نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی
سال یازدهم | شماره چهل و سوم | پاییز ۱۳۹۹
وصول: ۹۹/۰۳/۲۵ پذیرش: ۹۹/۰۶/۱۸
صص ۱۴۲-۱۲۷

ارزیابی تاثیر فرم پنجره در کیفیت نور فضاهای آموزشی در اقلیم BWk

ندا معروفی[۱]، محمدجواد مهدوی نژاد*[۲]، حسین مرادی نسب[۳]
۱- دانشجوی دکتری گروه معماری، واحد سمنان، دانشگاه آزاداسلامی، سمنان، ایران
۲- دانشیار گروه معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳ - استادیار گروه معماری، واحد سمنان، دانشگاه آزاداسلامی، سمنان، ایران

چکیده

فرم پنجره عاملی تعیین کننده در انتقال نور روز به فضاهای داخلی کلاس های آموزشی است. مطالعات گذشته نشان می دهد که نور روز بر سلامت جسمی و آرامش روانی دانش آموزان تاثیرگذار است و همچنین بهترین فرم پنجره، مستطیل شکل افقی است و در جبهه جنوبی جهت جلوگیری از خیرگی و فراهم آوردن شرایط آسایش به استفاده از سایبان تاکید شده است.در استانداردهای طراحی تاکید شده که استفاده از نور روز ضروری است و افزایش میزان درخشندگی سطح میز مطالعه می تواند باعث پدیده خیرگی شود. هدف اصلی این پژوهش که ارزیابی تاثیر فرم پنجره در کیفیت جذب نور فضاهای آموزشی در اقلیم BWk .بر اساس روش شناسی پژوهش، «ابعاد» و «فرم پنجره» متغییر مستقل، شاخص های «روشنایی» و «خیرگی» متغییر وابسته و ارتفاع کف «پنجره از کف زمین» و «مصالح» متغییر کنترل می باشد. پژوهش حاضر، کاربردی و روش تحقیق توصیفی – تحلیلی می باشد. برای نمونه آزمون، یک کلاس درس با پنجره هایی رو به جنوب در شهر سمنان با پلاگین های هانی بی، هانی بی پلاس و لیدی باگ مورد مطالعه قرار می گیرند. در مرحله بعد دانشجویان و اساتید با استفاده از پرسشنامه، نظر خود را درباره کیفیت نور روز بیان می کنند. یافته های به دست آمده از مقایسه نتایج آنالیزهای نرم افزاری، نشان می دهد که در برخی مدل ها در ساعت ۱۱صبح، میز مطالعه در بازه طیف آزار دهنده نور قرار می گیرند. نتایج پژوهش نشان می دهد که پنجره هایی با ارتفاع ۱۸۰سانتی متر در فرم های مختلف از نظر خیرگی، شرایط نا محسوس را دارد و نشان می دهد تغییر در چیدمان صندلی و تابلو می تواند مانند فرم پنجره ها موثر باشد. نتایج همچنین تاکید دارند که الگوی پشنهادی توسط سازمان توسعه و تجهیز مدارس ایران، از نظر بصری در اقلیم BWk کارآیی کافی ندارد.

کلید واژه‌ها: فضاهای آموزشی، اقلیم BWk ، فرم پنجره ، ارزیابی روشنایی طبیعی، خیرگی.

* نویسنده مسئول: ۰۲۱۸۲۸۸۳۷۳۹ Email: mahdavinejad@modares.ac.ir

مقدمه

مروری بر معماری سنتی اقلیم BWk مانند شهر سمنان نشانگر اهمیت «جهت گیری کلی ساختمان» در «کنترل تابش خورشید» است. «فشردگی در پلان» باعث می شود تا سطوح کمتری در برابر آفتاب قرار گیرند (Fallahtafti & Mahdavinejad, 2015). مطالعات صورت گرفته در معماری سنتی ایران در اقلیم BWk گویای آن است که ساختمان ها اغلب با جهت گیری به سمت «جنوب و جنوب شرق» ساخته می شدند تا انرژی تابشی خورشید در تابستان و زمستان به صورت بهینه دریافت شود. (Faizi et al., 2011) در آموزه های معماری بومی در اقلیم بیابانی، بکارگیری «مصالح با رنگ روشن» مانند کاه گل و یا گل و خاک با هدف افزایش سپیدایی (آلبیدو) و در نتیجه انعکاس نور خورشید به خوبی قابل مشاهده می باشد. معماری اقلیم بیابانی و نیمه بیابانی در ایران سرشار از نمونه هایی است که در آن ها عناصری مانند «ایوان» برای کنترل تابش مستقیم و یا هدایت نور خورشید به کار گرفته شده اند. (Eskandari et al., 2018) انتخاب رنگ بخش های مختلف ساختمان در شهرهای حاشیه کویر در ایران، تا حد قابل توجهی تحت تاثیر تابش خورشید و کنترل آن بوده است. (Ghasempourabadi et al., 2012) تمامی این موارد نشان دهنده آن است که در معماری سنتی ایرانی در اقلیم بیابانی، تاثیر «جهت گیری ساختمان» و کنترل «تابش خورشید» و خیرگی و حرارت ناشی از آن، از جایگاه ویژه ای برخوردار است. (Ghamari, 2019)

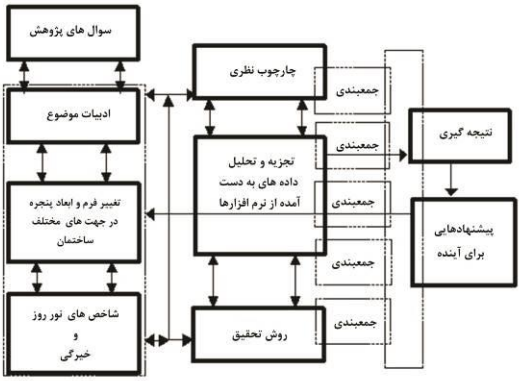
مطالعه تاثیر ««فرم پنجره» بر نور روز موضوعی بسیار مهم و اساسی است که پیشینه پژوهش در اقلیم های دارای تابش آفتاب زیاد مانند اقلیم BWk از جایگاه ویژه ای برخوردار است. فرم پنجره عاملی تعیین کننده در انتقال نور روز به فضاهای داخلی کلاس های آموزشی است. مطالعات صورت گرفته نشان دهنده آن است که استفاده از نور روز بر سلامت جسمی و آرامش روانی دانش آموزان تاثیرگذار است. از این رو در استانداردهای طراحی فضاهای آموزشی، ضرورت استفاده از نور روز تاکید شده است. از سوی دیگر، افزایش میزان درخشندگی سطح میز مطالعه دانش آموزان می تواند باعث پدیده خیرگی یا چشم زدگی شود. آخرین مطالعات صورت گرفته (Heschong, 2002) در مدارس مختلف جهان نشان داد که عملکرد تحصیلی دانش آموزان در کلاس هایی که بیشتر از نور روز استفاده می کنند، بالاتر از سایر دانش آموزان است. پنجره در کلاس های درس، نقش مهم دیگری نیز بر عهده دارد و آن «تعامل با محیط» و «آسایش دیداری» است. بر اساس استانداردهای مشهور پایداری، تعامل با محیط و آسایش دیداری، به اندازه بهره-وری و مصرف هوشمندانه انرژی دارای اهمیت است. (Mahdavinejad et al., 2014) میزان درخشندگی سطح میز در کلاس های درس، متغییری بسیار مهم است (Piparsania et al., 2020) و در نتیجه لازم است در فرآیند طراحی و اجرای آثار معماری به دقت مورد کنترل قرار گیرد. (Motazedian et al., 2016)

نور روز بر سلامت افراد نیز بسیار موثر است و اثرات فیزیکی مستقیمی بر روی ساکنین دارد. ادبیات نظری و منابع معتبر بر جایگاه دسترسی به نور روز و چشم انداز به عنوان فاکتورهای اصلی محیط سالم تاکید دارند. (Mohtashami et al., 2016)

مطالعات صورت گرفته بر نشان می دهد که دسترسی به نور روز به عنوان عامل کلیدی در ضوابط و استانداردهای طراحی مورد توجه قرار گرفته اند. (Pilechiha et al., 2020) مطالعات صورت گرفته در حوزه ارگونومی انسانی نشان دهنده آن است که ساختمان هایی که از نور روز به صورت بهینه استفاده می کنند، (Lin et al., 2020) در عمل در تضمین «سلامت» کاربران خود موفق تر عمل کرده اند. (Mahdavinejad & 2017) 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. ماده ۷ تاکید دارد تابلو یا تخته کلاس درس لاز است در محلی با نور کافی نصب شود. ترجیح دارد که به رنگ سبز تیره (مات) باشد تا چشمزدگی و خیرگی در آن به حداقل کاهش یابد.

