

بهینه‌سازی تناسبات و نحوه‌ی استفاده از نور در معماری کلاس‌های آموزشی*

محمدجواد مهدوی نژاد^۱، منصوره طاهباز^۲، مهناز دولت‌آبادی^۳

^۱دانشیار گروه معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

^۲دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

^۳کارشناسی ارشد معماری، گروه معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۸/۲۴، تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۳/۲۶)

چکیده

ضرورت بهینه‌سازی مصرف انرژی و تلاش برای کاهش مصرف آن، معماری معاصر را بخصوص در کشورهای در حال توسعه به سمت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر سوق داده است. یکی از راهکارها در این زمینه، استفاده حداکثری از انرژی خورشید و روشنایی آن در طول روز می‌باشد. استفاده از نور روز در گستره وسیعی از شهرهای ایران از جمله شهر تهران به سبب برخورداری از ساعات آفتابی زیاد در طول سال، قابل توصیه است. این پژوهش، با تاکید بر تناسبات بهینه جهت استفاده حداکثری از نور روز در فضای داخلی، با استفاده از یک سطح بازتابنده و انتقال دهنده نور به عمق فضا برنامه‌ریزی شده است. سیستم رف نوری با پیشنهادی همزمان از دو ویژگی سایه‌اندازی در فضای مجاور پنجره و افزایش نور در عمق فضا، باعث فراهم آمدن نوری یکنواخت در فضای داخلی می‌شود. از این روال نرم‌افزارهای شبیه‌سازی اکوتکت و ردینس برای بررسی نحوه عملکرد رف نوری و تناسبات آن برای شهر تهران استفاده شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از سامانه‌های ترکیبی از طریق تلفیق رف نوری به همراه سایبان می‌تواند نوری یکنواخت با میانگین شدت روشنایی ۳۰۰ لوکس در سطح میز دانش‌آموزان در کلاس درس مورد آزمایش ایجاد کند.

واژه‌های کلیدی

بهینه‌سازی، نور روز، خیرگی، روشنایی، معماری معاصر، رف نوری.

*این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده سوم تحت عنوان: «بهینه‌سازی مصرف انرژی از طریق افزایش استفاده از نور روز در کلاس‌های درس ساختمان‌های آموزشی. نمونه موردی: دبستان ایران زمین»، به راهنمایی نگارنده اول و مشاوره نگارنده دوم می‌باشد.

**نویسنده مسئول: تلفن: ۰۲۱-۸۲۸۸۳۷۳۹، نمابر: ۰۲۱-۸۸۰۰۸۰۹۰، E-mail: mahdavinejad@modares.ac.ir.

مقدمه

اتاق انتقال یافته، که می‌تواند عدم آسایش بصری را از طریق ایجاد خیرگی در نواحی نزدیک به پنجره، به همراه داشته باشد؛ به گونه‌ای که آن را بخشی از درک شرایط آسایش محیط دانسته‌اند (حیدری و جهانی‌نوق، ۱۳۹۳). علاوه بر این، موجبات افزایش بار سرمایشی و گرمایشی و نهایتاً افزایش مصرف انرژی را در پی خواهد داشت. از این رو توجه به استفاده بهینه از نور روز، از لحاظ کمی و کیفی نیاز به مطالعات گسترده دارد. در این راستا، شناخت راهکارها و تخمین کارایی آنها جهت استفاده بهینه و افزایش سطح روشنایی در نیمه دور از پنجره اتاق، می‌تواند مفید باشد.

در سال‌های اخیر به دلیل بحران‌های زیست محیطی و بحران انرژی روی داده در کره زمین و همچنین روشن شدن آثار مثبت نور طبیعی بر سلامت روح و جسم انسان و انطباق آن بر آهنگ زیستی بشر، توجه همگان به ویژه طراحان به استفاده مجدد از نور روز جلب شد. یکی از رایج‌ترین راهکارها که در ابتدا مورد استفاده قرار گرفت، افزایش سطح بازشوها و نورگیرها بود که این امر در صورت عدم استفاده بهینه و هدفمند از نور روز، شاید خود باعث افزایش مصرف انرژی در ساختمان شود. به طوری که با افزایش سطوح شفاف در ساختمان، بخش عظیمی از روشنایی خورشید به داخل

۱- چارچوب نظری تحقیق

۱-۱- نقش نور در درک اثر معماری

نور یکی از موضوعات مهم و اساسی در طراحی معماری بخصوص معماری سنتی ایران به شمار می‌رود. معماری سنتی ایران سرشار از نمونه‌هایی است که در آن نور روز به خوبی برای روشن کردن مناسب و البته کارآمد محیط مورد استفاده قرار گرفته است (مهدوی نژاد و مطور، ۱۳۹۱، ۴۱-۴۲). به همین دلیل می‌توان، این مهم را بخشی از زیبایی‌شناسی معماری سنتی و معماری معاصر ایران دانست. تاکید بر جنبه‌های تاثیرگذاری نورپردازی و معماری نور در ارتقای حس مکان و همچنین حس تعلق شهروندان به فضاهای شهری (مهدوی نژاد و پورفتح‌اله، ۱۳۹۴، ۱۳۳) و یا نقش نور در احساس زیبایی بخصوص در تحلیل برداشت مخاطب از آثار معماری معاصر ایران (مهدوی نژاد و نیکودل، ۱۳۹۴، ۱۳۳-۱۳۵) نمودی از نقش نور در درک آثار معماری، بخصوص ارتباط معماری و مخاطب به شمار می‌آید.

۱-۲- کیفیت نور در ساختمان‌های آموزشی

کیفیت روشنایی در واقع تجمیع‌کننده‌ی نیازهای انسان، معماری، اقتصاد و محیط است. موسسه رسمی خدمات ساختمان بریتانیا، شاخصه‌های اصلی در تعیین کیفیت روشنایی روز را شامل رنگ، تضاد، خیرگی و یکنواختی معرفی می‌نماید (CIBSE, 2000). در این میان، توزیع یکنواخت روشنایی از اهمیت بسزایی برخوردار است. این امر در مکان‌هایی که اغلب فعالیت‌ها بصری می‌باشد، مانند محیط‌های آموزشی و کلاس‌های درس، یکی از اهداف اصلی در طراحی نورپردازی محسوب می‌شود.

معیار ارزیابی یکنواختی (Ur) می‌باشد که عبارت است از نسبت میان حداقل فاکتور نور روز حاصله در یک فضا به متوسط فاکتور نور روز در همان فضا. مقدار مجاز یکنواختی برای فعالیت‌های آموزشی ۰/۳ تا ۰/۴ است. و یا می‌توان این گونه تعریف شود که: نسبت متوسط فاکتور نور روز در نیمه جلویی اتاق به متوسط فاکتور نور روز در نیمه عقبی اتاق (Baker & Steamers, 2002).

اگر این مقدار کمتر از ۳ باشد، توزیع نور مناسب بوده و چنانچه این نسبت بیشتر باشد، نیمه عقبی اتاق به طرز غیرقابل قبولی دلگیر و کم نور به نظر می‌رسد (لکنر، ۱۳۸۵، ۳۵۱).

$$k = \frac{\text{نیمه جلو اتاق } DF_{\text{Favr}}}{\text{نیمه عقب اتاق } DF_{\text{Favr}}} \quad K < 3$$

۱-۳- مطلوبیت بصری فضاهای آموزشی

تامین دید عادی و مناسب در یک کلاس درس نیازمند کنترل مناسب اختلاف روشنی سطوح داخلی آن است و چون چشم دانش‌آموزان در فضای تدریس دائماً بین سطوح مختلف در حرکت می‌باشد، بهتر است اختلاف روشنی سطوح مختلف در حد نسبتاً پایین و ثابت حفظ گردد. همچنین انعکاس نور آسمان و خورشید بر روی میز مطالعه و سطح کار می‌تواند باعث تاثیرات مذکور گردد. اگر میدان حداقل و حداکثر روشنایی موجود در یک فضا، اختلاف فاحشی (عدم یکنواختی) وجود داشته باشد، چشم در تطبیق خود با سطح بالای تغییرات دچار مشکل خواهد شد و این مشکل به ویژه در هنگام حرکت چشم از بخش روشن به بخش تاریک مدت بیشتری ادامه خواهد یافت (IEA, 2000). با توجه به این که عمل بصری خواندن و نوشتن، عمده‌ترین فعالیتی است که در فضاهای آموزشی صورت می‌گیرد؛ استانداردهای موجود میزان روشنایی مورد نیاز برای این فعالیت را ۳۰۰ لوکس و متوسط فاکتور نور مجاز را ۵ درصد و حداقل آن را ۲ درصد توصیه نموده (CIBSE, 2000). که در این پژوهش به دنبال نزدیک شدن این پارامترها به مقادیر فوق هستیم.

بدین منظور در این بخش به معرفی و تحلیل راهکاری پرداخته می‌شود که بتوان به کمک آن، نور دریافتی در کلاس درس را به صورت یکنواخت‌تر تا عمق فضا ایجاد کرده و خیرگی‌های احتمالی را که در اثر ایجاد لکه‌های نوری در سطح میز کار دانش‌آموزان ایجاد می‌شود، کاهش دهیم. به همین دلیل است که در برخی از پژوهش‌ها، به‌کارگیری طراحی الگوریتمیک برای افزایش

ومشخصات فنی رف‌های نوری (مهدوی‌نژاد و معتضدیان، ۱۳۹۴، ۹۱-۱۰۴) صورت پذیرد. به عبارت دیگر گونه‌شناسی رف‌های نوری و تمرکز بر مشخصات فنی آنها برای تقسیم‌بندی میزان کارایی، مهم‌ترین متغیرهای آزمون مانند: میزان شفافیت و ضریب انعکاس سطح رف‌نوری، مکان قرارگیری رف، ابعاد و اندازه و نحوه تماس آن با نمونه آزمون را مورد تاکید قرار می‌دهد. در این میان، تخمین کارایی کانال‌های انتقال نورافقی (مهدوی‌نژاد و دیگران، ۱۳۹۱، ۴۴-۴۸) در ساختمان، بخشی از اهداف مهم استفاده از رف‌های نوری و سامانه‌های مکمل، مانند متغیر یکنواختی روشنایی و پرهیز از خیرگی را معرفی می‌نماید.

هدف پژوهش: هدف از این پژوهش، تخمین تناسبات بهینه رف‌نوری و پیشنهاد الگویی جهت طراحی بازسوها‌های جنوبی کلاس درس با توجه به اثر سایبانی و انعکاس نور می‌باشد تا بتوان نور یکنواخت‌تری را در فضای داخلی ایجاد کرد.

سوالات پژوهش: در موقعیت جغرافیایی شهر تهران چگونه می‌توان از رف‌نوری جهت تولید نور یکنواخت در فضای داخلی بهره گرفت؟ و ابعاد و تناسبات بهینه برای آن در تهران به چه صورت است؟ شیوه انجام پژوهش: در این پژوهش، روش تحقیق بر اساس استدلال منطقی می‌باشد. بر اساس تعریف، استدلال منطقی تلاش می‌کند یک مورد کاملاً تعریف شده را به گونه‌ای که توان تشریح یا سودمندسازی تمام نمونه‌های آن مورد را داشته باشد، در چارچوبی سامان یافته تدوین نماید (گروت و وانگ، ۱۳۸۸، ۹۳). همچنین از نرم‌افزارهای Autodesk Ecotect جهت مدل‌سازی و Radianance Control Panel برای تحلیل روشنایی در روزهای مشخصی از سال و در ساعات مشخص (ساعات کار مدارس) استفاده شده است.

۳- شبیه‌سازی با نرم‌افزار رادیانس

تمامی شبیه‌سازی‌ها برای روزهای اول هر فصل و در دو ساعت ۹ صبح و ۲ بعداز ظهر برای ابعاد مختلف رف‌نوری با ضرایب ۳۰ سانتیمتر و فاصله رف‌نوری از سقف با ضرایب ۱۵ سانتیمتر انجام می‌شود. شبیه‌سازی‌هایی در متن تحلیل می‌شود که گویای نکته‌ای باشند. لازم به ذکر است که میزان روشنایی در شبیه‌سازی‌ها نیز روی سطحی به ارتفاع ۷۰ سانتیمتر (ارتفاع میز دانش‌آموزان) و در شرایط آسمان صاف و آفتابی بر حسب لوکس اندازه‌گیری می‌شود.

۳-۱- مشخصات فضای مورد مطالعه

جهت انجام شبیه‌سازی در نرم‌افزار رادیانس، کلاس درسی با ابعاد ۸۱۰×۶۰۰ و ارتفاع ۳۳۰ سانتیمتر و پنجره‌ای با ابعاد ۱۸۰×۶۳۰ که از کف ۱۲۰ سانتیمتر فاصله دارد (ارتفاع مجاز نوسازی مدارس)، روی جداره جنوبی در نظر گرفته شده است. ابعاد این پنجره بر اساس نسبت مساحت پنجره به دیوار خارجی که در پژوهش‌های سابق نگارنده برای شهر تهران ۳۰٪ تا ۴۰٪ تخمین زده شده، در نظر گرفته شده است. در این حالت پنجره می‌تواند در کنار تامین

بهره‌مندی از نور روز در ساختمان (گنجی خبیری و دیگران، ۱۳۹۴، ۳۵-۵۲)، به عنوان شیوه‌ای برای کاهش خیرگی و افزایش بازده معرفی شده است.

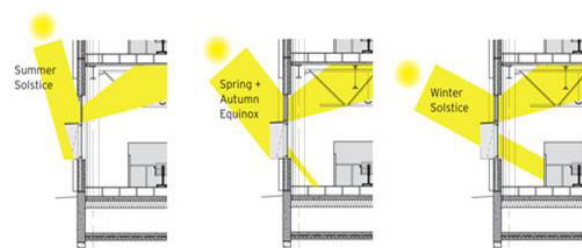
۴-۱- افزایش سطح روشنایی در مناطق مورد نیاز

چالش مربوط به هدایت نور طبیعی از پنجره به عمق بیشتری در ساختمان و در عین حال حفظ کیفیت آن را می‌توان به بهترین وجه از طریق انعکاس نور طبیعی از سقف برآورده ساخت. به طور کلی سیستم‌های نور روز، تجهیزات نوری تکمیل‌کننده‌ای هستند که یا به پنجره و نورگیر اضافه می‌شوند و یا به صورت پیوسته و ترکیب شده با آنها کار می‌کنند (مهدوی‌نژاد، ۱۳۹۱، ۴۲). یکی از این سیستم‌ها، رف‌نوری می‌باشد که با سه عمل سایه‌اندازی روی پنجره، پخش نور و کاهش خیرگی موجب بهبود روشنایی و یکنواختی نور در فضای داخلی می‌شوند. رف‌نوری معمولاً بالای ارتفاع چشم انسان قرار گرفته و پنجره را به دو بخش تقسیم می‌کند: یک بخش به منظور تامین دید و پخش دوم به عنوان فضایی جهت تابش نور به سقف و بازتابش آن به محیط داخلی. رف‌های نوری به طور میانگین قادر هستند تحت شرایط آسمان صاف در ساعاتی که نور خورشید وجود دارد، روی سطح کار به میزان ۲۰۰ لوکس نور ایجاد کنند (Kunjaranaaydhya, 2004). از آنجا که این سیستم بیشترین کارایی را در هوای صاف و آفتابی دارد و در ایران به طور متوسط بیش از ۲۸۰ روز آفتابی گزارش شده است (قیابکلو، ۱۳۸۹، ۱۲)، می‌تواند در سطح وسیعی از شهرهای ایران استفاده شود. از این رو در این پژوهش به بررسی نحوه استفاده و تناسبات بهینه این سیستم در شهر تهران پرداخته می‌شود.

لازم به ذکر است که کارکرد رف‌نوری بر اساس زاویه پرتوهای خورشید در فصول مختلف سال متفاوت است. این زاویه از یکسو در نحوه انعکاس پرتوها به فضای داخلی تاثیرگذار است و از سوی دیگر در میزان نفوذ نور از بخش پایینی پنجره به فضای داخلی (Freewan et al., 2010). بدین منظور تمامی شبیه‌سازی‌ها برای انقلاب تابستانی، زمستانی و اعتدالین انجام می‌شود.

۲- روش شناسی پژوهش

مروری بر ادبیات تخصصی موضوع نشان‌دهنده آن است که رف‌های نوری از تنوع قابل ملاحظه‌ای برخوردارند. از این رو لازم است که طراحی و استفاده آنها بر اساس گونه‌شناسی انواع



تصویر ۱- عملکرد رف‌نور در فصول مختلف.

ماخذ: (www.continuingeducation.construction.com)

است که در زمستان، در عمق اتاق لکه نوری ایجاد شده که باعث ایجاد خیرگی می شود. این مسئله در حالی است که نقاطی در فضا از روشنایی کافی برخوردار نیستند. این روند برای تمامی فصول شبیه سازی شده و نتیجه مشابهی از نظر کیفیت نور (ایجاد خیرگی و کمبود روشنایی در برخی نقاط فضا) را در فضا نشان داد. در ادامه راهکار رف نوری به شبیه سازی افزوده شده و تناسبات مختلف آن مورد آزمایش قرار گرفت.

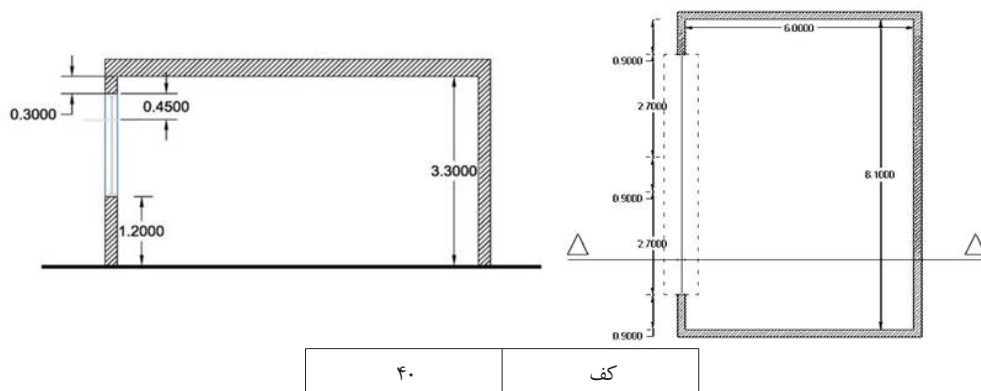
جهت اضافه کردن رف نوری به پنجره، اولین مرحله یافتن فاصله رف نور از لبه بالایی پنجره می باشد. هر چه فاصله رف نور از لبه بالایی پنجره و سقف بیشتر باشد، این سیستم عملکرد بهتری را نشان می دهد (نور در انعکاس از روی سطح رف در عمق بیشتری از فضا به سقف برخورد می کند). در پژوهشی که در سال ۲۰۰۹ در زمینه ارتفاع بهینه رف نوری انجام گرفت، در فضایی با ارتفاع ۳ متر، فاصله ۲۰۰ تا ۲۵۰ سانتیمتر از کف برای رف نوری پیشنهاد شد که اندازه ۲۰۰ سانتیمتر از کف فضا عملکرد بهتری نسبت به ۲۵۰ سانتیمتر داشت. ولی فاصله ۲۵۰ سانتیمتر، کنترل نور و احتمال خیرگی از سطح رف و دید کامل را نیز برای کاربران به همراه داشت (Joarder & Ahmed, 2009, 1709). از این رو با توجه به ارتفاع فضای مورد مطالعه

نور کافی، تبادل انرژی را به حداقل برساند (Mahdavinejad et al., 2012). جنس جداره های داخلی و سقف، با مصالحی که از نظر بافت بسیار نزدیک به گچ دیوار و به رنگ کرم بود و کف فضا نیز با مصالحی نزدیک به موزاییک و به رنگ خاکستری باشد، شبیه سازی می شود.

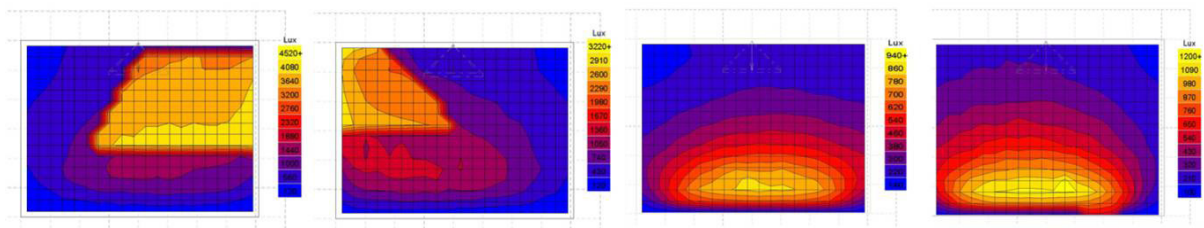
۲-۳- روند انجام شبیه سازی

ابتدا پنجره بدون رف نوری به عنوان حالت پایه آزمایش شده سپس ابعاد و زوایای رف نوری در شرایط مختلف مورد بررسی قرار می گیرد. تصویر ۳ که در انقلاب تابستانی و زمستانی میزان روشنایی را در ارتفاع میز کار دانش آموزان نشان می دهد، موبد این مطلب جدول ۱- ضریب انعکاس سطح داخلی فضای کلاس مورد آزمایش.

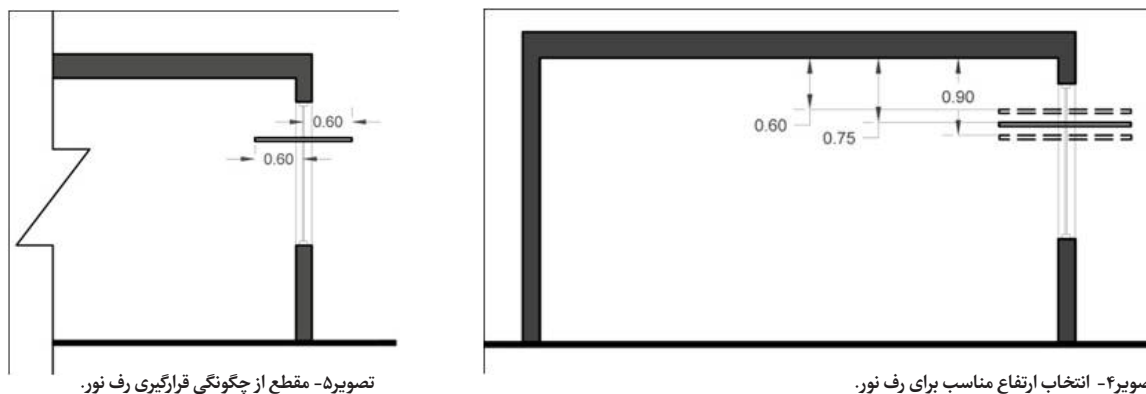
ضریب انعکاس سطوح	سطح کلاس درس
۵۰	دیوار
۸۰	سقف
۴۰	کف



تصویر ۲- مقطع و پلان کلاس و نحوه جانمایی رف نوری در فضا.



تصویر ۳- شبیه سازی بدون استفاده از رف نور- در دوزمان مشخص شده در اول تیرماه و اول دی ماه به ترتیب از راست.

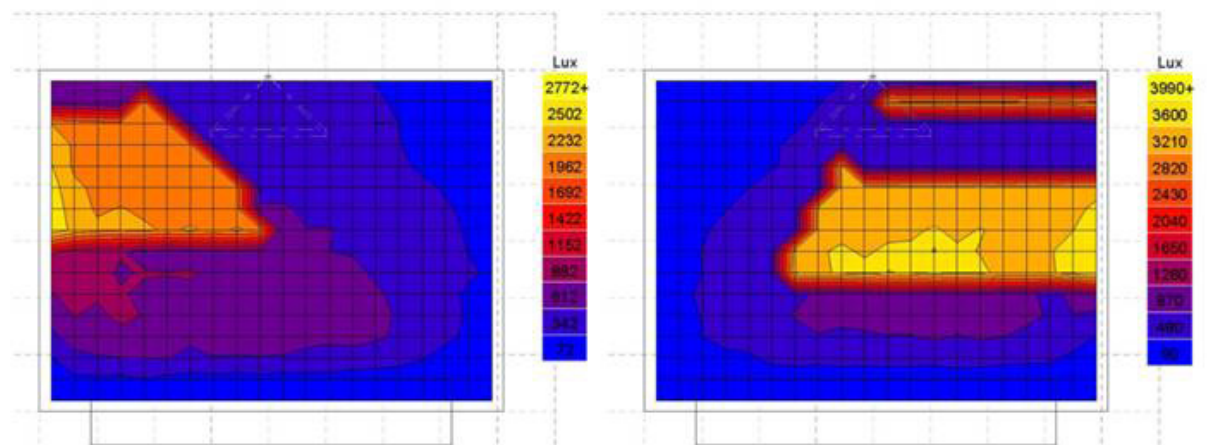


تصویر ۵- مقطع از چگونگی قرارگیری رف نوری.

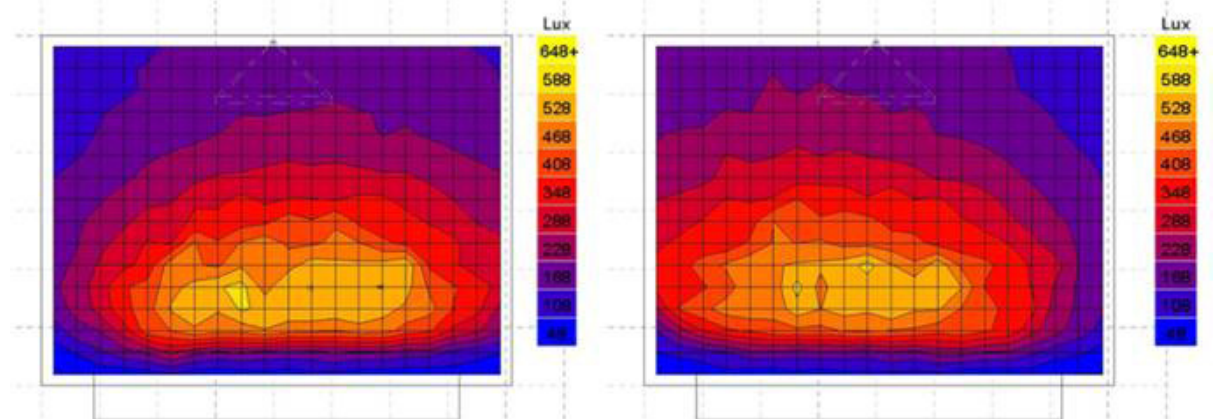
تصویر ۴- انتخاب ارتفاع مناسب برای رف نوری.

می‌کرد. ابعاد بزرگ‌تر از ۱۴۰ با توجه به زاویه خورشید حتی در فصل زمستان که پایین‌ترین زاویه را دارد، برخورد موثری با سطح رف نداشته و استفاده از آن، غیرمنطقی به نظر می‌رسید. در تصاویر ۵-۷، نتایج در دو فصل تابستان و زمستان نشان داده شده است. همانطور که در تصاویر بالا دیده می‌شود، در فصل تابستان به علت عمود تابیدن خورشید، ابعاد ۱۲۰ سانتیمتری رف نوری می‌تواند مناسب باشد اما در فصول دیگر مانند فصل زمستان (با توجه به پایین بودن زاویه خورشید)، لکه نور در فضای داخلی همچنان وجود دارد.

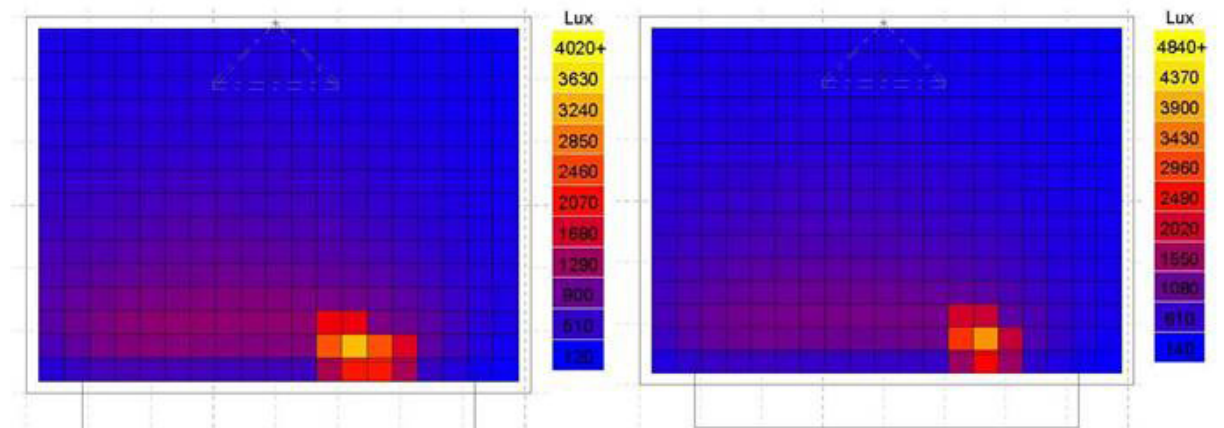
بین فواصل ۳۰، ۴۵ و ۶۰ سانتیمتر از لبه بالایی پنجره (مقادیر با تفاوت ۱۵ سانتیمتر)، با توجه به مسئله دید ساکنین، فاصله ۴۵ سانتیمتر انتخاب شد و شبیه‌سازی‌ها بر پایه آن انجام گرفت. برای شبیه‌سازی تناسبات، ابتدا رف نوری ۳۰ سانتیمتری و پس از آن ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ سانتیمتری به صورت میانه مورد آزمایش قرار گرفت. رف ۱۲۰ سانتیمتری و ۱۴۰ سانتیمتری از نظر انعکاس نور به عمق فضا عملکردی تقریباً یکسان نشان دادند ولی رف نوری ۱۴۰ سانتیمتری به علت سایه‌اندازی بیشتر روی پنجره در فصول زمستان، پاییز و بهار، نور یکنواخت‌تری را در فضا ایجاد



تصویر ۶- تحلیل حاصله از استفاده از رف ۱۲۰ سانتیمتری در اول دی ماه در ساعات ذکر شده.



تصویر ۷- تحلیل حاصله از استفاده از رف ۱۲۰ سانتیمتری در اول تیر ماه در ساعات ذکر شده.

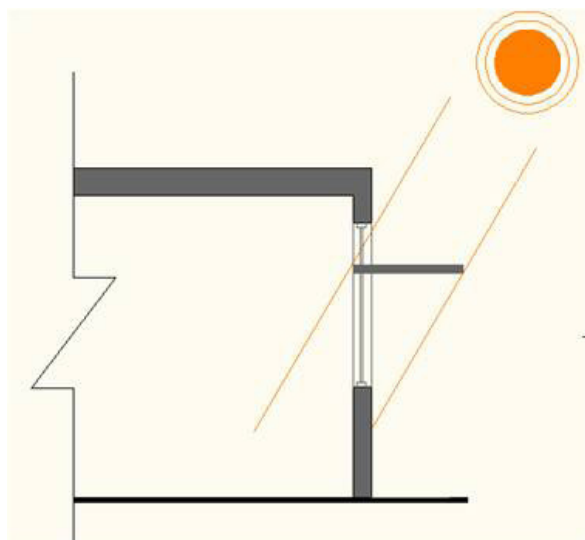


تصویر ۸- تحلیل حاصله از رف نوری ۱۲۰ سانتیمتری در ساعت ۹ صبح- از راست در فصل پاییز و بهار.

و ۱۴۰ سانتیمتری عملکرد تقریباً یکسانی در شدت روشنایی انتهای فضا دارند ولی رف نوری ۱۴۰ سانتیمتری، به علت عملکرد سایبانی بیشتر، نور یکنواخت تری (کاهش اختلاف روشنایی جلوی پنجره و انتهای اتاق) را در فضا نسبت به دیگر رف ها ایجاد کرده است (۳/۰۰۱۱۲).

خاصیت سایبانی رف نوری تا حدودی مشکل ایجاد لکه های نوری و خیرگی را در فضا تعدیل می کند. اما این امر کافی نبوده و برای کنترل خیرگی باید راهکار ثانویه همزمان با سیستم رف نورمورد استفاده قرار گیرد تا نور یکنواخت تری در فضای داخلی کلاس درس ایجاد شود. برای این منظور باید ضریب نورگذری قسمتی از پنجره که زیر رف نوری قرار می گیرد را کاهش داد. برای رسیدن به این هدف، می توان از شیشه با ضریب نورگذری پایین تر، پرده، لوور، افزایش عمق رف به عنوان سایبان، سایبان عمیق و... استفاده کرد.

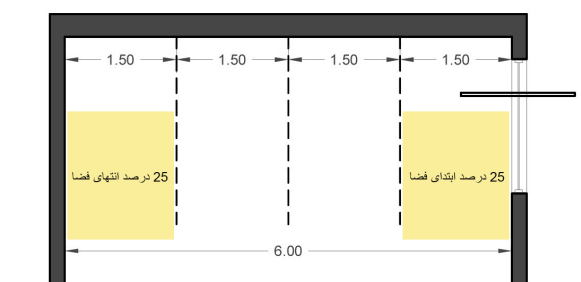
راه حل اول این است که عرض رف نوری خارجی به حدی افزایش یابد که اثر سایبانی آن قادر به برطرف کردن خیرگی جلو پنجره باشد. ولی از آنجا که افزایش عرض با توجه به زاویه تابش خورشید در زمان های مختلف سال از میزان مشخصی بیشتر،



تصویر ۱۱- نحوه قرارگیری رف نوری مقابل پنجره.



با توجه به مطالبی که تاکنون ذکر شد، روند انجام شبیه سازی ها باید به سمتی سوق پیدا کند که از شدت روشنایی نزدیک به پنجره کاسته شده و به روشنایی عمق فضا افزوده شود به گونه ای که بتوان نور یکنواخت و مناسبی در فضا ایجاد کرد. در ادامه خلاصه ای از روند شبیه سازی ها در جدول ۲ شده است تا مقایسه میان تناسبات مختلف رف نوری آسان تر شود. در این جدول، میانگین بین نتایج حاصله برای ۲۵ درصد جلو فضا و ۲۵ درصد انتهایی محاسبه شده است، که به شرح زیر می باشد: همانطور که در جدول ۲ مشاهده می شود، رف نوری ۱۲۰



تصویر ۹- ۲۵ درصد ابتدا و انتهای فضا.

جدول ۲- میانگین میزان روشنایی ۲۵ درصد جلو و انتهای کلاس درس.

رف نوری به صورت میانه و عمود بر پنجره قرار گرفته است		
ابعاد رف (cm)	روشنایی ۲۵ درصد انتها (لوکس)	روشنایی ۲۵ درصد جلو (لوکس)
بدون رف	۱۳۲	۴۵۰۰
۳۰	۱۶۰	۴۱۰۰
۶۰	۱۷۲	۳۳۰۰
۹۰	۲۱۰	۲۱۰۰
۱۲۰	۴۳۰	۱۷۰۰
۱۴۰	۴۴۵	۱۵۰۰



تصویر ۱۰- امکان ورود اشعه های مستقیم خورشید در زمستان و کنترل بخش زیرین با پرده.

ماخذ: (www.media.designerpages.com)

فضا، ۳- قسمتی بیرون و قسمتی داخل فضا. در ادامه تمامی این روش‌ها مورد آزمایش قرار می‌گیرد:

در این مرحله، شبیه‌سازی را از یک مرحله قبل از پاسخ بهینه شبیه‌سازی رف نوری آغاز می‌کنیم (یعنی رف نوری ۹۰ سانتی‌متری). این رف به سایبان عمیق اضافه می‌شود و ابعاد مختلف سایبان مورد آزمایش قرار می‌گیرد. پس از آن دوباره رف نوری نیز با ابعاد دیگری مورد آزمایش قرار می‌گیرد. این روند تا جایی ادامه می‌یابد که نتیجه بهینه حاصل شود.

ابتدا سایبانی با عمق ۲۱۰ و ۱۸۰ و ۱۵۰ و ۱۲۰ سانتیمتری در دو ساعت ۹ و ۱۴ به‌گونه‌ای در فصول مختلف مورد آزمایش قرار گرفت که لکه‌های نوری به وجود آمده از قسمت زیرین سایبان به حداقل برسد و عرض سایبان نیز در کمترین حالت ممکن باشد. به عنوان نمونه نتایج سایبان ۱۲۰ سانتی‌متری به همراه رف نور ۹۰ سانتیمتری در ساعت ۱۴ به شرح زیر است:

همانطور که در تصویر ۱۳ دیده می‌شود، ترکیب سایبان عمیق و رف در فصل تابستان که پرتوهای خورشید عمود هستند، میانگین روشنایی را به کمتر از ۳۰۰ لوکس (استاندارد کلاس آموزشی) می‌رساند. در مرحله بعد جهت افزایش روشنایی داخلی دوباره عمق سایبان تا ۱ متر کاهش می‌یابد:

با توجه به تصویر ۱۴، مشخص می‌شود که با کاهش عمق سایبان تا ۱۰۰ سانتیمتر، میانگین روشنایی در فضای داخلی حدود ۱۶ درصد افزایش می‌یابد. ولی همچنان میزان روشنایی اتاق در فصل تابستان از میانگین مجاز برای کلاس درس کمتر است. در مرحله بعد، عمق سایبان به اندازه ۸۰ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود و در دو فصل پاییز و بهار سنجیده می‌شود. با توجه به تصویر ۱۵، مشخص می‌شود که عمق سایبان ۸۰ سانتیمتری در فصل بهار، پاسخگوی مناسبی برای کنترل لکه نوری روی سطح میز کار نمی‌باشد.

لازم به ذکر است که عمق سایبان برای فصل زمستان، با توجه به زاویه تابش خورشید؛ در هیچ کدام از شرایط فوق پاسخگو نبوده و باید در فصل زمستان از کنترل‌کننده سوم (در صورت نیاز از پرده و یا لوورهای مهارکننده نور در قسمت زیرین سایبان) نیز کمک گرفته شود. در نتیجه سایبان ۱۰۰ سانتیمتری را به عنوان سایبان بهینه تا این مرحله در نظر می‌گیریم. در ادامه به بررسی

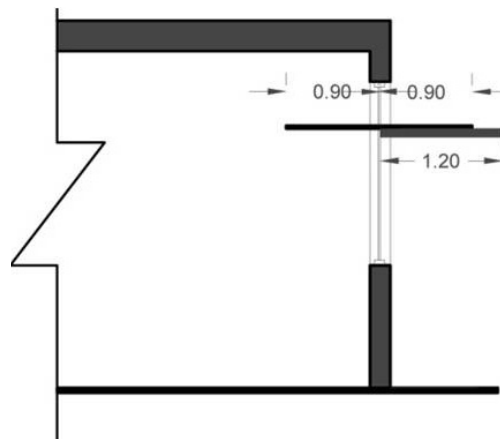
تاثیری در کارایی رف ندارد و همچنین عرض زیاد رف نوری در ایستایی و تجهیزات نصب آن روی دیوار نیز مشکلاتی ایجاد می‌کند، این روش، روش مطلوبی به نظر نمی‌رسد.

سایبان: یکی از راهکارهای رایج جهت کنترل نور، استفاده از انواع سایبان‌ها می‌باشد. هدف عمده سایبان‌ها، کنترل ورود نور طبیعی به واسطه مولفه نورگذر است تا به این ترتیب مانع ایجاد پدیده خیرگی و برهم خوردن آسایش حرارتی شود (Lam, 1986, 67). در صورت استفاده از سایبان‌ها باید ابعاد و ویژگی‌های آن با توجه به منطقه مورد استفاده تنظیم شود.

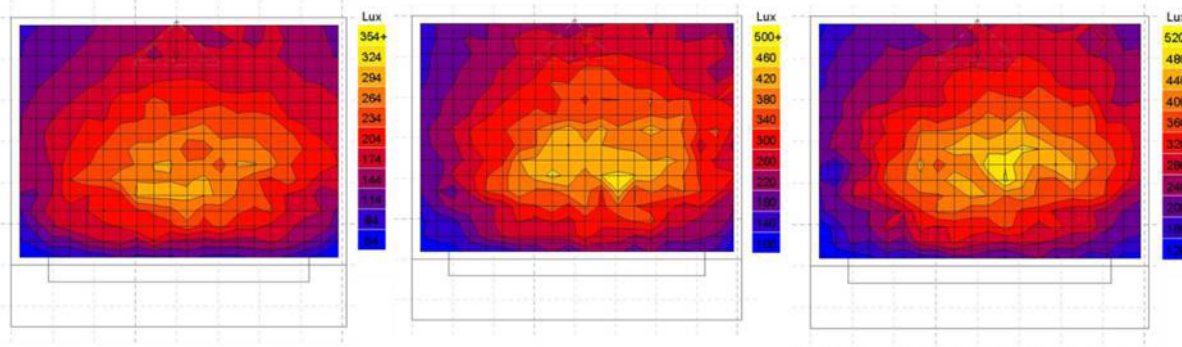
در ادامه، سایبانی عمیق به گونه‌ای که قسمت بالایی پنجره آزاد باشد و امکان نصب رف نوری روی آن باشد، روی پنجره در نظر گرفته می‌شود. شبیه‌سازی‌ها برای تمامی فصول و در ۲ ساعت مشخص شده قبلی ادامه می‌یابد تا حداقل عرض ممکن را به گونه‌ای که روشنایی مجاور پنجره به میزان استاندارد برای فضاهای آموزشی برسد و تا حد امکان از ایجاد لکه‌های نوری جلوگیری شود، مشخص شود. برای مشخص کردن اندازه بهینه باید رف نوری و سایبان عمیق به طور همزمان در مقابل پنجره قرار گرفته و شبیه‌سازی‌ها انجام شود.

اضافه شدن سایبان عمیق به سیستم رف نور

به طور کلی ۳ روش جهت قرار گرفتن رف نور مقابل پنجره وجود دارد. ۱- تمام رف نور خارج از فضا، ۲- تمام رف نور داخل



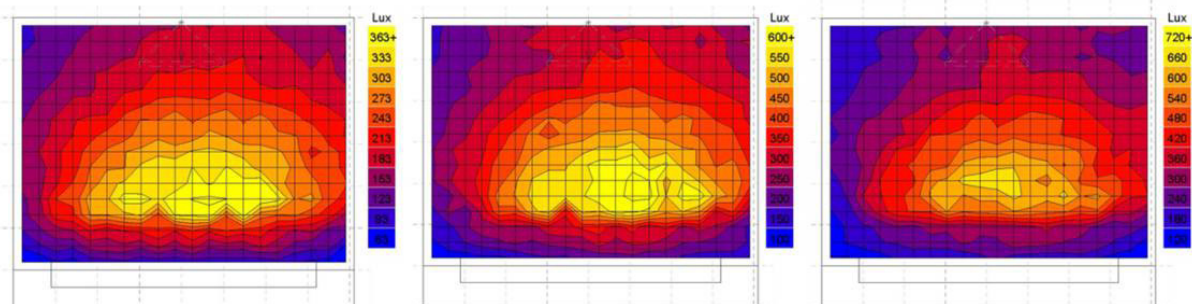
تصویر ۱۲- مقطع از نحوه قرارگیری رف نور روی سایبان.



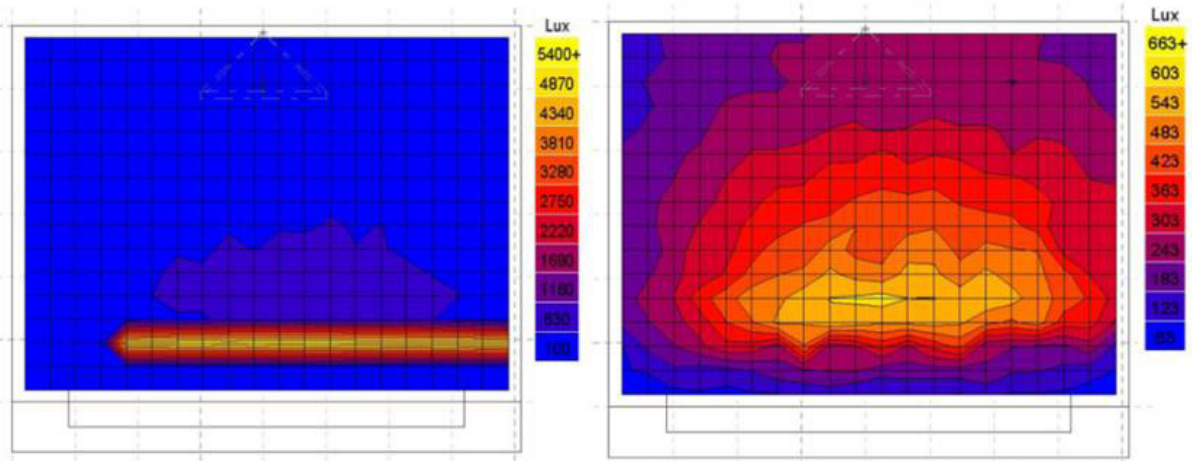
تصویر ۱۳- نتایج سایبان ۱۲۰ سانتیمتری و رف ۹۰ سانتیمتری میانه (نیمی خارج و نیمی داخل) - از چپ: بهار، پاییز تابستان - با توجه به تصاویر میانگین روشنایی در فصل تابستان از میزان استاندارد پایین‌تر است.

امر به دلیل امکان برخورد حداکثری پرتوهای خورشید با سطح رف و همچنین ایجاد خاصیت سایبان داخلی توسط رف نوری می باشد. نیمه داخلی رف، در برابر لکه های نوری ایجاد شده توسط پرتوهای عبوری از بخش بالای رف، به عنوان سایبان عمل کرده و باعث یکنواختی بیشتر نور در فضای داخلی می شود.

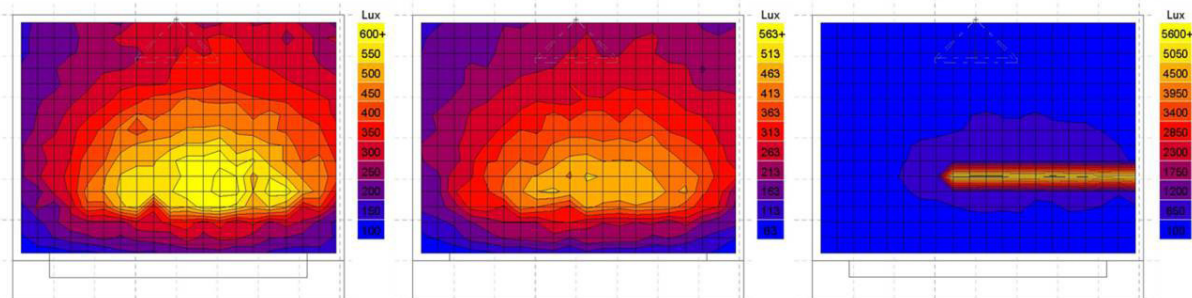
در مورد جانمایی رف نوری پرداخته می شود. در متن به عنوان نمونه به بررسی شرایط رف نور در فصل پاییز می پردازیم. با توجه به تصویر ۱۶ و اطلاعات جدول ۳ مشخص می شود که رف های نوری میانه، عملکرد مناسب تری نسبت به رف های داخلی یا خارجی نشان می دهند (Joarder&Ahmed, 2009, 1709). این



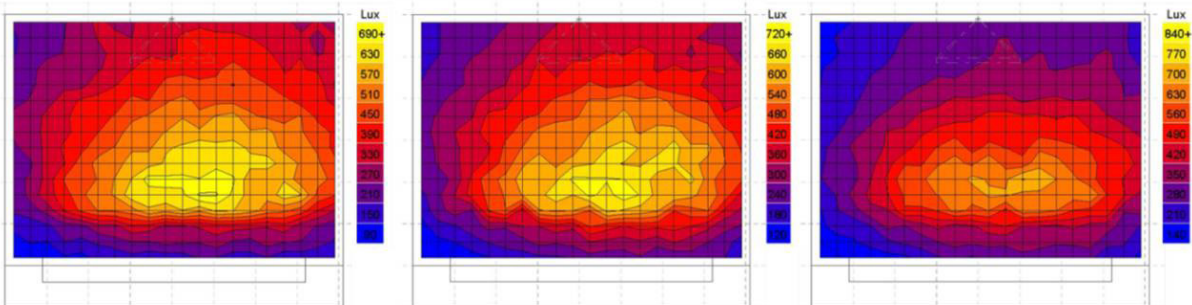
تصویر ۱۴- با کاهش عمق سایبان تا ۱۰۰ سانتیمتر، میانگین روشنایی فضای داخلی افزایش می یابد.



تصویر ۱۵- استفاده از سایبان ۸۰ سانتیمتری و رف ۱۲۰ سانتیمتری ساعت ۹ صبح- از راست اول مهر و اول فروردین ماه.



تصویر ۱۶- از سمت راست استفاده از سایبان عمیق ۸۰ سانتیمتری و رف خارجی- سایبان ۱۰۰ سانتیمتری - استفاده از رف و سایبان ۱۰۰ متری به طور همزمان.



تصویر ۱۷- نمونه ای از سه حالت چرخش: از راست نیمه خارجی، تمام رف و نیمه داخلی رف نوری چرخیده است.

ولی باید توجه داشت که خاصیت سایبان داخلی ممکن است در برخی فصول مانند تابستان که خورشید به صورت عمود می‌تابد؛ باعث کاهش سطح روشنایی مورد نیاز شود.

مرحله آخر شبیه‌سازی، آزمایش فاکتور زاویه می‌باشد. شبیه‌سازی‌ها برای زوایای ۵، ۱۵ و ۳۰ درجه نسبت به محور افق در زمان‌های مشخص شده و در ۲ ساعت مذکور انجام می‌شود.

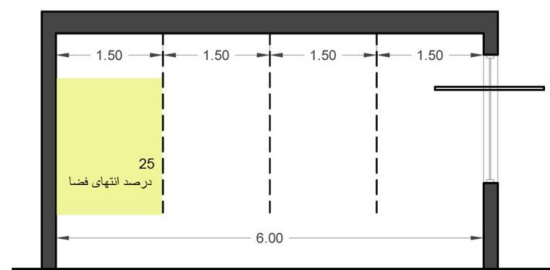
برای آزمایش این فاکتور سه حالت چرخش در نظر گرفته می‌شود: ۱- چرخش تمام رف نوری به طور هم‌زمان ۲- نیمه خارجی رف چرخیده و نیمه داخلی ثابت باشد ۳- نیمه داخلی رف چرخیده و نیمه خارجی ثابت بماند. در ادامه نتایج محل قرارگیری رف نوری و نحوه چرخش آن به طور خلاصه در جدول ۳ ارائه می‌شود. لازم به ذکر است که با توجه

جدول ۳- میزان روشنایی ۲۵ درصد انتهایی فضا بر حسب فاکتورهای تعریف شده.

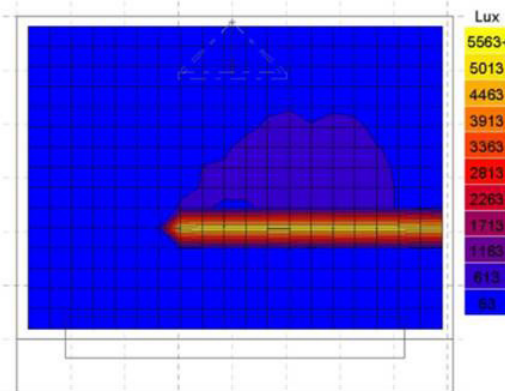
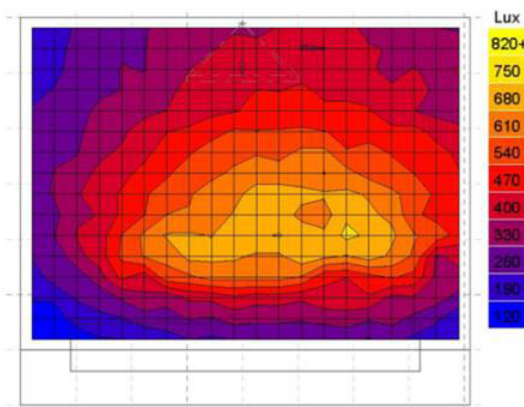
جدول ۳- میزان روشنایی ۲۵ درصد انتهایی فضا بر حسب فاکتورهای تعریف شده.

۲۵ درصد انتهایی اتاق - سایبان ۱ متر و رف نوری ۷۰ سانتی‌متری - ساعت ۲ بعد از ظهر			
نیمه	تمام رف بیرون	تمام رف داخل	
۱۷۰	۲۲۰	۱۴۰	اول تابستان (لوکس)
۲۹۰	لکه نوری	۲۵۰	اول بهار (لوکس)
۲۷۵	لکه نوری	۲۶۰	اول پاییز (لوکس)

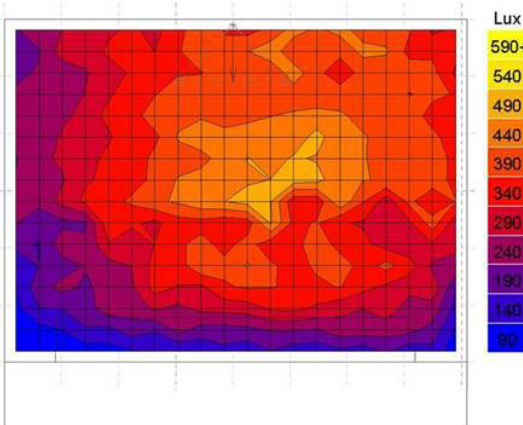
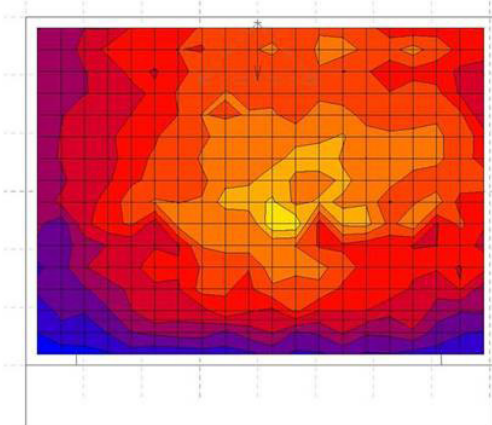
۲۵ درصد انتهایی اتاق - سایبان ۱ متر و رف نوری ۷۰ سانتی‌متری - ساعت ۲ بعد از ظهر - ۱۵ درجه چرخیده			
نیمه	تمام رف بیرون	تمام رف داخل	
۲۰۰	۲۴۰	۱۷۰	اول تابستان (لوکس)
۳۵۰	لکه نوری	۳۱۰	اول بهار (لوکس)
۳۳۰	لکه نوری	۳۲۰	اول پاییز (لوکس)



تصویر ۱۸- ۲۵ درصد انتهایی فضا.



تصویر ۱۹- رف نوری میانه - از چپ: ۳۰ درجه و ۱۵ درجه به سمت داخل چرخیده‌اند.

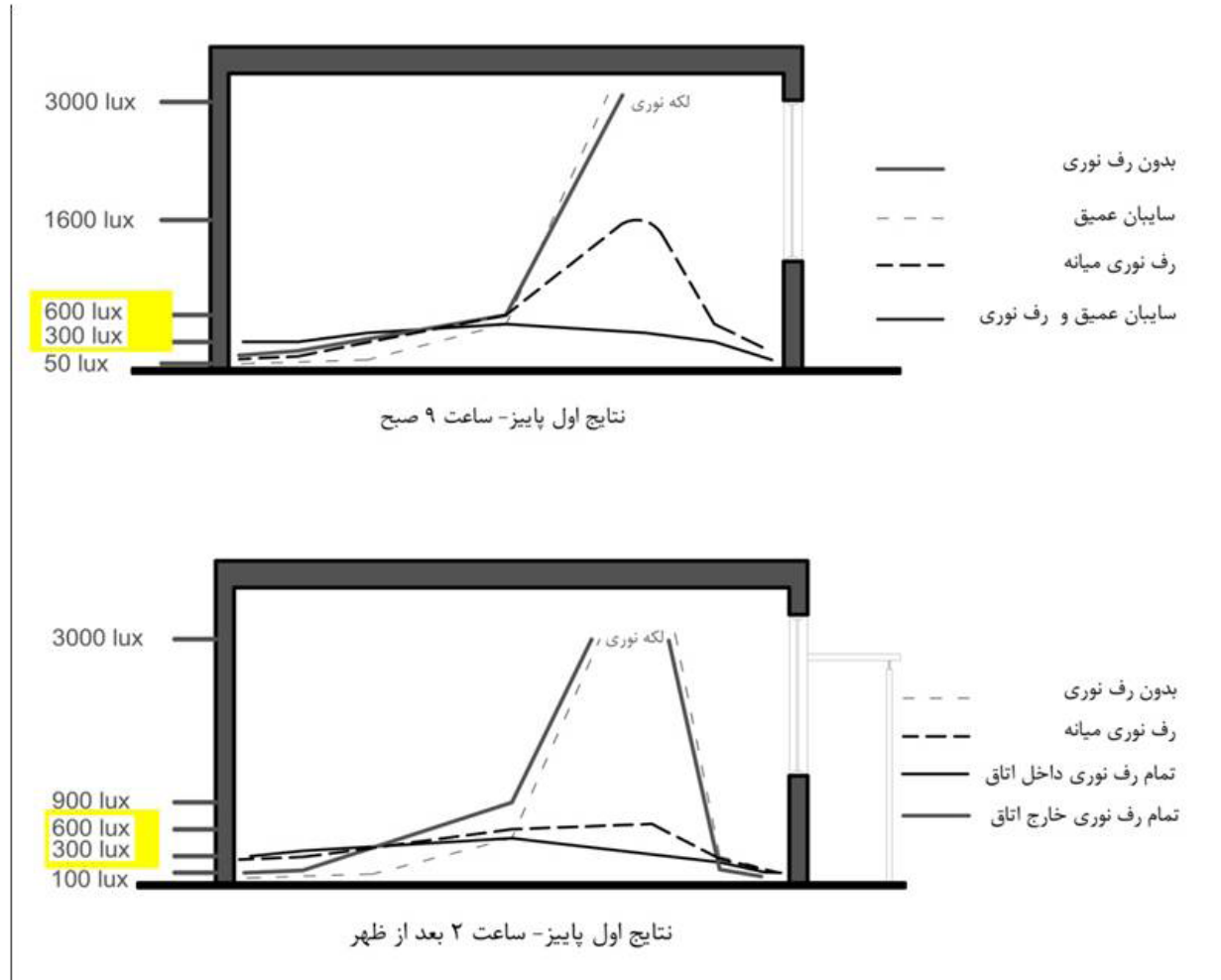


تصویر ۲۰- از راست: پاییز و بهار- رف تمام داخلی ۷۰ سانتی متری به همراه ۱۵ درجه چرخش به داخل.

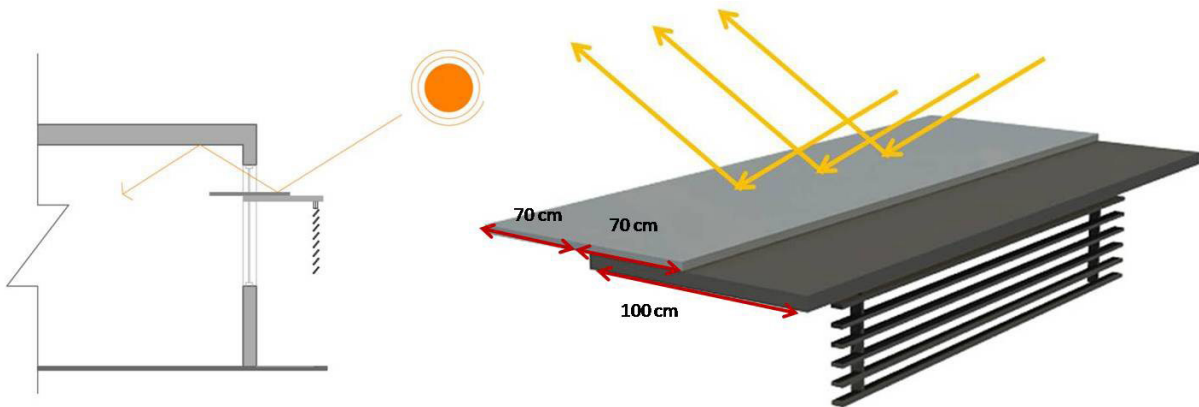
۴- مدل پیشنهادی

در تصویر ۲۲، نمونه پیشنهادی جهت طراحی پنجره‌های جنوبی کلاس‌های درس و نحوه قرارگیری اجزای بررسی شده از جمله: رف نوری، سایبان عمیق و کنترل‌کننده متحرک (پرده، کرکره، لوور و ...) مشخص شده است.

با توجه به اطلاعات جدول ۳ مشخص می‌شود در فصل تابستان با حذف نیمه داخلی رف نوری میانگین سطح روشنایی افزایش می‌یابد (حذف سایبان داخلی). جهت سهولت مقایسه عملکرد بین حالت‌های مختلف قرارگیری رف نوری، میزان روشنایی در عمق اتاق در نمودارهای زیر بر حسب لوکس ترسیم شده است:



تصویر ۲۱- نمودار سطح روشنایی در مقطع اتاق.



تصویر ۲۲- نمونه‌ای از نحوه قرارگیری رف، سایبان و لوورهای کنترل‌کننده در زمان مورد نیاز.

نتیجه

سایبانی توسط نیمه داخلی رf نوری، پاسخگوی مناسبی برای افزایش روشنایی نمی‌باشد. بدین منظور بهتر است رf نوری به گونه‌ای طراحی شود که بخش داخلی رf متحرک بوده و در این فصل از سال جدا شده تا نور مورد نیاز در فضای داخلی، روشنایی استاندارد ۳۰۰ لوکس را تامین کند. همچنین شبیه‌سازی‌ها حاکی از آن است که یکی از موثرترین فاکتورها جهت انتقال نور، فاکتور زاویه می‌باشد که در موقعیت جغرافیایی شهر تهران زاویه ۱۵ درجه نسبت به محور افق به سمت فضای داخلی، به طور میانگین می‌تواند به عنوان زاویه بهینه در نظر گرفته شده و روشنایی را در سطح میز کار دانش‌آموزان افزایش دهد. دستاوردهای پژوهش حاکی از آن است که استفاده از سیستم رf نوری می‌تواند جهت ارتقای بهره‌وری در استفاده مطلوب از نور روز در فضای داخلی، بسیار کارآمد باشد.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد سیستم رf نوری در شهر تهران قادر است کیفیت و کمیت نور را در کلاس‌های درس مورد بررسی افزایش دهد. جهت ایجاد نور یکنواخت و مطلوب در سطح میز کار دانش‌آموزان، می‌توان از رf نوری ۷۰ سانتیمتری روی نمای خارجی و رf نوری ۷۰ سانتیمتری در فضای داخلی استفاده کرد. همچنین برای کنترل خیرگی لازم است به همراه رf نوری، سایبانی با عمق ۱۰۰ سانتیمتر در جداره خارجی و دقیقاً زیر رf نوری (بدون فاصله) قرار گیرد که البته این سایبان می‌تواند همان رf نوری باشد. به عبارت دیگر می‌توان رf نوری خارجی را ۱۰۰ سانتیمتر در نظر گرفت.

این سیستم قادر است در فصول بهار و پاییز، نور مورد نیاز را تامین کند ولی میزان روشنایی مورد نیاز در فصل تابستان با توجه به عمود تابیدن خورشید به سطح رf نوری و ایجاد اثر

سپاسگزاری

این پژوهش تحت حمایت مالی و با همکاری سازمان بهینه‌سازی مصرف انرژی ایران (سابا) انجام شده است.

پی‌نوشت‌ها

1 CIBSE.

۲ به صورتی که نیمی از رf داخل و نیمی از آن خارج از پنجره قرار بگیرد.

فهرست منابع

مهدوی‌نژاد، محمدجواد و مطور، سها (۱۳۹۱)، کیفیت نورگیرها درگنبدهای ایرانی، نقش جهان- مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی، ۳(۲)، صص ۳۱-۴۲.

مهدوی‌نژاد، محمدجواد و معتضدیان، فهیمه (۱۳۹۴)، گونه‌شناسی انواع و مشخصات فنی رf های نوری، معماری و شهرسازی آرمان شهر، ۱۷(۱)، صص ۹۱-۱۰۴.

مهدوی‌نژاد، محمدجواد و نیکودل، فهیمه (۱۳۹۴)، تعامل زیبایی بصری و فناوری‌های نوین نورپردازی در معماری شبانه ساختمان‌ها، آرمانشهر، ۱۷(۱)، صص ۱۳۱-۱۴۳.

Baker, N& Steemers, Koen (2002), *Daylight Design Of Buildings*, Londo: Directorate General XII for Science Research and Development, James & James (Science Publishers) Ltd, London.

CIBSE. (1999), *CIBSE Lighting Guide: LG10*, Daylighting and window design, Chartered Institution of Building Services Engineers, London.

Freewan, A (2010), Maximizing the lightshelf performance by interaction between lightshelf geometries and a curved ceiling, *Energy Conversion and Management*, 51, 1600-1604

IEA, SHC Task21 (2000), *Daylight in Buildings*, ECBCS Annex.

Joarder, R & Ahmed, N (2009), A Simule Ation Assesseent of The Height of Light Shelves to Enhance Daylighting Quality in Tropical Office Buildings Under Overcast SKY Cnddtions in Dhaka, Bangladesh, *Eleventh International IBPSA Conference*, July 27-30, 1706-17013.

Kunjaranaay dhya, I (2004), *The Daylighting for Daylight Transport-*

حیدری، شاهین و جهانی‌نوق، مجید (۱۳۹۳)، سازگاری حرارتی در معماری نخستین قدم در صرفه جویی مصرف انرژی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران. قیاباکلو، زهرا (۱۳۸۹)، مبانی فیزیک ساختمان دو، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران.

گروت، لیندا و دیوید وانک (۱۳۸۸)، روش‌های تحقیق در معماری، ترجمه: علیرضا عینی‌فر، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

گنجی‌خیبری، ابوالفضل؛ دیبا، داراب؛ مهدوی‌نژاد، محمدجواد و شاه‌چراغی، آزاده (۱۳۹۴)، طراحی الگوریتمیک پالکانه برای افزایش بهره‌مندی از نور روز در ساختمان، معماری و شهرسازی آرمان شهر، ۱۷(۱)، صص ۳۵-۵۲. لکتر، نوبرت (۱۳۸۵)، گرمایش، سرمایش، روشنایی، رویکردهای طراحی برای معماران، ترجمه: محمد علی کی‌نژاد و رحمان آذری. چاپ اول. تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

مهدوی‌نژاد، محمدجواد؛ بمانیان، محمدرضا و مطور، سها (۱۳۹۱)، تخمین کارایی کانال‌های انتقال نور افقی در ساختمان‌های عمیق؛ نمونه: بناهای اداری تهران، مجله هنرهای زیبا-معماری و شهرسازی، ۱۷(۴)، صص ۴۱-۴۸.

مهدوی‌نژاد، محمدجواد و پورفتح‌اله، مائده (۱۳۹۴)، فناوری‌های جدید نورپردازی و ارتقای حس تعلق شهروندان؛ مطالعه موردی: بدنه‌های شهری تهران، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، ۴۷(۱) ۱۴۱-۱۳۱.

Ratio (WWR) in Office Buildings in Hot and Dry Climate, Case of Iran, Tehran, *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 110-116, 72-76.

http://continuingeducation.construction.com/article_print.php?C=728&L=5

<http://media.designerpages.com/3rings/2010/12/15/bright-shelf-light-shelf-brings-natural-light-inside>

ing System for Deep Space Illuminative, Faculty of Virginia Polytechnic institute, Virginia.

Lam, W.C (1986), *Sunlighting as a Formgiver for Architecture*, Van Nostrand Rrinhold, Lewiston, NY, U.S.A .

Mahdavinejad, M; Mator, S; Feyzmand, N& Doroodgar, A (2012), Horizontal Distribution of Illuminance with Reference to Window Wall-