صفحات ۸۱ - ۹۲
نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی ● دوره ۲۱ ● شماره ۲ ● تابستان ۱۳۹۵

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

محمدجواد مهدوی‌نژاد[۱**]، **منصوره طاهباز**[۲]، **مهناز دولت‌آبادی**[۳]
[۱] دانشیار گروه معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
[۲] دانشیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران.
[۳] کارشناسی 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 انتقال‌دهنده 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 رو از 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 رف‌نوری 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 پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده سوم تحت عنوان: « بهینه سازی 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: ۸۲۸۸۳۷۳۹-۰۲۱، نمابر: ۸۸۰۰۸۰۹۰-۰۲۱، E-mail: mahdavinejad@modares.ac.ir.

مقدمه

در سال‌های اخیر به دلیل بحران‌های زیست محیطی و بحران انرژی روی داده در کره زمین و همچنین روشن‌شدن 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 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 کمّی 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.

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 روشن‌کردن مناسب و البته کارآمد محیط مورد استفاده قرار گرفته است (مهدوی‌نژاد 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 (مهدوی‌نژاد و پورفتح‌اله، ۱۳۹۴، ۱۳۳) و یا نقش نور در احساس زیبایی بخصوص در تحلیل برداشت مخاطب از آثار معماری معاصر ایران (مهدوی‌نژاد 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[1]، 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).

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

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

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

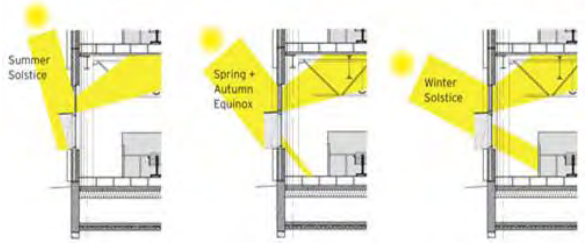
۱-۴- افزایش سطح روشنایی در مناطق مورد نیاز

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 ترکیب‌شده با آنها کار می‌کنند (مهدوی‌نژاد، ۱۳۹۱، ۴۲). یکی از این سیستم‌ها، رف نوری می‌باشد که با سه عمل سایه‌اندازی روی پنجره، پخش نور و کاهش خیرگی موجب بهبود روشنایی و یکنواختی نور در فضای داخلی می‌شوند. رف نوری معمولاً بالای ارتفاع چشم انسان قرار گرفته و پنجره را به دو بخش تقسیم می‌کند: یک بخش به منظور تامین دید و بخش 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 رف نوری 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- روش‌شناسی 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



تصویر۱- عملکرد رف نور در فصول مختلف.
ماخذ: (www.continuingeducation.construction.com)

ومشخصات فنی رف‌های نوری (مهدوی‌نژاد و معتضدیان، ۱۳۹۴، ۹۱-۱۰۴) صورت پذیرد. به عبارت دیگر گونه‌شناسی رف‌های نوری و تمرکز برمشخصات فنی آنها برای تقسیم‌بندی میزان کارآیی، 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) درساختمان، 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 رف نوری و پیشنهاد الگویی جهت طراحی بازشوهای 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 رف نوری جهت تولید نور یکنواخت در فضای داخلی بهره گرفت؟ وابعاد 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 سامان‌یافته تدوین نماید (گروت و وانگ، ۱۳۸۸، ۹۳). همچنین از نرم‌افزارهای Autodesk Ecotect جهت مدل‌سازی و Radiance 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 رف نوری با ضرایب ۳۰ سانتیمتر و فاصله رف نوری 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 ۶۰۰×۸۱۰ و ارتفاع ۳۳۰ سانتیمتر و پنجره‌ای با ابعاد ۶۳۰×۱۸۰ که از کف ۱۲۰ سانتیمتر فاصله دارد (ارتفاع مجاز نوسازی مدارس)، روی جداره جنوبی در نظر گرفته شده است. ابعاد این پنجره براساس 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

نـور کافـی، تبـادل انـرژی را بـه حداقـل برسـاند (Mahdavinejad et al., 2012). جنـس جداره‌هـای داخلـی و سـقف، بـا مصالحی که از نظـر بافت بسـیار نزدیک بـه گچ دیـوار و به رنگ کرم بـود وکف فضا نیـز بـا مصالحـی نزدیـک به موزاییـک و به رنگ خاکسـتری باشـد، شبیه‌سازی می‌شود.

۳-۲- روند انجام شبیه‌سازی

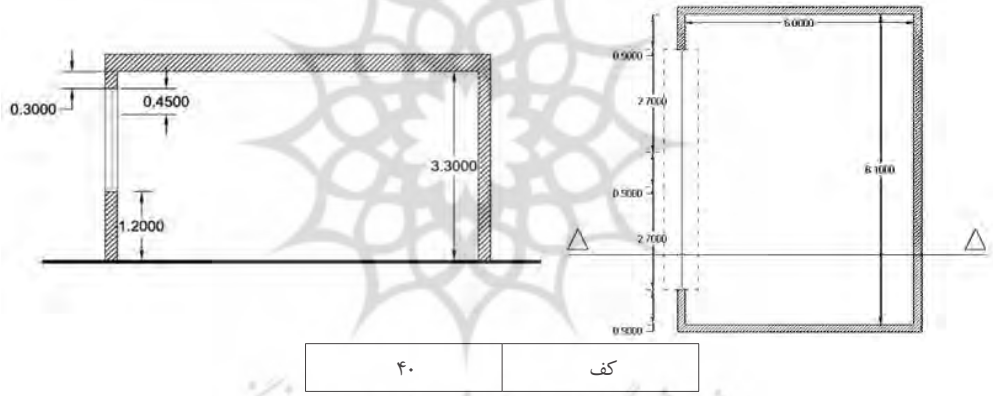
ابتدا پنجره بدون رف نوری به‌عنوان حالت پایه آزمایش شده سپس ابعاد و زوایای رف نوری در شرایط مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تصویر۳ که در انقلاب تابسـتانی و زمسـتانی میزان روشنایی را در ارتفـاع میـز کار دانش آموزان نشـان می‌دهـد، موید این مطلب است که در زمستان، در عمق اتاق لکه نوری ایجاد شده که باعث ایجـاد خیرگی می‌شـود. این مسـئله در حالی اسـت کـه نقاطی در فضـا از روشـنایی کافی برخـوردار نیسـتند. این روند بـرای تمامی فصـول شبیه‌سازی‌شـده و نتیجـه مشـابهی از نظـر کیفیـت نـور (ایجـاد خیرگی و کمبـود روشـنایی در برخی نقاط فضـا) را در فضا نشان داد. در ادامه راهکار رف نوری به شبیه‌سازی افزوده شده و تناسبات مختلف آن مورد آزمایش قرار گرفت.

