



طراحی پارامتریک نمای متحرک با هدف ارتقا بهره‌وری نور روز و تأمین آسایش بصری در کلاس درس اقلیم گرم و نیمه مرطوب

انیس فتح اله گندمی¹، محسن تابان^{2*}

1- کارشناس ارشد، معماری، گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول، دزفول، ایران

مرکز پژوهشی جندی‌شاپور، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول، دزفول، ایران.

2- دانشیار، معماری، گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول، دزفول، ایران.

مرکز پژوهشی جندی‌شاپور، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول، دزفول، ایران.

* ایران، دزفول، صندوق پستی 64615/334، mntaban@jsu.ac.ir

چکیده

بهره‌گیری مناسب از نور روز در ساختمان می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری، رضایت و سلامت کاربران شود. نحوه‌ی نورگیری کلاس درس نیز به دلیل حضور دانش‌آموزان در بیشتر ساعات روز و انجام فعالیت‌های بصری، اهمیت بیشتری دارد. حال آنکه با استفاده از یک نمای متحرک که امکان تغییر وضعیت با توجه به شرایط مختلف تابش خورشید در طول سال را دارد می‌توان شرایط آسایش کاربران در فضا را بهبود بخشید. چنانچه هدف از این پژوهش تأمین شرایط آسایش بصری و نور روز کافی در کلاس‌های درس اقلیم گرم و نیمه مرطوب شهر دزفول با استفاده از یک نمای متحرک است. در این پژوهش از نرم‌افزار راینو 7 و افزونه‌های گرس‌هاپر، هانی‌بی و لیدی‌باگ جهت سنجش شاخص‌های نور روز DLA و Illuminance و شاخص خیرگی DGP، با توجه به فایل آب‌وهوایی شهر دزفول واقع در اقلیم گرم و نیمه مرطوب، جهت رسیدن به اهداف پژوهش، استفاده می‌شود. با توجه به نتایج این پژوهش میانگین شاخص DLA در شش کلاس درس نمونه مدرسه‌ی پایه برابر با 86/52٪ بوده که از حداقل این شاخص، 50٪، بیشتر است. همچنین شرایط تابش خیره‌کننده برای کلاس‌های درس 1 و 4 با استفاده از یک نمای متحرک به ترتیب 48 و 10 مورد نسبت به وضع موجود، ضمن تأمین نور مورد نیاز تا عمق کلاس‌های درس، کاهش یافته است. لذا با استفاده از یک نمای متحرک می‌توان ضمن تأمین شرایط آسایش بصری دانش‌آموزان تا حد زیادی، نور مناسب جهت انجام فعالیت‌های بصری دانش‌آموزان را در کلاس‌های درس تأمین نمود.

کلیدواژه‌گان: نور روز، خیرگی، نمای متحرک، کلاس درس، اقلیم گرم و نیمه مرطوب.

Parametric design of a kinetic façade to enhance daylight efficiency and providing visual comfort in the classrooms of warm and semi-humid climate

Anis Fatholah Gandomi¹, Mohsen Taban^{2*}

1- Master's of architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

Jundi-Shapur Research Institute, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

2- Associate Professor, Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

Jundi-Shapur Research Institute, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

* P.O.B. 64615/334 Dezful, Iran, mntaban@jsu.ac.ir

Received: 13 May 2025 Accepted: 19 May 2026

Abstract

Proper utilization of daylight in buildings can lead to increased productivity, satisfaction, and well-being of users. The method of daylighting in classrooms is particularly important due to students' long presence during daytime hours and the visual nature of their activities. By employing a dynamic façade capable of adjusting its configuration according to varying solar radiation conditions throughout the year, it is possible to improve user comfort within the space. The aim

of this research is to ensure visual comfort and adequate daylight availability in classrooms located in the hot and semi-humid climate of Dezful through the use of a dynamic façade. In this study, Rhinoceros 7 software and its Grasshopper, Honeybee and Ladybug plugins were used to evaluate daylight metrics Daylight Autonomy (DLA) and Illuminance, as well as the Daylight Glare Probability (DGP) based on the climatic data file of Dezful. According to the results, the average DLA in six sample classrooms of a primary school was 86.52%, which exceeds the minimum acceptable value of 50%. Moreover, the occurrence of glare conditions in classrooms 1 and 4 was reduced by 48 and 10 instances, respectively, compared to the existing state, while maintaining adequate daylight levels throughout the classroom depth. Therefore, the use of a dynamic façade can significantly improve students' visual comfort and provide sufficient daylight for performing visual tasks in classrooms.

Keywords: Daylight, Glare, Kinetic Facade, Classroom, Warm and Semi-humid.

1- مقدمه

روشنایی بخش قابل توجهی از مصرف انرژی ساختمان‌ها را تشکیل می‌دهد [1]. چنانچه نور خورشید که از طریق پنجره‌ها به فضای داخلی نفوذ می‌کند نقش مهمی در میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها دارد [2]. در این راستا بهره‌گیری مناسب از نور روز در فضا علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی جهت تأمین روشنایی فضا، می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری، رضایت و سلامت کاربران شود. در واقع نور روز به‌طور مستقیم بر عملکرد ساختمان‌ها و تأمین شرایط آسایش کاربران تأثیر می‌گذارد [3]. حال آنکه نحوه‌ی نورگیری کلاس درس به‌دلیل حضور دانش‌آموزان در بیشتر ساعات روز و انجام فعالیت‌های بصری همچون خواندن و نوشتن، اهمیت بسیاری دارد [4]. همچنین نور روز می‌تواند سبب بهبود عملکرد روانی، کاهش افسردگی و کاهش بروز رفتارهای خشونت‌آمیز دانش‌آموزان شود. چنانچه به‌دلیل بیشتر بودن سطح ملاتونین خون دانش‌آموزان کلاس‌های درسی که روشنایی فضا توسط نور مناسب روز تأمین می‌شود، سبب کاهش احساس خواب‌آلودگی در بین دانش‌آموزان و افزایش عملکرد آن‌ها می‌گردد [5]. از این‌رو نمای ساختمان نقش به‌سزایی در ایجاد شرایط زندگی ساکنان دارد. نمای ساختمان می‌تواند به‌وسیله‌ی محرک‌های دینامیکی با محیط در ارتباط باشد. استفاده‌ی مناسب از نمای متحرک در ساختمان‌ها می‌تواند منجر به تأمین آسایش بصری و کنترل خواص دینامیکی نور طبیعی همچون رنگ و شدت، که در طول زمان متغیر است، شود [6]. در واقع نمای متحرک یا پاسخ‌دهنده به‌عنوان یک سیستم هوشمند با قابلیت‌های خاص مانند زمان واکنش و سازگاری با محیط در نظر گرفته می‌شود [7]. لذا نماهای پاسخ‌دهنده به‌دلیل ساختار پیچیده و قابل تنظیم با مسیر حرکت خورشید در تمام ساعات شبانه‌روز می‌تواند عملکرد مناسبی از نظر تأمین شرایط آسایش بصری و دریافت نور روز کافی در فضای داخلی داشته باشد که این امر نیز سبب کاهش مصرف انرژی برق در ساختمان می‌شود [8].

پژوهش‌های مختلفی نیز در زمینه‌ی نور روز، آسایش بصری، نمای متحرک و به‌صورت کلی در حوزه‌ی ساختمان پایدار صورت گرفته است که به برخی از این مطالعات پرداخته می‌شود. یارحمودی در پژوهشی به طراحی سایبان هوشمند نمای ساختمان با الهام از الگوی رفتاری گل زعفران نسبت به تغییرات دمای محیط پیرامون جهت کنترل نور روز به فضای داخلی ساختمان در اقلیم گرم و نیمه خشک شیراز پرداخته است. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که حرکت سایبان هوشمند در اقلیم مورد مطالعه، که متناسب با مسیر حرکت خورشید بوده، می‌تواند 40 درصد از انرژی تابشی جذب‌شده توسط سطح شفاف جنوبی را کاهش دهد [9]. اسماعیلی و همکاران در پژوهشی به استخراج اصول طراحی فضاهای آموزشی از لحاظ مسائل پایداری پرداخته‌اند.

چنانچه در این پژوهش به رویکرد تأمین نور روز مناسب و بهره‌وری از انرژی خورشیدی توجه شده‌است. براساس یافته‌های این پژوهش روشنایی، گرمایش، آسایش بصری و سلامت جسمی- روانی به‌یکدیگر وابسته‌اند. چنانچه آن‌ها دریافتند که به‌منظور بهره‌گیری از نور روز و فواید آن در فضاهای آموزشی می‌بایست به ساختار کالبدی مدارس، جهت‌گیری و موقعیت قرارگیری سطوح شیشه‌ای توجه نمود [10]. یارحمودی و همکاران در پژوهشی دیگر به ارائه‌ی مدل سایه‌بان متحرک که سازگار با اقلیم شهر شیراز است، به‌منظور کنترل انرژی تابشی و نور روز جداری شفاف جنوبی ساختمان پرداخته‌اند. حال آنکه نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که سایبان متحرک که الهام‌گرفته از الگوی حرکتی گیاه گوشت‌خوار بوده قابلیت کنترل انرژی تابشی و کاهش ورود نور روز تا 30 درصد در فصول گرم سال را دارد [11]. خطیبی و همکاران به ارزیابی شدت روشنایی در فضاهای اداری و ارائه‌ی راهکارهای مداخله‌گرانه جهت کاهش خیرگی در این فضاها پرداخته‌اند. چنانچه هدف از این پژوهش بهینه‌سازی نور روز دریافتی و مطلوبیت روشنایی فضای اداری است. براساس نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان عنوان نمود که با به‌کارگیری یک نمای پاسخ‌گو شرایط کنترل نور روز ورودی به داخل ساختمان، براساس تغییر فصول، فراهم است و میزان خیرگی DGP نیز در ارزیابی سالانه به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد [12]. فتحی‌پور و همکاران در پژوهشی به اثربخشی نور روز بر آسایش بصری و سلامت کاربران در فضاهای مسکونی شهر تبریز پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که میزان درخشش نور روز می‌تواند بر کیفیت ادراک کاربران از فضا اثر بگذارد. همچنین دسترسی روزانه به نور روز به شکل، اندازه و موقعیت پنجره در ساختمان بستگی دارد [13].