ماده ۲۲ استفاده کلاس از نور طبیعی را توصیه کرده، تاکید می کند که پنجره‌ها در سمت چپ دانش‌آموزان نصب شوند. ۳۰۰ لوکس، حداقل شدت روشنایی مورد نیاز در کلاس درس است. این میزان برای راهروها حداقل ۱۰۰ تا ۱۵۰

لوکس، و برای رختکن، توالت و دست‌شویی‌ها حداقل ۵۰ تا ۱۰۰ لوکس پیشنهاد شده است.



نمودار ۱- فرایند تحقیق

جدول ۱- مهمترین تحولات در پیشینه پژوهش و دستاوردهای آن

محقق	سال	عنوان مقاله	نتیجه گیری
عظمتی و همکاران	۱۳۹۶	نقش نور روز و چشم انداز طبیعی بر کاهش استرس در فضاهای آموزشی	نور طبیعی و چشم انداز محیط مانند تناسبات ، ابعاد و محل قرارگیری پنجره ها ، میزان نور طبیعی و چشم انداز در فضاهای آموزشی ، عوامل محیطی موثر برافراد می باشد که به کاهش استرس و افزایش آرامش در افراد کمک شایانی می کند .
صفربیرانوند و شریفی	۱۳۹۷	تأثیر فرم پنجره بر میزان دریافت نور روز و کاهش مصرف انرژی دربخش مسکونی نمونه موردی : جهت اقلیمی شمال شرقی-جنوب غربی خرم آباد	بهترین فرم پنجره در بخش مسکونی در خرم آباد ، مستطیل شکل افقی با ارتفاع از کف و فاصله راس حدود ۸۰ سانتی متربا شیشه معمولی می باشد و بعد از آن فرم پنجره مستطیلی افقی و نزدیک به سقف با شیشه معمولی است . پنجره های مربع شکل با okb و فاصله از راس مشابه پنجره های مستطیل شکل در این اقلیم روشنایی مطلوب را فراهم نمی کند
فدایی اردستانی و همکاران	۱۳۹۷	ارزیابی نور روز و خیرگی در کلاس های درس با استفاده از شاخص های پویا مطالعه موردی : دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی	با در نظرگیری دو هدف دریافت نور روز مناسب و عدم خیرگی و تاثیر طراحی ساپبان بر شرایط آسایش بصری ، به این نتیجه دست یافته اند که کلاس هایی که در شمال شرقی قرار دارند بهترین شرایط آسایش بصری و کلاس های جنوبی نیاز به ساپبان جهت فراهم کردن نور روز مناسب و جلوگیری از خیرگی الزامی می باشد .
المصراتی و همکاران	2018	بهینه سازی طراحی سیستم های سایه بان خورشیدی ساختمان های اداری گرمسیری .	به بررسی نفوذ نور خورشید و صرفه جویی در انرژی از طریق شبیه سازی پنجره ها در نما و تغییر میزان عمق و جهت چرخش حفره ها ی موجود بر روی پنجره ها در اقلیم گرمسیری پرداخته اند ودر نهایت به بهترین شکل پنجره ، جهت صرفه جویی در انرژی دست یافتند .
فهیمه معتضدیان	2019	تحلیل نسبت بهینه ای از پنجره به دیوار ، درپنجره بصورت افقی و بصورت عمودی در تهران .	هدف از این مقاله ، تعیین نسبت تقریبی پنجره به دیواره برای کلاسهای جنوب و شمالی با استفاده از روش شبیه سازی است ، مساحت پنجره یا نسبت پنجره به دیوار متغیر مهمی است که بر عملکرد انرژی یک ساختمان تأثیر می گذارد .نتایج این مطالعه نشان داد که پنجره های افقی در مقایسه با ویندوزهای عمودی دارای انرژی بیشتری هستند .علاوه بر این ، بهترین WWR ، با توجه به انرژی بار حرارتی ، در نمای جنوبی ۲۵٪ در ویندوزهای عمودی و ۳۵٪ در ویندوزهای بصورت افقی گسترش یافته است .
پیله چی ها و همکاران	2020	چارچوب بهینه سازی چند هدفی برای طراحی پنجره های اداری : کیفیت دید ، نور روز و بهره وری انرژی	در تحقیقات خود به شبیه سازی یک اتاق اداری با هدف بهینه سازی چند هدفی برای طراحی پنجره های اداری از نظر کیفیت دید ، نور روز و بهره وری انرژی پرداخته که مدل بهینه سازی نشان می دهد که هندسه اتاق باید تغییر یابد تا به الزامات روشنایی و نمای مقرر در استانداردهای عملکرد ساختمان برسد .نتایج تحقیق بر لزوم پیکربندی سیستم پنجره تأکید می کند.

هدف اصلی این پژوهش ارزیابی تاثیر فرم پنجره در کیفیت جذب نور فضاهای آموزشی در اقلیم BWk در نمونه موردی شهر سمنان می باشد. پرسش های پژوهش عبارتند از:

- با توجه به ثابت بودن ارتفاع و ابعاد کلاس های آموزشی، تغییر فرم (ابعاد پنجره) کلاس چه تاثیری در کیفیت جذب نور روز طبیعی دارد؟
- با رویکرد هدایت طراحی کلاس های درس در اقلیم BWk، چه مواردی را می توان برای افزایش کیفیت نور روز در ین کلاس های درس پیشنهاد داد؟

مواد و روش ها

یکی از مهمترین متغییرها برای سنجش کیفیت نور روز در سطح میز مطالعه دانش آموزان، لوکس (lux) که یکای آن در در واحد SI به صورت تقسیم شارنوری بر واحد سطح (lm/m2) تعریف می‌شود. لوکس مقیاسی است برای سنجش «شدت نور» که توسط چشم انسان درک می‌شود. یک لوکس برابر با یک لومن بر متر مربع است. بر اساس «فیزیک چشم»، حساسیت چشم انسان به طول موج‌های متفاوت، متفاوت است. از این رو در محاسبه لوکس بر

اساس در علم «نورسنجی»، به هر طول موج یک وزن معین داده می‌شود. تاثیر متفاوت طول موج های مختلف نور بر چشم انسان باعث می شود تا در محاسبه «تابع درخشندگی» به هر یک از طول موج ها، ضریب ویژه ای اختصاص یابد. در حالی که در علم «پرتوسنجی»، «توان فیزیکی» مهم است و تفاوتی میان طول موج های مختلف نیست. در پرتوسنجی از یکای (W/m2) برای معرفی لوکس استفاده می شود. در این حالت، هر اندازه طول موج بیشتر بر حساسیت چشم موثر باشد مانند نور سبز با طول موج ۵۵۵ نانومتر، انرژی کمتری برای ایجاد همان اندازه شدت نور نیاز است.

در شهرهای حاشیه کویر در فلات مرکزی ایران در روز در یک سطح روشن بدون محافظ، با آسمان ابری حدود ۱۰ هزار لوکس و آسمانی آفتابی حدود ۱۰۰ هزار لوکس «درخشندگی» وجود دارد. در حالی که برای مطالعه در کلاس درس، حدود ۵۰۰ لوکس کافی است. مروری بر فرآیند طراحی و اجرای آثار برگزیده معماری نشان دهنده آن است که در اغلب موارد کنترل «شدت» نور روز در کنار «آسایش دیداری» مطرح بوده است (Mahdavinejad & Hosseini, 2019). «خستگی چشم» در کلاس های درس با درخشندگی بالا نیز قابل مشاهده می باشد. چشم انسان در زمان نگاه کردن به یک صفحه، خود را با آن تنظیم می کند. اگر در کلاس درس، تفاوت های چشمگیری میان دو نقطه از کلاس وجود داشته باشد، باعث خستگی چشم می شود. این مهم زمانی در کلاس های درس آزاردهنده تر می شود که نور خورشید به تابلو کلاس برخورد نماید. در این حالت «آسایش دیداری» به علت تفاوت فاحش درخشندگی میان دو بخش تابلو به شدت کاهش می یابد. بر اساس فیزیک چشم، تفاوت میزان درخشندگی دو سطح نزدیک به چشم حدود ۱ به ۳ باشد؛ برای دو سطح دور حدود ۱ به ۵ باشد مانند دانش آموزانی که با فاصله از تخته نشسته اند. برای افراد خیلی دور مانند افراد انتهایی حداکثر حدود ۱ به ۱۰ باشد. بیشتر شدن تفاوت درخشندگی باعث شکایت دانش آموزان و خستگی چشم آن ها می شود.