جهـت اضافه‌کـردن رف نـوری بـه پنجـره، اولیـن مرحلـه یافتـن فاصله رف نور از لبه بالایی پنجره می‌باشد. هر چه فاصله رف نور از لبه بالای پنجره و سقف بیشتر باشد، این سیستم عملکرد بهتری را نشان می‌دهد (نور در انعکاس از روی سطح رف در عمق بیشتری از فضا به سقف برخورد می‌کند). 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 ایـن رو بـا توجـه بـه ارتفـاع فضـای مـورد مطالعـه

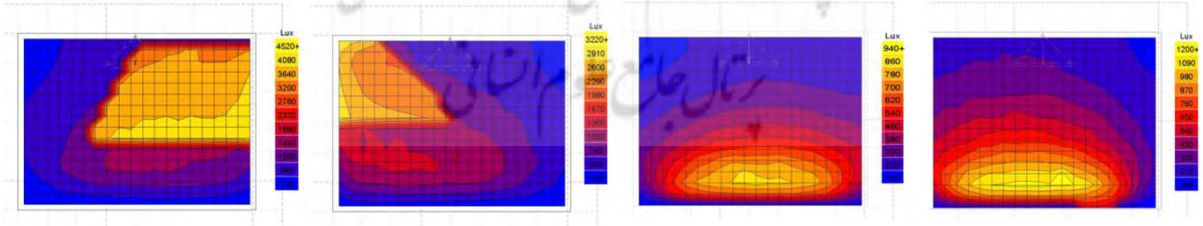
جدول ۱- ضریب انعکاس سطح داخلی فضای کلاس مورد آزمایش.

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

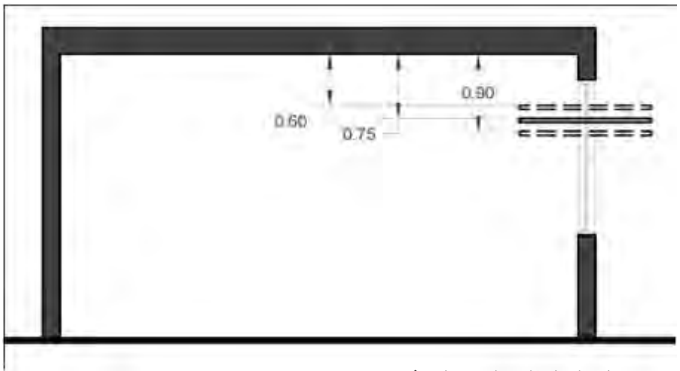


کف	۴۰

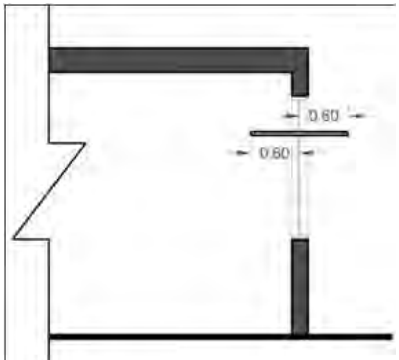
تصویر۲- مقطع و پلان کلاس و نحوه جانمایی رف نوری در فضا.



تصویر۳- شبیه‌سازی بدون استفاده از رف نور- در دوزمان مشخص شده در اول تیرماه و اول دی ماه به ترتیب از راست.



تصویر۴- انتخاب ارتفاع مناسب برای رف نور.

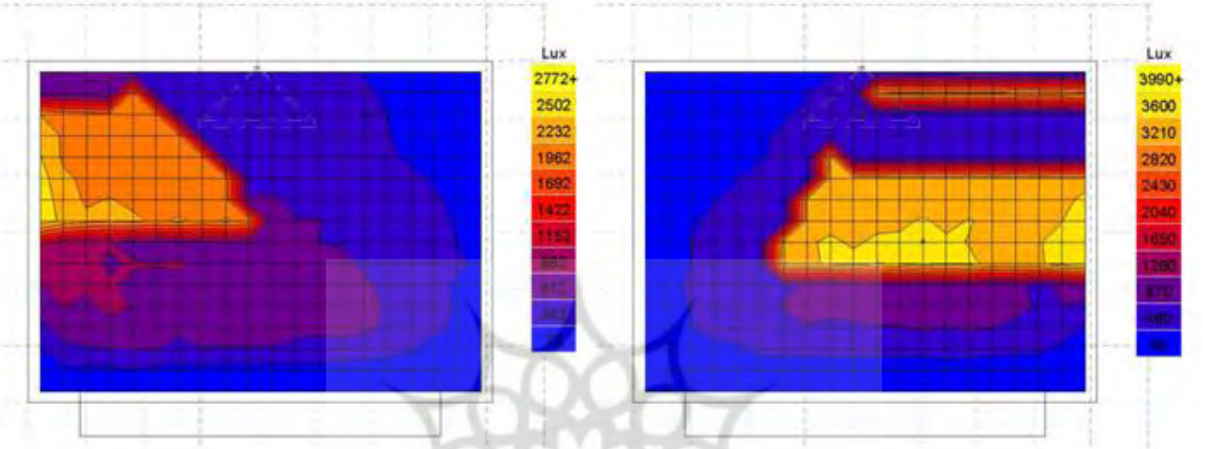


تصویر۵- مقطع از چگونگی قرارگیری رف نور.