حال آنکه توجه به دو مقوله‌ی، نورگیری مناسب و کنترل شرایط تابش خیره‌کننده همزمان با یکدیگر در کلاس‌های درس واقع در اقلیم گرم و نیمه مرطوب شهر دزفول، که در اکثر ماه‌های سال شدت تابش زیاد بوده، امری اجتناب‌ناپذیر است. چنانچه در پژوهش‌های پیش‌تر از یک نمای متحرک که متناسب با میزان و زاویه‌ی تابش خورشید در اقلیم مورد مطالعه جهت تأمین نور روز کافی و شرایط آسایش بصری حرکت کند، استفاده نشده است. لذا در این پژوهش به تأمین نور روز کافی و مناسب، ضمن کنترل شرایط خیرگی، در کلاس‌های درس اقلیم گرم و نیمه مرطوب پرداخته می‌شود. چراکه توجه به کیفیت نورگیری کلاس‌های درس به‌دلیل انجام فعالیت‌های بصری در اکثر ساعات استفاده از فضا توسط دانش‌آموزان، امری ضروری است. همچنین با استفاده از یک نمای متحرک که قابلیت تغییر متناسب با مسیر حرکت خورشید را دارد، می‌توان شرایط آسایش بصری دانش‌آموزان در کلاس‌های درس را ضمن دریافت نور روز کافی، تأمین نمود. همانگونه که مطرح شد کنترل شدت تابش

خیرگی ناشی از توزیع نامناسب روشنایی و یا تقابل بالای روشنایی در میدان دید است. در واقع این امر یک پدیده‌ی نوری هست که موجب ایجاد مشکل برای آسایش بصری استفاده‌کنندگان از یک محیط نوری به‌دلیل وجود روشنایی زیاد ناشی از نور طبیعی و یا نور مصنوعی می‌شود [17]. در کتاب راهنمای نورپردازی انجمن مهندسی روشنایی شمال آمریکا (IESNA) خیرگی «احساس ایجادشده توسط روشنایی در میدان دید که بیشتر از روشنایی است که چشم انسان با آن سازگار است و موجب آزار، ناراحتی و یا از دست دادن عملکرد بصری و دید می‌شود» تعریف شده‌است [18]. چهار عامل اثرگذار بر تابش خیره‌کننده شامل درخشندگی، اندازه‌ی منبع تابش، موقعیت منبع تابش خیره‌کننده و روشنایی کلی هستند. همچنین تابش خیره‌کننده می‌تواند به‌دلیل روشنایی بیش از حد، به‌عنوان اثر اشباع یا برآثر طیف درخشندگی زیاد در میدان دید، که کنتراست نامیده می‌شود، باشد؛ در واقع تابش خیره‌کننده اغلب به‌دلیل اثر کنتراست بین درخشندگی پنجره و سطح کلی پایین پس‌زمینه‌ای که با چشم انسان سازگار است، رخ می‌دهد و به‌طور کلی تابش خیره‌کننده را می‌توان به یکی از سه روش اصلی توصیف نمود، (1) با توجه به فرایندی که تابش خیره‌کننده را ایجاد می‌کند؛ (2) با توجه به درجه‌ی درک فرد از شدت تابش خیره‌کننده و (3) با توجه به نتایج تابش خیره‌کننده [19-20].

2-3- شاخص‌های خیرگی

مطالعات مختلف میزان تابش خیره‌کننده در داخل فضا را با استفاده از مفهوم شاخص تابش خیره‌کننده، کمی کرده‌اند. شاخص تابش نور یک معیار کمی است که نشان‌دهنده‌ی میزان تابش نور درک‌شده توسط ناظر در میدان دید هست و به‌طور کلی شاخص تابش نور خیره‌کننده را می‌توان با معادله‌ی زیر محاسبه نمود (فرمول 1):

$$Glare = \sum_{i=1}^n \frac{I_{s,i}^h W_{s,i}}{I_b^h} \quad (1)$$

که در این معادله، $L_{s,i}$ درخشندگی منبع تابش، $W_{s,i}$ زاویه‌ی ثابت منبع تابش، L_b درخشندگی پس‌زمینه و P_i شاخص موقعیت منبع تابش است. ضرایب حاصل از معادله‌ی شماره (1) یک مفهوم کلی را نشان می‌دهد؛ بنابراین جهت تعیین فرمول شاخص تابش مناسب براساس داده‌های تجربی، لازم است مطالعات مختلفی انجام شود؛ لذا تعدادی شاخص تابش خیره‌کننده با توجه به آزمایشات، استخراج شده‌است که برای منابع نوری مانند نور روز، معتبر هستند. بسیاری از شاخص‌های خیرگی بر ارزیابی تابش خیره‌کننده تمرکز دارند و دو شاخص (DGP)⁶ و (DGI)⁷ به‌طور خاص برای تابش خیره‌کننده‌ی نور روز در نظر گرفته می‌شوند [21]. چنانچه شاخص DGP احتمال خیرگی نور روز (این شاخص براساس درخشندگی منبع و زمینه، میزان روشنایی واردشده بر چشم (EV)⁸ و زاویه‌ی دید ناظر به منبع نور

در اقلیم مورد مطالعه نیز، اقلیم گرم و نیمه مرطوب، به‌دلیل بالا بودن شدت تابش در اکثر روزهای سال، که منجر به دریافت نور بیش از حد و ایجاد شرایط خیرگی در فضا می‌شود، مورد نظر است.

ازجمله محدودیت‌های این پژوهش نیز عدم امکان استفاده از پنجره با تناسبات بزرگ است. چنانچه ضمن بهره‌گیری از پنجره‌های بزرگ می‌بایست از عناصر کنترل‌کننده‌ی شدت تابش همچون سایه‌بان به‌منظور دریافت نور روز کافی و کنترل شدت تابش خورشید استفاده نمود. همچنین نحوه‌ی عملکرد نمای متحرک، که متناسب با اقلیم گرم و نیمه مرطوب شهر دزفول بوده، منحصر به اقلیم مورد مطالعه است؛ چراکه زاویه‌ی تابش خورشید، شدت تابش خورشید و در مجموع شرایط اقلیمی هر منطقه متفاوت بوده و در نتیجه نحوه‌ی عملکرد نمای متحرک به‌منظور کنترل شدت تابش، متفاوت خواهد بود. لازم به ذکر است که راهکارهای بررسی‌شده منحصر به کاربری آموزشی در اقلیم مورد مطالعه است؛ چراکه ارتفاع سطح مبنای سنجش نور روز متناسب با کاربری متفاوت خواهد بود. چنانچه در پژوهش حاضر ارتفاع سطح میز دانش‌آموز جهت سنجش شاخص نور روز در نظر گرفته شده‌است. همچنین شاخص خیرگی در ارتفاع قد دانش‌آموز در حالت نشسته مورد ارزیابی قرار گرفته است.

2- مبانی نظری

2-1- نور روز

تجربه‌های اخیر حاکی از آن است که نیاز انسان به نور روز از لحاظ روانی و جسمی بیشتر از تأمین روشنایی توسط نور مصنوعی هست [14]. در واقع نور طبیعی یک ابزار معماری قابل کنترل است و می‌تواند ادراک و رفتار کاربران را تحت تأثیر قرار دهد [15]. حال آنکه در طراحی ساختمان مدارس، توجه به نحوه‌ی نورگیری کلاس‌های درس اهمیت بسیاری دارد؛ چراکه دانش‌آموزان ساعات زیادی از روز را در این فضاها به انجام فعالیت‌های بصری می‌پردازند. ازطرفی بهره‌گیری مناسب از نور روز در کلاس‌های درس منجر به افزایش سلامتی، شادابی، ایجاد سرزندگی و در نهایت باعث افزایش عملکرد دانش‌آموزان در کلاس‌های درس می‌شود [16]. همچنین نتایج مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که منابع نوری با طیف غنی‌تر، نور قابل استفاده‌ی بیشتری برای چشم تأمین می‌کند. نور روز غنی‌ترین طیف را داشته و استفاده‌ی مناسب از آن تنش‌های وارده به چشم‌های دانش‌آموزان را کاهش می‌دهد [5]. ازجمله شاخص‌های نور روز نیز شامل آناتومی نور روز (DLA)¹، آناتومی نور روز پیوسته (cDA)²، شاخص نور مفید روز (UDI)³، آناتومی نور روز فضایی (sDA)⁴ و تابش سالانه (ASE)⁵ هستند.

2-2- خیرگی

خیرگی به‌عنوان شرایط خاصی که می‌تواند سبب ناراحتی شود و یا عملکرد بصری، دید و قابلیت شناسایی جزئیات و اشیا را کاهش دهد، گفته می‌شود.

⁶ Daylight Glare Probability

⁷ Daylight Glare Index

⁸ Vertical illuminance at the eye

¹ Daylight Autonomy

² Continuous Daylight Autonomy

³ Useful Daylight Illuminance

⁴ Spatial Daylight Autonomy

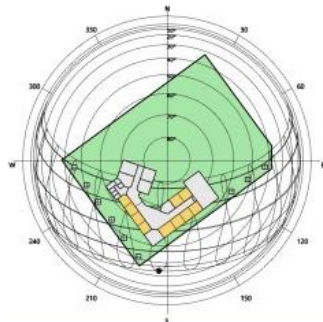
⁵ Annual Sunlight Exposure

غرب طراحی و مدل سازی شده است.

