

ارزیابی نور روز و خیرگی در کلاس‌های درس با استفاده از شاخص‌های پویا

مطالعه موردی: دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی

محمد رضا آیت‌اللهی^۳

زهرا اسادات زمردیان^۴

استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

کلیدواژگان: نور روز، خیرگی، آسایش بصری، شاخص‌های پویا.

محمد علی فدایی اردستانی^۱

حیدر ناصری مبارکی^۲

است. همچنین شاخص‌های انتخابی برای ارزیابی عملکرد سایبان‌های ثابت و متحرک استفاده شده است. بر اساس نتایج شاخص‌های UDI ۳۰۰-۳۰۰ [۵۰٪] برای بررسی دریافت نور روز مناسب و SVD به منظور بررسی احتمال خیرگی در فرایند طراحی و ارزیابی فضاها مناسب‌تر از سایر شاخص‌ها هستند. همچنین نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که کلاس با جهت‌گیری شمال شرقی بهترین شرایط آسایش بصری را دارد. همچنین در کلاس‌های جنوبی طراحی سایبان متحرک برای فراهم کردن نور روز مناسب و جلوگیری از خیرگی الزامی است. این درحالی است که استفاده از سایبان‌های ثابت برای کاهش خیرگی به دلیل کاهش شدید نور ورودی به فضا قابل توجه نیست.

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر بهره‌گیری از نور روز به مثابه یک استراتژی طراحی برای کاهش مصرف انرژی روشنایی، بهبود آسایش بصری، و بهره‌وری کاربران در فضا توسعه یافته است. نور طبیعی و ارتباط بصری با محیط خارج در فضاهای زیستی انسان، اعم از محیط کار، تفریح، تحصیل، و... علاوه بر افزایش کارایی و بازدهی، موجب کاهش اضطراب، بهبود رفتار، و نیز حفظ و افزایش سلامتی می‌شود.^۵

چکیده

بهره‌گیری مناسب از نور روز با توجه به مصرف انرژی، عملکرد، و یادگیری دانش‌آموزان و مدرسین در ساختمان‌های آموزشی مسئله‌ای قابل تأمل است. بی‌توجهی به طراحی دقیق پنجره، سایبان، و متعلقات آن منجر به بروز خیرگی یا افزایش بار سرمایش ساختمان به دلیل ورود تابش مستقیم خورشید یا کاهش نور روز مناسب خواهد شد. با توجه به ثابت بودن نقاط نشست در فضای کلاس، استفاده از آنالیزهای دقیق برای بررسی شرایط دریافت نور روز و خیرگی اهمیت مضاعفی خواهد یافت. در این مقاله، با در نظرگیری دو هدف دریافت نور روز مناسب و عدم خیرگی، شرایط نور روز و خیرگی فضاها و تأثیر طراحی سایبان بر شرایط آسایش بصری با استفاده از اندازه‌گیری میدانی و شبیه‌سازی در کلاس‌های درس دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی بررسی گردیده است. در بررسی ویژگی‌های دریافت نور و خیرگی فضاها از معیارهای ارزیابی ایستا و پویا بهره گرفته شده است. هدف از این مقاله مقایسه شرایط آسایش بصری در کلاس‌های مختلف و مقایسه شاخص‌های مختلف و انتخاب شاخص مناسب برای ارزیابی کلاس‌ها

دریافت: ۱۷ تیر ۱۳۹۷
پذیرش: ۲۸ آبان ۱۳۹۷
(صفحه ۴۰-۲۵)

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد معماری
انرژی، دانشگاه شهید بهشتی
m.fadaeiardestani@mail.sbu.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد
معماری انرژی، دانشگاه شهید
بهشتی
h.naseri@mail.sbu.ac.ir

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد معماری
انرژی، دانشگاه شهید بهشتی
m.ayatollahi@mail.sbu.ac.ir

۴. نویسنده مسؤل:
Z_zomorodian@sbu.ac.ir

۵. نک: امین‌اله احدی و محمد علی
خان‌محمدی، «عملکرد بهتر
دانشجویان با بهره‌گیری مناسب
از نور روز در کلاس‌های آموزشی،
بررسی موردی: دانشکده معماری
دانشگاه علم و صنعت ایران».



پرسش‌های تحقیق

۱. کدام شاخص‌های نور و خیرگی برای ارزیابی عملکرد بصری در کلاس درس مناسب‌تر هستند؟
۲. سایبان‌های ثابت و متحرک چه تأثیری بر شاخص‌های نور روز و خیرگی در کلاس‌های درس دارند؟

با توجه به اینکه دانش‌آموزان / دانشجویان حدود ۳۰٪ زمان خود را در کلاس‌های درس صرف می‌کنند، آسایش بصری در ساختمان‌های آموزشی اهمیت زیادی دارد.^۶ مطالعات نشان می‌دهد که دانش‌آموزان در کلاس‌هایی با نور طبیعی مناسب و کافی تا ۲۵٪ یادگیری بالاتری نسبت به همتایان خود دارند.^۷ بهره‌گیری از نور روز در فضاهای داخلی به عواملی از جمله جهت‌گیری، تناسب فضای، ساختار پنجره‌ها، میزان اغتشاشات بصری، رنگ، بافت غالب سطوح، کمیت و کیفیت نور موجود بر اساس نوع سیستم‌های نورپردازی مصنوعی، محل قرارگیری منابع نوری، و عملکرد فضا وابسته است.^۸ علاوه بر مسئله آسایش، بهره‌گیری از نور طبیعی و استفاده از سیستم‌های نورپردازی بهینه برای کاهش مصرف انرژی روشنایی اهمیت ویژه‌ای دارد. انرژی روشنایی حدود ۱۴٪ از کل انرژی مصرفی در ساختمان‌های آموزشی را شامل می‌شود.^۹ این در حالی است که در بسیاری از موارد علی‌رغم مصرف قابل توجه انرژی برای روشنایی، شرایط آسایش بصری در کلاس‌ها تأمین نمی‌شود و یا به دلیل طراحی نامناسب، با وجود روشنایی طبیعی، پرده‌ها را می‌کشند و از روشنایی مصنوعی استفاده می‌کنند.

طی قرن‌ها توجه به نور روز در کلاس‌های درس، بر تغییر شکل کالبدی فضاهای آموزشی مؤثر بوده است.^{۱۰} یکی از ویژگی‌های نور طبیعی تغییر کیفیت و کمیت آن در طول روز و فصول مختلف است. همچنین شرایط جوی بر کیفیت نور طبیعی تأثیرگذار است. از جمله آثار این تغییرات ایجاد خیرگی (نوعی عدم آسایش بصری همراه با تداخل در عملکرد بینایی) در بخش‌هایی از فضا است. هرچند معماران در طراحی فضاهای داخلی بهره‌گیری از نور طبیعی را لحاظ می‌کنند، اما به آسایش بصری فضاهای روشن کمتر توجه کرده‌اند. از این رو لازم است طراحان زمان و مکان وقوع عدم آسایش بصری ناشی از نور روز را به دقت بررسی کنند؛ زیرا فقدان آسایش مانع بهره‌گیری مناسب از نور روز خواهد شد. برای بهره‌گیری از نور روز، طراحان معمولاً سطوح زیادی برای پنجره در نظر می‌گیرند که در صورت نبود کنترل سبب دریافت حرارت بیش از حد و افزایش بار سرمایش ساختمان خواهد شد. علاوه بر این، خیرگی سبب افزایش ناراضیاتی، کشیدن پرده‌ها، و نهایتاً استفاده از روشنایی مصنوعی در طول روز خواهد شد. بنا بر این لازم است در فرایند طراحی از شاخص‌های ارزیابی معتبر برای اطمینان از کمیت و کیفیت نور روز در فضاها استفاده شود.

۶. شهرام پوردیهیمی و فریبرز حاجی سیدجوادی، «تأثیر نور روز بر انسان»، ص ۶۷-۷۵.
 ۷. نک:

M.S. Mott, et al, "Illuminating the Effects of Dynamic Lighting on Student Learning".

۸. نک:

S. Sufar, et al, "Towards a Better Design: Physical Interior Environments of Public Libraries in Peninsular Malaysia".

۹. نک:

LD. Pereira, et al, "Energy Consumption in Schools – A Review Paper".

۱۰. نک:

V. Costanzo, et al "A Review of Daylighting Strategies in Schools: State of the Art and Expected Future Trends".

11. Static & Dynamic

۱۲. نک:

A. Nabil, et al, "Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors".

۱۳. نک:

J. Mardaljevic, et al, "Daylight Metrics and Energy Savings"; S. Kleindienst, et al, "Graphical Representation of Climate-Based Daylight Performance to Support Architectural Design"; Dogan, et al, "Urban Daylight Simulation Calculating the Daylit Area of Urban Designs".

