مقاله پژوهشی

پایداری، توسعه و محیط زیست، دوره پنجم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳ (۱۰۱-۸۵)

تحلیل میزان روشنایی طبیعی و تاثیر سلول های فوتوولتاییک در ساختمان های آموزشی سبز با بهره گیری از معماری بومی گیلان

(مطالعه موردی: دبیرستان پسرانه امام علی(ع)، شهر رشت)

سعید عظمتی[۱]

کیمیا جمشیدزاده[۲*]

kimia.jamshidzadeh@srbiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۵/۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۲۴

چکیده

زمینه و هدف: بهره‌برداری از نور طبیعی در روز به عنوان وسیله‌ای مناسب برای کاهش نورپردازی مصنوعی در ساختمان‌های غیرمسکونی شناخته شده است. معماری سنتی ایرانی، یکی از سمبل‌های معماری پایدار است که به بهینه سازی مصرف انرژی، هم از لحاظ پایین بودن قیمت اولیه و هم به لحاظ پایین بودن قیمت جاری و کارکردی بنا، پاسخگو بوده است. شرایط آب و هوایی و محیط زیست پارامترهای بسیار مهم در طراحی ساختمان‌هاست که برای ایجاد یک فضای مناسب برای راحتی انسان ارائه شده اند. در این پژوهش هدف اصلی تأثیر عمق ایوان، ابعاد بازشوها و تاثیر سلول فتوولتاییک در میزان روشنایی طبیعی در کلاس درس است.

روش بررسی: در ابتدا برای بررسی میزان تابش سالیانه شهر رشت از نرم افزار Climate Consultant استفاده شد. با کمک این نرم افزار و بااستفاده از داده های آب و هوایی شهر رشت، نمودار تابش سالیانه این شهر بررسی و در ادامه بر پایه مشخصات ساختمان شامل؛ ساختار فیزیکی، کاربران و همچنین داده‌های آب وهوایی سالانه ساعت به ساعت، محل استقرار ساختمان با در نظر گرفتن تمام شرایط، به‌ویژه صحت و اعتبار نتایج حاصل از الگوریتم های محاسباتی، دو نرم افزار Design Builder و DIALux برای شبیه‌سازی انتخاب شد.

یافته ها: طبق بررسی ها دامنه حداکثری نور مورد نیاز در کلاس های درس بین ۲۱۵۰-۱۶۱۴ لوکس است در حالی که نور دریافتی ساختمان مورد بررسی بیشتر از بازه حداکثری می باشد.

بحث و نتیجه گیری: خروجی های نرم‌افزار نشان می‌دهد حضور یک ایوان با عمقی کم می‌تواند در ایجاد فیلتری برای جلوگیری از ورود شدت زیاد نور و ایجاد خیرگی در فضا بسیار موثر باشد. درصورتی که کلاس‌های کنونی به میزان قابل توجهی منبع نور مصنوعی نیاز دارند. همچنین آنالیزها نشان میدهد در طبقه اول باتوجه به استفاده از سلول‌های فتوولتاییک، نور رسانی بیشتری را شاهد هستیم.

واژه‌های کلیدی: روشنایی طبیعی، خیرگی، معماری بومی گیلان، ساختمان‌های آموزشی، ایوان.

۱- استادیارگروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق، تهران، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)

J. Sus. Dev. & Env., Vol 5, No.1, Spring 2024, pp.85-101

Analysis of the amount of natural light and the effect of photovoltaic cells in green educational buildings using the native architecture of Gilan (Case study: Imam Ali Boys' High School, Rasht)

Saeed Azemati[1]
Kimia Jamshidzadeh[2*]
kimia.jamshidzadeh@srbiau.ac.ir

Admission Date:November 15, 2023 Date Received: July 31, 2023

Abstract

Background and Objective: Using natural light during the day is known as a suitable means to reduce artificial lighting in non-residential buildings. Traditional Iranian architecture is one of the symbols of sustainable architecture, which has responded to the optimization of energy consumption, both in terms of low initial price and low current and functional price of the building. Weather conditions and living environment are very important parameters in the design of buildings that are provided to create a suitable space for human comfort. In this research, the main goal is the effect of the depth of the porch, the dimensions of the openings and the effect of the photovoltaic cell on the amount of natural lighting in the classroom.

Material and Methodology: At first, Climate Consultant software was used to check the annual radiation level of Rasht city. With the help of this software and using the weather data of the city of Rasht, the annual radiation diagram of this city is checked and then based on the building specifications including; Physical structure, users, as well as annual weather data hour by hour, the location of the building, taking into account all the conditions, especially the accuracy and validity of the results of the calculation algorithms, two software Builder Design and DIALux for simulating Construction was selected.

Findings: According to the surveys, the maximum range of light required in the classrooms is between 2150-1614 lux, while the light received by the investigated building is more than the maximum range.

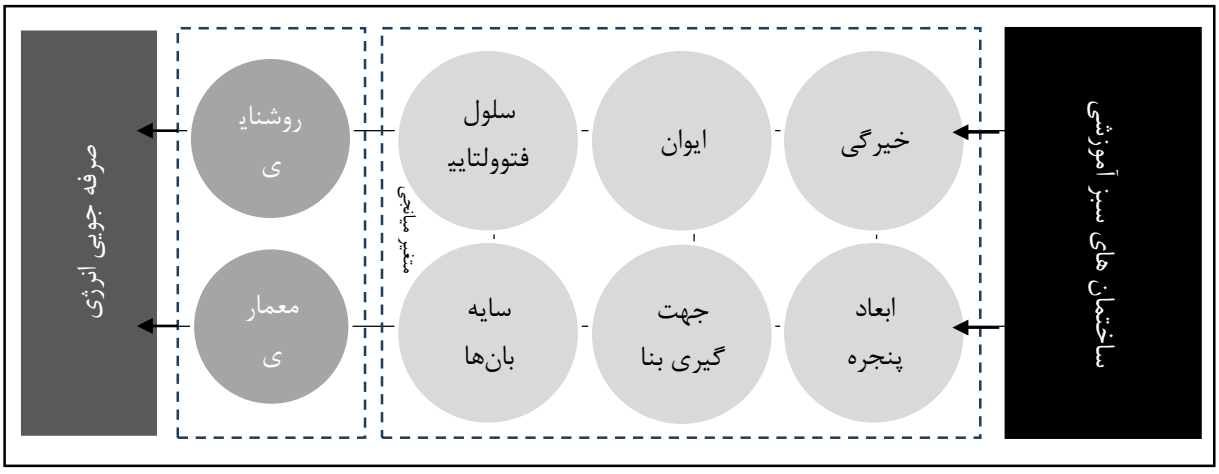
Discussion and Conclusion: The outputs of the software show that the presence of a porch with a shallow depth can be very effective in creating a filter to prevent the entry of high intensity of light and creating glare in the space. If the current classrooms require a significant amount of artificial light source. Also, the analysis shows that in the first floor, due to the use of photovoltaic cells, we see more lighting.

Keywords: Natural lighting, glare, native architecture of Gilan, educational buildings, porch.

1- Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Islamic Azad University, East Tehran Branch, Tehran, Iran.
2- Master student of architecture, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran. *(*Corresponding Author*)