جدول 1 کشیدگی کلاس های درس در نمونه مدارس شهر دزفول



شکل 1 موقعیت قرارگیری مدرسه ابتدایی پگاه پریدار (10 کلاس درس)

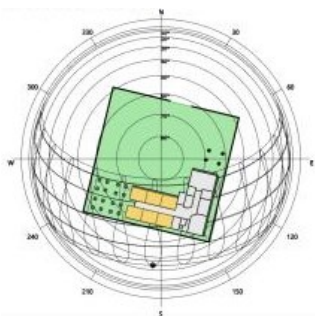


- تعداد 4 کلاس
درس دارای
کشیدگی شمال
غربی- جنوب شرقی؛
- تعداد 6 کلاس
درس، دارای
کشیدگی شمال
شرقی- جنوب غربی.

شکل 2 پلان قرارگیری کلاس های مدرسه پگاه پریدار



شکل 3 موقعیت قرارگیری مدرسه راهنمایی لقمان حکیم (6 کلاس درس)



- تعداد 6 کلاس
درس دارای
کشیدگی شمال
غربی- جنوب شرقی.

شکل 4 پلان قرارگیری کلاس های مدرسه لقمان حکیم

موقعیت سایت طراحی نمونه مدرسه ی پایه در استان خوزستان، شهر دزفول، خیابان فردوسی است. مدرسه ی طراحی شده در سایت موردنظر دارای شش کلاس درس بوده و برای مقطع ابتدایی که در دو نوبت صبح و بعدازظهر فعال هست، مقطع های پایه ی اول تا سوم در نوبت اول و مقطع های سوم تا ششم در نوبت دوم، در نظر گرفته شده است. چنانچه این مدرسه دارای 10 ریزفضا شامل کلاس درس، کارگاه، نمازخانه، فضای اداری، فضای استراحت معلمان، کتابخانه، آزمایشگاه، آبدارخانه، سرویس بهداشتی و انبار است.

محاسبه می گردد. حال آنکه محدوده های مختلف این شاخص شامل کمتر از 35٪ نامحسوس¹، بین 35٪ تا 40٪ محسوس²، بین 40٪ تا 45٪ آزاردهنده³ و بیشتر از 45٪ غیرقابل تحمل⁴ است. همچنین شاخص DGI از تابش نور روز امکان وجود میزان بالای تابش خیره کننده را، به خصوص برای منابع تابش خیره کننده از آسمان پراکنده که از طریق یک پنجره قبل مشاهده است، تعیین می نماید. محدوده های مختلف این شاخص شامل کمتر از 18٪ نامحسوس، بین 18٪ تا 24٪ محسوس، بین 24٪ تا 31٪ آزاردهنده و بیشتر از 31٪ غیرقابل تحمل است. لازم به ذکر است که شاخص خیرگی DGP در مقایسه با سایر شاخص های تابش خیره کننده، به دلیل گنجاندن مؤلفه های روشنایی عمودی، همبستگی بالاتری با درک ذهنی تابش خیره کننده دارد [19].

2-4- نمای متحرک (نمای واکنش دهنده)

نماهای متحرک (KF)⁵ پتانسیل زیادی برای انطباق با محیط، کاهش مصرف انرژی ساختمان، تنظیم سایه، تهویه طبیعی و بهبود آسایش بصری و حرارتی دارند [21]. کنترل میزان روشنایی روز نیز یکی از مزیت های مهم استفاده از نمای متحرک است. چنانچه حرکت خورشید شیوه ای قابل پیش بینی در الگوهای ساعتی، روزانه، ماهانه و سالانه هست. مسیری که خورشید طی می کند به محل ساختمان و از همه مهم تر به عرض جغرافیایی و فاصله از خط استوا وابسته است. بنابراین با کنترل اثر تابش خورشید، می توان تقاضای مصرف روشنایی مصنوعی را کاهش داد؛ به طوری که بازشوها به گونه ای به تغییر زاویه تابشی حساس بوده تا بتواند شرایط محیطی را احساس کرده و مطابق با آن تغییر وضعیت دهد [22]. براساس طبقه بندی شوماخر، ساختارهای مختلف حرکتی در معماری پویا هشت گروه هستند و عبارتند از: 1) چرخان، 2) چرخشی، 3) پرده دار، 4) لغزان، 5) تاشو، 6) گسترشی، 7) قابل جمع آوری و 8) تحت فشار هوا [23].

3- روش پژوهش

3-1- تعریف مدل پایه و موقعیت قرارگیری

نمونه مدرسه ی پایه در شهر دزفول طراحی شده است. این شهر در جنوب غربی کشور ایران و در بخش جلگه ای استان خوزستان واقع شده است. اقلیم شهر دزفول نیز گرم و نیمه مرطوب بوده و به طور کلی دارای تابستان های گرم و مرطوب و زمستان های معتدل و خشک هست. در پژوهش حاضر یک مدرسه با 6 کلاس درس واقع در شهر دزفول طراحی شده است. چنانچه کلاس های درس این نمونه مدرسه ی طراحی شده جهت گیری های مختلف، با توجه به جهت قرارگیری غالب کلاس های درس در نمونه مدارس فعال شهر دزفول، دارند (جدول 1). حال آنکه در نمونه مدرسه ی پایه، کلاس های درس (1)، (2) و (3) با کشیدگی شمال شرقی- جنوب غربی، محدوده ی نورگیری جنوب و جنوب شرقی و میزان درصد پنجره به دیوار 40٪ با زاویه ی 45 درجه از جهت جنوب به سمت شرق و همچنین کلاس های درس (4)، (5) و (6) با کشیدگی شمال غربی- جنوب شرقی، محدوده ی نورگیری شمال و شمال شرقی و میزان درصد پنجره به دیوار 50٪ با زاویه ی 45 درجه از جهت شمال به سمت

⁴ Intolerable
⁵ Kinetic facade

¹ Imperceptible
² Perceptible
³ Disturbing

شکل 7 نماهای نمونه مدرسه پایه



مقطع: A-A

SC: 1:100



مقطع: B-B

SC: 1:100

شکل 8 مقطع‌های نمونه مدرسه پایه

3-2- پارامترهای ثابت و متغیر جهت آنالیز شاخص‌های نور روز و خیرگی

لازم به ذکر است که ابعاد فضا براساس سرانه‌ی یک کلاس درس شهری برای تعداد 24 نفر دانش‌آموز، طبق ضوابط طراحی ساختمان‌های آموزشی [24]، دارای مساحت 40 مترمربع، طول 8 متر، عمق 5 متر و ارتفاع 3/05 متر هست. پس از مدل‌سازی نمونه کلاس‌های درس پایه به آنالیز شاخص DLA پرداخته می‌شود. چنانچه میزان روشنایی تعریف‌شده در این پژوهش براساس استاندارد معتبر IESNA برابر 300 لوکس برای فضای آموزشی و در ارتفاع میز دانش‌آموزان به ارتفاع 70 سانتی‌متر، در نظر گرفته شده‌است. همچنین براساس تعاریف مطرح‌شده برای این شاخص، میزان روشنایی کافی در یک محیط آموزشی برابر 50٪ بوده؛ بدان معنا که میزان درصد از سال که تمامی تست‌پوینت‌ها بیشتر از آن میزان لوکس تعریف‌شده (300 لوکس)، با توجه به برنامه‌ی اشغال فضا، در پژوهش حاضر برنامه‌ی اشغال فضا برای کلاس درس در دو نوبت صبح و عصر بین ساعات 8 صبح تا 17 بعدازظهر به‌صورت سالانه، با احتساب تعطیلات تابستان، نوروز و روزهای پنج‌شنبه و جمعه در نظر گرفته شده‌است، نور طبیعی دریافت می‌کنند. در ادامه شاخص خیرگی DGP، که به‌صورت استاتیک بوده برای سه تاریخ 30/مهرماه، 1/دی‌ماه و 1/خردادماه شبیه‌سازی و محاسبه می‌گردد. چنانچه این تاریخ‌ها با توجه به فعال بودن مدارس در این ماه‌ها از سال بوده و بازه‌ی زمانی تعیین‌شده از ساعت 8 صبح تا 17 بعدازظهر که دانش‌آموزان در دو نوبت صبح و عصر در کلاس درس حضور دارند، در نظر گرفته شده‌است. لازم به ذکر است که آنالیز خیرگی در ساعت 17 تاریخ 1/دی‌ماه به‌دلیل عدم حضور خورشید محاسبه نشده‌است. همچنین آنالیز این شاخص خیرگی برای چهار موقعیت مختلف دانش‌آموز نسبت به سطح پنجره در حالت نشسته به ارتفاع 1 متر معین شده‌است. سایر متغیرهای ثابت تعریف‌شده جهت شبیه‌سازی شاخص خیرگی در کلاس‌های درس نمونه مدرسه‌ی پایه شامل پنجره‌ی بدون رنگ، رنگ سفید برای سطوح دیوارهای داخلی با میزان انعکاس 93٪، رنگ سفید سقف با میزان انعکاس 85٪ و رنگ آبی برای سطح کف با میزان انعکاس 77٪ هست. در جدول 3، مشخصات این کلاس‌های درس جهت آنالیز شاخص نور روز و خیرگی عنوان شده‌است.

جدول 3 مشخصات نمونه کلاس‌های درس مدرسه پایه

موقعیت سایت طراحی و مشخصات نمونه مدرسه‌ی پایه در جدول 2 قابل مشاهده هست.

