب: بدون مانع تا فاصله ۱۰۰ متری	
۰/۸ متر	خیر	۴۰ درصد	جنوب شرقی شمال غربی	شمال: بدون مانع تا فاصله ۱۰۰ متری	پردیس ولایت دانشگاه پیام نور یزد
				شرق: بدون مانع تا فاصله ۱۰۰ متری	
				غرب: بدون مانع تا فاصله ۱۰۰ متری	
۰/۸ متر	بله	۵۰ درصد	جنوب شرقی شمال غربی شرقی	شمال: بدون مانع تا فاصله ۱۰۰ متری	دانشگاه پیام نور مهریز
				جنوب: بدون مانع تا فاصله ۱۰۰ متری	
				شرق: بدون مانع تا فاصله ۱۰۰ متری	
				غرب: بدون مانع تا فاصله ۱۰۰ متری	

معرفی ساختمان مورد بررسی: برای انجام تحقیق ساختمان دانشگاه پیام نور مهریز مورد بررسی قرار گرفت. مجموعه دانشگاه از دو ساختمان به شکل L و I تشکیل شده که حدود ۱۰۰ متر از یکدیگر فاصله دارند. ساختمان مورد بررسی به صورت L شکل بوده و کشیدگی شمال شرقی - جنوب غربی را دارد. عمده کلاس‌ها در جبهه شمال غربی و جنوب شرقی قرار گرفته‌اند. مساحت ساختمان ۲۷۵۰ متر مربع بوده که در دو طبقه بنا شده است. در داخل ساختمان از سه نورگیر در فواصل مساوی به منظور نوردهی به راهروی میانی استفاده شده است. هیچ مانع بصری بیرونی تا فاصله ۱۰۰ متری کلاس‌ها نیست و محیط اطراف ساختمان کاملاً باز است تا موانع خارجی تأثیری در تحلیل‌ها نداشته باشد (شکل ۲).

معرفی کلاس‌های مورد بررسی: در شکل ۳ عملکرد فضاها و موقعیت کلاس‌های مورد بررسی مشخص شده است. کلاس‌ها در جبهه‌های جنوب شرقی، شمال شرقی و شمال غربی ساختمان و در طبقه اول واقع شده و تمامی آنها شامل ۴ پنجره به ابعاد ۱×۲ متر است. تمامی پنجره‌ها دارای پرده‌های کرکره‌ای قابل کنترل هستند. یک میز به ابعاد ۱/۲×۰/۶ متر در فاصله تقریبی ۰/۳ متر از پنجره جایگذاری شد و روی آن یک لپ تاپ، دفترچه و خودکار، لوکس متر و صفحه خنثی خاکستری قرار گرفت. در کلاس شماره ۱ میز در دو حالت موازی با پنجره و عمود بر پنجره قرار گرفت، ولی در کلاس‌های شماره ۲ و ۳ میز به صورت موازی با پنجره تعیین شد. میزان انعکاس تمامی سطوح به شرح جدول ۳ است. برای اندازه‌گیری

میزان انعکاس سطوح از لوکس متر در دو مرحله استفاده شد. در مرحله اول، بدون ایجاد مانع یا سایه نسبی روی موضع مورد سنجش، فتوسل دستگاه روی سطح موضع قرار گرفت و شدت روشنایی اندازه‌گیری شد. در مرحله دوم فتوسل رو به سطح مورد نظر در فاصله حدود ۱۵ سانتی‌متری به گونه‌ای تنظیم شد که سایه یا نیم‌سایه فتوسل یا دست آزمایشگر روی موضع نیفتد، در این حالت نیز شدت روشنایی که در واقع میزان بازتابش انرژی نورانی از سطح است، اندازه‌گیری شد. نسبت عدد قرائت شده در مرحله دوم به عدد قرائت شده در مرحله اول آزمایش، میزان انعکاس سطح مورد نظر است.

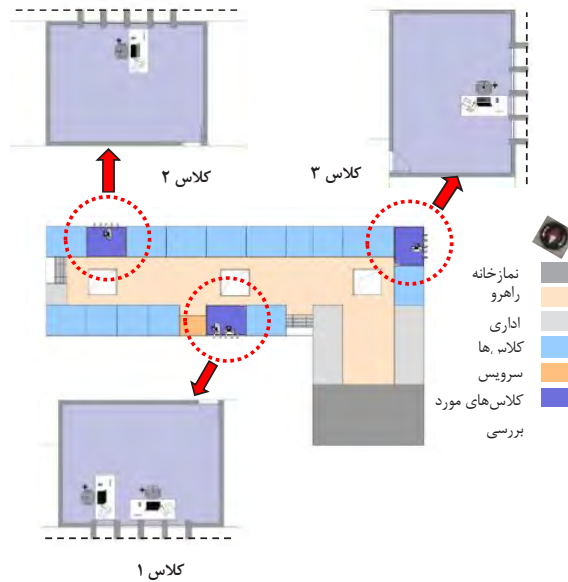


شکل ۲. عکس هوایی دانشگاه پیام نور یزد
منبع: Google Map

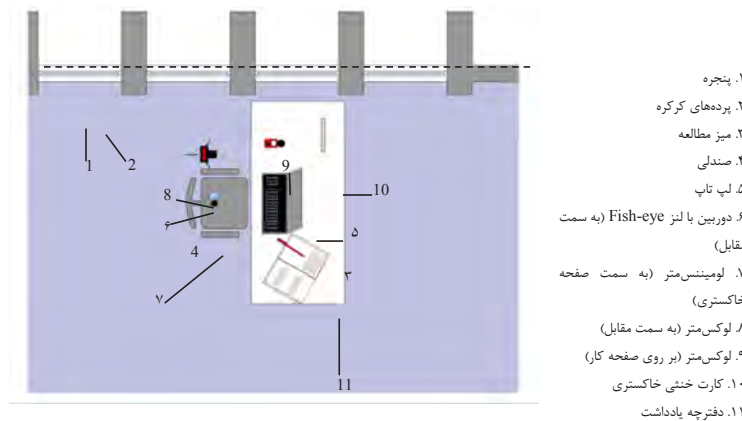
جدول ۳. میزان انعکاس سطوح متفاوت کلاس

میزان انعکاس سطوح	
82.8%	دیوار
82.8%	سقف
16.1%	کف
45.4%	میز
78.8%	پرده‌های کرکره زمانی که کامل بسته‌اند

تجهیزات مورد نیاز: در شکل ۴ تجهیزات مورد استفاده در اتاق نشان داده شده است.