۱۴. نک:

D. Bourgeois, et al, "Standard Daylight Coefficient Model for Dynamic Daylighting Simulations"; Z.S. Zomorodian, et al, "The Effect of Window Configuration on Daylight Performance in Classrooms: A Field and Simulation Study".

۱۵. نک:

MB. Piderit & CY. Labarca, "Methodology for Assessing Daylighting Design Strategies in Classroom with a Climate-Based Method".

16. climate based daylight modeling

سایبان‌های پیشنهادی بر مقادیر شاخص‌ها و آسایش بصری کلاس‌ها بررسی شده است.

۲. شاخص‌های ارزیابی نور و خیرگی

۱.۲. نور روز

در طی دهه‌های اخیر، شاخص‌های زیادی برای اندازه‌گیری نور روز در داخل فضا معرفی شده که می‌توان آن‌ها را به دو دسته تقسیم کرد: (۱) شاخص‌های ایستا و (۲) شاخص‌های پویا. شاخص‌های ایستا، تحت شرایط بیرونی مشخص و ثابت (آسمان ابری یا آسمان بدون ابر)، میزان روشنایی طبیعی را در فضای داخلی بیان می‌کنند. شاخص‌های پویا (شاخص‌های مبتنی بر اقلیم)^{۱۶} یک مدل پیش‌بینی نور روز هستند که کمیت‌های مختلف روشنایی را با در نظر گرفتن وضعیت آسمان و موقعیت خورشید، بر اساس داده‌های اقلیمی، شبیه‌سازی و ارزیابی می‌کنند.^{۱۷}

شاخص‌های ایستا (شاخص‌های لحظه‌ای) شامل فاکتور نور روز، یکپارچگی، و روشنایی هستند. در حالی که شاخص‌های پویا شامل آنانومی نور روز (DA)، آنانومی نور روز پیوسته (CDA)، شاخص نور روز مفید (UDI) و آنانومی نور روز فضایی (sDA) و تابش سالیانه (ASE) هستند. SDA و ASE شاخص‌های ارزیابی جامعی هستند که با ترکیب زمان و فضا، در بسیاری از روش‌های سنجش عملکرد ساختمان، نظیر لید ۱۳۰۱۳^{۱۸} استفاده شده است. مهم‌ترین تفاوت بین شاخص‌های ایستا و پویا در نظر گرفتن تغییرات ساعتی، روزانه، و فصلی نور روز در شاخص‌های پویا است. از میان شاخص‌های متعدد ایستا و پویا، شاخص‌هایی که رواج بیشتری در تحقیقات و استانداردهای نور روز داشته‌اند انتخاب و در جدول «ت ۱» شرح داده شده‌اند. مطابق با استاندارد IES-LM-83 در محاسبات sDA، برای جلوگیری از بروز خیرگی، زمانی که ۲٪ از نقاط مورد بررسی فضا روشنایی مستقیم دریافت کنند، سایبان‌ها را فعال می‌کنند، که این ویژگی

طی سالیان اخیر شاخص‌های متعددی برای ارزیابی نور روز و خیرگی توسعه داده شده است. این شاخص‌ها به دو دسته ایستا و پویا^{۱۱} قابل تقسیم هستند. شاخص‌های ایستا (ارزیابی لحظه‌ای)، مانند فاکتور نور روز، جزء اولین شاخص‌های ارزیابی نور روز هستند. با توسعه مفهوم نور روز در سال‌های اخیر، استفاده از شاخص‌های پویا (ارزیابی سالانه) بسیار رواج یافته است. از جمله شاخص‌های پویا که به آن‌ها شاخص‌های مبتنی بر اقلیم نیز می‌گویند، آنانومی نور روز، نور روز مفید، و آنانومی نور روز فضایی است.^{۱۲} این دسته از شاخص‌ها می‌توانند دید جامعی از وضعیت روشنایی طبیعی و محل و زمان رویداد خیرگی در فضا به ما بدهند.

شاخص‌های پویا متناسب برای برنامه‌های عملکردی معماری و طراحی شهری در بسیاری از پژوهش‌ها بررسی شده‌اند^{۱۳} و مزایای آن نسبت به معیارهای ایستا در پژوهش‌های متعددی مطالعه گردیده‌اند.^{۱۴} به طور کلی بررسی لحظه‌ای نور روز (بررسی در بدترین شرایط، آسمان ابری یکنواخت) نمی‌تواند نشان‌دهنده همه خصوصیات روشنایی یک محیط فیزیکی باشد؛ زیرا نور روز با توجه به تغییر شرایط آب‌وهوایی متغیر است. با معیارهای پویا، با در نظر گرفتن شرایط مختلف آسمان، درحقیقت نور روز را به طور کامل بر اساس مکان، موقعیت، و اشغال ساختمان‌ها ارزیابی می‌شوند^{۱۵} که می‌توانند شاخص مناسبی برای ارزیابی طرح معماری باشند.

در این مقاله وضعیت نور روز و خیرگی در کلاس‌های درس دانشگاه شهید بهشتی (در سه جهت جغرافیایی) با استفاده از شاخص‌های ایستا و پویا با استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای ارزیابی شده است. با بررسی‌های انجام‌شده، کاربردی‌ترین شاخص انتخاب و برای بهینه‌سازی سایبان پیشنهادی در کلاس‌های بررسی‌شده استفاده شده است. هدف از این تحلیل‌ها مقایسه وضعیت روشنایی کلاس‌های مختلف با استفاده از شاخص‌های منتخب و مقایسه با استانداردها است. در ادامه نیز تأثیر

باعث کاهش نور ورودی به فضا می‌گردد. در این مقاله با توجه به مقایسه شاخص‌ها برای انتخاب مناسب‌ترین آن‌ها، این ویژگی غیر فعال شده است.

۲.۲. خیرگی

تغییر در شدت و کمیت نور در طول روز می‌تواند عملکرد بصری حاضرین را تحت تأثیر قرار دهد. افزایش شدت نور روز می‌تواند باعث اختلال در عملکرد بینایی و در نتیجه خیرگی گردد. علی‌رغم علاقه معماران به استفاده هرچه بیشتر از روشنایی روز، به مسئله خیرگی کمتر توجه می‌شود. بنا بر این آسایش بصری و خیرگی ناشی از نور روز باید به دقت بررسی شود؛ چرا که نبود آسایش بصری می‌تواند بهره‌گیری مناسب از نور روز را مختل کند.

برای تحلیل خیرگی در فضاهای معماری شاخص‌های متفاوتی مانند شاخص خیرگی نور روز (DGI)، درجه‌بندی

خیرگی یکپارچه (UGR)، احتمال خیرگی نور روز (DGP)، احتمال آسایش بصری (VCP) و عدم آسایش بصری فضایی (SVD) رواج یافته است. شاخص‌های خیرگی از وجوه مختلف قابل دسته‌بندی هستند؛ از نظر معیار ارزیابی به دو دسته ارزیابی بر اساس درخشندگی^{۱۹} و ارزیابی بر اساس روشنایی^{۲۰} و از نظر زمان بررسی نیز به دو دسته شاخص‌های ایستا (لحظه‌ای) و پویا (سالانه) قابل تقسیم است. در این تحقیق از هر دو دسته از شاخص‌ها استفاده شده است. از میان شاخص‌های پویا مبتنی بر درخشندگی، شاخص DGP به علت اعتبار برای ارزیابی خیرگی ناشی از منابع نور طبیعی انتخاب شده است. علاوه بر این دو شاخص پویا مبتنی بر روشنایی (ASE و SVD) که در تحقیقات معرفی شده است^{۲۱} برای مقایسه با شاخص‌های دسته اول انتخاب شده است. شاخص‌های نام‌برده در جدول «ت ۲» شرح داده شده‌اند.

برای ارزیابی پویای خیرگی در فضا از شاخص‌های ASE و

نوع	شاخص	شرح	محدوده قابل قبول	وضعیت روشنایی
میانگین	Mean Daylight factor (MDF)	متوسط نسبت نرخ روشنایی نور روز در هر نقطه از داخل فضا به میزان روشنایی موجود در سطح افقی فضای باز و بدون مانع در شرایط آسمان ابری (CIE) است (نک: Brotas & Wilson, "The Average Total Daylight Factor").	2 >	نور روز نامناسب
	Spatial Daylight factor (sDF)	درصدی از فضا که مقدار فاکتور نور روز دریافتی آن بیش از ۲٪ باشد.	5 >	نور روز شدید
میانگین	spatial Daylight Autonomy	درصدی از فضا (سطح کف) است که میزان مشخصی از روشنایی روز (۳۰۰ لوکس) را در مدت زمان مشخصی از ساعات اشغال سالانه فضا دریافت می‌کند. به طور مثال sDA (۳۰۰، ۵۰٪) نشان‌دهنده درصدی از فضا است که سطح روشنایی بیشتر از ۳۰۰ لوکس در بیش از ۵۰٪ از ساعات اشغال سالانه فضا باشد (http://archsim.com; Heschong, et al, "Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)").	55% <	نور روز نامناسب
	Useful Daylight Illuminance	این شاخص توزیع روشنایی طبیعی سالانه در یک فضا را در محدوده‌های از پیش تعیین شده (در بیش از ۵۰٪ از زمان اشغال) بر حسب لوکس نشان می‌دهد (Zomorodian & Tahsildoost, "Assessment of Window Performance in Classrooms by long Term Spatial Comfort Metrics").	300-3000 lux	مناسب
			0-150 lux	ناچیز
			150-300 lux	کم
			>3000 lux	شدید

۱۷. نک:

A.M. Atzeri, et al, "Comfort Metrics for an Integrated Evaluation of Buildings Performance".
18. LEED 2013
19. luminance
20. illuminance

۲۱. نک:

Z.S. Zomorodian & M. Tahsildoost, "Assessment of Window Performance in Classrooms by long Term Spatial Comfort Metrics".