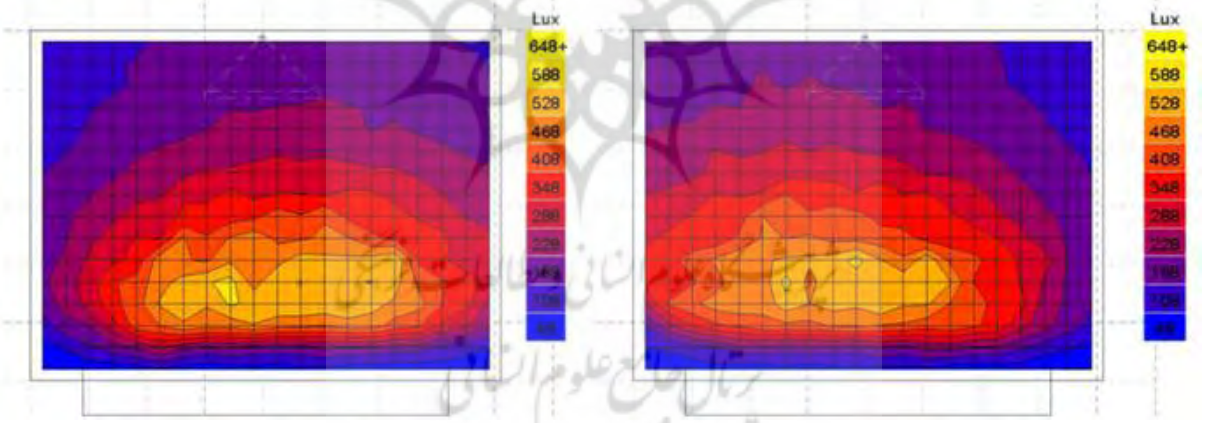
بیـن فواصـل ۳۰، ۴۵ و۶۰ سـانتیمتر از لبـه بالایی پنجـره (مقادیر با تفاوت ۱۵ سـانتیمتر)، با توجه به مسـئله دید سـاکنین، فاصله ۴۵ سـانتیمتر انتخـاب شـدو شبیه‌سـازی‌ها بـر پایـه آن انجـام گرفـت.

بـرای شبیه‌سـازی تناسـبات، ابتـدا رف نـوری ۳۰ سـانتیمتری و پـس از آن ۶۰، ۹۰، ۱۲۰و ۱۴۰ سـانتیمتری بـه صـورت میانـه مـورد آزمایـش قـرار گرفت. رف ۱۲۰ سـانتیمتری و ۱۴۰ سـانتیمتری از نظر انعکاس نور به عمق فضا عملکردی تقریباً یکسان نشان دادند ولی رف نوری ۱۴۰ سـانتیمتری به علت سـایه‌اندازی بیشـتر روی پنجره در فصول زمسـتان، پاییـز و بهار، نور یکنواخت‌تـری را در فضا ایجاد می‌کرد. ابعاد بزرگ‌تر از ۱۴۰ با توجه به زاویه خورشید حتی در فصل زمسـتان کـه پایین‌تریـن زاویـه را دارد، برخورد موثری با سـطح رف نداشـته و اسـتفاده از آن، غیرمنطقـی بـه نظر می‌رسـید. در تصاویر ۵-۷، نتایج در دو فصل تابستان و زمستان نشان داده شده است.

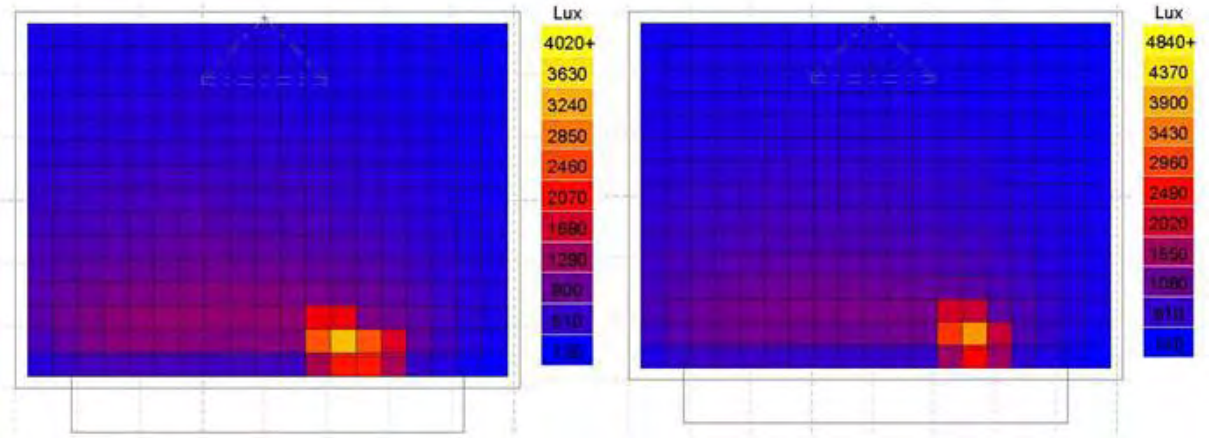
همانطـور کـه در تصاویر بالا دیده می‌شـود، در فصل تابسـتان بـه علت عمود تابیدن خورشـید، ابعاد ۱۲۰ سـانتیمتری رف نوری می‌تواند مناسـب باشد اما در فصول دیگر مانند فصل زمستان (با توجـه بـه پایین بـودن زاویه خورشـید)، لکه نور در فضـای داخلی همچنان وجود دارد.



تصویر۶- تحلیل حاصله از استفاده از رف ۱۲۰ سانتیمتری در اول دی ماه در ساعات ذکر شده.

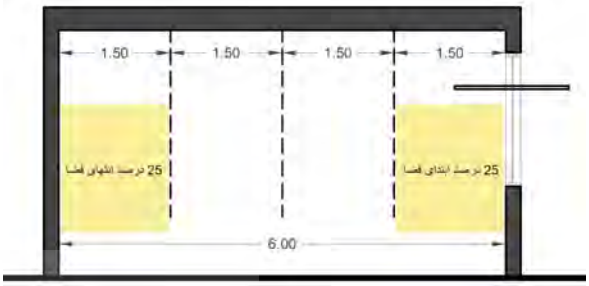


تصویر۷- تحلیل حاصله از استفاده رف ۱۲۰ سانتیمتری در اول تیر ماه در ساعات ذکر شده.



تصویر۸- تحلیل حاصله از رف نوری ۱۲۰ سانتیمتری در ساعت ۹ صبح- از راست در فصل پاییز و بهار.