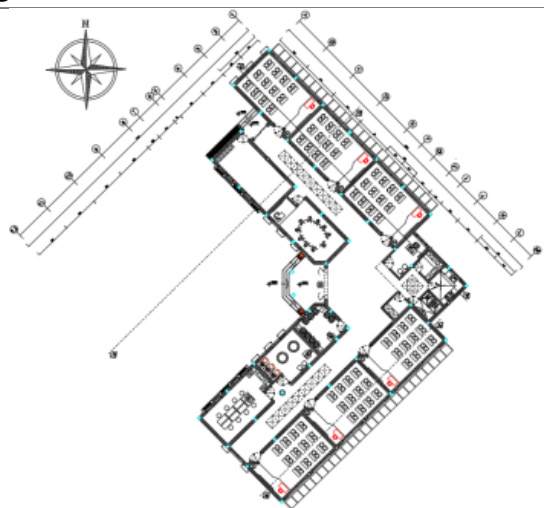
جدول 2 موقعیت سایت طراحی و مشخصات طراحی نمونه مدرسه پایه



شکل 5 موقعیت سایت طراحی

مشخصات طراحی مدرسه

مساحت کل (m ²)	مساحت زیربنا (m ²)	تعداد طبقات
3579/16	660/60	1
تعداد ریز فضاها	تعداد کلاس‌ها	مقطع تحصیلی
10	6	ابتدایی



پلان مبلمان مدرسه

SC: 1:100

شکل 6 پلان نمونه مدرسه پایه



نمای غربی

SC: 1:100



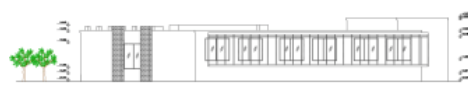
نمای شرقی

SC: 1:100



نمای شمالی

SC: 1:100



نمای جنوبی

SC: 1:100

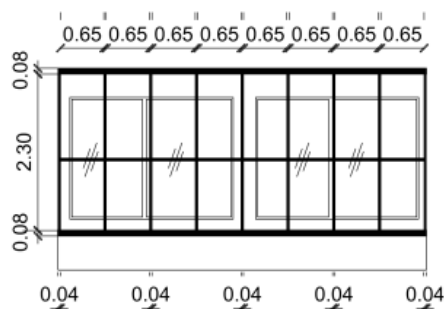


شکل 11 نحوه عملکرد نمای متحرک با توجه به نقطه‌ی جذب ایجادشده براساس مسیر حرکت خورشید و موقعیت‌های تعریفشده

اجزای نمای متحرک در نظر گرفته شده در پژوهش حاضر شامل بازوی رابط، بلبرینگ، ریل، گیره، صفحات متحرک نما و قلاب است. چنانچه از بازوی رابط به منظور اتصال بین نمای متحرک و دیوار بیرونی فضا، از بلبرینگ به منظور راحتی حرکت نما بر روی بازوهای رابط، از ریل جهت حرکت صفحات متحرک بر روی نمای ساختمان، از گیره برای بستن انتهای ریل پس از نصب و از قلاب جهت بستن انتهای ریل پس از نصب استفاده می‌شود.

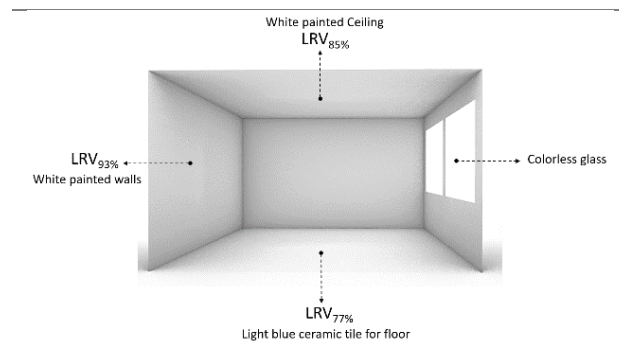


شکل 12 نحوه عملکرد نمای تاشو



شکل 13 ابعاد نمای تاشو

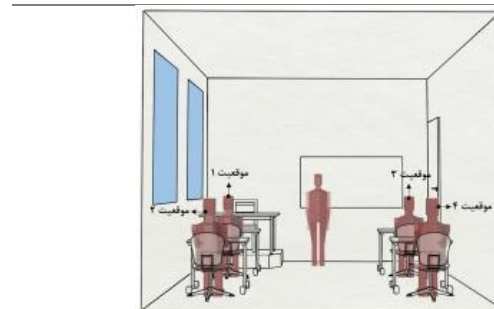
این نمای متحرک را می‌توان با استفاده از دو نوع مصالح به کاربرد: (1) مصالح مستحکم همچون پلاستیک، عمدتاً از پلیمرهای ترموپلاستیک یا ترموست با وزن مولکولی بالا هستند، که در چارچوب مستحکم با قابلیت حرکت عمودی قرار می‌گیرد و (2) مصالح منعطف و نیمه‌شفاف همچون پارچه، معمولاً از الیاف‌های طبیعی یا مصنوعی ساخته می‌شود، که امکان کنترل شدت تابش زیاد را دارد. جنس صفحات نمای متحرک نیز برای کلاس‌های درس شمال شرقی از نوع مصالح پارچه‌ای در نظر گرفته شده تا ضمن بسته بودن آن در ساعات وجود شرایط خیرگی، قابلیت عبور نور روز از آن و تأمین نور مورد نیاز در فضای کلاس درس وجود داشته باشد؛ اما جنس این صفحات برای کلاس‌های درس جنوب شرقی به دلیل شدت تابش بیشتر، مصالح پلاستیک بوده تا با عدم عبور نور روز بتوان شرایط آسایش بصری دانش‌آموزان را تأمین نمود.



شکل 9 رنگ و میزان انعکاس سطوح داخلی کلاس‌های درس مدرسه پایه

کلاس‌های درس 1، 2 و 3				
ابعاد کلاس (متر)	ارتفاع کلاس (متر)	تعداد پنجره	ابعاد پنجره (متر)	میزان درصد پنجره به دیوار
8×5	3/05	2	1/80×2/74	40%

کلاس‌های درس 4، 5 و 6				
ابعاد کلاس (متر)	ارتفاع کلاس (متر)	تعداد پنجره	ابعاد پنجره (متر)	میزان درصد پنجره به دیوار
8×5	3/05	2	1/80×3/39	50%

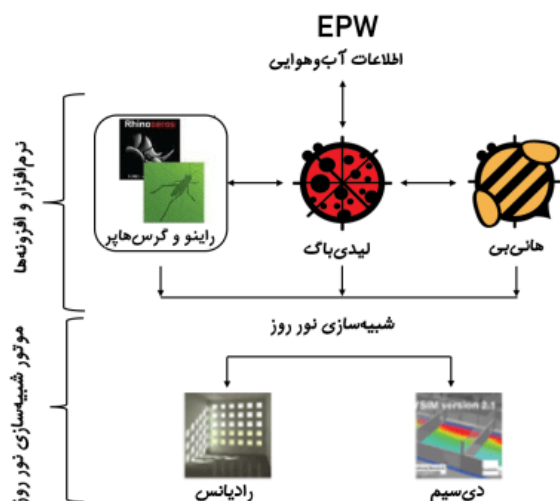


شکل 10 چهار موقعیت قرارگیری دانش‌آموزان در کلاس‌های درس

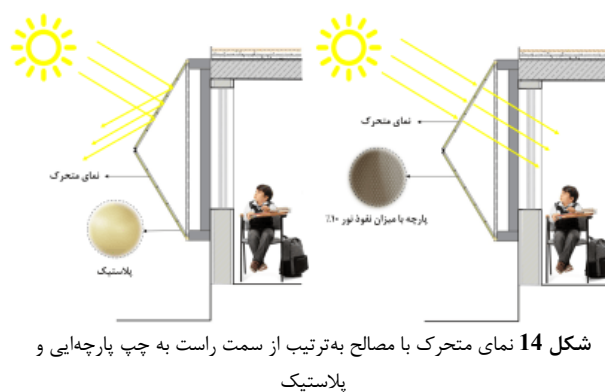
3-3- نمای متحرک پیشنهادی

پس از ارزیابی آسایش بصری برای موقعیت و بازه‌های تعریف شده جهت کنترل شرایط خیرگی از یک نمای واکنش دهنده استفاده می‌گردد. چنانچه نحوه حرکت نمای متحرک مورد استفاده از نوع تاشو است. در واقع این نوع نمای متحرک دارای ریل‌هایی هست که بر روی نمای اصلی ساختمان نصب می‌شود و صفحات این نمای متحرک بر روی ریل‌ها قابلیت حرکت و تابندگی دارند. مکانیسم حرکتی آن نیز با توجه به مسیر حرکت خورشید¹ در اقلیم مورد مطالعه برای سه بازه‌ی زمانی تعریف شده، است. به عبارت دیگر این نما با توجه به مسیر حرکت خورشید در اقلیم مورد مطالعه و موقعیت قرارگیری دانش‌آموزان با پیدا کردن نقطه‌ی عطف در بازه‌های وجود شرایط خیرگی آزاددهنده و غیرقابل تحمل طراحی شده است.

¹ Sun path



شکل 15 روند کار با نرم‌افزار



لازم به ذکر است که روشنایی طبیعی به‌صورت ساعتی "Illuminance" برای ساعتی از روز که تابش خیره‌کننده توسط نمای متحرک کنترل می‌شود، آنالیز شده‌است.

4- ابزار شبیه‌سازی

در این پژوهش از نرم‌افزار راینو 7¹ و افزونه‌ی گرس‌هایپر² جهت مدل‌سازی نمونه کلاس‌های درس اقلیم گرم و نیمه مرطوب و از افزونه‌های لیدی‌باگ³ و هانی‌بی⁴ جهت آنالیز شاخص‌های نور روز که شامل DLA، Illuminance و همچنین شاخص خیرگی DGP بوده، استفاده شده‌است. حال آنکه با استفاده از افزونه‌ی لیدی‌باگ داده‌های آب‌وهوایی منطقه‌ی مورد مطالعه (EPW)⁵ را وارد نموده و از افزونه‌ی هانی‌بی که از موتور شبیه‌سازی رادیانس⁶ و نرم‌افزار تکمیلی آن دی‌سیم⁷ جهت شبیه‌سازی روشنایی بهره می‌گیرد، به‌منظور آنالیز شاخص‌های نور روز و خیرگی استفاده شده‌است. همانگونه که مطرح شد در پژوهش حاضر جهت شبیه‌سازی روشنایی از موتور شبیه‌سازی رادیانس استفاده شده‌است. حال آنکه اعتبارسنجی این موتور شبیه‌سازی در پژوهش‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. Walkenhorst و Reinhart مطالعه‌ای جهت اعتبارسنجی شبیه‌سازی دینامیک نور روز مبتنی بر رادیانس برای یک دفتر آزمایشی با پرده‌ی خارجی انجام داده‌اند که در آن سه حالت شبیه‌سازی مختلف به‌منظور دریافت نور مستقیم خورشید بررسی شده‌است. چنانچه نتایج شبیه‌سازی این پژوهش نشان می‌دهد که روشنایی داخلی را می‌توان با دقت قابل توجهی برای تنظیمات مختلف پرده تحت شرایط آسمان دلخواه مدل‌سازی کرد. همچنین خودمختاری نور روز با ضریب خطای کمتر از 2٪ پیش‌بینی می‌شود [25]. Mardaljevic نیز به اعتبارسنجی شبیه‌سازی روشنایی داخلی مبتنی بر رادیانس پرداخته است که براساس نتایج این مطالعات، الگوریتم ردیابی پرتوی رادیانس، نورهای داخلی را تحت شرایط کاملاً کنترل‌شده و مطابق با شرایط واقعی آسمان برای شیشه‌های شفاف و قفسه‌نوری تعریف‌شده، مدل‌سازی می‌کند. لازم به ذکر است که پیش‌بینی‌ها تحت شرایط آسمانی مختلف و با توجه به شیشه‌های شفاف و مکان فتوسل‌ها، میانگین خطای 5/6٪ و انحراف معیار 3/4٪ را نشان می‌دهد [26-27]. در این راستا می‌توان عنوان نمود که نتایج حاصل از شبیه‌سازی نور روز با استفاده از موتور شبیه‌سازی رادیانس، با توجه به مطالعات و اعتبارسنجی‌های انجام‌شده، تحت شرایط آسمان تعریف‌شده و مطابق با اقلیم است.