ت ۱. شاخص‌های ارزیابی نور روز (خانه‌های سبز رنگ نشان‌دهنده محدوده قابل قبول شاخص است).
تدوین: نگارندگان.

ردیف	شاخص	شرح	محدوده قابل قبول	وضعیت روشنایی
۱- ایستایی	Daylight Glare Probability (DGP)	احتمال خیرگی نور روز (این شاخص بر اساس درخشندگی منبع و زمینه، میزان روشنایی وارد شده بر چشم (EV)، و زاویه دید ناظر به منبع نور محاسبه می‌گردد. این میزان از ۰/۳۵ تا ۰/۴۰ قابل قبول است).	<.35	نا محسوس
			0.35-0.40	قابل درک
			0.4-0.45	مزاحم
۲- راحتی	Spatial visual Discomfort (SVD)	فقدان آسایش بصری فضایی (میزان DGPs در حداقل ۰/۲۰٪ از زمان اشغال فضا بالای ۰/۴۵ مورد قبول است).	>0.45	غیر قابل تحمل
			<10%	آسایش
	Annual Sunlight Exposure (ASE)	درصدی از فضا است که میزان روشنایی مستقیم نور روز از میزان ۱۰۰۰ لوکس، برای مدت زمان معینی از ساعات اشغال سالیانه فضا (۲۵۰ ساعت) بیشتر گردد.	>10%	نبود آسایش
			>12%	غیر قابل قبول
			12%>	قابل قبول

ت ۲ (بالا). شاخص‌های ارزیابی خیرگی، مأخذ:

Zomorodian & Tahsildoost, "Assessment of Window Performance in Classrooms by long Term Spatial Comfort Metrics"

ت ۳ (پایین). روند بررسی پژوهش، تدوین: نگارندگان.

سه کلاس درس دانشگاهی با عنوان نمونه موردی انتخاب و شرایط آسایش بصری با استفاده از شاخص‌های فوق الذکر با شبیه‌سازی در آن‌ها ارزیابی شده است. متدولوژی پژوهش در تصویر «ت ۳» نمایش داده شده و در بخش‌های بعد تشریح شده است.

SVD استفاده شده است. شاخص اول میزان روشنایی مستقیم بیش از ۱۰۰۰ لوکس را در بیش از ۲۵۰ ساعت از زمان اشغال بیان می‌کند. شاخص دوم بر اساس شاخص ساده‌شده DGP به نام DGPs (رابطه ۱) بر اساس روشنایی عمودی (در سطح چشم) محاسبه می‌شود. بر اساس «رابطه ۱» روشنایی بیش از ۴۲۷۶ لوکس سبب خیرگی آزاردهنده خواهد شد بدین ترتیب شاخص SVD نشان‌دهنده درصدی از فضای تحت اشغال است که میزان DGPs در حداقل ۱۰٪ از زمان اشغال فضا بالای ۰/۴۵ است (رابطه ۲). در محاسبه این شاخص کلیه نقاطی که فاصله آن‌ها کمتر از ۵۰ سانتی‌متر از جدارها است، در نظر گرفته نمی‌شوند.

رابطه ۱:

$$DGPs = 22/6 \times 106(5-) \times Ev + 1$$

رابطه ۲:

$$SVD = \sum_{k=1}^N VD_k + 1/N$$

$$VD_k = 1 \text{ if } VD_i > 20\% \quad VD_k = 0 \text{ if } VD_i < 20\%$$

۳. روش تحقیق

به منظور پاسخ به سؤالات تحقیق ابتدا با استفاده از مرور ادبیات، شاخص‌های ارزیابی خیرگی و نور روز انتخاب شده است. سپس

وضعیت موجود	ابزارهای مورد استفاده هر مرحله		جزئیات مورد بررسی در هر مرحله	مراحل انجام پژوهش
	بررسی مقالات	اندازه‌گیری میدانی		
وضعیت موجود	• نرم‌افزار دیوا	• نرم‌افزار ریداناس	• مرور تحقیقات پیشین	۱
	• نرم‌افزار دی سیم	• استاتیک	• بررسی شاخص‌های نور روز مرور ادبیات	
	• لوکس متر	• استاتیک	• بررسی شاخص‌های خیرگی	
وضعیت پیشنهاد طراحی	• نرم‌افزار دیوا	• استاتیک	• نور روز	۲
		• دینامیک	• شبیه‌سازی	
		• دینامیک	• خیرگی	
وضعیت موجود	• لوکس متر	• استاتیک	• روشنایی فضا	۳
	• عکسبرداری اچدی آر (HDR)	• دینامیک	• خیرگی فضا	
	• اچدی آر اسکوپ (HDR SCOPE)	• دینامیک	• بازتاب سطوح	
وضعیت پیشنهاد طراحی	• نرم‌افزار دیوا	• استاتیک	• استاتیک	۴
		• عمودی	• عملکرد	
		• عمودی	• سایبان	

۱.۳. نمونه‌های موردی

کلاس‌های مورد مطالعه در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی تهران است. شهر تهران (۳۵° ۴۰' شمالی، ۵۱° ۱۹' شرقی، با ارتفاع ۱۱۹۱ متر از سطح دریا) در گروه Bsk در مقیاس کوپن- گایگر دسته‌بندی شده است. فایل آب‌وهوای عمومی سالیانه هواشناسی از ایستگاه سینوپتیک شمیرانات واقع در شمال تهران در ارتفاع ۱۴۱۵ متر از سطح دریا (TMY2) برای شبیه‌سازی به کار گرفته شده است. بنا بر داده‌های هواشناسی، آسمان تهران در طول سال ۶۷٪ صاف، ۲۴٪ نیمه‌ابری، و ۹٪ ابری است.

به منظور دستیابی به اهداف تحقیق سه کلاس درس با جهت‌گیری شمال غربی، جنوب شرقی، و شمال شرقی انتخاب و در محیط نرم‌افزار راینو و دیوا به صورت دقیق مدل‌سازی و شبیه‌سازی شده است. ویژگی‌های کلاس‌های مورد مطالعه در جدول «ت ۴» آمده است.

۲.۳. شبیه‌سازی

استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی بهترین راهکار و ابزار جدایی‌ناپذیر پروژه‌های طراحی ساختمان‌هایی با «عملکرد بالا»^{۲۲} است. تنوع و پیچیدگی این نرم‌افزارها انتخاب مناسب‌ترین آن‌ها را با توجه به اهداف پروژه دشوار کرده است. این نرم‌افزارها از نظر میزان دقت متفاوت هستند و به‌کارگیری آن‌ها در شرایط مختلف احتیاج به آگاهی و دانش تخصصی دارد. در شبیه‌سازی نور روز موتورهای شبیه‌سازی متنوعی وجود دارد، اما موتوری که پایه اکثر نرم‌افزارهای شبیه‌سازی است، «رادیانس»^{۲۳} نام دارد. عملکرد این موتور شبیه‌سازی به صورت ایستا است و قابلیت محاسبه میزان روشنایی در زمان‌های مشخصی از سال را دارد. به همین دلیل، برای تعیین تغییرات روشنایی در کل سال یا در یک بازه مورد نظر، نرم‌افزارهای تکمیلی دیگری مانند دی‌سیم^{۲۴} معرفی شده است. استفاده اصلی دی‌سیم برای شبیه‌سازی سالیانه روشنایی با

- 22. high performance
- 23. radiance
- 24. Daysim
- 25. Ray-tracing
- 26. Diva
- 27. Rhino
- 28. Grasshopper
- 29. Ecotect
- 30. Ambient edgy
- 31. Ambient bounce
- 32. Ambient division
- 33. Ambient sampling
- 34. Ambient resolution

استفاده از داده‌های آب‌وهوایی است و تفاوت اصلی در بالا بردن سرعت محاسبات نسبت به رادیانس با ساده‌سازی گنبد آسمان و محدود کردن تعداد پرتوها برای «ردیابی شعاع نور»^{۲۵} است. از دیگر تفاوت‌های این دو محیط وجود الگوریتمی برای پیش‌بینی رفتار ساکنین و عملکرد آن‌ها در مواجهه با دریافت نور روز است. یکی از رابط‌های کاربری متداول دی‌سیم، دیوا^{۲۶} است که علاوه بر در دسترس بودن آن، به منزله پلاگینی برای «راینو»^{۲۷} و «گرس‌هایپر»^{۲۸} نوشته شده است که خود گویای برتری آن نسبت به محیط‌هایی مانند «اکوتکت»^{۲۹} و سایر نرم‌افزارها است. در این مطالعه از پلاگین دیوای راینو برای شبیه‌سازی و ارزیابی شاخص‌های پویا و ایستا استفاده شده است.