بر اساس روش شناسی پژوهش، «ابعاد» و «فرم پنجره» به عنوان متغییر مستقل، شاخص های روشنایی و خیرگی (DGP) به عنوان متغییر وابسته و ارتفاع کف پنجره ازکف زمین ، ارتفاع پنجره، جنس دیوار داخلی و نوع شیشه پنجره به عنوان متغییر کنترل است (جدول ۲ و ۳). پژوهش از نوع کاربردی، راهبرد «شبیه سازی و مدلسازی» و روش تحقیق توصیفی-تحلیل با استفاده از تکنیک های کیفی- کمی است. تحلیل های آماری با استفاده از نرم افزارهای صفحه گسترده آماری (SPSS) انجام شده است.

جدول ۲- معرفی متغییرهای کنترل

متغییرهای کنترل							
تنظیمات مربوط به شیشه پنجره در نرم افزار				ارتفاع کف پنجره ازکف زمین	جنس دیوار داخلی	نسبت پنجره به دیوار	ارتفاع پنجره
Refractiveindex ضریب شکست	Btransmittance میزان عبور نورآبی	Gtransmittance میزان عبور نورسبز	Rtransmittance میزان عبور نور قرمز				
۱/۵۲	۰/٤	۰/٤	۰/٤	۱۰۰cm	پانل گچی	٪٤۰	۱۸۰cm

جدول ۳- معرفی متغیرهای وابسته

متغییرهای وابسته	
شاخص نور روز	UDI
	DA
	SDA
	Illuminance
	DF
خیرگی	DGP
	ASE

بر اساس مطالعات روش شناسی پژوهش، در سال های اخیر، شاخص های زیادی برای اندازه گیری نور روز در داخل فضا معرفی شده است که می توان آن ها را به دو دسته تقسیم کرد : ۱- شاخص های ایستا (شاخص های لحظه ای)، تحت شرایط بیرونی مشخص و ثابت (آسمان ابری یا بدون ابر) میزان روشنایی طبیعی را در فضای داخلی بیان می کنند. ۲- شاخص های پویا (شاخص های سالیانه) شاخص های مبنی بر اقلیم می باشند و یک مدل پیش بینی نور روز هستند که کمیت های مختلف روشنایی را با در نظر گرفتن وضعیت آسمان و موقعیت خورشید بر اساس داده های اقلیمی، شبیه سازی و ارزیابی می‌کنند. (Nikoudel et al., 2018) از میان شاخص‌های متعدد ایستا و پویا، شاخص هایی که رواج بیشتری در تحقیقات واستانداردهای نور روز داشته اند شامل شاخص های آتونومی نور روز ، روشنایی مفید نور روز ، آتونومی نور روز فضایی، فاکتور نور روز، دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید می باشد. و از آنجایی که کمیت و کیفیت نور روز به صورت لحظه ای متغیراست بنابراین نوع ارزیابی های ایستا بامحدودیت مواجه میباشدوامروزه بیش از پیش شبیه سازی پویا مورد توجه و استفاده کاربران قرار دارد. (Fadae Ardestani et al., 2019)

جهت بررسی شدت روشنایی حاصل از نور روز از شبکه‌ای فرضی در سطح میزهای کلاس که در ارتفاع ۸۰ سانتی متر از سطح کف کلاس قرار دارد استفاده شده است. (Mahdavinejad et al., 2012) در این پژوهش مقدار شدت روشنایی طبق مبحث سیزده مقررات ملی ساختمان جدول شدت روشنایی ۳۰۰ لوکس در فصل بهار، پاییز و زمستان ، ساعت ۱۱ صبح در نظر گرفته شده است.

یکی از شاخص های پویا و بسیار مهم برای سنجش کیفیت نور روز در کلاس درس، شاخص آتونومی نور روز (DA) است. این شاخص بر حسب درصد، معرفی کننده «درصد زمان دریافت نور کافی با کمک نور طبیعی در طول سال» است. (Mahdavinejad & Nazar, 2017)

سنجه پویا روشنایی مفید نور روز (UDI) معرفی کننده میزان کل زمانی است که درخشندگی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس است، زمانی که سطح کار کمتر از ۱۰۰لوکس و تاریک است، و یا زمان هایی که احتمال خیرگی بسیار بالا و شدت درخشندگی بیش از ۲۰۰۰ لوکس است. (Mahdavinejad et al., 2014) مزیت سنجه «روشنایی مفید نور روز» به سنجه «آتونومی نور روز» در معرفی زمان هایی است که میز مطالعه کمتر از نیاز چشم، نور دریافت می کند. (Yazhari Kermani et al., 2018) در این مقاله نتایج توزیع روشنایی طبیعی سالانه در یک فضا یا روشنایی مفید نور روز در محدوده بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس و آتونومی نو روز یا میزان درصدی از زمان که نقاط فرضی بیشتر از ۳۰۰ لوکس نور دریافت می کند در شکل (۱۱) ارائه شده است.

جامعه مهندسان روشنایی(IES) حداقل میزان آتونومی نور روز را ۵۰درصد و حداقل روشنایی طبیعی را ۳۰۰ لوکس در فصله ۸ صبح تا ۱۸ عصر پیشنهاد کرده است. (Freewan & Al Dalala, 2020).

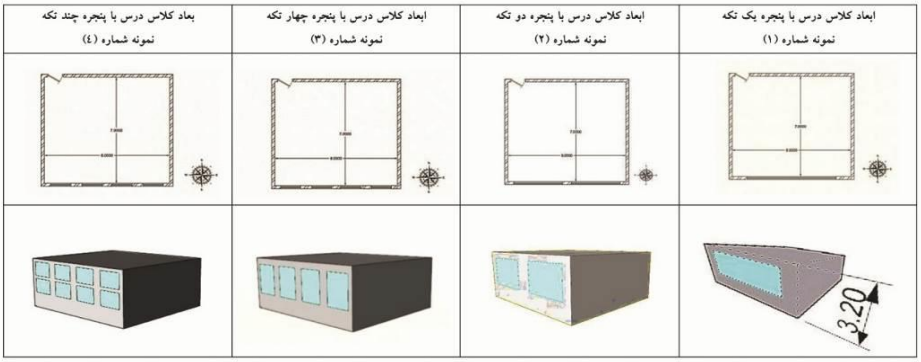
سنجه فاکتور نور روز (DF) نوعی سنجه ترکیبی است و در شرایط آسمان ابری، برای معرفی نسبت بین روشنایی در فضای باز و روشنایی در فضای سربسته داخلی استفاده می شود. (Abdelhakim et al., 2019) عدد مناسب برای سنجه فاکتور نور روز بین ۲درصد تا ۵درصد تعریف می شود. اگر از ۲ درصد کمتر باشد، لازم است از نور مصنوعی یا روشنایی الکتریکی استفاده شود؛ و اگر بیش از ۵درصد باشد، یعنی شدت نور زیاد است و احتمال خیرگی وجود دارد.

دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید (ASE) به مقوله دریافت مستقیم تابش خورشید و درخشندگی بالای ۱۰۰۰ لوکس در فضاهایی که اشاره می کند. موقعیت هایی که ساعات اشغال سالیانه فضا بیش از۲۵۰ساعت شود. جامعه مهندسان روشنایی(IES) عدد کمتر از ۱۰ درصد را قابل قبول دانسته اند.

محیط شبیه سازی شده در این پژوهش یک کلاس درس با پنجره هایی با ابعاد استاندارد در شهرسمنان است. شکل (۱) ابعاد کلاس درس مورد بررسی، از نظر طول و عرض و ارتفاع، مطابق ضوابط سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور انتخاب شده است و طبق ضوابط کلاس درس، حداکثر ابعاد قابل قبول برای کلاس درس ۸ متر طول

و ۷ متر عرض است. ارتفاع کلاس با توجه به تعداد ظرفیت دانش آموزان و طول و عرض آن تعیین میشود و لیکن رعایت حداقل ۳/۲ متر برای مناطق گرم الزامی است. مناسب ترین فرم برای کلاسهای تجربی و نظری و عمومی مربع مستطیل و مربع توصیه میشود.سطح لازم برای نورگیری پنجره $\frac{۱}{۵}$ سطح کل کلاس بوده که این سطح در هر صورت نباید از سطح $\frac{۱}{۶}$ کلاس کمتر باشد. بنابراین در این پژوهش ارتفاع پنجره ها در نرم افزار به عنوان متغیر کنترل ۱۸۰ سانتی متر در نظر گرفته شده است. کشور ایران در نیمکره شمالی کره زمین قرار دارد و با توجه به تابش خورشید به نیمکره شمالی، مسیر حرکت خورشید همیشه در سمت جنوب ایران است و همچنین شکل قرار گیری ساختمان در اقلیم مورد مطالعه به صورت کشیدگی شرقی- غربی است.