با توجه به مطالبی که تاکنون ذکر شد، روند انجام شبیه‌سازی‌ها باید به سمتی سوق پیدا کند که از شدت روشنایی نزدیک به پنجره کاسته شده و به روشنایی عمق فضا افزوده شود به گونه‌ای که بتوان نور یکنواخت و مناسبی در فضا ایجاد کرد. در ادامه خلاصه‌ای از روند شبیه‌سازی‌ها در جدول۲ شده است تا مقایسه میان تناسبات مختلف رف نوری آسان‌تر شود. در این جدول، میانگین بین نتایج حاصله برای ۲۵ درصد جلو فضا و ۲۵ درصد انتهایی محاسبه شده است، که به شرح زیر می‌باشد:
همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، رف نوری ۱۲۰



تصویر۹- ۲۵ درصد ابتدا و انتهای فضا.

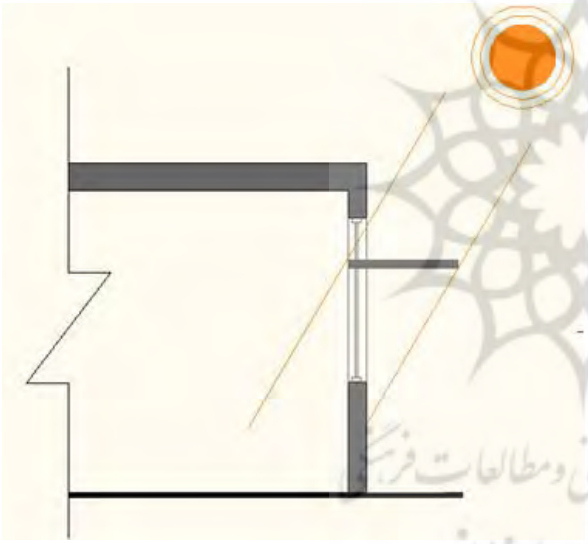
جدول ۲- میانگین میزان روشنایی ۲۵ درصد جلو و انتهای کلاس درس.

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

و ۱۴۰ سانتیمتری عملکرد تقریباً یکسانی در شدت روشنایی انتهای فضا دارند ولی رف نوری ۱۴۰ سانتیمتری، به علت عملکرد سایبانی بیشتر، نور یکنواخت‌تری (کاهش اختلاف روشنایی جلوی پنجره و انتهای اتاق) را در فضا نسبت به دیگر رف‌ها ایجاد کرده است (ur~۰/۳).

خاصیت سایبانی رف نوری تا حدودی مشکل ایجاد لکه‌های نوری و خیرگی را در فضا تعدیل می‌کند. اما این امر کافی نبوده و برای کنترل خیرگی باید راهکار ثانویه همزمان با سیستم رف نورمورد استفاده قرار گیرد تا نور یکنواخت‌تری در فضای داخلی کلاس درس ایجاد شود. برای این منظور باید ضریب نورگذری قسمتی از پنجره که زیر رف نوری قرار می‌گیرد را کاهش داد. برای رسیدن به این هدف، می‌توان از شیشه با ضریب نورگذری پایین‌تر، 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 برطرف‌کردن خیرگی جلو پنجره باشد. ولی از آنجا که افزایش عرض با توجه به زاویه تابش خورشید در زمان‌های مختلف سال از میزان مشخصی بیشتر،



تصویر۱۱- نحوه قرارگیری رف نوری مقابل پنجره.

تصویر۱۰- امکان ورود اشعه‌های مستقیم خورشید در زمستان و کنترل بخش زیرین با پرده.
ماخذ: (www.media.designerpages.com)

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 مشخص‌کردن اندازه بهینه باید رف نوری و سایبان عمیق به طور همزمان درمقابل پنجره قرار گرفته و شبیه‌سازی‌ها انجام شود.

اضافه شدن سایبان عمیق به سیستم رف نور

به طور کلی ۳ روش جهت قرارگرفتن رف نور مقابل پنجره وجود دارد. ۱- تمام رف نور خارج از فضا، ۲- تمام رف نور داخل فضا، ۳- قسمتی بیرون و قسمتی داخل فضا. در ادامه تمامی این روش‌ها مورد آزمایش قرار می‌گیرد:

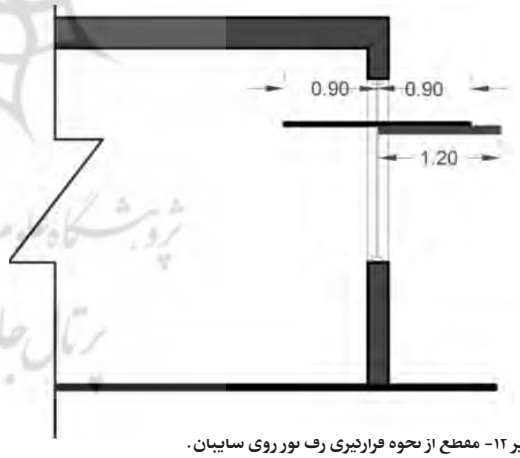
در این مرحله، شبیه‌سازی را از یک مرحله قبل از پاسخ بهینه شبیه‌سازی رف نوری آغاز می‌کنیم (یعنی رف نوری ۹۰ سانتی‌متری). این رف به سایبان عمیق اضافه می‌شود و ابعاد مختلف سایبان مورد آزمایش قرار می‌گیرد. پس از آن دوباره رف نوری نیز با ابعاد دیگری مورد آزمایش قرار می‌گیرد. این روند تا جایی ادامه می‌یابد که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

ابتدا سایبانی با عمق ۲۱۰ و ۱۸۰ و ۱۵۰ و ۱۲۰سانتیمتری 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 سانتی متری به همراه رف نور ۹۰ سانتیمتری در ساعت ۱۴ به شرح زیر است:

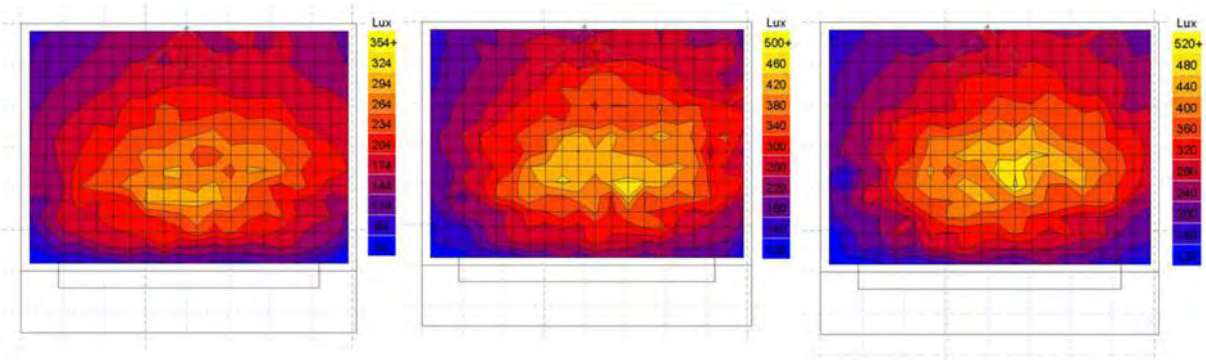
همانطور که در تصویر۱۳ دیده می‌شود، ترکیب سایبان عمیق و رف در فصل تابستان که پرتوهای خورشید عمود هستند، میانگین روشنایی را به کمتر از ۳۰۰ لوکس (استاندارد کلاس آموزشی) می‌رساند. در مرحله بعد جهت افزایش روشنایی داخلی دوباره عمق سایبان تا ۱ متر کاهش می‌یابد:

با توجه به تصویر۱۴، 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 سانتی متر در نظر گرفته می‌شود و در دو فصل پاییز و بهار سنجیده می‌شود. با توجه به تصویر۱۵، 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

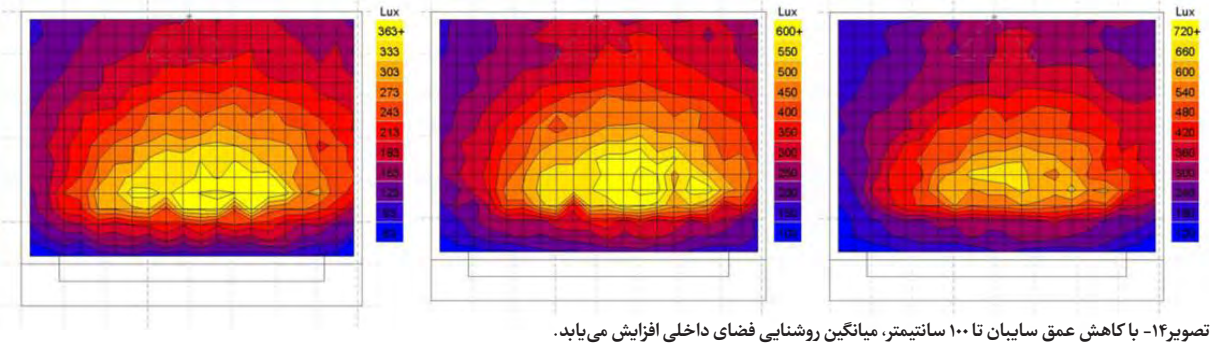


تصویر ۱۲- مقطع از نحوه قرارگیری رف نور روی سایبان.

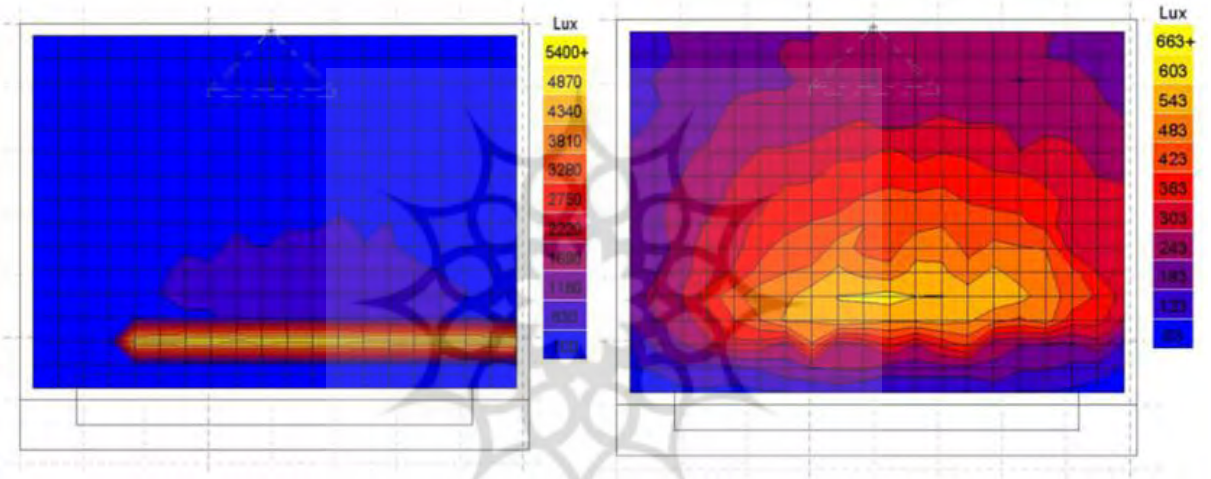


تصویر۱۳- نتایج سایبان ۱۲۰ سانتیمتری و رف ۹۰ سانتیمتری میانه (نیمی خارج و نیمی داخل) - از چپ: بهار، پاییز تابستان- با توجه به تصاویر میانگین روشنایی در فصل تابستان از میزان استاندار پایین‌تر است.