مقدمه

بهره برداری از نور طبیعی در روز به عنوان وسیله‌ای مناسب برای کاهش نورپردازی مصنوعی در ساختمان‌های غیرمسکونی شناخته شده است. روشنایی طبیعی دریافتی از خورشید با توجه به مکان و محل قرارگیری ساختمان، کاربری، زمان به کارگیری، شدت و میزان روشنایی دریافتی برای هر لحظه در زمان معین میتواند مطلوب یا نامطلوب باشد (۱). همچنین نور روز منبعی برای دستیابی به کیفیت محیط داخلی و کارایی انرژی در ساختمان‌های آموزشی و در نتیجه ارتقاء پایداری آن-هاست (۲). طبق نتایج تحقیقات، استفادهٔ صحیح از نور روز در فضاهای آموزشی، سبب ارتقای سطح سلامت جسمی و روحی دانش‌آموزان، افزایش تمرکز و کیفیت یادگیری و به‌طور کلی بهبود کارایی آنان می‌شود (۳). یکی از ویژگی های نور روز تغییر کیفیت و کمیت آن در طول روز و فصول مختلف است. همچنین شرایط جوی بر کیفیت نور طبیعی تاثیر گذار است (۴). معماری سنتی ایرانی، یکی از سمبل‌های معماری پایدار است که به بهینه سازی مصرف انرژی، هم از لحاظ پایین بودن قیمت اولیه و هم به لحاظ پایین بودن قیمت جاری و کارکردی بنا، پاسخگو بوده است. شرایط آب و هوایی و محیط زیست پارامترهای بسیار مهم در طراحی ساختمان‌هاست که برای ایجاد یک فضای مناسب برای راحتی انسان ارائه شده اند (۵). فضاهای نیمه باز، به عنوان یکی از عناصر اقلیمی در طرح بناهای بومی شرق گیلان به طور چشمگیری به کار رفته است. همچنین با استفاده از پنل‌های خورشیدی می‌توان بین ۸-۶۵ درصد از نیاز برق ساختمان مدرسه را تامین کرد. استفاده از پنل‌های خوردشیدی در صرفه جویی مصرف برق تاثیر گذار خواهد بود. از این‌رو پژوهش حاضر با هدف تحلیل میزان کیفیت روشنایی طبیعی و تعیین میزان اثر بخشی سلول های فتوولتاییک براساس زاویه بهینه در ساختمان‌های آموزشی سبز مبتنی بر الگوی معماری بومی گیلان (مطالعه موردی: دبیرستان شبانه روزی پسرانه امام علی(ع)، شهر رشت) شکل گرفته است. مقاله حاضر کوشیده است به این سوال پاسخ دهد؛ عناصر اقلیمی معماری بومی گیلان تا چه میزان بر تامین روشنایی طبیعی ساختمان های سبز آموزشی موثر است؟ براین اساس فرضیه پژوهش بدین صورت بیان می گردد: به نظر می رسد شدت روشنایی ساختمان های سبز آموزشی مبتنی بر معماری بومی گیلان با مولفه هایی چون؛ ایوان، پنجره، جهت گیری ساختمان، سایه بان ها، سلول های فتوولتاییک و... در ارتباط است.



شکل۱- مدل مفهومی پژوهش

Figure 1. Conceptual model of the research

مروری بر ادبیات و پیشینه پژوهش

روشنایی طبیعی در ساختمان‌های آموزشی

طیف وسیعی از تحقیقات پیرامون این موضوع در کشورهای مختلف انجام شده است. قبل از رایج شدن استفاده از لامپ‌های فلورسنت سازمان آموزش کالیفرنیا استانداردهایی را برای اطمینان از وجود نور روز کافی در کلاس‌ها وضع کرد برای ساخت ارزان تر کلاس هایی با پنجره های کوچک و سقف های کوتاه و متکی به روشنایی مصنوعی جای کلاس های پرنور (نور روز) را گرفت از این دوران مطالعات و تحقیقاتی در زمینه تأثیر نور روز بر سلامت و عملکرد دانشجویان در کلاس ها انجام شد(۶). طبق مطالعات وایت در دانشگاه ایالت بوفالو نیویورک، دانش آموزان در کلاس‌هایی که با نور دارای طیف کامل رنگ، نورگیری شدند، نسبت به نورگیری توسط لامپ های فلوروسنت توجه بیشتری به درس داشتند و کمتر خسته و ناراحت می شدند(۷). نتایج مطالعات انجام شده حاکی از این است که منابع نوری با طیف غنی‌تر، نور قابل استفاده‌تری را برای چشم تامین می‌کند. نور روز غنی‌ترین طیف را داشته و مقداری از تنش‌های وارده به چشم را می‌کاهد (۸). در محیط‌های آموزشی، به دلیل میزان بالای فعالیت‌های بصری که در اکثر موارد در طول روز انجام می‌شود، توجه به نور و به خصوص روشنایی طبیعی اهمیت بالایی دارد(۹). نور روز با برخورد به شبکیه چشم و تاثیر بر غده هیپوتاالموس و کنترل ترشح هورمون مالتونین(که هورمونی خواب آور است) ریتم شبانه روزی بدن را کنترل می-کند(۱۰). استانداردهای سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس نیز بر اهمیت کاربرد صحیح نور روز تاکید کرده است. آیین‌نامه بهداشت محیط مدارس راجع به «آسایش دیداری» محیط کلاس و تاثیرات منفی تابش نور بحث می کند(۱۱).

خیرگی نور

به احساسی که توسط روشنایی میدان دید، هنگامی که بسیار بیشتر از میزانی است که چشم با آن سازگار است، ایجاد شده و باعث آزردگی، ناراحتی، یا ازدستدادن عملکرد بصری و دید خیرگی (Annoyance, Discomfort, Disability) می شود. خیرگی به عنوان شرایط خاصی که می‌تواند سبب ناراحتی شود و یا عملکرد بصری، دید و قابلیت شناسایی جزئیات و اشیا را کاهش دهد تعریف می‌شود و ناشی از توزیع نامناسب روشنایی و یا تقابل بالای روشنایی در میدان بینایی است(۱۲). از آنجاکه ارزیابی عملکرد نور روز، یک راه اساسی در طراحی نور روز است و گروه بین المللی نور (CIE) نیز، کمیت نور روز، کیفیت نور روز و خیرگی را سه عامل مهم در نورپردازی خوب معرفی می‌کند و دستیابی به آسایش بصری را وابسته به دو پارامتر یکنواختی و خیرگی می‌داند(۱۳). جامعه مهندسی نورپردازی آمریکای شمالی پیشنهاد میکند که ارزش روشنایی برای کلاس‌های درس حداکثر بین ۲۱۵۰-۱۶۱۴ لوکس و حداقل بین ۷۵۳-۳۲۲ لوکس باشد. ارزش‌های خیرگی نیز در شاخص خیرگی به این صورت است: کمتر از ۳۵% غیرمحسوس، ۴۰ -۳۵ ٪محسوس، ۴۵-۴۰ ٪آزاردهنده و بالاتر از ۴۵% غیرقابل تحمل. در واقع درصد خیرگی در این شاخص نشاندهنده درصد افرادی است که در این شرایط احساس ناراحتی می‌کنند(۱۴).

جدول۱- مروری بر پژوهش های اخیر

Table 1. An overview of recent researches

محقق	سال	نتایج
عظمتی و همکاران	۱۳۹۶	نور طبیعی، چشم انداز، محیط، تناسبات، ابعاد، محل قرارگیری پنجره ها، میزان نور طبیعی، چشم اندار در فضاهای آموزشی، عوامل محیطی
میشل هراکلیوس	۲۰۱۷	ارزشیابی آسایش بصری در معماری آموزشی، ارزیابی ادراک ذهنی افراد
فدایی اردستانی و همکاران	۱۳۹۷	با درنظر گیری دو هدف دریافت نور روز مناسب و عدم خیرگی و تاثیر طراحی سایبان بر شرایط آسایش بصری

شفوی مقدم و همکاران	۱۳۹۸	ارزیابی وضعیت فضا، عملکرد شاخص های یکسان، موقعیت های جغرافیایی مختلف
گوری و همکاران	۲۰۱۹	ارزیابی آسایش بصری سالمندان ازطریق کنتراست نوری، تحلیل نرم افزاری و عکسبرداری دیجیتال
کارگر و همکاران	۱۳۹۹	شدت تابش، نسبت سطح نورگیر به کف اتاق، عمق اتاق، ابعاد پنجره و بازتابش جداره های کلاس، عدم توجه به جهت گیری مناسب پنجره، کیفیت نامناسب نور و روشنایی طبیعی
محمدی و همکاران	۱۳۹۹	روشنایی نور روز، زمان، میزان وقوع یک طیف روشنایی مانند:(UDI)، شاخص مفیدتر
چئونگ و همکاران	۲۰۲۰	رویکرد مبتنی بر شبیه سازی برای بهبود آسایش بصری و حرارتی در ساختمان های اداری
خطیبی و همکاران	۱۴۰۱	اعمال یک پوسته پاسخگو، متغیر نور خورشید، امکان کنترل نور ورودی به داخل ساختمان، تغییر فصول، توزیع یکنواخت نور، میزان خیره‌گی(DGP)، ارزیابی‌های سالانه، کاهش مصرف انرژی
قلی‌پور گشنیانی، مصطفی	۱۴۰۱	بهترین بهره‌وری، تأمین "فاکتور نور روز" ۳,۳ درصد، شیب های مختلف سقف، ثابت در نظر گرفتن مؤلفه شیب سقف، فرم بازتابنده داخلی، هندسه پلان مربع، رفتار نوری مناسبتر، نورگیری فضای داخلی

ساختمان های سبز

انرژی از ارکان تمدن های بشری و در نتیجه اساس تولیدات اجتماعی به شمار می رود، ساختمان ها تقریبا ۴۰ درصد از مصرف انرژی جهان را تشکیل میدهند و نقش مهمی در بازار انرژی ایفا می کنند. نیاز به استفاده از انرژی های تجدید پذیر برای رسیدن به تولید توان الکتریکی بیشتر یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین زمینه‌ها برای یافتن منابع جدید انرژی‌های جدید انرژی‌های تجدید پذیر است(۱۵). تعاریف گوناگونی در خصوص ساختمان سبز ارائه شده است، از جمله عبارتست از طراحی و ساخت امکاناتی سالم، با رعایت بهره‌وری منابع و استفاده از اصول اکولوژیکی. ساختمان سبز به عنوان تمهیدی برای کاهش اثرات نامطلوب ساختمان‌ها بر محیط‌زیست، جامعه و اقتصاد نیز تعریف شده است صنعت ساخت و ساز تأثیرات چشمگیری از حیث مسائل زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی روی جامعه دارد (۱۶). دفتر اجرایی فدرال محیط زیست یک تعریف مفید ارائه می دهد. افزایش بهره وری که ساختمان ها و سایت های آن ها از نظر انرژی، آب و موادی که استفاده می‌کنند و کاهش اثرات ساختمان بر روی سلامت انسان و محیط زیست از طریق قراردادن طراحی، ساخت و ساز، عملیات، تعمیر و نگه داری بهتر و افزایش عمر ساختمان(۱۷).