شکل ۳. موقعیت کلاس‌های مورد بررسی



شکل ۴. تجهیزات مورد استفاده در کلاس‌ها

دوربین مورد استفاده برای دستیابی به تمامی تصاویر HDR دوربین دیجیتال Canon 7d است. به منظور ضبط میدان دید کاربران، از لنز fisheye FC-E9 (فاصله کانونی ۵/۶ میلی‌متر و میدان دید ۱۹۰ درجه) با پرتوافکنی مساوی در سیستم لنز دوربین استفاده شد. تنظیمات دوربین نیز مطابق جدول ۴ است.

جدول ۴. تنظیمات دوربین

وضعیت	پارامتر
Daylight	White balance
Medium/Normal	کیفیت عکس
ISO 100	sensibility
1 2/3	f-stop تعداد
11	shots تعداد

علاوه بر این در تصاویری که با استفاده از لنزهای fisheye equidistant گرفته می‌شوند، برای پیکسل‌هایی که دور از محور اپتیکال هستند، سایه روشن ایجاد می‌شود که دقت عکس را کاهش می‌دهد. مد نظر قرار دادن و تصحیح این خطا ضروری است. پیشنهاد شده است که دیافراگم‌های کوچک تری انتخاب شوند تا تأثیرات سایه روشن را کاهش دهند. بنابراین از دیافراگم F11 برای گرفتن تصاویر استفاده شد (Inanici, 2006). همچنین از یک لومیننس متر رنگی TES-137 و دو لوکس متر HS-1010 نیز به منظور ارزیابی شرایط نوری بهره گرفته شد. در شکل‌های ۵ و ۶، دوربین به همراه لنز fish eye، لوکس متر و لومیننس متر مورد استفاده در پژوهش نشان داده شده است.



شکل ۶. تصویری از دوربین، لنز و لوکس متر



شکل ۵. لومیننس متر مورد استفاده در پژوهش

نحوه انجام پژوهش

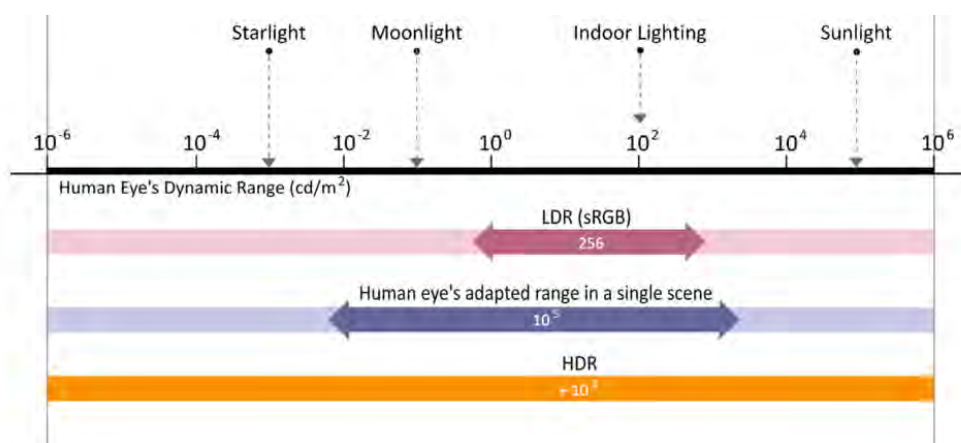
پژوهش در روزهای صاف بدون وجود ابر در بازه زمانی ۴۰ روزه از تاریخ ۲۰ شهریور تا ۳۰ مهرماه انجام شد (۲۰ روز در کلاس شماره ۱ در دو حالت موازی با پنجره وعمود بر پنجره، ۱۰ روز در کلاس شماره ۲ و ۱۰ روز در کلاس شماره ۳). هیچ پژوهشی تحت شرایط آسمان ابری یا نیمه ابری انجام نشد، زیرا حرکت ابرها در مقابل خورشید، تغییر سریعی را در شرایط روشنایی ایجاد می‌کرد که مزاحم ضبط تصاویر HDR می‌شد.

در این پژوهش تصمیم به روشن ماندن روشنایی الکتریکی گرفته شد تا شرایط کار در حالت عادی باقی بماند. آزمایش‌های پایلوت در پژوهش‌های متفاوت نشان داده‌اند که خاموش ماندن روشنایی الکتریکی، درخشندگی، روشنایی و کنتراست صحنه‌ها را به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. اگرچه روشنایی الکتریکی، درخشندگی نسبتاً بالایی دارد، اما در بالای خط دید واقع شده و ابعاد بسیار کوچک تری در مقایسه با منبع خیرگی نور روز دارد (خط دید افراد، موازی با پنجره است) (Hirning, Isoardi, Coyne, Garcia, Hansen, & Cowling, 2013).

ارزیابی از طریق عکس: در این بخش چگونگی تولید تصاویر HDR و کالیبراسیون آنها معرفی شده و شاخصه‌های خیرگی در هر صحنه مورد بررسی ارائه خواهد شد.

تولید تصاویر HDR: تصویر HDR ابزار مناسبی است که قابلیت ضبط مقادیر درخشندگی را با دقت ده درصد در طیف گسترده‌ای از منابع و درخشندگی‌ها داراست (Inanici & Galvin, 2004). تصاویر HDR محدوده بسیار بزرگ تری از اطلاعات درخشندگی را در یک تصویر دیجیتال نسبت به تصاویر با محدوده دینامیکی پایین LDR ذخیره می‌کنند. پژوهش‌های زیادی با استفاده از تصاویر HDR با اهداف پژوهشی

از قبیل ارزیابی درخشندگی، ارزیابی خیرگی و تحلیل نور روز وجود دارد (Inanici & Galvin, 2004). در عکاسی، تصویر HDR نسبت بین روشن‌ترین و تاریک‌ترین پیکسل است که می‌تواند به صورت بیشینه و کمینه بیان شود (Reinhard, Ward, Pattanaik, Debevec, Heidrich, Myszkowski, 2010). ظرفیت محدوده دینامیکی چشم انسان با توجه به درخشندگی از 1 cd/m^2 تا 0.000001 cd/m^2 است. این امر به فرد این اجازه را می‌دهد که قابلیت دیدن هم در طول روز با سطوح نوری بالا و هم در شب با نور ماه و ستارگان را داشته باشد. در یک صحنه منفرد، محدوده بصری سازگاری چشم انسان حدود نسبت بین ۱ تا ۱۰۰۰۰ بسته به روشنایی و کنتراست صحنه، تغییر می‌کند. همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است، این محدوده بزرگ‌تر از چیزی است که یک دوربین دیجیتال معمولی می‌تواند ضبط کند. با استفاده از تکنیک HDR، ضبط محدوده درخشندگی مشابه یا بزرگ‌تر از چیزی که چشم انسان می‌تواند در یک صحنه منفرد ببیند و بیشتر از قابلیت تصویر دیجیتال معمولی امکان‌پذیر می‌شود.