ورودی‌های اصلی نرم‌افزار هندسه فضا ضریب بازتاب سطوح و ضریب عبور نور از پنجره هستند که در برای هر فضا در جدول «ت ۶» آمده است. علاوه بر آن، نتایج به‌دست‌آمده از رادیانس وابسته به تعیین مقادیر «مرزی»^{۳۰} است که «تعداد پرش»^{۳۱} نشان‌دهنده تعداد بازتاب میان سطوح است و «تعداد تقسیمات»^{۳۲} و «تعداد نمونه‌گیری»^{۳۳} تعداد نمونه‌های ارسالی را مشخص می‌کنند. «درجه دقت»^{۳۴} کنترل حداکثر خطا، ارزیابی جهت و نقاط انتهایی نمونه‌گیری را تعیین می‌کند که در جدول «ت ۶» ارائه شده است. مقادیر مورد استفاده در این تحقیق بر اساس مقادیر توصیه‌شده در استاندارد IES LM-83-12 در نظر گرفته شده است. برای ارزیابی وضعیت روشنایی روز با استفاده از شاخص‌های DF، sDA، و UDI در هر کلاس شبکه‌بندی ۶۰×۶۰ سانتی‌متر در ارتفاع سطح میز کار (۰/۷۵ متر) تعریف و محاسبات انجام شده است. دوره زمانی شبیه‌سازی بین ساعات ۸ الی ۱۸ و بدون در نظر گرفتن پرده داخلی انجام شده است. همچنین ارزیابی خیرگی بر اساس شاخص DGP از فاصله ۴ متری پنجره و برای ارزیابی بر اساس شاخص SVD شبکه‌ای ۶۰×۶۰ در ارتفاع چشم کاربر (۱/۲ متر) تعریف شده است.

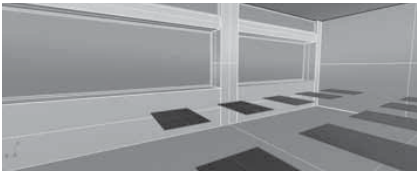


ویژگی‌های اپتیکی سطوح منطبق با آنچه که در کلاس‌های

ت ۴ (بالا). ویژگی‌های کلاس درس، تدوین: نگارندگان.
ت ۵ (پایین). مدل‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی، تدوین: نگارندگان.
ت ۶ (چپ). داده‌های ورودی و تنظیمات نرم‌افزار، مأخذ:

IES LM-83: IES LM-83-12, Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)

درجه دقت	تعداد نمونه گیری	تعداد تقسیمات	تعداد پریش
۳۰۰	۲۰	۱۰۰۰	۵

کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	تصویر موجود
			
			پلان
° ۷۴/۴۲	° ۱۶۴/۴۲	° ۳۴۴/۴۲	جهت‌گیری
۶/۵×۹/۶	۶/۴×۷/۷۵	۷/۷×۶/۶۰	ابعاد کلاس
m ۳/۵	m ۳/۵	m ۳/۵	ارتفاع سقف
ساختمان همجوار ۴/۵ m	ساختمان مجاور ۱۲/۹۴ m	پوشش گیاهی ۰/۵ m	موانع همجوار سایت
تک جداره ۴ mm	تک جداره ۴ mm	تک جداره ۴ mm	مدل
۸/۷۰×۱/۷۵	۵/۱۰×۲/۳۰	۵/۴×۲/۲۰	ابعاد بازشو
٪۴۵	٪۴۱	٪۴۰	WWR
-	افقی (بنجره بایستی)	-	سایبان
۷۶	۷۶	۷۶	ضریب عبور نور
	٪۲۵		زمین (کف)
	٪۶۰		سقف
	٪۶۰		دیوار داخلی
	٪۵۵		در
	٪۱۸		قاب پنجره
	٪۱۷		میز و صندلی
	٪۷۵		تخته کلاس

کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	تصویر مدل سازی
			

۳۵. نک:

- C.F. Reinhart & Marilyne Andersen, "Development and Validation of a Radiance Model for a Translucent Panel".
 36. Lux meter model: TES 1330A
 37. HDR
 38. <https://fa.wikipedia.org>
 39. Photosphere
 40. Automatic Exposure Bracketing
 41. Auto White Balancing
 42. Photosphere
 43. Falsecolor
 44. HDR Scope

ت ۷. مشخصات لوکس متر، مأخذ:

http://www.tes.com.tw/en/product_detail.asp?seq=370

درس اندازه‌گیری شده است، تعریف شده است. همچنین نقاط بررسی در مدل رایانه‌ای، همانند موقعیت نقاط تعیین شده برای فتومترها و برداشت میدانی، مطابق توضیحات بخش بعد اعمال شده است.

۳.۳. اندازه‌گیری میدانی

اعتبار نرم‌افزارهای مورد استفاده (رادینانس، دیوا، دی‌سیم) در این تحقیق در مطالعات مختلفی تأیید شده است.^{۳۵} در این تحقیق با هدف مقایسه خروجی‌های نرم‌افزار با شرایط واقعی، به صورت محدود اندازه‌گیری‌هایی برای تعیین میزان روشنایی در سطح میز کار و میزان خیرگی از دید کاربر به سمت پنجره‌ها انجام شده است. یکی از رایج‌ترین معیارها برای اندازه‌گیری نور روز میزان روشنایی است که با استفاده از لوکس متر اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری میزان روشنایی باید در زمان‌های مختلفی انجام شود تا تصویری روشن از نحوه استفاده از نور روز در فضای داخلی به دست آید. درحقیقت این نوع اندازه‌گیری کمکی برای اعتبارسنجی روش شبیه‌سازی رایانه‌ای است که با سنسور موجود در لوکس متر شدت نور تأیید شده بر آن راه، با توجه به ضرایب تبدیل اختصاص داده شده به دستگاه و بازتاب سطح متفاوت اتاق، محاسبه می‌کنند. شرایط این اندازه‌گیری، باید بدون هیچ تغییر، بدون سایه-نیم‌سایه و در ارتفاع معینی صورت گیرد. میزان روشنایی (لوکس) در نقاط مختلف (با شبکه‌بندی و ارتفاع مشابه با شبیه‌سازی) در شرایط

آسمان کاملاً ابری (زمانی که تابش مستقیم خورشید نبوده است) و نبود هیچ مانعی جلوی بازشوها از قبیل پرده با دستگاه لوکس متر^{۳۶} صورت گرفته است. لازم به ذکر است که میزان بازتابش سطوح داخلی کلاس‌ها با استفاده از لوکس متر در شرایط مشابه (نور یکنواخت) اندازه‌گیری و در شبیه‌سازی استفاده شده است. بدین ترتیب ضریب بازتابش هر سطح از تقسیم میزان نور بازتابش شده از سطح (با قرارگیری لوکس متر روبه‌روی آن سطح) بر نور تأیید شده به سطح مورد نظر (با قرارگیری لوکس متر بر روی آن سطح) محاسبه شده است.

از روش‌های میدانی تعیین میزان خیرگی در یک فضا و زمان مشخص استفاده از عکس‌برداری «اچ دی آر»^{۳۷} (تصویربرداری دامنه پویای بالا) و تحلیل میزان خیرگی با استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه است. خیرگی محاسبه شده از این روش با خیرگی شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار دیوا مقایسه شده است. تصویربرداری HDR به عکسی که نسبت به روش‌های معمول امکان وجود دامنه پویا روشنایی بیشتری بین نقاط تاریک و روشن را فراهم می‌کند گفته می‌شود. هدف این تکنیک نمایش دقیق دامنه شدت‌های نور موجود در صحنه‌های طبیعی است.^{۳۸} شیوه کار به این صورت است که با دوربین‌های با قابلیت عکس‌برداری HDR (دوربین‌های SLR) در شرایط کاملاً ثابت (بدون تغییر) و با درجه نوردهی متفاوت با تغییر سرعت شاتر، از یک موقعیت، ۷ عکس گرفته می‌شود و با کمک نرم‌افزارهایی مانند فوتو اسفیر^{۳۹} عکس‌های گرفته شده ادغام و تصویر نهایی تشکیل می‌شود. در این تحقیق برای تولید عکس‌های HDR از یک دوربین دیجیتال با تنظیمات EV بین +۲ و -۲، فعال کردن محدوده نوردهی اتوماتیک (AEB)^{۴۰}، فعال کردن تراز سفیدی^{۴۱}، لنز دوربین f/5.6 و سرعت شاتر ۱/۸، ۱/۱۵، ۱/۳۰، ۱/۶۰، ۱/۱۲۵، ۱/۲۵۰، ۱/۵۰۰ ثانیه بر روی یک سه‌پایه استفاده شده است. شش عکس گرفته شده با نرم‌افزار فتوسفیر^{۴۲} به HDR تبدیل و برای تولید فالس کالر^{۴۳} عکس تولید شده وارد نرم‌افزار اچ دی آر اسکوپ^{۴۴} شده است.

لوکس متر دیجیتال TES 1330A		
تصویر	محدوده اندازه‌گیری	دقت
	از ۰/۰۱ تا ۲۰۰۰۰۰ لوکس	۱۰۰۰۰ لوکس (<) ۳% ± rdg ۵% ± f.s. ۱۰۰۰۰ لوکس (>) ۴% ± rdg ۱۰% ± dgt

کلاس‌های با جهت‌گیری‌های مختلف نیست و همه کلاس‌ها تقریباً به میزان یکسان نور روز دریافت می‌کنند. لازم به ذکر است که هیچ‌یک از کلاس‌های بررسی‌شده روشنی قابل قبولی با توجه به محدوده قابل قبول شاخص‌های ایستا ندارند. شاخص پویای SDA که معرف درصدی از فضا با حداقل دریافت روشنایی ۳۰۰ لوکس در ۵۰٪ از زمان حضور کاربران است، برای فضاهای مورد مطالعه در محدوده ۳۴/۳۸٪ تا ۶۱/۱٪ قرار دارد که کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب مربوط به کلاس با جهت‌گیری شمال غربی و شمال شرقی و برای کلاس با جهت‌گیری جنوب شرقی ۵۰/۵۸٪ ثبت شده است. این نتایج به طور کلی نشان می‌دهد که نور روز دریافت‌شده در کلاس ۲ از سایر کلاس‌ها بیشتر است.

ت ۸ مشخصات سایبان‌های مورد استفاده در بهینه‌سازی، طرح و تدوین: نگارندگان.

نوع سایبان	تصویر	پارامتر		
		کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳
ایستا	زاویه	۳۰ درجه عمودی	۴۵ درجه افقی	-
		عمق	۲۰ سانتی‌متر	-
	تعداد	۳۰	۴	۱۶
	فاصله	۲۵ سانتی‌متر	-	-
	مصالح	آلمینیوم	-	-
چگ	زاویه	۱۵،۳۰،۴۵،۶۰ عمودی	۱۵،۳۰،۴۵،۶۰ افقی	۱۵،۳۰،۴۵،۶۰ عمودی
		عمق	۲۰ سانتی‌متر	-
	تعداد	۳۰	۴	۱۶
	فاصله	۲۵ سانتی‌متر	-	-
	مصالح	آلمینیوم	-	-
کنترل	سنسورهای قرار گرفته در فضا میزان نور را در بازه‌های ۳۰۰-۱۲۰۰، ۱۲۰۰-۲۱۰۰، ۲۱۰۰-۳۰۰۰ و بیشتر از ۳۰۰۰ لوکس دریافت می‌کنند و به ترتیب سایبان‌ها با زاویه ۱۵، ۳۰، ۴۵، و ۶۰ درجه فعال می‌شوند.			

۴.۳. بهینه‌سازی با سایبان

در بخش دوم تحقیق با توجه به شرایط موجود (جهت‌گیری‌ها) در نمونه‌های مورد بررسی، سایبان‌های ثابت و متحرک در دو حالت عمودی و افقی به صورت لوورهای مقابل پنجره طراحی و مدل‌سازی شده است. سپس تأثیر هریک از سایبان‌ها بر شاخص‌های نور روز و خیرگی بررسی و در نهایت بهترین حالت با توجه به نتایج انتخاب شده است. مشخصات سایبان‌های مورد ارزیابی در هر کلاس در جدول «ت ۸» ارائه شده است.

۴. بررسی نتایج

مطابق با متدولوژی معرفی‌شده در قسمت‌های قبل، شاخص‌های مختلف نور روز و خیرگی شبیه‌سازی شده‌اند. سپس با بررسی نتایج، شاخص‌های مناسب برای ارزیابی نور روز و خیرگی اولویت‌بندی و انتخاب شده است. بدین ترتیب تأثیر برخی از سایبان‌ها در شاخص‌های منتخب بررسی شده است. نهایتاً چالش‌ها و محدودیت‌های مطالعه معرفی و برای مطالعات آتی پیشنهادهایی بیان شده است.

۴.۱. ارزیابی نور روز در کلاس‌های درس دانشکده معماری

نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی نور روز در دو دسته شاخص‌های ایستا و پویا برای فضای‌های مورد مطالعه در جدول «ت ۹» ارائه شده است.

مطابق نتایج «ت ۹»، بررسی شاخص‌های استاتیک نور روز نشان می‌دهد که مقدار SDF، مابین ۲۳٪ و ۲۵/۴۴٪ است که کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب مربوط به کلاس ۱ و ۲ است و این مقدار در کلاس ۳ با جهت‌گیری شمال غربی به ۲۵٪ می‌رسد. همچنین مقادیر به‌دست‌آمده برای میانگین فاکتور نور روز در محدوده ۱/۶٪ برای کلاس ۱ و ۳ و ۱/۳۲٪ برای کلاس ۲ قرار دارد. این شاخص نشان‌دهنده تفاوت روشنی‌

ت ۹ (بالا). نتایج تحلیل نور روز در حالت بدون سایبان، تحلیل و تدوین: نگارندگان. ت ۱۰ (پایین، راست). نتایج فاکتور نور روز حاصل از برداشت میدانی. ت ۱۱ (پایین، چپ). نتایج فاکتور نور روز حاصل از نرم‌افزار.

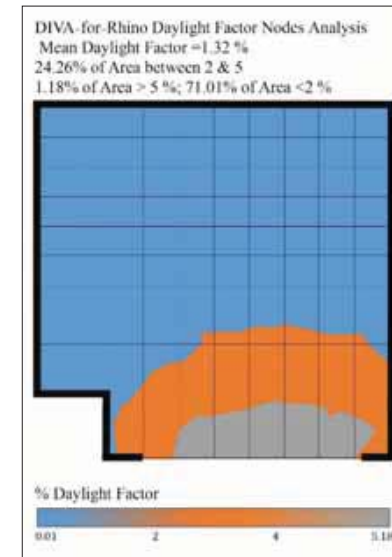
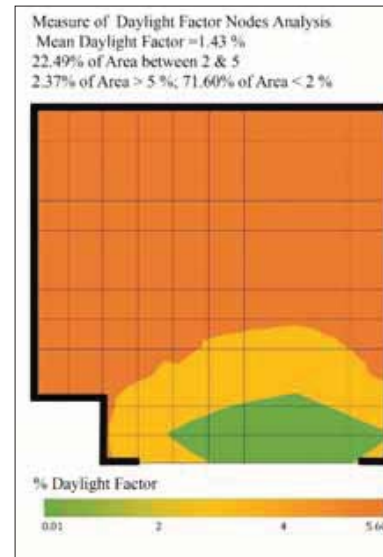
مطابق جدول یادشده، نتایج شاخص پویای UDI نشان می‌دهد که در بازه ۰-۱۵۰ [۵۰٪] لوکس (معرف درصدی از فضا است که نور کافی دریافت نمی‌کند) کمترین مقدار برای کلاس ۱ و بیشترین مقدار برای کلاس ۳ است، در بازه ۱۵۰-۳۰۰ [۵۰٪] لوکس (معرف درصدی از فضا با دریافت نور روز کم است) کمترین مقدار مربوط به کلاس ۲ و بیشترین مقدار

بدون سایبان			MDF%	ایستا	نور روز
کلاس ۳ (شمال غربی)	کلاس ۲ (جنوبی شرقی)	کلاس ۱ (شمال شرقی)			
٪۱/۶	٪۱/۳۲	٪۱/۶	-		
٪۲۳	٪۲۵/۴۴	٪۲۵	(DF) بیش از ۲٪	sDF%	
٪۳۴/۳۸	٪۵۰/۵۸	٪۶۱/۸۱	DA300lux[50%]	sDA	
٪۵/۳۶	٪۳۱/۸۰	٪۰/۹۹	>3000[5%]	UDI	
٪۴۱/۰۷	٪۴۳/۱۰	٪۴۶/۸۰	300-2999 [50%]		
٪۱۵/۴۸	٪۰	٪۰/۹۹	150-299[50%]		
٪۳۶/۳۱	٪۱۸/۷۰	٪۱/۹۷	0-149[50%]		

برای کلاس ۳ است. در بازه ۳۰۰-۳۰۰۰ [۵۰٪] لوکس (معرف درصدی از فضا با دریافت نور روز مناسب است) کمترین میزان مربوط به کلاس ۳ و بیشترین مقدار برای کلاس ۱ است و در بازه بیش از ۳۰۰۰ [۵٪] (معرف درصدی از فضا با دریافت نور روز شدید و امکان بروز خیرگی است) کمترین میزان مربوط به کلاس ۱ و بیشترین مقدار برای کلاس ۲ است.

نتایج شاخص‌های پویا نشان‌دهنده تأثیر فاکتور جهت بر نتایج است و sDA به طور کلی نشان می‌دهد که نور روز دریافتی در کلاس شمال شرقی از سایر کلاس‌ها بیشتر است. اما نتایج شاخص UDI اطلاعات بیشتری از فضاها در اختیار می‌گذارد و نشان می‌دهد که کلاس ۱ بیشترین میزان نور روز مناسب و کمترین میزان نور روز شدید را فراهم می‌کند، در کلاس ۲ مقدار دریافت نور روز شدید بسیار بالا است. در کلاس شمالی نیز درصدی از فضا، که نور روز اندکی دریافت می‌کند، قابل توجه است.

۴.۱.۱. اعتبارسنجی نتایج ارزیابی روشنایی (نور روز)
 به منظور اطمینان از صحت شبیه‌سازی و نتایج نرم‌افزار، نتایج فاکتور نور روز کلاس جنوب شرقی با برداشت میدانی و شبیه‌سازی نرم‌افزاری مقایسه شده است. هدف این بخش سنجش اعتبار نرم‌افزار نیست، چرا که اعتبارسنجی یک نرم‌افزار فرایندی پیچیده و بسیار زمان‌گیر است و بدیهی است که اتکا به نتایج یک ساعت برای بررسی کارایی یک نرم‌افزار کافی نیست؛ اما با توجه به تعدد مطالعات انجام‌شده با این نرم‌افزار اعتبار آن اثبات شده است^{۴۵}. این قسمت نیز به منظور بررسی نتایج در بازه زمانی یک ساعت (تحت شرایط آسمان کاملاً ابری یکنواخت) و مقایسه نتایج برداشت میدانی و نرم‌افزاری انجام شده است.
 «ت ۱۰» و «ت ۱۱» نتایج حاصل از برداشت میدانی در تاریخ ۲۰/۱۱/۹۵، ساعت ۱۱ با آسمان ابری یکنواخت و اندازه‌گیری فاکتور نور روز با نرم‌افزار دیوا را نشان می‌دهند. مقایسه نتایج



چشم کاربر نشسته محاسبه می‌گردد. نتایج حاصل در بازه ۰٪ تا ۱۷/۶۱٪ است که برای کلاس‌های ۱ و ۳ مقدار ۰٪ و برای کلاس ۲ مقدار ۱۷/۶۱٪ ثبت شده است.

نتایج شاخص‌های پویا نشان دهنده رابطه مستقیم، خیرگی، و جهت‌گیری فضا است. البته، با توجه به تفاوت در ویژگی‌های شاخص‌ها در نوع نور مورد محاسبه، حداقل میزان نور روز دریافتی، و ارتفاع اندازه‌گیری شاخص‌ها، نتایج به دست آمده از شاخص SVD کمتر از شاخص ASE است. در شاخص ASE فقط میزان روشنایی مستقیم ملحوظ می‌کند، در حالی که شاخص SVD هر دو روشنایی مستقیم و پراکنده در نظر است.

۱.۲.۴. اعتبارسنجی نتایج ارزیابی خیرگی

همان‌گونه که در بخش مقایسه نتایج برداشت میدانی و شبیه‌سازی فاکتور نور روز ذکر شد، اعتبارسنجی یک نرم‌افزار از طریق برداشت‌های ساعتی قابل بررسی نیست. در این بخش نیز هدف بررسی نتایج شاخص ایستا DGP برای یک ساعت از سال است. برای همین مطابق با مدل‌سازی معرفی شده، عکس‌برداری و شبیه‌سازی برای کلاس با جهت‌گیری جنوب شرقی در تاریخ ۲۰۱۷/۱۶/۰۷ ساعت ۱۳ انجام گرفت که نتایج و تصاویر به دست آمده در «ت ۱۳» قابل مشاهده است.

نتایج نشان دهنده اختلاف بسیار اندک هست و مقادیر DGP به دست آمده از عکس‌برداری میدانی و شبیه‌سازی به ترتیب برابر ۲۱٪ و ۲۲٪ است. علی‌رغم فاکتورهای مداخله‌گر مانند فقدان

نشان دهنده اختلاف‌هایی در بازه ۰/۶۸- تا ۰/۸۴+ است که به صورت درصد نیز در بازه ۲۵/۴۳- تا ۲۱/۹۴+ قابل بیان است. با توجه به عوامل مداخله‌گر مختلف، از جمله خطای انسانی در برداشت مقادیر بازتاب سطوح، چنین اختلافی در نتایج حاصل شده است؛ اما با توجه بازه محدود تغییرات و شباهت شکل توزیع روشنایی قابل مشاهده در تصاویر یادشده می‌توان درستی نتایج و کارکرد نرم‌افزار و شبیه‌سازی را استنباط کرد.

۲.۴. ارزیابی خیرگی

همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد، دسترسی هرچه بیشتر به نور روز در اولویت است، اما باید توجه شود که افزایش شدت تابش عبوری از پنجره می‌تواند موجب ایجاد خیرگی و نارضایتی کاربران گردد. برای سنجش میزان خیرگی، مطابق با آنچه که در بخش مدل‌سازی اشاره شد، برای ارزیابی خیرگی از شاخص‌های پویا ASE و SVD و شاخص ایستا DGP استفاده شده است. که نتایج آن در «ت ۱۲» ارائه شده است.

مطابق نتایج شاخص ASE که معرف درصدی از سطح کار با حداقل ۲۵۰ ساعت تابش مستقیم بیش از ۱۰۰۰ لوکس است، محدوده قابل قبول برای این شاخص کمتر از ۱۰٪ فضا است. نتایج به دست آمده در محدوده ۰٪ تا ۳۱/۸٪ است و کمترین و بیشترین میزان آن به ترتیب در کلاس با جهت‌گیری شمال غربی و کلاس با جهت‌گیری جنوب شرقی و برای کلاس ۱ نیز مقدار ۲٪ ثبت شده است و نشان می‌دهد که این شاخص کلاس‌های شمال غربی و شمال شرقی را بدون مشکل خیرگی می‌نمایاند و برای کلاس جنوب شرقی، با توجه به حد بالای این شاخص، ۲۱/۸٪ فضا مقدار نور روز شدیدی دریافت می‌کند که منجر به خیرگی خواهد شد. دیگر شاخص پویای مورد بررسی شاخص SVD است. این شاخص معرف درصدی از فضا است که حداقل در ۱۰٪ از زمان حضور کاربران بیش از ۴۲۷۶ لوکس نور روز دریافت می‌کند. این شاخص در ارتفاع ۱/۲ متر و سطح

۴۵. نک:

A. Jakubiec, et al, "Integrating Daylight And Thermal Simulations Using Rhinoceros 3d, Daysim And Energyplus"; N. Jones, Validated Interactive Daylighting Analysis for Architectural Design.

ت ۱۲. نتایج تحلیل خیرگی در حالت بدون سایبان، تحلیل و تدوین: نگارندگان.

بدون سایبان			DGP	ایستا مبتنی بر درخشندگی	خیرگی
کلاس ۱ (شمال شرقی)	کلاس ۲ (جنوبی شرقی)	کلاس ۳ (شمال غربی)			
۰	۲۲٪	۰			
۲٪	۳۱/۸۰٪	۰٪	ASE	پویا مبتنی بر روشنایی	
۰٪	۱۷/۶۱٪	۰٪	SVD		




فایل آب‌وهوایی (EPW) دقیق منطقه، خطاهای انسانی در عکس‌برداری، شبیه‌سازی، و... می‌توان از اختلاف ناچیز نتایج دقت شبیه‌سازی و درستی نتایج شبیه‌سازی را استنباط کرد.