عناصر اقلیمی معماری گیلان

این منطقه پر باران ترین منطقه شمالی ایران است و دارای رطوبت زیاد و گرمای هوا در تابستان است، از اینرو باران مداوم و رطوبت نسبی زیاد، عامل اصلی شکلگیری معماری در این سرزمین است(۱۸). معماری گیلان به عنوان نمونه‌ای مناسب از هماهنگی و تلفیق بنا با طبیعت، که حاصل عوامل مختلف اقلیمی، اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و... است و بیشترین تاثیر را از اقلیم و طبیعت پیرامون خود گرفته است، به نظر میرسد معماری این منطقه از مصالح مورد استفاده تا فرم کلی بنا تحت تاثیر محیط پیرامون می باشد(۱۹). ساختمان‌ها در این مناطق جدا از هم و با حیاط‌ها و فضاهای باز و وسیع ساخته می شوند، و حصار دور این فضاها اغلب کوتاه تر از قد انسان است. دلیل این امر همان استفاده از جریان هواست، تا از میان ساختمان‌ها عبور کرده و هوای مرطوب و راکد را با خود به بیرون محوطه و فضاهای زیستی ببرد(۲۰).

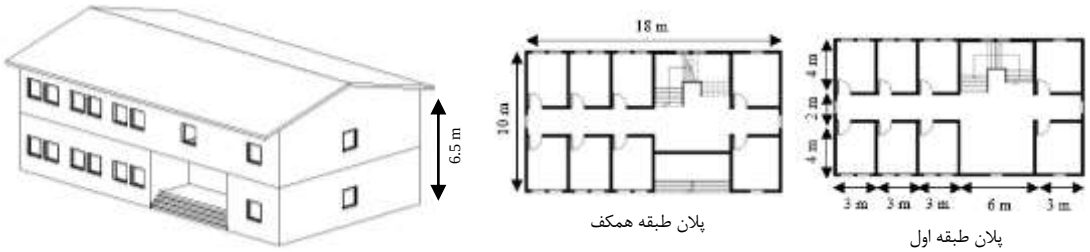
روش تحقیق

در این پژوهش به منظور تحلیل میزان کیفیت روشنایی طبیعی و تعیین میزان اثر بخشی سلول های فتوولتاییک براساس زاویه بهینه در ساختمان‌های آموزشی سبز مبتنی بر الگوی معماری بومی گیلان، ساختمان دبیرستان شبانه روزی امام علی(ع) در

شهر رشت انتخاب شده است. هدف اصلی پـژوهش حاضـر ایـن است که تأثیر عمق ایوان، اندازه ی سطح بازشوها و تاثیر سلول فتوولتاییک در میزان روشنایی طبیعـی کـلاس درس مشـخص شود. در ابتدا برای بررسی میزان تابش سالیانه شهر رشت از نرم افزار Climate Consultant استفاده شد. با کمک ایـن نـرم افزار و بااستفاده از داده های آب و هوایی شـهر رشـت، نمـودار تابش سالیانه این شهر بررسـی و در ادامـه بـر پایـه مشخصـات ساختمان شامل؛ ساختار فیزیکی، کاربران و همچنین داده‌هـای آب وهوایی سالانه ساعت به ساعت، محل استقرار ساختمان، بـا در نظر گرفتن تمام شرایط، به‌ویژه صحت و اعتبار نتایج حاصـل از الگوریتم های محاسباتی، دو نرم افـزار Design Builder و DIALux برای شبیه‌سازی انتخاب شد. با اسـتفاده از دو نـرم افزار گفته شده و به کمک موتور انرژی پلاس۸ می توان میـزان دریافت نور روزانه را به منظور حفظ نور طبیعی در بنا محاسـبه کرد و میزان نور طبیعی دریافتی فضاهای ساختمان را بر اساس مشخصات ساختمان و فاکتورهـایی چـون؛ ایـوان، سـلول هـای فتوولتاییک و بازشوهای آن و شرایط آب وهوایی محل، اسـتقرار ساختمان، در هر زمان سال پیشبینی نماید شیوه تحلیل داده‌ها بر مبنای تحلیل عددی بر اساس استاندارد نـورپردازی طبیعـی انگلستان (توصیه شده معاونت انرژی وزارت نیرو) انجـام گرفتـه است و سپس بر مبنای استدلال استقرایی نتایج به‌دسـت آمـده تعمیم داده شده و به صورت اصول کلی عوامل کالبدی معماری که ارتباط مستقیمی با دریافت نور روز در فضـا ارائـه گردیـده و راهکارهایی در جهت اصلاح آن و یـا عـدم تکـرار آن در مـوارد طراحی مشابه ارائه گردیده است؛ بنابراین روش تحقیق در ایـن مقاله توصیفی-تحلیلی و نیز استفاده از مدل سازی رایانه ای بـر پایه پژوهش موردی است.

مطالعه موردی

برای انجام پژوهش حاضـر سـاختمان دبیرسـتان پسـرانه امـام علی(ع) در شهر رشت مورد بررسی قرار گرفت. ایـن مدرسـه از یک سـاختمان تشـکیل شـده اسـت. سـاختمان مـورد بررسـی کشیدگی شرقی- غربی دارد. عمده کلاس‌ها در جبهه شـمال و جنوب قرار گرفته‌اند. این ساختمان در دو طبقه بنا شده اسـت. هیچ مانع بصری بیرونی اطراف کلاس‌ها نیست و محیط اطـراف ساختمان کاربری های مسکونی قرار دارد. این مدسه دارای یک حیاط در جبهه جنوبی می باشد. نـورگیری کـلاس هـا توسـط پنجره ها با فواصل یکسان صورت گرفته اسـت و فاقـد ایـوان و نورگیر در فضاهای داخلی است.



شکل۲- پلان طبقات و مدلسازی دبیرستان امام علی(ع)، شهر رشت

Figure 2. Floor plan and modeling of Imam Ali high school, Rasht city

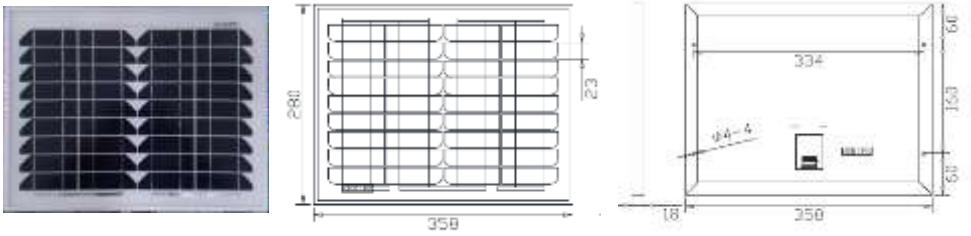
شرایط اقلیمی

ساختمان مورد مطالعه در شهر رشت در طـول جغرافیـایی ۴۹ درجه و ۳۵ دقیقه‌ی شرقی واقع شده است. که به‌طـور معمـول در فصل تابستان گرم و مرطوب و در فصـل زمسـتان معتـدل و مرطوب می‌باشـد. برنامـه هـای شـبیه سـازی بـه‌طـور معمـول محاسـبات را بـه‌صـورت سـاعتی بـرای تعیـین شـرایط داخلـی ساختمان انجام می‌دهند. ۳ بااستفاده از فایل اطلاعـات اقلیمـی شهر رشت بر اساس اطلاعات آب و هوایی تولید شده توسط نرم افزار Climate Consultant به بررسی اطلاعـات مربـوط بـه شدت روشنایی و میزان تابش خورشـید طـی یـک بـازه زمـانی چهارده‌ساله پرداخته شده است. باتوجه به اطلاعات بدست آمده از نرم افـزار Climate Consultant و بررسـی میـزان تـابش خورشید در منطقه مورد نظر زاویه بهینه تابش ۱۸۰-۲۸ درجـه

با توجه به طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه توسط نرم مشخص شده است. باتوجه به موارد گفته شده، می‌توان با درنظر داشتن زاویه بهینه تابش در ادامه به بررسی تاثیر آن در میزان نور پذیری کلاس‌های درس و طراحی سلول های فتوولتاییک و آنالیز آن پرداخت.