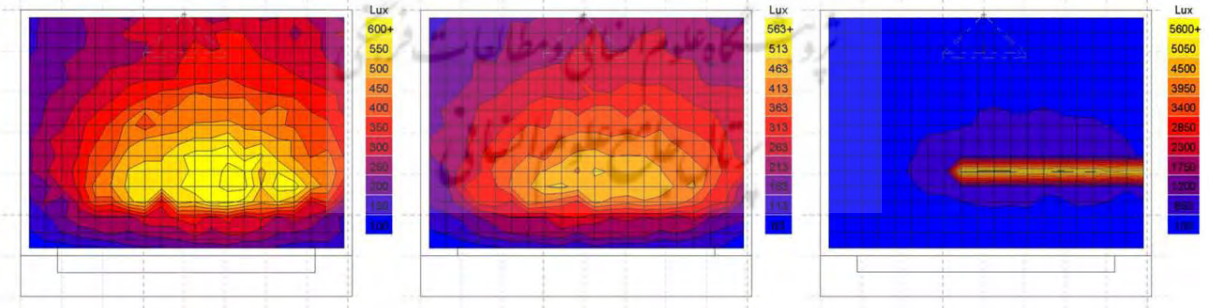
در مورد جانمایی رف نوری پرداخته می‌شود. در متن به عنوان نمونه به بررسی شرایط رف نور در فصل پاییز می‌پردازیم. با توجه به تصویر۱۶ و اطلاعات جدول ۳ مشخص می‌شود که رف‌های نوری میانه، عملکرد مناسب‌تری نسبت به رف‌های داخلی یا خارجی نشان می‌دهند (Joarder&Ahmed, 2009, 1709). این امر به دلیل امکان برخورد حداکثری پرتوهای خورشید با سطح رف و همچنین ایجاد خاصیت سایبان داخلی توسط رف نوری می‌باشد. نیمه داخلی رف، در برابر لکه‌های نوری ایجادشده توسط پرتوهای عبوری از بخش بالای رف، به عنوان سایبان عمل کرده و باعث یکنواختی بیشتر نور در فضای داخلی می‌شود.



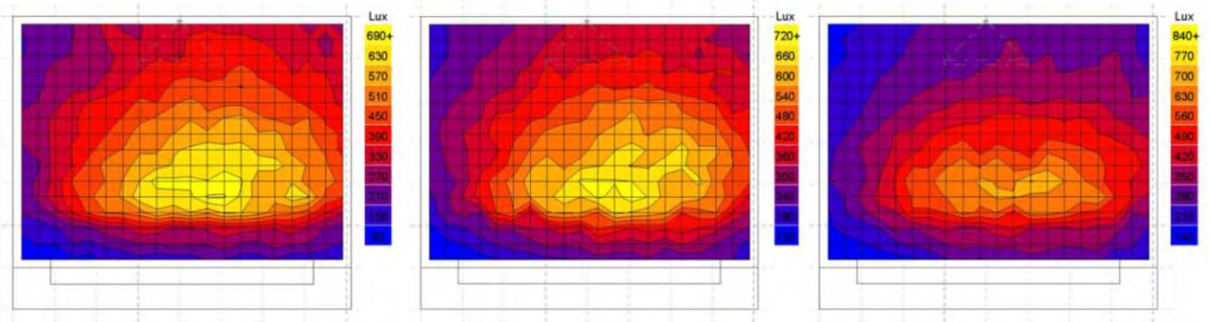
تصویر۱۴- با کاهش عمق سایبان تا ۱۰۰ سانتیمتر، میانگین روشنایی فضای داخلی افزایش می‌یابد.



تصویر۱۵- استفاده از سایبان ۸۰ سانتیمتری و رف ۱۲۰ سانتیمتری ساعت ۹ صبح- از راست اول مهر و اول فروردین ماه.



تصویر۱۶- از سمت راست استفاده از سایبان عمیق ۸۰ سانتیمتری و رف نور خارجی- سایبان ۱۰۰ سانتیمتری – استفاده از رف و سایبان ۱۰۰ متری به طور همزمان.



تصویر۱۷- 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 مشخص‌شده 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 به عملکرد مناسب رف ۱۴۰ سانتیمتری، ابعاد شبیه‌سازی در این مرحله برای نیمه داخلی و خارجی هر کدام ۷۰ سانتیمتر(رف ۱۴۰ سانتیمتری) در نظر گرفته می‌شود:

برای نمونه در فصل بهار، میزان چرخش رف نوری از ۱۵ درجه به ۳۰ درجه افزایش یافت.

افزایش میزان چرخش رف نوری تا ۳۰ درجه، نور خورشید را در فصل بهار عبور داده و لکه نوری در سطح کار دانش آموزان ایجاد می‌کند. برای افزایش میزان چرخش، لازم است ابعاد رف نوری نیز افزایش یابد (به دلیل کاهش اثر سایبانی). ولی با توجه به ابعاد فضا و میانگین روشنایی مورد نیاز، افزایش ابعاد رف نوری منطقی به نظر نمی‌رسد. بررسی نتایج، چرخش ۱۵ درجه رف نوری نسبت به افق را بهینه‌ترین زاویه نشان می‌دهد. همچنین

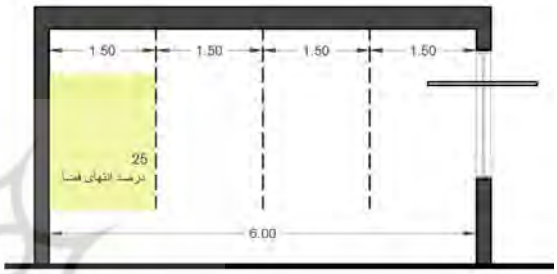
جدول ۳- میزان روشنایی ۲۵ درصد انتهای فضا بر حسب فاکتورهای تعریف شده.

۲۵ درصد انتهای اتاق – سایبان۱متر و رف نوری ۷۰ سانتی‌متری – ساعت ۲ بعد از ظهر

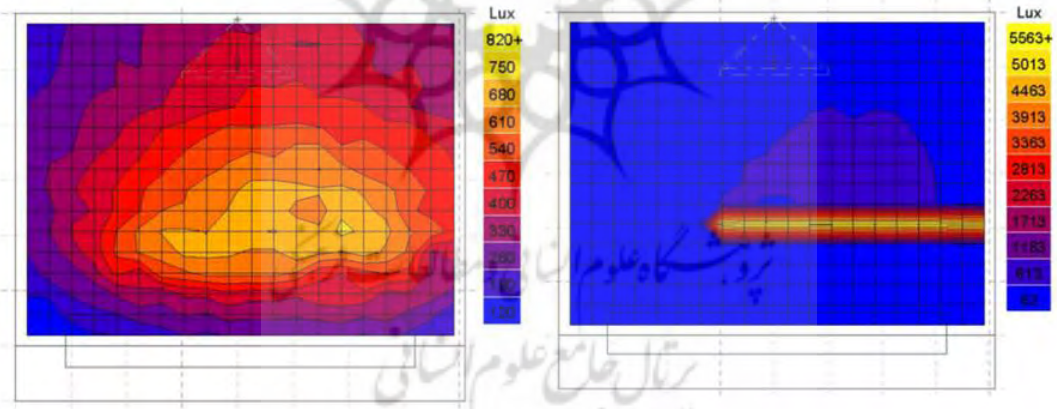
	تمام رف داخل	تمام رف بیرون	نیمه
اول تابستان(لوکس)	۱۴۰	۲۲۰	۱۷۰
اول بهار(لوکس)	۲۵۰	لکه نوری	۲۹۰
اول پاییز(لوکس)	۲۶۰	لکه نوری	۲۷۵