۳.۴. اولویت‌بندی شاخص‌های نور روز و خیرگی

امروزه سیر تکاملی و رو به رشد شاخص‌های این حوزه، تفاوت نیازهای فردی-اجتماعی، و طراحی در عرض‌های جغرافیایی گوناگون منجر به پیدایش شاخص‌های گوناگون شده که این موضوع باعث سردرگمی طراحان در انتخاب و استفاده از این شاخص‌ها گردیده است. بنا بر این در این قسمت به ارزیابی کلی شاخص‌ها و اولویت‌بندی استفاده از آن‌ها پرداخته می‌شود. در قسمت نور روز شاخص‌های ایستا (MDF و SDF) و پویای (UDI و sDA) نور روز معرفی شدند، شاخص‌های ایستا، با توجه به نبود توجه به ماهیت نور روز و تغییرات شرایط آسمان برای بررسی نور روز و توزیع مناسب آن در فضا، مناسب نیست. شاخص UDI اولویت و درجه‌بندی بهتری دارد. sDA فاقد حد بالای روشنایی است و مقادیر بیش از ۵۵٪ برای آن توصیه شده است که اجازه ورود هر میزان نور روز را به فضا می‌دهد. در نتیجه بروز خیرگی در برخی از ایام اجتناب‌ناپذیر می‌گردد. دیگر شاخص مورد بررسی UDI است. برخلاف شاخص sDA،

با این شاخص روشنایی دریافتی در ۴ بازه طبقه‌بندی می‌شود و توزیع نور روز را در فضا به‌خوبی نشان می‌دهد و مشخص می‌کند چه محدوده‌ای از فضا نور روز کافی، کم، یا مناسب دریافت می‌کند و چه محدوده‌ای در معرض نور روز شدید است. این طبقه‌بندی دید روشن‌تری از فضا فراهم می‌کند و امکان بررسی میان گزینه‌های مختلف برای بهینه‌سازی دریافت نور روز را با کاهش خیرگی فراهم می‌آورد. در این مطالعه برای ارزیابی دریافت نور روز مناسب بازه: DA: ۳۰۰-۳۰۰ [۵۰٪] انتخاب شده است، این معرف درصدی از فضا است که حداقل در ۵۰٪ از ساعات اشغال فضا نور روزی مابین ۳۰۰-۳۰۰ لوکس دریافت می‌کند.

در انتخاب شاخص مناسب برای ارزیابی خیرگی نیز استفاده از شاخص‌های ایستا به دلایل مذکور مناسب نیست. از بین شاخص‌های پویای خیرگی، ASE امکان بروز خیرگی را در سطح کار مشخص می‌کند. در این شاخص فقط روشنایی مستقیم نور روز در نظر است و حداقل میزان شدت روشنایی که موجب بروز خیرگی می‌گردد ۱۰۰۰ لوکس در نظر گرفته شده است. این مقدار با توجه به اقلیم مورد مطالعه که دارای ساعات آفتابی بسیار بالا و تطابق کاربران با شدت‌های بالای نور روز است، بسیار کم به نظر می‌رسد. از سوی دیگر، در شاخص SVD امکان بروز خیرگی در ارتفاع چشم کاربر نشسته (۱/۲

کلاس ۲	مدل شبیه‌سازی شده	Falsecolor	HDR
تصاویر			
DGP	۲۲٪	۲۱٪	

ت ۱۳. مقایسه عکس HDR با روش نرم‌افزاری، توسط نگارندگان.

در جدول «ت ۱۴» قابل مشاهده است.

نتایج حاصل از ارزیابی روشنایی برای سایبان‌های ثابت در کلاس ۱ با جهت‌گیری شمال غربی گویای افت شدید دریافت نور روز بود، به همین دلیل از نمایش آن‌ها خودداری شده است. در کلاس‌های ۱ و ۲ به ترتیب میزان روشنایی به مقدار ۱۱/۹٪- و ۲۱/۳۵٪- کاهش یافته است و نشان‌دهنده آن است که هر تأثیر سایبان‌های ثابت با جهت‌گیری بازشو رابطه مستقیم دارد و بیشتر نور مستقیم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تأثیر سایبان‌های متحرک بر میزان روشنایی کلاس‌ها در بازه ۶/۵۵٪- تا ۱۳/۰۹٪+ است و کمترین و بیشترین مقادیر به ترتیب برای کلاس ۱ و ۳ با جهت‌گیری شمال شرقی و شمال غربی ثبت شده است. همچنین این مقدار برای کلاس جنوب شرقی ۱/۲۲٪+ است. این نتایج نشان می‌دهند که اثر سایبان‌های متحرک برای فضاهایی که نور روز اندکی دریافت می‌کنند (کلاس شمال غربی) نامناسب و برای فضاهایی که نور روز مناسب (UDI: ۳۰۰-۳۰۰۰ [۰/۵۰]) بیشتری دریافت می‌کنند، تأثیر مثبت و قابل ملاحظه‌ای دارد. این در حالی است که برای فضاهای با دریافت نور روز شدید بیشتر (کلاس ۲) تأثیر سایبان‌های متحرک در افزایش دریافت نور روز ناچیز است.

ت ۱۴. نتایج تحلیل نور روز و خیرگی در حالت با سایبان، تحلیل و تدوین: نگارندگان.

با سایبان				
کلاس نظری ۱۰		کلاس نظری ۱		کلاس منظر ۱۰
متحرک	ثابت	متحرک	ثابت	ثابت
۱۵,۳۰,۴۵,۶۰	۱۵,۳۰,۴۵,۶۰	۴۵ درجه	۱۵,۳۰,۴۵,۶۰	۳۰ درجه
۳۴/۵۲٪	۴۴/۳۲٪	۲۱/۷۵٪	۵۹/۸۹٪	۳۴/۹۰٪
۶/۵۵٪-	۱/۲۲٪+	۲۱/۳۵٪-	۱۳/۰۹٪+	۱۱/۹٪-
۰/۰٪	۷/۹۵٪	۰٪	۵/۸۸٪	۰٪
۰٪	۹/۶۶٪-	۱۷/۶۱٪-	۵/۸۸٪+	۰٪

متر) در نظر است که می‌تواند امکان بروز خیرگی و نبود آسایش بصری کاربر را بهتر نمایش دهد. در این شاخص علاوه بر نور مستقیم، شعاع‌های پراکنده و بازتابی نور روز که وارد چشم کاربر می‌شوند نیز در نظر است. همچنین حداقل شدت روشنایی دریافتی ۴۲۷۶ لوکس در نظر گرفته شده که در اقلیم مورد مطالعه نسبت به شاخص ASE مناسب‌تر است. همچنین امکان استفاده از شاخص ASE فقط در سایبان‌های ایستا ممکن هست و قابلیت بررسی کارایی سایبان‌های متحرک را ندارد. با توجه به موارد مذکور، در مقاله حاضر، برای ارزیابی خیرگی، شاخص SVD انتخاب می‌گردد.

ویژگی‌های شاخص‌های انتخاب‌شده، با توجه به نیازهای معماری، می‌تواند در طراحی و ارزیابی سایبان‌های ثابت و متحرک استفاده شود.

۴.۴. تأثیر سایبان‌ها بر نور روز و خیرگی

بهبود و بهینه‌سازی آسایش بصری تابع عوامل مختلفی هستند. سایبان یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای جلوگیری از خیرگی و فقدان آسایش بصری است، که مطابق با «ت ۸» در این مقاله بررسی شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی در «ت ۱۱» ارائه شده است. عملکرد سایبان‌های مختلف بر اساس شاخص UDI که بر اساس آن محدوده مناسب روشنایی (۳۰۰-۳۰۰۰ لوکس) در طول سال مشخص می‌شود. همچنین برای ارزیابی خیرگی از شاخص SVD که محدوده‌ای با امکان رویداد خیرگی (۴۲۷۶ لوکس) در بیش از ۲۰٪ از زمان اشغال در طول سال را مشخص می‌کند، استفاده شده است.

در این قسمت با استفاده از شاخص‌های منتخب قسمت قبل، به بررسی اثر برخی از سایبان‌های ثابت و متحرک در ویژگی‌های نور روز و خیرگی فضا پرداخته می‌شود. سایبان‌ها به صورت لوورهای ثابت و متحرک با زاویه‌ها و فواصل منطقی در مقابل پنجره در نظر گرفته شده‌اند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی

بررسی نتایج ارزیابی خیرگی سایبان‌های ثابت نشان می‌دهد که میزان خیرگی در همه فضاها به صفر رسیده است. این در حالی است که میزان افت نور روز مناسب نیز قابل توجه است. به طور کلی سایبان‌های ثابت، فارغ از جهت‌گیری فضا، در صورت طراحی مناسب می‌توانند خیرگی را تا حدود زیادی کنترل کنند، اما این امر در نهایت منجر به کاهش نور روز مناسب خواهد شد. نتایج سایبان‌های متحرک نیز $9/66\%$ - کاهش و برای کلاس ۲ برابر $5/88\%$ + افزایش در میزان خیرگی را نشان می‌دهد. این مقدار برای کلاس ۳ با توجه به عدم خیرگی (در شرایط بدون سایبان) صفر به دست آمده است. ارزیابی خیرگی سایبان‌های متحرک با توجه به محدوده مناسب شاخص SVD (کمتر از 10%) نشان می‌دهد که هر سه فضا از نظر خیرگی شرایط مناسبی دارند، همچنین نتایج نشان می‌دهد که تأثیر سایبان‌های متحرک فارغ از جهت‌گیری فضا است و تغییرات در نتایج بیشتر وابسته به ویژگی بازتابی و طراحی سطوح سایبان است، به همین دلیل مقادیر ثبت شده برای کلاس شمال شرقی افزایش ناچیز در میزان خیرگی را نشان می‌دهد.