سلول فتوولتاییک

ورود فناوری‌های جدید موجب شده که اشکال مختلف انرژی-های تجدیدپذیر از لحاظ اقتصادی امکان‌پذیر و از دیدگاه بهره-وری سرمایه‌گذاری تضمین یافته باشند. بر طبق مطالعات، علی-رغم هزینه‌های اولیهٔ نصب، بهره‌برداری و جانشینی در مرحلهٔ تعمیر و نگهداری، تکنولوژی سبب می‌شود که استفاده از پنل-های خورشیدی فتوولتاییک در طی سال‌های آتی به درجه‌ای از عمومیت دست یابد که، بدون هر نوع حمایتی در همهٔ نقاط جهان، با صرفهٔ اقتصادی و فراتر از هرگونه تردیدی، به صورت تضمین شده بازده داشته باشد(۲۱). استفاده از انرژی های پاک در کشورهایی مانند ایران که تابش نور خورشید به طور سالانه بسیار بالاست یکی از بهترین روش های کاهش مصرف انرژی است. پنل های خورشیدی به عنوان یک فناوری و تکنولوژی برای تولید انرژی مورد نیاز افراد در ساختمان ها مورد استفاده قرار گرفته است. موانع اصلی توسعهٔ پنل‌های فتوولتاییک در ایران یارانه‌های انرژی‌های قابل توجه برای مصرف‌کننده هستند که منجر به کاهش تولید فناوری انرژی‌های پاک می‌شوند و بدین ترتیب مشکلات زیست‌محیطی ایجاد و بار مالی سنگینی را بر دولت تحمیل می‌کنند (۲۲). در این پژوهش به منظور بررسی میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های آموزشی در شبیه-سازی انرژی از سلول‌های فتوولتاییک استفاده شده است. باتوجه به ابعاد موجود در بازار و بامراجعه به کاتالوگ‌های شرکت های ایرانی در ادامه به معرفی کامل سلول فتوولتاییک استفاده شده در این پژوهش پرداخته می‌شود.



شکل۳- مشخصات سلول فتولتاییک استفاده شده در پژوهش

Figure 3. Specifications of the photovoltaic cell used in the research

جدول۲- مشخصات سلول فتولتاییک استفاده شده در پژوهش

Table 2. specifications of the photovoltaic cell used in the research

Typical electrical characteristics		
Models	YL10C-18b	YL12C-18b
Power tolerance (%)	±3	±3
Max. Power (pmax) (w)	10	12
Optimum operating voltage (vmp/v)	17.96	18.68
Optimum operating current (imp/a)	0.56	0.64
Open-circuit voltage (voc/v)	22.50	-
Short-circuit current (isc/a)	0.61	0.67
Cells efficiency (%)	17.4	19.05

*مشخصات تحت شرایط تست استاندارد (STC) به دست آمده است: ۱۰۰۰W/m²، Am 1.5، دمای سلول ۲۵°C

مطالعات میدانی

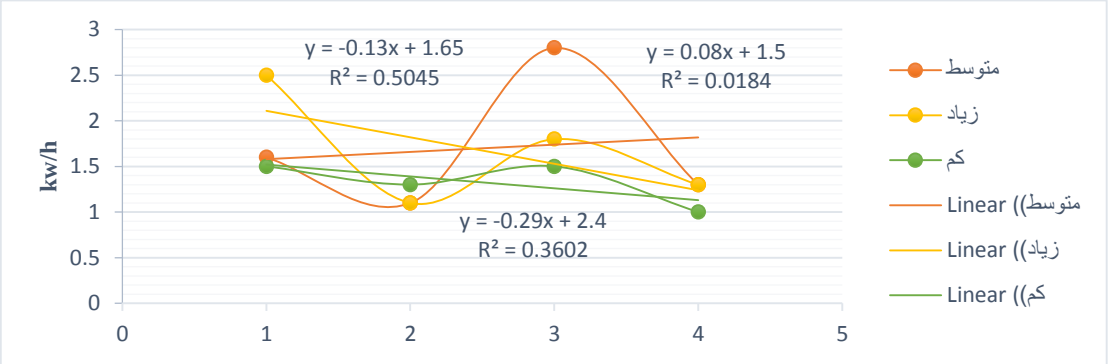
به منظور اعتبارسنجی نتایج به دست آمده از نرم افزار دیـزاین-بیلدر، میزان روشنایی در یک کلاس که پتانسیل ایجاد ایوان را دارد و کلاس مجاور آن که با یک دیوار مشترک از هم تفکیـک شده‌اند، ثبت شد. کلاس مـورد مطالعـه بـه ابعـاد ۳×۴ متـر بـه ارتفاع ۳ متر، در مجاورت کلاسی به همان ابعـاد و ارتفـاع واقـع شده است. کلاس ها در جبهه های جنوب و شمال سـاختمان و در دو طبقه واقع شده و تمامی آنها شامل ۲پنجره به ابعاد ۱×۱ متر است. تمامی پنجره ها دارای پرده هستند. برای برداشت از دو ثبت کننده لومیننس متر رنگـی TES ۱۳۷ و لـوکس متـر HS ۱۰۱۰ نیز به منظور ارزیابی شرایط نوری بهره گرفته شـد. در ساختمان مورد مطالعه با کـاربری آموزشـی، نسـبت حضـور افراد در ساعت‌های مختلف روز متفاوت است. سـاختمان مـورد مطالعه به‌طور معمول از روز شنبه تا چهارشـنبه هـر هفتـه و از ساعت ۷ الـی ۱۴ دارای فعالیـت مسـتمر مـی‌باشـد و روزهـای پنجشنبه به صورت متغیـر و باتوجـه بـه کـلاس هـای جبرانـی فعالیت دارد.

اعتبارسنجی

بحث مهم در شبیه سازی کامپیوتری، دقت داده‌های ورودی بـه نرم افزار و همچنین چگونگی تفسیر اطلاعات خروجی آن است. در مدلسازی، شرایطی از جمله: جهت‌گیری جغرافیایی کلاس‌ها، ابعاد دقیق کلاس‌ها، نسـبت مسـاحت بازشـو بـه سـطح دیـوار مشترک در نظر گرفته شد. اطلاعات ورودی نرم افزار هر چه بـا دقت بیشتری باشد، نتایج دقیق تری حاصل مـی شـود. بـا ایـن هدف، عوامل دیگری چون ویژگی مصالح دیوارهـا و پنجـره، در شبیه‌سازی لحاظ گردید. شبیه‌سـازی بـرای تنظـیم شـرایط بـا اطلاعات اندازه گیری شده، تحت آسمان صاف گرفته و بدون ابر انجام گرفت. در کالیبره کردن این مدل، همه شرایط مطابق بـا وضع موجود در نظر گرفته شد. برای کالیبره کردن نتایج شـبیه سازی با میزان اندازه گیری شده، مقدار شدت روشنایی به‌دست آمده از شبیه‌سازی کـلاس بـا مقـادیری کـه در برداشـت هـای میدانی توسط دو ثبت‌کننده نور به دست آمده بود، مقایسه شده و در صورت وجود مغایرت، اصلاحاتی در داده های ورودی نـرم افزار صورت پذیرفت و به این ترتیب، تکرار این فرایند تا رسیدن به نتایج یکسان ادامـه داشـت. بـه ایـن منظـور، دو روز آفتـابی (۱۲و۱۰) اردیبهشت با تابش تقریبا مشابه با فایل اطلاعات آب-وهوایی نـرم‌افـزار دیـالوکس انتخـاب شـد. روشـنایی حاصـل از دیالوکس به‌صورت ساعتی و روشنایی اندازه‌گیری به‌صورت بازه-های پانزده دقیقه‌ای بود، به همین دلیل روشنایی انـدازه‌گیـری شده به میانگین ساعتی تبدیل شـد. درصـد خطـای داده‌هـای شبیه‌سازی نسبت به داده‌ها اندازه‌گیری و محاسبه شد. با توجه به داده های به دست آمده از فرایند شبیه سازی و اندازه گیری تجربی، داده های شبیه سازی ۵/۲ درصد نسبت بـه داده هـای اندازه گیری دارای خطا می باشد کـه طبـق شـاخص یکدسـتی E_{min}/E_{avg} که ۶٪ است، از حداکثر مجاز کمتر می باشد و مـی تـوان بـه آن اسـتناد کـرد. بنـابراین، تغییـرات روشـنایی سـایر متغیرها با استفاده از نرم افزار دیالوکس محاسبه می شود.