شکل ۷. مقادیر درخشندگی تصاویر با محدوده دینامیکی بالا، چشم انسان و تصاویر معمولی

منبع: Suk & Schiler, 2013

تصویربرداری HDR مستلزم تصاویری با نوردهی چندگانه از یک صحنه است. به منظور به دست آوردن نقشه‌های درخشندگی مناسب و دقیق برای تحلیل خیرگی، کالیبراسیون فتومتریک از دوربین و لنز مورد نیاز است (Hirning, Coyne, & Cowling, 2010).

تصاویر HDR که به منظور محاسبه درخشندگی در میدان دید بصری و در محاسبه DGP مورد استفاده قرار گرفتند، در چهار مرحله ایجاد شدند:

۱. انتخاب تصاویر jpeg که به منظور ایجاد تصاویر HDR مورد استفاده قرار خواهند گرفت.
 ۲. ادغام تصاویر LDR برای ایجاد تصاویر HDR با استفاده از ابزار bracket
 ۳. سپس لازم است تأثیر سایه روشن در دید fisheye اصلاح گردد. این امر با استفاده از دستور pcomb در رادیانس انجام شد.
 ۴. در نهایت تصویر با استفاده از اندازه‌گیری فیزیکی درخشندگی با استفاده از لومیننس متر TES-137 بر روی یک هدف خاکستری که نزدیک پنجره قرار داده شد، کالیبره شد.
- تصاویر HDR با استفاده از ضبط چند تصویر با دامنه دینامیکی پایین (LDR) به دست آمد. به این منظور از دوربین Canon 7d همراه با لنز fisheye FC-E9 استفاده شد. دوربین در مجاورت چشم افراد

در ارتفاع خط چشم فرد در حالت نشسته (تقریباً ۱/۲ متر از کف) و در جهت دید افراد قرار گرفته شد. مقادیر ثابت ISO100 و دیافراگم F11 با استفاده از مقدار سرعت شاتر ۱/۴۰۰، ۱/۲۰۰، ۱/۱۲۵۰، ۱/۱۰۰۰، ۱/۵۰۰، ۱/۴۰۰، ۱/۲۵۰، ۱/۱۰۰ و ۱/۲۵ ثانیه به کار برده شد. این یک شیوه رایج برای ضبط تصاویر HDR است که در آن تصاویر ضبط شده LDR را با افزایش یا کاهش مقادیر نوردهی (EV) تغییر می‌دهد که معمولاً با دو برابر کردن و یا نصف کردن مقادیر سرعت شاتر، تفسیر می‌شود. قانون دقیقی وجود ندارد که کدام مقدار سرعت شاتر باید در نظر گرفته شود، تنها دستورالعمل کلی، تغییرات بیشتر مقادیر نوردهی است. از آنجا که تصاویر HDR، محدوده درخشندگی بیشتری را می‌تواند پوشش دهد، دقت اطلاعات پیکسل آن بیشتر است. به این دلیل که برای سرعت شاتر ۹ مقدار وجود داشت، ۹ تصویر LDR برای خلق یک تصویر HDR مجزا ضبط گردید. فاصله زمانی بین دو تصویر LDR متوالی تقریباً ۱ تا ۲ ثانیه است، در نتیجه حدود بیست ثانیه برای گرفتن یک مجموعه کامل از تصاویر HDR که یک دید خاص را نشان می‌دهد، لازم است. تصاویر ضبط شده LDR سپس با استفاده از ابزار پردازش bracket برای ایجاد تصویر HDR پردازش شدند. نمونه‌ای از تصویر HDR نهایی و نقشه روشنایی false-color در جهت دید عمود بر پنجره در تصویر زیر مشخص شده است (شکل ۸).



شکل ۸. تصاویر HDR همراه با تصاویر false color

به طور قطع روشنایی نور روز با گذشت زمان به طور مداوم تغییر پیدا می‌کند. با این حال، تنوع در فریم‌های زمانی بیست ثانیه‌ای به طور قابل توجهی دقیق است. از سوی دیگر تغییرات فضای باز بیرون ساختمان در تمام طول آزمایش، پایش شد. اگر در طول جمع‌آوری مجموعه اطلاعات یک عکس، تغییر ناگهانی و قابل توجهی در شرایط نور روز وجود داشت، برای نمونه عبور ابر، اطلاعات جمع‌آوری شده غیرمعتبر تلقی شده و باید دوباره بررسی می‌شدند.

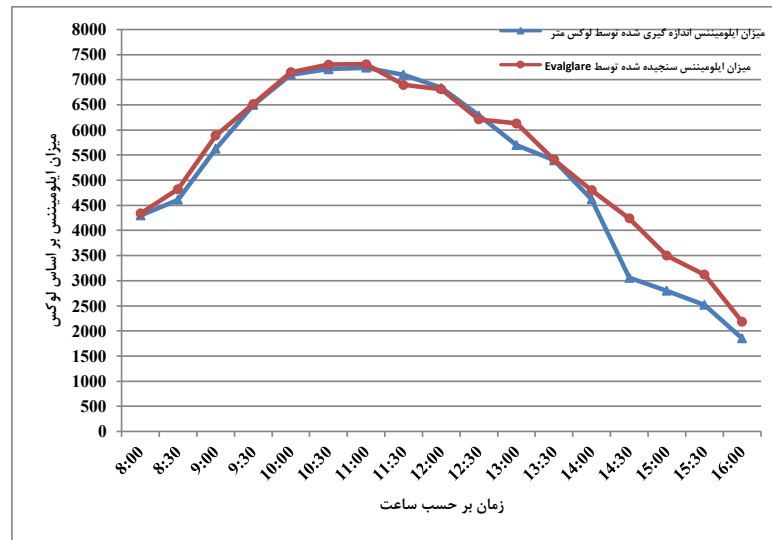
کالیبراسیون تصاویر HDR: تصاویر HDR به دست آمده با نرم‌افزار HDRscope ورژن ۱/۰ پس‌پردازش شدند که این نرم‌افزار همراه با ابزار evalglare ورژن ۱/۰۴ بود. به این ترتیب متغیرهای فیزیکی نور روز استخراج شدند و همچنین شاخص‌های خیرگی از طریق آن استخراج گردید. ابعاد عکس به ۸۰۰*۸۰۰ پیکسل که مورد قبول Evalglare است، کاهش پیدا کرد.