۲۵ درصد انتهای اتاق – سایبان۱متر و رف نوری ۷۰ سانتی‌متری – ساعت ۲ بعد از ظهر- ۱۵ درجه چرخیده

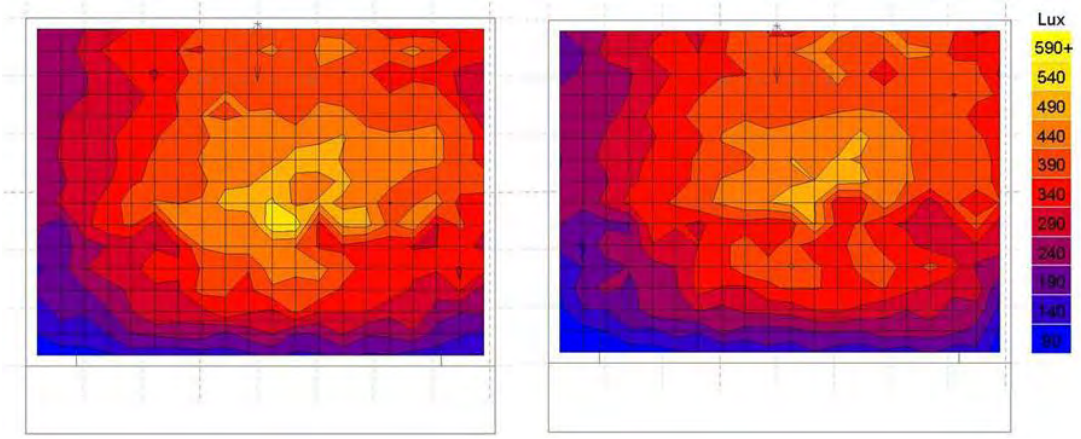
	تمام رف داخل	تمام رف بیرون	نیمه
اول تابستان(لوکس)	۱۷۰	۲۴۰	۲۰۰
اول بهار(لوکس)	۳۱۰	لکه نوری	۳۵۰
اول پاییز(لوکس)	۳۲۰	لکه نوری	۳۴۰



تصویر۱۸- ۲۵ درصد انتهای فضا.



تصویر۱۹- رف نوری میانه –از چپ: ۳۰ درجه و ۱۵ درجه به سمت داخل چرخیده‌اند.



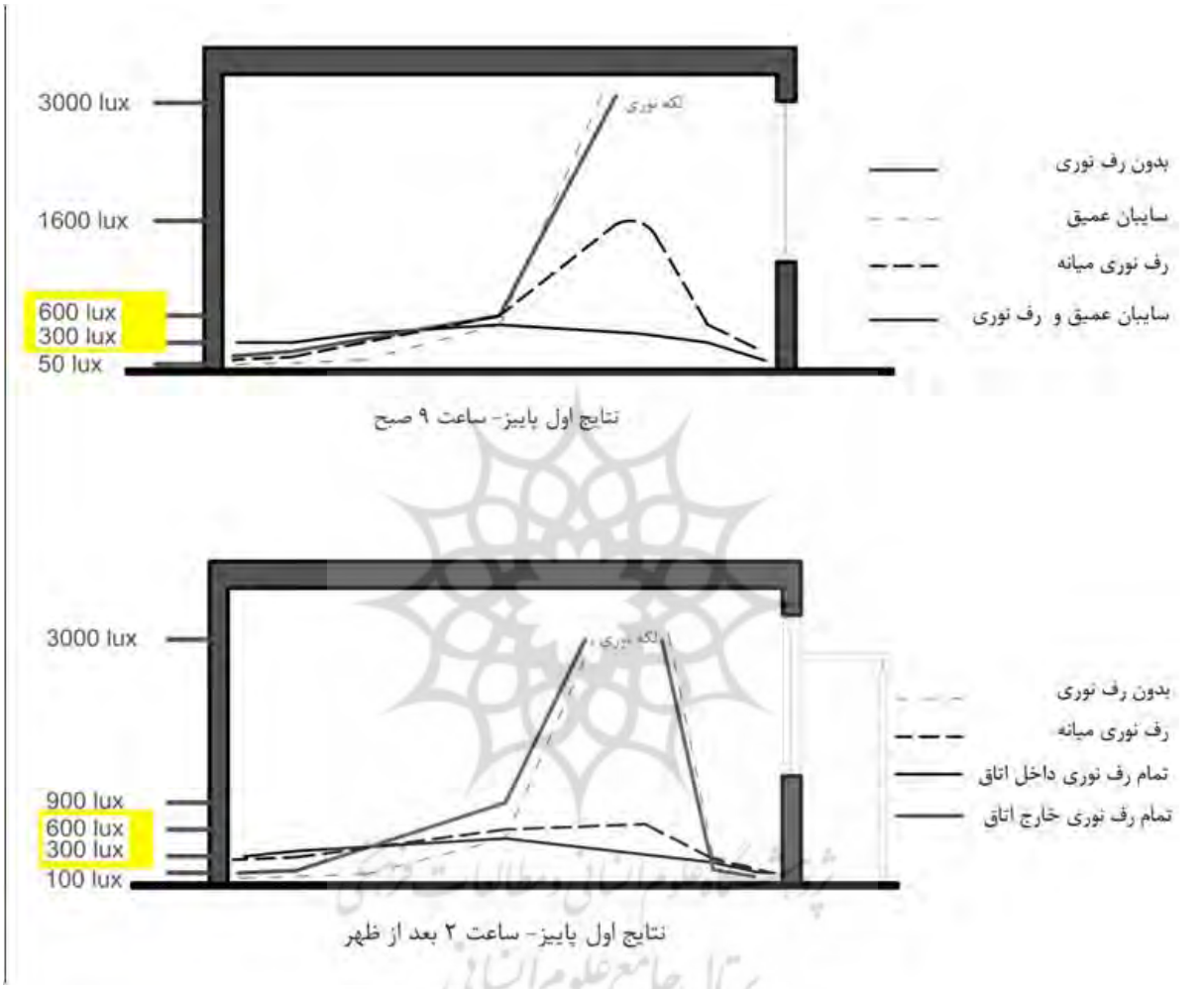
تصویر۲۰- از راست: پاییز و بهار- رف تمام داخلی ۷۰ سانتی متری به همراه ۱۵ درجه چرخش به داخل.