میزان مصرف انرژی برق بر اساس قبوض

بر اساس نتایج حاصل از ممیزی انـرژی، مصـرف بـرق مدرسـه شامل مصـرف انـرژی بـرای سیسـتم‌هـای روشـنایی، سیسـتم سرمایش، موتورخانه و تجهیزات است که در ماه های گرم مورد بهره برداری حداکثر و در مـاه‌هـای تعطیلـی مدرسـه کـه تنهـا فضاهای اداری به صورت پاره وقت مورد استفاده قرار میگیرنـد، حداقل بوده است(شکل ۴). بیشترین مصرف برق در مدرسه نیز به سیستم‌های روشنایی اختصاص یافته است.



شکل۴- میزان مصرف انرژی برق در یک دوره یکساله

Figure 4. The amount of electricity consumption in a one-year period

مشخصات جزئیات مصالح مصرفی در ساختمان

باتوجه به بررسی مصالح استفاده شده در مدرسه مورد مطالعه (جدول ۳) باکمک نرم‌افزار دیالوکس به استخراج میزان بازتاب نور از سطح مصالح پرداخته شد. مصالح مورد بررسی در این پژوهش شامل؛ چوب، کاشی، بتن، آجر و گچ می‌باشد. که مطابق جدول زیر به برنامه داده شده است.

جدول۳- جزئیات مصالح و میزان بازتاب نور

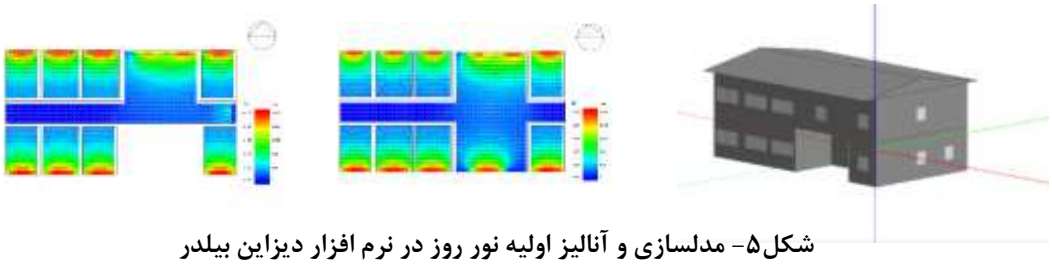
Table 3. Details of materials and the amount of light reflection

مصالح	محل استفاده	بازتاب	نور آبی	نور سبز	نور قرمز
فلز	قاب پنجره	۰/۱	۰/۱۹۵	۰/۴۱۵	۰/۶۴۰
کاشی	کف	۰	۰/۱۰۳	۰/۰۹۸	۰/۱۰۱
بتن	کف، سقف	۰	۰/۱۴۵	۰/۱۹۴	۰/۲۴۴
گچ سفید	دیوار، سقف	۰	۰/۶۳۳	۰/۷۰۶	۰/۷۲۶
آجر	دیوار	۰	۰/۰۹۷	۰/۱۵۵	۰/۳۶۴

یافته ها

شبیه سازی نور روز

ابتدا برای شبیه سازی ساختمان مدرسه و آنالیز میزان نور روز در کلاس‌ها از نرم‌افزار Design Builder استفاده شده است. برای مدلسازی مشخصات جغرافیایی شهر رشت، موقعیت و جهت‌گیری دقیق مدرسه مورد مطالعه به نرم‌افزار داده شد و باتوجه به پلان موجود و در نظر گرفتن ساعات فعالیت روزانه مدرسه به آنالیز میزان نور دریافتی در روز پرداخته شد. طبق آنالیز پلان طبقات محدوده نور وارد شده در کلاس ها بین lux ۲۴۲۹ -۱۴۵۹ است. که طبق مطالعات انجام شده از بازه حداکثری نور مورد نیاز در یک کلاس درس بیشتر است.



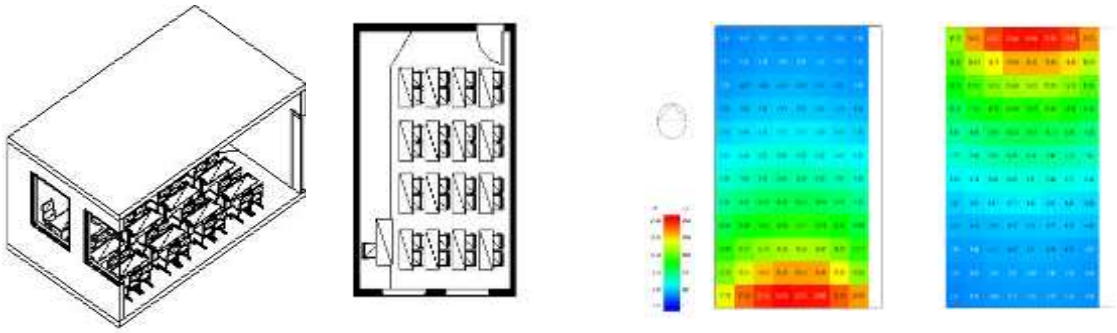
شکل۵- مدلسازی و آنالیز اولیه نور روز در نرم افزار دیزاین بیلدر

Figure 5. Modeling and basic analysis of daylight in Design Builder software

همانطور که در شکل شماره۸ آنالیز پلان مدرسه مشخص است، کلاس‌ها در طول روز از میزان نور دریافتی خوبی برخوردارانـد. اما نور وارده به فضای کلاس‌ها از عمق کمی برخورد است. ایـن میزان نور رسانی باتوجه به تعـداد پنجـره‌هـای موجـود در هـر کلاس نیز متغییر می‌باشد. در ادامه برای بررسی دقیق‌تر میـزان روشنایی کلاس‌ها با درنظر داشتن یک کلاس به عنوان نمونه به بررسی دقیق‌تر روشنایی فضای کلاس‌ها پرداخته می‌شود.

مشخصات هندسی کلاس مورد مطالعه

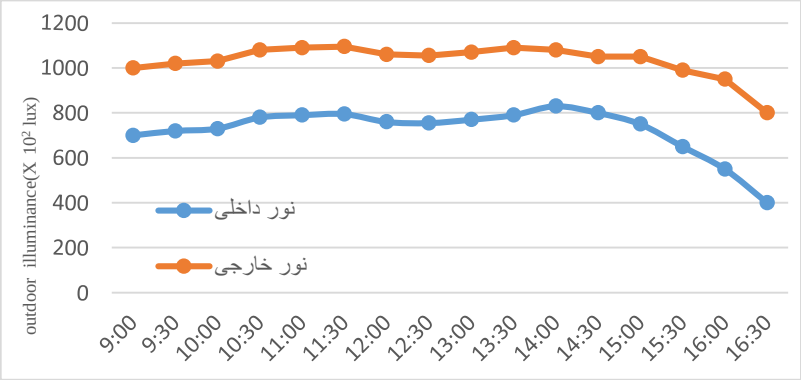
تابش آفتاب و عرض جغرافیایی و موقعیـت بسـتر طـرح و فضـا ازنظر همجواری‌ها و بدنه‌ها و ارتفاع بدنـه‌هـای کالبـدی جلـوی سطوح نورگیر بر عامل نور روز مؤثر است. مکان‌یـابی سـاختمان در محوطه، توجه به سایه انـدازی‌هـا، جهـت‌گیـری سـاختمان، جنس مصالح نازک کاری دیوارهای داخلی و اندازه و موقعیت و نوع شیشه سطوح نورگذر بر کیفیـت نـور روز فضـاهای داخلـی مؤثر است(۲۳). هندسه کلی کلاس مـورد مطالعـه در شـکل ۶ مشخص است. کلاس های مدرسه مورد مطالعه به طور میانگین دارای دو پنجره می‌باشد. باتوجه به آنالیز صورت گرفته در نـرم-افزار دیزاین بیلدر در شکل ۶ میزان نور وارد شده در کلاس بـه طور نسبی از کیفیت خوبی برخوردار است.