HDRscope امکان کالیبره کردن تصاویر را هم با استفاده از روشنایی عمودی و هم درخشندگی دارد. کالیبره کردن با استفاده از درخشندگی نسبتاً پیچیده‌تر است، از آن‌جاکه نیاز به اندازه‌گیری یک شیء

یکنواخت در صحنه‌های مربوطه دارد. این شیء معمولاً یک صفحه کاغذ به رنگ خاکستری است. در این پژوهش سنجش درخشندگی با استفاده از لومیننس متر TES 137 انجام شد. کالیبراسیون نیز با استفاده از یک کارت خاکستری خنثی که بر روی میز قرار گرفته بود، صورت گرفت. به این ترتیب که میزان درخشندگی صفحه خاکستری با استفاده از لومیننس متر سنجیده شد. سپس در نرم‌افزار hdscope میزان درخشندگی صفحه خاکستری در عکس با درخشندگی سنجیده شده از طریق لومیننس متر، تطبیق داده شد. به این ترتیب تمامی نقاط عکس، درخشندگی‌ای مطابق با واقعیت پیدا می‌کنند. اعتبارسنجی نرم‌افزار: همان‌گونه که در پرسش‌نامه مشخص است، علاوه بر اندازه‌گیری درخشندگی کارت خاکستری به منظور کالیبراسیون، روشنایی عمودی نیز اندازه‌گیری شد. این اندازه‌گیری به منظور اعتبارسنجی نتایج انجام گردید. به منظور اعتبارسنجی نرم‌افزار Evalglare ابتدا جدولی مطابق زیر تنظیم شد که در آن مقادیر روشنایی عمودی اندازه‌گیری شده توسط لوکس متر HS-1010 و سنجیده شده توسط Evalglare و مقادیر اختلاف آنها از ساعت ۸ تا ۱۶ طی یک دوره ۲۰ روزه انجام پژوهش وارد شد. جدول ۵ مقادیر روشنایی و درصد مقادیر اختلاف را در روز ۲ مهرماه در کلاس شماره ۱ نشان می‌دهد. در شکل ۹ نیز میزان روشنایی اندازه‌گیری شده توسط لوکس متر HS-1010 و میزان روشنایی سنجیده شده توسط Evalglare برای درک بهتر نمایش داده شده است.

جدول ۵. مقادیر روشنایی و درصد مقادیر اختلاف در روز ۲ مهرماه

درصد مقادیر اختلاف	میزان روشنایی سنجیده شده توسط Evalglare	میزان روشنایی اندازه‌گیری شده توسط لوکس متر HS-1010	ساعت
0.9	۴۳۴۰	۴۳۰۰	۸:۰۰
4.3	۴۸۲۰	۴۶۱۰	۸:۳۰
4.5	۵۸۹۰	۵۶۲۳	۹:۰۰
0.3	۶۵۲۰	۶۵۰۰	۹:۳۰
0.6	۷۱۵۰	۷۱۰۰	۱۰:۰۰
1.2	۷۳۰۰	۷۲۱۰	۱۰:۳۰
0.9	۷۳۱۰	۷۲۴۰	۱۱:۰۰
-2.8	۶۹۰۰	۷۱۰۰	۱۱:۳۰
-0.4	۶۸۱۰	۶۸۴۰	۱۲:۰۰
-1.2	۶۲۱۰	۶۲۹۰	۱۲:۳۰
7	۶۱۳۰	۵۷۰۰	۱۳:۰۰
0.1	۵۴۱۰	۵۴۰۰	۱۳:۳۰
3.7	۴۸۰۰	۴۶۲۰	۱۴:۰۰
27.8	۴۲۴۰	۳۰۶۰	۱۴:۳۰
20	۳۵۰۰	۲۸۰۰	۱۵:۰۰
19.2	۳۱۲۰	۲۵۲۰	۱۵:۳۰
15.1	۲۱۸۰	۱۸۵۰	۱۶:۰۰
متوسط درصد مقادیر اختلاف: ۵,۹ درصد			



شکل ۹. مقایسه میزان روشنایی عمودی اندازه‌گیری شده توسط لوکس متر HS-1010 و سنجیده شده توسط Evalglare در ساعات متفاوت روز دوم مه‌ماه

آنچه از جدول و نمودار برمی‌آید نشان می‌دهد که به‌طور متوسط، مقادیر روشنایی محاسبه شده حدود ۵/۹ درصد مقادیر اندازه‌گیری شده بودند. اما به‌طور بالقوه می‌توانند تا ۲۰ درصد هم در خطا بالا بروند. این خطا به دلیل کاهش رزولوشن تصویر به منظور امکان تجزیه و تحلیل در Evalglare ایجاد شده است (Hirning, Isoardi, & Cowling, 2014).

ارزیابی ذهنی: در این بخش ویژگی‌های شرکت‌کنندگان و پرسش‌نامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. ویژگی‌های شرکت‌کنندگان: به منظور انجام پژوهش از ۵۰ نفر زن و مرد که دانشجوی و کارمند دانشگاه بودند و سنی بین ۱۸ تا ۳۰ سال داشتند، استفاده شد. این بازه سنی به این دلیل انتخاب شد که بیشتر استفاده‌کنندگان از محیط آموزشی افراد جوان هستند که عمده جمعیت ایران را تشکیل می‌دهند، بنابراین نتایج قابل تعمیم‌تر خواهد شد. توزیع جنسیت نیز تقریباً به صورت مساوی اعمال شد. افراد دارای شرایط زیر بودند:

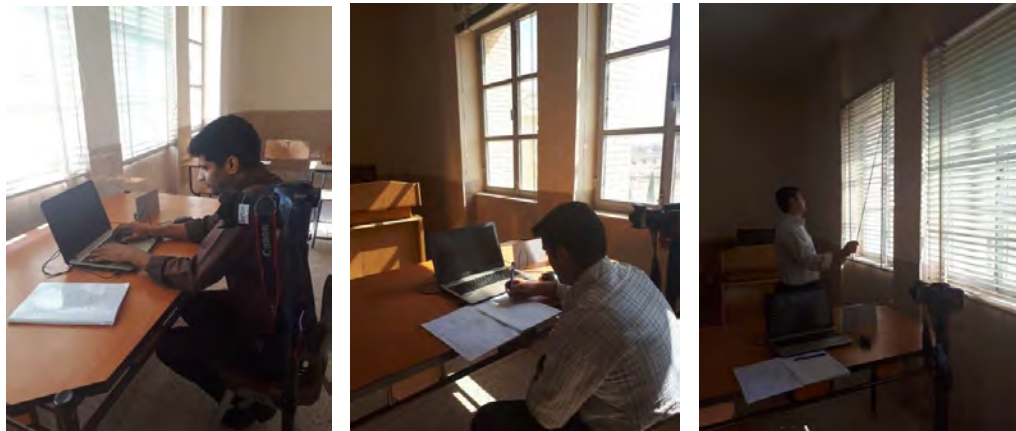
- سن بین ۱۸ تا ۳۰ سال
 - عدم وجود بیماری مرتبط با دید
 - عدم کوررنگی (با استفاده از تست کوررنگی Ishihara)
- مشخصات شرکت‌کنندگان، استخراج شده از پرسش‌نامه در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶. مشخصات شرکت‌کنندگان