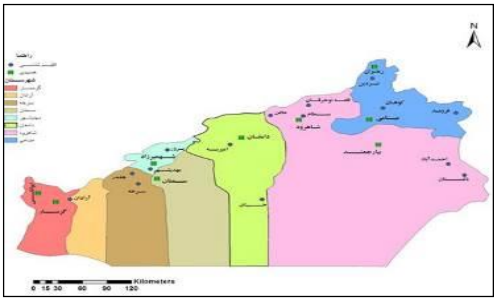
با توجه به نکات ذکر شده به این نتیجه خواهیم رسید که جبهه جنوبی به علت این که بیشتر در معرض تابش خورشید قرار دارد از اهمیت زیادی در طراحی برخوردار است و به همین علت در این پژوهش پنجره ها در جبهه جنوبی بررسی شده اند. با توجه به مطالعات روش شناسی پژوهش، چهار مدل رایج از کلاس های درس در نرم افزار منتخب با افزونه گرس هاپر شبیه سازی شده اند. پنجره ها از فرم های متفاوتی انتخاب شدند که به اختصار عبارتند از: ۱- یک تکه افقی، ۲- دوتکه افقی، ۳- چهارتکه و ۴- هشت تکه در جبهه جنوبی ساختمان، انتخاب شده است. برای هر نمونه واحدهای ارزیابی روشنایی طبیعی، از طریق نرم افزار مربوطه تست گرفته شده است.



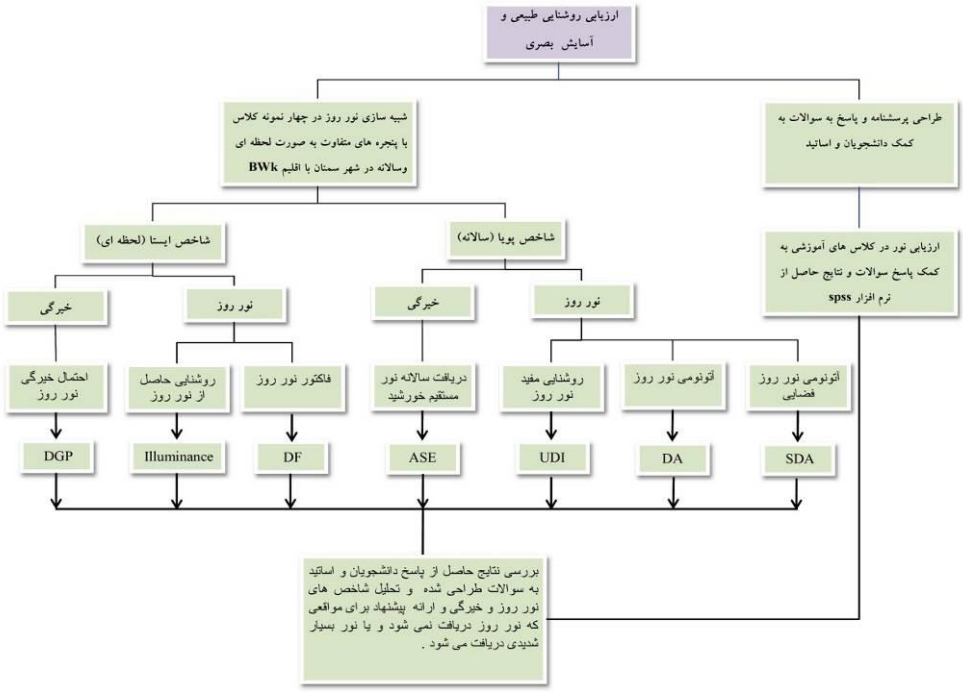
شکل ۱- ابعاد کلاس آموزشی مورد بررسی

بر اساس روش شناسی خاص پژوهش برای مدل سازی سه بعدی کلاس درس در نرم افزار راینو (Rhino) ساخته شده است. تحلیل های مربوط به نور روز وخیرگی در پلاگین هانی بی (Honeybee) و لیدی باگ (Ladybug) و هانی بی پلاس (Honeybee plus) استفاده شده است. مطالعات روش شناسی پژوهش نشان داد که موتور رادیانس و دیسیم در این پلاگین ها، دقت آن ها را تا حد قابل قبول (کنتر از ۱درصد) افزایش داده است.

براساس طبقه بندی اقلیمی کوپن و ویژگی های شناسایی شده درخصوص بارندگی، بالاترین و پایین ترین درجه هوا در گزارش های اداره کل هواشناسی استان سمنان، شهر سمنان در اقلیم در BWk قرار گرفته است.



شکل ۲- نقشه شهر سمنان (ماخذ: اداره کل هواشناسی استان سمنان)



شکل ۳- روند بررسی پژوهش

بحث و نتایج

اولین گام در این پژوهش به منظور پاسخ به سوالاتی که در نتیجه گیری ها موثر است ، سوالاتی طراحی شد که به صورت پرسشنامه در اختیار دانشجویان در مقطع تحصیلی متفاوت و اساتید قرار گرفت و با نرم افزار آماری، خروجی های لازم مورد بحث و تحلیل قرار گرفته است. جامعه آماری انتخابی شامل ۷۰ نفر زن و مرد دانشجو و مدرس بوده است. که با توجه به نتایج به دست آمده از نرم افزار آماری اس پی اس اس، ۴۷ درصد مرد و ۵۲ درصد زن به سوالات پاسخ داده اند. جامعه آماری انتخابی محدود به مقطع تحصیلی خاصی نبوده و افراد از مقطع تحصیلی زیر دیپلم تا دکتری تخصصی وجود دارند. جامعه آماری تعیین شده از نظر سن به چهار دسته زیر ۲۰ ساله ،۲۱ تا ۳۰ ساله ،۳۱ تا ۴۰ ساله ،۴۱ تا ۵۰ ساله تقسیم شده اند. پرسشنامه طراحی شده، جهت پاسخ در اختیار افراد قرار گرفت و نتایج به دست آمده وارد نرم افزار اس پی اس اس شده و خروجی داده ها به صورت جداول ارائه گردید و با توجه به نتایج حاصل شده از نظرات جامعه آماری مشخص شد که کاربران نیز، بر اهمیت نور در فضای آموزشی تاکید دارند.

جدول ۴- **تحلیل رگرسیون**

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.103	.224		4.915	.000
	ba tavajo be fazaye kelase amoozeshi khod olaviyat shoma baraye entekhab manbae noor va rooshanaei kodam ast	.039	.065	.073	.601	.550
	aya mizane noori ke az tarighe panjereh haye mostatil keshide ofoghi varede kelas mishavad monasebe amoozeshi mibashad	.149	.122	.149	1.223	.226

a. Dependent Variable: aya shekle panjerehaye mostatil keshide ofoghi dar kelasha hese zibaei ra dar shoma montaghel mikonad

جدول ۵- ضریب پایایی

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
.517	4

جدول ۶- تحلیل واریانس چند متغیره

ANOVA[b]

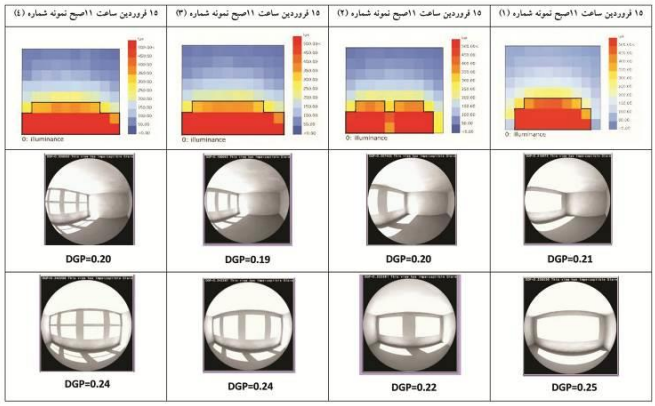
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.506	2	.253	1.036	.361[a]
	Residual	16.131	66	.244		
	Total	16.638	68			

a. Predictors: (Constant), aya mizane noori ke az tarighe panjereh haye mostatil keshide ofoghi varede kelas mishavad monasebe amoozeshi mibashad, ba tavajo be fazaye kelase amoozeshi khod olaviyat shoma baraye entekhab manbae noor va rooshanaei kodam ast