5- یافته‌ها

5-1- ارزیابی شاخص نور روز (DLA) در کلاس‌های درس نمونه مدرسه پایه آنالیز مقدار شاخص DLA برای نمونه کلاس‌های درس اقلیم گرم و نیمه مرطوب، با در نظر گرفتن پارامترهای متغیر و ثابت تعریف‌شده، در جدول 4 مطرح شده‌است.

جدول 4 مقدار شاخص DLA برای کلاس‌های درس پایه

شاخص نور روز DLA			
محدوده‌ی نورگیری جنوب و جنوب شرق			
تصویر	DLA%	کلاس درس	
	%88/28	1	
	%81/11	2	
	%81/34	3	
محدوده‌ی نورگیری شمال و شمال شرق			
	%89/66	4	

⁵ Energy Plus Weather

⁶ Radiance

⁷ Daysim

¹ Rhino 7

² Grasshopper

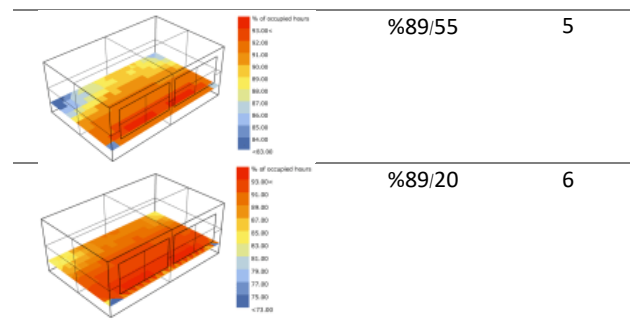
³ Ladybug

⁴ Honeybee

0/35	0/24	1/00	1/00	13
0/27	0/21	0/57	0/41	14
0/23	0/19	0/37	0/31	15
0/21	0/18	0/29	0/27	16
-	-	-	-	17
0/35	0/39	0/48	0/63	8
0/35	0/35	0/57	0/70	9
0/33	0/30	0/64	0/69	10
0/30	0/26	0/59	0/58	11
0/27	0/23	0/48	0/46	12
0/27	0/23	0/42	0/40	13
0/28	0/24	0/40	0/38	14
0/28	0/24	0/39	0/37	15
0/27	0/24	0/36	0/35	16
0/24	0/21	0/30	0/30	17

شرایط خیرگی برای کلاس درس 4

تاریخ	ساعت	موقعیت			
		B4	B3	B2	B1
30/مهرماه	8	0/27	0/22	1/00	0/43
	9	0/25	0/21	0/43	0/38
	10	0/27	0/24	0/39	0/36
	11	0/29	0/26	0/38	0/37
	12	0/32	0/28	0/38	0/37
	13	0/32	0/28	0/37	0/37
	14	0/31	0/27	0/35	0/35
	15	0/27	0/24	0/32	0/32
	16	0/22	0/20	0/26	0/26
	17	0/18	0/16	0/20	0/20
1/دی ماه	8	0/21	0/18	0/96	0/28
	9	0/24	0/20	0/37	0/33
	10	0/26	0/23	0/36	0/33
	11	0/28	0/25	0/36	0/34
	12	0/30	0/27	0/35	0/35
	13	0/30	0/27	0/34	0/34
	14	0/28	0/25	0/33	0/33
	15	0/24	0/21	0/27	0/29
	16	0/20	0/19	0/23	0/23
	17	-	-	-	-
1/خردادماه	8	0/46	0/32	1/00	1/00
	9	0/37	0/29	1/00	1/00
	10	0/30	0/26	0/60	0/55
	11	0/28	0/24	0/43	0/41
	12	0/29	0/25	0/39	0/39
	13	0/31	0/27	0/39	0/39
	14	0/31	0/28	0/39	0/38
	15	0/30	0/27	0/37	0/37
	16	0/29	0/26	0/34	0/34
	17	0/25	0/23	0/30	0/29



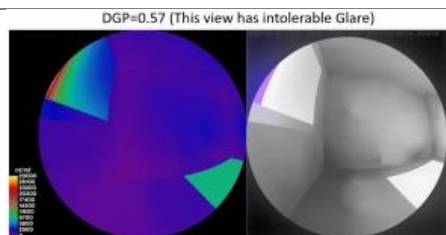
با توجه به آنالیز شاخص روشنایی DLA انجام شده برای هر شش کلاس درس واقع در اقلیم گرم و نیمه مرطوب می توان عنوان نمود که کلاس های درس (1)، (2) و (3) که از محدوده ی جنوب و جنوب شرق نور روز دریافت می کنند و میزان درصد پنجره به دیوار 40٪ دارند؛ میزان DLA به ترتیب برابر با 88/28، 81/11 و 81/34٪ هست. همچنین کلاس های درس (4)، (5) و (6) که از محدوده ی شمال و شمال شرق نور روز دریافت می نمایند و میزان درصد پنجره به دیوار 50٪ است به ترتیب از میزان DLA برابر با 89/66، 89/55 و 89/20٪ بهره می گیرند. لذا هر شش کلاس درس حداکثر مقدار نور روز کافی در ساعات اشغال فضا را دریافت می نمایند؛ چراکه حداقل شاخص DLA مناسب در فضا برابر با 50٪ هست. همچنین با توجه به آنالیزهای انجام شده می توان عنوان نمود، که در هر شش کلاس درس نورگیری در سطوح دورتر از پنجره ها و در عمق فضا تأمین شده است.

5-2- ارزیابی شاخص خیرگی (DGP) در کلاس های درس نمونه مدرسه پایه
در جدول 5 به آنالیز شاخص خیرگی DGP برای بازه ها و موقعیت های مختلف تعریف شده با توجه به سایر پارامترهای ثابت، در کلاس های درس 1 و 4 که در دو جهت گیری متفاوت قرار دارند، پرداخته شده است.

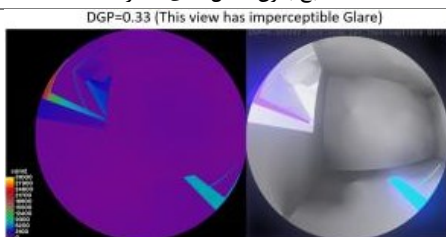
جدول 5 آنالیز شاخص DGP برای کلاس های 1 و 4 از نمونه مدرسه پایه

وضعیت خیرگی		آزاددهنده		غیرقابل تحمل	
شرایط خیرگی برای کلاس درس 1					
تاریخ	ساعت	موقعیت			
		A4	A3	A2	A1
30/مهرماه	8	0/54	0/78	0/45	0/44
	9	0/66	0/62	0/61	0/57
	10	0/55	0/43	0/79	1/00
	11	0/45	0/33	1/00	1/00
	12	0/36	0/27	1/00	1/00
	13	0/29	0/22	0/64	0/47
	14	0/25	0/20	0/41	0/36
	15	0/25	0/21	0/36	0/32
	16	0/23	0/20	0/30	0/28
	17	0/18	0/13	0/21	0/20
1/دی ماه	8	0/40	0/48	0/30	0/29
	9	0/98	0/87	0/49	0/70
	10	0/82	0/53	0/63	1/00
	11	0/58	0/35	1/00	1/00
	12	0/46	0/29	1/00	1/00

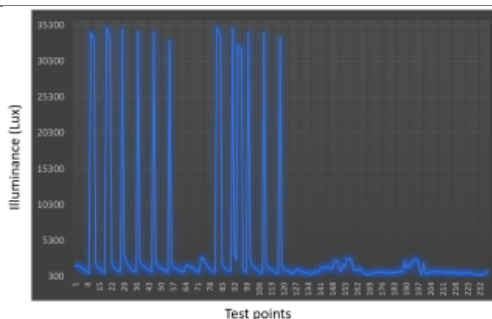
0/30	0/26	0/38	0/33	9
0/26	0/21	0/43	0/36	10
0/24	0/19	0/44	0/35	11
0/24	0/17	0/36	0/29	12
0/22	0/15	0/32	0/27	13
0/25	0/16	0/28	0/29	14
0/21	0/17	0/26	0/25	15
0/20	0/13	0/24	0/23	16
0/09	0/08	0/19	0/16	17



شکل 16 شرایط خیرگی غیرقابل تحمل برای تاریخ 30 مهرماه، موقعیت A1 و ساعت 9 صبح بدون اعمال نمای متحرک