شکل۶- مدلسازی و آنالیز اولیه دو کلاس مورد مطالعه در دو جبهه شمال و جنوب در نرم افزار دیزاین بیلدر

Figure 6. Modeling and initial analysis of the two studied classes in the north and south fronts in Design Builder software

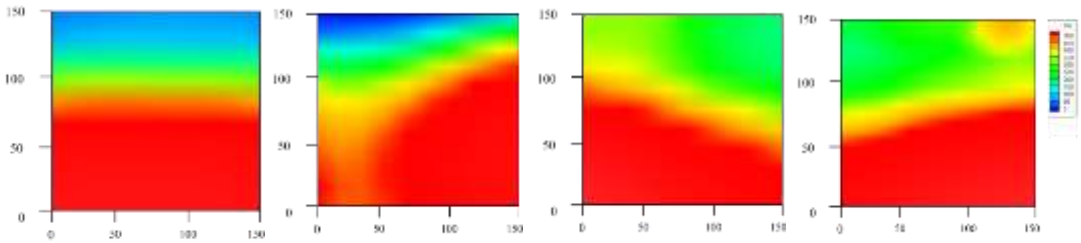
با این حال میزان نور رسانی در تمام نقاط کلاس یکسان نمی-باشد. شکل۷، میزان اندازه گیری سطح روشنایی فضای باز را در طول روز نشان می دهد. روشنایی فضای باز به تدریج از ساعت ۹:۰۰ تا ۱۲:۰۰ افزایش می‌یابد و در ساعت ۱۲:۰۰ به حداکثر ۱×۱۰^{۵} لوکس می‌رسد. سپس میزان روشنایی فضای باز از ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۵:۰۰ ثابت و از ساعت ۱۵:۰۰ به سرعت به کمترین مقدار از ۶×۱۰^{۴} لوکس در ساعت ۱۶:۳۰ کاهش می-یابد.



شکل۷ - روشنایی فضای باز و فضای داخلی از۹ صبح تا ۱۶:۳۰ عصر

Figure 7. Outdoor and indoor lighting from 9 am to 4:30 pm

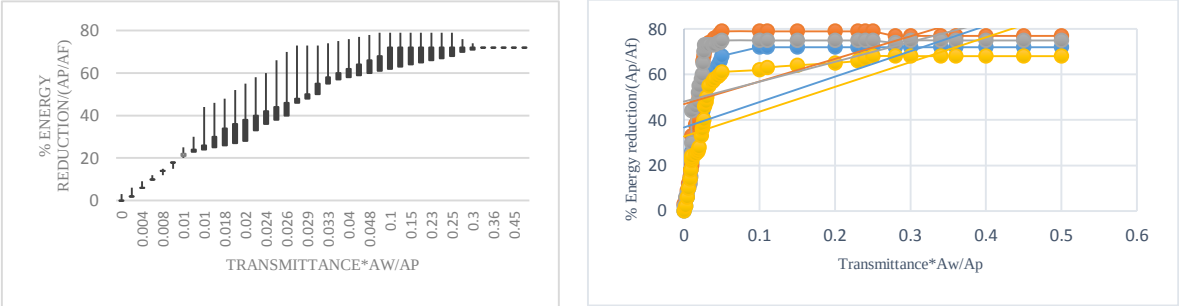
شکل ۸توزیع روشنایی نور روز فضای داخل کلاس را در چهار دوره زمانی توسط نرم افزار دیالوکس اندازه گیری شده نشان می دهد. در طول ساعت ۹:۰۰ تا ۱۰:۳۰، میانگین روشنایی داخلی ۳۷۳ لوکس، در حالی که روشنایی فضای باز ۸۸۴۰۰ لوکس بود. با افزایش روشنایی در فضای باز، میانگین روشنایی داخلی در طول ساعت ۱۱:۰۰-۱۲:۳۰ به حدود ۳۹۷ لوکس افزایش یافت. در طول ساعت ۱۳:۰۰ تا ۱۴:۳۰، اگرچه روشنایی فضای باز کمی کمتر بود، اما میزان روشنایی داخل ساختمان هنوز بد نبود و میانگین روشنایی داخلی ۳۶۰ لوکس بود. پس از ساعت ۱۵:۰۰، روشنایی فضای باز به سرعت کاهش یافت که منجر به کاهش سریع روشنایی داخلی شد (متوسط روشنایی داخلی ۲۵۴ لوکس).



شکل۸- آنالیز نور روز کلاس ها در نرم افزار دیالوکس

Figure 8. Daylight analysis of classrooms in Dialux software

شکل۹ توزیع روشنایی اندازه گیری شده را در طول چهار دوره اندازه گیری نشان می دهد. سه دوره اندازه گیری اول دارای توزیع روشنایی مشابهی هستند. روشنایی بیش از ۸۰ درصد بالاتر از ۲۰۰ لوکس بود. در حالی که بعد از ساعت ۱۵:۰۰ تقریباً به ۴۰ درصد کاهش یافت.



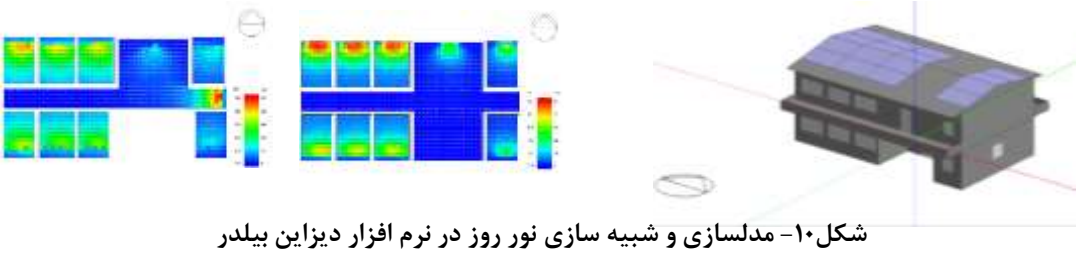
شکل ۹- روشنایی فضای داخلی بر اساس آنالیز نوری

Figure 9. Interior lighting based on optical analysis

باتوجه به نمودار۳، تا ساعت ۱۵:۰۰ باتوجه به بالا بودن میزان روشنایی در شرایط فعلی ساختمان، شاهد بیشترین میزان خیرگی خواهیم بود. درنتیجه برای جلوگیری از خیرگی در کلاس درس، مجبور به استفاده از نور مصنوعی و فیلتر نور طبیعی توسط پرده ها خواهیم بود.

نتایج شبیه سازی روشنایی

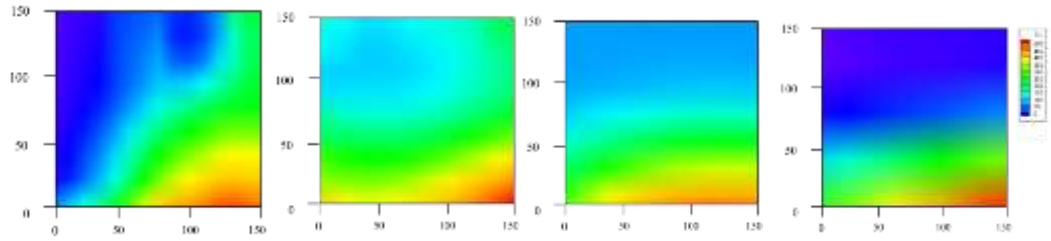
مدل ساختمان توسط نرم افزار دیزاین بیلدر ساخته شد و سپس شبیه سازی نور روز با استفاده از موتور انرژی پلاس انجام شد. باتوجه به مبانی مورد بررسی در پژوهش، برای مدل شبیه سازی شده در طبقه اول براساس عناصر بومی معماری گیلان ایوانی سرتاسری در نظر گرفته شد. همچنین باتوجه به زاویه تابش منطقه مورد مطالعه و بررسی زاویه بام مدرسه، از سلول-های فتوولتاییک در سقف استفاده شده است. چهار نقطه زمانی (۱۱:۰۰، ۱۱:۳۰، ۱۲:۰۰ و ۱۲:۳۰) برای دوره اندازه گیری در اول مهرماه با شرایط آسمان صاف به عنوان شرایط آب و هوایی استفاده شد.