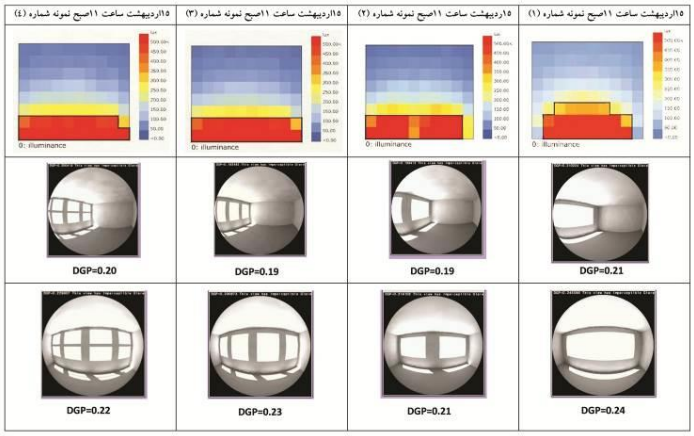
b. Dependent Variable: aya shekle panjerehaye mostatil keshide ofoghi dar kelasha hese zibaei ra dar shoma montaghel mikonad

در این پژوهش احتمال خیرگی نور روز در دو زاویه دید ناظر در فصل های بهار، پاییز، زمستان در ساعت ۱۱ صبح، **روز پانزدهم هر ماه** بررسی شده، اعداد مربوط به آن در شکل های معرفی کننده خروجی نرم افزار ارائه شده است. در شکل های تحلیلی نرم افزار، محدوده ای که بیشتر از این مقدار نور دریافت کرده است با خط سیاه مشخص شده است.

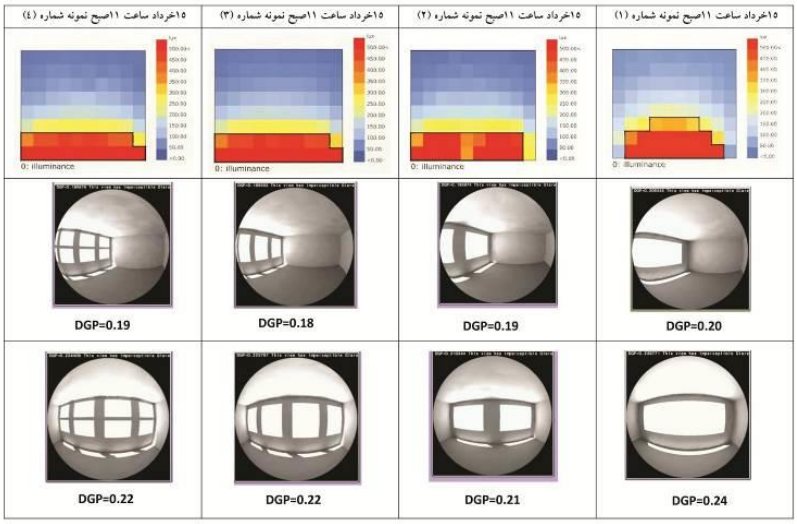
بررسی شدت روشنایی و خیرگی در جبهه جنوبی در ساعت ۱۱ صبح روز پانزدهم هر ماه در فصل پاییز، شکل ها (۷-۵) ارائه شده است.



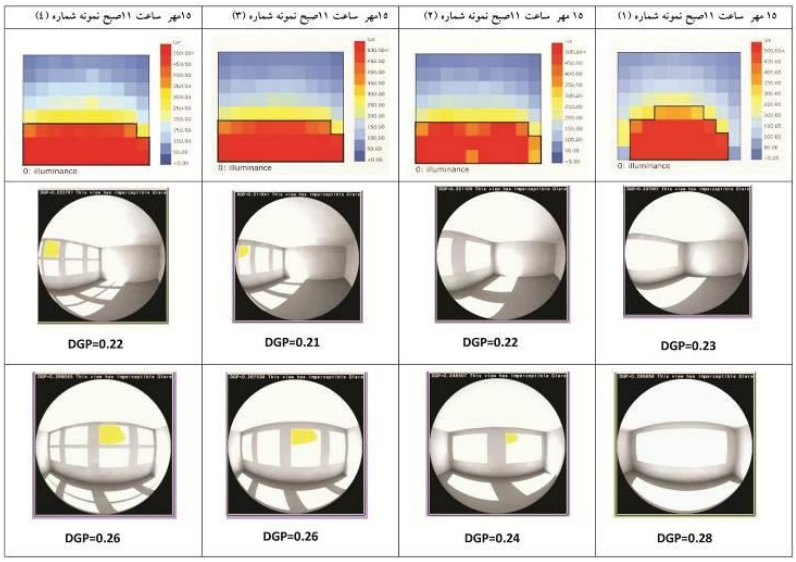
شکل ۴- نتایج تحلیل شدت روشنایی و خیرگی فروردین ماه جبهه جنوبی



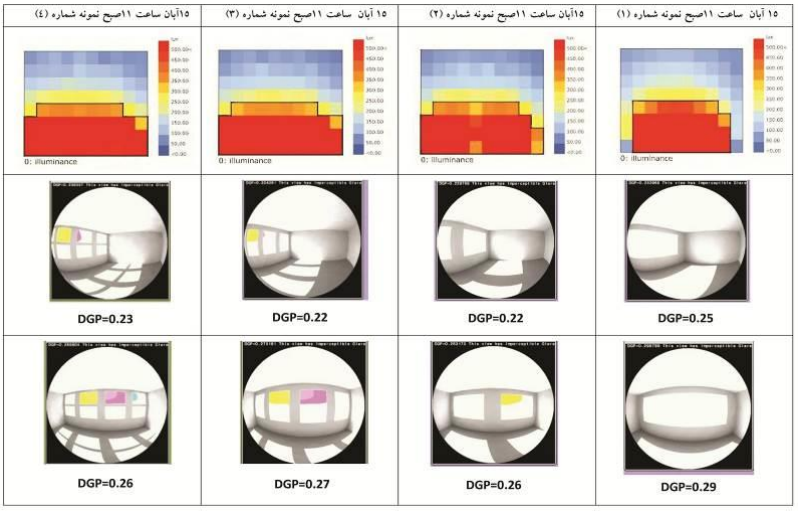
شکل ۵- نتایج تحلیل شدت روشنایی و خیرگی اردیبهشت ماه جبهه جنوبی



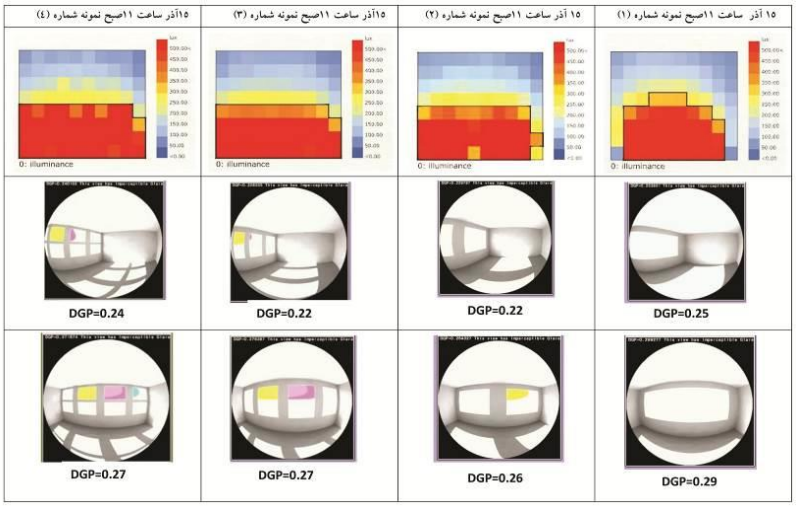
شکل ۶- نتایج تحلیل شدت روشنایی و خیرگی خرداد ماه جبهه جنوبی