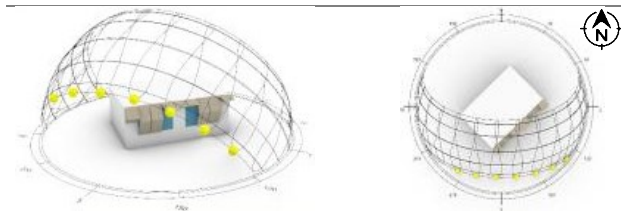


شکل 17 تأمین آسایش بصری برای تاریخ 30 مهرماه، موقعیت A1 و ساعت 9 صبح پس از اعمال نمای متحرک



شکل 18 میزان روشنایی در ارتفاع میز دانش‌آموزان برای تاریخ 30 مهرماه ساعت 9 صبح پس از اعمال نمای متحرک

شرایط خیرگی برای کلاس درس 1 در تاریخ 1 دی‌ماه با اعمال نمای متحرک



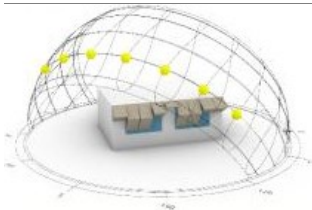
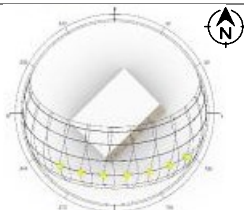
0/26	0/33	0/23	0/21	8	1 دی‌ماه
0/37	0/26	0/28	0/56	9	
0/39	0/23	0/32	0/26	10	
0/32	0/21	0/38	0/29	11	
0/27	0/19	0/39	0/31	12	

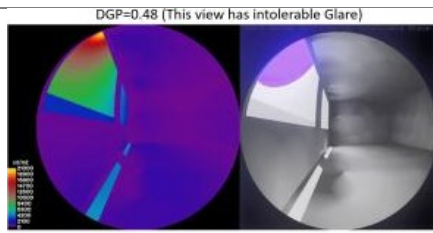
با توجه به آنالیز شاخص خیرگی DGP و همچنین با در نظر گرفتن پارامترهای ثابت و متغیر در طول روند شبیه‌سازی می‌توان عنوان نمود که برای نمونه کلاس درس 1، با کشیدگی شمال شرقی- جنوب غربی و میزان درصد پنجره به دیوار 40٪ در تاریخ 30 مهر، 1 دی و 1 خردادماه به ترتیب دارای 20، 20 و 13 مورد و برای کلاس درس 4، با کشیدگی شمال غربی- جنوب شرقی و میزان درصد پنجره به دیوار 50٪ در تاریخ 30 مهر، 1 دی و 1 خردادماه به ترتیب دارای 3، 1 و 9 مورد شرایط خیرگی آزاردهنده و غیرقابل تحمل وجود دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که تعداد موارد خیرگی برای کلاس‌های درس 1 که از محدوده‌ی جنوب تا جنوب شرق نور دریافت می‌کند، در مقایسه با کلاس درس 4 که از محدوده‌ی شمال تا شمال شرق نور روز دریافت می‌نماید، بسیار بیشتر است؛ چنانچه در مجموع در کلاس درس 1 تعداد 52 مورد و برای کلاس درس 4 تعداد 13 مورد شرایط خیرگی آزاردهنده و غیرقابل تحمل وجود دارد. لازم به ذکر است که از مقایسه‌ی عملکرد این دو کلاس درس در نمونه مدرسه پایه در تأمین شرایط آسایش بصری این نتیجه حاصل می‌شود که کلاس درس 4 با کشیدگی شمال غربی- جنوب شرقی و محدوده‌ی نورگیری شمال و شمال شرق نسبت به کلاس درس 1 با کشیدگی شمال شرقی- جنوب غربی و محدوده‌ی نورگیری جنوب و جنوب غرب، عملکرد مناسب‌تری دارد.

5-3- بهره‌گیری از نمای متحرک به منظور تأمین آسایش بصری در کلاس‌های درس پایه

در جدول 6 نتایج آنالیز شاخص DGP پس از اعمال نمای متحرک برای کلاس درس 1 در تاریخ 30 مهرماه، 1 دی‌ماه و 1 خردادماه و برای کلاس درس 4 در تاریخ 30 مهرماه و 1 خردادماه که شرایط خیرگی آزاردهنده و غیرقابل تحمل وجود دارد پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که گرافیک شرایط خیرگی کلاس درس 1 قبل و بعد از اعمال نمای متحرک از جنس پلاستیک برای تاریخ 30 مهرماه، موقعیت A1، ساعت 9 صبح، 1 دی‌ماه، موقعیت A2، ساعت 10 صبح و 1 خردادماه، موقعیت A2، ساعت 12 ظهر و برای کلاس درس 4 شرایط خیرگی قبل و بعد از اعمال نمای متحرک از جنس پارچه‌ای برای تاریخ 30 مهرماه، موقعیت B1، ساعت 9 صبح و 1 خردادماه، موقعیت B1، ساعت 10 صبح مطرح شده‌است؛ همچنین نمودار شاخص روشنایی Illuminance که به صورت لحظه‌ای در فضای داخلی قابل سنجش است، برای تاریخ‌ها، موقعیت‌ها و ساعات مطرح‌شده در کلاس‌های درس 1 و 4 عنوان شده‌است.

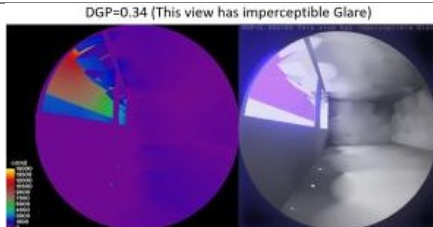
جدول 6 آنالیز شاخص DGP و Illuminance برای کلاس‌های درس نمونه مدرسه پایه پس از اعمال نمای متحرک

وضعیت خیرگی		آزاردهنده		غیرقابل تحمل	
شرایط خیرگی برای کلاس درس 1 در تاریخ 30/مهرماه با اعمال نمای متحرک					
					
تاریخ		موقعیت			
ساعت					
A4		A1			
0/30		0/27			
0/34		0/29			
8		0/27			
30/مهرماه		0/27			



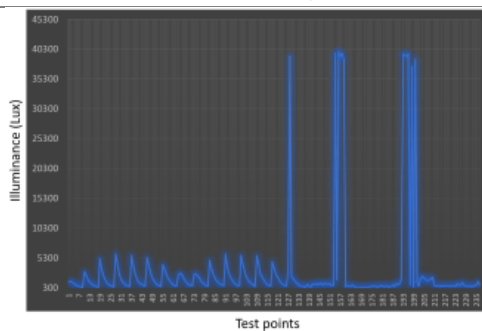
شکل 22 شرایط خیرگی غیرقابل تحمل برای تاریخ 1/خردادماه، موقعیت A1 و

ساعت 12 ظهر بدون اعمال نمای متحرک



شکل 23 تأمین شرایط آسایش بصری برای تاریخ 1/خردادماه، موقعیت A1 و ساعت

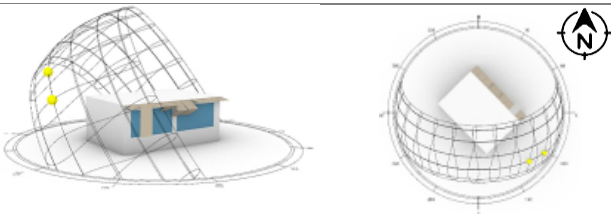
12 ظهر پس از اعمال نمای متحرک



شکل 24 میزان روشنایی در ارتفاع میز دانش‌آموزان برای تاریخ 1/خردادماه ساعت 9

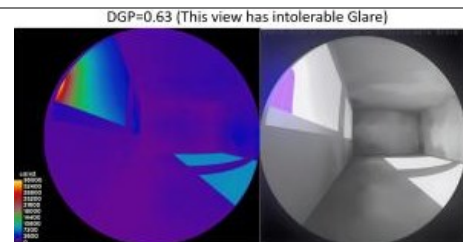
صبح پس از اعمال نمای متحرک

شرایط خیرگی برای کلاس درس 4 در تاریخ 30/مهرماه با اعمال نمای متحرک



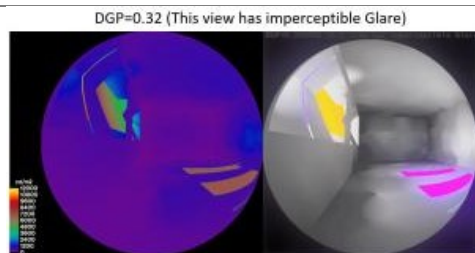
تاریخ	ساعت	موقعیت			
		B4	B3	B2	B1
30/مهرماه	8	0/25	0/20	0/43	0/33
	9	0/24	0/20	0/36	0/29
	10	0/25	0/23	0/34	0/34
	11	0/28	0/25	0/35	0/35
	12	0/30	0/26	0/35	0/35
	13	0/30	0/26	0/34	0/35
	14	0/28	0/25	0/33	0/34
	15	0/25	0/22	0/29	0/30
	16	0/21	0/19	0/24	0/24
	17	0/16	0/12	0/19	0/19

0/31	0/17	0/39	0/31	13
0/22	0/16	0/35	0/28	14
0/21	0/16	0/30	0/26	15
0/18	0/07	0/26	0/24	16
-	-	-	-	17



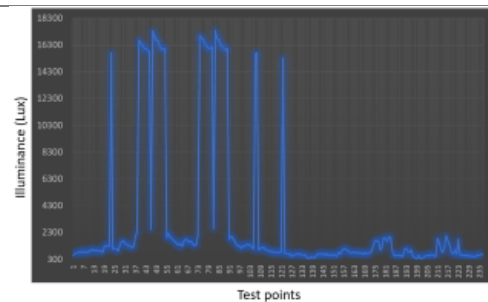
شکل 19 شرایط خیرگی آزاردهنده برای تاریخ 1/دیماه، موقعیت A2 و ساعت 10

صبح بدون اعمال نمای متحرک



شکل 20 تأمین شرایط آسایش بصری برای تاریخ 1/دیماه، موقعیت A2 و ساعت 10

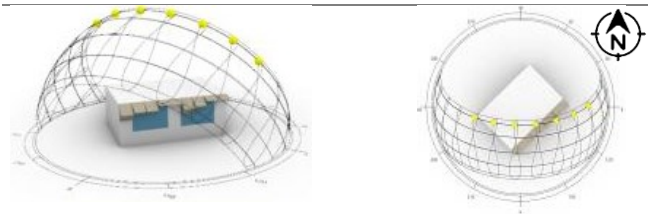
صبح پس از اعمال نمای متحرک



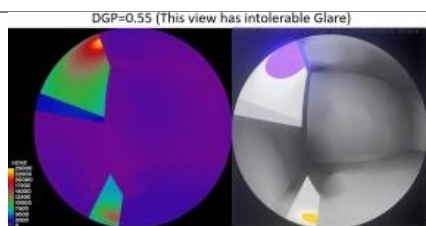
شکل 21 میزان روشنایی در ارتفاع میز دانش‌آموزان برای تاریخ 1/دیماه و ساعت 9

صبح پس از اعمال نمای متحرک

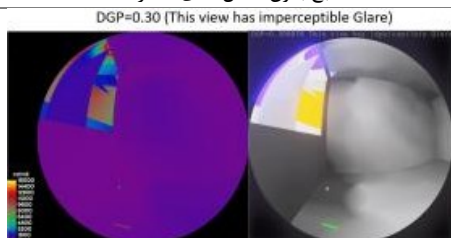
شرایط خیرگی برای کلاس درس 1 در تاریخ 1/خردادماه با اعمال نمای متحرک



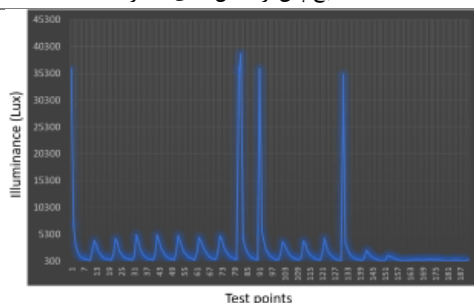
0/26	0/26	0/36	0/43	8	1/خردادماه
0/24	0/23	0/37	0/39	9	
0/23	0/21	0/33	0/32	10	
0/23	0/21	0/34	0/33	11	
0/23	0/20	0/34	0/33	12	
0/24	0/21	0/33	0/32	13	
0/25	0/22	0/34	0/33	14	
0/26	0/22	0/33	0/33	15	
0/25	0/22	0/31	0/31	16	
0/23	0/20	0/26	0/27	17	



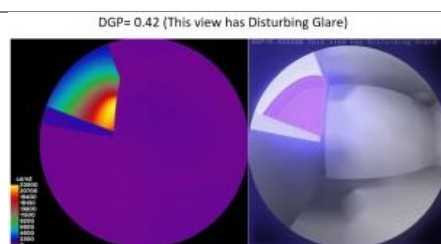
شکل 28 خیرگی غیرقابل تحمل برای تاریخ 1/خردادماه، موقعیت B1 و ساعت 10 صبح بدون اعمال نمای متحرک



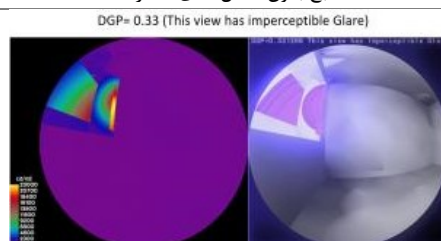
شکل 29 تأمین شرایط آسایش بصری برای تاریخ 1/خردادماه، موقعیت B1 و ساعت 10 صبح پس از اعمال نمای متحرک



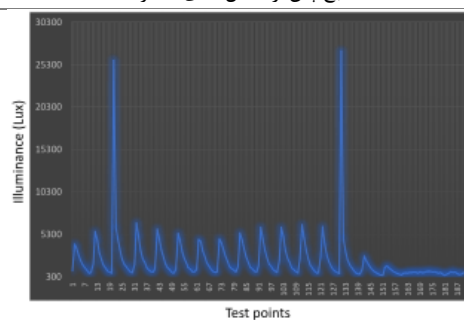
شکل 30 میزان روشنایی در ارتفاع میز دانش‌آموزان برای تاریخ 1/خردادماه ساعت 9 صبح پس از اعمال نمای متحرک



شکل 25 شرایط خیرگی آزاردهنده برای تاریخ 30/مهرماه، موقعیت B1 و ساعت 8 صبح بدون اعمال نمای متحرک



شکل 26 تأمین شرایط آسایش بصری برای تاریخ 30/مهرماه، موقعیت B1 و ساعت 8 صبح پس از اعمال نمای متحرک



شکل 27 میزان روشنایی در ارتفاع میز دانش‌آموزان برای تاریخ 30/مهرماه ساعت 9 صبح پس از اعمال نمای متحرک

شرایط خیرگی برای کلاس درس 4 در تاریخ 1/خردادماه



0/31	0/23	0/44	0/42	8	1/خردادماه
0/26	0/21	0/39	0/35	9	
0/23	0/20	0/31	0/30	10	
0/23	0/20	0/29	0/28	11	
0/24	0/21	0/28	0/28	12	
0/25	0/22	0/29	0/28	13	
0/26	0/23	0/29	0/28	14	
0/25	0/22	0/28	0/27	15	
0/24	0/21	0/26	0/26	16	
0/22	0/19	0/24	0/24	17	

با توجه به جدول 6 می‌توان عنوان نمود که با استفاده از نمای متحرک از جنس پلاستیک برای کلاس درس 1 شرایط خیرگی آزاردهنده و غیرقابل تحمل برای تاریخ 30/مهرماه 2 مورد، برای تاریخ‌های 1/دی‌ماه، 1/خردادماه 1 مورد و در مجموع 4 مورد است. برای کلاس درس 4 نیز با استفاده از نمای متحرک از جنس پارچه شرایط خیرگی آزاردهنده برای تاریخ 30/مهرماه تعداد 1 مورد، در تاریخ 1/خردادماه تعداد 2 مورد و در مجموع 3 مورد هست. همچنین با توجه به آنالیز شاخص روشنایی Illuminance در تاریخ‌ها، موقعیت‌ها و بازه‌های تعریف‌شده، نور کافی و مناسب، حداقل 300 لوکس، تا عمق فضای کلاس درس 1 و 4 در ارتفاع سطح میز دانش‌آموزان تأمین شده‌است.

6- نتیجه‌گیری

بهره‌گیری مناسب از نور روز در ساختمان‌ها از جمله مهم‌ترین معیارهای طراحی محسوب می‌گردد. چراکه استفاده‌ی مناسب از نور روز علاوه بر اینکه منجر به کاهش میزان مصرف انرژی، به دلیل کاهش نیاز به روشنایی مصنوعی، می‌شود؛ بلکه باعث کنترل شرایط تابش خیره‌کننده می‌گردد. حال آنکه توجه به این امر در فضاهای آموزشی، از جمله مدارس، که دانش‌آموزان در این فضاها بیشتر ساعات روز را صرف فعالیت‌های بصری همچون خواندن و نوشتن می‌کنند، ضروری است. در این راستا استفاده از یک نمای متحرک که بتواند متناسب با شرایط اقلیمی و مسیر حرکت خورشید در آن منطقه ضمن تأمین

می‌دهد که کلاس‌های درس پایه عملکرد نامناسبی در تأمین شرایط آسایش بصری دانش‌آموزان دارند. لازم به ذکر است که از مقایسه‌ی عملکرد این دو کلاس درس در تأمین شرایط آسایش بصری این نتیجه حاصل می‌شود که کلاس درس 4 با کشیدگی شمال غربی- جنوب شرقی و محدوده‌ی نورگیری شمال و شمال شرق نسبت به کلاس درس 1 با کشیدگی شمال شرقی- جنوب غربی و محدوده‌ی نورگیری جنوب و جنوب غرب، عملکرد مناسب‌تری دارد. حال آنکه پس از اعمال نمای متحرک برای بازه‌ها و موقعیت‌های تعریف‌شده در کلاس درس 1 و 4، شرایط خیرگی در این کلاس‌های درس به‌ترتیب 48 و 10 مورد کاهش یافته است. همچنین نتایج آنالیز شاخص روشنایی Illuminance برای بازه‌های زمانی تعریف‌شده نشان می‌دهد که حداقل نور مورد نیاز برای فضای کلاس درس، حداقل 300 لوکس، تا عمق فضا تأمین شده است. لذا می‌توان عنوان نمود که با استفاده از یک نمای متحرک که متناسب با شرایط اقلیمی و مسیر حرکت خورشید در اقلیم گرم و نیمه مرطوب شهر دزفول تغییر می‌کند، می‌تواند ضمن تأمین شرایط آسایش بصری دانش‌آموزان تا حد زیادی، نور کافی برای انجام فعالیت‌های بصری همچون خواندن و نوشتن را در کلاس‌های درس تأمین نماید.