شکل۱۰- مدلسازی و شبیه سازی نور روز در نرم افزار دیزاین بیلدر

Figure 10. Daylight modeling and simulation in Design Builder software

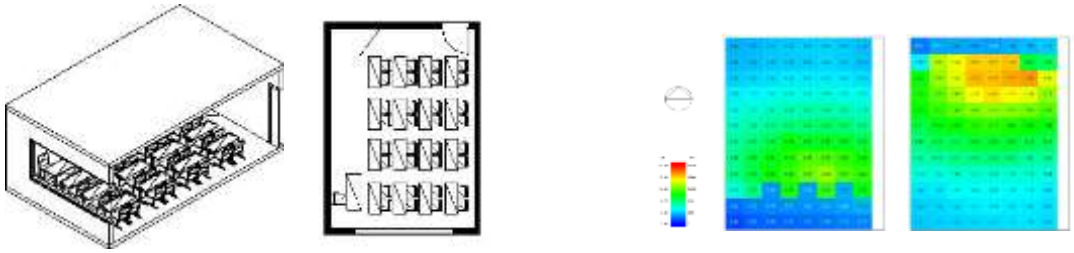
همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، استفاده از فضای ایوان نه تنها در کاهش میزان خیرگی کلاس های طبقه اول بسیار موثر بوده است، همچنین به مانند سایبانی برای طبقه اول عمل کرده و در کاهش خیرگی نور در کلاس های طبقه همکف نیز موثر بوده است. در طبقه اول علاوه بر ایوان سلول های فتوولتاییک بسیار در میزان نور پذیری کلاس ها موثر بوده و در مقایسه با طبقه اول نور پذیری بهتری را شاهد هستیم. از عوامل موثر دیگر در بهبود نور پذیری کلاس ها می‌توان به تغییر ابعاد پنجره ها اشاره کرد. همانطور که ابتدا در شکل۶ نشان داده شد، این مدرسه در هر کلاس داری ۲ پنجره می-باشد. باتوجه به فضای کلاس ها که ابعادی نزدیک به ۶× ۵ می-باشد و فضایی نسبتا کوچکی دارد، در شبیه سازی آن دو پنجره به یک پنجره با همان ابعاد تبدیل شد. عملکرد روشنایی روز داخل کلاس ها شبیه سازی و با داده های تجربی مقایسه شد.



شکل۱۱- آنالیز نور روز کلاس های شبیه سازی شده در نرم افزار دیالوکس

Figure 11. Daylight analysis of classrooms in Dialux software

دو شکل ۱۰ و۱۲ توزیع روشنایی روز شبیه سازی شده را در بازه زمانی ۱۱:۰۰-۱۲:۳۰ نشان می دهد. توزیع روشنایی در این بازه زمانی تقریباً ثابت بود و روشنایی در بیشتر مناطق بالای ۲۰۰ لوکس بود که نشان‌دهنده عملکرد خوب روشنایی روز در کلاس ها بود. در کلاس شبیه سازی شده یک پنجره با ابعاد کاملا یکسان با دو پنجره قبلی جایگزین شده و در نور پذیری کلاس ها بسیار موثر بوده است. در مقایسه با شکل ۱۱، میزان خیرگی کلاس‌ها تا حداقل قابل توجهی کاهش یافته است.



شکل۱۲- مدل سازی و آنالیز شبیه سازی دو کلاس مورد مطالعه در دو جبهه شمال و جنوب در نرم افزار دیزاین بیلدر

Figure 12. Modeling and simulation analysis of the two studied classes in the north and south fronts in Design Builder software

جدول ۴ بازتاب پوشش ساختمان و ضریب عبور قابل مشاهده سلول‌های فتوولتاییک، پنجره های جانبی و فیلتر نور از طریق ایوان را نشان می دهد که برای شبیه سازی نور روز استفاده شده اند. با توجه به استاندارد طراحی نور ساختمان ها، مقادیر بازتاب کف، دیوارهای داخلی و سقف به ترتیب، ۱۰ ٪ - ۵۰٪، ۳۰ ٪- ۸۰٪، و ۶۰٪ - ۹۰٪ توصیه می شود. از این رو، مقادیر بازتاب کف، دیوارهای داخلی و سقف برای شبیه‌سازی به ترتیب ۳۵، ۷۰ و ۸۰ درصد برآورد شد. مشخصات طراحی ارائه شده توسط طراح، ضریب عبور قابل مشاهده ۴۵٪ برای پنجره های جانبی، فیلتر نور از طریق ایوان و ۲۵٪ سلول های فتوولتاییک را بیان می کند.

جدول۴- بازتاب و ضریب عبور

Table 4. Reflection and transmission coefficient

Parameters used for the illuminance simulation			
REFLECTANCE		Visible transmittance	
Floor	35%	Daylighting panel	25%
Interior wall	70%	Side window	45%
Ceiling	80%	Porch	45%

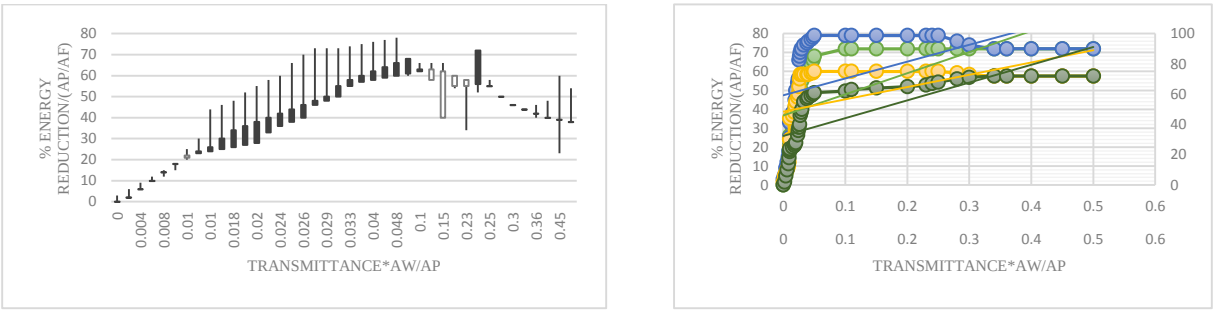
با توجه به استاندارد طراحی نور ساختمان ها، نیاز به روشنایی میزکار فعالیت های مختلف فرآیندی متفاوت دارد. جدول ۵ سطوح روشنایی را برای کاربری های مختلف، عملکردها و الزامات استاندارد مربوطه خلاصه می کند. در طول چهار دوره اندازه گیری، درصد روشنایی بالاتر از سطح استاندارد به ترتیب ٪۷۶، ٪۶۸، ٪۸۴ و ٪۶۳ بود. این بدان معنی است که حداقل روشنایی بیش از ٪۳۳,۳ از فضای آموزشی می تواند نیاز را در طول روز فقط با روشنایی روز برآورده کند، که نشان دهنده پتانسیل صرفه جویی در انرژی با استفاده از نور روز است.

جدول۵- توزیع روشنایی نقاط اندازه گیری شده در هر ناحیه کاری

Table 5. Brightness distribution of measured values in each working are

The illuminance distributions of the measured points in each work area					
Educational facilities					
	Medium light intensity (Lux)	The minimum color rendering index value	Maximum amount of UGR	Recommended color temperature (Kelvin)	Brightness percentage
Classrooms in elementary and middle schools	300	80	19		76%
High school classroom	500	80	19		76%
Seminar hall	500	80	19		12%
on the blackboard	500	80	19		36%
display table	500	80	19		31%
Art room	750	90	19		68%
Workshop and laboratory	500	80	19		45%
Room and practice and music	500	80	19		43%
Computer training room	500	80	19	4000	36%
Language Lab	300	80	19		63%
Entrance Hall	200	80	22	6500	84%
corridors	100	80	25	6500	33%
the staircase	150	80	25	6500	21%
teachers room	300	80	22	4000	57%

در آخر شکل۱۳ توزیع روشنایی اندازه گیری شده را در طول چهار دوره اندازه گیری نشان می دهد. اینبار اندازه گیری در مدل شبیه سازی شده و با رعایت فاکتورهای گفته شده صورت پذیرفته است. همچنان روشنایی بیش از ۸۰ درصد و بالاتر از ۲۰۰ لوکس است. با این تفاوت که در بازه زمانی ۱۲:۰۰- ۱۵:۰۰ با وجود ایوان، از شدت خیرگی نور وارد شده در کلاس کاسته شده است و دیگر نیاز به جلوگیری از ورود نور روز و جایگزینی نور مصنوعی نداریم. نتایج نمودار ها نشان میدهد در بازه زمانی مشخص شده انرژی مصرفی ساختمان مدرسه در مقایسه با نمودارهای قبلی کاهش داشته است و این نشان می-هد بررسی های صورت گرفته درست و در جهت کاهش مصرفی انرژی انجام گرفته است.



شکل ۱۳- روشنایی فضای داخلی شبیه سازی شده براساس آنالیز نوری

Figure 13. Simulated indoor lighting based on optical analysis

نتیجه گیری

نتایج بدست آمده بر اساس توجه به تأثیر نور روز بر روی عملکرد دانش‌آموزان در فضاهای آموزشی و سلامتی آنها که در بخش های قبل به آن اشاره شد با درنظرگرفتن این موضوع و باتوجه به اهمیت نور روز در بهبود کیفیت محیطی، بررسی عوامل مختلفی مانند جهت‌گیری ساختمان، ابعاد فضا و تأثیرات بصری و غیر بصری پنجره های کلاس‌ها، وجود ایوان و یا تراس‌ها، سلول های فتوولتایک بر کیفیت روشنایی در شهر رشت، به منظور بهره گیری از نور روز مناسب، موردنظر این نوشته بوده است. به این منظور ابتدا با بررسی عوامل موثر بر کیفیت نور روز در فضاهای آموزشی و بررسی یک مدرسه در شهر رشت، که شهری پر باران و دارای شدت تابش کمتری نسبت به دیگر شهرهای استان گیلان می‌باشد، میزان روشنایی کلاس‌ها توسط نرم‌افزار دیالوکس بررسی و در نهایت باتوجه به مطالعات اولیه در زمینه معماری سبز و همچنین معماری بومی گیلان به الگویی پیشنهادی برگرفته از معماری بومی شهر رشت پرداخته شد. ایوان عنصری همیشگی در معماری بومی گیلان است. از این‌رو با پیشنهاد ایجاد ایوان در جداره نورگیر کلاس‌ها و همچنین بهره گیری از سلول فتوولتاییک سعی در اثبات کارایی آن‌ها در ساختمان‌های آموزشی مطرح شد. در ابتدا با درنظر گرفتن یکی از کلاس‌های مدرسه به عنوان نمونه به آنالیز نور دریافتی در روز پرداخته شد. بررسی انجام شده نشان می‌دهد نور طبیعی وارد شده توسط پنجره‌ها نمی‌تواند به میزان قابل توجهی در روشنایی کلاس‌ها موثر باشد بعلاوه نور وارد شده ایجاد خیرگی بسیاری دارد. از این رو در ادامه با در نظر داشتن یک فرورفتگی در جداره نورگیر و ایجاد ایوان به آنالیز مجدد کلاس پیشنهادی پرداخته شد. خروجی های نرم‌افزار نشان می‌دهد حضور یک ایوان با عمقی کم می‌تواند در ایجاد فیلتری برای جلوگیری از ورود شدت زیاد نور و ایجاد خیرگی در فضا بسیار موثر باشد. جدای از رفع خیرگی در فضا، باعث ورود روشنایی استاندارد و پخش یکسان نور در فضای کلاس می‌شود. درصورتی که کلاس‌های کنونی به میزان قابل توجهی منبع نور مصنوعی نیاز دارند. همچنین آنالیزها نشان میدهد در طبقه اول باتوجه به استفاده از سلول‌های فتوولتاییک، نور رسانی بیشتری را شاهد هستیم. از این‌رو میتوان با الگوبرداری صحیح از معماری بومی گیلان خصوصا معماری بومی شهر رشت و بهره گیری از زاویه بهیه سلول های فتوولتاییک در کاهش مصرف برق ساختمان‌های آموزشی این شهر قدم برداشت. باتوجه به مطالب گفته شده در پژوهش، بیشترین میزان مصرف برق در ساختمان‌های آموزشی به روشنایی اختصاص پیدا می‌کند. در نتیجه استفاده از نور طبیعی می‌تواند میزان قابل توجهی مصرف برق را کاهش داده و در کیفیت فضاهای آموزشی و همچنین سلامت دانش‌آموزان نیز موثر باشد.

References

1. Zainalzadeh, Tanaz, Nikgadham, Nilofar, Fayaz, Rima, 1400, typology of residential areas of Tehran based on the daylight index in the building, new attitudes in human geography, 738-753

2. Mohammadi, Firoze, Mofidi Shemirani, Seyed Majid, Tahbaz, Mansoura, 2019, review and analysis of the effectiveness of dynamic indicators for evaluating daylight performance (daylight adequacy and useful daylight brightness) through sensitivity analysis, case study: elementary classroom in Tehran, Utopia architecture and urban planning, 145-156
3. Heschong Mahone Group. 2003. Windows and Offices: A Study of Office Worker Performance and the Indoor Environment. California Energy Commision 37 (4): 414–435.
4. Fadaei Ardestani, Mohammad Ali, Naseri Mubaraki, Haider, Ayatollahi, Mohammad Reza, Zamardian, Zahra Sadat, 2017, evaluation of daylight and glare in classrooms using dynamic indicators, a case study: Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Beheshti University, Sofe., 25-40
5. Fathi, Reza, Karimi, Shahab, Nazimi, Elham, Shababi, Amir Hossein, 2021, analysis of perception and visual comfort in thatched buildings in relation to daylight, new attitudes in human geography, 852-868
6. Kargar, Sara, Mahmoudi Zarandi, Mahnaz, Khak Zand, Mehdi, 2019, Investigating the effect of effective functional components in window design of practical classes with emphasis on optimal use of daylight reflection in Tehran, Hoyt Shahr, No. 47, 73-88
7. Zare, Faezeh, Haydari, Shahin, 2014, architectural design using natural light approach in library design for Tehran city, Hoyt Shahr, No. 9, 55-64
8. Mofidi Shemirani, Majid, Pournasseri, Shahnaz, 2013, Modeling the extent and manner of the effect of window physical variables on the proper use of daylight in middle school classes in Tehran, Education Technology Journal, No. 1
9. Pourahmadi, Mahbobeh, Khanmohammadi, Mohammad Ali, Mozafar, Farhang, 2017, evaluation of glare indicators in educational buildings in hot and dry climates, Architectural and Urban Design Letter
10. Imani, Fatemeh, Movahed, Khosrow, 2016, measuring the effectiveness of natural light on reducing students' stress in educational spaces, Education Technology Journal, No.1
11. Maroufi, Nada, Mahdovinejad, Mohammad Javad, Moradi Nasab, Hossein, 2019, evaluation of the effect of window form on the light quality of educational spaces in the climate BWK, Journal of Climatology Research, No. 43, 127-142
12. Pourahmadi, Mahbobeh, Khanmohammadi, Mohammad Ali, Mozafar, Farhang, 2018, optimization of building openings based on the performance of blinding in educational buildings in hot and dry climates of Iran (case study: university buildings in Yazd city), architecture and sustainable urban development
13. Khatibi, Ashkan, Shahbazi, Majid, Torabi, Zohra, 1401, evaluation of lighting intensity in office spaces and providing an interventional solution to reduce glare in them (case study: an office building in Tehran), Sustainable Urban Architecture, No. 2
14. Nikzad, Amirmohsen, Malek, Nilufar, Ghafari, Abbas, 2019, Evaluation of the conditions of variables affecting

visual and optical comfort in educational spaces of Shahrood University of Technology, Naqsh Jahan, No. 3

15. Jafari Sote, Marzieh, Rostami, Rahela, Mozaffari Ghadikalai, Fatemeh, 1401, a review of rating systems for green buildings with a sustainable architecture approach, Islamic Art Studies Journal, No. 43
16. Majrohi Sardroud, Javad, Haji Agha Zaregi, Hossein, Cheharzad, Mohammad, 1396, evaluation of green building rating criteria in the proposed world standards and a proposal for the preparation of Iranian standards, Journal of Civil and Environmental Engineering, No. 4
17. Akhlaghi, Mohammad Mehdi, Kamran Kosmai, Haditha, 2019, investigation of energy saving methods in green residential buildings, architecture
18. Aminpour, Taghi, Gholam Alizadeh, 2013, Sustainable construction in connection with the native architecture of Gilan, the 4th International Conference on New Approaches in Energy Conservation
19. Gurji Mahlbani, Yusef, Yaran, Ali, 2009, Gilan's Sustainable Architecture Solutions along with Comparison with Japanese Architecture, Fine Arts Magazine
20. Gurji Mahlbani, Youssef, Daneshvar, Kimia, 2009, The influence of climate on the formation of traditional architectural elements of Gilan, Armanshahr, 135-145
21. Hafezi, Mohammadreza, 1395, Economic study of solar panels, case example: educational buildings in Kashan city, sofe
22. Fahmideh, Vahid, Sharadi, Faramarz, Hedayatizadeh, Mehdi, Sobhnamayan, Fatemeh, 1400, Investigating the thermal performance of solar dryers in greenhouses equipped with photovoltaic cells and phase change material, Amirkabir Mechanical Engineering Journal
23. Kargar, Sara Sadat, Mahmoudi Zarandi, Mahnaz, Khak Zand, Mehdi, 2019, Investigating the effect of effective functional components in window design of practical classes with emphasis on optimal use of daylight reflection in Tehran, City Identity
24. J. Ye, Cosine similarity measures for intuitionistic fuzzy sets and their applications, Mathematical and Computer 53 (2011) 91–97.