درصد	آیتم	درصد	آیتم
	جنسیت		سن
۲۴ نفر (۴۸٪)	مرد	۳۲ نفر (۶۴٪)	۱۸-۲۲
۲۶ نفر (۵۲٪)	زن	۱۲ نفر (۲۴٪)	۲۳-۲۶
		۶ نفر (۱۲٪)	۲۷-۳۰
	اگر بله، زمان استفاده؟		استفاده از لنز اصلاحی
۸ نفر (۰،۶۶)	همه روز	۱۲ نفر (۲۴٪)	بله
۴ نفر (۰،۳۴)	در یک ساعت خاص	۳۸ نفر (۵۶٪)	خیر

پرسش‌نامه: سؤال‌ها به زبان فارسی نوشته شدند، چون تمامی شرکت‌کنندگان بومی بودند و به شرح زیر سازماندهی شدند:

- مکان، زمان و تاریخ پرسش‌نامه، شماره شناسایی پرسش‌نامه (تکمیل شده به وسیله آزمایشگر)
 - اطلاعات دموگرافی شامل پرسش درباره سن و جنسیت
 - معرفی فعالیت فعلی
 - ارزیابی رضایت از محیط نوری
 - رتبه‌بندی خیرگی با استفاده شیوه مقیاس اختلاف معنایی برای چهار مقیاس مجزا
 - مشخص کردن منبع خیرگی
 - اندازه‌گیری روشنایی عمودی و درخشندگی کارت خاکستری (تکمیل شده به وسیله آزمایشگر)
- پرسش‌نامه به‌گونه‌ای تنظیم شده بود که پاسخگویی به آن، آسان و سریع باشد. با این حال باید اطلاعات مورد نیاز مهم نیز ضبط می‌گردید. پرسش‌ها به گونه‌ای ساختار یافته بودند که یک فرد با پس زمینه غیرفنی نیز بتواند پاسخ معناداری را ارائه بدهد و از پرسش‌هایی که نیاز به تفسیر زیادی دارند، اجتناب شد.
- مقیاس رتبه‌بندی استفاده شده در این پژوهش در ۱۲ مقیاس تنظیم شد. عدد «۱» نشان‌دهنده بیشترین ترجیح بصری و کمترین میزان خیرگی درک شده بود. عدد «۱۲» نشان‌دهنده بیشترین میزان خیرگی غیرقابل تحمل است.
- پرسش‌نامه برای هر شرکت‌کننده در همان زمان اندازه‌گیری‌ها در موقعیت خاص او تکمیل شد. نیاز بود پرسش‌نامه تا حد ممکن به سرعت پر شود (با در نظر گرفتن این نکته که نور روز محرک بود). قبل از شروع شرح کوچکی از پژوهش و هدف آن مطرح گردید. اگر کاربران سؤال اضافه‌ای داشتند برای آنها توضیح داده می‌شد. قبل از اینکه شرکت‌کننده وارد اتاق شود، پرده‌ها به‌طور کامل جمع شدند. برای شروع آزمایش، شرکت‌کننده وارد کلاس شد، فرم رضایت مورد نیاز را تکمیل کرد، سپس به او توضیح داده شد که پرده را به‌صورت دستی تنظیم کند تا میزان و توزیع نور را برای ایجاد محیط‌های نوری متفاوت از جمله شرایط خیرگی محسوس و غیرقابل درک تغییر دهد. در ابتدای ورود فرد به کلاس، به منظور تطبیق چشم فرد با شرایط نوری داخل کلاس، به افراد دقایقی فرصت داده شد تا با شرایط داخل مطابقت پیدا کنند. به‌طور متوسط هر فرد به مدت دو تا چهار ساعت در روز مورد ارزیابی قرار گرفت. البته این بازه زمانی در روزهای متفاوت و در کلاس‌های مختلف انجام پذیرفت. اندازه‌گیری‌ها از ساعت ۸ تا ۱۶ با فاصله زمانی ۳۰ دقیقه‌ای انجام شد. در مجموع ۲۰۴۰ صحنه خیرگی مورد ارزیابی قرار گرفت.
- هر فرد تحت سه فعالیت متفاوت مورد آزمایش قرار گرفت: بدون هیچ عملی، عمل تایپ کردن و عمل نوشتن. پرده اتاق به صورت کرکره‌ای تنظیم شد، زیرا پرده‌های کرکره‌ای می‌توانند با زوایای مختلف تنظیم شوند. این امر به افراد اجازه می‌دهد اگر سطوح بالاتری از نور را بخواهند، نور طبیعی بیشتری را به اتاق وارد کنند و اگر سطوح پایین‌تری از نور را بخواهند، نور طبیعی ورودی را مسدود کنند (شکل ۱۰). در تنظیمات متفاوت پرده‌ها، افراد سطوح متفاوتی از خیرگی ناراحت‌کننده از غیرقابل درک تا غیرقابل تحمل را تجربه می‌کردند. در انتهای پرسش‌نامه به منظور کاهش حجم کمی پژوهش، از کاربران خواسته شد اطلاعات جدول را مطابق سؤالات مطرح شده پر کنند. در ادامه نمونه پرسش‌نامه مورد استفاده نمایش داده شده است (شکل ۱۱).



شکل ۱۰. ارزیابی ذهنی با حضور شرکت کنندگان

اتاق تست شماره ۱		اتاق تست شماره ۲		اتاق تست شماره ۳		شماره پرسش نامه:			
نام:		سن:		جنسیت:					
استفاده از عینک یا لنز اصلاحی؟ بله <input type="checkbox"/> خیر <input type="checkbox"/>		زمان استفاده؟ همه روز <input type="checkbox"/> در موارد خاص <input type="checkbox"/>							
وضعیت فعلی:									
در حال نوشتن <input type="checkbox"/>		در حال تایپ کردن <input type="checkbox"/>		بدون هیچ عملی <input type="checkbox"/>					
آیا از شرایط فعلی نوری محیط احساس رضایت دارید؟ بله <input type="checkbox"/> خیر <input type="checkbox"/>									
لطفاً میزان خیرگی را با استفاده از مقیاسی که تعیین شده است، رتبه‌بندی نمایید و در تصویر نیز مشخص نمایید:									
<p style="text-align: center;"> </p>									
۱- نامحسوس				۳- آزاردهنده					
۲- محسوس				۴- غیرقابل تحمل					
شماره اتاق	تاریخ	ساعت	وضعیت فعلی	احساس رضایت	رتبه خیرگی	روشنایی عمودی (Ev)	روشنایی افقی	درخشندگی کارت خاکستری	منبع خیرگی
شماره ۱									
شماره ۲									
شماره ۳									
...									