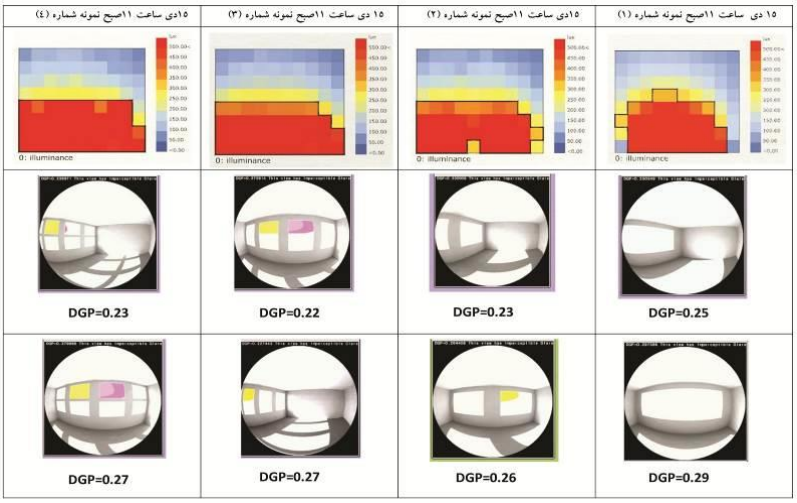
شکل ۷- نتایج تحلیل شدت روشنایی و خیرگی مهر ماه جبهه جنوبی



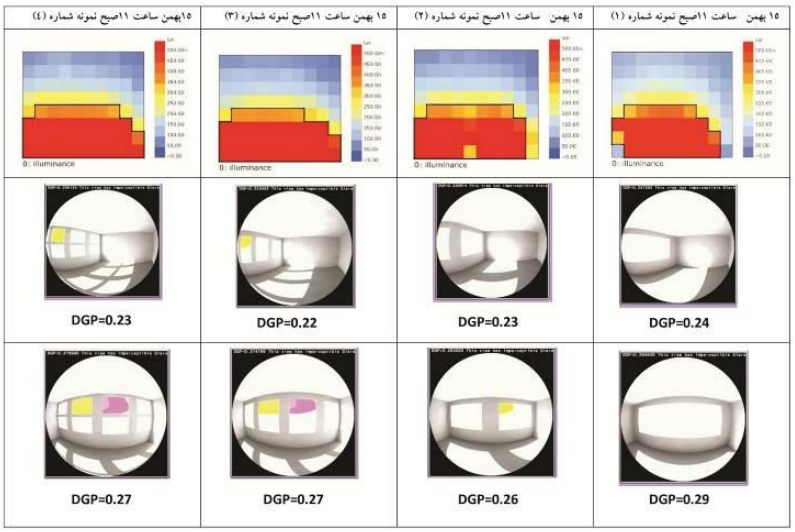
شکل ۸- نتایج تحلیل شدت روشنایی و خیرگی آبان ماه جبهه جنوبی



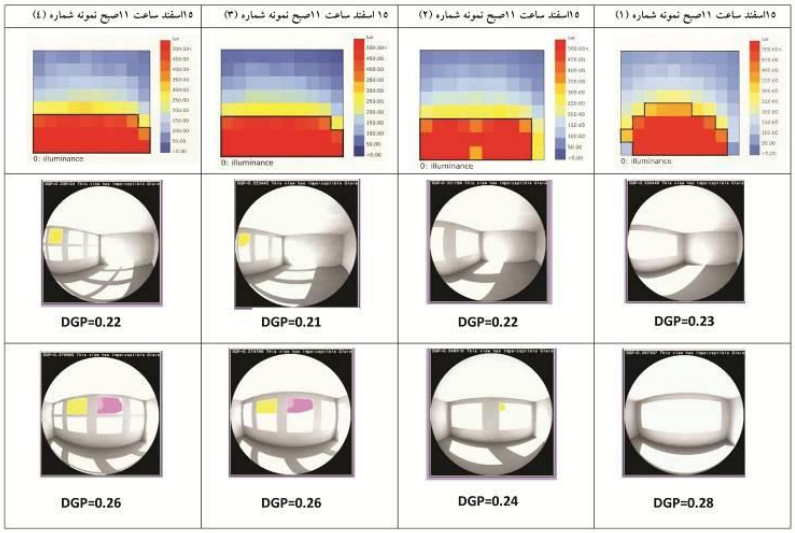
شکل ۹- نتایج تحلیل شدت روشنایی و خیرگی آذر ماه جبهه جنوبی



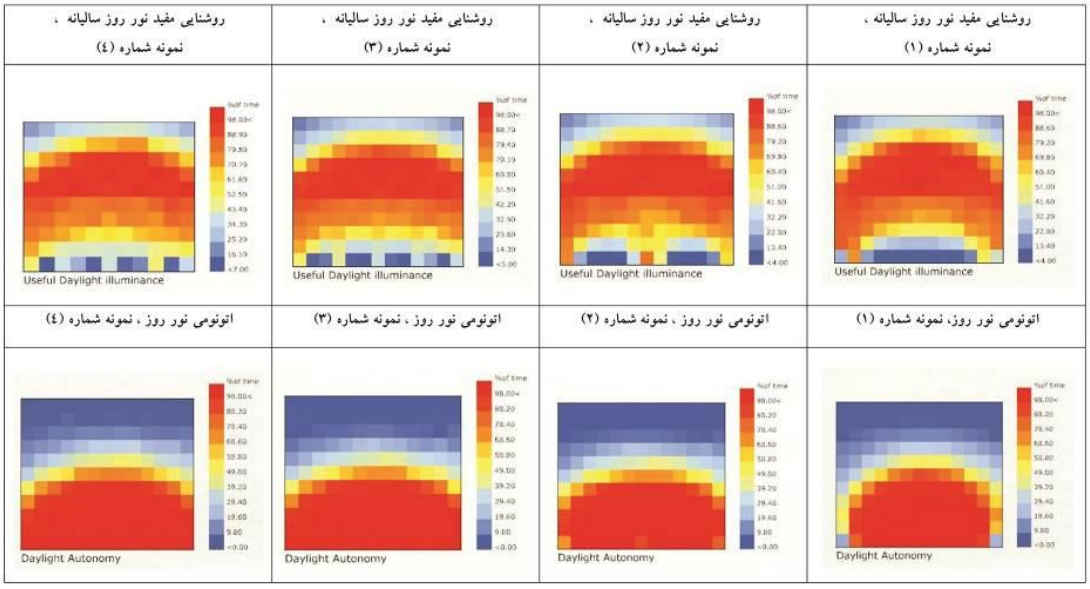
شکل ۱۰- نتایج تحلیل شدت روشایی و خیرگی دی ماه جبهه جنوبی



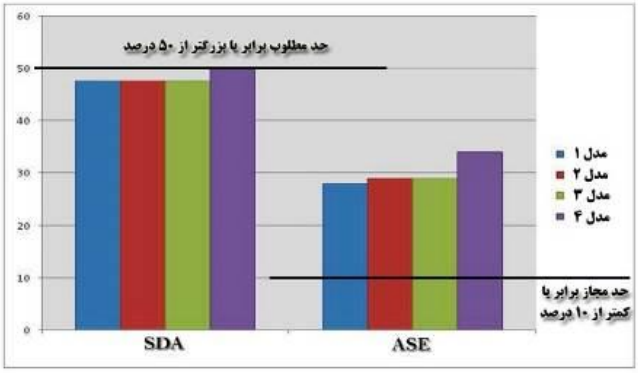
شکل ۱۱- نتایج تحلیل شدت روشنایی و خیرگی بهمن ماه جبهه جنوبی



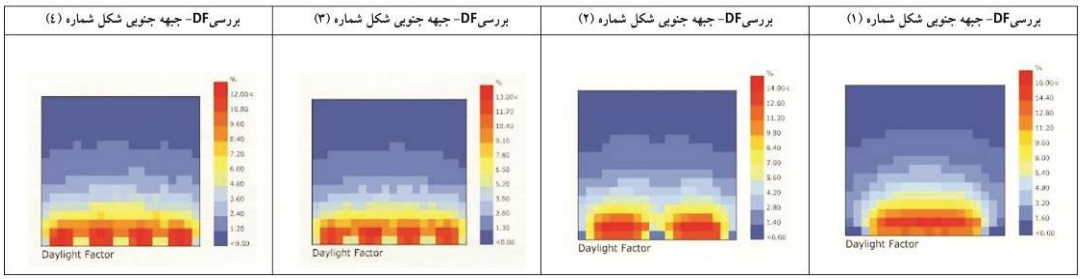
شکل ۱۲- نتایج تحلیل شدت روشنایی و خیرگی اسفند ماه جبهه جنوبی



شکل ۱۳- **نتایج تحلیل روشنایی مفید نور روز سالیانه و آتونومی نور روز جبهه جنوبی**



نمودار۲- ارزیابی داده های SDA و ASE در مدل های شبیه سازی شده



شکل ۱۴- نتایج تحلیل فاکتور نور روز در جبهه جنوبی

با توجه به پاسخ جامعه آماری به سوالات پرسشنامه و تحلیل خروجی ها با نرم افزارهای صفحه گسترده، می توان اینچنین جمع بندی نمود که اکثریت پاسخ دهندگان از کیفیت روشنایی در کلاس های درس احساس رضایت نکرده اند به گونه ای که حدود ۸۰ درصد از پرسش شوندگان به علت شرایط نامناسب روشنایی در کلاس احساس کسالت و خواب آلودگی کرده اند و ۵۴ درصد علت شرایط نامناسب روشنایی را عدم وجود نور کافی در کلاس می دانند. ۶۶ درصد از افراد اولویت خود را برای انتخاب منبع نور و روشنایی جهت رسیدن به حس آسایش، ورود نور طبیعی به کلاس از طریق پنجره ها عنوان کرده اند در حالی که نور طبیعی را ناکافی دانسته، تامین روشنایی را از نور مصنوعی توصیه کرده اند. این مهم نشان از عدم اطمینان پرسش شوندگان، به امکان استفاده صحیح و اصولی از نور روز در طراحی معماری کلاس های درس اشاره دارد.

جدول ۷- بررسی شدت روشنایی در فصل بهار ، پاییز ، زمستان

	شدت روشنایی (E)																	
	مهر		آبان		آذر		دی		بهمن		اسفند		فروردین		اردیبهشت		خرداد	
	<300 Lux	>300 Lux	<300 Lux	>300 Lux	<300 Lux	>300 Lux	<300 Lux	>300 Lux	<300 Lux	>300 Lux	<300 Lux	>300 Lux	<300 Lux	>300 Lux	<300 Lux	>300 Lux	<300 Lux	>300 Lux
نمونه (۱)	۶۶/۲۵	۳۳/۷۵	۶۱/۲۵	۳۸/۷۵	۵۷/۵	۴۲/۵	۵۸/۷۵	۴۱/۲۵	۶۱/۲۵	۳۸/۷۵	۶۶/۲۵	۳۳/۷۵	۷۲/۵	۲۷/۵	۷۳/۷۵	۲۶/۲۵	۷۵	۲۵
نمونه (۲)	۶۳/۷۵	۳۶/۲۵	۵۵	۴۵	۵۳/۷۵	۴۶/۲۵	۵۶/۲۵	۴۳/۷۵	۵۷/۵	۴۲/۵	۶۶/۲۵	۳۳/۷۵	۷۰	۳۰	۷۷/۵	۲۲/۵	۷۷/۵	۲۲/۵
نمونه (۳)	۶۳/۷۵	۳۶/۲۵	۵۳/۷۵	۴۶/۲۵	۵۲/۵	۴۷/۵	۵۳/۷۵	۴۶/۲۵	۵۵	۴۵	۶۳/۷۵	۳۶/۲۵	۶۶/۲۵	۳۳/۷۵	۷۵	۲۵	۷۶/۲۵	۲۳/۷۵
نمونه (٤)	۶۳/۷۵	۳۶/۲۵	۵۳/۷۵	۴۶/۲۵	۵۲/۵	۴۷/۵	۵۲/۵	۴۷/۵	۵۳/۷۵	۴۶/۲۵	۶۳/۷۵	۳۶/۲۵	۶۶/۲۵	۳۳/۷۵	۷۶/۲۵	۲۳/۷۵	۷۶/۲۵	۲۳/۷۵

جدول ۸- جمع بندی، میزان درصد از مساحت کلاس با کمک نتایج شبیه سازی سالانه

نمونه های شبیه سازی شده	میزان درصد از مساحت کلاس				
	UDI 100-2000, <50%	UDI 100-2000, >50%	DA <300 Lux	DA >300 Lux	DF 2% - 5%
نمونه (۱)	٪ ۳۱/۲۵	٪ ٦۹	٪ ۵۷/۵	٪ ۴۲/۵	٪ ۴۶/۸۷
نمونه (۲)	٪ ۲۲/۵	٪ ۷۷/۵	٪ ۵۲/۵	٪ ۴۷/۵	٪ ۲۷/۲۷
نمونه (۳)	٪ ۳۰	٪ ۷۰	٪ ۵۲/۵	٪ ۴۷/۵	٪ ۲۵/۲۵
نمونه (٤)	٪ ۳۱/۲۵	٪۶۸/۷۵	٪ ۵۲/۵	٪ ۴۷/۵	٪ ۲۵/۷۵

برای پاسخ به سوال تحقیق با توجه به نمودار شدت روشنایی حاصل از نور روز بالای ۵۰ درصد از فضای کلاس که تونالیته رنگ آبی وجود دارد، کمتر از ۳۰۰ لوکس نور دریافت می کند که این قسمت از کلاس، «نامناسب» برای مطالعه و درس خواندن ارزیابی می شود. با بررسی روشنایی مفید نور روز (UDI) مشص شد که در همه نمونه ها، بیشتر از ۵۰ درصد از فضا نور مفید روز بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس را دریافت می کند که نشان از کافی بودن

شدت نور تابشی در قلیم BWk برای استفاده بهینه در کلاس درس دارد. بررسی آتونومی نور روز (DA) نشان داد که بیشتر از ۵۰ درصد از فضای کلاس، نور روز کمتر از ۳۰۰ لوکس را دریافت می کند. آتونومی نور روز فضایی (SDA) نشان داد که چه درصدی از بخش های داخلی و سطح فضای کار داخلی به روشنایی طبیعی کافی دسترسی دارند. نتایج حاصل از بررسی فاکتور نور روز (DF) در شرایط آسمان ابری نشان می دهد که در نمونه ۱، ۸۷ /۴۶ درصد مساحت کلاس از نور روز مناسب برخوردار بوده و نمونه های ۲، ۳، و ۴، به ترتیب درصد کمتری از مساحت کلاس از نور مناسب برخوردار است.

بررسی عدد (DGP) و دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید (ASE) نشان داد که در نمونه‌های شماره ۱ تا ۴ عدد DGP زیر ۳۵ درصد است و این عدد یعنی تابش خیره کننده غیرقابل درک است. براساس پیشنهاد ارائه شده توسط جامعه مهندسان روشنایی، اگر نتیجه به دست آمده در قسمت دریافت سالیانه نور مستقیم خورشید، بیشتر از ۱۰ درصد باشد به عنوان عدم رضایت از بینایی وغیر قابل قبول است که در نمونه شماره ۱ تا ۴ عدد به دست آمده نشان می دهد که خطر به وجود آمدن خیرگی بالا است. بنابر این ابعاد پنجره در کلاس های آموزشی در اقلیم BWk بسیار مهم بوده زیرا با تغییر ابعاد می توان احتمال به وجود آمدن خیرگی را کنترل کرد.

جدول ۹- نتایج حاصل از بررسی و مقایسه شاخص نور روز وخیرگی در کلاس های آموزشی

		عدد قابل قبول LEED	A-۱	A-۲	B	نمونه (۱)	نمونه(۲)	نمونه(۳)	نمونه(٤)
شاخص نور روز	UDI*	>50% 100-2000 Lux 300-3000 Lux	٪۶۸/۲	٪۸۵/۷	٪ ۴۳/۰۹	٪ ٦۹	٪۷۷/۵	٪ ۷۰	٪۶۸/۷۵
	DA*	>300 Lux	٪۶۲	٪۹۲	٪ ۲۰/۴۵	٪۴۲/۵	٪۴۷/۵	٪۴۷/۵	٪۴۷/۵
	SDA*	>50%	٪۵۸	٪۱۰۰	-	٪۴۷/۵	٪۴۷/۵	٪۴۷/۵	٪۵۰
	Illuminance *	>300 Lux	٪۸۴	٪۷۵/۹	-	٪۳۴/۱۶	٪۳۵/۸۳	٪۳۷/۷۷	٪۳۷/۹۱
	$DF_{Average}$*	٪2 تا ٪5	٪۳/۴	٪۷/۵	-	٪۲/۹۸	٪۲/۸۶	٪۲/۸	٪۲/۷۷
خیرگی	DGP*	<0.35	–	–	۰/۲۸	۰/۲۷	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۲۵
	ASE*	<10%	٪۲۲/۶	٪۴۶	٪۱۰	٪۲۸	٪۲۹	٪۲۹	٪۳۴

نتیجه گیری

همچنین با بررسی میانگین DF، در همه نمونه ها نتیجه به دست آمده نزدیک به حد پایین عدد قابل قبول در استاندارد، یعنی ۵٪ تا ۲٪ می باشد. باوجود قابل قبول بودن این نتایج، اما با حالت ایدآل شاخص ۵٪ فاصله زیادی دارد و این امر باعث شده است که در انتهای کلاس جذب نور مطلوب نزدیک به صفر نزدیک شود. به همین دلیل در کلاس های درس این منطقه (اقلیم BWk) استفاده از روشنایی مصنوعی جزو عناصر جدایی ناپذیر کلاس ها شده اند. شاخص ASE در تمامی مدل های شبیه سازی شده، بیش از حد مجاز ۱۰ درصد می باشد. این به معنای آن است که در مدل های شبیه سازی شده ، خطر احتمال ایجاد خیرگی وجود دارد و این امر باعث پایین آمدن سطح آسایش و به وجود آمدن شرایط کارایی نامناسب برای کاربران می شود.