علاوه بر جهت‌گیری و خصوصیات کنترلی سایبان که در این مقاله بررسی شد، عوامل دیگری نظیر ابعاد کلاس‌ها، پوشش گیاهی، موانع، ابعاد سایبان‌ها، و... می‌توانند در میزان دریافت نور روز مؤثر باشند. با توجه به تعدد ترکیب‌های مختلف این عوامل، بررسی تأثیر آن‌ها بر یکدیگر فرایندی بسیار پیچیده و طاق‌فرسا است؛ اما با توجه به توسعه علوم بهینه‌سازی و توسعه طراحی پارامتریک می‌توان ارتباط این عوامل را یکدیگر برقرار کرد و پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی برای بررسی‌های بیشتر از نرم‌افزارهای طراحی پارامتریک برای بررسی شرایط نور روز استفاده گردد.

۵. جمع بندی

اهداف مقاله حاضر عرضه شاخص‌های مناسب ارزیابی نور روز،

خیرگی، و معرفی روش‌شناسی انتخاب سایبان مناسب بوده است. به این منظور ابتدا سه کلاس درس در جهات مختلف انتخاب و با برداشت‌های میدانی، ضرایب بازتاب سطوح و میزان روشنایی و فاکتور نور روز حاصل شد و این نتایج برای شروع و ادامه روند شبیه‌سازی، صحت و اعتبار نتایج شبیه‌سازی بررسی گردید. با توجه به نتایج مرور ادبی، شاخص‌های مختلف معرفی شد، که از این میان برای ارزیابی نور روز مناسب شاخص‌های SDA و UDI در بازه $300-3000$ [50%] در نظر گرفته شدند. نتایج شاخص SDA برای فضاهای مورد مطالعه در بازه $34/38$ تا $61/1$ قرار داشت و برای شاخص UDI در بازه $41/07$ تا $46/80$ بود. همچنین برای ارزیابی خیرگی شاخص‌های ASE و SVD مد نظر قرار گرفت که بازه نتایج برای هر یک از شاخص‌ها به ترتیب 0% تا $31/8\%$ و 0% تا $17/61\%$ به دست آمد. با توجه ارزیابی صورت گرفته برای شاخص‌های SVD و UDI: $300-3000$ [50%] شاخص‌های مناسب برای ارزیابی نور روز و خیرگی معرفی شدند و تأثیر اعمال سایبان‌های مختلف به واسطه این شاخص‌ها بررسی شد. در نمونه‌های مورد بررسی مشخص شد که استفاده از سایبان‌های ثابت می‌تواند دریافت نور روز مناسب را در بازه $21/35\%$ - تا $11/9\%$ - تحت تأثیر قرار دهد. نتایج خیرگی نیز، با توجه به کاهش شدید نور روز، صفر شده است. برای سایبان‌های متحرک نیز بازه تغییرات نور روز مناسب از $6/55\%$ - تا $13/09\%$ + تحت تأثیر قرار گرفت. همچنین تغییرات نتایج خیرگی سایبان‌های متحرک از بازه $9/66\%$ - تا $5/88\%$ + رخ داده است که نشان‌دهنده تأثیر نوع سایبان و جهت‌گیری فضا بر دریافت نور روز و میزان خیرگی فضا است.

لازم به ذکر است که علی‌رغم تلاش بسیار در بررسی و شبیه‌سازی دقیق عوامل مختلف‌های مختلف متأثر در عرضه شاخص‌ها و روش‌شناسی مناسب ارزیابی و انتخاب سایبان، محدودیت‌هایی نیز در این مقاله به چشم می‌خورد که از جمله

سطوح سایبان، انتخاب و بررسی محدود انواع سایبان، و... اشاره کرد.

آن‌ها می‌توان به تعداد نمونه‌های محدود، در نظریه‌گیری محدود پارامترهای موثر در نور و خیرگی دریافتی، مانند جنس و رنگ

منابع و مأخذ

شهرسازی، ش ۱۵ (پاییز و زمستان ۱۳۹۴)، ص ۲۵-۴۲.
 پوردیهیمی، شهرام و فریبرز حاجی سیدجوادی. «تأثیر نور روز بر انسان». در صفحه، ش ۴۶ (بهار و تابستان ۱۳۸۷)، ص ۶۷-۷۶.

احدی، امین‌اله و محمدعلی خان‌محمدی. «عملکرد بهتر دانشجویان با بهره‌گیری مناسب از نور روز در کلاس‌های آموزشی، بررسی موردی: دانشکده معماری دانشگاه علم و صنعت ایران»، در نامه معماری و

Atzeri, A.M. et al, "Comfort Metrics for an Integrated Evaluation of Buildings Performance", in *Energy and Buildings*, 127 (2016), p. 411-424.

Bourgeois, Denis & C.F. Reinhart. "Standard Daylight Coefficient Model for Dynamic Daylighting Simulations", in *Building Research and Information*, Vol. 36 (2008), pp. 68-82.

Brotas, Luisa & Mike Wilson. "The Average Total Daylight Factor", in *Light & Engineering*, Vol. 16, No. 2 (2008), pp. 52-57.

Costanzo, V, et al, "A Review of Daylighting Strategies in Schools: State of the Art and Expected Future Trends", in *Central Archive at the University of Reading*, 2017, pp.1-21 of 21.

Dogan, Timur & Christoph Reinhart & Panagiotis Michalatos. "Urban Daylight Simulation Calculating the Daylit Area of Urban Designs", in *SimBuild, Fifth National Conference of IBPSA-USA*, 2012.

Heschong, Lisa, et al. "Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE)", New York, N.Y., IES - Illuminating Engineering Society, 2012.

Jakubiec, Alstan & Christoph Reinhart. "Integrating Daylight And Thermal Simulations Using Rhinoceros 3d, Daysim And Energyplus", in 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 2011, pp. 2202-2209.

Jones, Nathaniel. *Validated Interactive Daylighting Analysis for Architectural Design*, Thesis: Bachelor of Science in Civil Engineering Johns Hopkins University, 2017.

Kleindienst, Sian & Magali Bodart & Marilyne Andersen. "Graphical Representation of Climate-Based Daylight Performance to Support Architectural Design", in *LEUKO S.*, Vol. 5 (2008), pp. 39-61.

Mardaljevic, J. & L. Heschong & E. Lee. "Daylight Metrics and Energy Savings", in *Lighting Research & Technology*, Vol. 41 (2009), pp. 261-283.

Mott, Michael S., et al. "Illuminating the Effects of Dynamic Lighting on Student Learning", in *SAGE Open*, 2012, pp.1-9.

Nabil, Azza & John Mardaljevic. "Useful Daylight Illuminances: A Replacement for Daylight Factors", in *Energy and Buildings*, Vol. 38 (2006), pp. 905-913.

Pereira, Luísa Dias, et al. "Energy Consumption in Schools – A Review Paper", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 40 (2014), pp. 911-922.

Piderit Moreno, MB & CY. Labarca. "Methodology for Assessing Daylighting Design Strategies in Classroom with a Climate-Based Method", in *Energy Sustainability*, Vol. 7 (2015), pp. 880-897.

Reinhart, C.F. & Marilyne Andersen, "Development and Validation of a Radiance Model for a Translucent Panel", in *Energy and Buildings*, 38(7) (July 2006), pp. 890-904.

Sufar, Suhaila & Anuar Talib & Haris Hambali. "Towards a Better Design: Physical Interior Environments of Public Libraries in Peninsular Malaysia", in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 42 (2012), pp. 131-143.

Zomorodian, Z.S. & M. Tahsildoost. "Assessing the Effectiveness of Dynamic Metrics in Predicting Daylight

Availability and Visual Comfort in Classrooms", in
Renewable Energy, Vol 134 (April 2019), pp. 669-680.
Zomorodian, Z.S. & S.S. Korsavi & M. Tahsildoost. "The
Effect of Window Configuration on Daylight Performance
in Classrooms: A Field and Simulation Study", in *Int. J.*

Architect. Eng. Urban Plan., Vol. 26 (2016), pp. 14-24.

Zomorodian, Z.S. & M. Tahsildoost. "Assessment of Window
Performance in Classrooms by long Term Spatial Comfort
Metrics", in *Energy and Buildings*, 2017, pp. 80-93.