شکل ۱۱. پرسش نامه مورد استفاده

ارزیابی داده‌ها

همان‌گونه که مطرح شد، هر صحنه خیرگی که به وسیله یک فرد تجربه می‌شود، با استفاده از یک تصویر HDR ضبط شد. مقادیر درخشندگی از تصاویر ضبط شده HDR با استفاده از مقدار درخشندگی سنجیده شده در تنظیمات پژوهش به کمک یک لومیننس متر و صفحه خاکستری مورد استفاده کالیبره شد. ارتفاع دوربین و زاویه با دقت با ارتفاع چشم هر فرد و زاویه دید او در موقعیت نشسته تنظیم شد. سنسورهای لوکس متر مقدار روشنایی عمودی رسیده به چشم و سنسورهای لومیننس متر میزان درخشندگی صفحه خاکستری را ضبط می‌کردند. تصاویر HDR ضبط شده و سپس با استفاده از evalglare در نرم‌افزار HDRscope پردازش شدند تا میزان هرکدام از شاخص‌های CGI، UGR، DGI، DGP و VCP به دست آید.

قبل از پژوهش تجهیزات به دقت کالیبره شدند. درست بعد از انجام هر کار (بدون هیچ عملی، عمل تایپ کردن و عمل نوشتن) تحت شرایط نوری متفاوت، پرسش‌نامه‌ها به افراد داده شد تا میزان خیرگی را رتبه‌بندی کنند. از آن‌جاکه شرایط آسمان و خورشید تا حد زیادی قابل تغییر است، پرسش‌نامه بسیار ساده و واضح طراحی شد. اطلاعات به دست آمده با دقت با نتایج تحلیل evalglare مقایسه شدند. در شرایط متفاوت آسمان و تنظیمات متفاوت پرده‌ها، افراد سطوح مختلفی از خیرگی ناراحت‌کننده از غیرقابل درک تا غیرقابل تحمل را تجربه می‌کردند.

از ۲۰۴۰ داده جمع‌آوری شده، ۲۰۰۲ مورد برای پردازش بیشتر واجد شرایط بودند، زیرا تصاویر HDR باقی‌مانده دارای کیفیت پایینی بودند. از این تعداد نیز ۱۹۸۵ مورد محاسبه قرار گرفت، زیرا ۱۷ شرکت‌کننده خیرگی را از انعکاس صفحه مانیتور درک کرده بودند و این خیرگی از پنجره نبود. نتایج حاصل از ارزیابی ذهنی افراد و داده‌های evalglare که از نرم‌افزار HDRscope به دست آمد در جدولی ۷ در کنار هم قرار داده شد، تا ارزیابی دقیق‌تری نسبت به نتایج حاصل شود.

جدول ۷. مقایسه ارزیابی ذهنی افراد و داده‌های evalglare

شماره	احساس رضایت	DGP پرسش‌نامه	DGP عکس	DGI پرسش‌نامه	DGI عکس	CGI پرسش‌نامه	CGI عکس	UGR پرسش‌نامه	UGR عکس	VCP پرسش‌نامه	VCP عکس
۱											
۲											
۳											
...											

شناسایی شاخصه‌ها: به منظور شناسایی شاخصه مناسب برای ارزیابی خیرگی در این پژوهش، داده‌های ارزیابی خیرگی ذهنی با نمرات خیرگی محاسبه شده توسط عکس مقایسه گردید تا مشخص شود کدام معیار خیرگی به بهترین نحو به ارزیابی ذهنی برای صحنه‌های متفاوت خیرگی نزدیک‌تر است. هر معیار خیرگی که با ارزیابی ذهنی هماهنگ باشد، صحیح در نظر گرفته شده و شاخص می‌شود. در جدول ۷، تعدادی از شاخصه‌های ناراحتی خیره‌کننده در چهار مقیاس احساس خیرگی، مقایسه شده‌اند. در اشکال زیر (شکل ۱۲) نمونه‌هایی از روش انجام این کار در حالت‌های متفاوت بدون پرده و استفاده از پرده کرکره و در دو وضعیت دید عمود به پنجره و موازی با پنجره به تصویر کشیده شده است.



ارزیابی ذهنی: (تا محسوس)

DGP=۰,۳۰۸
DGI=۱۶,۷۱
UGR=۲۰,۵۰
CGI=۲۵,۶۴
VCP=۳۱,۴۲

ارزیابی ذهنی: (محسوس)

DGP=۰,۳۸۰
DGI=۲۵,۸۶
UGR=۳۳,۱۳
CGI=۳۵,۴۷
VCP=۷,۳۵

ارزیابی ذهنی: (آزار دهنده)

DGP=۰,۲۵۷
DGI=۱۱,۷۸
UGR=۱۳,۴۴
CGI=۷۵,۶۳
VCP=۱۹,۰۸

ارزیابی ذهنی: (غیر قابل تحمل)

DGP=۰,۸۲۳
DGI=۱۸,۸۲
UGR=۲۳,۵۱
CGI=۲۳,۲۶
VCP=۵۹,۲۵

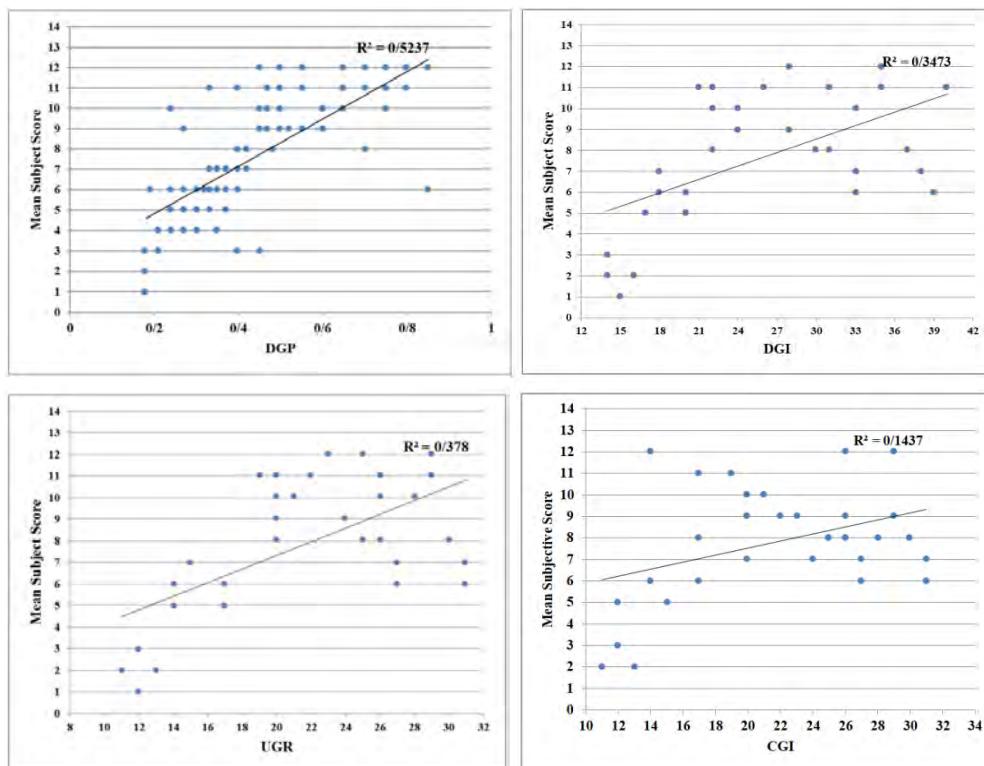
شکل ۱۲. مقایسه نمرات ذهنی افراد با نتایج حاصل از عکس