توجه به «چیدمان کلاس های درس در پلان مجموعه آموزشی» یا تغییر در «چیدمان مبلمان کلاس» اعم از انتخاب محل قرارگیری صندلی‌ها و همچنین تابلو آموزشی می‌تواند نقش بسیار مهم و تعیین کننده جهت دست یابی به شرایط آسایش برای کاربران به همان اندازه موقعیت قرارگیری پنجره ها و فرم آن ها داشته باشد. تحلیل ها نشان دادند که نمونه شماره ۴ در شاخص آتونومی نور روز فضایی SDA نتیجه قابل قبولی دارد و از نظر فرم پنجره، نسبت به سایر نمونه‌های شبیه‌سازی شده، نتایج مطلوب‌تری را در شاخص‌های دیگر کسب کرده است. مهمترین آموزه‌های طراحانه، برای طراحی کلاس های درس در اقلیم BWk را می توان در موارد زیر خلاصه نمود:

- بر اساس تحلیل های آتونومی نور روز فضایی SDA، هرچه «سطح پنجره ها کوچکتر» و «تعداد پنجره ها

بیشتر» شود، نور روز در فضای کلاس یکنواخت تر و سطح فضای کاری داخلی به روشنایی طبیعی کافی دسترسی دارند. این مهم یک دستاورد قابل توجه در حوزه طراحی معماری کلاس‌های درس در اقلیم BWk محسوب می‌شود.

- یکی دیگر از دستاوردهای کلیدی پژوهش بر اساس شاخص ASE قابل توضیح است. در تمامی نمونه‌های تحلیل شده، احتمال خیرگی بسیار زیاد می‌باشد که جهت بهبود شرایط استفاده از «سایبان» پیشنهاد می‌شود.

با توجه به تحلیل های کیفی حاصل از نتایج کمی می‌توان چنین پیشنهاد نمود که پنجره های جبهه جنوبی در اقلیم BWk شهر سمنان؛ از نظر فرم، هرچه «گستردگی افقی بیشتر» و یا «گستردگی عمودی کمتر» داشته باشند، شرایط بهتری را در کیفیت استفاده از نور طبیعی و فراهم آوردن شرایط مطلوب در کلاس آموزشی خواهند داشت.

منابع

1. Abdelhakim, M., Lim, Y. W., & Kandar, M. Z. (2019). Optimum Glazing Configurations for Visual Performance in Algerian Classrooms under Mediterranean Climate. Journal of Daylighting, 6(1), 11-22.
2. Bakmohammadi, P., & Noorzai, E. (2020). Optimization of the design of the primary school classrooms in terms of energy and daylight performance considering occupants' thermal and visual comfort. Energy Reports, 6, 1590-1607.
3. Eskandari, H., Saedvandi, M., Mahdavinejad, M. (2018). The impact of Iwan as a traditional shading device on the building energy consumption. Buildings. 8(1): 3.
4. Fadae Ardestani, M., Naseri, H., Ayatalahi, M., Zomorodian, Z. (2019). The Assessment of Daylight and Glare in Classrooms Using Dynamic Indicators; the Case of SBU Faculty of Architecture and Urban Planning, Soffeh, 28(83): ۴۰-۲۵.
5. Faizi, F., Noorani, M., Ghaedi, A., & Mahdavinejad, M. (2011). Design an optimum pattern of orientation in residential complexes by analyzing the level of energy consumption (case study: Maskan Mehr Complexes, Tehran, Iran). Procedia engineering, 21, 1179-87.
6. Fallahtafti, R., & Mahdavinejad, M. (2015). Optimisation of building shape and orientation for better energy efficient architecture. International Journal of Energy Sector Management. 9(4): 593-618.
7. Freewan, A. A., & Al Dalala, J. A. (2020). Assessment of daylight performance of Advanced Daylighting Strategies in Large University Classrooms; Case Study Classrooms at JUST. Alexandria Engineering Journal, 59(2), 791-802.
8. Ghamari, H. (2019). Vernacular Iranian Architecture, Symbiotic of Meaning, Structure and Aesthetics towards Energy Efficient Design. Journal of Energy and Power Engineering, 13, 283-291.
9. Ghasempourabadi, M., Mahmoudabadi Arani, V. R., Bahar, O., & Mahdavinejad, M. (2012). Assessment of behavior of two-shelled domes in Iranian traditional architecture: the Charbaq School, Isfahan,

16. Mahdavinejad, M., Matoor, S., Fayaz, R., & Bemanian, M. (2012). Estimation of daylight availability and illuminance on vertical south facing surfaces in Tehran. Advanced Materials Research. 518: 1525-1529.
17. Mahdavinejad, M., Zia, A., Larki, A. N., Ghanavati, S., & Elmi, N. (2014). Dilemma of green and pseudo green architecture based on LEED norms in case of developing countries. International journal of sustainable built environment, 3(2), 235-246.
18. Mohtashami, N., Mahdavinejad, M., Bemanian, M. (2016). Contribution of city prosperity to decisions on healthy building design: A case study of Tehran. Frontiers of Architectural Research. 5(3): 319-31.
19. Motazedian, F., Mahdavinejad, M., Habib, F., & Diba, D. (2016). Classroom Lighting Control Systems and Level of Energy Consumption, Tehran, Iran. International Journal of Architecture and Urban Development, 6(2), 35-42.
20. Nikoudel, F., Mahdavinejad, M., & Vazifehdan, J. (2018). Nocturnal Architecture of Buildings: Interaction of Exterior Lighting and Visual Beauty. Light & Engineering. (2018) 26(1) 81-90.
21. Pilechiha, P., Mahdavinejad, M., Rahimian, F. P., Carnemolla, P., & Seyedzadeh, S. (2020). Multi-objective optimisation framework for designing office windows: Iran. Transactions on ecology and the environment, 155, 1223-1233.
10. Heschong, L., 2002. Daylighting and human performance. ASHRAE journal, 44(6), pp.65-67.
11. Lin, P., Tian, Z., & Jonsson, J. C. (2020). Analysis of the performance of prism daylight redirecting systems with bi-directional scattering distribution functions. Building Simulation (pp. 1-12). Tsinghua University Press.
12. Mahdavinejad, M., & Nazar, N. S. (2017). Daylightophil high-performance architecture: Multi-objective optimization of energy efficiency and daylight availability in BSk climate. Energy Procedia, 115, 92-101.
13. Mahdavinejad, M., Bitaab, N. (2017). From Smart-Eco Building to High-Performance Architecture: Optimization of Energy Consumption in Architecture of Developing Countries. E&ES. 83(1): 012020.
14. Mahdavinejad, M., Garaati, M., & Kermani, A. Y. (2014). Daylight parameters and operation quality; Case studies: Public office buildings in Kerman, Iran. Journal of Energy Technologies and Policy, 4(9), 29-34.
15. Mahdavinejad, M., Hosseini, SA. (2019). Data mining and content analysis of the jury citations of the Pritzker Architecture prize (1977–2017). Journal of Architecture and Urbanism. 43(1):71.

quality of view, daylight and energy efficiency. Applied Energy, 261, 114356.

22. Piparsania, K. R., Vaidya, P., & Kalita, P. C. (2020). Evaluation of daylight performance of classroom spaces in Ahmedabad. DS 101: Proceedings of NordDesign 2020, Lyngby, Denmark, 12th-14th August 2020, 1-12.

23. Yazhari Kermani, A., Nasrollahi, F., & Mahdavinejad, M. (2018). Investigation of the relationship between depth of overhang and amount of daylight indicators in office buildings of Kerman city. Environmental Health Engineering and Management Journal, 5(3), 129-136.