7- منابع

- [1] Y. Huang, T. Zeng, M. Jia, J. Yang, W. Xu, SH. Lu, Fusing transformer and diffusion for high-resolution prediction of daylight illuminance and glare based on sparse ceiling-mounted input, *Building and Environment*, 2024.
- [2] Y. Sun, Y. Li, W. Xu, W. Wang, W. Wei, C. Zhang, A glare predictive control strategy for split-pane electrochromic windows: Visual comfort and energy-saving assessment, *Renewable Energy*, Vol. 218, 119259, 2023.
- [3] A. Kangazian, SZ. Emadian Razavi, Multi-criteria evaluation of daylight control systems of office building considering daylighting, glare and energy consumption, *Solar Energy*, Vol. 263, 111928, 2023.
- [4] M. Wang, X. Peng, Y. Cai, A multi-metric evaluation of classroom daylighting: Integrating myopia prevention and visual comfort, *Journal of Building Engineering*, Vol. 99, 111616, 2024.
- [5] VA. Collet da Graca, DC. Conelie Knatz kowallowski, JR. Diego Peteche, An evaluation method for school building design at the environmental comfort for the school system of the State Sao Paulo in Brazil, *Building and Environment*, Vol. 42, pp. 948-999, 2007.
- [6] SM. Hosseini, Sh. Heidari, General morphological analysis of Orosi windows and morpho butterfly wing's principles for improving occupant's daylight performance through interactive kinetic facade, *Journal of Building Engineering*, Vol. 59, 105027, 2022.
- [7] A. Malek, A. Talaei, Comparative study of the kinetic facades of office buildings in Tehran based on the visual comfort with using (sDG) and (DGP) indices, *Architectural Technologies Studies Journal*, Vol. 2, pp. 85-101, 2022. (in Persian)
- [8] Y. Zheng, J. Wu, H. Zhang, C. Lin, Y. Li, X. Cui, P. Shen, A novel sun-shading design for indoor visual comfort and energy saving in typical office space in Shenzhen, *Energy and building*, Vol. 328, 115083, 2024.
- [9] Z. Yarmahmoodi, Adapting the movement pattern of external shading device to saffron behavior for daylight control in Shiraz, *Journal of Interdisciplinary Studies in Architecture and Urbanism Development*, Vol. 3, pp. 135-185, 2024. (in Persian)
- [10] H. Ismaili, M. Azad Aramaki, J. Mahdinejad, Sustainability in educational spaces with sunlight efficiency in Iran, *Memarishnasi*, Vol. 27, pp. 1-13, 2023. (in Persian)
- [11] Z. Yarmahmoodi, T. Nasr, H. Mutazadeh, Designing a movable canopy to control daylight in a hot and semi-humid climate (inspired by the movement pattern of a carnivorous plant), *Life space*, Vol. 7, pp. 135-185, 2023. (in Persian)
- [12] A. Khatibi, M. Shahbazi, Z. Torabi, Assessing the intensity of lighting in office spaces and provide an interventional Solution to reduce glare (case study: An office building in Tehran), *Journal of*

نور روز کافی و مناسب شرایط آسایش بصری را تأمین نماید، مورد نیاز است. در پژوهش حاضر نیز به ارزیابی نور روز دریافتی و شرایط خیرگی نمونه مدرسه پایه با 6 کلاس درس، در اقلیم گرم و نیمه مرطوب شهر دزفول، که در اکثر ماه‌های سال تابش خورشید زیاد است، پرداخته می‌شود. 6 کلاس درس مدرسه‌ی پایه جهت‌گیری‌های مختلف، با توجه به جهت قرارگیری کلاس درس در نمونه مدارس شهر دزفول، داشته؛ کلاس درس (1)، (2) و (3) با کشیدگی شمال شرقی- جنوب غربی، محدوده‌ی نورگیری جنوب و جنوب شرقی و میزان درصد پنجره به دیوار 40٪ با زاویه‌ی 45 درجه از جهت جنوب به شرق و همچنین کلاس درس (4)، (5) و (6) با کشیدگی شمال غربی- جنوب شرقی، محدوده‌ی نورگیری شمال و شمال شرقی و میزان درصد پنجره به دیوار 50٪ با زاویه‌ی 45 درجه از جهت شمال به غرب و ابعاد فضای کلاس درس متناسب با ضابطه‌ی 697 که مرتبط با طراحی ساختمان‌های آموزشی هست، مدل‌سازی شده است. در این پژوهش نیز جهت رسیدن به اهداف مطرح‌شده از شاخص‌های نور روز DLA و Illuminance شاخص خیرگی DGP استفاده می‌گردد. که از جمله شاخص‌های پویای نور روز بوده برای برنامه‌ی اشغال فضا در دو نوبت صبح و بعدازظهر از ساعت 8 صبح تا 17 بعدازظهر به‌صورت سالانه، با احتساب تعطیلات تابستانی، نوروزی و روزهای پنج‌شنبه و جمعه، در ارتفاع سطح میز دانش‌آموزان به ارتفاع 70 سانتی‌متر، برای میزان روشنایی تعریف‌شده براساس استاندارد 300 لوکس و حداقل میزان 50٪ بدان معنا که میزان درصد از سال که تمامی تست‌پوینت‌ها بیشتر از آن میزان لوکس تعریف‌شده (300 لوکس)، با توجه به برنامه‌ی اشغال فضا، نور طبیعی دریافت می‌کنند، مورد ارزیابی قرار گرفته است. شاخص خیرگی DGP نیز که از جمله شاخص‌های تابش خیره‌کننده‌ی استاتیک هست، برای چهار موقعیت مختلف دانش‌آموز در کلاس درس به ارتفاع قد دانش‌آموزان در حالت نشسته (1 متر) و برای سه تاریخ 30/مهرماه، 1/دی‌ماه و 1/خردادماه با برنامه‌ی اشغال فضا در دو نوبت صبح و عصر، از ساعت 8 صبح تا 17 بعدازظهر، برای دو کلاس درس 1 و 4 که در دو جهت‌گیر مختلف قرار دارند، بررسی شده است. شاخص Illuminance نیز که به‌صورت ایستا بوده برای بازه‌های زمانی و موقعیت‌های تعریف‌شده به‌صورت ساعتی محاسبه می‌گردد. سایر متغیرهای ثابت در نظر گرفته شده جهت شبیه‌سازی شاخص خیرگی در کلاس‌های درس شامل پنجره‌ی بدون رنگ، رنگ سفید برای سطوح دیوارهای داخلی با میزان انعکاس 93٪، رنگ سفید سقف با میزان انعکاس 85٪ و رنگ آبی برای سطح کف با میزان انعکاس 77٪ هست.

با توجه به آنالیز شاخص روشنایی DLA انجام‌شده برای هر شش کلاس درس واقع در اقلیم گرم و نیمه مرطوب می‌توان عنوان نمود که کلاس‌های درس (1)، (2) و (3) که از محدوده‌ی جنوب و جنوب شرق نور روز دریافت می‌کنند و میزان درصد پنجره به دیوار 40٪ دارند؛ میزان DLA به‌ترتیب برابر با 88/28٪، 81/11٪ و 81/34٪ هست. همچنین کلاس‌های درس (4)، (5) و (6) که از محدوده‌ی شمال و شمال شرق نور روز دریافت می‌نمایند و میزان درصد پنجره به دیوار 50٪ است به‌ترتیب از میزان DLA برابر با 89/66٪، 89/55٪ و 89/20٪ بهره می‌گیرند. لذا هر شش کلاس درس حداقل مقدار نور روز کافی در ساعات اشغال فضا را دریافت می‌نمایند. چنانچه با توجه به نتایج آنالیز شاخص خیرگی DGP در کلاس درس 1 و 4، که دو جهت‌گیری مختلف در نمونه مدرسه پایه دارند، به‌ترتیب تعداد 52 و 13 مورد شرایط تابش خیره‌کننده‌ی آزاردهنده و غیرقابل تحمل وجود دارد؛ که این امر نشان

- Sustainable Architecture and Urban Design*, Vol. 10, pp. 153-164, 2022. (in Persian)
- [13] R. Fathipur, S. Karimi Nia, E. Nazmi, A. Shabini, An analysis of the effect of daylight on visual comfort and health in residential spaces of the city (Case study of Tabriz), *Sarzamin*, Vol. 18, , pp. 119-142, 2021.
- [14] S. Sadat Kargar, M. Mahmoody Zarandi, M. Khakzand, The effect of effective applied components on designing practical classroom window with emphasis on optimal use of daylight reflection in Tehran, *Urban Management*, Vol. 47, pp. 73-88, 2021. (in Persian)
- [15] F. Imani, Kh. Movahed, Measuring the effectiveness of natural light on reducing student's stress in the educational environment, *Technology of Education*, Vol. 2, pp. 127-133, 2017. (in Persian)
- [16] E. Mohammadi, L. Rezaizadeh, S. Sylvie, Study and analysis of the effect of light on the architecture of educational spaces, *Architecture*, Vol. 1, pp. 1-6, 2018. (in Persian)
- [17] M. Pourahmadi, M. Khan Mohammadi, F. Muzaffar, Windows optimization based on the glare performance in educational building of Iran hot and dry climate, *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, Vol. 7, pp. 113-128, 2019. (in Persian)
- [18] *The illuminating engineering society of North America* (The IESNA Lighting Hand Book, America, 2000.
- [19] G. Quek, J. Wienold, M. Sarey Khanie, E. Erell, E. Kaftan, A. Tzempelikos, I. Konstantzos, J. Christoffersen, K. Tilmann, M. Andersen, Comparing performance of discomfort glare metrics in high and low adaptation levels, *Building and Environment*, Vol. 206, 108335, 2021.
- [20] J. Yong Suk, M. Schiler, K. Kensek, Investigation of existing discomfort glare indices using human subject study data, *Building and Environment*, Vol. 113, pp. 121-130, 2017.
- [21] S. Oukati Sadegh, E. Gasparri, A. Brambilla, A. Globa, Kinetic facades: An evolutionary-based performance evaluation framework, *Journal of Building Engineering*, Vol. 53, 104408, 2022.
- [22] Sh. Rezvanizadeh, *Bioclimatic design of the library and conference hall of Jundi-Shapur University of Technology with emphasis on the use of a kinetic facade*, MSc Thesis, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, 2017. (in Persian)
- [23] A.H. Rezvanizadeh, N. Yavari, Analysis of dynamic mechanisms in building facades, *Journal of Renewable and New Energy*, Vol.9, 2022. (in Persian)
- [24] *Rule 697 design criteria for educational buildings (Consistent architectural planning for elementary and secondary schools)*, Iran, 2016.
- [25] C.F. Reinhart, O. Walkenhorst, Validation of dynamic RADIANCE- based daylight simulations for a test office with external blinds, *Energy and buildings*, Vol. 33, pp. 683-697, 2001.
- [26] J. Mardaljevic, Validation of a light simulation program under real sky conditions, *Reserch and Technology*, 27 (4), pp. 181-188, 1995.
- [27] J. Mardaljevic, Validation of a light simulation program: a study using measured sky brightness distribution, *In proceeding of the 8th European lighting conference Amsterdam*, pp. 555-569, 1997.