تحلیل آماری: میانگین (M)، انحراف از معیار (SD) و ضریب واریاسیون (CV) (نسبت بین SD و میانگین) داده‌ها از شاخصه‌های خیرگی در جدول ۸ خلاصه شد که در چهار مقیاس خیرگی، طبقه‌بندی گردیدند. مشاهده شد که در تمامی مقیاس‌های خیرگی، کمترین مقدار ضریب واریاسیون مربوط به DGP است و VCP مقادیر بالای ضریب واریاسیون را نشان می‌دهد. در صحنه‌های خیرگی غیرقابل درک و قابل درک، ضریب واریاسیون UGR در رتبه بعدی قرار گرفته است، ولی در صحنه‌های خیرگی آزاردهنده و غیرقابل تحمل، ضریب واریاسیون DGI بعد از DGP قرار گرفته است. این بدان معناست که در بررسی اولیه VCP کمترین میزان دقت را داراست و این هم‌سو با یافته‌های پیشین است که VCP را برای ارزیابی خیرگی نور طبیعی مناسب نمی‌دانند.

جدول ۸. میانگین (M)، انحراف از معیار (SD) و ضریب واریاسیون (CV) داده‌ها

VCP	CGI	UGR	DGI	DGP		
85.3	9.70	15.31	14.24	0.21	Mean	خیرگی غیرقابل درک
45.10	2.23	2.43	2.97	0.01	SD	
0.52	0.22	0.15	0.21	0.05	CV	
43.20	23.41	21.34	15.38	0.23	Mean	خیرگی قابل درک
48.25	3.52	3.12	2.21	0.02	SD	
1.11	0.15	0.14	0.14	0.08	CV	
61.87	29.45	25.21	23.26	0.35	Mean	خیرگی آزاردهنده
51.3	9.3	6.1	3.20	0.02	SD	
0.82	0.31	0.24	0.14	0.06	CV	
46.23	33.26	28.43	35.67	0.41	Mean	خیرگی غیرقابل تحمل
54.2	12.25	7.5	5.3	0.03	SD	
1.17	0.36	0.26	0.15	0.07	CV	

در ادامه به منظور ارزیابی دقیق هر کدام از شاخصه‌ها، مجذور ضریب همبستگی هر شاخص با متوسط نمرات ذهنی افراد محاسبه شد (شکل ۱۳). VCP به دلیل بودن بیشترین ضریب واریاسیون از محاسبات حذف شد.



شکل ۱۳. بررسی میزان همبستگی شاخص‌های مختلف خیرگی و متوسط نمرات ذهنی افراد

مشاهده می‌شود که DGP همبستگی بالایی با متوسط نمرات ذهنی دارد (۰/۵۲) در حالی که ضریب همبستگی DGI، ۰/۳۴ و ضریب همبستگی UGR، ۰/۳۷ و CGI، ۰/۱۴ است. در ادامه به منظور ارزیابی دقیق‌تر صحنه‌ها، میزان همبستگی هر شاخص با متوسط نمرات ذهنی افراد در صحنه‌های خیرگی غیرقابل درک، قابل درک، آزاردهنده و غیرقابل تحمل تعیین شد که در جدول ۹ آورده شده است.

جدول ۹. میزان همبستگی هر شاخص با متوسط نمرات ذهنی افراد

	CGI	UGR	DGI	DGP	
خیرگی غیرقابل درک	۰,۱۸	۰,۲۲	۰,۳۱	۰,۶۷	
خیرگی قابل درک	۰,۲۱	۰,۳۴	۰,۲۵	۰,۲۹	
خیرگی آزاردهنده	۰,۳۱	۰,۲۵	۰,۱۸	۰,۴۳	
خیرگی غیرقابل تحمل	۰,۲۳	۰,۲۹	۰,۳۱	۰,۴۵	

بر اساس تحلیل میزان همبستگی، شاخصه‌های خیرگی موجود عملکرد ارزیابی متفاوتی را در شرایط نوری مختلف دارند:

- DGP قابل اعتمادترین شاخص برای صحنه‌های خیرگی غیرقابل درک، آزاردهنده و غیرقابل تحمل است، اما همبستگی ضعیفی برای صحنه‌های خیرگی قابل درک (۰/۲۹) دارد. این نشان می‌دهد که DGP با ارزیابی‌های ذهنی تا حد زیادی مطابقت دارد.
- UGR در بین شاخصه‌های دیگر، بالاترین ضریب همبستگی را برای صحنه‌های خیرگی قابل درک (۰/۳۴) داراست و در صحنه‌های خیرگی غیرقابل تحمل (۰/۲۹) نیز عملکرد قابل قبولی دارد.
- DGI در صحنه‌های خیرگی غیرقابل درک و غیرقابل تحمل ضریب همبستگی خوبی دارد، اما در صحنه‌های خیرگی آزاردهنده دارای ضریب همبستگی بسیار پایینی (۰/۱۸) است.
- CGI بیشترین ضریب همبستگی را در صحنه‌های خیرگی آزاردهنده (۰/۳۱) داراست و برای بقیه صحنه‌ها دارای ضریب همبستگی پایینی است.

بنابراین با توجه به تمامی تحلیل‌های آماری بالا، در این پژوهش شاخص DGP، به عنوان مناسب‌ترین معیار برای ارزیابی خیرگی در اقلیم گرم و خشک ایران شناسایی شد.

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه خیرگی پدیده‌ای ذهنی محسوب می‌شود، ارزیابی آن نسبت به سایر معیارهای آسایش بصری به نسبت دشوار است. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی و تفاوت‌های فرهنگی و ترجیحات در درک خیرگی تأثیرگذارند. شاخصه‌های خیرگی موجود به‌طور گسترده‌ای ارزیابی‌های متناقضی را در مورد یک صحنه خیرگی مشابه نشان داده‌اند.

در این پژوهش، تعیین شاخصه‌های مناسب ارزیابی خیرگی در اقلیم گرم و خشک ایران، از طریق تصاویر HDR و ارزیابی ذهنی انجام شد. معیارهای تحلیل شده شامل شاخص خیرگی نور روز (DGI)، شاخص خیرگی (CIE CGI)، احتمال آسایش بصری (VCP)، نرخ خیرگی یکپارچه (UGR) و احتمال خیرگی نور روز (DGP) است. پژوهش در بازه زمانی ۴۰ روزه تحت شرایط آسمان صاف انجام شد. ابتدا میزان شاخصه‌ها از طریق تصاویر HDR در هر صحنه به‌دست آمد و همزمان با گرفتن تصاویر HDR، ارزیابی ذهنی افراد نیز انجام شد. در نهایت با انجام تحلیل آماری و تطبیق نتایج هر بخش، شاخصه مناسب

برای ارزیابی خیرگی در اقلیم گرم و خشک ایران به دست آمد. با توجه به تحلیل آماری، مشخص شد VCP مقادیر بالای ضریب واریاسیون و کمترین میزان دقت را داراست و از محاسبات بعدی حذف شد. DGP قابل اعتمادترین شاخص برای صحنه‌های خیرگی غیرقابل درک، آزاردهنده و غیرقابل تحمل بود. UGR در بین شاخصه‌های دیگر، بالاترین ضریب همبستگی را برای صحنه‌های خیرگی قابل درک (۰/۳۴) داشت. DGI در صحنه‌های خیرگی غیرقابل درک و غیرقابل تحمل دارای ضریب همبستگی قابل قبول بود و CGI بیشترین ضریب همبستگی را در صحنه‌های خیرگی آزاردهنده (۰/۳۱) داشت. آنچه از نتایج به دست می‌آید این است که DGP قابل اعتمادترین نتایج را در سطوح متفاوت خیرگی بر اساس ارزیابی ذهنی افراد در بین ۵ شاخصه دیگر به دست می‌دهد.

پی‌نوشت‌ها

1. High Dynamic Range
2. Visual Comfort Probability
3. CIE Glare Index
4. Discomfort Glare Index
5. Unified Glare Rating
6. Discomfort Glare Probability
7. British Glare Index

فهرست منابع

- Bian, Y., & Luo, T. (2017). Investigation of visual comfort metrics from subjective responses in China: A study in offices with daylight. *Building and Environment*, 123, 661–671. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.035>
- Bian, Y., & Ma, Y. (2018). Subjective survey & simulation analysis of time-based visual comfort in daylit spaces. *Building and Environment*, 131, 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.007>
- Cantin, F., & Dubois, M.-C. (2011). Daylighting metrics based on illuminance, distribution, glare and directivity. *Lighting Research and Technology*, 43(3), 291–307. <https://doi.org/10.1177/1477153510393319>
- Carlucci, S., Causone, F., De Rosa, F., & Pagliano, L. (2015). A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 1016–1033. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.062>
- Chaiwiwatworakul P., Chirarattananon S, R. P. (2009). Application of automated blind for daylighting in tropical region. *Energy Convers Manag*, 50, 2927–2943.
- Einhorn H. D. (1979). Discomfort glare: a formula to bridge differences. *Light Res Techno*, 11, 90–94.
- Guth, S. K. (1963). A method for the evaluation of discomfort glare. *Illuminating Engineering*, 58(5), 351–46.
- Harrold, R., D. Mennie, A. I. (2003). *ESNA lighting ready reference: a compendium of materials from the IESNA lighting handbook*. New York : Illuminating Engineering Society of North America.
- Hescong, L., Wright, R. L., & Okura, S. (2002). Daylighting Impacts on human Performance in

- school. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 31(2), 21–25. <https://doi.org/10.1080/00994480.2002.10748389>
- Hirning, M. B., Isoardi, G. L., & Cowling, I. (2014). Discomfort glare in open plan green buildings. *Energy and Buildings*, 70(February), 427–440. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.053>
 - Hirning, M. B., Isoardi, G. L., Coyne, S., Garcia Hansen, V. R., & Cowling, I. (2013). Post occupancy evaluations relating to discomfort glare: A study of green buildings in Brisbane. *Building and Environment*, 59, 349–357. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.08.032>
 - Hirning, M. B., Isoardi, G. L., & Garcia–Hansen, V. R. (2016). Prediction of discomfort glare from windows under tropical skies. *Building and Environment*, 113, 107–120. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.005>
 - Hirning, M., Coyne, S., & Cowling, I. (2010). The Use of Luminance Mapping in Developing Discomfort Glare Research. *Journal of Light & Visual Environment*, 34(2), 101–104. <https://doi.org/10.2150/jlve.34.101>
 - Hopkinson, R. G. (1972). Glare from daylighting in Buildings. *Applied Ergonomics*, 3.4(December), 206–215. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0003-6870\(72\)90102-0](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0003-6870(72)90102-0)
 - IES. (1966). Outline of a standard procedure for computing visual comfort ratings for interior lighting. *J Illum Eng Soc*, 61(10), 643–666.
 - Inanici, M. (2006). Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system. *Lighting Research and Technology*, 38(2), 123–136. <https://doi.org/10.1191/1365782806li164oa>
 - Inanici, M., & Galvin, J. (2004). *Evaluation of High Dynamic Range Photography As a Luminance Mapping Technique*, (November), 1–28. Retrieved from papers3://publication/uuid/111F2247-52C4-4E2E-9ADB-67A00972257D
 - Jakubiec, J., & Reinhart, C. (2012). The “adaptive zone” – A concept for assessing discomfort glare throughout daylight spaces. *Lighting Research and Technology*, 44(2), 149–170. <https://doi.org/10.1177/1477153511420097>
 - Mangkuto, R. A., Kurnia, K. A., Azizah, D. N., Atmodipoero, R. T., & Soelami, F. X. N. (2017). Determination of discomfort glare criteria for daylight space in Indonesia. *Solar Energy*, 149, 151–163. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.04.010>
 - Nazzal, A. A. (2005). A new evaluation method for daylight discomfort glare. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(4), 295–306. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2004.08.010>
 - Pierson, C., Wienold, J., & Bodart, M. (2017). Discomfort glare perception in daylighting: Influencing factors. *Energy Procedia*, 122, 331–336. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.332>
 - Reinhard, E., Ward, G., Pattanaik, S., Debevec, P., Heidrich, W., Myszkowski, K. (2010). *High Dynamic Range Imaging: Acquisition, Display, and Image-Based Lighting*. Pennsylvania: Morgan Kaufmann publications.
 - Sapia, C. (2013). Daylighting in buildings: Developments of sunlight addressing by optical fiber. *Solar Energy*, 89, 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.12.003>
 - Suk, J., & Schiler, M. (2013). Investigation of Evalglare software, daylight glare probability and high dynamic range imaging for daylight glare analysis. *Lighting Research and Technology*, 45(4), 450–463. <https://doi.org/10.1177/1477153512458671>
 - Suk, J. Y., Schiler, M., & Kensek, K. (2016). Investigation of existing discomfort glare indices using human subject study data. *Building and Environment*, 113, 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.018>