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).

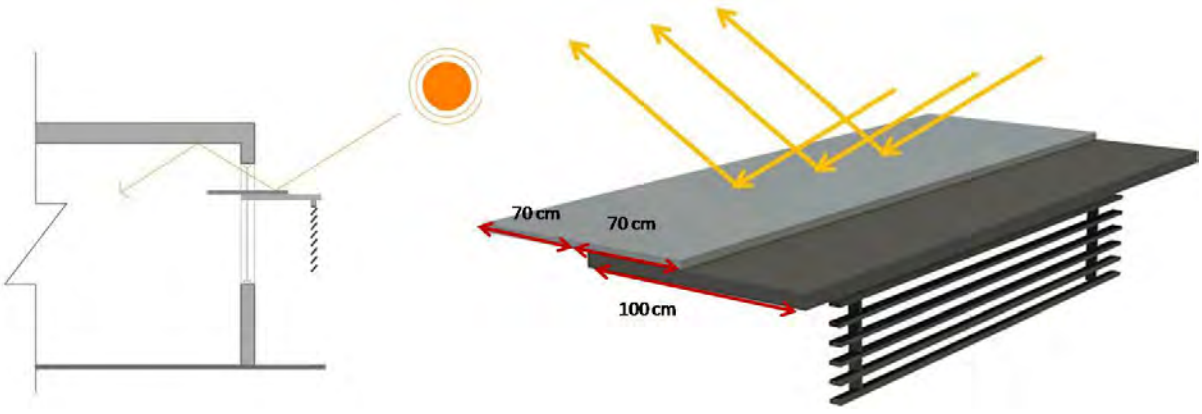
جهت سهولت مقایسه عملکرد بین حالت‌های مختلف قرارگیری رف نوری، میزان روشنایی در عمق اتاق در نمودارهای زیر بر حسب لوکس ترسیم شده است:

۴- مدل پیشنهادی

در تصویر۲۲، 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.



تصویر۲۱- نمودار سطح روشنایی در مقطع اتاق.



تصویر۲۲- نمونه‌ای از نحوه قرارگیری رف، سایبان و لوورهای کنترل‌کننده در زمان مورد نیاز.

نتیجه

نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد سیستم رف 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 رف نوری ۷۰ سانتیمتری روی نمای خارجی و رف نوری ۷۰ سانتیمتری در فضای داخلی استفاده کرد. همچنین برای کنترل خیرگی لازم است به همراه رف نوری، سایبانی با عمق ۱۰۰ سانتیمتر در جداره خارجی و دقیقاً زیر رف نوری (بدون فاصله) قرار گیرد که البته این سایبان می‌تواند همان رف نوری باشد. به عبارت دیگر می‌توان رف 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 رف نوری و ایجاد اثر سایبانی توسط نیمه داخلی رف نوری، پاسخگوی مناسبی برای افزایش روشنایی نمی‌باشد. بدین منظور بهتر است رف نوری به گونه‌ای طراحی شود که بخش داخلی رف متحرک بوده و در این فصل از سال جداشده 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 دانش آموزان افزایش دهد. دستاوردهای پژوهش حاکی از آن است که استفاده از سیستم رف نوری می‌تواند جهت ارتقای بهره‌وری در استفاده مطلوب از نور روز در فضای داخلی، بسیار کارآمد باشد.

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 رف داخل و نیمی از آن خارج از پنجره قرار بگیرد.

فهرست منابع

حیدری، شاهین و جهانی‌نوق، مجید(۱۳۹۳)، *سازگاری حرارتی درمعماری نخستین قدم درصرفه جویی مصرف انرژی*، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

قیابکلو، زهرا (۱۳۸۹)، *مبانی فیزیک ساختمان* دو، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی،تهران.

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

گنجی خیبری، ابوالفضل؛ دیبا، داراب؛ مهدوی‌نژاد، محمدجواد و شاه‌چراغی، آزاده (۱۳۹۴)، طراحی الگوریتمیک پالکانه برای افزایش بهره‌مندی از نور روز در ساختمان، *معماری و شهرسازی آرمان‌شهر*، ۱۷(۱)، صص ۳۵-۵۲.

لکنر، 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 درساختمان‌های 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.

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

مهدوی‌نژاد، محمدجواد و معتضدیان، فهیمه (۱۳۹۴)، گونه‌شناسی انواع ومشخصات فنی رف‌های نوری، *معماری و شهرسازی آرمان‌شهر*، ۷(۱)، صص ۹۱-۱۰۴.

مهدوی‌نژاد، محمدجواد و نیکودل، فهیمه (۱۳۹۴)، تعامل زیبایی بصری وفناوری‌های نوین نورپردازی در معماری شبانه ساختمان‌ها، *آرمانشهر*، ۸(۱۵)،صص ۱۳۱-۱۴۳.

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

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

Freewan, A (2010), Maximizing the lightshelf performance by inter-action between lightshelf geometries and a curved ceiling, *Energy Con-version 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 Of-fice Buildings Under Overcast SKY Condttions in Dhaka, Bangladesh, *Eleventh International IBPSA Conference*, Julay 27-30,1706-17013.

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

ing System for Deep Space Illumenative, Faculty of Virjinia Polytechnic institute, Virjinia.

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

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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی