بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی معماری

ارزیابی عملکرد رف نور در فضاهای آموزشی (نمونه موردی: دانشگاه صنعتی شاهرود)

نگارنده: فاطمه قربانی

استاد راهنما

دکتر مسعود طاهری شهر آئینی

استاد مشاور

مهندس امیر محسن نیکزاد

بهمن ۹۷

تقدیم اثر

تقدیم به مقدس‌ترین واژه‌ها در لغت‌نامه دلم،

مادر مهربانم که زندگی‌ام را مدیون مهر و عطوفت او می‌دانم.

پدر، مهربان مشفق، بردبار و حامی.

برادرانم، همراهان همیشگی و پشتوانه‌های زندگیم.

تشکر و قدردانی

سپاس ایزد منان که به من این فرصت را داد تا به این مرحله از علم رسیده و از هیچ محبتی دریغ نکرد و در تمام مراحل زندگیم مرا قوت قلب بود.

بسی شایسته است از استاد فرهیخته و مهربانم جناب آقای دکتر طاهری که برایم زندگی و انسان بودن را معنا کرد تقدیر و تشکر نمایم.

همچنین از استاد فاضل و اندیشمند جناب آقای مهندس نیکزاد به عنوان استاد مشاور کمال تشکر را دارم.

با تشکر از پرسنل دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی، همچنین دانشجویان دانشکده که بدون کمک آنان انجام این پایان‌نامه امکان‌پذیر نبود.

صمیمانه‌ترین سپاس‌ها را تقدیم دوستانم می‌کنم، بزرگوارانی که در این راه حضورشان قوت قلبم بوده و از آن‌ها بسیار آموختم.

تعهدنامه

اینجانب **فاطمه قربانی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی معماری** دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **ارزیابی عملکرد رف نور در فضاهای آموزشی (نمونه موردی: دانشگاه صنعتی شاهرود)** تحت راهنمائی **دکتر مسعود طاهری شهر آئینی** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

در سال‌های اخیر افزایش روزافزون مصرف انرژی، نگاه پژوهشگران را بیش‌ازپیش به مسئله بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر و ارزان معطوف کرده است. به‌عنوان یکی از این منابع رایگان و در دسترس نور خورشید است. نور روز یک منبع پایدار انرژی برای ساختمان‌هایی است که فعالیت‌های آن‌ها در طول روز انجام می‌شود. هدایت نور طبیعی از پنجره به عمق فضا چالشی است که همواره ذهن معماران و طراحان را به خود مشغول کرده است. اگر یک اتاق در یک سمت دارای پنجره باشد باید عمق فضا محدود شود تا بتواند نور مناسب را دریافت کند که این گاه ممکن نیست، ازاین‌رو سیستم‌های بهبود دهنده نور روز نظیر رف‌های نور برای حل این مشکل ارائه شده‌اند. در روند پژوهش ابتدا با جستجو در منابع کتابخانه‌ای و مطالعه درباره نور طبیعی در مدارس و سپس به‌طور خاص رف‌های نور، مطالعه اولیه‌ای در آتلیه‌های طراحی رو به جنوب در دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شد که در آن موانع و مشکلات در بهره‌برداری از نور طبیعی معرفی شدند. ابتدا نور طبیعی برای انواع پیکربندی‌های رف نور با استفاده از نرم‌افزار رادیانس شبیه‌سازی شد، سپس عملکرد رف‌های نور به وسیله ماکت سنجیده شد. درنهایت یک نمونه رف نور در ترکیب با لوورهای متحرک داخلی در داخل آتلیه نصب و عملکرد آن‌ها به وسیله اندازه‌گیری شدت روشنایی در ارتفاع میز کار و پرسشنامه ارزیابی می‌شود. نتایج منجر به تعریف ویژگی‌های بهینه سیستم می‌شوند. همچنین نتایج پرسشنامه اثر بخشی رف‌های نور و مشکلات مربوط به عملکرد سیستم‌های سایه زنی را نشان دادند.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی، رادیانس، نور روز، یکنواختی، رف نور

فهرست مطالب

فهرست جداول **د**

فهرست اشکال **ه**

فصل۱ : مقدمه و کلیات پژوهش **۱**

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ بیان مسئله ۳

۱-۳ اهمیت تحقیق ۴

۱-۳-۱ تأثیر نور روز بر انسان ۵

۱-۴ رف نور ۵

۱-۵ لوورهای هدایت‌کننده نور ۷

۱-۶ کیفیت نور روز ۷

۱-۶-۱ میزان نور ۸

۱-۶-۲ یکنواختی نور ۸

۱-۶-۳ خیرگی ۹

۱-۶-۴ کیفیت نور در ارائه رنگ‌ها ۹

۱-۷ فاکتورهای بررسی نور روز ۱۰

۱-۷-۱ شدت روشنایی ۱۰

۱-۷-۲ فاکتور نور روز ۱۱

۱-۷-۳ یکنواختی روشنایی ۱۲

۱-۸ جمع‌بندی ۱۳

فصل۲ : مروری بر ادبیات موضوع **۱۵**

۲-۱ مقدمه ۱۶

۲-۲ مطالعات قبلی درباره عملکرد نور روز در فضاهای آموزشی ۱۶

۲-۳ رف نور ۲۱

۲-۳-۱ رف‌های افقی ۲۲

۲-۳-۲ رف‌های زاویه‌دار ۳۰

۲-۴ رف‌های منحنی ۳۲

۲-۴-۱ رف‌های نور پویا ۳۴

۲-۴-۲ عملکرد رف‌های نور در کاهش مصرف انرژی ۳۵

۲-۵ جمع‌بندی ۳۸

فصل۳ : ابزار و روش تحقیق **۳۹**

۳-۱ مقدمه ۴۰

۳-۲ شبیه‌سازی کامپیوتری ۴۱

۳-۲-۱ نرم‌افزار رادیانس ۴۳

۳-۳ اندازه‌گیری ماکت ۴۴

۳-۴ تحقیقات میدانی ۴۶

۳-۵ جمع‌بندی ۴۹

فصل۴ : بررسی خصوصیات سیستم موردمطالعه و نتایج آزمایش‌ها **۵۱**

۴-۱ مقدمه ۵۲

۴-۲ شناخت بستر طرح و انتخاب نمونه موردی ۵۲

۴-۲-۱ نتایج ۵۳

۴-۳ تعیین ویژگی‌های کلی و اهداف سیستم موردمطالعه ۵۶

۴-۴ مطالعه شبیه‌سازی نور محیطی ۵۷
۴-۴-۱ روش انجام کار ۵۷
۴-۴-۲ نتایج ۶۵
۴-۵ مطالعه عملکرد رف نور به‌وسیله ماکت ۸۶
۴-۵-۱ روش انجام کار ۸۷
۴-۵-۲ نتایج ۸۹
۴-۶ مطالعه عملکرد رف نور داخلی و لوورها به‌وسیله مدل در مقیاس واقعی و پرسشنامه ۹۳
۴-۶-۱ روش انجام کار ۹۳
۴-۶-۲ نتایج ۹۷
۴-۷ جمع‌بندی ۱۱۲
فصل۵ : نتیجه‌گیری **۱۱۵**
۵-۱ خلاصه ۱۱۶
۵-۲ نتیجه‌گیری ۱۱۶
۵-۲-۱ شبیه‌سازی ۱۱۷
۵-۲-۲ ماکت ۱۱۷
۵-۲-۳ مطالعه میدانی ۱۱۸
۵-۳ ارائه پیشنهادات ۱۲۱
پیوست **۱۲۲**
مراجع **۱۳۷**

فهرست جداول

جدول ۱-۱. خلاصه‌ای از استانداردهای روشنایی ۱۲
جدول ۲-۱. خلاصه‌ای از تکامل تاریخی استفاده از نور طبیعی در مدارس غرب ۱۷
جدول ۳-۱. ابزار پژوهش ۴۱
جدول ۳-۲. عوامل اصلی خطا با ماکت بیان‌شده در مطالعات مختلف. ۴۴
جدول ۳-۳. مزایا و معایب سؤالات باز و بسته در پرسشنامه ۴۷
جدول ۴-۱. معرفی فضاهای موردمطالعه ۵۳
جدول ۴-۲. مراحل انجام آزمایش شبیه‌سازی ۶۴
جدول ۴-۳. مقایسه عملکرد رف‌های نور با عرض ۱ متر ۷۸
جدول ۴-۴. مشخصات بهینه رف نور ۸۵
جدول ۴-۵. آزمون t زوجی برای بررسی تفاوت پیشآزمون و پسآزمون عملکرد رف نور و لوورها در دانشجویان ۹۹

فهرست اشکال

شکل ۱-۱. رف نور ترکیبی تحت تابش در زمستان و تابستان ۶
شکل ۱-۲.لوورهای هدایت‌کننده نور تحت تابش در زمستان و تابستان..... ۷
شکل ۲-۱. یک نوع رف نور اولیه (این تصویر نشان می‌دهد که چگونه رف نور محدوده قابل دید آسمان را برای بیماران نزدیک به پنجره کاهش می‌دهد، بدون کاهش نور در نزدیکی وسط اتاق)..... ۲۲
شکل ۲-۲. مقطعی از نورگیری جانبی با رف نور (داخلی و خارجی) و اندازه پارامترهای اصلی..... ۲۳
شکل ۲-۳. اندازه‌های ماکت و رف نور در مقیاس سانتی‌متر..... ۲۴
شکل ۲-۴. مقطع سیستم‌های روزانه (مقیاس سانتی‌متر):(a) مورد مرجع (بدون سیستم سایه زنی)، (b): رف نور، (c): متمرکز کننده آندولیک..... ۲۷
شکل ۲-۵. رف‌های نور با مقیاس ۱:۲۰..... ۲۹
شکل ۲-۶. هندسه‌های رف‌های نور آزمایش شده..... ۳۳
شکل ۲-۷. سه مرحله کنترل رف نور..... ۳۵
شکل ۳-۱. جبهه جنوبی بیشترین دریافت انرژی خورشیدی را دارد، بیشترین دریافت انرژی خورشید در طول زمستان، درصورتی‌که در تابستان به دلیل ارتفاع بالای خورشید به‌راحتی می‌توان مانع تابش مستقیم خورشید و گرمایش فضا شد. به این دلایل جبهه جنوبی در نظر گرفته می‌شود..... ۴۰
شکل ۳-۲. معمول‌ترین رویکردهای شبیه‌سازی روشنایی..... ۴۲
شکل ۴-۱. نمودار الف: توزیع نور طبیعی در ساعت ۰۹:۳۰..... ۵۴
شکل ۴-۲. نمودار ب: توزیع نور طبیعی در ساعت: ۱۲:۳۰..... ۵۵
شکل ۴-۳. فضای داخل آتلیه طراحی معماری..... ۵۸
شکل ۴-۴. مدل ساخته‌شده در نرم‌افزار اکوتکت..... ۵۹
شکل ۴-۵. نقاط قرارگیری لوکس مترها..... ۵۹
شکل ۴-۶. نمودار الف: توزیع نور طبیعی، ساعت: ۰۹:۰۰..... ۶۰
شکل ۴-۷. نمودار ب: توزیع نور طبیعی، ساعت: ۱۲:۰۰..... ۶۰
شکل ۴-۸. راست: پلان آتلیه طراحی معماری، چپ: مقطع آتلیه طراحی معماری شبیه‌سازی‌شده در نرم‌افزار..... ۶۲
شکل ۴-۹. نمونه‌های آزمایش‌شده در شبیه‌سازی..... ۶۲
شکل ۴-۱۰. نمودار پخش نور برای نمونه ۶۰ سانتی‌متری داخلی..... ۶۵
شکل ۴-۱۱. نمودار پخش نور برای نمونه ۸۰ سانتی‌متری داخلی..... ۶۶
شکل ۴-۱۲. نمودار پخش نور برای نمونه ۱ متر داخلی..... ۶۶
شکل ۴-۱۳. نمودار پخش نور برای نمونه ۶۰/۴۰، خارجی/ داخلی..... ۶۷

شکل ۴-۱۴. نمودار پخش نور برای نمونه ۱ متر خارجی ۶۷
شکل ۴-۱۵. نمودار پخش نور برای نمونه ۶۰/۸۰، خارجی/داخلی ۶۸
شکل ۴-۱۶. نمودار پخش نور برای نمونه ۸۰/۶۰، خارجی/داخلی ۶۸
شکل ۴-۱۷. نمودار پخش نور برای نمونه ۱۴۰ خارجی ۶۹
شکل ۴-۱۸. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ دسامبر ساعت ۰۹:۰۰ ..... ۷۱
شکل ۴-۱۹. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ دسامبر ساعت ۰۹:۰۰ ..... ۷۱
شکل ۴-۲۰. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ دسامبر ساعت ۱۲:۰۰ ..... ۷۲
شکل ۴-۲۱. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ دسامبر ساعت ۱۲:۰۰ ..... ۷۲
شکل ۴-۲۲. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ مارس ساعت ۰۹:۰۰ ..... ۷۳
شکل ۴-۲۳. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ مارس ساعت ۰۹:۰۰ ..... ۷۳
شکل ۴-۲۴. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ مارس ساعت ۱۲:۰۰ ..... ۷۴
شکل ۴-۲۵. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ مارس ساعت ۱۲:۰۰ ..... ۷۴
شکل ۴-۲۶. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ ژوئن ساعت ۰۹:۰۰ ..... ۷۵
شکل ۴-۲۷. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ ژوئن ساعت ۰۹:۰۰ ..... ۷۵
شکل ۴-۲۸. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ ژوئن ساعت ۱۲:۰۰ ..... ۷۶
شکل ۴-۲۹. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ ژوئن ساعت ۱۲:۰۰ ..... ۷۶
شکل ۴-۳۰. نمودار پخش نور برای رف نور به همراه سایه زن‌های داخلی و برای پرده‌ها، ۲۱ مارس ساعت ۱۲:۰۰ ..... ۷۹
شکل ۴-۳۱. نمودار پخش نور برای رف نور به همراه سایه زن‌های داخلی و برای پرده‌ها، ۲۱ دسامبر ساعت ۰۹:۰۰ ..... ۸۰
شکل ۴-۳۲. نمودار پخش نور برای رف نور به همراه سایه زن‌های داخلی و برای پرده‌ها، ۲۱ دسامبر ساعت ۱۲:۰۰ ..... ۸۰
شکل ۴-۳۳. نمودار پخش نور برای سه زاویه رف نور، نمونه ۶۰/۸۰، آسمان ابری، (۲۱ دسامبر، ۱۲:۰۰) ۸۲
شکل ۴-۳۴. نمودار پخش نور برای سه زاویه رف نور، نمونه ۶۰/۸۰، آسمان صاف و آفتابی، (۲۱ دسامبر، ۱۲:۰۰) ۸۳
شکل ۴-۳۵. نمودار پخش نور برای سه زاویه رف نور، نمونه ۶۰/۸۰، آسمان صاف و آفتابی، (۲۱ مارس، ۱۲:۰۰) ۸۳
شکل ۴-۳۶. نمودار پخش نور برای سه زاویه رف نور برای نمونه ۶۰/۸۰، آسمان صاف و آفتابی، (۲۱ ژوئن، ۱۲:۰۰) ۸۴
شکل ۴-۳۷. پخش نور قبل و بعد از نصب رف نور بهینه (۲۱ دسامبر، ۲۱ مارس و ۲۱ ژوئن) ساعت ۱۲:۰۰ ..... ۸۶

شکل ۴-۳۸. ابعاد ماکت در مقیاس ۱.۲۰ و شبکه اندازه‌گیری ۸۷
شکل ۴-۳۹. ماکت در مقیاس ۱:۲۰ ..... ۸۸
شکل ۴-۴۰. نمودار اندازه‌گیری هم‌زمان در ماکت و آتلیه طراحی، ساعت ۰۹:۰۰ ..... ۹۰
شکل ۴-۴۱. نمودار اندازه‌گیری هم‌زمان در ماکت و آتلیه طراحی، ساعت ۱۲:۰۰ ..... ۹۰
شکل ۴-۴۲. نمودار مقایسه عملکرد رف‌های نور در ماکت- فصل تابستان ۹۲
شکل ۴-۴۳. نمودار مقایسه عملکرد رف‌های نور در ماکت- فصل پاییز ۹۲
شکل ۴-۴۴. شبکه اندازه‌کیری نور در آتلیه و محل قرار گیری رف‌های نور ۹۳
شکل ۴-۴۵. رف نور نصب‌شده در آتلیه طراحی ۹۵
شکل ۴-۴۶. نمودار: ۳ مدل سیستم سایه زنی مورد آزمایش ۹۷
شکل ۴-۴۷. نمودار اندازه‌گیری‌ها در آتلیه برای نمونه‌های مختلف در یک روز در ۲ ساعت ۹ و ۱۲ ..... ۹۸
شکل ۴-۴۸. سمت راست: درصد افراد در منطقه روزانه و غیر روزانه به‌طورکلی، سمت چپ: درصد افراد در مناطق روزانه به تفکیک مدل موردبررسی در روزهای متفاوت ۱۰۰
شکل ۴-۴۹. نمودار درصد نظرات افراد برای سؤالات ۵-۱، ۱۰ و ۹ برای مدل ۱ (رف نور تنها) ۱۰۲
شکل ۴-۵۰. نمودار درصد نظرات افراد برای سؤالات ۵-۱، ۱۰ و ۹ برای مدل ۲ (رف نور و لوورهای افقی) ۱۰۵
شکل ۴-۵۱. نمودار درصد نظرات افراد برای سؤالات ۵-۱، ۱۰ و ۹ برای مدل ۳ (رف نور و لوورهای زاویه‌دار) ۱۰۹
شکل ۴-۵۲. نمودار درصد نظرات افراد برای سولات در ارزیابی دید به بیرون ۱۰۹
شکل ۴-۵۳. نمودار درصد نظرات افراد برای سؤالات در ارزیابی خیرگی ۱۱۰
شکل ۴-۵۴. راست: نمودار درصد نظرات افراد برای سؤالات ارزیابی رفتارهای افراد در رابطه با استفاده از پرده‌ها چپ: نمودار رفتار افراد در مواجهه با نور خورشید ۱۱۲

فصل ۱ : مقدمه و کلیات پژوهش

۱-۱ مقدمه

در سال‌های اخیر افزایش روزافزون مصرف انرژی نگاه پژوهشگران را بیش‌ازپیش به مسئله بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و ارزان معطوف کرده است. نور خورشید به‌عنوان یکی از این منابع رایگان و در دسترس شناخته می‌شود. این نور به دلیل دارا بودن ویژگی‌های زیباشناختی و تأثیرات مثبت بر روی افراد نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی به‌خصوص برای ساختمان‌هایی که فعالیت‌های آن‌ها در طول روز انجام می‌شود دارد. همچنین گرمایش حاصل از نورهای مصنوعی را کاهش می‌دهد که در نتیجه بار سرمایشی فضاها کاهش می‌یابد [۱] و با دارا بودن خصوصیاتی نظیر ارائه‌ی رنگی مناسب، توزیع یکنواخت نور و پراکندگی در تمامی جهات با چشم انسان سازگار است و مشکلاتی نظیر سردرد و اختلال در بینایی ناشی از کارکرد ضعیف لامپ‌های الکتریکی را ندارد [۲, ۳].

استفاده از نور روز و مزایای آن در ساختمان به عوامل مختلفی مانند شرایط آب‌وهوایی که مقدار روشنایی موجود در فضا را تعین می‌کند، شیوه طراحی فضا و رفتار کاربران فضا (به جهت نوع کنترل سیستم سایه زنی) بستگی دارد. کمیت و کیفیت نور در فضا با هدف حداکثر شدن آسایش بصری کاربران فضا بر اساس معیارهای یکنواختی، پخش نور در داخل فضا، سایه کافی در طول دوره استفاده و جلوگیری از خیرگی است.

بر اساس معیارهای گفته‌شده هدف اصلی این پایان‌نامه، ارزیابی عملکرد رف‌های نور و درنهایت پیشنهاد یک سیستم ترکیبی از رف نور و لوورهای متحرک داخلی، به منظور تامین حداکثر آسایش بصری کاربران فضا است. ابتدا مطالعات کتابشناختی در باب استفاده از نور طبیعی در فضاهای آموزشی انجام می‌شود که از طریق آن هدف پایان‌نامه و ابزار مناسب برای ارزیابی آن تعیین می‌شود. سپس شبیه‌سازی نور روز برای آسمان‌های مختلف و برای پیکربندی‌های متفاوت رف نور انجام می‌شود. به‌منظور اطمینان از عملکرد رف نور مطالعات آزمایشگاهی (ماکت) و میدانی انجام می‌شود.

همچنین به‌منظور دریافت نظرات و رفتار کاربران در رابطه با رف‌های نور مطالعه میدانی در باب ارزیابی عملکرد رف‌های نور و سیستم‌های سایه زنی داخلی از طریق نصب نمونه با مقیاس واقعی و پرسشنامه انجام می‌شود.

۱-۲ بیان مسئله

افزایش مصرف انرژی یک نگرانی پژوهشی در سراسر جهان است. در دهه‌های گذشته مسائل مربوط به انرژی و محیط‌زیست منجر به بهبود کیفیت نور در طراحی ساختمان شده است. نور روز به دلیل اثرات فیزیولوژیکی و روان‌شناختی توسط کاربران فضا ترجیح داده می‌شود و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورها در طراحی فضاهای آموزشی است.

یکنواختی توزیع نور در فضا از اهمیت زیادی برخوردار است. نه‌تنها به علت مشکلات خیرگی[1]، چراکه محققان استدلال می‌کنند این امکان وجود دارد که اشخاص را مجبور به استفاده از نور مصنوعی کند [۴]. چشم دانش‌آموزان در فضاهای آموزشی دائماً در حال حرکت در فضا می‌باشد، اگر که اختلاف زیادی بین روشنایی سطوح مختلف وجود داشته باشد، چشم افراد در تطبیق مکرر از مناطقی با نور زیاد به نور کم دچار مشکل می‌شود و این معضل به‌ویژه هنگام حرکت از بخش روشن به بخش تاریک مدت بیشتری ادامه دارد. یکنواختی نور در فضا اهمیت بسزایی در کیفیت نور در فضا دارد، درواقع افراد یک فضا را حتی هنگامی‌که دارای نور یکنواختی باشد روشن‌تر احساس می‌کنند [۴]. با انتخاب سیستم‌های سایه زنی که هدف آن‌ها هدایت نور به سمت سقف و سپس انعکاس آن به انتهای فضا است می‌توان توزیع متعادل‌تری در فضا به وجود آورد [۵].

[1] Glare

۱-۳ اهمیت تحقیق

آمار مربوط به مصرف انرژی در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که نور مصنوعی بالاترین مصرف انرژی الکتریکی را دارا است [۶]. بر اساس اطلاعات دپارتمان انرژی آمریکا ۳۰ درصد از مصرف برق در فضاهای آموزشی صرف روشنایی می‌شود که بیشترین سهم مصرف انرژی الکتریکی را در این‌گونه فضاها دارد [۷]. همچنین بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی انرژی[1] (IEA)، انرژی الکتریکی ۱۹ درصد از کل تولید برق جهان را مصرف می‌کند. علاوه بر این‌ها نورپردازی مسئول بخش قابل‌توجهی از بخش تعمیر و نگهداری در بخش ساختمان است [۸].

انسان‌ها در محیط کار وزندگی خود نیازمند تغییرات هستند تا هوشیار باقی بمانند، نور طبیعی با تغییر جزئی در زمان، روز و فصل فضا را تغییر می‌دهد و از این طریق باعث سرزندگی فضا می‌شود. وقتی افراد برای مدت طولانی بر روی فعالیتی متمرکز هستند عضلات چشم خسته شده و نگاه کردن به مناظر دوردست باعث تمرکز زدایی چشم می‌شود، همچنین آگاهی از محیط بیرون و آزاد شدن فکر را فراهم می‌کند. نور روز موجب تنظیم ساعت زیستی بدن و کنترل ترشح هورمون ملاتونین می‌شود، همچنین بدن را در وضعیت سلامت نگه می‌دارد [۹].

تحقیقات پیرامون نور روز هنوز در مراحل اولیه قرار دارد. امروزه ساختمان‌ها باوجود بازشوهای بزرگ، بدون هیچ‌گونه تمهیدات سایه زنی طراحی می‌شوند. عدم توجه به یکنواختی نور و مشکلات خیرگی باعث عدم بهره‌وری مناسب از نور روز باوجود فراوانی آن می‌شود.

اگرچه سیستم‌های سایه زنی مزایای متفاوتی دارند ولی سیستم مؤثری که اتصال بصری به محیط خارجی را حفظ کند از محدودیت‌های این نوع سیستم‌ها است. توسعه سیستم‌های جدید مانند رف‌های نور باعث می‌شود که از مزایای نور روز با کاهش مصرف انرژی الکتریکی و به حداقل رساندن خیرگی بهره‌مند شویم.

[1] International Energy Agency

۱-۳-۱ تأثیر نور روز بر انسان

نور روز توسط کاربران فضا به دلیل اثرات فیزیولوژیکی و روان‌شناختی آن ترجیح داده می‌شود. اهمیت این موضوع در فضاهای آموزشی به دلیل غالب بودن فعالیت‌های بصری بیشتر است. محیط‌های آموزشی نقش مهمی در بهبود سلامت و روان دانشجویان دارند، فعالیت در کلاس‌های با نورگیری ضعیف باعث مشکلات فیزیکی و روانی برای دانش‌آموزان می‌شود. نور روز باعث بهبود کیفیت دید و نقش مؤثری در بهتر کردن خلق‌وخوی افراد و کاهش استرس‌های آنان دارد [۱۰].

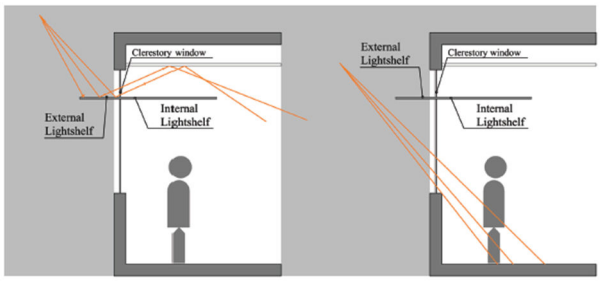
نورهای با طیف‌های متنوع و غنی تأثیر کارآمدتری بر چشم‌ها دارند، نور روز به لحاظ تنوع طیف‌ها غنی است؛ بنابراین فشار بر روی چشم‌ها را کاهش می‌دهد [۱۱]. همچنین نور خورشید دارای فواید بسیاری برای بدن است، از نرمی استخوان جلوگیری می‌کند، میکروب‌کش است و برای بسیاری از تغییرات شیمیایی که در بدن اتفاق می‌افتد ضروری است [۹]. قرار گرفتن افراد در معرض نور خورشید صبحگاهی نقش مهمی در تنظیم ریتم شبانه‌روزی بدن دارد، گیرنده‌هایی که این چرخه را تنظیم می‌کنند بیشتر به طول‌موج‌های کوتاه در طیف مرئی حساس هستند، یک فضای داخلی باقابلیت انتقال نور به تنظیم این چرخه کمک می‌کند به‌ویژه برای افرادی که در نزدیکی پنجره نشسته‌اند، حذف نور آبی صبحگاهی باعث تولید ملاتونین (نوعی هورمون خواب‌آور) و شروع خواب در دانشجویان است [۷].

۱-۴ رف نور

ازجمله سیستم‌های کارآمد در عملکرد بصری و انرژی رف نور است. این تعریف به آن دسته از سیستم‌های سایه زنی که شامل یک رف افقی داخلی یا خارجی و یا ترکیبی از هردو هستند اشاره می‌کند. رف‌های نور می‌توانند با هر اندازه‌ای ساخته‌شده و تطابق‌پذیری در اندازه دارند. ارتفاع نصب

رف نور بسته به نیازهای داخلی و دستگاه‌هایی که ممکن است به پوسته بیرونی متصل شوند بستگی دارد [۵].

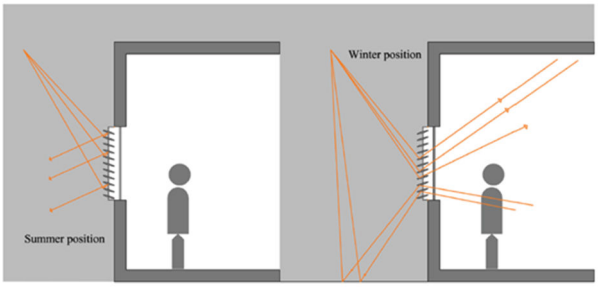
رف‌های نور سایه زن‌های افقی یا زاویه‌دار هستند که بر روی یک پنجره نصب می‌شوند. رف نور معمولاً پنجره را به دو قسمت تقسیم می‌کند، یک بخش برای دید به بیرون و بخش دیگر برای ورود نور به داخل فضا که امکان ارتباط بصری با فضای بیرون را قطع نمی‌کنند. عملکرد رف‌های نور که به لحاظ اجرایی هم مقرون به‌صرف هستند به‌گونه‌ای است که هم می‌تواند به‌عنوان سایه‌بان عمل کند و با سایه‌اندازی روی پنجره جذب گرما را کاهش دهد و هم به‌عنوان سیستمی برای بهبود یکنواختی نور روز در داخل فضا با دریافت نور مستقیم خورشید و انعکاس آن را به سقف و ازآنجا به پشت اتاق، باعث افزایش عمق نفوذ نور به بخش‌های مرکزی و انتهایی فضا و کاهش خیرگی در نزدیکی پنجره شود. عملکرد این سیستم را می‌توان با رف‌های زاویه‌دار قابل حرکت بهبود بخشید که می‌توان آن‌ها را به‌صورت مکانیکی یا دستی هدایت کرد. همچنین این دستگاه می‌تواند به‌گونه‌ای ساخته شود که با تغییرات اقلیمی و زاویه خورشید سازگار باشد و خصوصیات نوری فضا را بهبود ببخشد. همچنین آن‌ها امکان ادغام به ساختمان‌های موجود را دارا می‌باشند که باید به ارتفاع نصب و زاویه آن چه ثابت و چه متحرک توجه کرد[۷, ۱۲, ۱۳].



شکل ۱-۱. رف نور ترکیبی تحت تابش در زمستان و تابستان [۱۳]

۱-۵ لوورهای هدایت‌کننده نور

لوورها آرایشی از صفحات موازی هستند که می‌توانند داخلی یا خارجی باشند. در مقایسه با سایه‌بان آن‌ها عملکرد بهتری در محافظت از گرمای بیش‌ازحد و هدایت نور خورشید در محیط داخلی دارند. لوورها از صفحات قابل تنظیم متشکل از عناصر افقی، عمودی و زاویه‌دار به همراه مقاطع بهینه برای بهبود خصوصیات اپتیکی فضا استفاده می‌کنند. این لوورها می‌توانند برای گستره وسیعی از ساختمان‌ها استفاده شوند، همچنین قابلیت اتصال به ساختمان‌های موجود و با سطوح شیشه‌ای زیاد را دارا می‌باشند. ابعاد، نوع صفحه، زاویه و همچنین الگوی شکلی آن‌ها با توجه به نیازهای سایه زنی، اقلیم و عرض جغرافیایی تعیین می‌شود. این سیستم تنها برای پنجره‌های عمودی برای جلوگیری از خیرگی و سایه زنی استفاده می‌شود.



شکل ۱-۲.لوورهای هدایت‌کننده نور تحت تابش در زمستان و تابستان[۱۳]

۱-۶ کیفیت نور روز

کیفیت نور چیست؟ برای این سؤال جواب کاملی وجود ندارد و به عوامل متعددی وابسته است. به انتظارات مردم در تجربه‌های پیشین از روشنایی الکتریکی بستگی دارد. همچنین آسایش بصری بسته به نوع برنامه و فعالیت در فضای کار متفاوت است، ممکن است نورپردازی که برای یک فضای سرگرمی در نظر گرفته‌شده برای یک فضای کاری ناراحت‌کننده و نامناسب باشد.

در استاندارد اروپایی آسایش بصری به‌عنوان " شرایط ذهنی از سلامت بصری ناشی از محیط بصری " تعریف‌شده است؛ که این بستگی دارد به ۱) فیزیولوژی چشم انسان، ۲) مقادیر کمی که مقدار نور و توزیع آن در فضا را تعریف می‌کنند، ۳) انتشار از منبع نور. آسایش بصری معمولاً از طریق ارزیابی فاکتورهای مشخص کنند رابطه بین نیازهای انسان و نور محیطی مانند: ۱) میزان نور، ۲) یکنواختی نور، ۳) کیفیت نور در خروجی رنگ‌ها، ۳) پیش‌بینی احتمال خیرگی برای افراد مطالعه می‌شود. همچنین میزان نور موردنیاز در یک فضا بستگی دارد به: نوع کار، زمان کار (شب یا روز)، سن افراد و غیره [۸, ۱۴].

۱-۶-۱ میزان نور

دید خوب با مقدار نور کافی که به اشخاص اجازه می‌دهد تا وظایف خود را انجام دهند تعریف می‌شود. عدم ناراضیانی می‌تواند ناشی از نور زیاد یا نور کم باشد. کمیت فیزیکی که معمولاً برای تعیین میزان نور بر روی یک نقطه معین یا سطح کاری اختصاص داده می‌شود شدت روشنایی[1] است. محاسبه شاخص‌های مبتنی بر روشنایی عموماً نیاز به استفاده از داده‌های آب‌وهوایی یا ارزیابی لحظه‌ای در زمان مشخصی از سال دارند. این‌گونه ارزیابی‌ها اغلب با مقایسه نور در داخل فضا با مقادیر بهینه از پیش تعریف‌شده روشنایی است که هرکدام با عملکرد یک کاربر عادی در یک محیط معین بیان می‌شوند [۸].

۱-۶-۲ یکنواختی نور

یکنواختی بیانگر چگونگی پراکندگی نور بر روی یک سطح کاری است و این‌یک پارامتر بسیار مفید برای توصیف نور محیطی است. یکنواختی مناسب باعث کم شدن فشار به چشم‌ها به دلیل تطابق

[1] illuminance

مکرر چشم با نور زیاد و کم می‌شود درنتیجه احتمال ناراحتی بصری را کاهش می‌دهد. در تعریف فیزیکی، یکنواختی نور با یکنواختی روشنایی در یک سطح کاری مشخص ارائه می‌شود [۸].

۱-۶-۳ خیرگی

خیرگی یک پدیده نوری است که ناشی از روشنایی زیاد یا تفاوت روشنایی بیش‌ازحد درزمینه بصری است که باعث اختلال دید کاربران فضا می‌شود. به‌طورکلی خیرگی احساس تولیدشده درزمینه بصری است که بزرگ‌تر از میزان روشنایی است که چشم انسان می‌تواند خود را با آن تطبیق دهد. این اتفاق زمانی می‌افتد که نور دریافتی بیش‌ازحد باشد یا زمانی که ناظر طیف وسیعی از روشنایی را در زمینه دید خود تجربه می‌کند. مورد اول که به آن خیرگی فیزیولوژیکی گفته می‌شود، باعث کاهش سریع در عملکرد بصری و عدم توانایی دیدن اشیاء می‌شود، مقادیر زیاد نور یک پاسخ فیزیکی نا گریز را ایجاب می‌کند مانند بستن چشم و چشمک زدن و یا نگاه کردن به اطراف، اساساً این نوع خیرگی را می‌توان به‌وسیله تاریک کردن بخش خیلی روشن زمینه بصری یا کاهش روشنایی در کل میدان دید کاهش داد. مورد دوم به آن خیرگی روان‌شناختی می‌گویند کنتراست بیش‌ازحد بین بخش‌های روشن و تاریک می‌تواند باعث تخریب و تنزل پیش‌رونده عملکرد بصری شود و منجر به خستگی زودرس چشم‌ها به همراه عواقبی مانند سردرد شود. پیش‌بینی خیرگی در ساختمان هنوز چالش مهمی در طراحی ساختمان است چراکه وابسته به موقعیت ناظر است و همین‌طور تحمل افراد بسته به پیش‌زمینه آن‌ها که آیا قادر هستند خود را تطبیق دهند یا خیر، محدوده روشنایی ارزیابی‌شده می‌تواند وسیع باشد [۸].

۱-۶-۴ کیفیت نور در ارائه رنگ‌ها

بر اساس مطالعات متعدد مردم مایل به دریافت نور طبیعی در فضاهای زندگی و کار هستند. این به بدین معنی است که منافع زیادی برای سلامتی و رفاه شغلی با در نظر گرفتن مسائل روان‌شناختی،

فیزیولوژیکی و همچنین جنبه‌های اقتصادی دارد. نورهای با طیف‌های متنوع و غنی تأثیر کارآمدتری بر روی چشم‌ها دارند. نور روز به لحاظ تنوع طیف‌ها غنی است و تصور می‌شود که فقط نور روز می‌تواند رنگ‌های حقیقی را به ارمغان بیاورد. این نور در بسیاری از ساختمان‌ها حیاطی است برای مثال استودیوهای طراحی که در آن‌ها توانایی قضاوت دقیق بر روی رنگ‌ها بسیار مهم است [۱۵].

۱-۷ فاکتورهای بررسی نور روز

شاخص‌های قابل‌اطمینان در فرایند طراحی برای ارزیابی کیفیت محیط بصری موردنیاز است. این شاخص‌ها را می‌توان در دو گروه عمده جای داد شاخص‌های ارزیابی میزان نور و شاخص‌های ارزیابی توزیع نور. برای مورد اول شدت روشنایی و فاکتور نور روز و برای مورد دوم یکنواختی در ادامه توضیح داده‌شده است.

۱-۷-۱ شدت روشنایی

شدت روشنایی با نماد (E) عبارت از میزان شار نوری دریافت شده توسط یک سطح معین است. واحد شدت روشنایی در سیستم SI لوکس است. هر لوکس، شدت روشنایی است که از یک شمع استاندارد در فاصله یک متری توسط یک سطح مربعی دریافت می‌شود. شدت روشنایی در مباحث روشنایی یک فاکتور مهم است، زیرا هم مبنای اندازه گیری مقدار روشنایی در اماکن و مشاغل است و هم استانداردهای روشنایی بر مبنای آن تدوین شده است [۱۶]. آستانه‌های روشنایی تعریف‌شده در منابع به نوع ساختمان و نوع کاربری‌های آن‌ها بستگی دارد، اکثر نویسندگان مقدار ۵۰۰ لوکس بر روی میز کار را پیشنهاد می‌کنند درحالی‌که برخی میزان ۳۰۰ لوکس را هم کافی می‌دانند [۸].

۱-۷-۲ فاکتور نور روز[1]

فاکتور نور روز (DF) برای اولین بار توسط تروتر[2] در سال ۱۸۹۵ معرفی شد. از آنجایی‌که ماهیت نور در طی سال و همچنین در طول روز دارای تغییر است، این متغیر برای جلوگیری از وابستگی عملکرد نور از شرایط لحظه‌ای آسمان تعریف شده است. فاکتور نور روز یک واحد اندازه‌گیری در کیفیت نور در یک محدوده از محیط اطراف نیست، بلکه یک پارامتر برای ارزیابی حداقل آستانه رضایت برای نور طبیعی است. این‌یک معیار کوتاه‌مدت برای ارزیابی نور روز است که در یک نقطه از سطح کار از نسبت نور بیرونی به نور داخلی محاسبه می‌شود [۸].

$$DF = \frac{\mathrm{E_{indoor}}}{\mathrm{E_{outdoo}}} \times 100 \qquad (۱-۱)$$

اگر فضای داخلی دارای میانگین فاکتور نور روز ۵٪ یا بیشتر باشد آن فضای داخلی دارای روشنایی قابل‌قبول است و اگر این مقدار ۲٪ یا کمتر باشد فضای داخلی کم‌نور به نظر می‌رسد [۱۳]. همچنین برای آن دسته از فضاهایی که در طول روز از منابع الکتریکی استفاده نمی‌کنند فاکتور نور روز متوسط ۵ درصد لازم است و برای فضاهایی که انرژی الکتریکی در طول روز استفاده می‌شود فاکتور نور متوسط نباید کمتر از ۲ درصد باشد [۱۷]. همچنین مقدار روشنایی برای کارگاه‌ها و آزمایشگاه‌ها حداقل ۲ درصد و مقدار مناسب آن ۵ درصد توصیه‌شده است [۱۸].

این معیار ارزیابی نور روزانه دارای محدودیت‌هایی است، ۱) فقط برای آسمان تمام ابری مورداستفاده قرار می‌گیرد، ۲) به‌عنوان درصد بیان می‌شود و درصد را نمی‌توان به‌عنوان ارزش روشنایی مطلق بیان کرد، ۳) به حداکثر رساندن میزان فاکتور نور روز ممکن است باعث افزایش بیش‌ازاندازه بازشوها شود که می‌تواند آسایش ساکنان را تحت تأثیر قرار دهد، ۴) جهت‌گیری بر میزان

[1] Dayligh factor
[2] Trotter

فاکتور نور روز تأثیری ندارد، ۵) یکی دیگر از اشکالات این فاکتور این است که ارزیابی خیرگی خارج از محدوده این شاخص است [۸].

جدول ۱-۱ خلاصه‌ای از استانداردهای روشنایی را نشان می‌دهد:

جدول ۱-۱. خلاصه‌ای از استانداردهای روشنایی [۹, ۱۷, ۱۹, ۲۰]

مقادیر توصیه‌شده	منبع
روشنایی توصیه‌شده در کلاس‌های درس نباید کمتر از ۳۰۰ لوکس در سطح میز کار باشد. برای کارهای با دقت بیشتر این مقدار نباید کمتر از ۵۰۰ لوکس در سطح میز کار باشد هر زمان که امکان دارد فضای روزانه دارای متوسط فاکتور نور روز ۵-۴ درصد توصیه می‌شود.	راهنمای طراحی محیط طبیعی مدارس (۱۹۹۷)
مقدار نور توصیه‌شده برای کلاس‌های هنری ۵۰۰ لوکس در سطح میز کار است.	کدهای روشنایی (۲۰۰۲)
میزان نور توصیه‌شده برای کارهای دقیق مانند کارگاه‌های طراحی معماری ۵۰۰ لوکس.	اداره آموزش‌وپرورش و کارگزینی (۱۹۹۹)
کارهای چشمی با کنتراست متوسط و ابعاد کوچک، خواندن دست‌نویس بامداد، متون چاپی کم‌رنگ، کارهای ماشینی و دستی و با دقت متوسط، کنترل دقیق و مونتاژ اشیا متوسط ۵۰۰ لوکس توصیه‌شده است.	نور روز در معماری (۱۳۷۹)

۱-۷-۳ یکنواختی روشنایی

آسایش بصری تنها به میزان نور در فضا مربوط نیست بلکه به نحوه توزیع آن نیز مرتبط است. یکنواختی روشنایی (UO[1]) در یک سطح معین و در لحظه‌ای معین، بین کمترین مقدار روشنایی در سطح (E_{min}) و روشنایی متوسط ($E_{average}$) در سطح معین با درصد بیان می‌شود. همچنین از نسبت

[1] Iluminance Uniformity

کمترین (E_{min}) و بیشترین (E_{max}) مقدار روشنایی در سطح مشخص استفاده شود. طبق فرمول‌های زیر:

$$Uo, avarage = \frac{E_{min}}{E_{avarage}} \quad (۲-۱)$$

$$Uo, max = \frac{E_{min}}{E_{max}} \quad (۳-۱)$$

UO یک شاخص کوتاه‌مدت است که یکنواختی را ارزیابی می‌کند [۸].

۱-۸ جمع‌بندی

نمای ساختمان‌ها درصد بالایی از انرژی را مصرف می‌کنند. آن‌ها رابط بین داخل و خارج هستند، بنابراین پتانسیل زیادی در صرفه‌جویی در مصرف انرژی دارند. پنجره‌ها یکی از عناصر اصلی نما به‌عنوان ابزار اصلی تأمین روشنایی در فضاهای معماری محسوب می‌شوند، لذا طراحی مناسب پنجره و سیستم‌های سایه زنی نقش اساسی در بهبود روشنایی، جلوگیری از خیرگی و همچنین گرمای بیش‌ازحد در فصل تابستان دارند. در این پژوهش از نور خورشید در جهت بهینه‌سازی روشنایی فضای داخلی ساختمان و تأمین نور لازم برای انجام فعالیت‌های موردنظر استفاده شد. استفاده از نور در ساختمان‌ها بیشتر از فراهم کردن نور کافی و بهبود روشنایی محیط است، این امر تا حد زیادی به‌سلامت انسان کمک می‌کند؛ بنابراین باید در طراحی ساختمان نور به‌عنوان عامل مهمی در نظر گرفته شود نه‌تنها به خاطر نیازهای عملکردی، بلکه نیازهای زیست‌محیطی و روانی را نیز موردتوجه قرار دهند. به این منظور جهت استفاده بهینه از نور روز و مزایای آن، سیستم رف نور برای بهبود کمیت و کیفیت نور در فضا موردمطالعه قرار می‌گیرد. هدف از این مطالعه بررسی انواع رف‌های نور در ترکیب با لوورهای متحرک داخلی و تعیین ویژگی‌های آن‌ها در رابطه با افزایش سطح روشنایی در انتهای فضا و پخش نور و یکنواختی در سطح میز کار است. بر این اساس باهدف ارائه الگویی مناسب و

کارا برای بهینه کردن نور روز، مطالعات میدانی و همچنین شبیه‌سازی در نرم‌افزار رادیانس صورت گرفت. به‌منظور درک نظرات و رفتار کاربران در رابطه با رف‌های نور مطالعه میدانی در باب رف‌های نور و سیستم‌های سایه زنی داخلی از طریق نصب نمونه با مقیاس واقعی و پرسشنامه انجام می‌شود.

فصل ۲ : مروری بر ادبیات موضوع

۲-۱ مقدمه

در فصل قبل به بررسی کلیاتی در باب نور روز پرداخته شد، لزوم استفاده از نور روز به دلیل اثرات فیزیولوژیکی و روان‌شناختی برای افراد و همچنین صرفه‌جویی در مصرف انرژی بیان گردید. در محیط‌های آموزشی به دلیل میزبانی فعالیت‌های بصری که اکثراً در طول روز انجام می‌گیرد توجه به روشنایی طبیعی اهمیت بیشتری دارد، لذا با توجه به اهمیت این موضوع مطالعات بسیاری در راستای بررسی نور روز در فضاهای آموزشی متمرکز شده‌اند. نور روز باوجود همه‌ی مزایا اگرکه به درستی استفاده نشود موجب نادیده گرفتن آن می‌شود، لذا سیستم‌هایی برای بهبود خصوصیات نوری فضا پیشنهاد می‌شوند. یکی از این سیستم‌ها رف نور است که دریافت خورشیدی را کاهش می‌دهد و نور را دوباره در داخل ساختمان پخش می‌کند. تحقیقات متمرکز بر عملکرد رف نور در دهه ۱۹۸۰ آغاز شد، مقالات زیادی در تلاش برای بررسی تمام پارامترهای که عملکرد آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند انجام‌شده است. پارامترهای تأثیرگذار در ارزیابی عملکرد رف‌های نور به شرح زیر هستند [۵]:

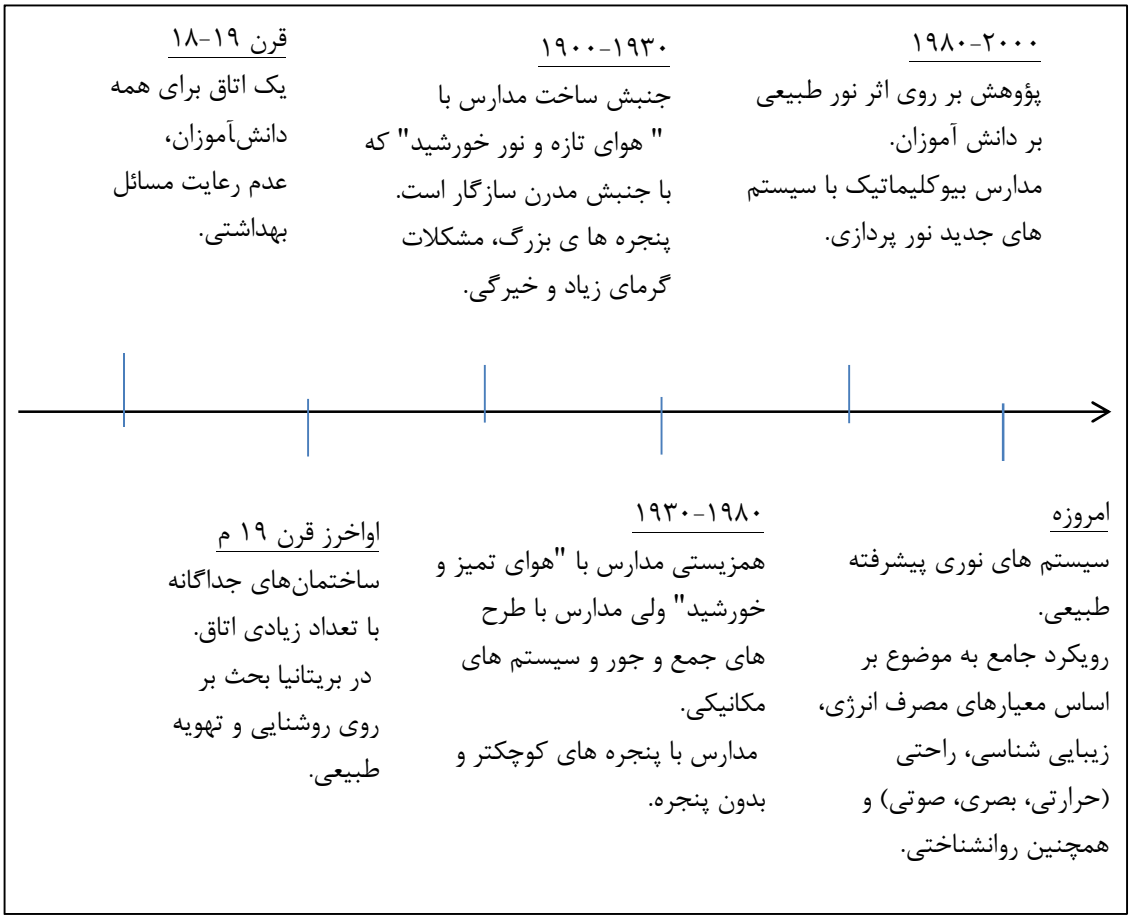
۱. هندسی (عرض، طول، ارتفاع نصب، زاویه و شکل)؛
۲. نوع بازتاب (متمرکز و پراکنده)؛
۳. نوع مصالح (فلزی، مجوف یا بدون سوراخ و شفاف)؛
۴. اطلاعات ساختمان (ابعاد اتاق و شکل سقف)؛
۵. شرایط آب و هوایی.

۲-۲ مطالعات قبلی درباره عملکرد نور روز در فضاهای آموزشی

بسیاری از مطالعات نشان می‌دهند که اطمینان از کیفیت نور در یک محیط آموزشی کار پیچیده‌ای است. مجموعه‌ای از فعالیت‌های بصری در کلاس درس مانند خواندن و نوشتن روی میز و تخته کلاس، ارتباط بین دانش آموزان و معلم انجام می‌شود، این فعالیت‌ها نیاز به شرایط بصری خاص هستند تا بتوان با موفقیت آن‌ها را انجام داد [۱۴].

تا قبل از متداول شدن لامپ‌های فلورسنت نور روز فاکتور اساسی در طراحی مدارس و فضاهای آموزشی مطرح می‌شد. بعد از متداول شدن لامپ‌های فلورسنت و همچنین زمانی که سیستم‌های تهویه مکانیکی در مدارس استفاده شدند، مهندسان با سقف‌های بلند و پنجره‌های گسترده مخالفت کردند، عقیده آن‌ها بر این بود که با ساخت مدارسی با ارتفاع کمتر و همین‌طور در زمین کمتر و بدون توجه به جهت‌گیری به سمت خورشید می‌توان ساخت‌وساز ارزان‌تری داشت. بدین ترتیب مدارس یا بدون پنجره طراحی می‌شدند یا دارای پنجره‌های کوچک بودند. امروزه با توجه به اثرات مثبت نور روز و همچنین صرفه‌جویی در مصرف انرژی، نور روزبه عنوان فاکتوری اصلی در طراحی در نظر گرفته می‌شود [۱۰]. در (جدول ۲-۱) خلاصه‌ای از روند طراحی مدارس با توجه به نور طبیعی آورده شده است [۲۱].

جدول ۲-۱. خلاصه‌ای از تکامل تاریخی استفاده از نور طبیعی در مدارس غرب [۲۱]



مطالعه‌ای در کشور سوئد[1] (عرض جغرافیای ۵۵°N) در سال ۱۹۹۲ توسط کیلر[2] و لیندستین[3] به‌منظور ارزیابی تأثیر نور در سطح هورمون‌ها، عملکرد دانش‌آموزان، رشد بدن و کم شدن بیماری در مدارس ابتدایی انجام شد. ۹۰ دانش‌آموز ابتدایی ۸ ساله در ۴ کلاس با ویژگی‌های متفاوت در نور روزانه و الکتریکی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که دانش‌آموزانی که از نور روز کافی بهره نمی‌برند اختلال شدیدی در سیستم هورمونی آن‌ها ایجاد می‌شود؛ که باعث تأثیر بر روی رشد آن‌ها و همچنین بیماری می‌شود. لذا نتیجه گرفتند که باید از کلاس‌های بدون پنجره برای استفاده دائمی اجتناب ورزید [۲۲].

مطالعه‌ای در سال ۱۹۹۹ توسط هشونگ[4] و باهدف بررسی تأثیر نور روز بر نمرات دانش‌آموزان مدارس ابتدایی انجام شد. آنالیزها بر روی ۲۱۰۰۰ دانش‌آموز از ۵ شهر واقع در ۳ ایالت آمریکا انجام شد، آمارها نشان‌دهنده ارتباط معنی‌داری بین نمرات دانش‌آموزان و نور روز است. یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد دانش‌آموزانی که در کلاس‌های با نور مناسب بودند ۲۰٪ در تست‌های ریاضی و ۲۶٪ در تست‌های خواندن در طی یک سال نسبت به کلاس‌هایی که از نور روز کافی برخوردار نبودند پیشرفت داشتند. به‌طور مشابه دانش‌آموزان در کلاس‌های با پنجره‌های بزرگ ۱۵٪ در ریاضیات و ۲۳٪ در خواندن پیشرفت داشتند [۱۰].

مطالعه‌ای در کشور یونان در سال ۲۰۰۸ توسط اکسارلی[5] و مرسی[6] برای ۲۰ کلاس درس واقع در سه شهر مختلف، به‌منظور بررسی اثرات جانبی استفاده از نور روز و نفوذ نور خورشید انجام شد. نتایج آن‌ها نشانگر این بود که هیچ‌گونه سیستم سایه زنی مناسبی در هیچ‌کدام از مدارس وجود نداشت، به‌جز در مواردی که موانع خارجی باعث کاهش نور ورودی به کلاس‌ها می‌شد نور به‌اندازه

[1] Sweden
[2] Küller
[3] Lindsten
[4] Heschong
[5] Axarli
[6] Meresi

کافی وجود داشت ولی به‌گونه‌ای مناسب توزیع نشده بود، همچنین در روزهای آفتابی به دلیل مشکلات خیرگی پرده‌ها انداخته می‌شد و از تجهیزات الکتریکی استفاده می‌شد [۲۳].

پژوهشی در سال ۲۰۱۵ توسط بارت[1] و همکاران در کشور انگلیس انجام شد. این مطالعه تأثیر محیط فیزیکی را بر سلامت دانش‌آموزان بررسی می‌کند. برای این منظور ۱۰ پارامتر (نور، صوت، دما، کیفیت هوا، ارتباط با محیط بیرون و ...) موردبررسی قرار گرفتند. محققان ۱۵۳ کلاس در ۲۷ مدرسه را برای بررسی ویژگی‌های مدرسه و کلاس درس بررسی کردند. بر اساس یافته‌های تحقیق نور روز بر همه‌ی فاکتورهای طراحی اثر می‌گذارد. بااین‌وجود، اندازه پنجره به‌تنهایی برای تأمین نور مناسب و روند یادگیری کافی نیست، تنها هنگامی‌که جهت‌گیری و احتمال خیرگی در نظر گرفته شوند دانش آموزان می‌توانند از مزایایی اندازه مناسب پنجره بهره ببرند [۳].

مطالعه‌ای در کشور ایران در شهرستان کاشان (عرض جغرافیای N °۳۳) در سال ۲۰۱۶ توسط سپیده سادات خسروی و همکاران انجام شد. پژوهش یک رویکرد مربوط به عرض جغرافیایی با استفاده از معیارهای پویا برای سنجش آسایش بصری تعداد کمی از افراد در دوره‌های مختلف سال از طریق پرسشنامه است. برای این منظور ۲ کلاس در جبهه‌های شمالی و جنوبی یک دبیرستان متداول در شهر کاشان انتخاب شدند و تمام دانش آموزان کلاس‌ها از طریق پرسشنامه موردبررسی قرار گرفتند. پرسشنامه در طی یک سال تحصیلی و در سه فصل از سال توزیع‌شده است، معیارهای ارزیابی نور[2] (SDA) و[3] (ASE) با استفاده از نرم‌افزار رادیانس، از طریق رابط دیوا محاسبه و با ارزیابی دانش‌آموزان مقایسه شدند. با توجه به نتایج حاصل‌شده، اگرچه فاکتورهای پویای بررسی نور توسط معماران و استانداردها ارائه‌شده و استفاده می‌شوند ولی مقادیر کمتر یا بالاتر از حد مجاز این معیارها لزوماً باعث ناراحتی بصری نمی‌شوند و مطالعات بیشتری باید ارتباط بین درک دانش‌آموزان و

[1] Barrett
[2] Spatial Daylight Autonomy
[3] Annual Sunlight Exposure

معیارهای پویا را بررسی کنند. فاکتورهای دیگری مانند (دید، تنظیمات پنجره‌ها، انتظارات افراد و منطقه مورد مطالعه) می‌توانند میزان راحتی تجربه‌شده در هر فضایی را تغییر دهند [۲۴].

مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۶ در شهر اهواز توسط عبدالرضا گیلاوند و همکاران انجام شد. همه مدارس ابتدایی پسرانه در شهر اهواز انتخاب شدند از میان آن‌ها ۲۱۰ دانش‌آموز در طول یک سال تحصیلی ۲۰۱۶-۲۰۱۵ با نمونه‌گیری تصادفی برای نمونه پرسشنامه انتخاب شدند. ابزار گردآوری داده‌ها پرسش‌نامه و مصاحبه با دانش‌آموزان بود و فاکتورهای موردبررسی آنان و چک لیست‌ها درباره متغیرهای محیط فیزیکی و یادگیری بوده است. نتایج نشانگر تأثیر نور روز در پیشرفت دانش آموزان است [۲۵].

پژوهش دیگری در سال ۲۰۱۷ توسط میکائیل[۱] و هراکلوس[۲] باهدف بررسی عملکرد نور طبیعی در ساختمان‌های آموزشی قبرس[۳] به‌منظور بهبود آسایش بصری در کلاس‌های درس انجام شد. ۱۱۴ ساختمان آموزشی از سراسر قبرس موردبررسی قرار گرفتند. برای ارزیابی عملکرد روزانه و آسایش بصری در مدارس قبرس آن‌ها از ارزیابی چند معیاره شامل تحقیقات کیفی مانند (مطالعات میدانی به همراه استفاده از پرسشنامه) و تحقیقات کمی مانند (شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار) استفاده کردند. چهار مدل مدرسه ابتدایی هرکدام از یک منطقه آب و هوایی برای تحقیقات کیفی در نظر گرفته شدند. پرسشنامه‌ها به‌صورت تصادفی بین ۱۰۰ دانش‌آموز از هر مدرسه توزیع شدند، در مجموع ۴۰۰ دانش‌آموز به پرسشنامه‌ها پاسخ دادند. برای شبیه‌سازی‌های ایستا و پویا هم چهار کلاس که هرکدام رو به یک‌جهت از یک مدرسه در نیکوزیا[۴] به‌عنوان نمونه موردی انتخاب شدند. از نرم‌افزار اکوتک[۵] برای مدل‌سازی و رادیانس[۶] و دی سیم[۷] برای تحلیل‌های نور روز و نرم‌افزار هیدروسکوپ[۸] برای

[1] Michael
[2] Heracleous
[3] Cyprus
[4] Nicosia
[5] Autodesk Ecotect Analysis 2011
[6] Desktop Radiance v.2.0
[7] Daysim v.3.1
[8] Hdrscope

خیرگی استفاده شد. نتایج حاصل از پرسش‌نامه نشان می‌دهد، اکثریت دانش‌آموزان و معلمان به ترتیب ۸۲.۵٪ و ۸۳٪ نور را به‌اندازه کافی یا تقریباً کافی ارزیابی کردند، ازلحاظ یکنواختی نیز ۵۳٪ از دانش‌آموزان و ۴۸.۹٪ از معلمان نور را یکنواخت ارزیابی کردند. بااین‌حال کنتراست نور زیاد و دیده شدن منبع نور باعث مشکلات خیرگی می‌شود به‌ویژه در کلاس‌های با جهت‌گیری شرق و غرب. این مطالعه با توجه به جهت‌گیری‌های مختلف راه‌حل‌هایی برای مقابله با خیرگی پیشنهاد می‌کند، برای کلاس‌های جهات شرق و غرب لوورهای عمودی ثابت راه‌حلی مناسب هستند، برای کلاس‌های جنوبی فقط لوورهای داخلی پیشنهاد می‌شود و درنهایت برای کلاس شمالی چون مسائل خیرگی ناچیزاست فقط لوورهای داخلی را پیشنهاد کردند [۱۴].

۲-۳ رف نور

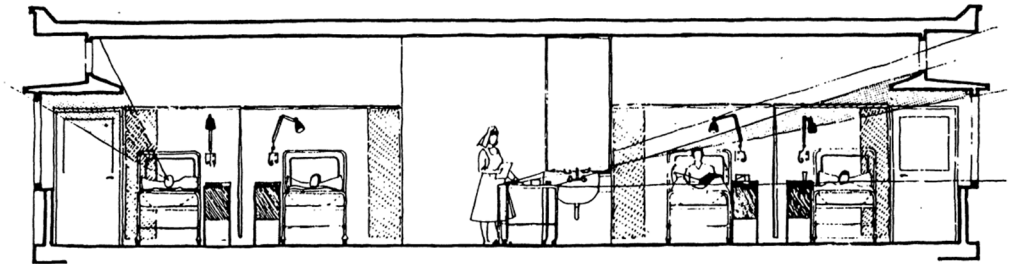
رف نور یک ایده قدیمی است که دوباره باب شده است، استفاده از سیستم‌های منعکس‌کننده برای هدایت نور خورشید به زمان باستان[۱] برمی‌گردد، در قرن ۶ هجری اولین نوع رف نور در ایاصوفیه طراحی شد، در طراحی اولیه از پنجره‌های بازتابی که در اطراف گنبد قرار داشت استفاده شد به‌طوری‌که نور به‌منظور روشنایی به سطح داخلی گنبد منعکس می‌شد [۵]. زمانی که اصطلاح رف نور رایج شد مشخص نیست، پژوهش در باب رف‌های نور در اوایل ۱۹۵۰ در ایستگاه تحقیقاتی ساختمان[۲] برای روشن کردن چند ساختمان با پلان عمیق توسط هاپکینسون[۳] انجام شد. آن‌ها به دنبال راه‌حلی برای روشن کردن یک بخش عمیق بیمارستان با نور روز به تنهایی و همچنین حفظ راحتی بیماران در نزدیکی پنجره بودند، به این منظور آن‌ها از رف نور استفاده کردند. برای بیماران نزدیک به پنجره رف نور دید به آسمان را به‌اندازه قابل قبولی محدود می‌کند، یکنواختی را افزایش می‌دهد و شرایط بصری درون بخش بخصوص در نزدیکی پنجره را بهبود می‌بخشد [۲۶].

---

[۱] ارشمیدس در سال ۲۱۲ قبل از میلاد از قسمت مقعر سپرها برای سوزاندن بادبان حریف استفاده می کرد یا استفاده از آینه ها برای بازتاب نور به صحنه تئاتر.

[2] Building Research Station

[3] Hopkinson



شکل ۲-۱. یک نوع رف نور اولیه (این تصویر نشان می‌دهد که چگونه رف نور محدوده قابل دید آسمان را برای بیماران نزدیک به پنجره کاهش می‌دهد، بدون کاهش نور در نزدیکی وسط اتاق) [۲۱].

در مقالاتی که بررسی می‌شود عملکرد رف نور بر اساس سطح روشنایی بر روی میز کار مورد ارزشیابی قرارگرفته است. ازآنجایی‌که ابعاد اتاق مورداستفاده در پژوهش‌ها به‌طور گسترده‌ای متفاوت است، طراحی بهینه‌سازی نیز متفاوت می‌باشد، بنابراین معیارهای مورداستفاده برای ارزیابی عملکرد رف‌های نور که در سیستم روزمره رایج هستند عبارت‌اند از: افزایش روشنایی، افزایش یکنواختی، بهبود آسایش بصری، ارائه سایه کافی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی.

رف‌های نور را می‌توان بر اساس فرم هندسی طبقه‌بندی کرد؛ بنابراین در ادامه مروری بر تحقیقات انجام‌شده برای رف‌های افقی، زاویه‌دار، منحنی و رف‌های پویا ارائه‌شده است.

۲-۳-۱ رف‌های افقی

این‌گونه رف‌ها ساده‌ترین نوع هستند. سلکویتز[1] و همکاران به این نتیجه رسیده‌اند که عملکرد رف نور در زیر آسمان آفتابی برای افزایش سطح نور روز در پشت فضا بهتر از نمونه بدون رف است و نتیجه گرفتند که به‌طورکلی رف‌های نور باعث بهبود نفوذ نور می‌شوند. همچنین آن‌ها پیشنهاد می‌کنند که حداکثر عمق رف نور خارجی کمتر از ۱.۵ برابر ارتفاع بالای پنجره باشد [۲۷].

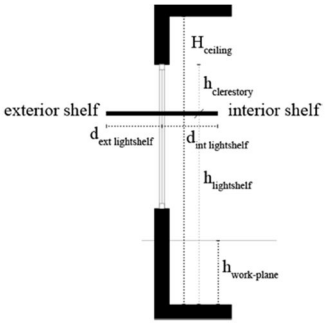
$$d_{ext\ lightshelf,max} \leq 1.5 \times h_{clerestory} \qquad (۱-۲)$$

[1] Selkowitz

لیتل‌فیر[1] و همکاران، در سال ۱۹۹۴ در انگلستان برای بررسی سیستم های پیشرفته نور روز و بررسی ۴ هدف عمده در کارکرد آن‌ها شامل افزایش سطح نور روز در عمق، بهبود یکنواختی، کنترل نور مستقیم خورشید و کاهش خیرگی را در آزمایشگاه تحقیقات ساختمان (BRE) آزمایش کردند. نتایج نشان داد سیستم قادر است سطح نور روز را در جلوی اتاق نسبت به عقب کاهش دهد و باعث افزایش یکنواختی شود و این افزایش به مقدار کمی در آسمان ابری مشاهده شد. به‌عنوان یک نتیجه کلی آن‌ها بیان کردند که سیستم های ثابت فقط می‌توانند تابش مستقیم را در برخی زوایای خورشید کنترل کنند، ولی اگر سیستم به‌صورت متحرک باشد می‌تواند به‌طور مؤثرتر کار کند [۲۸].

لیتل‌فیر در سال ۱۹۹۵، مطالعات قبلی خود در راستای شبیه‌سازی رفتار رف نور را ادامه داد، شبیه‌سازی‌ها با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی در موسسه تحقیقات ساختمان اعتبار سنجی شده است. یافته‌های او نشان داد یک رف نور داخلی می‌تواند یکنواختی نور روز در یک اتاق را افزایش دهد و همچنین تا حدی باعث سایه زنی شود. نتایج تجربی نشان داد رف‌های نور به‌عنوان یک بازتابنده و عملکرد بهتر نیاز به سقف با ارتفاع زیاد دارند. همچنین رف‌های نور در اتاق‌های با موانع خارجی بهتر عمل می‌کنند و می‌توانند نور را تا ۱۵٪ افزایش دهند.

مطالعات او اطلاعاتی راجع به ابعاد مطلوب رف‌های نور ارائه داد (رابطه (۲-۲) و (۲-۳)) [۵, ۲۶].



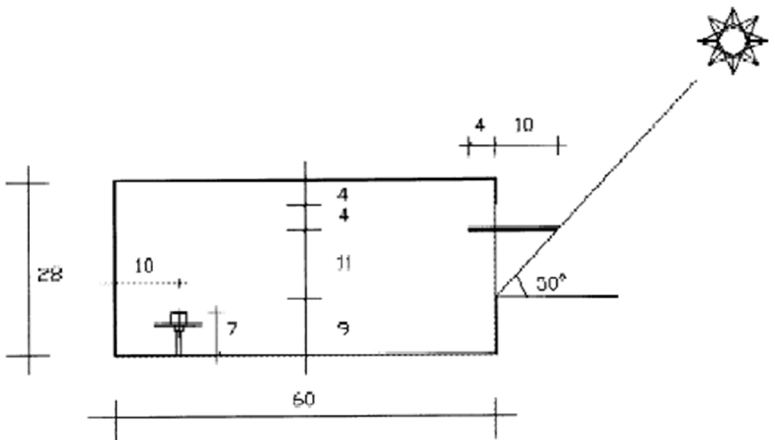
شکل ۲-۲. مقطعی از نورگیری جانبی با رف نور (داخلی و خارجی) و اندازه پارامترهای اصلی [۵].

$$d_{int\ lightshelf} = h_{clerestory} \qquad (۲-۲)$$

[1] Littlefair

$$d_{ext\ lightshelf} \leq h_{clerestory} - h_{work-plane} \quad (۳-۲)$$

کارلوس[1] و سولر[2] در سال ۲۰۰۱ در مادرید (عرض جغرافیای N ۴۰°) عملکرد دو نوع رف نور که دارای هر دو قسمت داخلی و خارجی بودند را با سایه‌بان‌های سنتی مقایسه کردند. چهار ماکت در مقیاس ۱:۱۰ با پنجره رو به جنوب و ابعاد ۲۸*۶۰*۶۰ سانتی‌متر ساخته شدند (شکل ۲-۳). اولین ماکت دارای رف نور به رنگ مات سفید، دومین ماکت دارای رف نور از جنس آینه، سومین ماکت دارای سایه‌بان بود و آخرین ماکت به‌عنوان مدل مرجع بود. اندازه‌گیری‌ها در یک دوره زمانی یک‌ساله در مادرید اسپانیا انجام شد. رف نور به‌گونه‌ای طراحی‌شده بود که با زاویه افقی تقریبی ۵۰ درجه خورشید مقابله کند که برای جبهه جنوبی طی دوره گرم سال در مادرید مناسب است. یافته‌های تحقیق نشان داد که رف‌های نور بهتر از سایه‌بان سنتی در رابطه با نور روز در داخل فضا رفتار می‌کنند و باعث افزایش میزان نور روز در عقب فضا می‌شوند. با ارزیابی یک‌ساله دقیق روشنایی در ماکت مجهز به رف نور آینه‌ای و رف نور به رنگ سفید مشخص شد که رف نور به رنگ سفید مات عملکرد بهتری دارد و تفاوت خاصیت بازتابی آن‌ها تعیین‌کننده است. رف‌های نور بارنگ سفید مات عملکرد بهتری نسبت به رف‌های آینه‌ای در ماه‌های مرکزی سال دارند، درحالی‌که رف‌های آینه‌ای عملکرد بهتری در ماه‌های آغازین و پایانی سال دارند [۲۹].



شکل ۲-۳. اندازه‌های ماکت و رف نور در مقیاس سانتی‌متر

[1] Carlos
[2] Soler

برارديی[1] و انارکی عملکرد رف‌های نور را با انجام شبیه‌سازی‌های سالانه نور مفید روزانه[2] (UDI) در ساختمان اداری را با در نظر گرفتن نسبت‌های مختلف پنجره به دیوار، شکل پنجره، جهت‌گیری نما و موانع خارجی بررسی کردند. فضا دارای جهت‌گیری رو به جنوب با ابعاد ۱۵*۱۰ متر و ارتفاع سقف ۳ متر در تورنتو کانادا (عرض جغرافیایی ۴۳.۶۵°N) است. انعکاس از دیوارها سقف‌ها و کف بر اساس ادبیات موضوع به ترتیب ۸۰،۶۰ و ۲۰ درصد در نظر گرفته‌شده‌اند. نسبت پنجره به دیوار برای انجام شبیه‌سازی‌های مختلف ۲۵٪، ۳۵٪، ۴۵٪ و ۵۵٪ در نظر گرفته‌شده است. طول و عمق مطلوب رف‌ها بر اساس پارمترهای ارتفاع سر پنجره، ارتفاع پایه، ارتفاع رف نور، ضخامت دیوار و موقعیت خورشید محاسبه شده است. شبیه‌سازی سالانه از ساعت ۹ صبح تا ۴ بعدازظهر برای ۴ نسبت پنجره به دیوار با رف‌های نور و بدون آن‌ها مقایسه می‌شود. نتایج کلی آن‌ها به شرح زیر است:

- رف‌های نور (UDI) را عمدتاً در فاصله ۶ متر از پنجره افزایش می‌دهند و توزیع یکنواخت‌تر نور را فراهم می‌کنند؛
- افزایش نسبت پنجره به دیوار[3] (WWR) سطح (UDI) را در جلوی پنجره کاهش می‌دهد درحالی‌که نور روز را در عقب اتاق افزایش می‌دهد؛
- صرف‌نظر از هندسه پنجره رف‌های نور، نور را در ناحیه جلویی پنجره و به‌طور خاص برای نمای جنوبی افزایش می‌دهند؛
- پنجره‌های با ارتفاع از سقف تا کف عمق نفوذ نور را با (UDI) بالای ۵۰٪ در همه موارد افزایش می‌دهند. همچنین پنجره‌های باریک با ارتفاع زیاد نسبت به پنجره‌های با عرض زیاد ولی کم ارتفاع نور بهتری را فراهم می‌کنند؛

[1] Berardi
[2] Useful Daylight Illuminance
[3] window-to-wall ratios

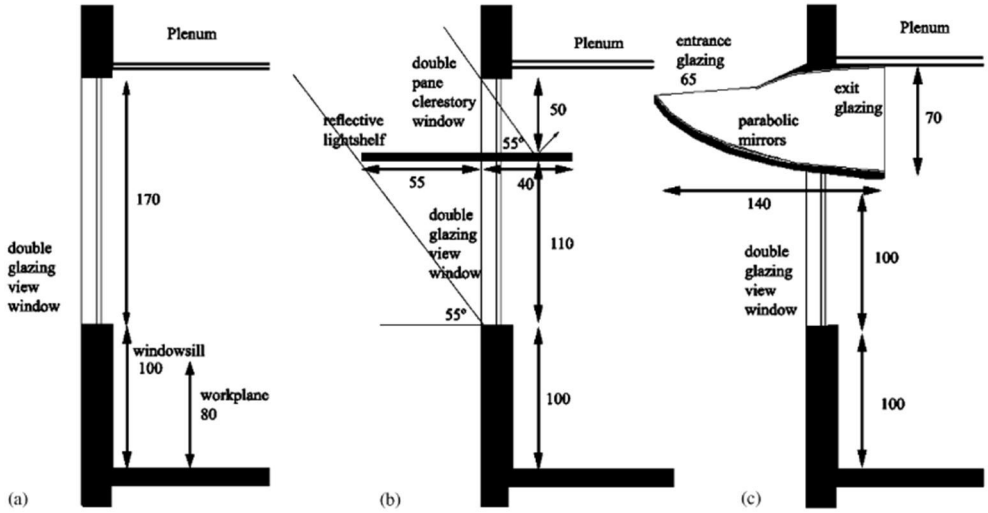
- نسبت پنجره به دیوار بیشتر از ۳۵٪ باعث افزایش مقدار نور روز و مشکلات خیرگی می‌شود که مقادیر بیشتر از این به لحاظ نور روز مفید نیست.

حداکثر مقدار (UDI) برای مواردی که دارای رف نور نیستند در فاصله ۳، ۴، ۵.۵ و ۶ متر از پنجره، هنگامی‌که نسبت پنجره به دیوار به ترتیب ۲۵٪، ۳۵٪، ۴۵٪ و ۵۵٪ است اتفاق می‌افتد، درحالی‌که با حضور رف نور فاصله‌های ذکرشده به ۲.۵، ۳.۵، ۴ و ۵.۵ متر از پنجره کاهش می‌یابند. طرح نهایی رف‌های نور با ارتفاع ۲.۲۵ متر از کف با بازتاب ۸۰ درصد تنظیم‌شده بود [۳۰].

برادری و انارکی با توجه به نتایج مطالعه قبل اثر جهات متفاوت و همچنین موانع بیرونی را بر عملکرد رف‌های نور بررسی کردند. به‌منظور بررسی اثر جهت‌گیری بر رف‌های نور، دو جبهه جنوبی و غربی با نسبت پنجره به دیوار ۳۵٪ با رف نور و بدون رف نور موردبررسی قرار گرفتند. آنالیزهای آنان نشان می‌دهد رف‌های نور در جبهه جنوبی کاراتر هستند، چراکه منطقه روزانه دارای نور روز مناسب بعد از نصب رف‌ها در جبهه جنوبی بدون تغییر می‌ماند. همچنین رف‌های نور در افزایش کیفیت نور روز حتی باوجود موانع خارجی مفیدتر هستند [۳۱].

آچوا[1] و کاپلوتو[2] در سال ۲۰۰۶، یک تحلیل روزانه از یک اتاق جلسه عمومی مجهز به رف نور با استفاده از شبیه‌سازی رادیانس انجام دادند. شبیه‌سازی‌ها در روزهای ۲۱ ژوئن، ۲۱ دسامبر و ۲۱ مارس و سپتامبر در ساعت‌های ۱۰، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ برای ۴ جهت و در آسمان صاف و آسمان متوسط CIE[3] انجام شد. به‌منظور ارزیابی کمی و کیفی سیستم‌های نور روز سه سیستم موردبررسی قرار گرفتند: یک پنجره بدون هیچ‌گونه سیستم سایه زنی، رف نوری افقی و یک متمرکز کننده آندولیک، این‌ها به‌منظور انعکاس نور به عمق برای فراهم کردن سایه و آسایش بصری انتخاب‌شده‌اند که می‌توانند خیرگی و مصرف انرژی را کاهش دهند. ابعاد سیستم‌های شبیه‌سازی‌شده در (شکل ۲-۴) ارائه‌شده است.

[1] Ochoa
[2] Capeluto
[3] International Commission on Illumination



شکل ۲-۴. مقطع سیستم‌های روزانه (مقیاس سانتی‌متر):(a) مورد مرجع (بدون سیستم سایه زنی)، (b): رف نور، (c): متمرکز کننده آندولیک [۳۲].

نتایج نشان می‌دهند سیستم جمع کننده آندولیک به لحاظ کمی بیشترین سطح روشنایی را فراهم می‌کند، بااین‌حال به لحاظ کیفی با توجه به زاویه خورشید انعکاس‌های جمع کننده‌ها باعث بروز مشکلات خیرگی می‌شوند. از این نقطه‌نظر رف‌های نور با کاهش کنتراست بین مناطق نزدیک پنجره و عقب اتاق آسایش کسانی که در عقب اتاق هستند را فراهم می‌کنند. رف نور باعث افزایش ۲-۱.۵ برابری روشنایی بالاتر از ۳۰۰ لوکس در مقایسه با مورد مرجع می‌شود [۳۲].

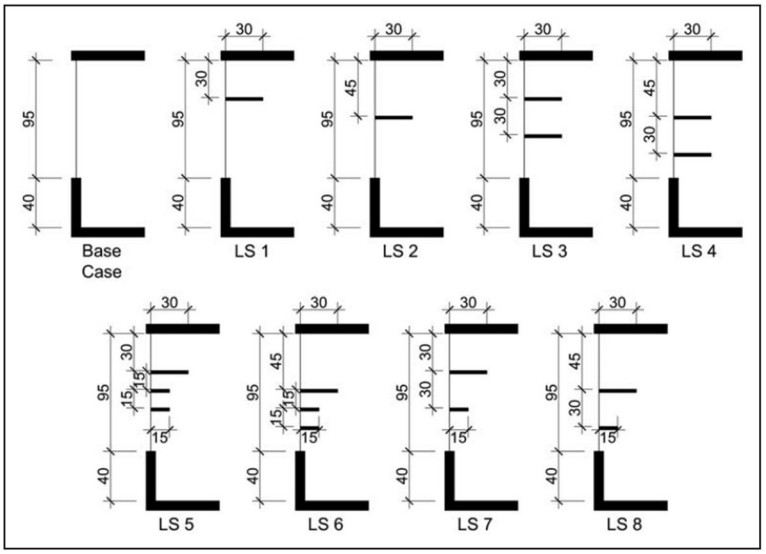
در پژوهشی توسط هو و همکاران[1] عملکرد رف‌های مختلف را با استفاده از ماکت در رالی، کارولینای شمالی آمریکا (عرض جغرافیایی ۳۵.۷°N) ارزیابی کردند. داده‌های جمع‌آوری‌شده از اندازه‌گیری‌های ماکت برای تأیید کردن شبیه‌سازی‌های سالیانه با استفاده از دیسیم استفاده شدند. پارامترهای موردبررسی عمق رف نور، ارتفاع سقف و پارتیشن‌های معمول مورد استفاده در ساختمان‌های اداری آمریکای شمالی بود. طول داخلی رف‌ها از ۰۶ تا ۳.۶ متر با تغییر اندازه هر ۰.۶ متر است، درحالی‌که ارتفاع یکسان نگه‌داشته می‌شود. به همین ترتیب ارتفاع سقف نیز از ۲.۷۵ تا ۳.۶۵ با اندازه ۰.۳ متر تغییر پیدا می‌کند و اندازه رف داخلی ۰.۶ متر ثابت است. نتایج نشان داد که

[1] Hu et al

رف‌های نور عموماً منطقه روزانه را در نواحی دور از پنجره افزایش می‌دهند و عملکرد آن‌ها به سطوح شیشه‌ای و ارتفاع سقف وابسته است. اضافه کردن پارتیشن‌هایی موازی یا عمود بر جبهه جنوبی باعث کاهش چشمگیر روشنایی می‌شود. در میان ۶ مورد بررسی شده، رف نور با عمق ۱.۲ متر در مقایسه با سایر گزینه‌های پیشنهادی عملکرد بهتری داشت، اما عمق داخلی ۱.۸۵ به نظر می‌رسد که راه‌حل بهینه‌ای است، به‌گونه‌ای که با جلوگیری از تابش مستقیم باعث ایجاد سایه بیشتری می‌شود [۳۳].

لیم[1] و احمد در سال ۲۰۱۵ عملکرد نور روز در آسمان‌های مختلف را در جوهور مالزی[2] (عرض جغرافیایی: $1.33^{\circ}N$) با چندین پیکربندی مختلف رف نور داخلی با استفاده از اندازه‌گیری در دو ماکت با مقیاس ۱:۲۰ که در کنار یکدیگر قرار داشتند بررسی کردند، ماکت‌ها ارائه‌کننده فضایی با ابعاد ۸.۴ متر طول و ۸.۴ متر عرض و ۲.۷ متر ارتفاع و نسبت پنجره به دیوار ۷۰.۴٪ و ضریب انتقال شیشه ۲۵٪، ۵۰٪ و ۷۵٪ هستند. رف‌های نور از آلومینیوم ساخته شدند و دارای شاخص انعکاس ۵۱.۲۹٪ و عمق ۰.۳ و ۰.۶ متر و ارتفاع متغیر بالای رف ۰.۳ و ۰.۴۵ متر هستند (شکل ۲-۵). رف‌های نور داخلی قادر به افزایش یکنواختی از ۳۰ تا ۹۰ درصد در زیر آسمان متوسط بدون تابش مستقیم آفتاب در مقایسه با مورد پایه (بدون رف نور) بودند. آن‌ها نتیجه گرفتند رف‌های نور در شرایط زمانی متفاوت عملکرد متفاوتی دارند، بیشترین اثر زمانی مشخص شد که نفوذ نور خورشید در زوایای پایین هم به‌وسیله رف نور با موفقیت می‌تواند به انتهای فضا انعکاس یابد، رف نور حتی می‌تواند عملکرد نور روز را در آسمان ابری هم بهبود ببخشد. ازاین‌رو درک شرایط مختلف آسمان و الگوهای متفاوت نفوذ خورشید در طراحی رف‌های نور برای افزایش عملکرد روزانه بسیار مهم هستند [۳۴].

[1] Lim
[2] Johor, Malaysia



شکل ۲-۵. رف‌های نور با مقیاس ۱:۲۰ [۳۴]

کورتای[1] و اسن[2]، در سال ۲۰۱۷ تأثیر مکان یا همان عرض جغرافیایی را بر روی موقعیت قرارگیری رف نور و اندازه آن در یک فضای اداری برای ارتفاع‌های مختلف موردبررسی قراردادند. آن‌ها برای تعیین اندازه رف نور و موقعیت قرارگیری آن‌ها، جفت منحنی‌هایی برای ارتفاع‌های تصادفی و عرض‌های جغرافیایی تصادفی ایجاد کردند. برای این منظور یک اتاق متداول اداری با ۸ متر عرض و ۱۴ متر طول در نرم‌افزار اکوتک مدل شد و محاسبات نور روز به وسیله نرم‌افزار رادیانس انجام شد. متغیرهایی مانند اندازه و موقعیت قرارگیری رف‌های نور برای بهینه‌ترین حالت اندازه و محل قرارگیری رف نور برای ۶ عرض جغرافیایی (۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵) درجه در ۳ ارتفاع مختلف در آسمان ابری با نرم‌افزار رادیانس مورد آزمایش قرار گرفت. جفت منحنی‌ها با پیوستن نقاط ابتدایی و انتهایی رف‌های نور با خطوط منحنی[3] به‌طور جداگانه بر اساس عرض جغرافیایی به دست می‌آیند و همبستگی بین عرض جغرافیایی و عرض رف نور و موقعیت قرارگیری تعیین می‌شود. جفت منحنی‌های جدید به نام "CUN-OKAY light shelf curves" نام‌گذاری می‌شوند، استفاده از منحنی

[1] Kurtay
[2] Esen
[3] splines

رف نور دارای ۹۷.۶۹٪ دقت برای تعیین مکان مناسب و اندازه مناسب برای عرض‌های جغرافیایی تصادفی و ارتفاع‌های تصادفی دفاتر است [۳۵].

در مطالعه‌ای توسط وریر[1] و رافائل[2] در سال ۲۰۱۷ در شهر چاندیگار[3] هندوستان (عرض جغرافیای 40° N) انجام شد که به‌طور عینی پتانسیل رف‌های نور را برای بهبود نور روز و آسایش بصری مورد ارزیابی قرار می‌دهند و فرضیه‌های معمول در رابطه با رف‌های نور را از طریق شبیه‌سازی با نرم‌افزار رادیانس بررسی می‌کنند. این مطالعه دارای ۲ بخش آزمایش و شبیه‌سازی است. آن‌ها با تحلیل داده‌های اندازه‌گیری نتیجه گرفتند، یک رف نور افقی میزان روشنایی را در داخل به‌طور متوسط ۲۱٪ افزایش می‌دهد و با چرخش زاویه خارجی رف به یک زاویه بهینه می‌توان روشنایی را تا حدود ۳۰۰٪ افزایش داد. در شبیه‌سازی بعضی از شاخص‌های جدید مانند تقویت نور مفید روز[4] (UDLE) به‌طور خاص برای ارزیابی عملکرد روزانه رف‌های نور توسعه یافتند. دریافته شد که بیشتر پیش‌فرض‌های معمول درباره عملکرد رف‌های نور با نتایج شبیه‌سازی سازگار نیست. به‌طورمعمول تصور می‌شود که رف نور باعث ایجاد سایه بیشتری در نزدیکی پنجره می‌شود درنتیجه در از بین بردن خیرگی مؤثر است. بااین‌حال در ۳۰٪ از موارد شبیه‌سازی رف‌های نور باعث افزایش روشنایی در نزدیکی پنجره می‌شوند که نتیجه آن بروز مشکلات خیرگی است. همچنین رف نور باعث کاهش یکنواختی می‌شود که این مشکل با استفاده از یک رف نور قابل چرخش حل می‌شود [۳۶].

۲-۳-۲ رف‌های زاویه‌دار

زاویه شیب مطلوب به سمت بالا برای یک رف نور بارنگ سفید برای جبهه جنوبی با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

[1] Warrier
[2] Raphael
[3] Chennai
[4] useful daylight enhancement

$$\text{Slope Angle} = 40° - (\frac{Latitude}{2}) \quad (۴-۲)$$

و زاویه ۱۵° برای جهت‌های شرقی و غربی [۵].

مؤذنی و قیابکلو تعدادی از پارامترهای هندسی مؤثر در عملکرد رف‌های نور را در جهات مختلف برای استفاده در شبیه‌سازی مورد آزمایش قراردادند. عمق رف نور خارجی از ۰.۳ تا ۱.۲ متر متغیر است و رف نور داخلی از ۰ تا ۱ متر متغیر است، درحالی‌که زاویه آن‌ها ۰، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه بود. یک فضای آموزشی در شهر تهران با ابعاد ۷*۸ متر با ۳.۵ متر ارتفاع سقف و نسبت پنجره به دیوار ۵۰٪ برای همه جهات شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد در جبهه جنوبی رف‌های نور بیشترین کارایی را دارند؛ آن‌ها میزان نور مفید را ۲ تا ۴۰ درصد در مقایسه با مورد بدون سایه زنی افزایش می‌دهند همچنین برای جهت‌گیری روبه جنوب، افزایش ابعاد رف نور باعث افزایش سطح نور روز مناسب در محدوده کاری می‌شود. درحالی‌که خیرگی در مقایسه با نمونه‌ای که رف نور بر روی آن نصب نشده کاهش می‌یابد. برای جهت‌گیری شمالی به دلیل فقدان نور مستقیم خورشید افزایش ابعاد رف نور موجب کاهش نور مناسب می‌شود. تغییرات در مورد زاویه چرخش برای رف نور خارجی محدود است، در جبهه جنوبی رف نور خارجی با زاویه ۳۰ درجه سبب افزایش تابش می‌شود که می‌تواند راحتی بصری را مختل کند [۳۷].

در پژوهشی توسط کاترینا مرسی[1] در سال ۲۰۱۶، یک کلاس درس متداول در آتن یونان (عرض جغرافیایی ۳۷.۹۸° N) به‌منظور بهبود توزیع نور در فضا و فراهم کردن سایه‌اندازی مناسب با شبیه‌سازی کامپیوتری بررسی شد. سیستم مطالعه شده توسط او یک رف نوری (برای عملکرد سایه زنی و انتقال نور) و لوورهای نیمه شفاف خارجی (برای سایه بیشتر بنا به نیاز کاربران) است که بر روی پنجره جبهه جنوبی یک کلاس درس نصب‌شده است. مدل استفاده‌شده برای شبیه‌سازی با مقایسه مقادیر فاکتور نور روز برآورد شده از شبیه‌سازی با اندازه‌گیری در یک کلاس درس واقعی

[1] Katerina Meresi

اعتبار سنجی شد. مطالعات وی شامل مطالعه عملکرد رف‌های نور در شرایط نور پراکنده، نور مستقیم خورشید و با موانع خارجی (ساختمان‌ها) در ۶ مرحله بود. نتایج ویژگی‌های بهینه سیستم را که می‌تواند عملکرد نور روز را در فضای موردمطالعه ارتقا دهد و موجب بهبود نور در کلاس و کاهش خیرگی شود را تعریف می‌کند. یک رف نور خارجی در ارتفاع ۲ متر از کف و با عرض ۰.۲± ۰.۸ و شیب بین ۲۰_۱۰ درجه (قسمت بیرونی بالاتر) و شاخص انعکاس تا ۹۰ درصد در ترکیب با لوورهای نیمه شفاف خارجی پیشنهاد شد [۴].

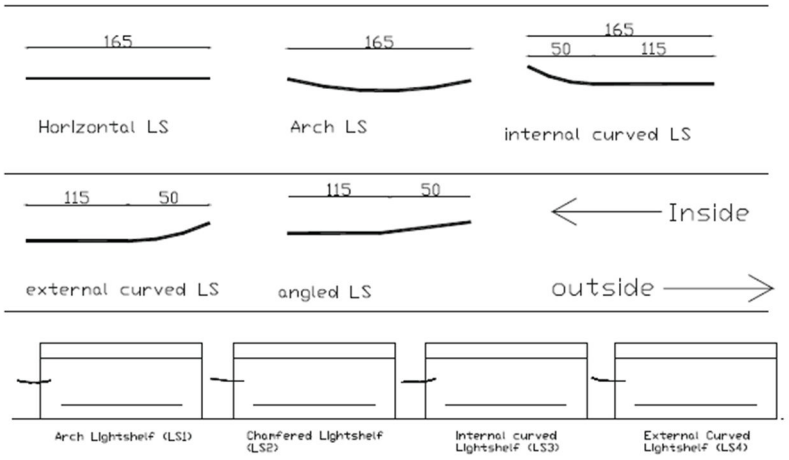
۲-۴ رف‌های منحنی

فری وان و همکاران[1] تعامل میان هندسه‌های مختلف سقف با رف نور را با استفاده از ماکت و شبیه‌سازی رادیانس در یک پلان عمیق بررسی کردند. ماکت با مقیاس ۱:۱۰ نشان‌دهنده یک اتاق با جهت‌گیری جنوبی در ایربید اردن[2] (عرض جغرافیایی: N °۳۲.۵۵) با ابعاد ۶*۸ متر و ارتفاع سقف ۳.۲۵ متر و نسبت پنجره به دیوار برابر ۴۰٪ است. اشکال گوناگون سقف مانند منحنی، خم‌شده به بالا، شیب‌دار به سمت بالای پنجره و پایین پنجره بررسی شدند. زمانی که سقف منحنی یا خم شده به بالا مورداستفاده قرار می‌گیرد، سطح روشنایی در قسمت عقب فضا به میزان ۳۶٪-۲۱٪ افزایش می‌یابد و در جلوی فضا نیز به میزان ۵۵٪-۲۰٪ کاهش می‌یابد، هنگام تغییر در نوع بازتابنده سقف به نوع متمرکز افزایش بیشتری از سطح روشنایی در عقب اتاق مشاهده می‌شود و سطح روشنایی در عقب اتاق به میزان ۵۲٪ و ۳۰٪ به ترتیب برای سقف‌های منحنی و خم شده به بالا نسبت به سقف تخت افزایش می‌یابد. علاوه بر این سطح روشنایی در جلوی اتاق به ترتیب به میزان ۲۷٪ و ۳۰٪ برای سقف‌های منحنی و شیب‌دار نسبت به سقف تخت کاهش می‌یابد. مشخص شد که عملکرد رف نور با تغییر هندسه سقف بهبود می‌یابد و سطح روشنایی در مقایسه با اتاقی که دارای سقف مرسوم تخت

[1] Freewan et al
[2] Irbid, jordan

است در عقب اتاق افزایش و در جلوی پنجره کاهش می‌یابد. درنتیجه باعث کاهش تفاوت سطح روشنایی جلو و عقب اتاق می‌شود که این منجر به افزایش یکنواختی می‌گردد. بهترین شکل سقف نوع منحنی است که باعث بهبود عملکرد رف نور در طول سال شد [۳۸].

فری وان در ادامه کار قبلی خود تعامل بین هندسه‌های مختلف رف نوری در ترکیب با سقف منحنی را برای به حداکثر رساندن نور روز با استفاده از رادیانس موردبررسی قرارداد. دو پارامتر شدت روشنایی[1] و یکنواختی توزیع نور روز[2] در یک فضای بزرگ در اردن بررسی شدند. ۴ نوع رف نور منحنی و شیب‌دار به‌منظور درک تأثیر هندسه در عملکرد رف‌های نوری مقایسه شدند (شکل ۲-۶). با توجه به نتایج مطالعه قبل سقف منحنی بهترین عملکرد را در مقایسه با رف نور دارد ولی از سقف تخت هم به‌عنوان نمونه پایه برای آزمایش‌ها استفاده شده است. رف‌های منحنی و شیب‌دار هر دو سطح روشنایی را در عقب اتاق افزایش دادند و از میزان روشنایی در جلوی اتاق کاستند؛ درنتیجه باعث افزایش یکنواختی در مقایسه با مورد افقی می‌شوند. این رف‌ها هنگامی‌که با سقف منحنی ترکیب شدند عملکرد بهتری در مقایسه با سقف تخت داشتند [۱۲].



شکل ۲-۶. هندسه‌های رف‌های نور آزمایش شده [۱۲]

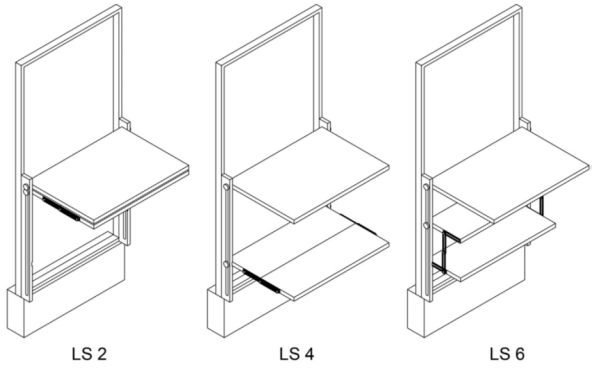
[1] Iluminance level
[2] Distribution uniformity

۲-۴-۱ رف‌های نور پویا

فرانکو[1] در سال ۲۰۰۷ تفاوت بین رف‌های نور ایستا و پویا را با استفاده از شبیه‌سازی و اندازه‌گیری ماکت در سائوپائولو برزیل[2] (عرض جغرافیایی:S °۲۳-) موردبررسی قرارداد. ماکت با جهت‌گیری رو به شمال و دارای ابعاد ۱*۰.۶ متر و ارتفاع ۰.۶ متر و نسبت پنجره به دیوار برابر ۱۰۰ درصد است. دو محفظه آزمایش به‌طور موازی استفاده شدند یکی از آن‌ها دارای رف نور ایستا و دیگری دارای رف نور پویا که از آلومینیوم جلا داده‌شده به عنوان بازتابنده در سطح بالایی رف استفاده شده است. رف‌های نور استاتیک یکنواختی را بهبود می‌دهند ولی سطح روشنایی را در آسمان ابری کاهش می‌دهند. از سوی دیگر رف‌های دینامیک باید شیب بهینه خود را بر اساس موقعیت خوشید تنظیم کنند، مثلاً هنگامی‌که در یک روز ابری تابش ناگهانی نور خورشید از میان ابرها وجود دارد سیستم می‌تواند تغییر پیدا کند تا جلوی تابش خورشید را بگیرد. بهترین تنظیم برای یک سیستم پویا در ارتباط با تعیین مکان رف‌های نور، برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و آسایش بصری عمل به‌عنوان یک حائل[3] است که باعث اجتناب از تغییرات شدید و ناگهانی رف نور به دلیل آشفتگی نور طبیعی می‌شود [۳۹].

لیم و هنگ مطالعات [۳۴] را گسترش دادند. این مطالعه باهدف به دست آوردن کیفیت نور مناسب با استفاده از رف‌های نور داخلی که قابلیت انطباق با شرایط مختلف را دارند انجام شد. پیکر بندی‌های مختلفی از رف نور با وسیله شبیه‌سازی رادیانس و ماکت آزمایش شدند تا کیفیت نور را برای جهات متفاوت و شرایط متفاوت آسمان بهبود ببخشند.

[1] Franco
[2] Sao Paulo, Brazil
[3] buffer



شکل ۲-۷. سه مرحله کنترل رف نور[۴۰]

نتایج نشان داد رف‌های نور با ارتفاع ۰.۹ متر ارتفاع بالای پنجره، روشنایی داخلی بیشتری از رف‌های نور با ارتفاع ۰.۶ متری دارند که بیانگر این است که ارتفاع نصب نقش اساسی در عملکرد رف‌های نور دارد. در آسمان صاف، عملکرد رف نور بستگی به موقعیت خورشید دارد و پیشنهاد یک کنترل پویا برای رف نور به همراه ارتفاع قابل‌تغییر که به تنظیمات مطلوب پاسخ می‌دهد نیاز است. به این منظور نویسندگان سه مرحله کنترل رف‌ها را با استفاده از سنسوری که نور بیرون را اندازه‌گیری می‌کند متصور شدند (شکل ۲-۷). اگر نور بیرونی کمتر از ۲۰ کیلو لوکس باشد به‌عنوان آسمان تمام ابری در نظر گرفته می‌شود، دراین‌صورت اولین پیکربندی (LS2) استفاده می‌شود. درحالی‌که طی روزهای معمولی پیکربندی‌های (LS4, LS6) می‌تواند بر اساس جهت، ماه و سال تنظیم شوند [۴۰].

۲-۴-۲ عملکرد رف‌های نور در کاهش مصرف انرژی

لی و همکاران[1] به‌منظور به حداقل رساندن تأثیر فشار باد بر روی رف‌های نور هنگامی‌که در ارتفاع‌های زیاد نصب‌شده‌اند، یک آزمایش در مقیاس واقعی به‌منظور ارزیابی عملکرد آن‌ها ازلحاظ صرفه‌جویی در مصرف انرژی انجام دادند. به‌طورکلی سیستم‌ها از دو روش باز و بسته شدن سیستم با استفاده از سنسور فشار باد و استفاده از سطوح مجوف قادر به تحمل فشار باد هستند. در روش اول هنگامی‌که فشار باد از حدی بالاتر رود سیستم به‌طور خودکار بسته می‌شود، بااین‌حال اگر سیستم در طبقات

[1] Lee et al.

بالایی قرار داشته باشد به‌طورکلی تحت‌فشار باد قرار می‌گیرد و غالبا بسته است؛ بنابراین روش دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش موجب کاهش تأثیرات فشار باد می‌شود، بنابراین در مقایسه با روش اول بیشتر مورداستفاده قرار می‌گیرد. ولی این سوراخ‌ها عملکرد سیستم را کاهش می‌دهند و ورود نور را به داخل فضا کاهش می‌دهند. با اضافه شدن سوراخ‌ها بیشتر از حد مجاز عملکرد سیستم تخریب می‌شود بنابراین مطالعاتی برای حل این مشکل باید ارائه شود. نتایج نشان می‌دهند رف‌های مجوف مصرف انرژی را نسبت به رف‌های نور غیر مجوف افزایش می‌دهند اما باعث کاهش مصرف انرژی نسبت به نمونه بدون رف‌نور می‌شوند. میزان صرفه‌جویی در انرژی رف نور مجوف را می‌توان با افزایش عرض آن با در نظر گرفتن فشار باد و سایر ویژگی‌های سایت بهبود ببخشید [۴۱].

ساناتی[1] و اوتزینگر[2] در سال ۲۰۱۳، اثر سایه‌ای سیستم داخلی که ترکیبی از رف‌های نور در نیمه بالایی و پرده‌ها در نیمه پایین پنجره است را با بررسی رفتار کاربران در استفاده از پرده‌ها و استفاده از سایه زن‌ها و انرژی روشنایی بررسی کردند. یک استودیو باز در دانشکده معماری و شهرسازی ویسکانسین میلواکی[3] (عرض جغرافیایی: N °۴۳) انتخاب شد. استودیو واقع در طبقه چهارم و ابعاد ۱۲.۲*۲۴.۴ متر و با پنجره‌های رو به شمال و غرب است. در این مطالعه فضا به دو بخش تقسیم‌شده، فضایی با رف‌های نور و فضایی بدون رف نور. در ناحیه دارای رف نور بر روی پنجره‌ها پرده‌هایی وجود داشتند که تا میانه پنجره نصب‌شده بودند و در نیمه بالایی پنجره رف‌های نوری نصب‌شده بود. در قسمت پنجره‌های بدون رف نور پرده‌ها به‌طور کامل پنجره را پوشش می‌دادند و دارای هیچ‌گونه سیستم سایه زنی دیگری نبودند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد هنگامی‌که کاربران فضا کنترل کامل پنجره‌های مجاور خود را دارند سایه را بیشتر می‌کنند (سیستم سایه زنی را برافراشته می‌کنند)، ولی وقتی‌که پنجره تقسیم شده است آن‌ها فقط قسمت پایین منطقه دید پنجره‌ها را می‌کشند و نور می‌تواند از قسمت بالایی پنجره داخل شود که به بهبود نور در فضا و صرفه‌جویی در

[1] Sanati
[2] Utzinger
[3] Wisconsin-Milwaukee

مصرف انرژی الکتریکی کمک می‌کند. مقایسه دو منطقه با یکدیگر به لحاظ مصرف انرژی از ساعت ۹ صبح تا ۵ بعدازظهر نشان داد که در بخش دارای رف نور مصرف انرژی نصف قسمتی است که دارای پنجره‌های عادی است [۴۲].

در پژوهشی در سال ۲۰۱۸ لی و همکاران باهدف ایجاد نوع جدیدی از سیستم سایه زنی، یک سایبان متداول در ترکیب با رف نوری که به‌صورت ترکیبی عمل می‌کنند را مطالعه کردند. اثربخشی سیستم نیز بر اساس تست در محیط آزمایشگاهی انجام شد. سیستم سایه زنی که در این تحقیق ارائه‌شده یک رف نوری است که در زیر یک سایبان وجود دارد و نور طبیعی می‌تواند از حفره‌ای که بر روی آن ایجادشده به رف نور برسد. ابعاد بهینه سیستم سایه‌بان به همراه رف نور در زیر آن به‌منظور صرفه‌جویی و بهبود روشنایی محیط داخلی با طول سایه‌بان ۲ متر، طول حفره ۰.۶ متر و زاویه رف نور هم ۳۰ درجه پیشنهاد شد. به‌منظور ارزیابی عملکرد سیستم ترکیبی ۴ نوع سیستم سایه زنی به‌منظور مقایسه با یکدیگر تعریف شدند: بدون سایه‌بان و رف نور (مورد ۱)، فقط سایه‌بان (مورد ۲)، فقط رف نور (مورد ۳)، ترکیب سایه‌بان و رف نور (مورد ۴). نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهند، سیستم سایه‌بان به همراه رف نور (مورد ۴) با اندازه‌های بهینه ذکرشده یکنواختی را از ۳۱.۱٪ و ۱۷.۶٪ به ترتیب در مقایسه با (مورد ۱) و (مورد ۳) افزایش می‌دهد. همچنین (مورد ۴) یکنواختی کمتری در مقایسه با (مورد ۲) دارد، اما این به دلیل کاهش عملکرد سایه زنی مورد ۴ به دلیل بازشو برای عملکرد روشنایی است. بااین‌حال مورد ۴ نشان‌دهنده یک سیستم مناسب ازنظر حفظ روشنایی در محیط است. علاوه بر این، مصرف انرژی روشنایی در (مورد ۴) مانند (مورد ۳) بود که نشان‌دهنده عملکرد مناسب رف نور و سیستم سایه‌بان در ترکیب با یکدیگر است. صرفه‌جویی در انرژی سرمایشی (مورد ۴) از (مورد ۲) کمتر بود اما این مقدار از (موارد ۱ و ۳) بیشتر بود. علاوه بر این‌ها میزان انرژی الکتریکی مورداستفاده روشنایی و تهویه مطبوع در (مورد ۴) می‌تواند به میزان ۳۱.۲٪، ۷.۵٪ و ۲۳.۱٪ در مقایسه با (موارد ۱، ۲ و ۳) به ترتیب کاهش یابد که این نشان‌دهنده عملکرد مناسب سیستم است[۲].

۲-۵ جمع‌بندی

نور روز مسئله‌ای مهم در طراحی فضای آموزشی است، زیرا روی سلامتی و یادگیری دانش آموزان تأثیر زیادی خواهد داشت، بسیاری از مطالعات لزوم استفاده از نور روز را در فضاهای آموزشی تأیید کرده‌اند. مطالعات انجام‌شده در باب رف‌های نور هنوز در مراحل اولیه قرار دارد و بررسی حالت‌های متفاوت رف‌های نور و ترکیب آن‌ها با سایر سیستم‌های سایه زنی لازم است موردبررسی قرار بگیرد. تعدادی از مطالعات انجام‌شده بر روی عملکرد رف‌های نور از شبیه‌سازی‌های کامپیوتری [۲۶, ۲۸, ۳۰, ۳۱]، ماکت [۲۹, ۳۳] و مطالعات تجربی [۴۲, ۴۳] استفاده می‌کنند. مطالعات اولیه میدانی رف‌های نور نشان داد که رف‌های نور می‌توانند نور محیطی را به‌خوبی تأمین کنند و باعث کاهش بالقوه انرژی روشنایی شوند. مطالعات بعدی با شبیه‌سازی کامپیوتری نشان دادند که رف‌های نور باعث بهبود یکنواختی نور در فضا می‌شود، اما عملکرد آن تحت تأثیر هندسه سقف و رف نور [۱۲, ۳۸]، نوع بازتاب [۲۶]، ارتفاع سقف [۳۴] و شیب رف نور[۳۷] است. در مقایسه با بسیاری از سیستم‌های نوآورانه نور روز، رف‌های نور اثرات مطمئن و قابل‌توجهی را ارائه می‌دهند.

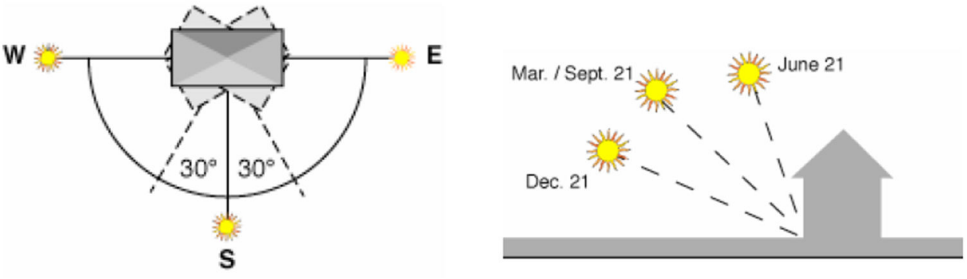
استفاده کاربران فضا از سیستم‌های سایه زنی یکی از تأثیرگذارترین عوامل در پذیرش نور روز است. مطالعات قبلی درباره نور روز و سیستم‌های سایه زنی بیشتر بر اساس شرایط محیطی مانند تابش منتقل‌شده برای پیش‌بینی محل استقرار دستگاه‌های سایه زنی است، درحالی‌که مطالعات بسیار کمی با توجه به عوامل مؤثر در عملکرد رف‌های نور و استفاده از سیستم‌های سایه زنی توسط کاربران فضا انجام‌شده است. مطالعه [۴۲] بیشتر بر روی رفتارهای کاربران در استفاده از سیستم‌های سایه زنی و نقش آن بر کاهش مصرف انرژی الکتریکی متمرکزشده است، لزوم درک نظرات کاربران فضا در رابطه با عملکرد آن سیستم‌ها با سیستم سایه زنی تکمیل‌کننده و همچنین با توجه به معیارهای متفاوت برای بررسی بیشتر در این پایان‌نامه موردبررسی قرار می‌گیرد.

فصل ۳ : ابزار و روش تحقیق

۳-۱ مقدمه

همان‌گونه که گفته شد هدف اصلی این پایان‌نامه بررسی یک سیستم مناسب نوری با استفاده از شبیه‌سازی و مطالعات میدانی و درنهایت ارائه ابعاد بهینه سیستم برای حداکثر بهره‌وری نور در یک آتلیه طراحی معماری در دانشگاه صنعتی شاهرود با جهت‌گیری رو به جنوب است. موضوعات تحقیق شامل: تحقیقات در مورد نور طبیعی در فضاهای آموزشی، شناسایی مشکلات موجود در مدارس در رابطه با نورپردازی، انتخاب ابزار مناسب، بررسی دیدگاه‌های افراد در رابطه با نور طبیعی و سیستم سایه زنی پیشنهادی و ارزیابی پارامترهای مرتبط با نور مانند مقدار نور، کیفیت نورپردازی و ... می‌باشد.

برای انجام این تحقیق چند محدودیت را باید در نظر داشت، اول اینکه تنها در شهر شاهرود و یکی از کلاس‌های رو به جنوب دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام‌شده، دوم اینکه تنها جهت‌گیری رو به جنوب بررسی‌شده است.



شکل ۳-۱. جبهه جنوبی بیشترین دریافت انرژی خورشیدی را دارد، بیشترین دریافت انرژی خورشید در طول زمستان، درصورتی‌که در تابستان به دلیل ارتفاع بالای خورشید به‌راحتی می‌توان مانع تابش مستقیم خورشید و گرمایش فضا شد. به این دلایل جبهه جنوبی در نظر گرفته می‌شود [۲۱].

فرایند تجربی در نظر گرفته‌شده بر مبنای مطالعه ادبیات موضوع و ترکیبی از ابزارهای تحقیقاتی برای دستیابی به نتایج و اطمینان از آن‌ها است. اعتبار سنجی پروسه آزمایش امری مهم است و بدین گونه است که هرکدام با موارد واقعی هماهنگ باشند، برای مثال یک آزمایش با یک ابزار اندازه‌گیری در

صورتی قابل‌اعتماد است که در شرایط مشابه واقعیت نتایج مشابهی ارائه دهند. همچنین استفاده از پرسشنامه برای درک اینکه افراد متفاوت نظرات مشابهی دارند معتبر است. به‌طورمعمول برنامه‌های شبیه‌سازی، مصنوعات تجربی مانند آسمان مصنوعی تونل باد و غیره قابل‌اعتماد هستند ولی اعتبار آن‌ها باید ثابت شوند. در عوض در اکثر زمان‌ها پرسشنامه‌ها و مصاحبه‌ها معتبر هستند و اعتبار نتایج را تضمین می‌کنند.

در روند پژوهش ابتدا جستجو در منابع کتابخانه‌ای و مطالعه درباره نور طبیعی در مدارس و سپس به‌طور خاص رف‌های نور انجام شد. سپس مطالعه اولیه‌ای در آتلیه‌های طراحی رو به جنوب در دانشگاه صنعتی شاهرود انجام می‌شود که در آن موانع و مشکلات در بهره‌برداری از نور طبیعی معرفی می‌شوند. بر اساس موارد گفته‌شده فرایند اصلی مطالعه‌ی تجربی شامل شبیه‌سازی نور طبیعی به‌وسیله نرم‌افزار رادیانس، ارزیابی عملکرد رف نور به‌وسیله ماکت و بررسی عملکرد آن در ترکیب با لوورهای متحرک داخلی به‌صورت میدانی و پرسشنامه است (جدول ۳-۱).

جدول ۳-۱. ابزار پژوهش

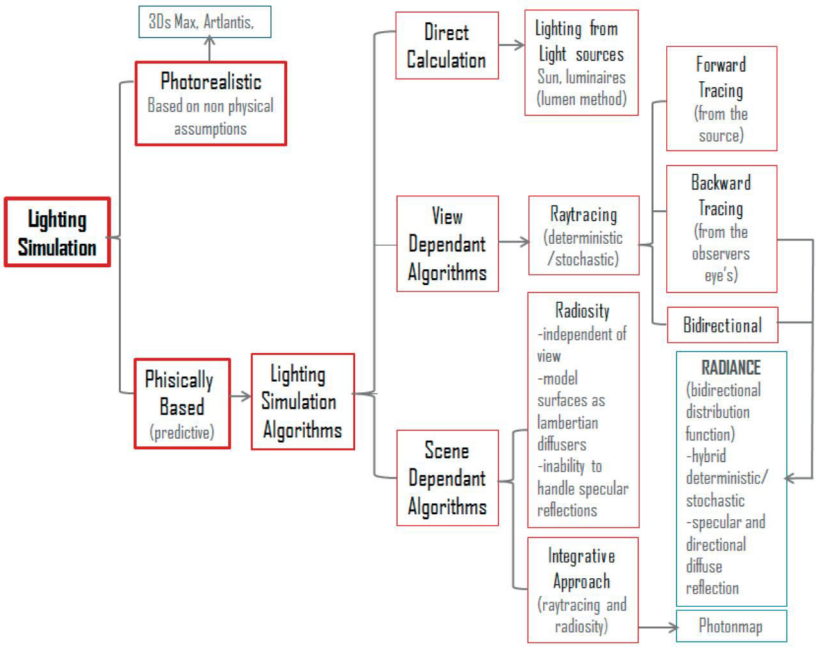
ابزار اندازه‌گیری	شبیه‌سازی	ماکت	تحقیق میدانی
هدف	مطالعه نور طبیعی تعریف ویژگی‌های بهینه سیستم.	بررسی اثربخشی رف‌های نور داخلی و خارجی.	بررسی معیارهای عینی و بررسی معیارهای ذهنی کاربران فضا

۳-۲ شبیه‌سازی کامپیوتری

استفاده از شبیه‌سازی‌های کامپیوتری یک جایگزین بسیار مناسب است، زیرا در زمان صرفه‌جویی می‌کنند و همچنین مشکلات احتمالی نصب نمونه واقعی را ندارند. شبیه‌سازی کامپیوتری برای ارزیابی عملکرد روشنایی برای اولین بار در دهه ۱۹۷۰ استفاده شد و در دهه ۱۹۹۰ با استفاده از رایانه‌های شخصی متداول شد. امروزه آن‌ها به‌طور گسترده در زمینه‌های مختلف ساختمان و مهندسی

برای کمک به فرایند طراحی و ارزیابی عملکرد ساختمان به کار می‌روند. مطالعات در سال ۲۰۰۶ نشان داد که ۷۹٪ از کاربرانی که در رابطه با نور روز تحقیق می‌کنند از شبیه‌سازی کامپیوتری استفاده می‌کنند. شبیه‌سازی نورپردازی را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد، خروجی‌هایی که به‌صورت عکس هستند و آن‌هایی که تجسم ریاضی مبتنی بر واقعیت هستند که پیش‌بینی دقیق واقعیت را ارائه می‌دهند. خروجی‌های عکس باعث وجود آمدن عکس‌های بسیار زیبا می‌شوند ولی نماینده محیطی واقعی نیستند [۴۴].

ابزارهای شبیه‌سازی از الگوریتم‌های کامپیوتری برای توزیع نور در داخل یا خارج ساختمان استفاده می‌کنند. آن دسته از الگوریتم‌ها که در پیش‌بینی نور روز مورداستفاده قرار می‌گیرند می‌توانند به سه دسته تقسیم شوند: محاسبه مستقیم، الگوریتم‌های وابسته به دید (روش پرتوافشانی) و الگوریتم‌های وابسته به صحنه (روش شعاعی). الگوریتم‌هایی که هر دو روش پرتوافشانی و روش شعاعی را ترکیب می‌کنند به‌عنوان روش‌های کارآمد محاسبه روشنایی در نظر گرفته می‌شوند [۵۸].



شکل ۳-۲. معمول‌ترین رویکردهای شبیه‌سازی روشنایی [۴۵].

دقیق‌ترین نرم‌افزار برای شبیه‌سازی نور روز در حال حاضر رادیانس است که ترکیبی از روش پرتوافشانی معکوس و دوطرفه را استفاده می‌کند. مزیت اصلی رادیانس نسبت به سایر نرم‌افزارهای شبیه‌سازی موجود این است که تقریباً هیچ محدودیتی در هندسه یا موادی که می‌تواند شبیه‌سازی کند وجود ندارد و همچنین این نرم‌افزار رایگان است. اشکال اصلی آن پیچیدگی مدیریت آن به دلیل نبودن رابط کاربری است. نرم‌افزارهای شبیه‌سازی دیگر از رادیانس به‌عنوان یک موتور شبیه‌سازی استفاده می‌کنند، مرور کلی از نرم‌افزارهایی که بر اساس رادیانس کار می‌کنند در پیوست ۱ آورده شده است [۴۴].

۳-۲-۱ نرم‌افزار رادیانس

نرم‌افزار رادیانس یک نرم‌افزار برای تجزیه‌وتحلیل و تجسم نور در طراحی است. دقیق‌ترین نرم‌افزار موجود برای نور طبیعی و نور مصنوعی است که توسط آزمایشگاه لارنس برکلی[1] ارائه‌شده است. این نرم‌افزار از الگوریتم ترکیبی از روش پرتوافشانی معکوس و دوطرفه استفاده می‌کند.

رادیانس به‌طور پیش‌فرض بر روی ایجاد تصاویر درخشندگی است که بر اساس نور منعکس‌شده از اشیا است؛ بنابراین در چنین تصاویری رنگ و بازتاب از هر سطح قابل‌مشاهده است. درخشندگی بیانگر میزان نور عبوری از یک سطح، یا گسیل یافته از آن، در یک زاویه فضایی مشخص است. یکای آن کاندلا بر مترمربع است (cd/m^2) است. رادیانس همچنین می‌تواند تصاویر روشنایی تولید کند، این نوع تصاویر بر اساس میزان نور سطوح و اشیاء تعریف می‌شوند ولی رنگ سطوح و انعکاس مصالح را نشان نمی‌دهند. شدت روشنایی با لوکس (Lux) نشان داده می‌شود که فاکتور مهمی برای طراحان و معماران است، چراکه تمام مقررات ساختمان و استانداردهای بین‌المللی، حداقل روشنایی موردنیاز را بر اساس لوکس تعریف می‌کنند [۴۶].

[1] Lawrence Berkeley Laboratories

دقت و اعتبار نرم‌افزار رادیانس در بسیاری از مطالعات به اثبات رسیده است [۴, ۴۰, ۴۷, ۴۸]. مارادویچ[1] در سال ۱۹۹۵ به منظور اعتبار سنجی این نرم‌افزار، نتایج حاصل از آن را با اندازه‌گیری واقعی با مدل در مقیاس کامل در آسمان واقعی سنجید. با کمک ابزار اسکنر آسمان، توزیع درخشندگی آسمان هر ۱۵ دقیقه یک‌بار ثبت می‌شود، در همان زمان که آسمان اسکن می‌شود سطح روشنایی هم در اتاق در ارتفاع ۰.۷ متری از سطح زمین اندازه گرفته می‌شود. نتایج برای شیشه‌های شفاف و دو رف نور آینه‌ای و کدر که در ارتفاع ۲.۰۸ متر از سطح زمین نصب‌شده‌اند انجام شد. نتایج برای هر دو نوع آسمان (آفتابی و ابری) و هر دو مدل رف نور و شیشه ساده دقت کافی را داشت [۴۸].

۳-۳ اندازه‌گیری ماکت

معماران همیشه از ماکت به‌عنوان ابزار طراحی در فازهای متنوع طراحی استفاده می‌کنند. برخلاف مدل‌های حرارتی و آکوستیکی مدل‌های طراحی‌شده برای تحقیق در نورپردازی نیازی به تغییر در مقیاس ندارند. این به دلیل این است که طول‌موج نور بسیار کوچک است و به همین جهت در رفتار نور تأثیر نمی‌گذارد. عوامل مختلفی مانند مدل‌سازی جزئیات ساختمان، مدل‌سازی انعکاس‌ها و ضریب انتقال از شیشه و همچنین ویژگی‌های فوتومتر موجب تفاوت نتایج ماکت و واقعیت می‌شوند [۴۹]. برخی از علل اختلاف بیان‌شده توسط چند مؤلف در (جدول ۳-۳) آورده شده است:

جدول ۳-۲. عوامل اصلی خطا با ماکت بیان‌شده در مطالعات مختلف [۴۹].

مؤلف	منابع خطاها و اشتباهات	میزان انحراف در مقایسه با نمونه واقعی
Thanachareonkit 2005	• دقت ابعاد • خاصیت انعکاسی مصالح • کالیبره شدن دستگاه	در ابتدا ۶۰+٪ تا ۱۰۵+٪ بعد از اصلاح ۳۰+٪ تا ۳۵+٪

[1] Mardaljevic

Love and Navvab (1991)	• کالیبره شدن سنسور • بازتاب سطوح • جزئیات مدل و به‌طور خاص پنجره • اندازه و موقعیت سنسورها	٪+۳۰ تا ٪+۵۰
Cannon-Brookes (1997)	• دقت ابعاد • بازتاب سطوح • نفوذپذیری پنجره • سطوح کثیف	٪+۱۰ تا ٪+۲۵

استفاده از ماکت‌ها برای مطالعات روشنایی دارای مزایایی به شرح زیر است:

- ساخت آن‌ها ارزان است؛
- یافتن راه‌حل‌های سریع با کمترین هزینه، زمان و انرژی؛
- تغییرات به‌راحتی انجام می‌گیرد و به‌راحتی می‌توان حالات مختلف را بررسی کرد؛
- هر نوع هندسه و فضایی را می‌توان ساخت؛
- ماکت‌ها را می‌توان با آسمان واقعی یا مصنوعی شبیه‌سازی کرد.

ویژگی‌های آسمان مصنوعی می‌تواند نقش مهمی در نتایج تحقیق داشته باشد. بزرگ‌ترین مزیت آسمان مصنوعی این است که شرایط پایدار و تکراری را فراهم می‌کند؛ اما در مواردی به دلیل در دسترس نبودن تجهیزات آسمان مصنوعی از آسمان واقعی برای انجام آزمایشات استفاده می‌شود. آسمان کاملا ابری به عنوان یکنواخت ترین نوع آسمان شناخته می‌شود، آسمان صاف و آفتابی روشنایی در طول روز به‌طور مداوم و به آهستگی تغییر می‌کند. در آسمان نیمه‌ابری گرایش شدیدی در تغییر شدت روشنایی آسمان وجود دارد و دائماً در حال تغییر است، لذا استفاده از این نوع آسمان برای انجام مطالعات توصیه نمی‌شود [۹].

برای ساخت و استفاده از ماکت باید به چند نکته کلی توجه نمود [۹]:

- ماکت باید تا حد امکان شبیه به مدل واقعی باشد. جزئیات در ماکت‌های کوچک مشکل است

و هنگامی‌که نورسنج در ماکت کوچکی قرار داده شود ممکن است موجب جذب و انعکاس بیش‌ازحد نور گردد.

- فرم‌های پیچیده را می‌توان تا حد امکان ساده نمود؛
- مصالح مورداستفاده باید حداکثر تشابه را با نمونه واقعی داشته باشند؛
- ماکت باید در فضایی کاملاً باز و بدون مانع و مشابه با مدل واقعی باشد. فضاهای وسیع و باز مانند پارک، پشت‌بام و پارکینگ‌ها مکان‌های مناسبی برای اندازه‌گیری می‌باشند؛
- ماکت باید هم‌تراز با افق تنظیم گردد، همچنین جهت آن باید مطابق با جهت ساختمان واقعی باشد.

۳-۴ تحقیقات میدانی

تحقیقات میدانی یک ابزار مفید است که اغلب در زمینه محیط ساخته‌شده مورداستفاده قرار می‌گیرند، روش جمع‌آوری اطلاعات به شرح زیر است:

- مشاهدات عینی در مورد محیط ساخته‌شده
- مشاهدات عینی در مورد رفتار کاربر
- مشاهدات ذهنی کاربر

هدف نهایی از تحقیقات میدانی این است که اطلاعات عینی را به اطلاعات ذهنی به جهت کمک به طراحی ساختمان‌های جدید یا تغییر ساختمان‌های موجود دارای مشکل مرتبط کنیم. در انجام تحقیقات میدانی از ابزارهای تجربی مانند ساخت نمونه در مقیاس واقعی و همچنین پرسشنامه استفاده می‌شود.

ازآنجاکه تاثیر نور طبیعی بر روی انسان‌ها پیچیده و پویا است، مشاهدات عینی (مثلاً اندازه‌گیری سطح نور روز) برای تکمیل ارزیابی روشنایی کافی نیست، بنابراین تحقیقات میدانی

ضروری است تا معیارهای ذهنی کاربران نیز بررسی شوند. بزرگ‌ترین مشکل در رابطه با معیارهای ذهنی در رابطه با نورپردازی این است که تعریف معیارها برای ارزیابی کیفیت نورپردازی را دشوار می‌کنند [۵۰].

در طراحی پرسشنامه مواردی وجود دارند که باید موردتوجه قرار بگیرند، پرسشنامه باید حتی‌المقدور کوتاه و مختصر باشد و فقط به طرح سؤالاتی که برای آن هدف تعیین‌شده مفید هستند بپردازد. به‌طورکلی ساده بودن، سلیس بودن، روان بودن، بی‌آزار بودن و مرتبط بودن با اهداف تحقیق ازجمله معیارهایی است که باید در طرح سؤالات پرسشنامه رعایت گردد. در پرسشنامه معمولاً دو نوع سؤال وجود دارد سؤال‌های بسته و باز، هر پرسشنامه می‌تواند شامل یک یا هر دو نوع آن‌ها باشد. سؤالات بسته به رفتارهای پاسخ‌دهندگان اشاره می‌کنند و با پاسخ‌های آماده همراه هستند. برعکس سؤالات باز، به‌صورت تشریحی هستند و هرکس آزاد است به هر شکلی که مایل است آن‌ها را تشریح نماید. در بعضی مواقع، وقتی‌که محقق قادر نباشد همه گزینه‌های ممکن را با اطمینان مشخص نماید، می‌تواند علاوه بر گزینه‌های سؤالات بسته، گزینه دیگری مثل "سایر... نام ببرید " را به پاسخ‌ها بیفزاید. به این نوع سؤال، سؤال نیمه بسته هم گفته می‌شود که عمدتاً نقاط ضعف و معایب هر دو نوع سؤال باز و بسته را کمتر می‌کند و مزایای آن مضاعف می‌باشد. در (جدول ۳-۳) مزایا و معایب سؤالات باز و بسته آورده شده است [۵۱].

جدول ۳-۳. مزایا و معایب سؤالات باز و بسته در پرسشنامه[۵۱]

نوع باز	نوع بسته
مزایا	مزایا
• **آزادی عمل پاسخ‌دهنده در جواب دادن**	• سرعت پاسخ دادن بالا
• **طراحی آسان**	• اندازه‌گیری آسان، تجزیه تحلیل راحت‌تر
	• مقایسه راحت‌تر با نتایج سایر محققان

معایب	معایب
• **دشواری در اندازه‌گیری و تجزیه تحلیل پاسخ‌ها** • **سرعت پاسخ‌دهی پایین**	• پاسخ‌ها خودبه‌خودی نیستند • تحریف احتمالی نتایج به علت سؤالاتی که جواب را هدایت می‌کنند • اگر پاسخگو تفسیر دیگری به‌غیراز گزینه‌های موجود داشته باشد، نمی‌تواند آن را بیان کند.

بعضی از اصولی که در طرح یک پرسشنامه باید رعایت شوند عبارت‌اند از [۵۲]:

- سؤال‌های پرسشنامه باید بر اساس اهداف تحقیق تنظیم گردند؛
- پرسشنامه حد امکان کوتاه باشد و داده‌های مور نیاز پژوهشگر تأمین کند؛
- به‌کارگیری سؤالات معکوس جهت اطمینان از پاسخ‌گویی صحیح پاسخ‌دهندگان؛
- کلمات باید واضح باشند و بدون نیاز به توضیح بیشتر افراد بتوانند سؤالات را درک کنند؛
- سؤالاتی که به یک پاسخ منجر می‌شوند، باید نادیده گرفته شوند مانند: "آیا شما موافق هستید که ساختمان سرد است؟"؛
- از گنجاندن دو سؤال در یک سؤال باید اجتناب ورزید، چراکه پاسخ‌دهندگان دچار سردرگمی می‌شوند و همچنین پاسخ‌ها دارای اعتبار نیستند؛
- سؤالات نوع منفی نباید استفاده شوند، مثلاً "آیا شما قبل از خروج از کلاس تهویه طبیعی را خاموش نمی‌کنید؟" زیرا جواب بله ممکن است تفسیر مثبت یا منفی داشته باشد؛
- از سؤالات غیرمستقیم، مانند پرسش از شخصی برای نظر دیگران باید اجتناب ورزید.

۳-۵ جمع‌بندی

با توجه به مطالب گفته‌شده، ابزار تحقیق مورداستفاده شامل مطالعات کتابخانه‌ای، اندازه‌گیری تجربی در ماکت و کلاس واقعی و استفاده از پرسش‌نامه به‌منظور دریافت نظر کاربران فضا به‌منظور اعتبار آزمایش و شبیه‌سازی کامپیوتری است.

مراحل انجام تحقیق به شرح زیر هستند:

۱. شناخت بستر طرح و انتخاب نمونه موردی

هدف از این تحقیق انتخاب نمونه موردمطالعه از میان آتلیه‌های معماری دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی و شناسایی مشکلاتی بود که در رابطه با بهره‌برداری و مدیریت نور طبیعی و جود داشت.

۲. تعیین ویژگی‌های کلی و اهداف سیستم موردمطالعه

بر اساس تحقیقات کتابشناختی پیشین و نتایج تحقیقات در آتلیه‌های معماری و مشاهدات میدانی در آتلیه موردنظر، ویژگی‌های کلی و اهداف سیستم به‌منظور بهبود کیفیت نور و آسایش بصری تعیین می‌شود. این بخش به این دلیل برای مطالعه با جزئیات انتخاب شد که در مراحل بعدی تحقیق، ترکیبی از رف‌های نور و لوورهای سایه زنی، با جزئیات بیشتری مطالعه شوند و مشخصات دقیق آن‌ها ارزیابی شوند.

۳. مطالعه شبیه‌سازی نور محیطی

در یک آتلیه معماری، نمونه‌های تعیین‌شده‌ای از انواع رف‌های نور و لوورهای سایه زنی تحت شرایط آسمان صاف و ابری موردمطالعه قرار می‌گیرند. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر این سیستم‌ها در

کمیت و کیفیت نور طبیعی در آتلیه طراحی است. برای انجام شبیه‌سازی‌ها، نرم‌افزار رادیانس و داده‌های آب‌وهوایی شهر شاهرود استفاده می‌شود.

۴. مطالعه عملکرد رف نور به‌وسیله ماکت

بر اساس یافته‌های بررسی شبیه‌سازی نور طبیعی، به‌منظور اعتبار سنجی نرم‌افزار و ارزیابی عملکرد رف‌های نور ترکیبی (داخلی/خارجی) در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. بدین منظور یک ماکت با ابعاد مطابق با آتلیه معماری موردنظر در مقیاس ۱:۲۰ ساخته شد.

۵. مطالعه عملکرد رف نور داخلی و لوورها به‌وسیله مدل در مقیاس واقعی و پرسشنامه

عملکرد رف‌های نور و لوورهای متحرک داخلی در مقیاس واقعی موردبررسی قرار می‌گیرند، در این راستا پرسشنامه‌ای طرح شد و افراد ساکن در فضا موردبررسی قرار گرفتند. هدف از این آزمایش بررسی عملکرد رف‌ها در واقعیت و همچنین دریافت نظرات افراد و رفتارهای آنان در رابطه با استفاده از سیستم‌های سایه زنی است.

فصل ۴ : بررسی خصوصیات سیستم مورد مطالعه و نتایج آزمایش‌ها

۴-۱ مقدمه

با توجه به موارد گفته‌شده در فصل قبل نتایج این پایان‌نامه در ۵ بخش ارائه خواهد شد:

۱. شناخت بستر طرح و انتخاب نمونه موردی
۲. تعیین ویژگی‌های کلی و اهداف سیستم موردمطالعه
۳. مطالعه شبیه‌سازی نور محیطی
۴. مطالعه رعملکرد ف نور به‌وسیله ماکت
۵. مطالعه عملکرد رف نور داخلی و لوورها به‌وسیله مدل در مقیاس واقعی و پرسشنامه

۴-۲ شناخت بستر طرح و انتخاب نمونه موردی

شهرستان شاهرود دارای مشخصات جغرافیایی (36° 25′ 5″ N, 54° 58′ 35″ E) است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن[1] شاهرود نیمه بیابانی سرد (BSK) است. با زمستان‌های سرد و خشک و و گاهی اوقات ابری و تابستان‌های گرم و آسمان صاف.

ساختمان دانشکده واقع در جنوب دانشگاه و از تیپ‌های متداول دانشکده‌های دانشگاه می‌باشد. به‌منظور مطالعه نور طبیعی و بررسی موانع و مشکلات در زمینه روشنایی طبیعی و همچنین انتخاب نمونه موردی نیاز به تحقیقات میدانی در رابطه با روشنایی طبیعی در فضاهای آموزشی پیش آمد.

در انجام تحقیقات میدانی از روش ثبت معیارهای عینی مانند و ثبت خصوصیات هندسی آتلیه‌های موجود و همچنین اندازه‌گیری شدت روشنایی استفاده شد.

به‌طور خاص این تحقیق برای آتلیه‌های رو به جنوب دانشکده معماری انجام شد. ۴ آتلیه واقع در ۳ طبقه مجزا، با هدف اندازه‌گیری کلیت توزیع نور طبیعی در آتلیه‌های رو به جنوب بررسی شدند. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از لوکس متر CEM (DT856A) با محدوده اندازه‌گیری تا ۴۰۰۰۰۰ لوکس

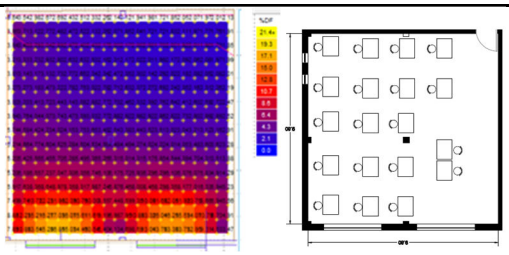
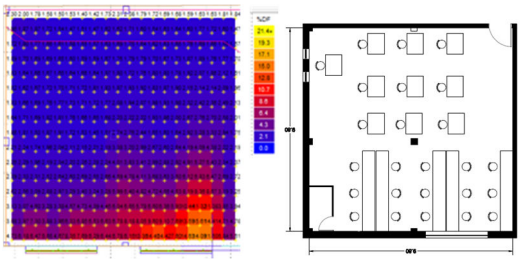
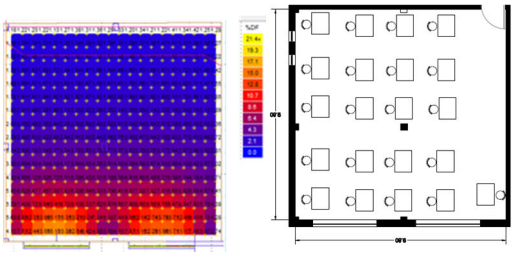
[1] Köppen-Geiger

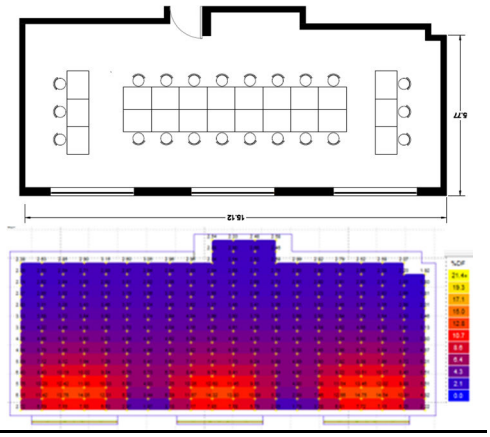
و دقت ±3% انجام شد. اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات از ۳-۱ مهر و در دو ساعات ۹:۳۰ و ۱۲:۳۰ انجام شد. همه آتلیه‌های مورد بررسی دارای پنجره‌های رو به جنوب هستند که دارای تفاوت در اندازه فضا، تعداد پنجره، مصالح و قرارگیری در طبقات مجزا هستند.

۴-۲-۱ نتایج

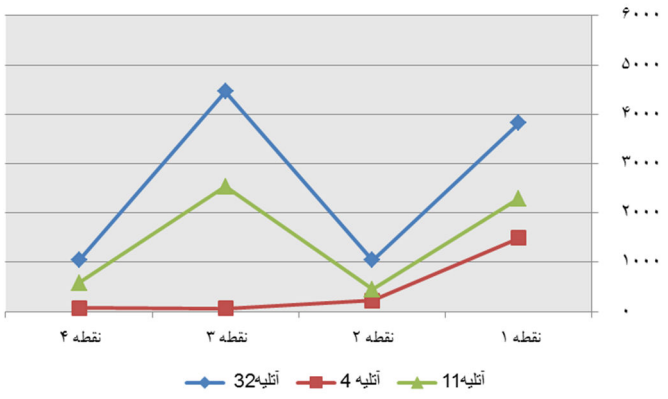
با توجه به‌اندازه گیری‌ها، مشاهدات میدانی عدم توزیع مناسب نور در فضا باعث نادیده گرفتن شدن آن و منجر به استفاده از پرده و روشنایی مصنوعی می‌شود. همه آتلیه‌ها دارای پرده‌های یکسان بودند با ضریب عبور نور از آن‌ها حدوداً ۱۰٪ است که موجب افت شدید سطح نور روز هنگام استفاده از پرده‌ها می‌شود.

جدول ۴-۱. معرفی فضاهای موردمطالعه

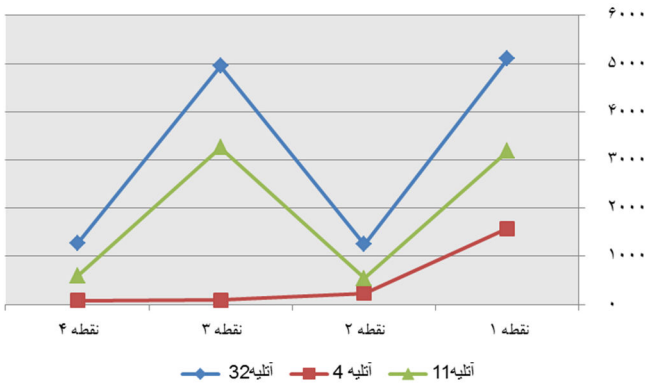
نقشه و نمودار پخش نور از فضای موردمطالعه	مشخصات فضا	مشاهدات
	آتلیه ۳۲ ابعاد فضا: ۹.۸*۹.۸ متر	• اکثر اوقات پرده‌ها کشیده شده‌اند عدم یکنواختی نور، • عدم وجود سیستم سایه زنی مناسب
	آتلیه ۴ ابعاد فضا: ۹.۸*۹.۸ متر	• بهره‌وری ضعیف از نور روز • میزهای کار با ارتفاع زیاد و عمود بر پنجره باعث کاهش شدید روشنایی شده‌اند.
	آتلیه ۱۱ ابعاد فضا: ۹.۸*۹.۸ متر	• اکثر اوقات پرده‌ها کشیده شده‌اند. • روشنایی کم در عقب اتاق.

	آتلیه ۱۴ ابعاد فضا: ۱۴.۹*۵.۶ متر	• اکثر اوقات پرده‌ها کشیده شده‌اند • عدم یکنواختی نور • مشکلات خیرگی به سبب میزهای شیشه‌ای و نور خورشید

میزان نور در آتلیه‌های ۳۲،۱۱ و ۴ را می‌توان با یکدیگر مقایسه نمود چراکه دارای شکل هندسی و جهت‌گیری مشابه اما دارای تفاوت در مصالح، تعداد بازشو و موانع بیرونی هستند، با مقایسه میزان نور در آتلیه‌های مذکور مشاهده شد که میانگین میزان نور در ۴ نقطه در ساعت ۹:۳۰ در آتلیه ۳۲ به میزان ۸۲.۱٪ و ۴۳.۴٪ به ترتیب بالاتر از آتلیه ۴ و ۱۱ است که این مقدار برای ساعت ۱۲:۳۰ به ۸۴.۱٪ و ۳۹.۶۸٪ می‌رسد.



شکل ۴-۱. نمودار الف: توزیع نور طبیعی در ساعت ۰۹:۳۰



شکل ۴-۲. نمودار ب: توزیع نور طبیعی در ساعت:۱۲:۳۰

علت تفاوت‌ها در میزان روشنایی طبیعی فضاها موارد زیر هستند:

- آتلیه ۳۲ و ۱۱ دارای مصالح مشابه هستند، ولی این دو در طبقات متفاوت واقع‌شده‌اند، وجود ساختمان کارگاه‌ها در روبروی بازشوهای آتلیه‌های رو به جنوب باعث کاهش نور وردی در طبقات پایین می‌شود.
- در آتلیه ۴ تعمیرات در دوره بهره‌برداری باعث تغییر در مصالح، کاستن تعداد بازشوها و همچنین میزهای تعبیه‌شده برای کار دانشجویان ارشد باعث کاهش بهره‌وری از نور طبیعی شده است.

به‌طورکلی با توجه به مشاهدات و برداشت‌های انجام‌شده می‌توان به نتایج زیردست یافت:

- هیچ‌گونه سیستم سایه زنی در هیچ‌کدام از موارد موردبررسی وجود نداشت؛
- میزان نور در همه آتلیه‌ها به‌جز در مورد آتلیه ۴ به‌اندازه کافی است اما به‌طور مناسب توزیع نشده است؛
- به دلیل مکان‌یابی نامناسب ساختمان کارگاه‌ها و عدم رعایت فاصله مناسب، نور ورودی به اتاق را میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد؛
- در روزهای آفتابی به دلیل جلوگیری از خیرگی و گرمای بیش‌ازحد پرده‌ها انداخته می‌شوند؛ درنتیجه باعث کاهش سطح نور روز و استفاده از لامپ‌های الکتریکی می‌شوند.

۴-۳ تعیین ویژگی‌های کلی و اهداف سیستم موردمطالعه

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، هدف نهایی این پایان‌نامه، پیشنهاد یک سیستم است که کیفیت نور طبیعی و آسایش بصری را در یک آتلیه معماری بهبود ببخشد. هدف اصلی از چنین سیستمی که از تحقیقات کتابشناختی پیشین و تحقیقات میدانی (بخش ۴-۲ و بخش ۲-۲) حاصل‌شده به‌قرار زیر است:

- افزایش سطح نور در عمق فضا و کاهش آن در جلو اتاق بنابراین بهبود نسبت روشنایی (E_{min}/E_{max})؛
- ارائه سایه مناسب به‌منظور جلوگیری از خیرگی برای کاربران در طول استفاده از فضا؛
- حداکثر آسایش بصری و همچنین عدم استفاده از پرده‌های متداول که منجر به استفاده از روشنایی مصنوعی حتی در روزهای آفتابی می‌گردند.

اهداف فوق منجر به مطالعه سیستم با مزایای ترکیبی از افزایش نور طبیعی در عمق فضا، سایه مناسب و جلوگیری از خیرگی می‌شود.

به‌عنوان یک سیستم بهینه برای افزایش روشنایی طبیعی در عمق یک فضا، رف‌های نور با توجه به پتانسیل آن‌ها همان‌گونه که گفته شد انتخاب شد، این سیستم به‌عنوان نمونه‌ای مؤثر برای بهبود نور در فضاهای مدارس توسط محققان پیشنهادشده است [۴].

به‌عنوان یک سیستم تکمیل‌کننده نوری لوورهای هدایت‌کننده نور موردبررسی قرار گرفتند:

- داخلی به‌منظور نصب و استفاده راحت؛
- قابل حرکت به‌منظور انطباق با نور خورشید و نیاز کاربران؛
- سطح بالایی شفاف، به‌منظور انعکاس نور

با توجه به نتایج بخش ۴-۲ آتلیه ۳۲، با ابعاد ۳.۴۰*۹.۸۰*۹.۸۰ به‌عنوان نمونه موردی تحقیق انتخاب شد. فضا دارای ۲ پنجره رو به جنوب با درصد پنجره به دیوار ۶۰.۳٪ با OKB ۱.۲ متر و ۲

پنجره رو به غرب که در طول دوره اندازه‌گیری کاملاً بسته‌شده‌اند و از ورود نور توسط آن‌ها جلوگیری شده است.

در دانشگاه صنعتی شاهرود، استفاده از رف‌های نوری در هیچ‌یک از کاربری‌ها مشاهده نشده است و تقریباً همه پنجره‌ها بدون سیستم سایه زنی مطلوب هستند.

تعریف کلی از سیستم در بخش ۱-۴ آورده شده است، همچنین مطالعات انجام‌شده در این زمینه در فصل ۲ ارائه‌شده است.

۴-۴ مطالعه شبیه‌سازی نور محیطی

۴-۴-۱ روش انجام کار

به‌طور خاص در یک آتلیه طراحی انواع مختلفی از رف‌های نور داخلی، خارجی و ترکیبی (داخلی / خارجی) به همراه سیستم سایه زنی داخلی در شرایط مختلف آسمان موردبررسی قرار گرفتند. در ابتدا قبل از شروع آزمایش اصلی مطالعه اولیه‌ای در نرم‌افزار رادیانس انجام شد.

۴-۴-۱-۱ مطالعه اولیه‌ای در نرم‌افزار رادیانس

مطالعات متعددی اعتبار نرم‌افزار رادیانس را تأیید کرده‌اند [۴۷, ۵۳, ۵۴]. اندازه‌گیری‌های میدانی انجام‌شده است تا نتایج را منطقی‌تر و قابل‌اعتمادتر سازد. قبل از شروع فرایند تجربی مقایسه میزان روشنایی در محیط واقعی و شبیه‌سازی در شرایطی که آسمان واقعی و شبیه‌سازی بیشترین شباهت را دارند مطلوب است. هدف از این مقایسه، بررسی میزان تفاوت بین دو مورد، به‌منظور تعیین میزان اشتباهات و خطاها در هنگام استفاده از نرم‌افزار است.

مطمئناً آسمان واقعی دقیقا مشابه آسمان استفاده شده در شبیه‌سازی‌ها نیست. به همین دلیل، مقایسه انجام‌شده به‌هیچ‌عنوان تلاشی برای اطمینان از این نرم‌افزار نیست. هدف این مقایسه، بررسی محدوده اختلاف‌ها و اطمینان از کیفیت ورودی‌ها و استفاده مناسب از نرم‌افزار است.

فضای موردمطالعه یک کلاس در طبقه اول دانشگاه صنعتی شاهرود است.

شکل ۴-۳. فضای داخل آتلیه طراحی معماری

ابزار مورداستفاده برای اندازه‌گیری نور طبیعی:

- CEM (DT856A) با محدوده اندازه‌گیری تا ۴۰۰۰۰۰ لوکس، دقت ±3%.

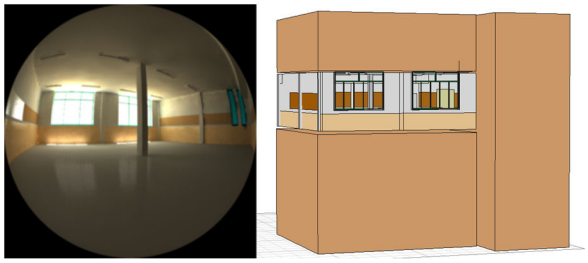
اندازه‌گیری‌های هم‌زمان در کلاس در یک شبکه ۲.۴۵ متری در ارتفاع ۰.۸ متر، میز کار انجام شد (شکل ۴-۵). همه تجهیزات قبل از آزمایش به‌منظور اطمینان از صحت داده‌ها کالیبره شدند. علاوه بر این خواص نوری تمام سطوح برای شبیه‌سازی‌ها به‌وسیله لوکس متر به‌طور تقریبی اندازه‌گیری شد.

- سقف ۸۵٪
- دیوار جانبی ۸۵٪
- کف ۵۰٪
- فریم پنجره‌ها ۱۵٪
- تابلوهای ژوژمان ۵۰٪
- سنگ‌های دیوار ۶۰٪

- نفوذ نور از شیشه ٪۸۸

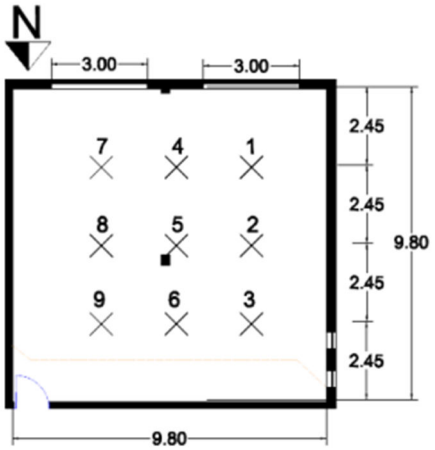
تنظیمات در رادیانس هم بدین گونه است:

- Model Detail: Medium
- Lighting Variability, Image Quality: High
- Internal Reflections: 5

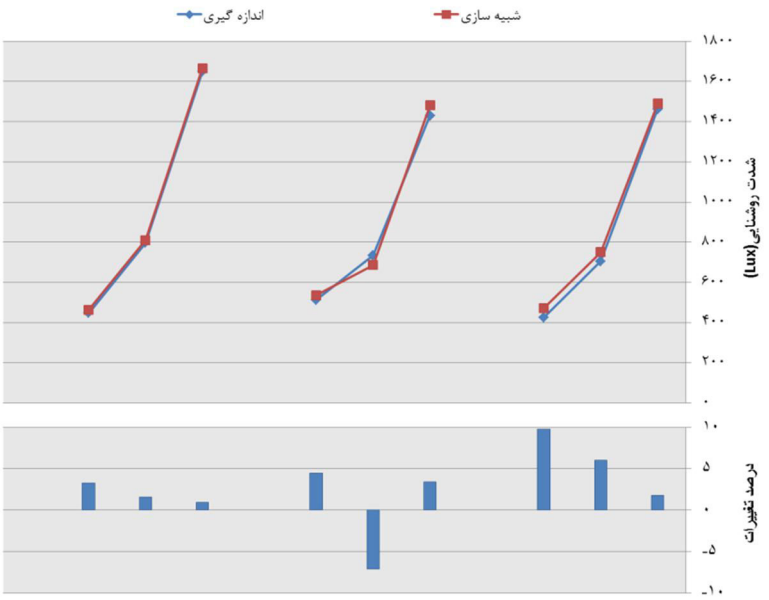


شکل ۴-۴. مدل ساخته‌شده در نرم‌افزار اکوتکت

اندازه‌گیری در یک روز کاملاً صاف و آفتابی در فصل تابستان انجام شد. دقت شد که بیشترین شباهت را به آسمان صاف (CIE) داشته باشد، آسمان کاملاً صاف بدون ابر و با کمترین میزان رطوبت و گردوغبار موجود در هوا. به‌منظور دقت بیشتر اندازه‌گیری‌ها در آتلیه بدون حضور میزهای کار انجام شد. همچنین در طول دوره اندازه‌گیری پرده‌ها کاملا کنار کشیده شدند و چراغ‌ها خاموش شدند. اندازه‌گیری‌ها در سه ردیف (الف، ب، ج) در ۹ نقطه در دو ساعت ۹:۰۰ صبح و ۱۲:۰۰ ظهر انجام شد، مطابق (شکل ۴-۵). جفت نمودارهای مقایسه‌ای از توزیع نور طبیعی نسبت به ردیف‌های الف- ج ارائه‌شده است.

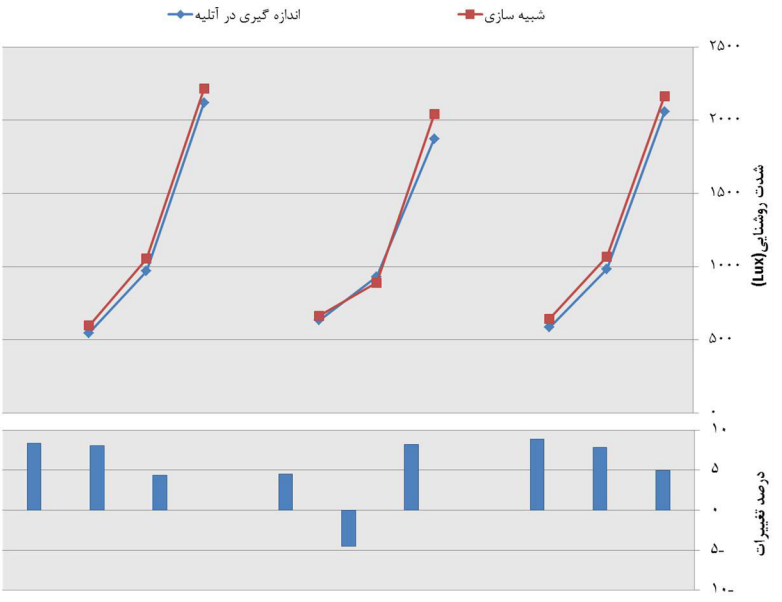


شکل ۴-۵. نقاط قرارگیری لوکس مترها



	ردیف (الف)			ردیف (ب)			ردیف (ج)		
	نقطه (۱)	نقطه (۲)	نقطه (۳)	نقطه (۴)	نقطه (۵)	نقطه (۶)	نقطه (۷)	نقطه (۸)	نقطه (۹)
اندازه گیری در آتلیه	۱۴۶۳	۷۰۵	۴۲۶	۱۴۳۰	۷۳۵	۵۱۳	۱۶۵۰	۷۹۷	۴۴۸
شبیه سازی	۱۴۹۰	۷۵۰	۴۷۲	۱۴۸۱	۶۸۶	۵۳۷	۱۶۶۶	۸۱۰	۴۶۳

شکل ۴-۶. نمودار الف: توزیع نور طبیعی، ساعت:۰۰:۰۹



	ردیف (الف)			ردیف (ب)			ردیف (ج)		
	نقطه (۱)	نقطه (۲)	نقطه (۳)	نقطه (۴)	نقطه (۵)	نقطه (۶)	نقطه (۷)	نقطه (۸)	نقطه (۹)
اندازه گیری در آتلیه	۱۴۶۳	۷۰۵	۴۲۶	۱۴۳۰	۷۳۵	۵۱۳	۱۶۵۰	۷۹۷	۴۴۸
شبیه سازی	۱۴۹۰	۷۵۰	۴۷۲	۱۴۸۱	۶۸۶	۵۳۷	۱۶۶۶	۸۱۰	۴۶۳

شکل ۴-۷. نمودار ب: توزیع نور طبیعی، ساعت:۱۲:۰۰

نمودارهای الف و ب، بیانگر این بودند که توافق نسبی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی‌شده در نرم‌افزار رادیانس وجود دارد. تفاوت‌های موجود در مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده ممکن است به دلایل زیر باشند:

- در همه موارد مقادیر شبیه‌سازی بیشتر از واقعیت است چراکه، توزیع نور در آسمان واقعی و شبیه‌سازی‌شده متفاوت است، تنها در نقطه (ب) ردیف ج، مقادیر کمتر از شبیه‌سازی مشاهده می‌کنیم که دلیل آن قرارگیری این نقطه در پشت ستون است.
- میزان نور در عقب فضا به میزان زیادی بستگی به نور منعکس‌شده از مصالح موجود در اتاق دارد. تفاوت بین بازتاب سطوح در واقعیت و شبیه‌سازی باعث تفاوت در میزان ضرایب خطاها در جلو و عقب اتاق می‌شود.

این مطالعه مقدماتی استفاده مناسب از نرم‌افزار رادیانس را تأیید می‌کند.

۴-۴-۱-۲ ویژگی‌های مدل آتلیه طراحی

مدل شبیه‌سازی در اکوتکت ۲۰۱۰ ایجاد شد و به‌منظور محاسبات روزانه به نرم‌افزار رادیانس منتقل شد. ابعاد فضا ۳.۴۰*۹.۸۰*۹.۸۰ است، فضا دارای ۲ پنجره رو به جنوب با درصد پنجره به دیوار ۶۰.۳٪ و OKB ۱.۲ متر است (شکل ۴-۸).

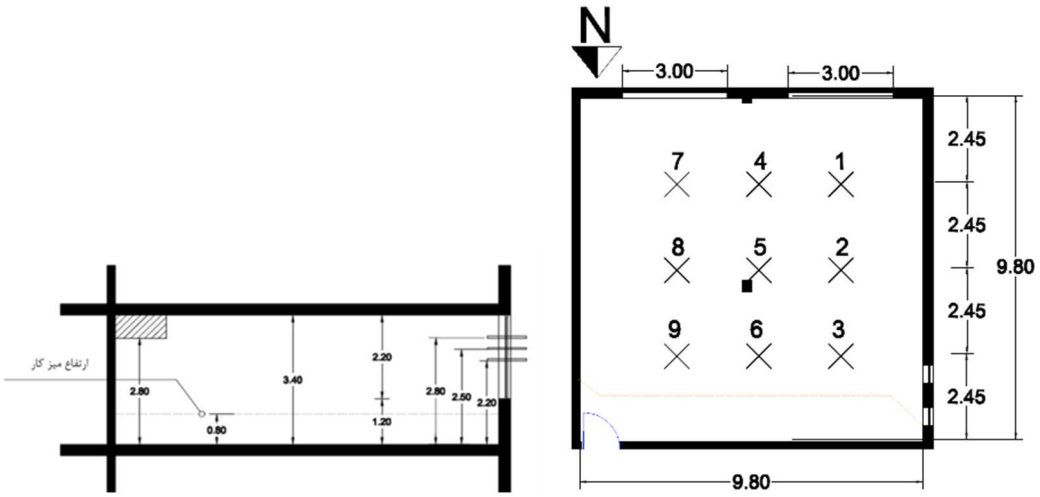
۴-۴-۱-۳ سیستم موردمطالعه و معیارهای ارزیابی آن

الف: رف نور

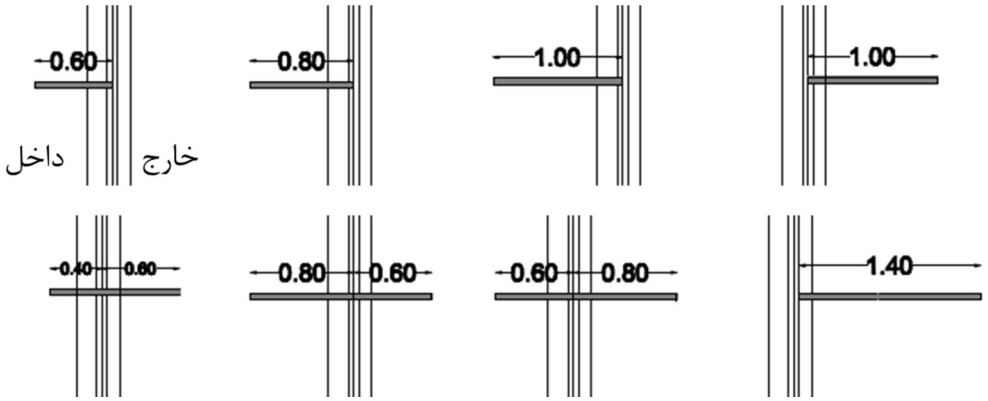
هشت نوع پیکربندی مختلف رف نور که بر اساس ویژگی‌های هندسی تعریف‌شده‌اند موردمطالعه قرار گرفتند (شکل ۴- ۹). معیارهای ارزیابی عملکرد آن‌ها بهبود یکنواختی و افزایش نور در عمق فضا هستند.

ب) لوورهای متحرک داخلی

به‌منظور بهبود کیفیت نور در فضا و بهبود سایه اندازی، لوورهای متحرک داخلی موردمطالعه قرار گرفتند. این لوورها تحت ۲ زاویه افقی و ۴۵ درجه، با توجه به معیارهای کاهش خیرگی و همچنین کاهش سطح نور در ارتباط با استفاده از آن‌ها مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرند.



شکل ۴-۸. راست: پلان آتلیه طراحی معماری، چپ: مقطع آتلیه طراحی معماری شبیه‌سازی‌شده در نرم‌افزار



شکل ۴-۹. نمونه‌های آزمایش‌شده در شبیه‌سازی

۴-۴-۱-۴ شبیه‌سازی

شبیه‌سازی‌ها در نرم‌افزار رادیانس انجام می‌شود. جزئیات شبیه‌سازی به‌قرار زیر هستند:

Model Detail: Medium
Lighting Variability: High
Image Quality: High
Internal Reflections: 7

بررسی‌ها در دو آسمان ابری و آسمان صاف آفتابی با خورشید انجام می‌شود. جزئیات بیشتر از نرم‌افزار در پیوست ۴ ارائه‌شده است.

مراحل انجام شبیه‌سازی به‌قرار زیر هستند:

مرحله ۱

در ابتدا ۵۴ مورد از رف‌های نور در مقایسه با مورد پایه بدون هیچ‌گونه سیستم سایه زنی در آسمان ابری که بدترین سناریو در رابطه با میزان روشنایی خارجی است (به همین ترتیب در داخل فضا) موردبررسی قرار می‌گیرند.

مرحله ۲

سپس ۱۰ مورد از ۵۴ مورد مرحله اول انتخاب شدند (در ۲ دامنه، ۱ متر و ۱.۴ متر). شبیه‌سازی‌ها در سه تاریخ (۲۱ دسامبر، ۲۱ مارس و ۲۱ ژوئن) و در دو زمان (۹:۰۰ و ۱۲:۰۰)، با جنس رف نور پخش‌کننده و منعکس‌کننده انجام می‌شود. در این مرحله، تنها توانایی سیستم در انتقال نور به عمق اتاق در ارتفاع‌های مختلف خورشید موردبررسی قرار می‌گیرد (بدون در نظر گرفتن سایه‌ها).

مرحله ۳

در این مرحله نیز شبیه‌سازی‌ها در آسمان صاف و آفتابی انجام می‌شود؛ اما برعکس مرحله ۲ که سایه‌ها در نظر گرفته نشدند، عملکرد رف‌های نور با سیستم‌های سایه زنی متحرک داخلی موردمطالعه قرار می‌گیرند. همچنین به‌منظور ارزیابی عملکرد لوورهای متحرک داخلی با پرده‌های معمولی بانفوذ پذیری مشابه مقایسه شدند.

مرحله ۴

سه زاویه مختلف (۱۰، ۲۰، ۳۰ درجه) با رف نور ۶۰/۴۰ که در مرحله اول عملکرد بهتری داشت موردبررسی قرار گرفت. ارزیابی‌ها در آسمان ابری (۲۱ دسامبر) و آفتابی (۲۱ دسامبر، ۲۱ مارس و ۲۱ ژوئن) انجام شد.

(جدول ۴-۲) خلاصه‌ای از مراحل شبیه‌سازی را بیان می‌کند

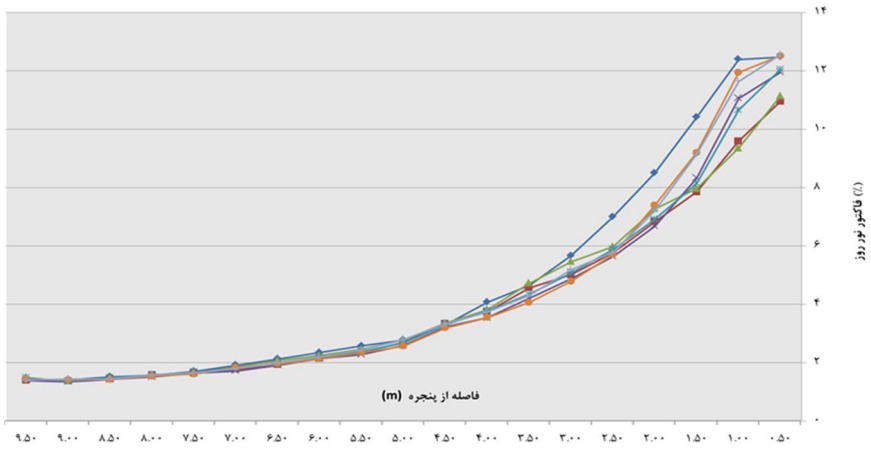
جدول ۴-۲. مراحل انجام آزمایش شبیه‌سازی

مرحله	هدف	نوع مطالعه شده	تاریخ و نوع اسمان	نمودار
۱	مطالعه عملکرد رف‌های نور در شرایطی که نور پخش است	همه در دو ارتفاع در دو زاویه افقی و ۱۰ درجه (۵۴ مورد)	آسمان ابری	(۴-۱۷)- (۴-۱۰)
۲	مطالعه عملکرد رف‌های نور در شرایطی که نور مستقیم است	۶۰/۴۰، ۱۰۰ داخلی، ۱۰۰ خارجی، ۶۰-۸۰ و ۱۴۰ خارجی در ارتفاع ۲.۵ متری از سطح زمین و در ۲ زاویه رف نور منعکس‌کننده و پخش‌کننده (۱۲۰ مورد)	آسمان صاف ۲۱ دسامبر، ۲۱ مارس و ۲۱ ژوئن در دو ساعت ۹:۰۰ و ۱۲:۰۰	(۴-۲۹)- (۴-۱۸)
۳	مطالعه عملکرد رف‌های نور و سیستم سایه زنی	نمونه ۶۰/۴۰ در ارتفاع ۲.۵ متری از سطح زمین و زاویه ۱۰ درجه (۳ مورد)	آسمان صاف ۲۱ دسامبر (ساعت ۹:۰۰ و ۱۲:۰۰) و ۲۱ مارس (ساعت ۹:۰۰)	(۴-۳۲)- (۴-۳۰)
۴	مطالعه عملکرد رف‌های نور در سه زاویه (°۱۰، °۲۰، °۳۰)	نمونه ۶۰/۴۰ در ارتفاع ۲.۵ متری از کف. (۱۲ مورد)	آسمان ابری+ آسمان صاف (۲۱ دسامبر، ۲۱ مارس و ۲۱ ژوئن) همه در ساعت ۱۲:۰۰	(۴-۳۶)- (۴-۳۳)

۴-۴-۲ نتایج

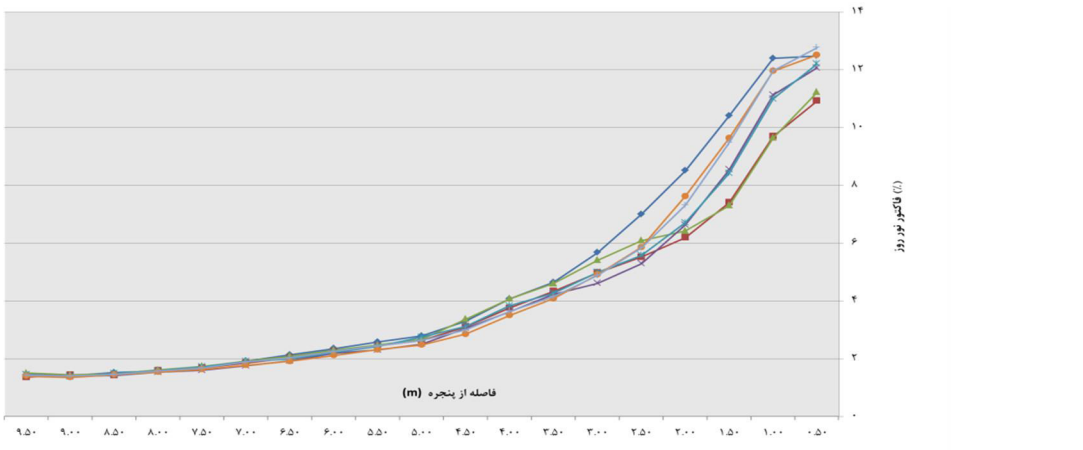
۴-۴-۲-۱ مرحله ۱

نمودارها نشان‌دهنده توزیع نور در مقایسه با مورد پایه هستند.



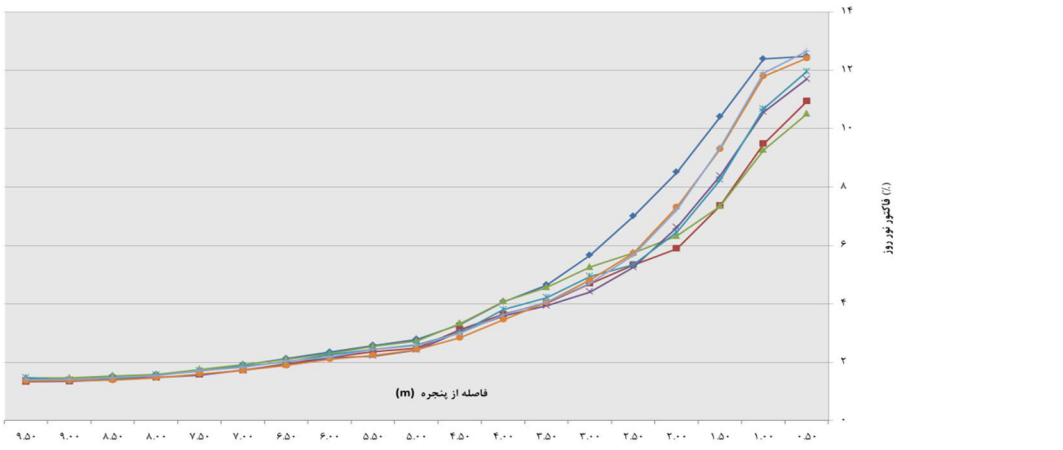
نمونه پایه	۱۲.۴۷	۱۲.۳۹	۱۰.۴۱	۸.۵۰	۷.۰۰	۵.۶۷	۴.۶۴	۴.۰۷	۳.۳۰	۲.۷۸	۲.۵۸	۲.۳۵	۲.۱۳	۱.۹۱	۱.۷۰	۱.۵۷	۱.۵۲	۱.۴۲	۱.۴۲
نمونه ۶۰در ارتفاع ۲.۲۰ متر	۱۰.۹۵	۹.۵۹	۷.۸۵	۶.۸۴	۵.۷۶	۵.۰۱	۴.۵۶	۳.۷۵	۳.۳۴	۲.۶۸	۲.۳۷	۲.۱۵	۱.۹۳	۱.۷۸	۱.۶۴	۱.۵۸	۱.۴۳	۱.۳۶	۱.۳۹
نمونه ۶۰در ارتفاع ۲.۲۰متر، زاویه ۱۰درجه	۱۱.۱۳	۹.۳۵	۷.۹۶	۷.۲۸	۵.۹۷	۵.۴۶	۴.۷۲	۳.۸۲	۳.۳۶	۲.۷۸	۲.۴۶	۲.۲۵	۲.۰۷	۱.۸۵	۱.۶۶	۱.۵۹	۱.۴۷	۱.۳۶	۱.۴۹
نمونه ۶۰ در ارتفاع ۲.۵۰متر	۱۱.۹۵	۱۱.۰۶	۸.۳۲	۶.۶۷	۵.۶۴	۴.۸۷	۴.۲۱	۳.۵۴	۳.۲۴	۲.۵۹	۲.۲۸	۲.۱۴	۱.۹۲	۱.۷۲	۱.۶۴	۱.۵۱	۱.۴۲	۱.۳۵	۱.۳۹
نمونه ۶۰در ارتفاع ۲.۵۰متر، زاویه ۱۰ درجه	۱۲.۰۴	۱۰.۶۵	۸.۱۴	۶.۹۱	۵.۸۸	۵.۰۸	۴.۳۴	۳.۷۷	۳.۳۰	۲.۶۷	۲.۳۸	۲.۲۰	۱.۹۵	۱.۸۲	۱.۶۸	۱.۵۹	۱.۴۹	۱.۳۶	۱.۴۸
نمونه ۶۰در ارتفاع ۲.۸۰متر	۱۲.۵۱	۱۱.۹۴	۹.۲۰	۷.۴۰	۵.۷۱	۴.۷۹	۴.۰۷	۳.۵۴	۳.۱۹	۲.۵۷	۲.۳۵	۲.۱۳	۱.۹۶	۱.۸۳	۱.۶۱	۱.۵۴	۱.۴۳	۱.۴۲	۱.۴۳
نمونه ۶۰در ارتفاع ۲.۸۰متر، زاویه ۱۰درجه	۱۲.۵۶	۱۱.۶۴	۹.۱۴	۷.۲۲	۵.۷۸	۵.۱۹	۴.۳۰	۳.۷۳	۳.۳۳	۲.۷۹	۲.۴۴	۲.۱۹	۲.۰۰	۱.۷۹	۱.۶۶	۱.۵۸	۱.۴۴	۱.۴۴	۱.۴۰

شکل ۴-۱۰. نمودار پخش نور برای نمونه ۶۰ سانتی‌متری داخلی



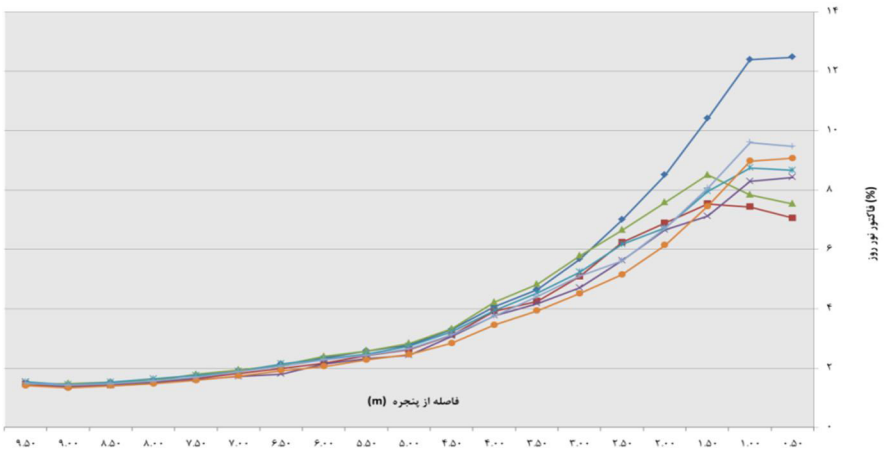
نمونه پایه	۱۲.۴۷	۱۲.۳۹	۱۰.۴۱	۸.۵۰	۷.۰۰	۵.۶۷	۴.۶۴	۴.۰۷	۳.۳۰	۲.۷۸	۲.۵۸	۲.۳۵	۲.۱۳	۱.۹۱	۱.۷۰	۱.۵۷	۱.۵۲	۱.۴۲	۱.۴۲	۱.۴۲
نمونه ۸۰ ،در ارتفاع ۲.۲۰ متر	۱۰.۹۲	۹.۶۹	۷.۴۱	۶.۱۹	۵.۵۲	۴.۹۷	۴.۳۳	۳.۷۵	۳.۱۰	۲.۶۳	۲.۴۵	۲.۲۶	۲.۰۳	۱.۸۵	۱.۶۸	۱.۵۹	۱.۴۲	۱.۴۳	۱.۳۶	
نمونه ۸۰،در ارتفاع ۲.۲۰متر، زاویه ۱۰درجه	۱۱.۲۲	۹.۶۴	۷.۳۰	۶.۴۲	۶.۰۹	۵.۴۱	۴.۶۰	۴.۰۷	۳.۳۷	۲.۶۷	۲.۴۷	۲.۳۰	۲.۰۹	۱.۹۱	۱.۷۳	۱.۶۱	۱.۴۸	۱.۴۴	۱.۵۱	
نمونه ۸۰ ،در ارتفاع ۲.۵۰متر	۱۲.۰۷	۱۱.۱۲	۸.۵۵	۶۶۳	۵.۲۹	۴.۶۱	۴.۲۳	۳.۶۲	۳.۰۶	۲.۵۰	۲.۳۱	۲.۱۹	۱.۹۲	۱.۷۵	۱.۶۰	۱.۵۳	۱.۴۲	۱.۴۰	۱.۴۵	
نمونه ۸۰،در ارتفاع ۲.۵۰متر، زاویه ۱۰ درجه	۱۲.۲۰	۱۰.۹۹	۸.۴۲	۶۷۱	۵۵۸	۴.۹۹	۴.۲۶	۳.۸۳	۳.۱۲	۲.۷۵	۲.۴۳	۲.۲۱	۱.۹۹	۱.۹۰	۱.۷۲	۱.۵۸	۱.۴۸	۱.۳۸	۱.۴۶	
نمونه ۸۰،در ارتفاع ۲.۸۰متر	۱۲.۵۱	۱۱.۹۵	۹.۶۴	۷.۶۲	۵.۸۶	۴.۹۱	۴.۰۸	۳.۵۰	۲.۸۵	۲.۴۸	۲.۳۱	۲.۱۱	۱.۹۱	۱.۷۷	۱.۶۳	۱.۵۴	۱.۴۵	۱.۳۵	۱.۳۹	
نمونه ۸۰، در ارتفاع ۲.۸۰متر، زاویه ۱۰درجه	۱۲.۷۷	۱۱.۹۷	۹.۴۸	۷.۳۱	۵.۸۴	۴.۸۸	۴.۱۵	۳.۶۴	۳.۰۰	۲.۶۳	۲.۴۵	۲.۲۵	۲.۰۳	۱.۸۹	۱.۶۷	۱.۵۷	۱.۴۵	۱.۴۰	۱.۴۳	

شکل ۴-۱۱. نمودار پخش نور برای نمونه ۸۰ سانتی‌متری داخلی



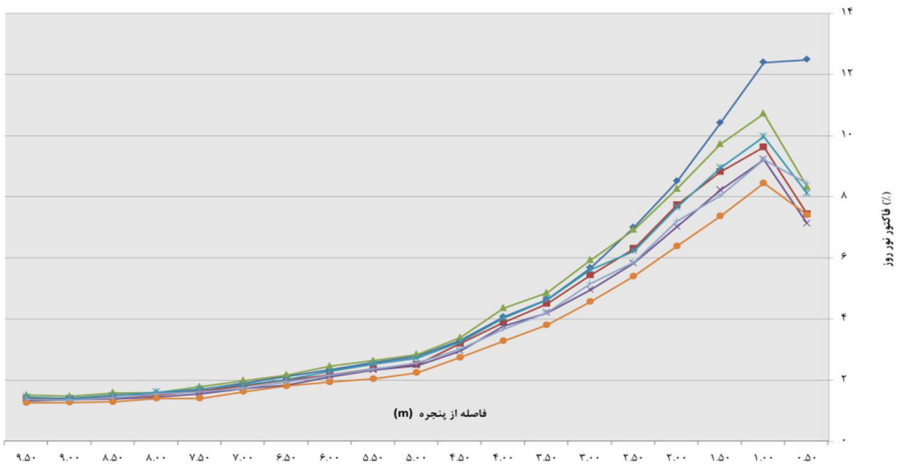
نمونه پایه	۱۲.۴۷	۱۲.۳۹	۱۰.۴۱	۸.۵۰	۷.۰۰	۵.۶۷	۴.۶۴	۴.۰۷	۳.۳۰	۲.۷۸	۲.۵۸	۲.۳۵	۲.۱۳	۱.۹۱	۱.۷۰	۱.۵۷	۱.۵۲	۱.۴۱	۱.۴۲	
نمونه ۱۰۰داخلی، ارتفاع ۲.۲۰ متر	۱۰.۹۴	۹.۴۸	۷.۳۶	۵.۸۹	۵.۳۳	۴.۷۰	۴.۰۳	۳.۶۵	۳.۱۲	۲.۴۸	۲.۳۷	۲.۱۷	۱.۹۵	۱.۷۲	۱.۵۸	۱.۴۸	۱.۴۴	۱.۳۵	۱.۳۳	
نمونه ۱۰۰داخلی، ارتفاع ۲.۲۰متر، زاویه ۱۰درجه	۱۰.۵۱	۹.۲۷	۷.۳۵	۶.۳۳	۵.۷۵	۵.۲۶	۴.۵۷	۴.۰۸	۳.۳۳	۲.۷۳	۲.۵۵	۲.۳۰	۲.۱۱	۱.۹۳	۱.۷۶	۱.۵۸	۱.۵۴	۱.۴۶	۱.۴۷	
نمونه ۱۰۰داخلی، ارتفاع ۲.۵۰متر	۱۱.۶۹	۱۰.۵۷	۸.۳۸	۶۶۳	۵.۲۵	۴.۴۱	۳.۹۴	۳.۵۸	۳.۰۵	۲.۴۲	۲.۲۱	۲.۱۵	۱.۹۰	۱.۷۴	۱.۵۶	۱.۴۹	۱.۴۱	۱.۳۵	۱.۳۷	
نمونه ۱۰۰داخلی، ارتفاع ۲.۵۰متر، زاویه ۱۰درجه	۱۱.۹۶	۱۰.۶۹	۸.۲۴	۶.۴۶	۵.۳۴	۴.۹۴	۴.۲۱	۳.۸۱	۳.۰۲	۲.۶۰	۲.۴۴	۲.۲۶	۲.۰۲	۱.۸۷	۱.۷۰	۱.۵۶	۱.۴۴	۱.۳۹	۱.۴۸	
نمونه ۱۰۰داخلی، ارتفاع ۲.۸۰متر	۱۲.۴۱	۱۱.۷۹	۹.۳۰	۷.۳۲	۵.۷۳	۴.۸۲	۴.۰۵	۳.۴۶	۲.۸۴	۲.۴۳	۲.۲۴	۲.۱۱	۱.۹۰	۱.۷۲	۱.۶۰	۱.۴۷	۱.۳۹	۱.۳۷	۱.۳۶	
نمونه ۱۰۰داخلی، ارتفاع ۲.۸۰متر، زاویه ۱۰درجه	۱۲.۶۵	۱۱.۹۰	۹.۳۴	۷.۲۲	۵.۶۷	۴.۷۰	۴.۰۶	۳.۶۳	۳.۰۱	۲.۵۸	۲.۴۴	۲.۱۹	۲.۰۴	۱.۸۴	۱.۷۲	۱.۵۵	۱.۴۸	۱.۴۲	۱.۴۰	

شکل ۴-۱۲. نمودار پخش نور برای نمونه ۱ متر داخلی



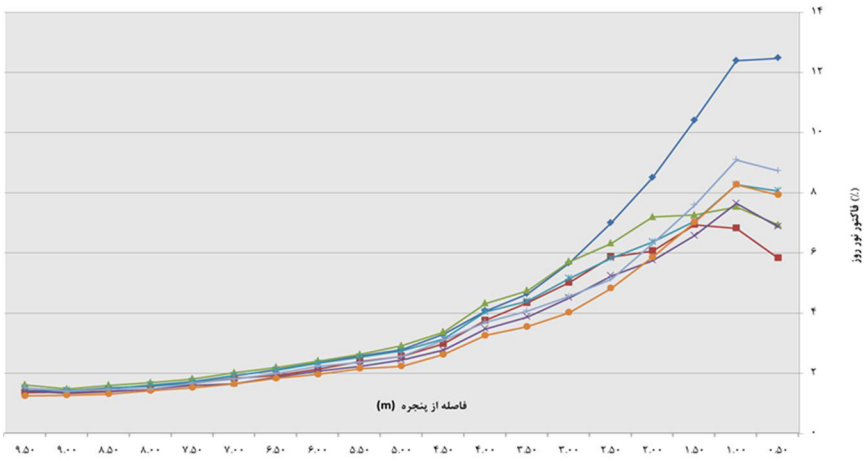
۹.۵۰	۹.۰۰	۸.۵۰	۸.۰۰	۷.۵۰	۷.۰۰	۶.۵۰	۶.۰۰	۵.۵۰	۵.۰۰	۴.۵۰	۴.۰۰	۳.۵۰	۳.۰۰	۲.۵۰	۲.۰۰	۱.۵۰	۱.۰۰	۰.۵۰	
۱.۴۲	۱.۴۲	۱.۵۲	۱.۵۷	۱.۷۰	۱.۹۱	۲.۱۳	۲.۳۵	۲.۵۸	۲.۷۸	۳.۳۰	۴.۰۷	۴.۶۴	۵.۶۷	۷.۰۰	۸.۵۰	۱۰.۴۱	۱۲.۳۹	۱۲.۴۷	نمونه پایه
۱.۴۶	۱.۳۹	۱.۴۴	۱.۵۵	۱.۶۵	۱.۸۳	۱.۹۹	۲.۱۷	۲.۴۳	۲.۶۳	۳.۱۲	۳.۹۲	۴.۲۵	۵.۰۹	۶.۲۴	۶.۸۹	۷.۵۳	۷.۴۳	۷.۰۵	نمونه۴۰ / ۶۰در ارتفاع ۲.۲۰ متر
۱.۴۷	۱.۴۸	۱.۵۳	۱.۵۸	۱.۷۹	۱.۹۴	۲.۱۱	۲.۳۹	۲.۵۸	۲.۸۴	۳.۳۲	۴.۲۲	۴.۸۲	۵.۷۸	۶۶۵	۷.۵۹	۸.۵۱	۷.۸۴	۷.۵۳	نمونه ۴۰ /۶۰در ارتفاع ۲.۲۰متر، زاویه ۱۰درجه
۱.۵۲	۱.۳۶	۱.۴۱	۱.۵۲	۱.۶۲	۱.۷۲	۱.۸۰	۲.۱۴	۲.۳۳	۲.۴۳	۳.۰۷	۳.۷۷	۴.۱۸	۴.۷۰	۵۶۳	۶۶۶	۷.۱۲	۸.۲۹	۸.۴۳	نمونه ۴۰ /۶۰ در ارتفاع ۲.۵۰متر
۱.۵۴	۱.۴۴	۱.۵۲	۱.۶۴	۱.۷۶	۱.۸۹	۲.۱۴	۲.۳۰	۲.۴۸	۲.۷۴	۳.۲۲	۳.۹۴	۴.۵۲	۵.۲۴	۶.۱۷	۶.۷۲	۷.۹۵	۸.۷۵	۸.۶۶	نمونه ۴۰ /۶۰در ارتفاع ۲.۵۰متر، زاویه ۱۰ درجه
۱.۴۱	۱.۳۳	۱.۴۰	۱.۴۸	۱.۵۹	۱.۷۴	۱.۹۲	۲.۰۵	۲.۲۸	۲.۴۶	۲.۸۴	۳.۴۵	۳.۹۳	۴.۵۱	۵.۱۵	۶.۱۴	۷.۴۵	۸.۹۸	۹.۰۷	نمونه ۴۰ /۶۰در ارتفاع ۲.۸۰متر
۱.۵۰	۱.۴۳	۱.۴۸	۱.۵۷	۱.۷۰	۱.۸۸	۲.۰۷	۲.۲۹	۲.۴۳	۲.۶۵	۳.۱۳	۳.۷۵	۴.۴۱	۵.۱۱	۵.۶۳	۶.۷۲	۸.۰۶	۹.۶۰	۹.۴۷	نمونه ۴۰ /۶۰در ارتفاع ۲.۸۰متر، زاویه ۱۰درجه

شکل ۴-۱۳. نمودار پخش نور برای نمونه ۶۰/۴۰، خارجی/ داخلی



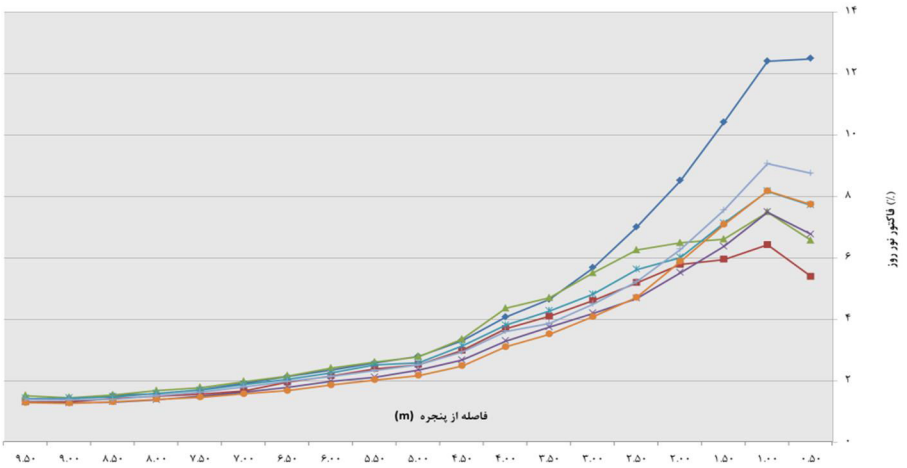
۹.۵۰	۹.۰۰	۸.۵۰	۸.۰۰	۷.۵۰	۷.۰۰	۶.۵۰	۶.۰۰	۵.۵۰	۵.۰۰	۴.۵۰	۴.۰۰	۳.۵۰	۳.۰۰	۲.۵۰	۲.۰۰	۱.۵۰	۱.۰۰	۰.۵۰	
۱.۴۲	۱.۴۱	۱.۵۲	۱.۵۷	۱.۷۰	۱.۹۱	۲.۱۳	۲.۳۵	۲.۵۸	۲.۷۸	۳.۳۰	۴.۰۷	۴.۶۴	۵.۶۷	۷.۰۰	۸.۵۰	۱۰.۴۱	۱۲.۳۹	۱۲.۴۷	نمونه پایه
۱.۴۰	۱.۳۷	۱.۴۴	۱.۵۲	۱.۶۵	۱.۸۲	۲.۰۱	۲.۱۸	۲.۳۷	۲.۵۱	۳.۲۰	۳.۸۸	۴.۵۰	۵.۴۳	۶۳۰	۷.۷۳	۸.۸۱	۹.۶۲	۷.۴۳	نمونه ۱۰۰خارجی، ارتفاع ۲.۲۰ متر
۱.۵۲	۱.۴۸	۱.۵۹	۱.۶۰	۱.۷۹	۱.۹۹	۲.۱۷	۲.۴۶	۲.۶۴	۲.۸۴	۳.۳۹	۴.۳۶	۴.۸۶	۵.۹۳	۶.۹۲	۸.۲۶	۹.۷۲	۱۰.۷۲	۸.۳۳	نمونه ۱۰۰خارجی، ارتفاع ۲.۲۰متر، زاویه ۱۰درجه
۱.۳۳	۱.۳۶	۱.۳۹	۱.۴۵	۱.۵۵	۱.۷۲	۱.۸۵	۲.۱۲	۲.۳۳	۲.۴۸	۲.۹۶	۳.۷۷	۴.۲۰	۴.۹۵	۵.۸۳	۷.۰۲	۸.۲۲	۹.۲۲	۷.۱۲	نمونه ۱۰۰خارجی، ارتفاع ۲.۵۰متر
۱.۴۵	۱.۴۱	۱.۵۰	۱.۶۱	۱.۷۱	۱.۸۵	۲.۰۳	۲.۲۹	۲.۵۳	۲.۷۲	۳.۲۵	۴.۰۳	۴.۶۳	۵.۶۱	۶.۲۲	۷.۶۶	۸.۹۴	۹.۹۷	۸.۱۱	نمونه ۱۰۰خارجی، ارتفاع ۲.۵۰متربزاویه ۱۰ درجه
۱.۲۷	۱.۲۷	۱.۳۰	۱.۴۰	۱.۴۱	۱.۶۳	۱.۸۲	۱.۹۴	۲.۰۵	۲.۲۵	۲.۷۵	۳.۲۸	۳.۸۱	۴.۵۶	۵.۴۰	۶.۳۹	۷.۳۶	۸.۴۵	۷.۴۱	نمونه ۱۰۰خارجی، ارتفاع ۲.۸۰متر
۱.۳۸	۱.۳۵	۱.۴۳	۱.۵۶	۱.۶۲	۱.۷۵	۱.۹۵	۲.۱۶	۲.۳۷	۲.۵۶	۳.۰۲	۳.۶۷	۴.۲۱	۵.۱۶	۵.۸۶	۷.۲۰	۸.۰۴	۹.۲۱	۸.۴۳	نمونه ۱۰۰خارجی، ارتفاع ۲.۸۰متر، زاویه ۱۰درجه

شکل ۴-۱۴. نمودار پخش نور برای نمونه ۱ متر خارجی



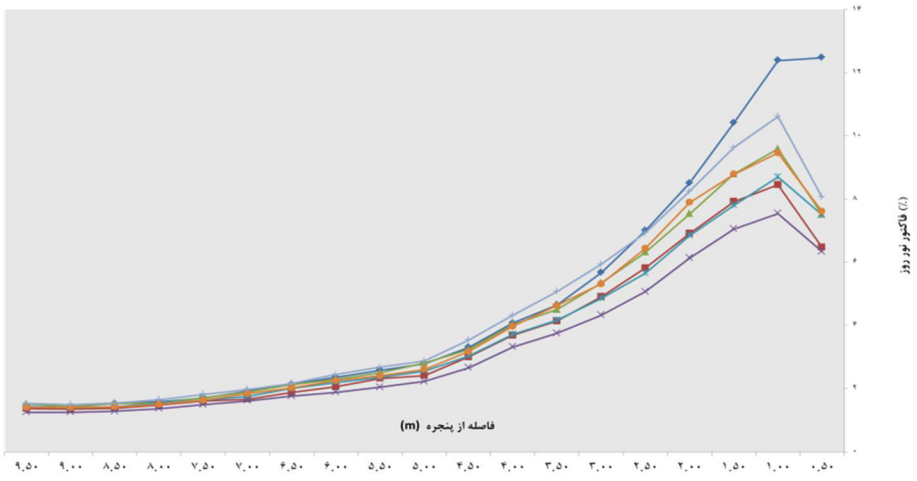
۹.۵۰	۹.۰۰	۸.۵۰	۸.۰۰	۷.۵۰	۷.۰۰	۶.۵۰	۶.۰۰	۵.۵۰	۵.۰۰	۴.۵۰	۴.۰۰	۳.۵۰	۳.۰۰	۲.۵۰	۲.۰۰	۱.۵۰	۱.۰۰	۰.۵۰	
۱.۴۲	۱.۴۲	۱.۵۲	۱.۵۷	۱.۷۰	۱.۹۱	۲.۱۳	۲.۳۵	۲.۵۸	۲.۷۸	۳.۳۰	۴.۰۷	۴.۶۴	۵.۶۷	۷.۰۰	۸.۵۰	۱۰.۴۱	۱۲.۳۹	۱۲.۴۷	نمونه پایه
۱.۳۶	۱.۳۷	۱.۴۰	۱.۴۷	۱.۶۶	۱.۸۳	۱.۹۳	۲.۱۴	۲.۳۹	۲.۵۷	۲.۹۹	۳.۷۶	۴.۳۴	۵.۰۲	۵.۸۷	۶.۰۷	۶.۹۴	۶.۸۲	۵.۸۳	نمونه۸۰ / ۶۰ در ارتفاع ۲.۲۰ متر
۱.۶۱	۱.۴۸	۱.۶۰	۱.۶۹	۱.۸۱	۲.۰۳	۲.۲۰	۲.۴۱	۲.۶۲	۲.۹۲	۳.۳۷	۴.۳۳	۴.۷۵	۵.۷۱	۶.۳۲	۷.۲۰	۷.۲۶	۷.۵۳	۶.۹۴	نمونه ۸۰ / ۶۰در ارتفاع ۲.۲۰متر، زاویه ۱۰درجه
۱.۴۳	۱.۳۴	۱.۳۹	۱.۴۷	۱.۶۰	۱.۶۶	۱.۸۷	۲.۰۸	۲.۳۳	۲.۴۴	۲.۷۷	۳.۴۸	۳.۸۸	۴.۵۱	۵.۲۳	۵.۷۵	۶.۵۸	۷.۶۵	۶.۸۸	نمونه ۸۰ / ۶۰در ارتفاع ۲.۵۰متر
۱.۵۱	۱.۴۳	۱.۴۹	۱.۶۲	۱.۷۳	۱.۹۳	۲.۱۱	۲.۳۴	۲.۵۴	۲.۷۵	۳.۱۵	۴.۰۴	۴.۳۹	۵.۱۶	۵.۸۳	۶.۳۷	۷.۰۵	۸.۲۷	۸.۰۶	نمونه ۸۰ / ۶۰در ارتفاع ۲.۵۰متر، زاویه ۱۰ درجه
۱.۲۵	۱.۲۷	۱.۳۱	۱.۴۲	۱.۵۲	۱.۶۵	۱.۸۴	۱.۹۶	۲.۱۶	۲.۲۳	۲.۶۳	۳.۲۶	۳.۵۵	۴.۰۲	۴.۸۲	۵.۸۶	۷.۰۲	۸.۲۷	۷.۹۳	نمونه ۸۰ / ۶۰در ارتفاع ۲.۸۰متر
۱.۵۲	۱.۴۰	۱.۴۶	۱.۴۷	۱.۶۷	۱.۸۱	۲.۰۰	۲.۲۳	۲.۳۶	۲.۵۶	۳.۱۱	۳.۷۰	۴.۰۸	۴.۵۵	۵.۱۳	۶.۳۱	۷.۵۹	۹.۰۹	۸.۷۳	نمونه ۸۰ / ۶۰در ارتفاع ۲.۸۰متر، زاویه ۱۰درجه

شکل ۴-۱۵. نمودار پخش نور برای نمونه ۶۰/۸۰، خارجی/داخلی



۹.۵۰	۹.۰۰	۸.۵۰	۸.۰۰	۷.۵۰	۷.۰۰	۶.۵۰	۶.۰۰	۵.۵۰	۵.۰۰	۴.۵۰	۴.۰۰	۳.۵۰	۳.۰۰	۲.۵۰	۲.۰۰	۱.۵۰	۱.۰۰	۰.۵۰	
۱.۴۲	۱.۴۲	۱.۵۲	۱.۵۷	۱.۷۰	۱.۹۱	۲.۱۳	۲.۳۵	۲.۵۸	۲.۷۸	۳.۳۰	۴.۰۷	۴.۶۴	۵.۶۷	۷.۰۰	۸.۵۰	۱۰.۴۱	۱۲.۳۹	۱۲.۴۷	نمونه پایه
۱.۳۲	۱.۳۱	۱.۴۱	۱.۴۹	۱.۵۶	۱.۶۶	۱.۹۵	۲.۱۵	۲.۳۹	۲.۵۲	۲.۹۸	۳.۶۹	۴.۰۹	۴.۶۱	۵.۱۹	۵.۷۸	۵.۹۴	۶.۴۲	۵.۳۹	نمونه۶۰ / ۸۰ در ارتفاع ۲.۲۰ متر
۱.۵۱	۱.۴۵	۱.۵۳	۱.۶۷	۱.۷۷	۱.۹۷	۲.۱۵	۲.۴۱	۲.۶۱	۲.۷۸	۳.۳۵	۴.۳۶	۴.۶۹	۵.۵۰	۶.۲۵	۶.۴۸	۶.۶۰	۷.۴۹	۶.۵۶	نمونه ۶۰ / ۸۰در ارتفاع ۲.۲۰متر، زاویه ۱۰درجه
۱.۳۰	۱.۲۷	۱.۳۱	۱.۳۸	۱.۵۰	۱.۶۲	۱.۷۸	۱.۹۸	۲.۱۱	۲.۳۵	۲.۶۷	۳.۲۹	۳.۷۴	۴.۱۹	۴.۶۷	۵.۵۱	۶.۳۶	۷.۴۸	۶.۷۶	نمونه ۶۰ / ۸۰در ارتفاع ۲.۵۰متر
۱.۴۲	۱.۴۳	۱.۴۷	۱.۵۹	۱.۶۹	۱.۸۸	۲.۰۴	۲.۲۵	۲.۵۱	۲.۵۸	۳.۱۳	۳.۸۱	۴.۲۷	۴.۸۱	۵.۶۱	۶.۰۱	۷.۱۲	۸.۱۶	۷.۷۱	نمونه ۶۰ / ۸۰در ارتفاع ۲.۵۰متر، زاویه ۱۰ درجه
۱.۲۸	۱.۲۶	۱.۳۱	۱.۳۹	۱.۴۶	۱.۵۷	۱.۶۸	۱.۸۶	۲.۰۲	۲.۱۷	۲.۴۸	۳.۱۰	۳.۵۱	۴.۰۸	۴.۷۱	۵.۸۸	۷.۰۸	۸.۱۷	۷.۷۳	نمونه ۶۰ / ۸۰در ارتفاع ۲.۸۰متر
۱.۳۹	۱.۳۸	۱.۳۹	۱.۵۱	۱.۶۲	۱.۸۰	۱.۹۸	۲.۱۴	۲.۳۳	۲.۵۱	۲.۹۳	۳.۶۰	۳.۸۶	۴.۴۹	۵.۲۱	۶.۲۷	۷.۵۴	۹.۰۶	۸.۷۴	نمونه ۶۰ / ۸۰در ارتفاع ۲.۸۰متر، زاویه ۱۰درجه

شکل ۴-۱۶. نمودار پخش نور برای نمونه ۸۰/۶۰، خارجی/داخلی



نمونه پایه	۱۲.۴۷	۱۲.۳۹	۱۰.۴۱	۸.۵۰	۷.۰۰	۵.۶۷	۴.۶۴	۴.۰۷	۳.۳۰	۲.۷۸	۲.۳۵	۲.۱۳	۱.۹۱	۱.۷۰	۱.۵۷	۱.۵۲	۱.۴۱	۱.۴۲
نمونه ۱۴۰خارجی، ارتفاع ۲.۵۰متر	۶.۴۷	۸.۴۵	۷.۹۱	۶.۹۰	۵.۸۱	۴.۹۰	۴.۱۳	۳.۶۸	۳.۰۰	۲.۴۱	۲.۲۲	۲.۰۶	۱.۸۸	۱.۶۶	۱.۶۱	۱.۴۸	۱.۳۷	۱.۳۶
نمونه ۱۴۰خارجی، ارتفاع ۲.۵۰متر، زاویه ۱۰درجه	۷.۵۰	۹.۵۹	۸.۷۹	۷.۵۳	۶.۳۱	۵.۳۳	۴.۴۹	۴.۰۲	۳.۲۳	۲.۸۱	۲.۴۹	۲.۳۰	۲.۱۲	۱.۸۹	۱.۷۱	۱.۵۴	۱.۵۳	۱.۵۱
نمونه ۱۴۰خارجی، ارتفاع ۲.۸۰متر	۶.۳۳	۷.۵۴	۷.۰۵	۶.۱۳	۵.۰۶	۴.۳۲	۳.۷۵	۳.۳۱	۲.۶۶	۲.۳۲	۲.۰۴	۱.۸۸	۱.۷۶	۱.۶۱	۱.۴۹	۱.۳۶	۱.۲۵	۱.۲۵
نمونه ۱۴۰خارجی، ارتفاع ۲.۸۰متر، زاویه ۱۰درجه	۷.۴۹	۸.۷۰	۷.۸۰	۶.۸۴	۵.۶۵	۴.۸۵	۴.۱۶	۳.۷۱	۳.۰۳	۲.۵۵	۲.۳۵	۲.۱۹	۲.۰۰	۱.۷۵	۱.۶۳	۱.۵۴	۱.۴۳	۱.۴۲
نمونه ۱۴۰خارجی، ارتفاع ۲.۲۰متر، زاویه ۱۰درجه	۷.۶۰	۹.۴۶	۸.۷۸	۷.۸۹	۶.۴۴	۵.۳۱	۴.۶۳	۳.۹۷	۳.۱۷	۲.۶۰	۲.۴۱	۲.۲۵	۲.۰۲	۱.۸۳	۱.۶۳	۱.۵۰	۱.۴۲	۱.۳۹
نمونه ۱۴۰خارجی، ارتفاع ۲.۲۰متر، زاویه ۱۰درجه	۸.۰۵	۱۰.۶۲	۹.۶۳	۸.۲۴	۶.۹۳	۵.۹۳	۵.۰۷	۴.۳۱	۳.۵۳	۲.۸۶	۲.۶۸	۲.۴۴	۲.۱۶	۱.۹۷	۱.۸۱	۱.۶۵	۱.۵۳	۱.۵۲

شکل ۴-۱۷. نمودار پخش نور برای نمونه ۱۴۰ خارجی

۸ مورد رف نور موردبررسی قرار گرفتند، اندازه‌گیری‌ها برای هر مورد در دو زاویه افقی و ۱۰ درجه بررسی شدند. نتایج کلی به‌قرار زیر هستند:

- در همه موارد رف‌های نور باکم‌کردن نور در جلوی اتاق و ثابت نگاه‌داشتن یا تغییر خیلی اندک نور در عقب اتاق باعث بهبود یکنواختی شده‌اند. همچنین رف‌های نور با زاویه ۱۰ درجه در مقایسه با نوع افقی عملکرد بهتری داشتند.
- بهترین عملکرد در رابطه با یکنواختی نور در کل فضا مورد ۶۰ داخل و ۸۰ خارجی (۸۰/۶۰) و نمونه ۴۰ داخل و ۶۰ خارج (۶۰/۴۰) است که میزان یکنواختی را در ۲.۵ متر انتهای فضا به میزان ۴-۸٪ نسبت به مورد پایه افزایش دادند. کمترین میزان یکنواختی نیز مربوط به رف نور ۶۰ سانتی‌متر داخلی است.
- ارتفاع ۲.۲۰ بهترین عملکرد را در رابطه با میزان یکنواختی و افزایش نور در عمق فضا دارد. ازآنجاکه این ارتفاع در عملکرد صحیح پنجره تأثیرگذار است و همچنین به دلیل کم شدن

منطقه دید از طریق پنجره، ارتفاع ۲.۵ متر به‌عنوان مورد بهینه‌تر نسبت به ۲.۲۰ متر و ۲.۸ متر انتخاب شد.

۴-۴-۲-۲ مرحله ۲

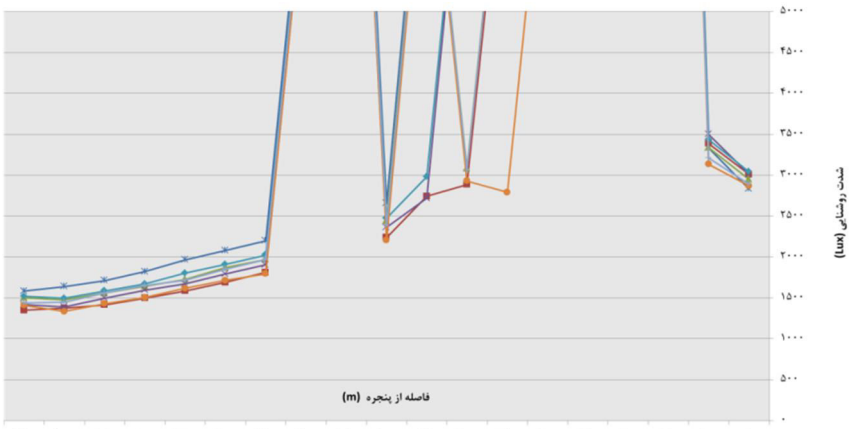
در آسمان صاف و آفتابی رف‌های با عرض‌های یکسان سایه مشابهی را تولید می‌کنند. همان‌گونه که گفته شد در این مرحله سایه‌ها در نظر گرفته نشده‌اند و تنها توانایی سیستم در انتقال نور به عمق اتاق در ارتفاع‌های مختلف خورشید مورد بررسی قرار گرفته است.

نمونه‌های مطالعه به دودسته تقسیم می‌شود:

- رف‌های با عرض ۱۰۰ سانتی‌متر (۶۰/۴۰، ۱۰۰ داخلی و ۱۰۰ خارجی) در دو زاویه افقی و ۱۰ درجه نسبت به افق.
- رف‌های با عرض ۱۴۰ سانتی‌متر (۸۰/۶۰ و ۱۴۰ خارجی) در دو زاویه افقی و ۱۰ درجه نسبت به افق (نتایج این تحلیل در پیوست ۵ آورده شده است).

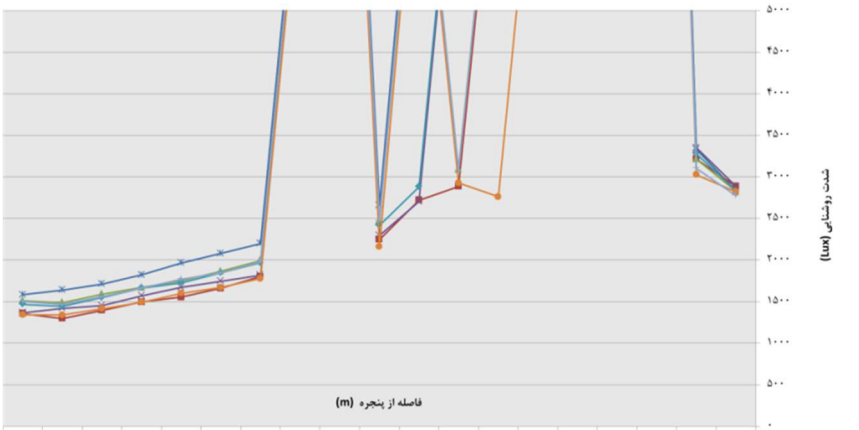
موارد فوق‌الذکر در آسمان صاف در سه تاریخ (۲۱ دسامبر، ۲۱ مارس و ۲۱ ژوئن)، در دو ساعت (۹:۰۰ و ۱۲:۰۰) و همچنین با دو نوع مصالح پخش‌کننده و منعکس‌کننده شبیه‌سازی شدند. نتایج در نمودارهایی که در ادامه می‌آیند ارائه شده است.

رف‌های با عرض ۱۰۰ سانتی‌متر:



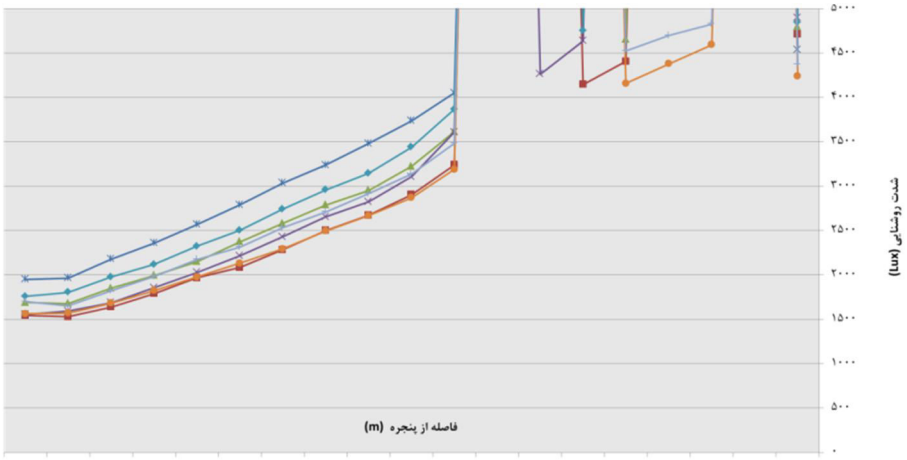
	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۲۸۳۱.۶۵	۳۳۳۰.۹۵	۱۷۸۸۲.۳۳	۱۷۹۱۶.۷۰	۸۱۰۴.۴۴	۸۰۲۵.۳۲	۸۰۳۰.۲۱	۸۱۳۴.۱۱	۲۷۹۷۵.۷۴	۲۶۵۶.۲۴	۱۲۰۹۶.۵۸	۷۱۴۲.۸۰	۲۱۹۷.۴۷	۲۰۷۹.۰۷	۱۹۶۴.۰۱	۱۸۲۱.۸۴	۱۷۱۲.۱۶	۱۶۳۸.۶۸	۱۵۸۳.۰۷
نمونه ۶۰/۴۰، افقی	۳۰۱۰.۶۱	۳۳۸۷.۴۹	۱۷۷۶۳.۹۹	۱۷۶۴۵.۹۷	۷۸۳۴.۶۶	۷۷۲۱.۳۴	۷۶۱۳.۲۹	۲۸۸۵.۶۲	۲۷۴۲.۲۲	۲۲۳۶.۵۵	۱۱۶۵۹.۰۰	۶۷۱۹.۲۱	۱۸۱۰.۸۲	۱۶۸۹.۷۷	۱۵۸۵.۹۱	۱۴۹۷.۷۶	۱۴۱۳.۳۹	۱۳۷۲.۱۱	۱۳۴۹.۴۱
نمونه ۶۰/۴۰، زاویه ۱۰درج	۲۹۴۹.۹۱	۳۳۳۸.۵۱	۱۷۷۹۱.۹۴	۱۷۷۵۹.۰۰	۷۹۳۳.۵۴	۷۷۷۹.۱۴	۷۸۴۰.۵۹	۳۰۸۰.۸۱	۷۷۹۹.۸۳	۲۴۳۹.۲۵	۱۱۸۷۵.۷۰	۶۹۶۳.۶۶	۱۹۶۹.۲۸	۱۸۷۰.۲۳	۱۷۲۷.۲۶	۱۶۴۱.۷۵	۱۵۵۷.۴۰	۱۴۷۶.۴۰	۱۵۰۲.۶۶
نمونه ۱۰۰داخلی، افقی	۳۰۰۸.۹۷	۳۴۹۹.۵۸	۱۸۰۳۹.۱۴	۱۷۹۶۵.۹۲	۸۰۶۰.۷۴	۷۹۰۲.۳۳	۷۷۸۵.۴۲	۷۷۵۲.۲۰	۲۷۱۸.۲۸	۲۳۶۲.۲۱	۱۱۷۸۸.۶۲	۶۸۵۰.۹۰	۱۹۰۳.۳۶	۱۷۹۲.۶۴	۱۶۶۹.۵۴	۱۵۹۴.۲۵	۱۴۹۶.۵۴	۱۳۸۸.۹۴	۱۴۱۸.۰۵
نمونه ۱۰۰داخلی، زاویه ۱۰ درجه	۳۰۴۲.۱۵	۳۴۳۳.۹۸	۱۸۰۲۶.۲۲	۱۷۸۸۸.۶۵	۸۰۵۱.۹۹	۷۹۱۲.۱۹	۷۹۳۱.۷۰	۷۸۷۸.۸۱	۲۹۷۹.۸۶	۲۴۷۳.۸۹	۱۱۹۰۴.۸۲	۶۹۲۸.۹۴	۲۰۲۲.۱۲	۱۹۰۸.۱۱	۱۸۰۰.۶۸	۱۶۸۸.۹۴	۱۵۸۵.۱۱	۱۴۹۵.۹۲	۱۵۲۰.۰۷
نمونه ۱۰۰خارجی، افقی	۲۸۶۸.۴۲	۳۱۳۳.۰۳	۱۷۵۹۹.۴۷	۱۷۴۸۴۰.۹	۷۶۶۶.۷۸	۷۶۲۰.۸۲	۷۲۸۹.۵۰	۲۲۹۲۸.۱۸	۷۶۲۷.۵۶	۲۲۰۷.۱۱	۱۱۶۴۴.۶۰	۶۷۴۱.۲۴	۱۷۹۲.۲۳	۱۷۱۴.۸۳	۱۶۱۶.۱۴	۱۵۰۴.۵۶	۱۴۲۸.۸۷	۱۳۴۴.۸۵	۱۴۱۰.۲۱
نمونه ۱۰۰خارجی، زاویه ۱۰درجه	۲۸۶۸.۴۲	۳۱۳۳.۰۳	۱۷۵۹۹.۴۷	۱۷۴۸۴۰.۹	۷۶۶۶.۷۸	۷۶۲۰.۸۲	۷۲۸۹.۵۰	۲۲۹۲۸.۱۸	۷۶۲۷.۵۶	۲۲۰۷.۱۱	۱۱۶۴۴.۶۰	۶۷۴۱.۲۴	۱۷۹۲.۲۳	۱۷۱۴.۸۳	۱۶۱۶.۱۴	۱۵۰۴.۵۶	۱۴۲۸.۸۷	۱۳۴۴.۸۵	۱۴۱۰.۲۱

شکل ۴-۱۸. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ دسامبر ساعت ۰۹:۰۰



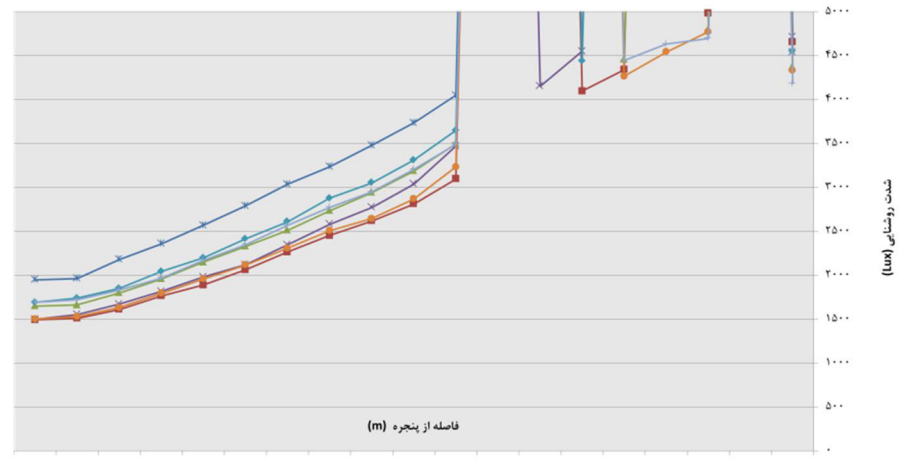
	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۲۸۳۱.۶۵	۳۳۳۰.۹۵	۱۷۸۸۲.۳۳	۱۷۹۱۶.۷۰	۸۱۰۴.۴۴	۸۰۲۵.۳۲	۸۰۳۰.۲۱	۸۱۳۴.۱۱	۲۷۹۷۵.۷۴	۲۶۵۶.۲۴	۱۲۰۹۶.۵۸	۷۱۴۲.۸۰	۲۱۹۷.۴۷	۲۰۷۹.۰۷	۱۹۶۴.۰۱	۱۸۲۱.۸۴	۱۷۱۲.۱۶	۱۶۳۸.۶۸	۱۵۸۳.۰۷
نمونه ۶۰/۴۰، افقی	۲۸۸۶.۶۲	۳۲۱۶.۲۸	۱۷۶۸۸.۲۷	۱۷۶۳۸.۰۹	۷۷۳۷.۶۱	۷۶۹۲.۸۳	۷۶۳۷.۴۸	۲۸۸۴.۳۱	۲۷۱۹.۲۱	۲۲۴۶.۲۴	۱۱۶۷۴.۸۹	۶۷۱۲.۰۴	۱۸۰۲.۱۹	۱۶۶۰.۲۶	۱۵۵۲.۳۱	۱۴۹۵.۹۵	۱۳۹۴.۴۸	۱۲۹۷.۸۴	۱۲۵۵.۸۲
نمونه ۶۰/۴۰، زاویه ۱۰درج	۲۸۲۳.۴۳	۳۲۱۴.۲۵	۱۷۷۱۳.۲۰	۱۷۶۱۴.۰۴	۷۸۲۸.۲۹	۷۸۰۹.۸۲	۷۸۰۱.۱۰	۳۰۸۸.۵۳	۷۷۶۰.۷۳	۲۴۶۶.۵۲	۱۱۸۶۸.۱۸	۶۹۳۴.۸۶	۱۹۹۴.۱۰	۱۸۶۵.۴۶	۱۷۴۹.۴۵	۱۶۶۹.۱۷	۱۵۹۰.۰۶	۱۴۸۶.۶۶	۱۵۱۱.۶۹
نمونه ۱۰۰داخلی، افقی	۲۸۸۳.۲۹	۳۳۵۰.۴۶	۱۷۸۶۸.۳۷	۱۷۸۰۸.۱۲	۷۹۰۶.۶۱	۷۷۹۱.۹۹	۷۷۰۸.۲۵	۷۷۶۴.۳۵	۲۷۰۱.۹۲	۲۲۹۵.۷۷	۱۱۷۵۴.۸۸	۶۸۴۷.۳۱	۱۸۱۹.۵۸	۱۷۴۵.۲۹	۱۶۶۹.۵۲	۱۵۶۹.۹۶	۱۴۵۱.۰۹	۱۴۱۹.۸۶	۱۳۶۶.۵۱
نمونه ۱۰۰داخلی، زاویه ۱۰ درجه	۲۸۲۹.۱۰	۳۲۸۱.۱۳	۱۷۸۰۹.۷۶	۱۷۶۹۹.۳۵	۷۸۸۳.۶۰	۷۷۸۴.۲۶	۷۷۶۸.۵۲	۷۷۷۹.۵۱	۲۸۸۰.۱۰	۲۴۱۶.۷۷	۱۱۸۳۵.۴۰	۶۹۱۵.۳۸	۱۹۶۷.۶۹	۱۸۴۶.۲۱	۱۷۲۶.۳۳	۱۶۶۱.۹۰	۱۵۴۹.۰۲	۱۴۴۰.۹۹	۱۴۶۸.۸۷
نمونه ۱۰۰خارجی، افقی	۲۸۲۱.۸۹	۳۰۲۵.۶۷	۱۷۵۲۸.۷۷	۱۷۵۲۵.۳۳	۷۶۸۷.۵۵	۷۶۳۸.۷۶	۷۶۷۴.۰۴	۲۷۶۲.۷۲	۲۹۲۷.۴۱	۲۱۶۱.۰۴	۱۱۶۴۷.۱۷	۶۷۲۳.۷۶	۱۷۷۷.۲۷	۱۶۶۹.۰۴	۱۵۹۸.۳۶	۱۴۹۲.۲۱	۱۴۱۲.۲۳	۱۳۴۰.۰۸	۱۳۴۰.۸۷
نمونه ۱۰۰خارجی، زاویه ۱۰درجه	۲۷۷۴.۳۷	۳۱۰۳.۹۱	۱۷۶۱۰.۴۰	۱۷۶۲۲.۶۴	۷۸۳۸.۹۶	۷۷۳۳.۲۷	۷۷۷۵.۸۱	۳۰۷۷.۳۳	۷۷۳۳.۵۲	۲۴۷۰.۹۲	۱۱۸۷۰.۶۳	۶۹۱۰.۱۷	۱۹۷۸.۳۸	۱۸۴۷.۸۱	۱۷۷۰.۹۵	۱۶۶۰.۲۰	۱۵۵۹.۸۷	۱۴۶۴.۸۲	۱۵۰۲.۷۳

شکل ۴-۱۹. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ دسامبر ساعت ۰۹:۰۰



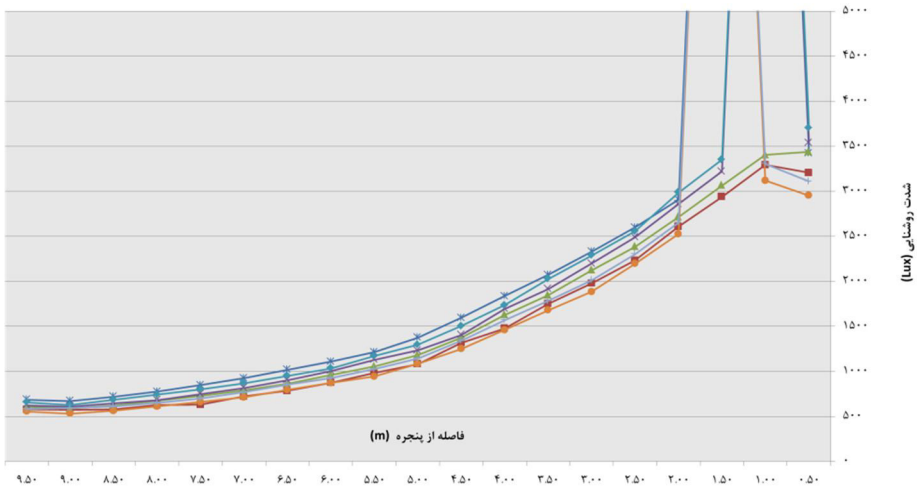
	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۴۵۳۸.۷۴	۲۴۶۰.۳۶	۵۳۶۷.۲۴	۲۴۵۹۵.۸	۲۴۲۷۳.۱	۲۴۱۵۵.۳	۲۳۹۶۰.۸	۲۳۶۷۲.۸	۴۰۵۰.۹۰	۳۷۳۶.۷۱	۳۴۸۱.۱۳	۳۰۳۶.۶۳	۲۷۹۱.۵۰	۲۵۶۸.۹۵	۲۳۵۹.۰۰	۲۱۸۰.۲۳	۱۹۶۴.۶۳	۱۹۵۰.۲۵
نمونه ۶۰/۴۰، افقی	۴۷۱۴.۱۸	۲۴۶۱۱.۲	۵۰۶۹.۲۹	۲۴۰۷۸.۹	۴۴۰۷.۶۶	۴۱۴۶.۵۵	۲۳۱۷۶.۶	۲۲۸۷۸.۳	۳۲۳۹.۸۶	۲۹۰۴.۱۴	۲۶۷۳.۱۰	۲۲۸۵.۰۱	۲۰۸۳.۹۳	۱۹۶۶.۱۳	۱۷۸۹.۰۶	۱۶۳۷.۶۶	۱۵۲۸.۵۹	۱۵۴۴.۳۶
نمونه ۶۰/۴۰، زاویه ۱۰درج	۴۷۹۶.۷۴	۲۴۶۱۸.۲	۵۲۴۰.۳۳	۲۴۲۵۳.۶	۴۶۵۴.۷۷	۲۳۷۳۴.۲	۲۳۴۶۵.۱	۲۳۲۳۸.۴	۳۶۱۵.۳۱	۳۲۲۴.۸۰	۲۹۵۲.۶۵	۲۵۸۰.۹۲	۲۳۷۴.۳۹	۲۱۴۹.۰۵	۱۹۹۳.۷۰	۱۸۵۰.۳۸	۱۶۷۸.۱۴	۱۶۹۰.۷۲
نمونه ۱۰۰داخلی، افقی	۴۸۹۷.۹۸	۲۵۰۱۹.۳	۵۷۲۷.۲۷	۲۴۸۵۸.۵	۲۴۶۳.۵	۴۶۳۹.۷۴	۴۲۶۴.۹۵	۲۲۲۵۸.۷	۳۶۰۸.۳۷	۳۱۰۶.۹۷	۲۸۲۳.۴۶	۲۶۵۳.۱۴	۲۴۲۹.۲۷	۲۲۱۶.۶۹	۲۰۲۶.۹۸	۱۸۵۴.۷۹	۱۶۸۶.۱۷	۱۵۹۲.۹۲	۱۵۵۶.۰۲
نمونه ۱۰۰داخلی، زاویه ۱۰ درجه	۴۸۴۶.۰۴	۲۴۹۱۷.۹	۵۵۹۳.۴۲	۲۴۶۹۱.۸	۲۴۲۲۴.۲	۴۷۵۲.۷۹	۲۳۷۸۲.۵	۲۲۴۵۷.۰	۳۸۶۶.۴۱	۳۴۴۱.۰۷	۳۱۴۶.۸۲	۲۹۵۷.۴۵	۲۷۴۱.۳۰	۲۵۰۴.۲۴	۲۲۲۳.۲۲	۲۱۱۷.۳۰	۱۹۷۶.۰۸	۱۸۰۵.۲۹	۱۷۵۷.۳۰
نمونه ۱۰۰خارجی، افقی	۴۲۲۹.۴۲	۲۴۰۰۴.۲	۴۵۹۴.۱۰	۴۳۸۰.۷۱	۴۱۵۹.۳۲	۲۲۲۷۰.۹	۲۳۰۷۵.۱	۲۲۷۷۵.۲	۳۱۹۰.۳۲	۲۸۷۱.۵۰	۲۶۶۸.۰۲	۲۴۹۴.۹۲	۲۲۹۳.۳۷	۲۱۳۲.۱۰	۱۹۷۸.۱۶	۱۸۲۳.۵۷	۱۶۸۲.۹۶	۱۵۷۱.۰۷	۱۵۶۳.۴۶
نمونه ۱۰۰خارجی، زاویه ۱۰درجه	۴۳۷۳.۰۷	۲۴۳۰۰.۸	۴۸۲۷.۹۷	۴۶۹۹.۹۶	۴۵۲۴.۵۵	۲۳۶۴۲.۳	۲۳۶۶.۴	۲۳۰۸۸.۰	۳۴۸۴.۶۶	۳۱۳۵.۸۵	۲۹۱۷.۵۱	۲۷۱۰.۷۹	۲۵۳۳.۶۰	۲۳۱۵.۵۲	۲۱۷۵.۰۸	۱۹۸۴.۵۴	۱۸۲۴.۲۸	۱۶۵۰.۳۱	۱۶۹۸.۴۶

شکل ۴-۲۰. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ دسامبر ساعت ۱۲:۰۰



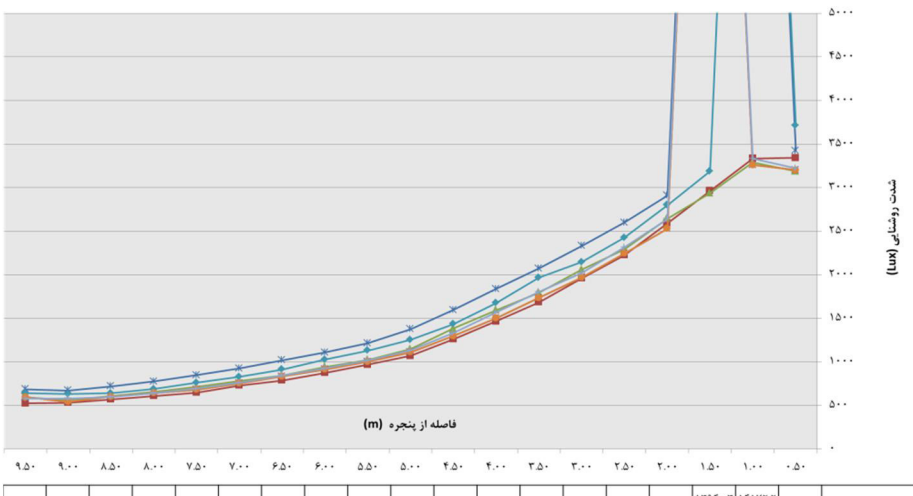
	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۴۵۳۸.۷۴	۲۴۶۰.۳۶	۵۳۶۷.۲۴	۲۴۵۹۵.۸	۲۴۲۷۳.۱	۲۴۱۵۵.۳	۲۳۹۶۰.۸	۲۳۶۷۲.۸	۴۰۵۰.۹۰	۳۷۳۶.۷۱	۳۴۸۱.۱۳	۳۰۳۶.۶۳	۲۷۹۱.۵۰	۲۵۶۸.۹۵	۲۳۵۹.۰۰	۲۱۸۰.۲۳	۱۹۶۴.۶۳	۱۹۵۰.۲۵
نمونه ۶۰/۴۰، افقی	۴۶۵۵.۰۴	۲۴۴۷۴.۴	۴۹۸۶.۳۸	۲۴۰۵۸.۹	۴۴۴۱.۵۸	۴۰۹۹.۴۵	۲۳۰۸۰.۲	۲۲۸۱۶.۷	۳۰۹۸.۱۶	۲۸۱۳.۶۷	۲۶۲۱.۰۲	۲۲۶۶.۵۴	۲۰۶۲.۷۶	۱۸۸۸.۴۳	۱۷۶۶.۲۷	۱۶۱۱.۶۲	۱۵۱۱.۵۰	۱۴۹۲.۹۶
نمونه ۶۰/۴۰، زاویه ۱۰درج	۴۳۷۲.۶۴	۲۴۱۹۶.۴	۴۷۹۲.۶۳	۲۳۹۲۷.۳	۴۴۵۸.۸۹	۲۳۵۸۳.۷	۲۳۲۷۲.۵	۲۳۱۵۷.۴	۳۴۹۸.۳۱	۳۱۹۰.۱۷	۲۹۴۴.۰۸	۲۷۳۶.۶۷	۲۵۱۴.۸۸	۲۳۳۰.۷۴	۲۱۴۸.۴۳	۱۹۵۸.۰۶	۱۸۰۰.۴۴	۱۶۶۲.۴۲	۱۶۴۹.۲۴
نمونه ۱۰۰داخلی، افقی	۴۷۱۳.۴۲	۲۴۸۲۱.۹	۵۶۲۰.۶۱	۲۴۶۷۲.۵	۲۴۲۲۳.۷	۴۱۵۵.۳۵	۴۱۵۵.۰۱	۲۳۱۲۵.۵	۳۴۷۱.۷۹	۳۰۴۰.۴۷	۲۷۷۴.۰۳	۲۵۸۱.۵۹	۲۳۴۶.۲۹	۲۱۲۱.۷۰	۱۹۸۰.۴۵	۱۸۱۷.۰۶	۱۶۷۲.۱۸	۱۵۵۴.۶۰	۱۴۹۸.۸۵
نمونه ۱۰۰داخلی، زاویه ۱۰ درجه	۴۵۵۱.۱۹	۲۴۵۷۶.۷	۵۲۰۳.۲۹	۲۴۲۳۶.۹	۲۳۸۵۸.۱	۴۴۳۷.۹۴	۲۳۲۹۳.۰	۲۳۱۴۵.۷	۳۶۵۰.۲۹	۳۱۱۲.۲۰	۲۷۸۷۸.۸۳	۲۶۰۵۵.۲۲	۲۴۱۵.۶۷	۲۲۱۸.۶۹	۲۰۴۳.۵۷	۱۸۵۱.۴۷	۱۷۳۸.۴۷	۱۶۹۱.۰۰
نمونه ۱۰۰خارجی، افقی	۴۳۳۵.۷۵	۲۴۱۸۵.۹	۴۷۷۲.۵۰	۴۵۴۵.۵۴	۴۲۶۶.۰۲	۲۳۳۸۲.۴	۲۳۰۱۵.۱	۲۳۲۶۰.۲	۲۳۳۳.۹۴	۲۸۷۱.۲۰	۲۶۴۷.۰۴	۲۵۰۷.۹۱	۲۳۰۸.۷۵	۲۱۱۸.۴۷	۱۹۵۹.۴۹	۱۷۹۵.۷۹	۱۶۳۴.۵۸	۱۵۳۰.۴۱	۱۵۰۳.۴۴
نمونه ۱۰۰خارجی، زاویه ۱۰درجه	۴۱۸۴.۰۴	۲۴۰۵۷.۰	۴۶۹۹.۲۲	۴۶۳۴.۶۹	۴۴۴۸.۶۲	۲۳۵۹۱.۵	۲۳۳۷۹.۷	۲۳۱۳۲.۵	۳۴۸۹.۶۰	۳۲۰۶.۱۰	۲۹۵۰.۰۹	۲۷۷۴.۶۶	۲۵۶۸.۴۵	۲۳۴۸.۸۹	۲۱۷۰.۱۵	۱۹۶۷.۵۴	۱۸۳۲.۹۰	۱۷۲۱.۸۵	۱۶۹۲.۷۰

شکل ۴-۲۱. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ دسامبر ساعت ۱۲:۰۰



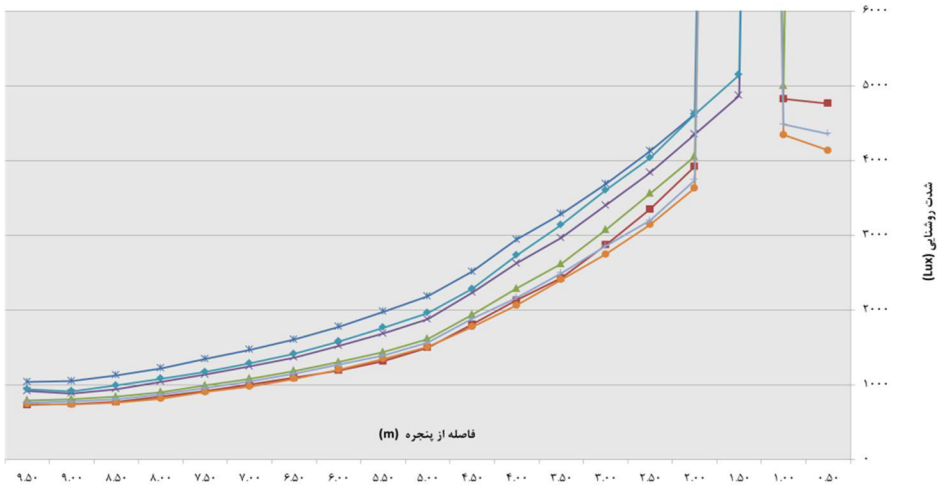
نمونه پایه	۳۴۲۳.۲۹	۱۴۱۷۲.۲۷	۱۳۹۴۰.۳۶	۲۹۰۸.۱۵	۲۵۹۷.۰۶	۲۳۲۹.۳۶	۱۸۳۶.۶۰	۱۵۹۵.۷۳	۱۳۷۴.۶۱	۱۲۱۴.۹۹	۱۱۰۷.۳۰	۱۰۱۸.۷۶	۹۲۳.۹۳	۸۴۶.۳۱	۷۷۳.۹۴	۷۲۰.۰۸	۶۷۱.۲۶	۶۸۶.۷۷
نمونه ۶۰/۴۰، افقی	۳۲۰۶.۰۴	۲۲۹۳.۲۲	۲۹۳۹.۲۳	۲۶۰۸.۸۱	۲۲۳۱.۷۳	۱۹۷۸.۳۵	۱۴۷۷.۲۲	۱۲۱۶.۹۷	۱۰۸۲.۰۹	۹۸۵.۱۶	۸۷۳.۵۷	۷۸۴.۸۴	۷۲۱.۲۹	۶۳۰.۴۳	۶۲۵.۱۳	۵۷۹.۰۵	۵۷۳.۹۲	۵۷۷.۱۱
نمونه ۶۰/۴۰، زاویه ۱۰درج	۳۴۳۷.۳۰	۲۴۰۴.۰۹	۳۰۶۳.۲۱	۲۷۱۴.۷۶	۲۳۸۴.۱۱	۲۱۲۲.۵۶	۱۸۴۴.۶۴	۱۶۲۶.۹۶	۱۱۷۹.۶۹	۱۰۵۴.۱۲	۹۵۹.۸۵	۸۶۳.۸۹	۷۹۰.۴۹	۷۳۰.۱۸	۶۷۴.۴۹	۶۲۴.۰۵	۵۸۵.۶۹	۶۰۸.۶۵
نمونه ۱۰۰داخلی، افقی	۳۵۳۸.۲۴	۱۴۲۵۲.۰۱	۳۲۲۰.۴۳	۲۸۵۹.۳۶	۲۴۸۹.۸۱	۲۱۹۶.۷۲	۱۹۱۶.۰۸	۱۶۹۴.۸۲	۱۴۰۳.۴۶	۱۱۲۹.۴۰	۱۰۰۳.۳۲	۹۰۲.۰۱	۸۱۵.۹۶	۷۴۷.۵۹	۶۸۰.۵۷	۶۴۵.۰۶	۶۰۸.۸۳	۶۲۳.۷۸
نمونه ۱۰۰داخلی، زاویه ۱۰ درجه	۳۷۰۲.۲۶	۱۴۴۳۰.۸۸	۳۳۵۱.۴۰	۲۹۸۶.۲۲	۲۵۵۵.۶۷	۲۲۸۶.۲۳	۲۰۲۶.۰۰	۱۷۳۵.۳۰	۱۵۰۳.۵۴	۱۲۹۶.۶۹	۱۰۳۲.۱۸	۹۵۱.۳۰	۸۶۸.۲۳	۸۰۱.۵۵	۷۴۰.۲۵	۶۸۳.۲۰	۶۲۴.۶۱	۶۵۶.۰۴
نمونه ۱۰۰خارجی، افقی	۲۹۵۲.۴۱	۳۱۱۹.۹۸	۱۳۵۰۴.۹۷	۲۵۲۴.۹۶	۲۱۹۵.۶۵	۱۸۸۳.۷۶	۱۶۸۰.۴۹	۱۴۶۰.۱۴	۱۲۴۸.۹۵	۱۰۸۴.۱۴	۹۴۴.۵۶	۷۹۳.۱۹	۷۱۲.۱۴	۶۵۸.۰۴	۶۱۰.۰۵	۵۶۳.۷۳	۵۳۰.۶۹	۵۵۶.۱۳
نمونه ۱۰۰خارجی، زاویه ۱۰درجه	۳۱۱۰.۶۹	۳۳۰۴.۶۴	۱۳۶۰۱.۰۳	۲۶۵۲.۹۲	۲۳۰۰.۶۹	۲۰۱۱.۶۳	۱۷۸۲.۵۰	۱۵۶۸.۸۰	۱۳۴۱.۲۱	۱۱۴۰.۵۸	۹۲۶.۸۴	۸۵۴.۱۸	۷۶۹.۷۹	۷۰۰.۶۲	۶۵۲.۶۹	۶۱۲.۴۷	۵۹۱.۰۷	۵۸۱.۷۷

شکل ۴-۲۲. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ مارس ساعت ۰۹:۰۰



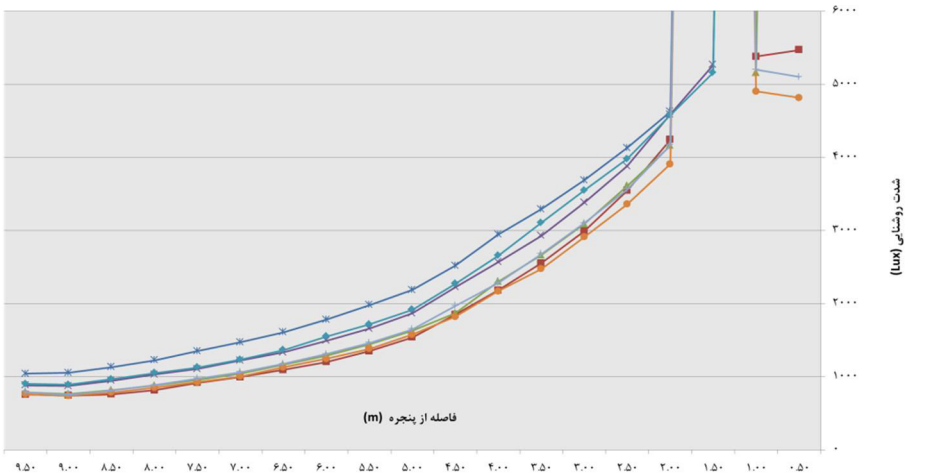
نمونه پایه	۳۴۲۳.۲۹	۱۴۱۷۲.۲۷	۱۳۹۴۰.۳۶	۲۹۰۸.۱۵	۲۵۹۷.۰۶	۲۳۲۹.۳۶	۱۸۳۶.۶۰	۱۵۹۵.۷۳	۱۳۷۴.۶۱	۱۲۱۴.۹۹	۱۱۰۷.۳۰	۱۰۱۸.۷۶	۹۲۳.۹۳	۸۴۶.۳۱	۷۷۳.۹۴	۷۲۰.۰۸	۶۷۱.۲۶	۶۸۶.۷۷
نمونه ۶۰/۴۰، افقی	۳۲۳۴.۳۴	۲۹۶۲.۷۱	۲۵۹۰.۲۸	۲۲۲۳.۶۰	۱۹۵۹.۱۳	۱۴۶۵.۱۷	۱۶۸۴.۱۴	۱۲۶۰.۷۲	۱۰۷۰.۲۳	۹۶۶.۸۴	۸۷۴.۲۰	۷۸۷.۶۸	۷۲۹.۲۰	۶۴۵.۹۹	۶۰۹.۱۴	۵۶۹.۳۳	۵۳۲.۲۸	۵۲۵.۲۳
نمونه ۶۰/۴۰، زاویه ۱۰درج	۳۱۸۶.۱۱	۲۳۸۹.۸۵	۲۹۳۵.۰۱	۲۶۴۴.۳۷	۲۲۹۲.۰۰	۲۰۵۷.۸۷	۱۷۹۶.۲۲	۱۳۸۲.۱۸	۱۱۴۷.۲۵	۱۰۲۳.۹۱	۹۴۰.۸۳	۸۴۵.۶۹	۷۸۳.۱۷	۷۱۲.۷۹	۶۵۳.۳۲	۶۰۶.۲۵	۵۶۳.۴۰	۵۹۳.۰۳
نمونه ۱۰۰داخلی، افقی	۳۱۹۹.۹۸	۳۲۵۸.۱۶	۱۳۵۶۱.۶۹	۲۵۲۸.۸۰	۲۲۴۳.۷۱	۱۹۶۷.۶۲	۱۷۳۴.۲۷	۱۲۹۶.۹۷	۱۱۰۸.۹۹	۱۰۰۰.۴۸	۹۱۲.۹۰	۸۳۳.۱۴	۷۵۴.۳۱	۶۸۰.۸۴	۶۴۲.۶۲	۶۰۱.۸۵	۵۴۱.۰۸	۵۹۶.۰۲
نمونه ۱۰۰داخلی، زاویه ۱۰ درجه	۳۷۱۱.۵۵	۱۴۳۷۹.۵۲	۳۱۸۵.۸۱	۲۷۹۷.۷۸	۲۴۲۵.۱۶	۲۱۴۴.۵۳	۱۹۶۵.۳۹	۱۴۳۳.۰۷	۱۲۵۳.۰۷	۱۱۲۸.۴۷	۱۰۲۵.۸۳	۹۱۱.۱۷	۸۲۸.۶۷	۷۵۹.۵۰	۶۸۹.۰۲	۶۴۰.۴۱	۶۳۰.۰۴	۶۳۹.۹۸
نمونه ۱۰۰خارجی، افقی	۳۱۹۹.۹۸	۳۲۵۸.۱۶	۱۳۵۶۱.۶۹	۲۵۲۸.۸۰	۲۲۴۳.۷۱	۱۹۶۷.۶۲	۱۷۳۴.۲۷	۱۲۹۶.۹۷	۱۱۰۸.۹۹	۱۰۰۰.۴۸	۹۱۲.۹۰	۸۳۳.۱۴	۷۵۴.۳۱	۶۸۰.۸۴	۶۴۲.۶۲	۶۰۱.۸۵	۵۴۱.۰۸	۵۹۶.۰۲
نمونه ۱۰۰خارجی، زاویه ۱۰درجه	۳۲۱۹.۴۱	۳۲۳۰.۲۲	۱۳۶۴۳.۵۳	۲۶۳۹.۴۸	۲۳۱۲.۸۹	۲۰۲۰.۱۹	۱۸۰۳.۳۲	۱۳۳۲.۹۶	۱۱۳۱.۶۹	۱۰۱۸.۶۵	۹۲۴.۲۶	۸۴۴.۷۵	۷۵۹.۹۰	۶۹۱.۷۳	۶۴۲.۳۸	۵۹۹.۶۹	۵۷۹.۷۷	۵۷۷.۳۹

شکل ۴-۲۳. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ مارس ساعت ۰۹:۰۰



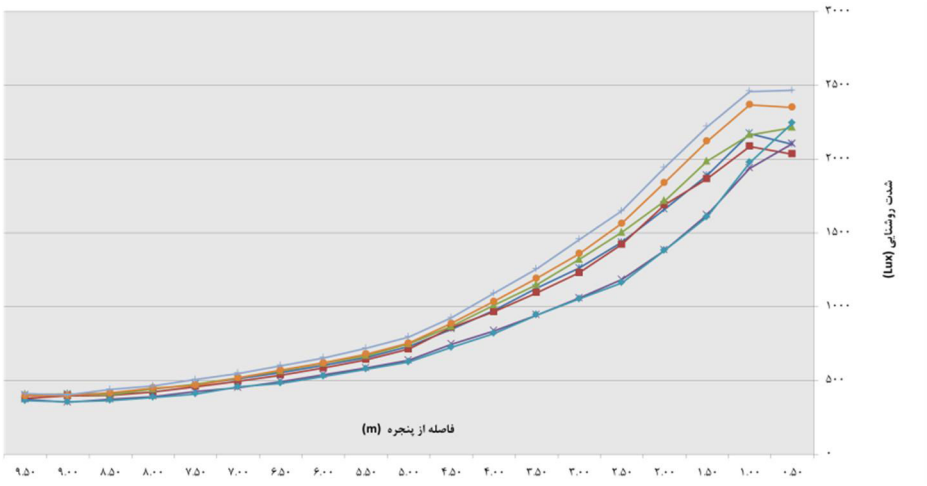
	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۳۸۶۳۴.۵۶	۳۸۸۰۲.۱۶	۳۸۳۲۳.۴۸	۴۶۲۶.۰۰	۴۱۲۷.۰۶	۳۶۸۷.۴۴	۲۳۸۹.۹۹	۲۹۴۴.۴۵	۲۵۱۶.۷۵	۲۱۸۵.۱۰	۱۹۸۰.۰۱	۱۷۷۸.۳۷	۱۶۰۶.۱۸	۱۴۷۰.۰۵	۱۲۲۲.۴۷	۱۱۳۰.۳۰	۱۰۵۰.۳۱	۱۰۴۰.۷۸
نمونه ۶۰/۴۰، افقی	۴۷۶۵.۹۸	۴۸۲۴.۲۵	۳۷۵۷۰.۲۷	۳۹۲۱.۸۴	۳۳۴۹.۶۸	۲۸۷۰.۴۰	۲۴۳۰.۰۷	۲۱۳۳.۰۲	۱۸۰۸.۳۸	۱۵۰۰.۲۶	۱۳۱۸.۶۷	۱۱۹۲.۰۰	۱۰۹۸.۶۹	۱۰۰۵.۴۴	۹۲۰.۴۸	۸۴۲.۳۷	۷۷۳.۱۳	۷۴۷.۱۹	۷۳۲.۸۶
نمونه ۶۰/۴۰، زاویه ۱۰درج	۳۸۲۲۴.۷۶	۵۰۰۴.۷۹	۳۷۸۱۹.۰۵	۴۰۵۶.۳۱	۳۵۶۱.۰۶	۳۰۷۵.۴۹	۲۶۲۱.۰۹	۲۲۸۹.۲۳	۱۹۴۰.۹۷	۱۶۱۶.۴۳	۱۴۳۸.۹۲	۱۳۰۶.۲۹	۱۱۸۶.۷۹	۱۰۸۴.۲۸	۹۹۳.۸۸	۹۰۵.۰۹	۸۴۳.۳۲	۸۱۱.۶۲	۷۹۲.۴۰
نمونه ۱۰۰داخلی، افقی	۳۸۷۹۷.۹۹	۳۸۶۸۶.۶۹	۴۸۶۷.۴۵	۴۳۵۳.۶۰	۳۸۳۹.۲۱	۳۴۰۱.۶۲	۲۹۶۶.۸۲	۲۶۲۶.۲۹	۲۲۳۴.۴۲	۱۸۷۸.۷۳	۱۶۸۸.۳۳	۱۵۲۳.۷۷	۱۳۶۶.۰۶	۱۲۴۹.۱۷	۱۱۳۷.۶۸	۱۰۴۱.۹۲	۹۴۳.۵۷	۸۸۷.۷۷	۹۱۷.۲۸
نمونه ۱۰۰داخلی، زاویه ۱۰ درجه	۳۸۹۷۱.۰۰	۳۸۹۵۶.۷۸	۵۱۴۶.۹۳	۴۶۲۰.۱۶	۴۰۳۴.۵۲	۳۶۰۵.۲۲	۳۱۴۰.۸۸	۲۷۳۲.۹۶	۲۳۸۴.۲۴	۱۹۶۱.۷۱	۱۷۶۶.۳۳	۱۵۸۰.۰۵	۱۴۱۶.۶۴	۱۲۸۷.۴۱	۱۱۷۳.۱۰	۱۰۸۲.۸۶	۹۹۴.۱۱	۹۱۴.۱۳	۹۴۰.۲۶
نمونه ۱۰۰خارجی، افقی	۴۱۳۶.۲۹	۴۳۴۵.۰۶	۳۷۲۸۱.۰۰	۳۶۳۳.۱۹	۳۱۴۴.۹۳	۲۷۴۸.۴۰	۲۴۰۷.۸۷	۲۰۶۴.۰۹	۱۷۷۷.۴۴	۱۵۰۸.۹۲	۱۳۴۸.۶۴	۱۲۰۳.۸۰	۱۰۸۱.۹۰	۹۷۹.۹۲	۹۰۷.۷۳	۸۱۷.۸۱	۷۶۴.۹۱	۷۳۸.۷۹	۷۴۵.۷۴
نمونه ۱۰۰خارجی، زاویه ۱۰درجه	۴۲۶۰.۲۵	۴۴۸۲.۴۹	۳۷۴۳۲.۴۶	۳۷۳۸.۶۷	۳۱۹۹.۶۲	۲۸۵۶.۰۴	۲۴۹۶.۶۲	۲۱۶۴.۷۷	۱۸۸۳.۷۸	۱۵۶۸.۴۵	۱۳۹۴.۶۹	۱۲۷۴.۴۲	۱۱۵۳.۶۰	۱۰۴۸.۴۸	۹۵۸.۵۶	۸۷۱.۱۳	۸۱۰.۹۱	۷۷۸.۷۵	۷۶۴.۲۱

شکل ۴-۲۴. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ مارس ساعت ۱۲:۰۰



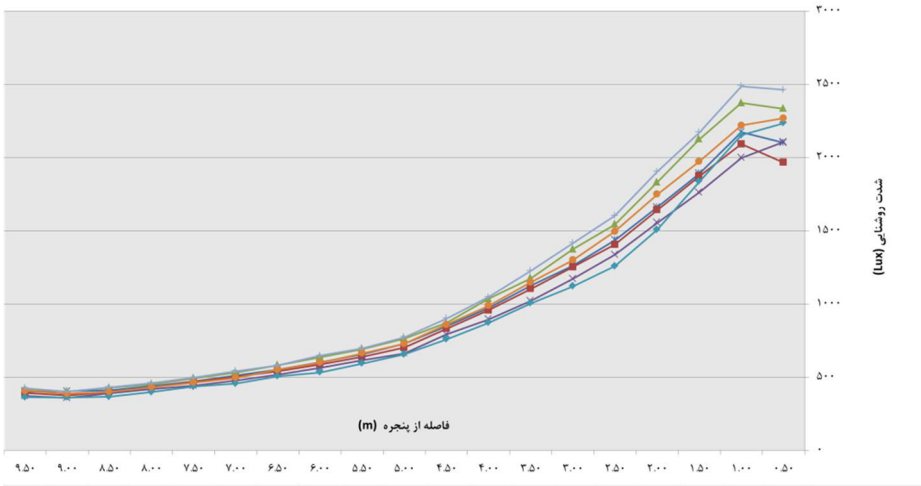
	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۳۸۶۳۴.۵۶	۳۸۸۰۲.۱۶	۳۸۳۲۳.۴۸	۴۶۲۶.۰۰	۴۱۲۷.۰۶	۳۶۸۷.۴۴	۲۳۸۹.۹۹	۲۹۴۴.۴۵	۲۵۱۶.۷۵	۲۱۸۵.۱۰	۱۹۸۰.۰۱	۱۷۷۸.۳۷	۱۶۰۶.۱۸	۱۴۷۰.۰۵	۱۲۲۲.۴۷	۱۱۳۰.۳۰	۱۰۵۰.۳۱	۱۰۴۰.۷۸
نمونه ۶۰/۴۰، افقی	۵۴۷۰.۴۶	۵۳۷۹.۹۷	۳۷۹۷۱.۴۱	۴۲۴۱.۵۷	۳۵۴۴.۴۱	۲۹۸۸.۰۵	۲۵۵۱.۸۰	۲۱۸۰.۶۹	۱۸۴۷.۰۳	۱۵۳۶.۷۹	۱۳۴۷.۹۴	۱۱۹۹.۹۳	۱۰۹۲.۱۴	۹۹۳.۰۷	۹۱۳.۴۸	۸۱۳.۳۶	۷۵۸.۹۸	۷۴۰.۵۴	۷۵۴.۴۰
نمونه ۶۰/۴۰، زاویه ۱۰درج	۳۸۴۴۱.۳۰	۵۱۵۷.۰۶	۳۸۰۳۰.۳۷	۴۱۶۱.۰۳	۳۶۰۶.۹۵	۳۰۸۷.۹۴	۲۶۶۳.۱۶	۲۲۹۸.۳۲	۱۸۶۶.۱۰	۱۶۲۶.۳۳	۱۴۴۰.۳۲	۱۲۸۶.۵۲	۱۱۶۱.۱۱	۱۰۴۳.۲۰	۹۵۳.۷۸	۸۷۵.۵۴	۸۱۳.۶۴	۷۶۱.۷۴	۷۸۵.۲۱
نمونه ۱۰۰داخلی، افقی	۳۸۷۷۸.۵۰	۳۸۸۲۹.۱۶	۵۲۶۵.۹۷	۴۵۸۷.۸۰	۳۸۷۷.۸۲	۳۲۸۱.۵۷	۲۹۲۶.۰۶	۲۵۶۵.۸۸	۲۲۲۴.۶۱	۱۸۶۵.۶۱	۱۶۵۷.۱۵	۱۴۹۱.۲۶	۱۳۳۱.۵۱	۱۲۱۹.۳۳	۱۱۰۳.۴۱	۱۰۲۷.۲۷	۹۴۴.۱۲	۸۶۹.۹۹	۸۸۱.۲۴
نمونه ۱۰۰داخلی، زاویه ۱۰ درجه	۳۹۲۱۶.۷۱	۳۹۱۲۰.۸۵	۵۱۵۶.۸۳	۴۵۷۸.۲۷	۳۹۷۷.۳۱	۳۵۴۵.۶۳	۳۱۰۵.۴۵	۲۶۵۴.۶۵	۲۲۶۹.۰۸	۱۹۱۴.۰۸	۱۷۱۳.۷۱	۱۵۴۹.۴۱	۱۳۶۱.۳۳	۱۲۳۱.۷۹	۱۱۲۳.۲۶	۱۰۴۷.۹۹	۹۶۳.۰۹	۸۸۷.۷۳	۹۰۰.۴۵
نمونه ۱۰۰خارجی، افقی	۴۸۱۴.۱۹	۴۹۰۲.۴۳	۳۷۷۲۹.۶۱	۳۹۰۷.۷۹	۳۲۵۶.۴۷	۲۹۱۱.۱۳	۲۴۷۵.۰۰	۲۱۶۷.۲۵	۱۸۲۰.۵۰	۱۵۷۵.۴۱	۱۳۷۸.۷۶	۱۲۴۴.۴۲	۱۱۲۶.۳۲	۱۰۰۳.۴۰	۹۲۳.۲۳	۸۴۷.۰۴	۷۷۹.۹۳	۷۳۷.۱۰	۷۵۶.۲۰
نمونه ۱۰۰خارجی، زاویه ۱۰درجه	۵۰۹۸.۸۰	۵۱۹۹.۷۹	۳۷۹۸۶.۱۹	۴۱۶۶.۹۵	۳۵۶۰.۳۲	۳۰۹۸.۹۷	۲۶۷۶.۳۶	۲۲۸۰.۳۸	۱۹۶۷.۶۶	۱۶۴۶.۹۷	۱۴۶۱.۱۷	۱۳۰۸.۵۸	۱۱۷۳.۶۷	۱۰۵۹.۴۸	۹۷۱.۶۱	۸۸۲.۵۸	۸۰۷.۷۳	۷۵۲.۴۲	۷۸۷.۸۶

شکل ۴-۲۵. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ مارس ساعت ۱۲:۰۰



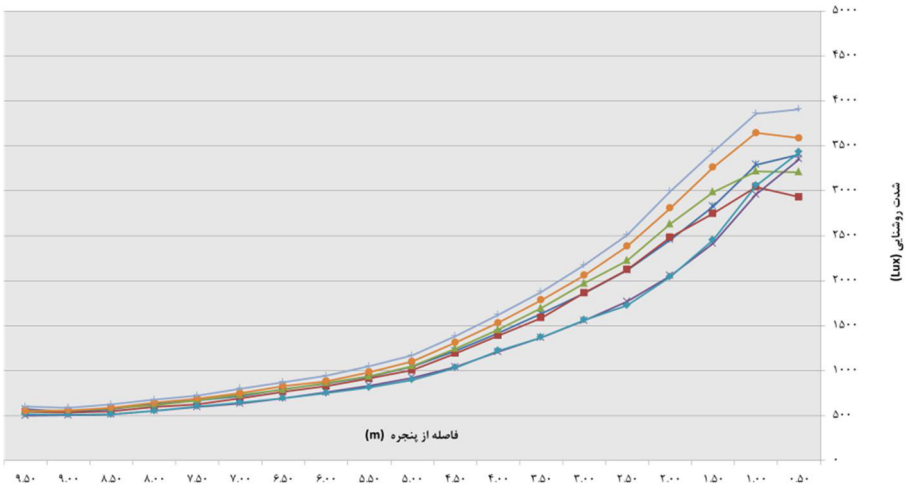
	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۲۱۰۰.۱۷	۲۱۷۲.۸۸	۱۸۹۰.۱۰	۱۶۶۰.۳۲	۱۴۳۵.۸۹	۱۲۶۱.۶۵	۱۱۲۵.۳۷	۹۷۳.۴۴	۸۴۷.۴۰	۷۲۸.۷۹	۶۵۵.۴۹	۶۰۱.۸۴	۵۵۱.۱۹	۵۱۰.۷۴	۴۷۱.۵۵	۴۴۰.۹۸	۴۱۲.۰۴	۴۰۴.۵۷	۴۰۱.۰۶
نمونه ۶۰/۴۰، افقی	۲۰۳۳.۲۳	۲۰۸۶.۵۰	۱۸۶۶.۴۲	۱۶۸۸.۹۰	۱۴۲۱.۰۲	۱۲۳۰.۰۵	۱۰۹۳.۵۷	۹۶۴.۸۵	۸۵۹.۱۹	۷۱۲.۰۸	۶۴۰.۱۷	۵۸۴.۰۳	۵۳۶.۴۳	۴۹۳.۷۵	۴۵۶.۹۷	۴۲۰.۷۱	۳۹۷.۰۷	۳۹۶.۱۰	۳۷۷.۹۲
نمونه ۶۰/۴۰، زاویه ۱۰درج	۲۲۱۴.۴۴	۲۱۶۴.۲۷	۱۹۸۵.۸۵	۱۷۱۶.۲۱	۱۵۰۳.۴۵	۱۳۱۹.۱۷	۱۱۴۸.۱۷	۱۰۱۰.۵۸	۸۶۵.۵۸	۷۴۷.۱۰	۶۶۶.۸۳	۶۱۵.۳۸	۵۶۳.۶۰	۵۱۸.۶۸	۴۷۳.۸۱	۴۴۰.۷۹	۴۰۲.۷۸	۴۰۷.۵۷	۴۰۵.۱۱
نمونه ۱۰۰داخلی، افقی	۲۱۰۴.۵۱	۱۹۳۸.۱۸	۱۶۲۲.۶۲	۱۳۸۲.۱۴	۱۱۸۲.۸۳	۱۰۵۸.۴۰	۹۴۳.۳۵	۸۳۵.۸۳	۷۴۴.۵۹	۶۳۶.۶۱	۵۸۴.۳۷	۵۳۷.۷۹	۴۹۲.۴۹	۴۴۹.۶۰	۴۲۳.۶۴	۳۹۱.۰۴	۳۷۱.۱۶	۳۵۱.۱۵	۳۷۱.۶۸
نمونه ۱۰۰داخلی، زاویه ۱۰ درجه	۲۲۴۴.۱۴	۱۹۷۴.۸۲	۱۶۰۷.۰۴	۱۳۸۱.۱۶	۱۱۶۱.۴۱	۱۰۵۱.۶۴	۹۴۲.۳۴	۸۱۸.۴۷	۷۲۲.۷۴	۶۲۵.۲۴	۵۷۶.۳۸	۵۲۷.۲۱	۴۸۱.۳۲	۴۵۵.۵۶	۴۰۸.۵۴	۳۸۴.۶۹	۳۶۵.۰۰	۳۵۴.۶۰	۳۶۲.۵۴
نمونه ۱۰۰خارجی، افقی	۲۳۵۰.۴۹	۲۳۶۸.۶۹	۲۱۲۰.۶۵	۱۸۴۰.۲۳	۱۵۶۴.۵۰	۱۳۵۹.۲۳	۱۱۹۱.۱۲	۱۰۳۵.۰۶	۸۸۵.۶۰	۷۵۲.۷۰	۶۷۸.۷۳	۶۱۸.۳۱	۵۶۸.۶۶	۵۱۶.۹۸	۴۶۵.۵۱	۴۴۹.۲۵	۴۱۵.۳۰	۳۹۷.۵۷	۳۹۴.۵۰
نمونه ۱۰۰خارجی، زاویه ۱۰درجه	۲۴۶۵.۰۹	۲۴۵۸.۲۷	۲۲۲۰.۰۲	۱۹۴۲.۲۷	۱۶۴۸.۹۰	۱۴۵۴.۳۱	۱۲۵۶.۲۲	۱۰۸۹.۴۶	۹۲۳.۴۵	۷۹۵.۴۱	۷۱۷.۱۵	۶۵۲.۷۶	۶۰۰.۵۲	۵۴۸.۱۵	۵۰۵.۳۰	۴۶۲.۳۱	۴۲۸.۸۸	۴۰۱.۹۶	۴۰۸.۹۵

شکل ۴-۲۶. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ ژوئن ساعت ۰۹:۰۰



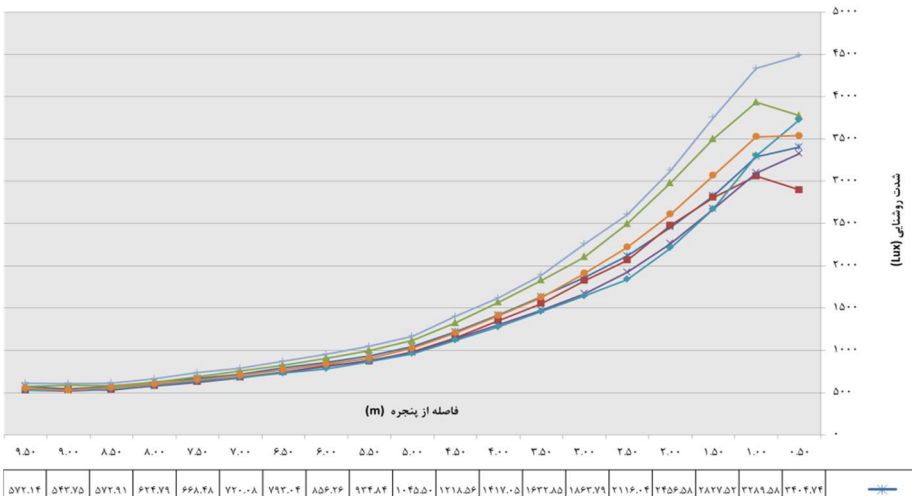
	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۲۱۰۰.۱۷	۲۱۷۲.۸۸	۱۸۹۰.۱۰	۱۶۶۰.۳۲	۱۴۳۵.۸۹	۱۲۶۱.۶۵	۱۱۲۵.۳۷	۹۷۳.۴۴	۸۴۷.۴۰	۷۲۸.۷۹	۶۵۵.۴۹	۶۰۱.۸۴	۵۵۱.۱۹	۵۱۰.۷۴	۴۷۱.۵۵	۴۴۰.۹۸	۴۱۲.۰۴	۴۰۴.۵۷	۴۰۱.۰۶
نمونه ۶۰/۴۰، افقی	۱۹۶۶.۲۶	۲۰۹۱.۱۹	۱۸۷۳.۰۸	۱۶۴۰.۷۴	۱۴۰۶.۲۲	۱۲۵۲.۸۵	۱۱۰۳.۳۴	۹۵۶.۸۸	۸۳۱.۴۴	۷۰۲.۳۳	۶۴۰.۱۸	۵۸۷.۵۱	۵۴۲.۱۱	۵۰۲.۱۲	۴۶۷.۷۱	۴۳۱.۵۳	۳۹۹.۲۵	۳۷۵.۳۴	۳۹۳.۰۳
نمونه ۶۰/۴۰، زاویه ۱۰درج	۲۳۳۳.۲۸	۲۳۷۱.۶۲	۲۱۲۴.۸۶	۱۸۳۰.۶۸	۱۵۴۲.۶۰	۱۳۷۴.۳۰	۱۱۷۵.۶۲	۱۰۳۵.۴۶	۸۷۰.۰۰	۷۶۴.۰۸	۶۹۲.۳۸	۶۳۶.۵۱	۵۸۱.۴۵	۵۳۲.۷۱	۴۹۱.۸۴	۴۵۲.۴۱	۴۲۶.۶۰	۴۰۲.۸۴	۴۱۹.۰۳
نمونه ۱۰۰داخلی، افقی	۲۱۰۵.۳۶	۱۹۹۷.۹۵	۱۷۶۱.۰۴	۱۵۵۵.۱۲	۱۳۳۵.۵۹	۱۱۷۰.۵۶	۱۰۲۰.۱۸	۸۹۴.۳۲	۷۹۲.۲۹	۶۶۳.۳۵	۶۱۶.۲۵	۵۶۴.۸۱	۵۱۷.۹۷	۴۷۸.۰۸	۴۴۱.۸۹	۴۱۷.۹۳	۳۹۰.۱۷	۳۵۸.۲۰	۳۷۲.۶۳
نمونه ۱۰۰داخلی، زاویه ۱۰ درجه	۲۲۳۵.۳۲	۲۱۵۲.۹۱	۱۸۳۴.۹۵	۱۵۰۷.۱۲	۱۲۵۷.۴۱	۱۱۲۰.۶۶	۱۰۰۴.۶۳	۸۷۲.۱۵	۷۵۸.۵۳	۶۵۵.۴۱	۵۹۳.۵۵	۵۳۳.۵۵	۵۰۶.۷۵	۴۵۵.۸۶	۴۲۵.۷۴	۳۹۸.۲۰	۳۶۷.۱۵	۳۶۱.۶۳	۳۶۳.۸۴
نمونه ۱۰۰خارجی، افقی	۲۲۶۷.۵۷	۲۲۱۹.۲۱	۱۹۷۲.۵۹	۱۷۴۹.۱۵	۱۴۹۴.۶۰	۱۲۹۹.۶۸	۱۱۴۷.۲۸	۹۸۶.۸۹	۸۵۸.۲۴	۷۲۸.۱۸	۶۶۳.۳۷	۶۰۰.۰۸	۵۵۱.۴۰	۴۹۵.۶۱	۴۶۳.۶۳	۴۳۱.۷۲	۳۹۹.۸۳	۳۸۷.۱۸	۴۰۷.۴۶
نمونه ۱۰۰خارجی، زاویه ۱۰درجه	۲۴۶۲.۰۸	۲۴۸۷.۲۲	۲۱۷۱.۲۶	۱۹۰۳.۰۶	۱۶۰۲.۹۳	۱۴۱۵.۵۸	۱۲۲۶.۶۴	۱۰۴۷.۱۷	۹۰۰.۴۲	۷۷۳.۳۶	۶۹۷.۶۹	۶۴۶.۹۷	۵۸۰.۱۶	۵۴۲.۱۳	۴۹۷.۲۶	۴۵۸.۶۲	۴۲۹.۵۱	۴۰۰.۹۱	۴۲۵.۷۹

شکل ۴-۲۷. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ ژوئن ساعت ۰۹:۰۰



	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۳۴۰۴.۷۴	۳۲۸۹.۵۸	۲۸۲۷.۵۲	۲۴۵۶.۵۸	۲۱۱۶.۰۴	۱۸۶۳.۷۹	۱۶۳۲.۸۵	۱۴۱۷.۰۵	۱۲۱۸.۵۶	۱۰۴۵.۵۰	۹۳۴.۸۴	۸۵۶.۲۶	۷۹۳.۰۴	۷۲۰.۰۸	۶۶۸.۴۸	۶۲۴.۷۹	۵۷۲.۹۱	۵۴۳.۷۵	۵۷۲.۱۴
نمونه ۶۰/۴۰ افقی	۲۹۳۱.۵۷	۳۰۴۳.۶۶	۲۷۴۶.۶۷	۲۴۸۳.۵۲	۲۱۲۲.۸۲	۱۸۶۵.۲۷	۱۵۸۶.۷۴	۱۳۹۰.۸۸	۱۱۹۱.۶۱	۱۰۰۵.۴۰	۹۱۴.۱۵	۸۲۸.۲۶	۷۶۸.۱۱	۶۹۵.۳۲	۶۲۶.۷۷	۵۹۷.۵۱	۵۵۰.۵۰	۵۳۴.۳۲	۵۴۳.۰۲
نمونه ۶۰/۴۰ زاویه ۱۰درج	۳۲۰۸.۷۳	۳۲۱۹.۰۶	۲۹۸۵.۹۹	۲۶۳۱.۶۶	۲۲۲۵.۱۵	۱۹۷۲.۱۱	۱۶۹۶.۰۵	۱۴۵۶.۰۴	۱۲۴۵.۵۷	۱۰۵۳.۳۷	۹۳۸.۴۳	۸۶۴.۶۷	۷۸۸.۶۳	۷۳۱.۴۰	۶۷۱.۲۹	۶۱۷.۷۲	۵۸۰.۷۳	۵۵۲.۹۱	۵۴۸.۱۶
نمونه ۱۰۰داخلی، افقی	۳۳۵۳.۸۶	۲۹۶۰.۶۸	۲۴۱۴.۸۶	۲۰۵۶.۰۵	۱۷۶۸.۲۴	۱۵۵۵.۶۹	۱۳۶۶.۹۶	۱۲۰۹.۵۶	۱۰۴۰.۹۲	۹۲۲.۷۰	۸۳۵.۷۳	۷۶۰.۳۸	۶۹۶.۲۱	۶۳۶.۱۷	۵۹۵.۸۹	۵۵۵.۶۳	۵۱۴.۶۵	۵۰۵.۴۲	۴۹۹.۳۶
نمونه ۱۰۰داخلی، زاویه ۱۰ درجه	۳۴۲۹.۷۶	۳۰۵۸.۴۶	۲۴۵۳.۱۸	۲۰۴۳.۱۲	۱۷۲۵.۹۳	۱۵۶۳.۰۳	۱۳۷۱.۰۵	۱۲۲۲.۲۳	۱۰۳۴.۰۷	۸۹۶.۸۰	۸۱۳.۰۳	۷۵۱.۸۴	۶۹۲.۹۰	۶۴۴.۵۵	۶۰۴.۲۹	۵۵۱.۸۳	۵۱۵.۳۵	۵۱۲.۱۱	۵۱۶.۵۸
نمونه ۱۰۰خارجی، افقی	۳۵۸۶.۱۵	۳۶۴۵.۳۱	۳۲۶۱.۲۰	۲۸۰۸.۸۸	۲۳۸۳.۵۹	۲۰۶۱.۴۸	۱۷۸۶.۰۶	۱۵۳۱.۰۳	۱۳۱۳.۶۲	۱۱۰۲.۸۸	۹۸۵.۸۲	۸۸۴.۳۳	۸۲۹.۴۹	۷۴۹.۵۴	۶۸۹.۵۲	۶۴۳.۶۹	۵۸۹.۲۵	۵۶۰.۴۰	۵۵۲.۸۲
نمونه ۱۰۰خارجی، زاویه ۱۰درجه	۳۹۰۷.۱۵	۳۸۶۰.۱۱	۳۴۳۵.۰۰	۲۹۹۵.۱۲	۲۵۰۹.۰۷	۲۱۷۲.۸۵	۱۸۷۶.۲۳	۱۶۲۱.۰۵	۱۳۸۵.۹۶	۱۱۷۰.۹۶	۱۰۴۸.۷۹	۹۴۳.۸۹	۸۷۳.۰۷	۸۰۰.۷۹	۷۲۴.۵۹	۶۷۸.۶۷	۶۴۵.۷۱	۵۸۸.۰۹	۶۰۲.۳۷

شکل ۴-۲۸. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ ژوئن ساعت ۱۲:۰۰



	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۳۴۰۴.۷۴	۳۲۸۹.۵۸	۲۸۲۷.۵۲	۲۴۵۶.۵۸	۲۱۱۶.۰۴	۱۸۶۳.۷۹	۱۶۳۲.۸۵	۱۴۱۷.۰۵	۱۲۱۸.۵۶	۱۰۴۵.۵۰	۹۳۴.۸۴	۸۵۶.۲۶	۷۹۳.۰۴	۷۲۰.۰۸	۶۶۸.۴۸	۶۲۴.۷۹	۵۷۲.۹۱	۵۴۳.۷۵	۵۷۲.۱۴
نمونه ۶۰/۴۰ افقی	۲۸۹۷.۴۳	۳۰۶۱.۰۲	۲۸۰۷.۶۶	۲۴۷۶.۶۷	۲۰۶۶.۲۶	۱۸۲۳.۸۲	۱۵۵۳.۹۴	۱۳۴۸.۹۰	۱۱۴۹.۲۲	۹۸۴.۷۳	۸۷۱.۷۹	۸۱۷.۹۴	۷۴۴.۴۷	۶۸۲.۹۹	۶۳۰.۰۳	۵۸۱.۲۷	۵۳۲.۰۳	۵۳۸.۱۱	۵۲۹.۶۹
نمونه ۶۰/۴۰ زاویه ۱۰درج	۳۷۷۴.۶۳	۳۹۳۵.۴۸	۳۴۹۹.۷۷	۲۹۷۸.۳۹	۲۴۹۶.۳۴	۲۱۰۲.۶۲	۱۸۲۸.۴۳	۱۵۶۷.۹۲	۱۳۲۵.۹۳	۱۱۱۷.۱۵	۹۹۸.۹۲	۹۰۸.۵۵	۸۲۴.۱۵	۷۵۵.۸۷	۶۸۷.۳۰	۶۱۹.۸۴	۵۸۴.۵۲	۵۸۷.۱۸	۵۷۳.۸۰
نمونه ۱۰۰داخلی، افقی	۳۳۲۶.۷۲	۳۰۹۷.۸۲	۲۶۷۴.۰۰	۲۲۶۴.۰۶	۱۹۲۲.۳۹	۱۶۶۸.۶۳	۱۴۷۵.۷۰	۱۳۰۲.۴۰	۱۱۳۷.۷۱	۹۷۱.۹۳	۸۸۳.۳۳	۸۰۹.۸۲	۷۴۲.۹۲	۶۷۵.۳۱	۶۲۳.۶۷	۵۷۸.۵۳	۵۳۹.۳۸	۵۲۱.۶۷	۵۳۰.۷۲
نمونه ۱۰۰داخلی، زاویه ۱۰ درجه	۳۷۲۵.۸۱	۳۳۰۰.۳۱	۲۶۷۱.۶۷	۲۲۱۰.۱۴	۱۸۳۷.۲۸	۱۶۴۴.۱۸	۱۴۶۰.۵۰	۱۲۷۵.۶۶	۱۱۱۸.۸۵	۹۶۰.۷۲	۸۶۵.۵۹	۷۸۰.۹۵	۷۳۰.۵۲	۶۸۱.۹۹	۶۳۴.۷۵	۵۸۵.۶۴	۵۴۰.۷۰	۵۲۷.۹۰	۵۳۱.۱۶
نمونه ۱۰۰خارجی، افقی	۳۵۳۸.۶۴	۳۵۲۵.۹۳	۳۰۶۷.۸۴	۲۶۰۹.۲۷	۲۲۱۸.۸۱	۱۹۱۰.۷۵	۱۶۲۶.۷۵	۱۴۰۹.۵۴	۱۲۰۷.۲۷	۱۰۲۶.۳۵	۹۰۷.۵۷	۸۳۷.۸۹	۷۶۸.۹۴	۷۰۷.۹۳	۶۵۱.۲۰	۶۰۰.۳۵	۵۶۲.۴۸	۵۲۸.۱۶	۵۴۹.۴۰
نمونه ۱۰۰خارجی، زاویه ۱۰درجه	۴۴۸۵.۷۸	۴۳۳۴.۰۹	۳۷۵۴.۳۲	۳۱۲۷.۲۳	۲۶۰۴.۵۲	۲۲۵۷.۵۴	۱۸۹۱.۶۴	۱۶۱۸.۱۷	۱۴۰۱.۹۷	۱۱۶۷.۰۷	۱۰۵۰.۳۶	۹۵۳.۷۰	۸۷۱.۰۰	۷۹۰.۳۱	۷۲۵.۸۴	۶۶۴.۰۲	۶۱۲.۶۳	۶۰۹.۰۰	۶۱۴.۴۳

شکل ۴-۲۹. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ ژوئن ساعت ۱۲:۰۰

در همه موارد رف‌های نور با زاویه ۱۰ درجه نسبت به نمونه افقی عملکرد بهتری داشتند.
رف‌های با جنس پخش‌کننده و منعکس‌کننده عملکرد متفاوتی برای نمونه‌های متفاوت با زوایای متفاوت داشتند.

نتایج برای نمونه‌ها در زاویه افقی:

هنگامی‌که ارتفاع خورشید پایین است، در تاریخ (۲۱ دسامبر) رف‌های پخش‌کننده در مقایسه با نوع آینه‌ای در دو ساعت ۹ و ۱۲ عملکرد بهتری در رابطه با افزایش نور در عمق اتاق و افزایش یکنواختی دارند، نمونه ۱ متر داخلی با زاویه ۱۰ درجه در ارتفاع ۲.۵۰ متری از سطح زمین بهترین عملکرد را در رابطه با افزایش نور در عمق اتاق دارد.

در ۲۱ مارس، برای نمونه ۶۰/۴۰ و ۱ متر داخلی در هر دو ساعت ۹ و ۱۲ رف نور پخش‌کننده عملکرد بهتری نسبت به منعکس‌کننده دارد درحالی‌که برای نمونه ۱ متر خارجی در هر دو ساعت ۹ و ۱۲ نوع منعکس‌کننده عملکرد بهتری دارد.

در ۲۱ ژوئن، برای نمونه ۶۰/۴۰ در ساعت ۹ رف‌های منعکس‌کننده عملکرد بهتری دارند درحالی‌که در ساعت ۱۲ عملکرد رف‌های پخش‌کننده بهتر است. برای نمونه ۱۰۰ داخلی در هر دو ساعت ۹ و ۱۲ عملکرد رف‌های منعکس‌کننده بهتر است و برای نمونه ۱ متر خارجی برای ساعت ۹ نوع پخش‌کننده و در ساعت ۱۲ نوع منعکس‌کننده عملکرد بهتری دارند.

نتایج برای نمونه‌ها در زاویه ۱۰ درجه:

در ۲۱ دسامبر، ساعت ۹ عملکرد رف‌های منعکس‌کننده بهتر است و در ساعت ۱۲ عملکرد رف‌های پخش‌کننده. برای نمونه ۱ متر داخلی، رف‌های پخش‌کننده عملکرد بهتری در مقایسه با رف‌های منعکس‌کننده دارند. برای نمونه ۱ متر خارجی رف‌های منعکس‌کننده عملکردشان بهتر است.

در ۲۱ مارس: برای نمونه ۶۰/۴۰ و ۱ متر داخلی در هر دو ساعت ۹ و ۱۲ عملکرد رف‌های پخش‌کننده بهتر از نوع منعکس‌کننده است. برای نمونه ۱ متر خارجی در ساعت ۹ عملکرد رف‌های پخش‌کننده بهتر است درحالی‌که در ساعت ۱۲ عملکرد رف‌های منعکس‌کننده.

در ۲۱ ژوئن، برای نمونه ۶۰/۴۰ و ۱ متر داخلی در هر دو ساعت ۹ و ۱۲ عملکرد رف‌های منعکس‌کننده بهتر از پخش‌کننده است، برای نمونه ۱ متر خارجی در دو ساعت ۹ و ۱۲ عملکرد رف‌های پخش کننده بهتر از منعکس کننده است.

جدول ۴-۳ خلاصه‌ای از موارد گفته شده را ارائه می‌دهد.

جدول ۴-۳. مقایسه عملکرد رف‌های نور با عرض ۱ متر

تاریخ	ساعت	۶۰/۴۰	۱۰۰ داخلی	۱۰۰ خارجی	۶۰/۴۰	۱۰۰ داخلی	۱۰۰ خارجی
		زاویه افقی			زاویه ۱۰ درجه		
۲۱ دسامبر	۹	پخش کننده	پخش کننده	پخش کننده	منعکس کننده	پخش کننده	منعکس کننده
	۱۲	پخش کننده	پخش کننده	پخش کننده	پخش کننده	پخش کننده	منعکس کننده
۲۱ مارس	۹	پخش کننده	پخش کننده	منعکس کننده	پخش کننده	پخش کننده	پخش کننده
	۱۲	پخش کننده	پخش کننده	منعکس کننده	پخش کننده	پخش کننده	منعکس کننده
۲۱ ژوئن	۹	منعکس کننده	منعکس کننده	منعکس کننده	منعکس کننده	منعکس کننده	پخش کننده
	۱۲	پخش کننده	منعکس کننده	پخش کننده	منعکس کننده	منعکس کننده	پخش کننده

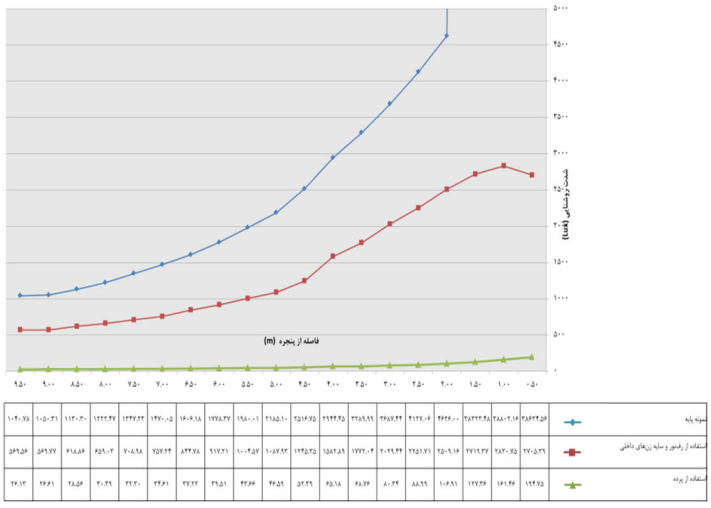
نمونه ۶۰/۴۰ و ۱ متر داخلی در آسمان آفتابی هر دو دارای عملکرد خوبی در رابطه با معیارهای تعریف شده هستند، در ۲۱ دسامبر و ۲۱ مارس رف نور پخش کننده عملکرد بهتری نسبت به نوع آینه‌ای دارد، در ۲۱ ژوئن برای نمونه ۶۰/۴۰ و ۱ متر داخلی نوع منعکس کننده ترجیح داده می‌شود.

با توجه به این‌که در تاریخ‌های ۲۱ دسامبر و ۲۱ ژوئن بیشترین استفاده از آتلیه راداریم درنتیجه رف‌های نور پخش کننده ترجیح داده می‌شوند.

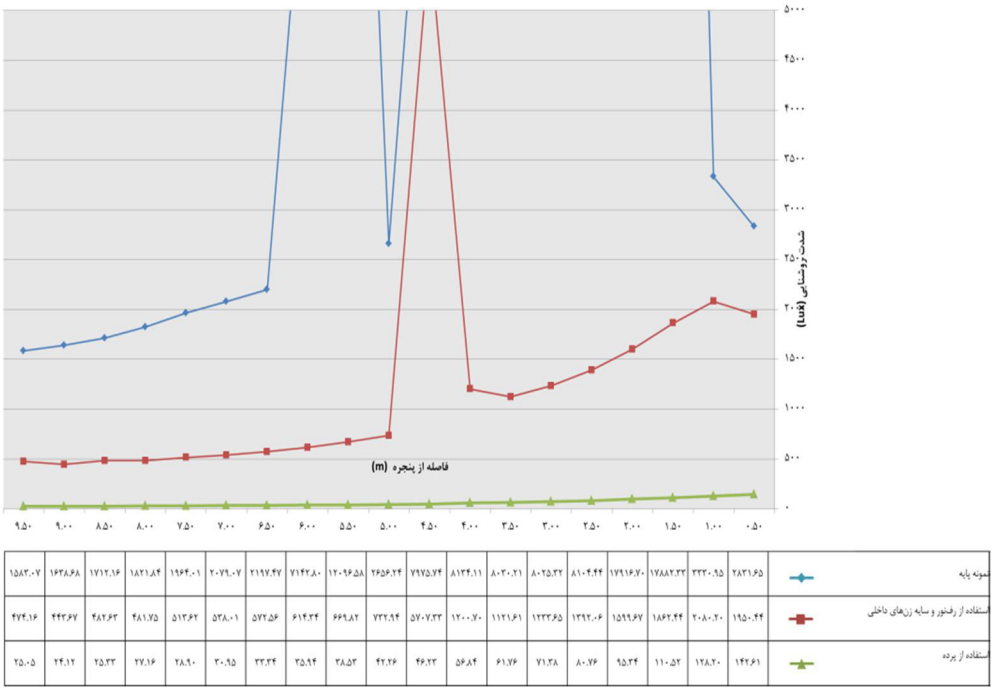
۴-۴-۲-۳ مرحله ۳: مطالعه عملکرد رف نور و لوورها

در این مرحله عملکرد رف نور و سیستم سایه زنی در آسمان صاف آفتابی موردبررسی قرار می‌گیرد. در مرحله ۲ این بررسی بدون سیستم‌های سایه زنی انجام گرفت. برای ارزیابی بهتر عملکرد آن‌ها، این سیستم با پرده‌های متداول موجود در آتلیه معماری مقایسه می‌شود. نفوذپذیری مشترک پرده‌ها و سیستم سایه زنی ۱۰٪ تعریف‌شده است.

نمونه ۶۰/۴۰ در ارتفاع ۲.۵ متر از کف و زاویه ۱۰ درجه که در مرحله اول مطالعه عملکرد خوبی داشت در ترکیب با لوورهای متحرک داخلی بررسی شد. سیستم در سه زمان، ۲۱ دسامبر در دو ساعت ۹ و ۱۲ و ۲۱ مارس ساعت ۱۲ موردبررسی قرار گرفت. بدین ترتیب سه ارتفاع مختلف خورشید (۱۸.۲۴ درجه، ۳۰.۱۱ درجه و ۵۳.۸۵ درجه) موردبررسی قرار می‌گیرد. برای هریک از سه مورد، به لوورها شیب کافی برای ارائه سایه کافی داده می‌شود. نتایج در نمودارهایی که در ادامه می‌آیند نشان داده‌شده است.

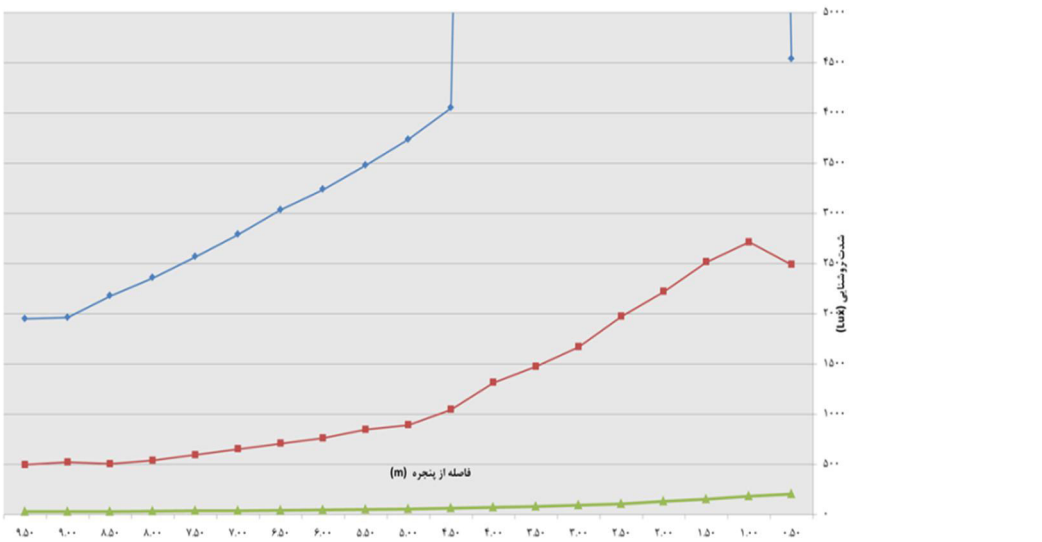


شکل ۴-۳۰. نمودار پخش نور برای رف نور به همراه سایه زن‌های داخلی و برای پرده‌ها، ۲۱ مارس ساعت ۱۲:۰۰



	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۲۸۳۱.۶۵	۲۳۳۰.۹۵	۱۷۸۸۲.۳۳	۱۷۹۱۶.۷۰	۸۱۰۴۴	۸۰۲۵.۳۲	۸۰۳۰.۲۱	۸۱۳۴.۱۱	۷۹۷۵.۷۴	۲۶۵۶.۲۴	۱۲۰۹۶.۵۸	۷۱۴۲.۸۰	۲۱۹۷.۴۷	۲۰۷۹.۰۷	۱۹۶۴.۰۱	۱۸۲۱.۸۴	۱۷۱۲.۱۶	۱۶۳۸.۶۸	۱۵۸۳.۰۷
استفاده از رفنور و سایه زن‌های داخلی	۱۹۵۰.۴۴	۲۰۸۰.۲۰	۱۸۶۲.۴۴	۱۵۹۹.۶۷	۱۲۹۲.۰۶	۱۲۳۳.۶۵	۱۱۲۱.۶۱	۱۲۰۰.۷۰	۵۷۰۷.۳۳	۳۲۲.۹۴	۶۶۹.۸۲	۶۱۴.۳۴	۵۲۲.۵۶	۵۳۸.۰۱	۵۱۳.۶۲	۴۸۱.۷۵	۴۸۲.۶۳	۴۴۳.۶۷	۴۷۴.۱۶
استفاده از پرده	۱۴۲.۶۱	۱۲۸.۲۰	۱۱۰.۵۲	۹۵.۳۴	۸۰.۷۶	۷۱.۳۸	۶۱.۷۶	۵۶.۸۴	۴۶.۲۳	۴۲.۲۶	۳۸.۵۳	۳۵.۹۴	۳۳.۳۴	۳۰.۹۵	۲۸.۹۰	۲۷.۱۶	۲۵.۳۳	۲۴.۱۲	۲۵.۰۵

شکل ۴-۳۱. نمودار پخش نور برای رف نور به همراه سایه زن‌های داخلی و برای پرده‌ها، ۲۱ دسامبر ساعت ۰۹:۰۰



	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۴۵۳۸.۷۴	۲۴۶۰.۳۶۴	۵۳۶۷.۲۴	۲۴۹۵۵.۸۸	۲۴۳۷۳.۱۶	۲۴۱۵۵.۳۱	۲۳۹۶۰.۸۴	۲۳۶۷۲.۸۸	۴۰۵۰.۹۰	۳۷۲۶.۷۱	۳۴۸۱.۱۳	۳۲۳۸.۴۲	۳۰۳۶.۶۳	۲۷۹۱.۵۰	۲۵۶۸.۹۵	۲۳۵۹.۰۰	۲۱۸۰.۳۳	۱۹۶۴.۶۳	۱۹۵۰.۲۵
استفاده از رفنور و سایه زن‌های داخلی	۲۴۹۱.۰۹	۲۷۱۶.۰۰	۲۵۱۶.۸۳	۲۲۲۲.۶۸	۱۷۲۴.۸۴	۱۶۷۱.۹۰	۱۴۷۶.۲۰	۱۳۱۵.۴۷	۱۰۴۷.۵۳	۸۹۲.۹۲	۸۴۸.۸۸	۷۶۳.۵۰	۷۰۸.۷۸	۶۵۵.۲۷	۵۹۵.۷۷	۵۴۰.۵۸	۵۰۵.۹۲	۵۲۴.۷۳	۴۹۸.۷۱
استفاده از پرده	۲۰۶.۹۸	۱۸۳.۶۹	۱۵۴.۳۰	۱۳۲.۲۰	۱۱۰.۱۴	۹۶.۷۵	۸۴.۵۱	۷۶.۱۲	۶۴.۱۶	۵۵.۵۳	۵۱.۴۸	۴۷.۷۹	۴۳.۹۴	۴۰.۷۶	۳۸.۰۹	۳۵.۳۶	۳۳.۲۹	۳۱.۱۶	۳۱.۲۰

شکل ۴-۳۲. نمودار پخش نور برای رف نور به همراه سایه زن‌های داخلی و برای پرده‌ها، ۲۱ دسامبر ساعت ۱۲:۰۰

نتایج:

هنگامی‌که ارتفاع خورشید پایین است (۲۱ دسامبر) زاویه لوورها ۴۵ درجه تنظیم شد، این امر باعث ایجاد سایه کافی در فضا و بهبود یکنواختی نور می‌شود.

در ۲۱ مارس ساعت ۱۲، هنگامی‌که خورشید بالاتر است، لوورها می‌توانند هنگامی‌که دارای زاویه افقی هستند سایه کافی را ارائه دهند. در این مورد به دلیل افقی بودن لوورها نور فضا به میزان کمتری کاهش می‌یابد.

هنگامی‌که لوورها دارای زاویه ۴۵ و زاویه افقی هستند از ورود نور مستقیم به داخل فضا جلوگیری می‌کنند، درحالی‌که مانع ورود نور غیرمستقیم به داخل فضا نمی‌شود. درحالی‌که پرده‌های متداول نور مستقیم و غیرمستقیم را سد می‌کنند درنتیجه باعث کاهش شدید نور در داخل فضا می‌شوند.

نتیجه کلی از این مطالعه این است که ترکیب رف نور و لوورهای داخلی بهتر از پرده‌های موجود می‌باشد. پس از اعتدال بهاری، موقعیت افقی برای سیستم سایه زنی کافی است؛ بنابراین هیچ تاریخی بعد از ۲۱ مارس موردبررسی قرار نگرفت.

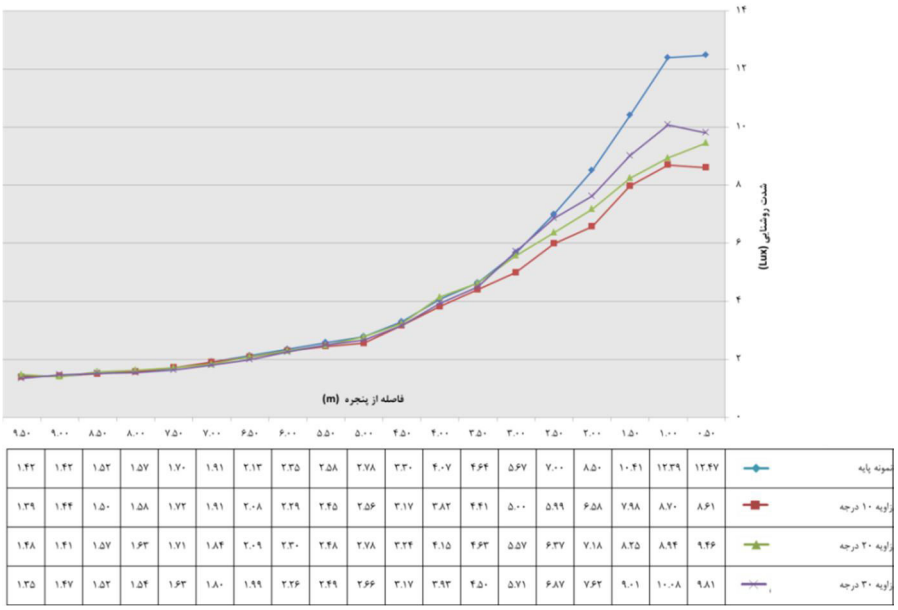
۴-۴-۲-۴ مرحله ۴: عملکرد رف نور تحت زوایای مختلف

در این مرحله نیز رف نور ۶۰/۴۰ سانتی‌متری در ارتفاع ۲.۵ متری از کف در دو نوع آسمان ابری و صاف (۲۱ دسامبر، ۲۱ مارس و ۲۱ ژوئن در ساعت ۱۲) تحت سه دامنه مختلف (۱۰، ۲۰ و ۳۰) درجه موردبررسی قرار گرفت. این زوایا بر اساس ادبیات موضوع انتخاب شدند [۴] و با توجه به نتایج مطالعات قبلی زوایای بیشتر از ۳۰ درجه باعث نفوذ بیشتر نور در ابتدای فضا و کاهش عملکرد رف نور می‌شوند به همین دلیل زوایای بیشتر از ۳۰ درجه مورد بررسی قرار نگرفتند [۳۷].

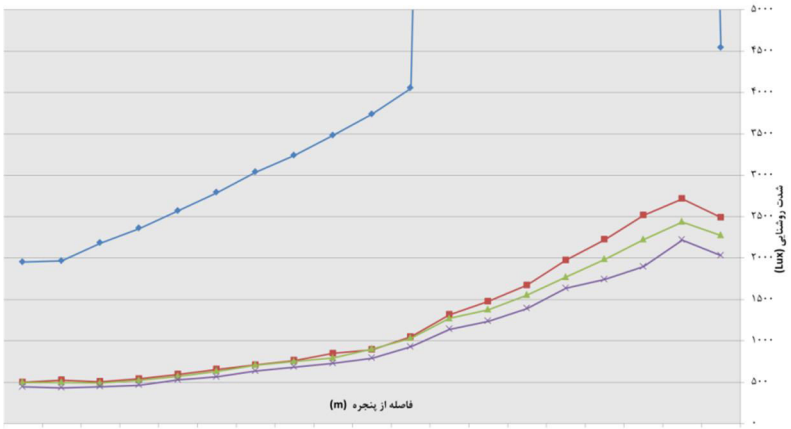
نتایج به شرح زیر هستند:

در تاریخ ۲۱ دسامبر در آسمان ابری رف نور با زاویه ۲۰ درجه عملکرد نسبتاً بهتری نسبت به دو زاویه دیگر داشت. رف نور با زاویه ۳۰ درجه کمترین میزان یکنواختی را نسبت به دو زاویه ۱۰ و ۲۰ درجه داشت (شکل ۴-۴۵).

رف‌های نور در سه تاریخ ۲۱ دسامبر، ۲۱ مارس و ۲۱ ژوئن در آسمان صاف شبیه‌سازی شدند. در زمستان، زاویه ۱۰ و ۲۰ درجه تفاوت اندکی در انتقال نور به انتهای فضا دارند ولی رف نور دارای زاویه ۲۰ درجه کمی میزان یکنواختی را بهبود بخشیده است. ازاین‌رو زاویه ۲۰ درجه برای زمستان مناسب‌تر است (شکل ۴-۴۶). در ۲۱ مارس، رف نور با زاویه ۳۰ درجه عملکرد بهتر در انتقال نور به انتهای فضا دارد ولی رف نور با زاویه ۲۰ درجه عملکرد بهتری در میزان یکنواختی فضا دارد. همچنین میزان روشنایی در عقب فضا بیشتر از ۶۰۰ لوکس است، پس انتقال نور در درجه دوم قرار دارد و یکنواختی از اهمیت بیشتری برخوردار است (شکل ۴-۴۷). در ۲۱ ژوئن رف نور با زاویه ۲۰ درجه عملکرد بهتری نسبت به دو نمونه دیگر دارد (شکل ۴-۴۸). با توجه به توضیحات فوق، زاویه ۲۰ درجه برای رف‌های نوری که قسمت بیرونی بلندتر از داخلی است برای شهر شاهرود مناسب می‌باشد.

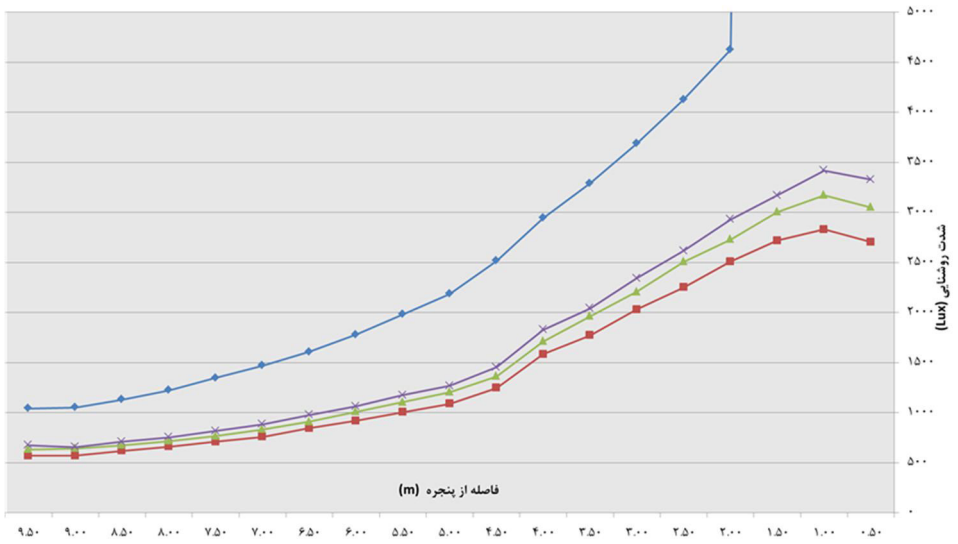


شکل ۴-۳۳. نمودار پخش نور برای سه زاویه رف نور، نمونه ۶۰/۸۰، آسمان ابری، (۲۱ دسامبر، ۱۲:۰۰)



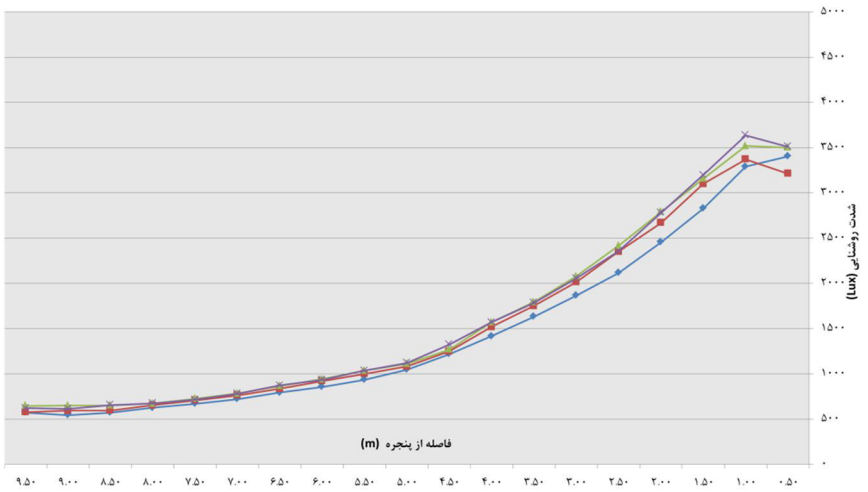
	۰۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۴۵۳۸.۷۴	۳۴۶۰.۳۶	۵۳۶۷.۲۴	۲۴۹۵۵.۸	۲۴۲۷۳.۱	۲۴۱۵۵.۲	۲۳۹۶۰.۸	۲۳۶۷۲.۸	۲۳۷۳۶.۷۱	۲۳۸۱.۱۳	۲۳۳۸.۴۲	۳۰۳۶.۶۳	۲۷۹۱.۵۰	۲۵۶۸.۹۵	۲۳۵۹.۰۰	۲۱۸۰.۲۳	۱۹۶۴.۶۳	۱۹۵۰.۲۵
زاویه ۱۰ درجه	۲۴۹۱.۰۹	۲۷۱۶.۰۰	۲۵۱۶.۸۳	۲۲۲۲.۶۸	۱۹۷۴.۸۴	۱۶۷۱.۹۰	۱۴۷۶.۲۰	۱۳۱۵.۴۷	۱۰۴۷.۵۳	۸۴۸.۸۸	۸۹۲.۹۲	۷۰۸.۷۸	۶۵۵.۲۷	۵۹۵.۷۷	۵۳۰.۵۸	۵۰۵.۹۲	۵۲۴.۷۳	۴۹۸.۷۱
زاویه ۲۰ درجه	۲۲۷۳.۸۸	۲۴۳۵.۳۱	۲۲۲۲.۶۹	۱۹۸۵.۵۰	۱۷۶۹.۰۷	۱۵۵۳.۲۴	۱۳۷۶.۶۸	۱۲۷۱.۷۱	۱۰۳۲.۷۳	۹۰۲.۴۲	۷۹۱.۷۸	۷۰۶.۹۱	۶۳۱.۴۹	۵۷۱.۰۹	۵۲۲.۹۳	۴۹۰.۰۲	۴۹۶.۹۳	۴۹۷.۲۶
زاویه ۳۰ درجه	۲۰۲۸.۹۱	۲۲۱۹.۴۲	۱۸۹۵.۸۹	۱۷۴۱.۰۶	۱۶۳۳.۸۰	۱۴۹۱.۱۸	۱۲۳۶.۱۱	۱۱۳۸.۲۵	۹۲۷.۲۱	۷۶۰.۳۵	۷۲۸.۳۰	۶۸۴.۱۷	۵۶۵.۲۴	۵۲۷.۴۶	۴۶۴.۵۳	۴۴۷.۰۸	۴۳۱.۷۴	۴۴۴.۵۸

شکل ۴-۳۴. نمودار پخش نور برای سه زاویه رف نور، نمونه ۶۰/۸۰، آسمان صاف و آفتابی، (۲۱ دسامبر، ۱۲:۰۰)



	۰۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۳۸۶۳۴.۵۶	۳۸۸۰۲.۱۶	۳۸۳۲۳.۴۸	۴۶۲۶.۰۰	۴۱۲۷.۰۶	۳۶۸۷.۴۴	۳۲۸۹.۹۹	۲۹۴۴.۴۵	۲۵۱۶.۷۵	۲۱۸۵.۱۰	۱۹۸۰.۰۱	۱۷۷۸.۳۷	۱۶۰۶.۱۸	۱۴۷۰.۰۵	۱۳۴۷.۲۳	۱۲۲۲.۴۷	۱۱۳۰.۳۰	۱۰۵۰.۳۱	۱۰۴۰.۷۸
زاویه ۱۰ درجه	۲۷۰۵.۳۹	۲۸۳۰.۷۵	۲۷۱۹.۳۷	۲۵۰۹.۱۶	۲۲۵۱.۷۱	۲۰۲۹.۴۴	۱۷۷۲.۰۴	۱۵۸۲.۸۹	۱۲۴۵.۳۵	۱۰۸۷.۹۳	۱۰۰۴.۵۷	۹۱۷.۲۱	۸۴۴.۷۸	۷۵۷.۲۴	۷۰۸.۹۸	۶۵۹.۰۳	۶۱۸.۸۶	۵۶۹.۷۷	۵۶۹.۵۶
زاویه ۲۰ درجه	۳۰۵۰.۴۶	۳۱۷۱.۹۲	۳۰۰۳.۳۵	۲۷۳۰.۹۹	۲۵۰۷.۵۶	۲۲۰۷.۷۱	۱۹۶۲.۹۱	۱۷۱۰.۶۵	۱۳۶۲.۹۱	۱۲۰۴.۸۴	۱۱۰۳.۲۳	۱۰۰۸.۱۷	۹۰۷.۹۵	۸۳۲.۹۰	۷۶۴.۹۲	۷۱۷.۰۲	۶۷۴.۶۷	۶۴۱.۱۱	۶۳۱.۱۴
زاویه ۳۰ درجه	۳۳۲۶.۹۷	۳۴۱۹.۴۱	۳۱۶۹.۳۰	۲۹۲۸.۸۲	۲۶۱۶.۷۲	۲۳۴۰.۹۱	۲۰۴۱.۲۱	۱۸۲۶.۷۷	۱۴۵۳.۴۱	۱۲۶۶.۳۱	۱۱۷۴.۳۷	۱۰۶۲.۲۱	۹۷۶.۷۴	۸۸۳.۹۶	۸۱۵.۲۳	۷۵۳.۷۲	۷۰۹.۸۸	۶۵۵.۹۰	۶۷۴.۳۷

شکل ۴-۳۵. نمودار پخش نور برای سه زاویه رف نور، نمونه ۶۰/۸۰، آسمان صاف و آفتابی، (۲۱ مارس، ۱۲:۰۰)



	۹.۵۰	۹.۰۰	۸.۵۰	۸.۰۰	۷.۵۰	۷.۰۰	۶.۵۰	۶.۰۰	۵.۵۰	۵.۰۰	۴.۵۰	۴.۰۰	۳.۵۰	۳.۰۰	۲.۵۰	۲.۰۰	۱.۵۰	۱.۰۰	۰.۵۰
نمونه پایه	۵۷۲.۱۴	۵۴۳.۷۵	۵۷۲.۹۱	۶۲۴.۷۹	۶۶۸.۴۸	۷۲۰.۰۸	۷۹۳.۰۴	۸۵۶.۲۶	۹۳۴.۸۴	۱۰۴۵.۵۰	۱۲۱۸.۵۶	۱۴۱۷.۰۵	۱۶۳۲.۸۵	۱۸۶۳.۷۹	۲۱۱۶.۰۴	۲۴۵۶.۵۸	۲۸۲۷.۵۳	۳۲۸۹.۵۸	۳۴۰۴.۷۴
زاویه ۱۰ درجه	۵۷۶.۰۷	۵۹۲.۳۴	۵۹۵.۳۱	۶۵۲.۰۲	۷۰۵.۹۷	۷۶۳.۰۴	۸۳۳.۸۸	۹۱۹.۵۰	۱۰۰۰.۲۴	۱۰۸۰.۵۲	۱۲۴۷.۵۲	۱۵۱۹.۳۳	۱۷۵۰.۷۷	۲۰۱۳.۹۹	۲۳۵۰.۳۹	۲۶۶۹.۰۰	۳۰۹۹.۲۱	۳۳۷۲.۵۶	۳۲۱۲.۷۶
زاویه ۲۰ درجه	۶۴۷.۲۶	۶۴۹.۵۶	۶۵۰.۷۰	۶۷۲.۴۴	۷۲۵.۷۸	۷۸۲.۹۰	۸۶۳.۸۴	۹۴۳.۴۷	۱۰۳۳.۵۹	۱۱۱۰.۸۹	۱۲۶۹.۰۶	۱۵۷۰.۳۷	۱۷۹۲.۱۴	۲۰۷۶.۰۷	۲۴۱۵.۴۲	۲۷۸۹.۴۷	۳۱۵۶.۷۵	۳۵۱۸.۸۳	۳۵۰۲.۰۸
زاویه ۳۰ درجه	۶۲۱.۱۰	۶۱۲.۷۹	۶۵۵.۰۰	۶۷۵.۱۵	۷۱۴.۲۶	۷۸۰.۸۱	۸۷۰.۶۷	۹۳۴.۴۵	۱۰۳۵.۴۹	۱۱۲۱.۰۱	۱۳۲۵.۱۱	۱۵۶۸.۷۹	۱۷۸۶.۰۸	۲۰۵۵.۶۲	۲۳۵۵.۰۳	۲۷۸۰.۶۴	۳۱۹۷.۰۱	۳۶۳۶.۲۲	۳۵۱۲.۱۰

شکل ۴-۳۶. نمودار پخش نور برای سه زاویه رف نور برای نمونه ۶۰/۸۰، آسمان صاف و آفتابی، (۲۱ ژوئن، ۱۲:۰۰)

۴-۴-۲-۵ تعیین مشخصات بهینه سیستم موردمطالعه

در مراحل مختلف مطالعه، کمیت و کیفیت نور طبیعی در یک آتلیه طراحی معماری در دانشگاه صنعتی شاهرود موردبررسی قرار گرفت. عملکرد این سیستم در تاریخ‌ها و زمان‌های مختلف از طریق شبیه‌سازی بررسی شد تا به‌طور کامل نیازهای کاربران را در کمیت و کیفیت نورپردازی، بدون نیاز به اجزای اضافی مانند پرده‌های متداول که میزان نور طبیعی را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهند فراهم کند. این بخش خلاصه‌ای از ویژگی‌های بهینه سیستم که برای نورپردازی یک آتلیه طراحی معماری مناسب است را ارائه می‌دهد.

با توجه به نتایج مرحله ۱، در آسمان ابری که بدترین سناریو در رابطه با نور طبیعی است، رف‌های نور دارای بخش داخلی و خارجی بهتر عمل می‌کنند. همچنین در آسمان صاف و آفتابی نمونه ۶۰/۴۰ و ۱ متر داخلی هر دو عملکرد خوبی داشتند، بااین‌وجود نمونه ۶۰/۴۰ نور جلوی فضا را

بیشتر کاهش می‌دهد درنتیجه میزان یکنواختی بیشتری را فراهم می‌آورد. درنتیجه رف نور با هر دو قسمت داخلی و خارجی مناسب است.

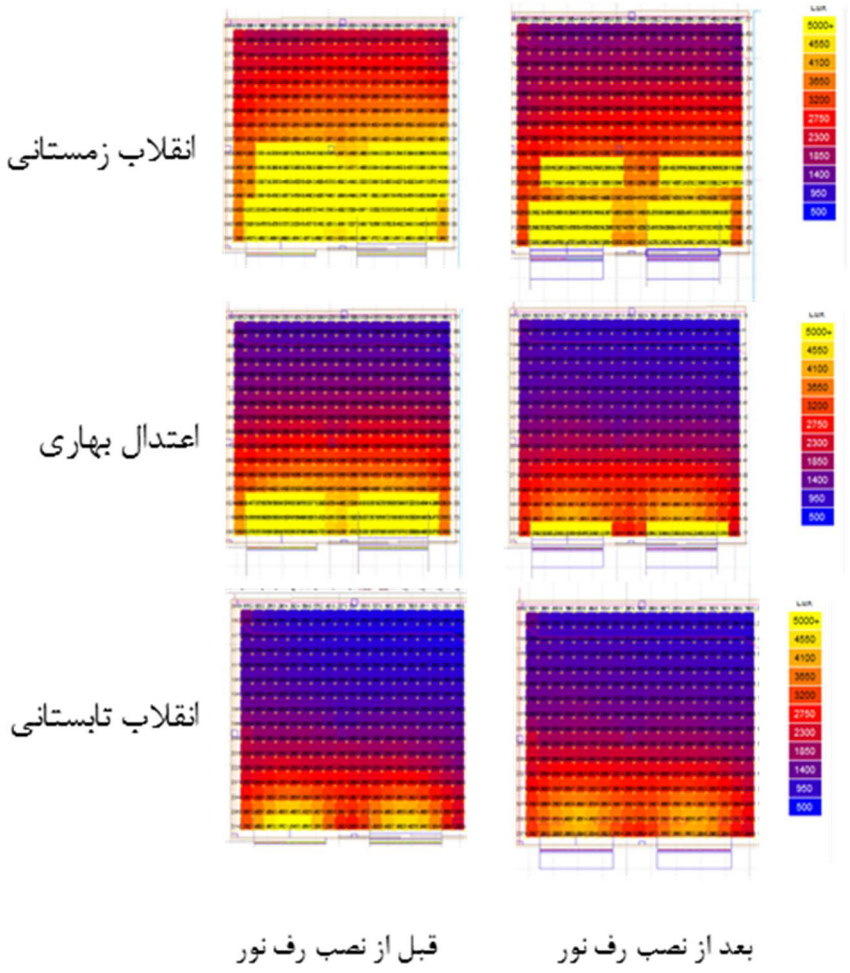
به‌طورکلی ارتفاع از سقف نقش مؤثری در عملکرد نور در فضا دارد. ارتفاع‌های کمتر از ۲.۵ متر باعث مشکلات خیرگی برای کاربران در عمق فضا و همچنین مشکل در عملکرد صحیح پنجره می‌شوند؛ به همین دلیل رف نور در ارتفاع ۲.۵۰ متر از کف پیشنهاد می‌شود.

با توجه به نتایج مرحله ۴ زاویه ۲۰ درجه برای رف نوری که قسمت بیرونی بلندتر از داخلی است برای شهر شاهرود پیشنهاد شد.

با توجه به نتایج مرحله ۲، به‌طورکلی رف نور پخش کننده عملکرد بهتری در بیشتر نمونه‌ها و بیشتر زمان‌ها دارد؛ اما با توجه به این مسئله که باگذشت زمان از میزان انعکاس رف‌های نور به دلیل وجود گردوغبار کاسته می‌شود، به‌خصوص برای قسمت‌های خارجی رف نور که دسترسی به آن‌ها مشکل است، براین اساس رف نور منعکس کننده با شاخص انعکاس ۵۰٪ پیشنهاد می‌شود که باگذشت زمان کاهش می‌یابد. پخش نور در ارتفاع میز کار برای ۲۱ مارس در ترکیب با لوورها در (شکل ۴-۳۷) نشان داده شده است.

جدول ۴-۴. مشخصات بهینه رف نور

رف نور داخلی، خارجی یا داخلی/خارجی:	داخلی/خارجی
ارتفاع نصب:	۲.۵ متر از کف
عرض رف نور:	۱.۴-۱ متر
زاویه رف نور:	۲۰ درجه
جنس رف نور:	منعکس کننده با شاخص انعکاس ۵۰٪
سیستم سایه زنی تکمیل کننده:	لوورهای متحرک داخلی



شکل ۴-۳۷. پخش نور قبل و بعد از نصب رف نور بهینه، ساعت ۱۲:۰۰

۴-۵ مطالعه عملکرد رف نور به‌وسیله ماکت

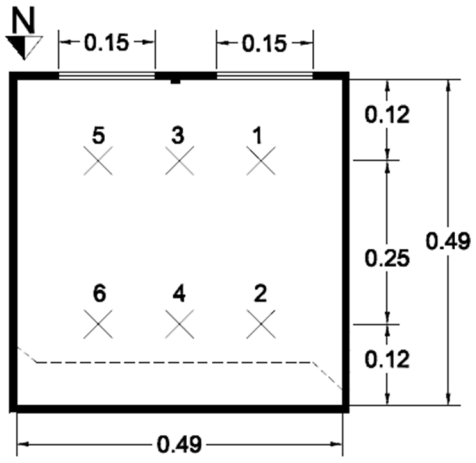
پس از شبیه‌سازی نور روز در آتلیه طراحی، در این بخش عملکرد رف‌های نور با عمق زیاد و ترکیبی (داخلی / خارجی) در آسمان واقعی موردبررسی قرار می‌گیرد. به دلیل مشکلات نصب رف نور با عرض زیاد در مقیاس واقعی این نمونه برای بررسی در ماکت انتخاب شد.

۴-۵-۱ روش انجام کار

۴-۵-۱-۱ موردمطالعه

ویژگی‌های کلی کلاس درس همانند مدل در مطالعه شبیه‌سازی که در نرم افزار مورد استفاده گرفت می‌باشد. در این مرحله نمونه ۸۰/۶۰ با ۲.۵ متر ارتفاع از کف که در مرحله ۱ عملکرد مناسبی داشت، برای بررسی در آسمان واقعی انتخاب شد. اندازه‌گیری‌ها در دو مدل کنار هم که یکی از مدل‌ها دارای رف نور و دیگری بدون هیچ‌گونه سیستم سایه زنی است، به‌صورت هم‌زمان انجام شد.

ارزیابی‌ها همانند مطالعه شبیه‌سازی نرم‌افزار می‌باشد، یعنی توانایی سیستم در توزیع یکنواخت نور طبیعی، بدون کاهش قابل‌توجه نور روزانه در فضا است.



شکل ۴-۳۸. ابعاد ماکت در مقیاس ۱.۲۰ و شبکه اندازه‌گیری

۴-۵-۱-۲ ساخت ماکت

ماکت در ابعاد ۱:۲۰ ساخته شد، این مقیاس مناسب است زیرا:

- ابعاد آن به‌گونه‌ای است که به‌سادگی می‌توان سنسورها را در آن قرارداد بدون این‌که فضا را پر کنند و مانع حرکت نور در فضا شوند؛
- ساخت این مقیاس به دلیل حجم کوچک‌تر راحت‌تر و حمل آن راحت‌تر است.

قبل از انتخاب مصالح برای ساخت مدل ماکت، چند نوع مصالح مختلف شامل آلومینیوم ۲ میلی‌متر، ام‌دی‌اف ۲ میلی‌متر با یک‌لایه فویل، کارتن باضخامت ۰.۶ و ۱.۲ متر با پوشش یک‌لایه فویل آلومینیوم بر روی آن، در آزمایشگاه فیزیک خاصیت عبور نور آن‌ها موردبررسی قرار گرفت. در همه موارد ضریب عبور نور از آن‌ها صفر بود، لذا کارتن دو لایه باضخامت ۱.۲ سانتی‌متر و با پوشش یک‌لایه فویل آلومینیوم برای ساخت دیوارهای جانبی، سقف و کف انتخاب شد. مدل از بیرون نیز با پارچه‌ای ضخیم به رنگ مشکی پوشانده شد تا مانع هرگونه ورود نور به داخل فضا شود. مصالح داخلی به‌گونه‌ای انتخاب شدند تا حداکثر شباهت را به لحاظ رنگ و درصد انعکاس به مصالح واقعی مورداستفاده داشته باشند. همچنین برای شیشه‌های پنجره از شیشه‌های معمول ۳ میلی‌متر استفاده شد. به‌منظور سهولت قرار دادن و برداشتن لوکس‌مترها دریچه‌ای در انتهای ماکت ایجاد شد که در طول دوره اندازه‌گیری کاملاً پوشانده می‌شود تا از ورود هرگونه نور به داخل جلوگیری کند (شکل ۴-۳۹).

شکل ۴-۳۹. ماکت در مقیاس ۱:۲۰

۴-۵-۱-۳ اندازه‌گیری نور طبیعی

ماکت‌ها بر روی پشت‌بام دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی در جهت مطابق با آتلیه طراحی قرار داده شدند. به‌منظور سنجش روشنایی آسمان در طول دوره اندازه‌گیری، با مشاهده آسمان به لحاظ یکنواختی و همچنین اندازه‌گیری نور بیرون در اول و آخر اندازه‌گیری از تغییرات کم محیط اطمینان حاصل می‌شد. اندازه‌گیری‌ها در دو نوع آسمان صاف و آفتابی تابستانی و روزهای آفتابی و نیم ابری

پاییزی، در دو زمان مختلف از روز (۰۹:۰۰ و ۱۲:۰۰) به‌منظور آزمایش کمترین و بیشترین ارتفاع خورشید انجام شدند.

اندازه‌گیری‌های فصل تابستان در یک هفته آفتابی در ماه‌های خرداد و تیر انجام شد. دقت شد که بیشترین شباهت را به آسمان صاف (CIE) داشته باشد (کاملاً صاف بدون ابر و با کمترین میزان رطوبت و گردوغبار)، به‌منظور دقت بیشتر اندازه‌گیری‌های فصل تابستان به دلیل عدم برگزاری کلاس در آتلیه بدون حضور میزهای کار انجام شد. اندازه‌گیری‌ها در فصل پاییز نیز در یک هفته انجام شد که در طی آن اندازه‌گیری در آسمان نیم ابری (حد وسط آسمان تمام ابری و صاف آفتابی) نیز در ۲ روز انجام شد.

در ادامه، در اشکال (۴-۴۲) و (۴-۴۳) نتایج اندازه‌گیری برای ۲ روز از فصل تابستان و ۳ روز از فصل پاییز آورده شده است.

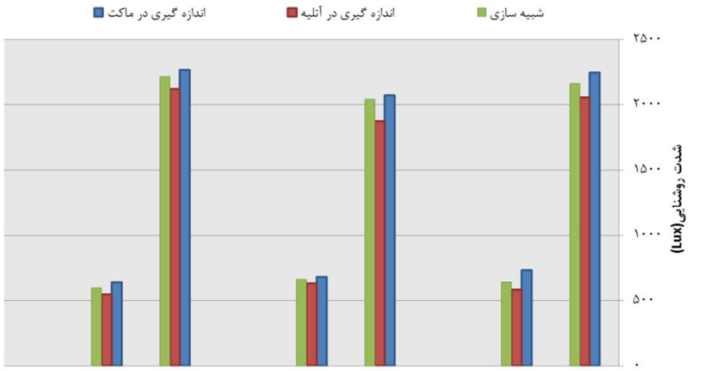
۴-۵-۲ نتایج

۴-۵-۲-۱ اعتبار سنجی ماکت

در ابتدا به‌منظور سنجش خطاهای اندازه‌گیری در ماکت، شدت روشنایی در ارتفاع میز کار در ماکت بدون رف نور و آتلیه طراحی به‌طور هم‌زمان در دو ساعت ۹ و ۱۲، در یک روز از فصل تابستان در آسمان صاف اندازه‌گیری شد. نتایج در (اشکال ۴-۴۰ و ۴-۴۱) ارائه‌شده است.

	ردیف (الف)		ردیف (ب)		ردیف (ج)	
	نقطه (۱)	نقطه (۲)	نقطه (۳)	نقطه (۴)	نقطه (۵)	نقطه (۶)
اندازه گیری در ماکت	۱۶۲۵	۵۲۲	۱۵۹۳	۶۰۸	۱۷۵۰	۵۸۰
اندازه گیری در آتلیه	۱۴۶۳	۴۲۶	۱۴۳۰	۵۱۳	۱۶۵۰	۴۴۸
شبیه سازی	۱۴۹۰	۴۷۲	۱۴۸۱	۵۳۷	۱۶۶۶	۴۶۳

شکل ۴-۴۰. نمودار اندازه‌گیری هم‌زمان در ماکت و آتلیه طراحی، ساعت ۰۹:۰۰



	ردیف (الف)		ردیف (ب)		ردیف (ج)	
	نقطه (۱)	نقطه (۲)	نقطه (۳)	نقطه (۴)	نقطه (۵)	نقطه (۶)
اندازه گیری در ماکت	۲۲۴۷	۷۳۵	۲۰۷۴	۶۸۰	۲۲۶۸	۶۴۱
اندازه گیری در آتلیه	۲۰۵۷	۵۸۶	۱۸۷۴	۶۳۳	۲۱۱۹	۵۴۷
شبیه سازی	۲۱۶۴	۶۴۳	۲۰۴۲	۶۶۳	۲۲۱۵	۵۹۷

شکل ۴-۴۱. نمودار اندازه‌گیری هم‌زمان در ماکت و آتلیه طراحی، ساعت ۱۲:۰۰

مقادیر روشنایی ماکت در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها در واقعیت به میزان بیشتری ارزیابی‌شده‌اند، میزان اختلاف‌ها تا ۲۲.۷ درصد در انتهای فضا می‌رسد که این می‌تواند به دلایل زیر باشد:

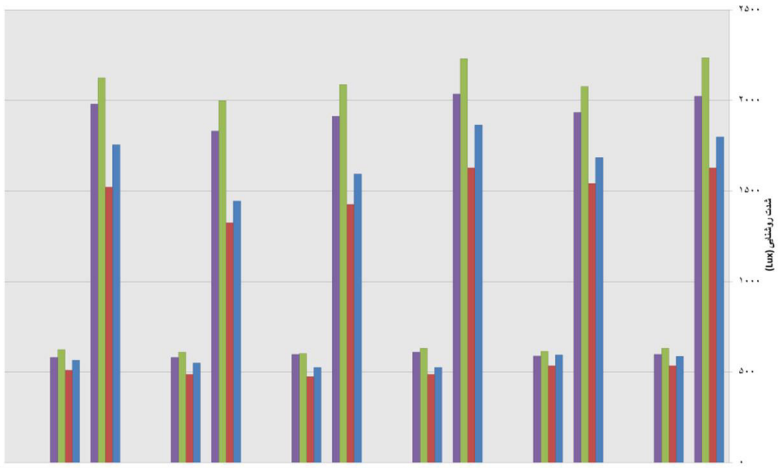
- اندازه‌گیری ماکت بر روی پشت‌بام انجام‌شده است، انعکاس بالای مصالح در پشت‌بام باعث افزایش نور بیرونی می‌شوند؛
- اختلاف در انعکاس مصالح ماکت و واقعی باعث افزایش بیشتر نور در عقب فضا شده است.

۴-۵-۲-۲ اندازه‌گیری‌های میدانی در ماکت

اندازه‌گیری‌ها در دو فصل تابستان و پاییز انجام شده است، در فصل تابستان تمام اندازه‌گیری‌ها در آسمان صاف انجام شده است. در فصل پاییز به دلیل تغییرات زیادتر آسمان نسبت به فصل تابستان اندازه‌گیری‌ها دارای نتایج متفاوت هستند. در ۲ مهر وضعیت آسمان در صبح آفتابی بود ولی در ساعت ۱۲ نیم ابری، همچنین در ۸ مهر هم آسمان صاف تا قسمتی ابر بود برای هر دو ساعت ۹ و ۱۲ و در ۱۰ مهر نیز با آسمان کاملا ابری مواجه بودیم.

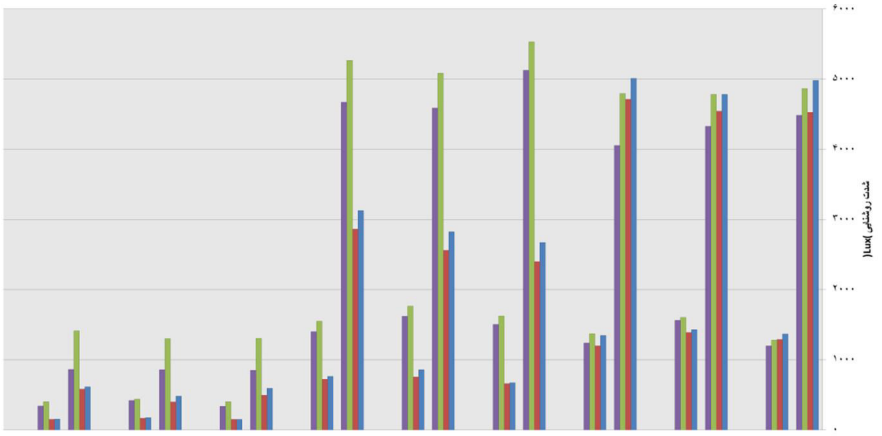
نتایج اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات همان‌گونه که در (۴-۴۱) و (۴-۴۲) نشان داده‌شده به شرح زیر است:

- در همه موارد یکنواختی نسبت به نمونه بدون سیستم سایه زنی بهبودیافته است؛
- میزان کاهش درصد نور در انتهای فضا کمتر از کاهش نور در ابتدای آن است که نتیجه آن افزایش یکنواختی است؛
- در آسمان نیم ابری (۱۸ مهر)، به دلیل وجود ابرهای زیاد و وضعیت ناپیدار آسمان، نور در هر لحظه تغییر می‌کرد، درنتیجه این آسمان برای مطالعه نور طبیعی مناسب نیست. ولی در این آسمان هم نتیجه کلی به این صورت است که رف‌های نور باعث افزایش یکنواختی روشنایی در فضا می‌شوند؛
- عملکرد رف‌های نور هنگامی‌که که تابش مستقیم وجود دارد بهتر است؛
- عملکرد رف نور در ساعت ۱۲ در رابطه با افزایش نور در عمق فضا، بهتر از ساعت ۹ است؛
- در آسمان ابری به دلیل کم بودن نور محیطی نصب رف نور از نور مفید فضا می‌کاهد.



	۳تیر						۱۳تیر					
	ردیف (الف)		ردیف (ب)		ردیف (ج)		ردیف (الف)		ردیف (ب)		ردیف (ج)	
	نقطه (1)	نقطه (2)	نقطه (3)	نقطه (4)	نقطه (5)	نقطه (6)	نقطه (1)	نقطه (2)	نقطه (3)	نقطه (4)	نقطه (5)	نقطه (6)
اندازه گیری در ماکت بدون رفنور ساعت ۰۹:۰۰	۱۷۹۸	۵۸۷	۱۶۸۴	۵۹۵	۱۸۶۵	۵۲۵	۱۵۹۴	۵۲۵	۱۴۴۴	۵۵۰	۱۷۵۵	۵۶۶
اندازه گیری در ماکت دارای رفنور ساعت ۰۹:۰۰	۱۶۲۸	۵۳۴	۱۵۴۲	۵۳۴	۱۶۲۸	۴۸۷	۱۴۲۶	۴۷۴	۱۳۲۵	۴۸۶	۱۵۲۱	۵۰۹
اندازه گیری در ماکت بدون رفنور ساعت ۱۲:۰۰	۲۲۳۶	۶۳۲	۲۰۷۸	۶۱۴	۲۲۳۱	۶۳۲	۲۰۸۸	۶۰۲	۱۹۹۹	۶۱۰	۲۱۲۵	۶۲۴
اندازه گیری در ماکت دارای رفنور ساعت ۱۲:۰۰	۲۰۲۴	۵۹۷	۱۹۳۴	۵۸۸	۲۰۳۶	۶۱۰	۱۹۱۲	۵۹۸	۱۸۳۱	۵۸۰	۱۹۸۰	۵۸۰

شکل ۴-۴۲. نمودار مقایسه عملکرد رف‌های نور در ماکت- فصل تابستان



	۳ مهر						۸ مهر						۱۰ مهر					
	ردیف (الف)		ردیف (ب)		ردیف (ج)		ردیف (الف)		ردیف (ب)		ردیف (ج)		ردیف (الف)		ردیف (ب)		ردیف (ج)	
	نقطه (1)	نقطه (2)	نقطه (3)	نقطه (4)	نقطه (5)	نقطه (6)	نقطه (1)	نقطه (2)	نقطه (3)	نقطه (4)	نقطه (5)	نقطه (6)	نقطه (1)	نقطه (2)	نقطه (3)	نقطه (4)	نقطه (5)	نقطه (6)
اندازه گیری در ماکت بدون رفنور ساعت ۰۹:۰۰	۴۹۸۵	۱۳۶۸	۴۷۸۵	۱۴۲۹	۵۰۱۲	۱۳۴۸	۲۶۷۳	۶۷۰	۲۸۲۷	۸۵۸	۳۱۲۶	۷۶۳	۵۹۴	۱۵۱	۴۸۰	۱۷۶	۶۱۳	۱۵۲
اندازه گیری در ماکت دارای رفنور ساعت ۰۹:۰۰	۴۵۲۸	۱۲۸۹	۴۵۴۴	۱۳۸۹	۴۷۱۴	۱۱۹۸	۲۳۹۹	۶۵۸	۲۵۶۱	۷۵۲	۲۸۶۴	۷۲۰	۴۹۴	۱۵۰	۳۹۶	۱۶۷	۵۷۹	۱۴۸
اندازه گیری در ماکت بدون رفنور ساعت ۱۲:۰۰	۴۸۶۵	۱۲۸۰	۴۷۸۴	۱۶۰۵	۴۷۹۵	۱۳۷۳	۵۵۳۴	۱۶۲۵	۵۰۸۷	۱۷۶۴	۵۲۷۰	۱۵۴۸	۱۳۰۳	۴۰۰	۱۳۰۰	۴۳۹	۱۴۱۱	۴۰۱
اندازه گیری در ماکت دارای رفنور ساعت ۱۲:۰۰	۴۴۸۷	۱۱۹۷	۴۳۲۸	۱۵۶۲	۴۰۵۵	۱۲۳۷	۵۱۲۷	۱۵۰۵	۴۵۸۹	۱۶۲۱	۴۶۷۲	۱۴۰۱	۸۵۱	۳۳۶	۸۵۸	۴۲۰	۸۶۱	۳۳۹

شکل ۴-۴۳. نمودار مقایسه عملکرد رف‌های نور در ماکت- فصل پاییز

۴-۶ مطالعه عملکرد رف نور داخلی و لوورها به‌وسیله مدل در مقیاس واقعی و پرسشنامه

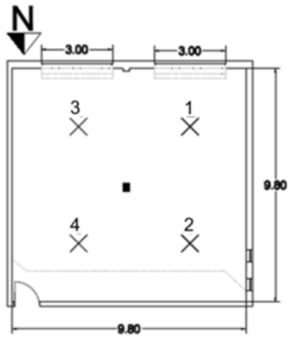
بر اساس مطالعات انجام‌شده در ادبیات موضوع پیشین، مطالعه رف‌های نور به وسیله شبیه‌سازی، ماکت و نمونه‌های آزمایشگاهی انجام‌شده است. مطالعه توأمان عملکرد رف‌های نور در محیط واقعی و بررسی رفتارهای افراد در رابطه با استفاده از سایه‌زن‌ها و متعاقبا تاثیر آن‌ها بر مصرف انرژی در مطالعه [۴۲] انجام‌شده است. بررسی میزان رضایت‌مندی افراد از سیستم رف‌نور با توجه به معیارهای یکنواختی، دید، خیرگی و همچنین رفتارهای کاربران فضا در این بخش از پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفته اند.

۴-۶-۱ روش انجام کار

۴-۶-۱-۱ موقعیت، ساختمان و کاربران فضا

نمونه موردمطالعه برای این تحقیق همانند مطالعه شبیه‌سازی و ماکت، آتلیه شماره ۳۲ است. کاربران فضا دانشجویان معماری ۱۸ تا ۲۸ سال هستند که از شنبه تا چهارشنبه در فضا حضور دارند.

ارزیابی‌ها نیز همانند مراحل قبل، با توجه به معیارهای یکنواختی فضا و نظرات کاربران از طریق پرسش‌نامه انجام می‌شود.



شکل ۴-۴۴. شبکه اندازه‌کیری نور در آتلیه و محل قرار گیری رف‌های نور

۴-۶-۱-۲ برداشت دیتاها

۴-۶-۱-۲-۱ اندازه‌گیری در کلاس

در ۶ روز آفتابی و در ۲ ساعت ۹ و ۱۲ ظهر هم‌زمان با پرسش‌نامه شدت روشنایی در ارتفاع میز کار دانشجویان در نقاط تعیین‌شده به‌طور هم‌زمان با استفاده از لوکس متر CEM مدل (DT856A) با محدوده اندازه‌گیری تا ۴۰۰۰۰۰ لوکس و دقت ۳±٪ اندازه‌گیری می‌شود. افزایش فاصله بین نقاط اندازه‌گیری به سهولت جمع‌آوری اطلاعات و پخش پرسشنامه کمک می‌کند. به‌منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر در طول دوره اندازه‌گیری و پرسش‌نامه، پرده‌ها کنار کشیده شدند و لامپ‌ها خاموش شدند.

به‌منظور سنجش عملکرد سیستم سایه زنی، در یک روز بدون حضور دانشجویان چند حالت مختلف رف نور و لوورها در ساعت ۱۲ روز ۳ آبان، اندازه‌گیری و با نتایج شبیه‌سازی مقایسه شدند. به‌منظور اطمینان از یکنواختی آسمان در طول دوره اندازه‌گیری نور بیرونی در اول و آخر هر آزمایش ثبت‌شده است. اندازه‌گیری‌های انجام‌شده بیانگر تفاوت نور بیرونی در اول و آخر اندازه‌گیری به میزان ۴٪ است. نمونه ۶۰ سانتی متری داخلی در ارتفاع ۲.۵ متر از کف و جنس مصالح منعکس کننده با شاخص انعکاس ۵۰ درصد (فویل آلومینیوم) در ترکیب با لورهای متحرک داخلی با عرض ۲۵ سانتی‌متر انتخاب شد که نمونه‌های مطالعه شد به شرح زیر هستند:

- نمونه پایه
- رف نور افقی
- رف نور با زاویه ۱۰ درجه به سمت داخل
- رف نور افقی با لوورهای داخلی ۲۰ درجه
- رف نور با زاویه ۱۰ درجه به سمت داخل و لوورهای داخلی با زاویه ۲۰ درجه

شکل ۴-۴۵. رف نور نصب‌شده در آتلیه طراحی

۴-۶-۱-۲-۲ پرسشنامه

ارزیابی عملکرد رف نور در ترکیب با لوورها به‌وسیله پرسش‌نامه و شبیه‌سازی انجام‌شده است. در ابتدا به‌منظور اطمینان از سهولت درک سؤالات توسط افراد نمونه ۱۰ نفری از افراد نمونه انتخاب شدند و به سؤالات پرسشنامه پاسخ دادند، در پایان مشخص شد که تعدادی از سؤالات دارای ابهاماتی هستند و یا گزینه‌ها همه‌ی جواب‌های ممکن برای آن‌ها را در برنمی‌گیرند، لذا پرسشنامه‌ای با سؤالات طبقه‌بندی‌شده تر انتخاب شد. به‌منظور طراحی پرسشنامه و اعتبار آن به [۲۴, ۵۵-۵۷] رجوع شده است تا پرسشنامه مناسبی طراحی شود.

۲ پرسشنامه مشابه قبل و بعد از نصب رف‌نور در ۲ ساعت ۹ صبح و ۱۲ ظهر بین دانشجویان توزیع شد. قبل از اجرای پرسشنامه نیز اصطلاحات تخصصی و فنی مانند خیرگی و هدف مطالعه به افراد توضیح داده شد.

پرسش‌نامه‌ها دارای چند بخش اساسی به شرح زیر هستند:

- اطلاعات عمومی (سن، جنسیت، زمان و تاریخ، موقعیت در آتلیه و...)
- ارزیابی میزان نور در روی میز کار و کل فضا
- ارزیابی دید به بیرون
- ارزیابی خیرگی
- رفتارهای افراد

نمونه‌های پرسشنامه در پیوست ۲ و ۳ ارائه شده است.

۴-۶-۱-۳ مراحل طراحی و نصب

انتخاب نمونه و طراحی رف نور برای نصب در کلاس با توجه به معیارهای زیر است:

- زیبایی
- سبک بودن
- قابلیت نصب راحت و سریع
- کمترین محدودیت و مداخله در کاربری فضا

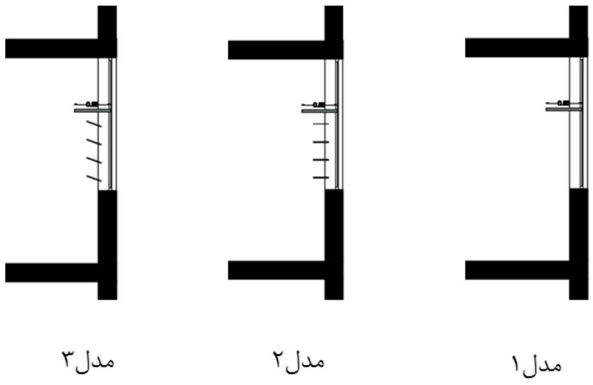
در نصب رف‌های نور خارجی و ترکیبی، مشکلاتی نظیر بار باد و... وجود دارد که استفاده از آن‌ها را مشکل می‌سازد، بدین ترتیب رف نور داخلی ترجیح داده شد. برای ساخت رف نور و لوورهای متحرک از مصالح چوب و کارتن استفاده شد. همچنین به‌منظور فراهم آوردن انعکاس لازم نیز از پوشش فویل آلومینیوم در صفحه‌ی بالای رف نور (شاخص انعکاس ۵۰ درصد) استفاده شد.

۴-۶-۱-۴ مراحل مطالعه

آزمایش رف نور و لوورهای متحرک داخلی در ۶ روز آفتابی و با بیشترین میزان یکنواختی در آسمان در دو ساعت ۹ و ۱۲ در آتلیه طراحی در حضور دانشجویان به همراه توزیع پرسش‌نامه و اندازه‌گیری شدت روشنایی در ارتفاع میز کار انجام شد. نظرات افراد نسبت به رف نور افقی و زاویه‌دار تغییرات محسوسی نداشت لذا در یک دسته‌بندی موردبررسی قرار گرفتند.

نمونه‌های موردمطالعه به شرح زیر هستند:

- مدل ۱: رف نور افقی و زاویه‌دار (۲ روز)؛
- مدل ۲: رف نور افقی به همراه لوورهای افقی (۲ روز)؛
- مدل ۳: رف نور افقی به همراه لوورهای با زاویه ۲۰ درجه (۲ روز).



شکل ۴-۴۶. نمودار: ۳ مدل سیستم سایه زنی مورد آزمایش

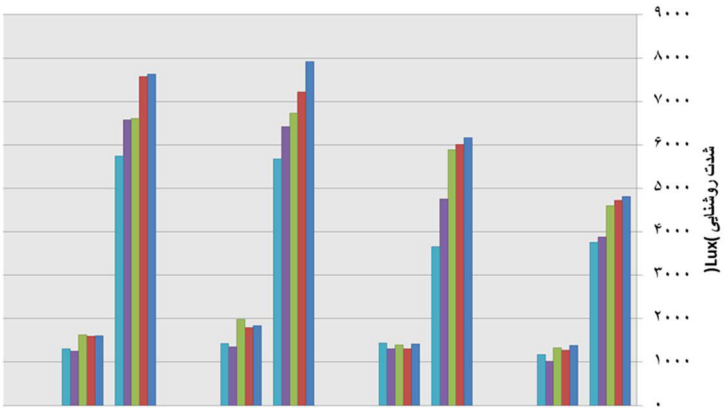
۴-۶-۲ نتایج

۴-۶-۲-۱ اندازه‌گیری در کلاس

(شکل ۴-۴۷) مقادیر اندازه‌گیری بر روی میز کار را در ۲ ساعت ۹ و ۱۲، برای یک روز از هرکدام از نمونه‌ها را نشان می‌دهد، (سایر اندازه‌گیری‌ها در (پیوست ۶) ارائه‌شده است). نتایج کلی از

اندازه‌گیری‌ها به شرح زیر می‌باشد:

- همه موارد در مقایسه با مورد پایه باعث بهبود یکنواختی در فضا شده‌اند (با سایه زنی و پخش نور در کل فضا).
- رف‌های زاویه‌دار در مقایسه با بدون زاویه یکنواختی نور را با کاهش نور در ابتدای فضا و افزایش نور در انتهای فضا بهبود می‌بخشند.



	ساعت ۹:۰۰				ساعت ۱۲:۰۰			
	ردیف (الف)		ردیف (الف)		ردیف (الف)		ردیف (ب)	
	نقطه (1)	نقطه (2)	نقطه (1)	نقطه (2)	نقطه (1)	نقطه (2)	نقطه (3)	نقطه (4)
نمونه پایه	۴۸۰۹	۱۳۸۲	۶۱۶۹	۱۴۱۵	۷۹۱۸	۱۸۳۴	۷۶۳۱	۱۵۹۹
رف‌نور افقی	۴۷۲۱	۱۲۶۸	۶۰۱۴	۱۳۰۳	۷۲۱۵	۱۷۹۳	۷۵۷۵	۱۵۹۸
رف‌نور با زاویه ۱۰ درجه	۴۵۹۷	۱۳۲۱	۵۸۹۰	۱۳۸۹	۶۷۲۵	۱۹۸۶	۶۶۰۹	۱۶۲۱
رف‌نور افقی ولورهای با زاویه ۲۰ درجه	۳۸۸۱	۱۰۱۵	۴۷۶۰	۱۳۰۱	۶۴۲۵	۱۳۵۲	۶۵۷۶	۱۲۴۴
رف‌نور با زاویه ۱۰ درجه ولورهای با زاویه ۲۰ درجه	۳۷۵۹	۱۱۶۷	۳۶۵۹	۱۴۳۶	۵۶۷۵	۱۴۲۱	۵۷۴۳	۱۳۰۸

شکل ۴-۴۷. نمودار اندازه‌گیری‌ها در آتلیه برای نمونه‌های مختلف در یک روز در ۲ ساعت ۹ و ۱۲

۴-۶-۲-۲ نتایج پرسشنامه

اطلاعات دریافت شده از پرسش‌نامه در دو دسته بدون رف نور و دارای رف نور ارائه‌شده است. به‌منظور دریافت اینکه آیا تفاوت چشمگیری در معناداری دو پرسشنامه وجود دارد یا خیر، آنالیز t زوجی برای همه سؤالات انجام شد، (جدول ۴-۵) نتایج معناداری برای هر سه مدل را ارائه داده است:

مدل ۱:

اکثر سؤالات دارای مقدار p بیشتر از ۰.۰۵ هستند درنتیجه معنادار نیستند. ولی سؤال ۵ در مناطق روزانه و سؤال ۹ و ۱۰ در هر دو مناطق روزانه و غیر روزانه معنادار هستند.

مدل ۲:

در مدل ۲ بعد از نصب لوورها در ترکیب با رف نور سؤالات ۵-۱ در مناطق روزانه معنادار هستند. همچنین سؤالات ۹ و ۱۰ در هر دو مناطق روزانه و غیر روزانه معنادار هستند.

مدل ۳:

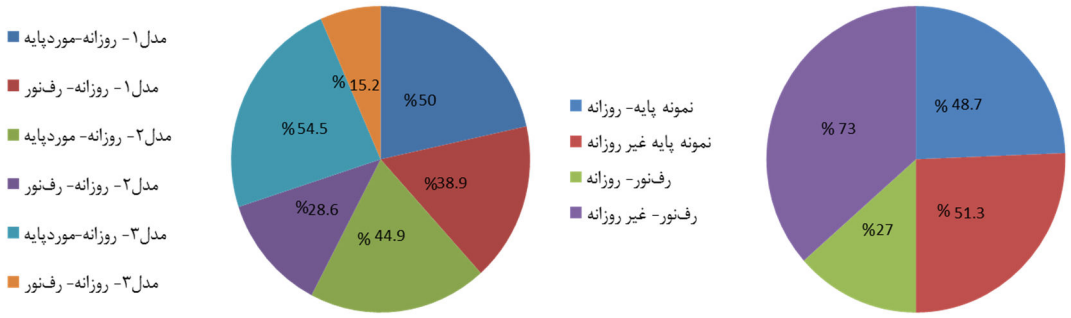
با زاویه دادن به لوورها سؤالات ۵-۱ در مناطق روزانه معنادار هستند. همچنین سؤالات ۹ و ۱۰ در هر دو مناطق روزانه و غیر روزانه کاملاً معنادار هستند.

جدول ۴-۵. آزمون t زوجی برای بررسی تفاوت پیش‌آزمون و پس‌آزمون عملکرد رف نور و لوورها در دانشجویان

	سؤال	p-value					
		مدل ۱		مدل ۲		مدل ۳	
		روزانه	غیر روزانه	روزانه	غیر روزانه	روزانه	غیر روزانه
۱	ارزیابی دانشجویان درباره دسترسی نور بر روی میز کار:	۰.۶۰۴	۰.۳۳۱	۰.۰۰۰	۰.۵۳۷	۰.۰۰۰	۰.۳۳۴
۲	ارزیابی دانشجویان درباره تغییر نور بر روی میز کار:	۱.۰۰۰	۰.۷۱۷	۰.۰۰۰	۰.۳۲۸	۰.۰۰۰	۰.۷۷۴
۳	ارزیابی دانشجویان درباره پخش نور در کل فضا:	۰.۰۱۵	۰.۵۷۹	۰.۰۰۰	۰.۷۸۷	۰.۰۵۷	۰.۴۹۹
۴	ارزیابی دانشجویان درباره تغییر نور در کل فضا:	۰.۴۳۰	۰.۰۵۶	۰.۰۰۱	۰.۱۸۵	۰.۰۳۵	۰.۴۹۹
۵	ارزیابی دانشجویان درباره کیفیت دید:	۰.۰۱۲	۰.۷۴۹	۰.۰۰۸	۰.۰۹۴	۰.۵۹۲	۰.۵۸۲
۹	ارزیابی دانشجویان درباره خیرگی:	۰.۰۰۳	۰.۰۳۷	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۳
۱۰	ارزیابی رفتارهای دانشجویان:	۰.۰۰۴	۰.۰۶۹	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۵	۰.۰۰۳

افراد در دو گروه کلی و بر اساس جای نشستن و با پرسش از آن‌ها در رابطه با تابش مستقیم بر روی بدن یا چشم‌ها دسته‌بندی و تحلیل می‌شوند. بر این اساس افراد در گروه‌های روزانه و غیر روزانه قرار داده می‌شوند. در مورد اول و بدون سیستم سایه زنی ۴۸.۷٪ افراد در مناطق روزانه و ۵۱.۳٪ افراد در

مناطق غیر روزانه بودند. انتظار می‌رود که افراد واقع در مناطق روزانه خیرگی و نور مستقیم آزاردهنده را بر روی میز کار خود احساس کنند؛ پس انتظار می‌رود که ۴۸.۷ درصد از دانشجویان احساس خیرگی ناخوشایند و یا آزاردهنده را در این مناطق داشته باشند. بعداز عمال رف نور و لوورها به‌طور میانگین برای هر سه مدل این میزان به ۲۷٪ روزانه و ۷۳٪ غیر روزانه تغییر یافت. مدل ۱ کمترین منطقه غیر روزانه را بعد از نصب ایجاد کرد و در مدل ۳ تعداد افراد بیشتری در محدوده سایه قرارگرفته‌اند (شکل ۴-۴۸)



شکل ۴-۴۸. سمت راست: درصد افراد در منطقه روزانه و غیر روزانه به‌طورکلی، سمت چپ: درصد افراد در مناطق روزانه به تفکیک مدل موردبررسی در روزهای متفاوت

درمجموع ۱۱۵ نفر در طی ۶ روز و در دو ساعت ۹ و ۱۲ موردبررسی قرار گرفتند. ۳۸.۳٪ پاسخ‌دهندگان مرد و ۶۱.۷٪ زن هستند. از این میان ۶۶.۸ درصد افراد در محدوده سنی ۲۲-۱۸ سال قرار دارند. ۲۵.۳٪ افراد ۲۶-۲۲ سال دارند و ۷.۹٪ افراد بیشتر از ۲۶ سال دارند.

۴-۶-۲-۲-۱ رف نور داخلی ۶۰ سانتی‌متری داخلی

در مدل ۱ تفاوت معناداری در جواب‌ها مشاهده نشد. مقادیر P در بیشتر موارد بیشتر از ۰.۰۵ است و این به این معنی است که میزان معناداری کم است و افراد تغییر محسوسی در تغییرات نور در فضا احساس نکردند.

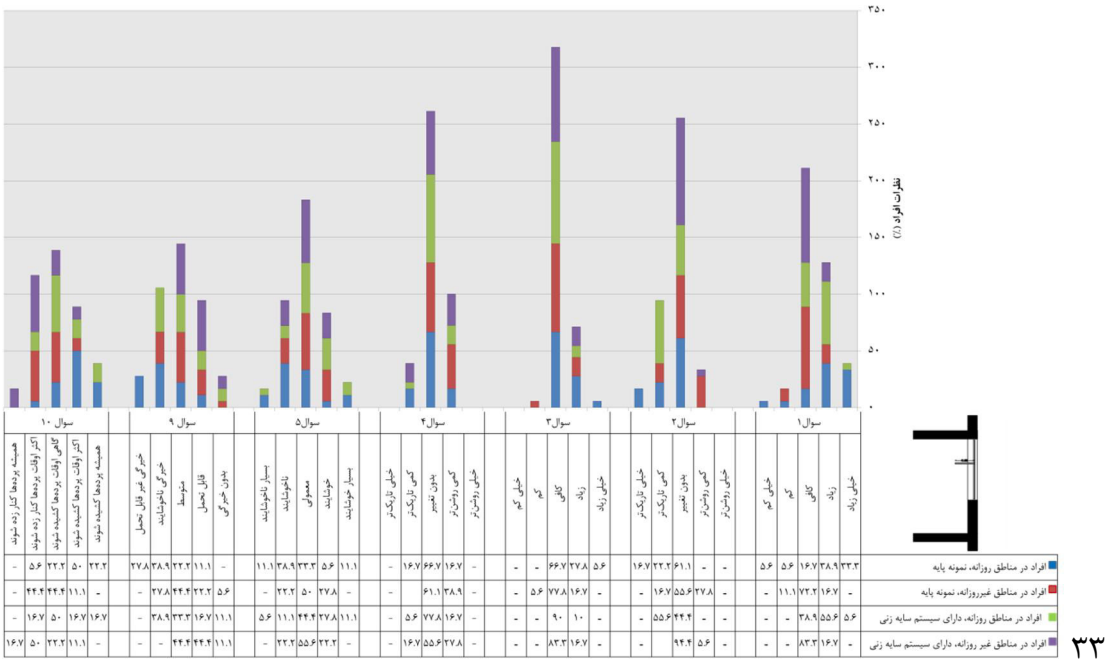
در سؤال ۳ و ۵ در مناطق روزانه و برای سؤال ۹ و ۱۰ در هر دو مناطق روزانه و غیر روزانه تفاوت معناداری مشاهده می‌شود، به‌طوری‌که در رابطه با "ارزیابی دانشجویان درباره کیفیت دید " در منطقه غیر روزانه قبل از نصب رف نور بیشترین درصد مربوط به گزینه "ناخوشایند " می‌باشد که بعد از نصب رف نور در مناطق روزانه ۲۷.۸٪ و ۴۴.۴٪ افراد به ترتیب به دید " خوشایند " و "معمولی " پاسخ دادند.

در رابطه با "ارزیابی خیرگی " افراد در مناطق روزانه بدون رف نور ۳۸.۹٪ و ۲۷.۸٪ افراد به ترتیب به "خیرگی ناخوشایند " و "خیرگی غیرقابل‌تحمل " پاسخ دادند. بعد از نصب رف نور در همان مناطق ۳۸.۹٪ و ۳۳.۳٪ به ترتیب به "خیرگی ناخوشایند " و "متوسط " پاسخ دادند.

در رابطه با "ارزیابی رفتارهای افراد " در استفاده از پرده‌ها در مناطق روزانه بدون سیستم سایه زنی ۲۲.۲٪ و ۵۰٪ به ترتیب به "همیشه پرده‌ها کشیده شوند " و "اکثر اوقات پرده‌ها کشیده شوند " پاسخ دادند؛ اما بعد از نصب رف نور ۵۰٪ آراء افراد به "گاهی اوقات پرده‌ها کشیده شوند " و ۱۶.۷ درصد نیز به "اکثر اوقات پرده‌ها کنار کشیده " شوند تغییر یافت.

با اندازه‌گیری‌های انجام‌شده مشخص شد میزان نور فضا در حدود ۲۰۰-۱۰۰± لوکس تغییریافته است؛ اما افراد در رابطه با میزان نور در روی میز کار و کل فضا و همچنین پخش نور تفاوت محسوسی احساس نکردند، همان‌گونه که در شبیه‌سازی در مرحله ۱ گفته شد. در این مورد رضایت افراد از دید، خیرگی‌ها و تمایل به کمتر استفاده کردن از پرده‌ها بعد از نصب رف نور افزایش‌یافته است.

به‌طورکلی رف نور ۶۰ سانتی‌متری داخلی تفاوت محسوسی در میزان یکنواختی فضا ندارد اما بر روی رفتار افراد بیشتر تأثیرگذار است و افراد کمتر تمایل به استفاده از پرده‌دارند همچنین افراد بیشتری در مواجهه با نور خورشید به‌جای انداختن پرده‌ها و روشن کردن چراغ‌های روشنایی، جای خود را تغییر می‌دهند. خلاصه‌ای از نظرات افراد در رابطه با مدل ۱ در (شکل ۴-۴۹) ارائه‌شده است.



۳۳

شکل ۴-۴۹. نمودار درصد نظرات افراد برای سؤالات ۵-۱، ۱۰ و ۹ برای مدل ۱ (رف نور تنها)

۴-۶-۲-۲-۲ رف نور داخلی ۶۰ سانتی‌متری داخلی و لوورهای افقی

در رابطه با "دسترسی نور روز بر روی میز کار " در مورد پایه، ۸۱.۸٪ افراد در مناطق روزانه به گزینه "زیاد و خیلی زیاد " برای نور اشاره کردند. بعد از نصب رف نور در همان مناطق ۵۹.۱٪ و ۳۶.۴٪ از افراد به ترتیب به نور "کافی " و "زیاد " پاسخ دادند. در مناطق غیر روزانه قبل از نصب رف نور ۵۵.۶٪ و ۲۹.۶٪ افراد به ترتیب به میزان نور "کافی" و "زیاد" پاسخ دادند. بعد از نصب رف نور در مناطق غیر روزانه ۷۷.۸٪ افراد به میزان نور "کافی" پاسخ دادند. همچنین در رابطه با "تغییر نور در روی میز کار" در مناطق روزانه در مورد پایه بدون سیستم سایه زنی ۶۸.۲٪ و ۱۸.۲٪ افراد به ترتیب به "کمی تاریک‌تر" و "خیلی تاریک‌تر" نظر دادند، اما بعد از مداخله سیستم مذکور ۶۳.۶٪ افراد به "بدون تغییر" و ۲۷.۳ درصد به "کمی تاریک‌تر" نظر دادند. در مناطق غیر روزانه قبل از نصب سیستم ۶۶.۷٪ افراد به "بدون تغییر" رأی دادند که بعد از نصب سیستم درصد افرادی که از نور رضایت دارند و معتقد هستند که نور فضا "بدون تغییر " باشد به ۹۲.۶٪ رسید.

به‌طورکلی بعد از نصب رف نور و لوورهای افقی افراد در مناطق روزانه و غیر روزانه بیشتر از میزان نور بر روی میزکار احساس رضایت دارند که دراین حالت بیشترین نارضایتی در مناطق روزانه ابراز شده است. در مناطق روزانه بعد از نصب رف نور، افراد هنوز از نور زیاد شکایت دارند که بیشترین درصد شکایات مربوط به صبح است و در ظهر این مقدار کاهش می‌یابد؛ چراکه لوورهای افقی در ظهر سایه بیشتری بر روی میزکار دانشجویان نسبت به صبح فراهم می‌کنند.

در رابطه با "پخش نور در کل فضا" در مناطق روزانه ۸۱.۸٪ و ۱۸.۲٪ افراد به نور "زیاد و کافی" در کل فضا پاسخ دادند که بعد از نصب رف نور در همان مناطق این مقادیر به ۱۸.۲٪ و ۶۸.۲٪ تغییر یافت. در مناطق غیر روزانه قبل از نصب رف نور بیشترین درصد پاسخ‌ها (۶۳٪) مربوط به گزینه میزان نور "کافی" است که بعد از نصب رف نور این مقدار به ۹۲.۶٪ تغییر یافت. در رابطه با "تغییر نور در کل فضا" در مناطق روزانه قبل از نصب سیستم سایه زنی ۳۱.۸٪ و ۵۹.۱٪ افراد به ترتیب به گزینه " بدون تغییر و کمی تاریک‌تر" پاسخ دادند که بعد از نصب رف نور در همان مناطق به ۶۸.۲٪ و ۱۳.۶٪ تغییر یافت. در مناطق غیر روزانه درصد افرادی که به میزان نور "کافی" در فضا پاسخ داده بودند از ۵۵.۶٪ قبل از نصب رف نور به ۶۸.۲٪ بعد از نصب افزایش یافت.

نتایج بیانگر مثبت بودن نظرات افراد در رابطه با پخش نور در کل فضا بعد از مداخله سیستم است. همچنین در مناطق غیر روزانه بعد از نصب رف نور، میزان نارضایتی از کم بودن نور کاهش‌یافته که این‌ها بیانگر پخش نور و یکنواختی آن در کل فضا است.

در رابطه با "ارزیابی کیفیت دید" دانشجویان در مناطق روزانه قبل از نصب رف نور ۴۵.۵٪ از افراد به دید "ناخوشایند" رأی دادند که بعد از نصب رف نور این مقدار به صفر کاهش یافت و ۵۹.۱٪ و ۳۱.۸٪ از افراد به ترتیب به دید "معمولی و خوشایند" رأی دادند. در مناطق غیر روزانه قبل از نصب رف نور ۳۷٪ افراد به دید "ناخوشایند و بسیار ناخوشایند" پاسخ دادند که بعد از نصب رف نور در

مناطق روزانه این مقدار به ۱۱.۱٪ کاهش یافت و ۵۵.۶٪ و ۲۹.۶٪ افراد به ترتیب به دید "معمولی و خوشایند" پاسخ دادند.

با توجه به نتایج فوق افراد در رابطه با دید به بیرون و لذت بردن از فضای دیداری به موجب حذف عوامل مزاحم دید توسط رف‌های نور مانند حضور آزاردهنده خورشید و نور زیاد، رضایت بیشتری از دید به بیرون دارند. این عامل موجب استفاده نکردن از سیستم سایه‌زنی متداول و کاملاً بسته و همچنین اجازه ورود نور غیرمستقیم به فضا و بهره‌برداری از مزیت‌های نور روز است.

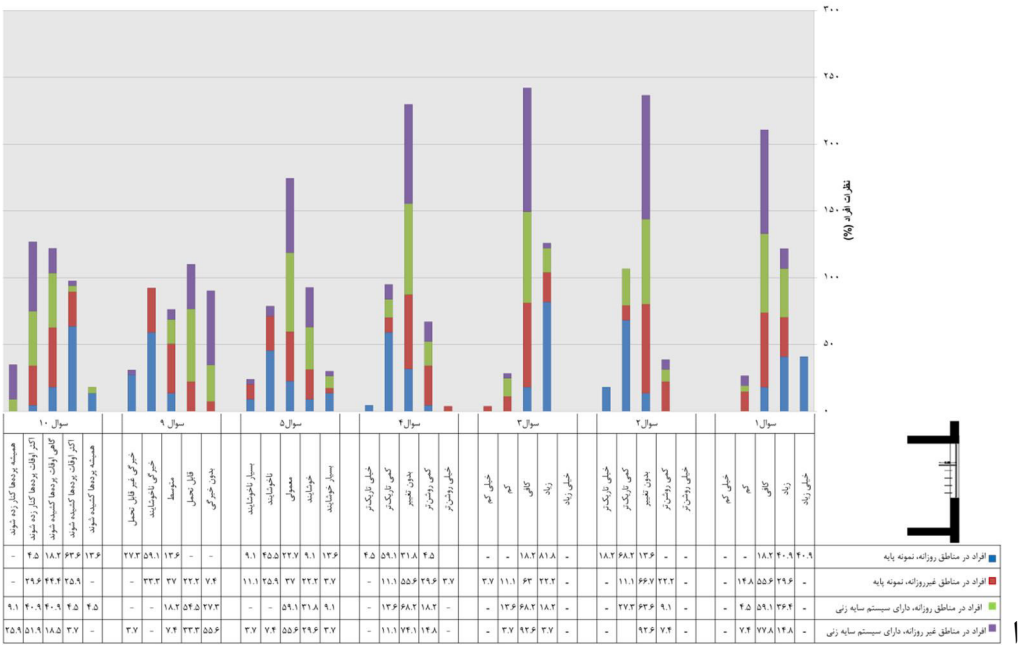
در رابطه با "ارزیابی خیرگی" در مناطق روزانه قبل از نصب سیستم سایه زنی ۸۶.۴٪ افراد به "خیرگی ناخوشایند و خیرگی غیرقابل‌تحمل" پاسخ دادند، بعد از نصب رف نور و لوورها این مقدار به صفر کاهش یافت و ۵۴.۵٪ و ۲۷.۳٪ افرادی که درهمان مناطق بودند به ترتیب به "قابل‌تحمل" و "بدون خیرگی" پاسخ دادند. در مناطق غیر روزانه قبل از نصب رف نور و لوورها ۷۰.۳٪ افراد به " خیرگی ناخوشایند و متوسط " پاسخ دادند که بعد از نصب رف، این مقدار به ۷.۴٪ کاهش یافت و ۳۳.۳٪ به "قابل‌تحمل" و ۵۵.۶٪ درصد به "بدون خیرگی" رأی دادند.

به‌طورکلی افراد بعد از نصب رف‌های نور هم در مناطق روزانه و هم غیر روزانه از خیرگی کمتری رنج می‌برند که به دلیل حذف تابش بیش‌ازحد خورشید در فضا و سایه زنی مناسب سیستم به‌خصوص در ساعت ۱۲ است.

در رابطه با "رفتارهای افراد در استفاده از پرده‌ها" در مناطق روزانه قبل از نصب رف نور و لوورها ۶۳.۶٪ و ۱۳.۶٪ افراد به ترتیب به گزینه "اکثر اوقات پرده‌ها کشیده شوند و همیشه پرده‌ها کشیده شوند" پاسخ دادند. بعد از نصب رف نور در همان مناطق ۸۱.۸٪ افراد به " گاهی اوقات کشیده شوند و همیشه کشیده شوند" به‌طور مساوی پاسخ دادند. در مناطق غیر روزانه قبل از نصب رف نور و لوورها بیشترین درصد نظرات افراد با ۴۴.۴٪ مربوط به گزینه "گاهی اوقات پرده‌ها کشیده شوند" است که بعد از نصب رف نور ۵۱.۹٪ و ۲۵.۹٪ افراد به ترتیب به گزینه "اکثر اوقات پرده‌ها کنار زده شوند و همیشه پرده‌ها کنار زده شوند" پاسخ دادند.

به‌طورکلی بعد از نصب رف نور و لوورها درصد افرادی که مایل به استفاده‌ی کمتر از پرده‌ها هستند افزایش می‌یابد که نتیجه آن ورود نور بیشتر به فضا و استفاده کمتر از چراغ‌های الکتریکی است.

خلاصه‌ای از توضیحات فوق در (شکل ۴-۵۰) ارائه‌شده است.



شکل ۴-۵۰. نمودار درصد نظرات افراد برای سؤالات ۵-۱، ۱۰ و ۹ برای مدل ۲ (رف نور و لوورهای افقی)

۴-۶-۲-۲-۳ رف نور ۶۰ سانتی‌متری داخلی و لوورهای زاویه‌دار

در رابطه با "دسترسی نور روز در روی میز کار" قبل از نصب سیستم سایه زنی در مناطق روزانه ۹۴.۴٪ افراد به نور "زیاد و خیلی زیاد" بر روی میز کارشان معتقد بودند که بعد از نصب رف نور به ۳۳.۳٪ کاهش یافت و ۶۶.۷٪ افراد به میزان نور "کافی" بر روی میز کار پاسخ دادند. در مناطق غیر روزانه قبل از نصب رف نور ۶۶.۷٪ افراد به میزان نور "کافی" پاسخ دادند که بعد از نصب رف نور این مقدار به ۹۳.۳٪ افزایش یافت و افراد بیشتری از میزان نور بر روی میز کار در مناطق غیر روزانه رضایت دارند. در رابطه با "تغییر نور بر روی میز کار" در مورد پایه در مناطق روزانه ۹۴.۴٪ افراد نظر

به "خیلی تاریک‌تر و تاریک‌تر" دادند، بعد از نصب رف نور این مقدار به ۲۲.۲٪ کاهش یافت و ۷۲.۲٪ افراد به گزینه "کافی" و ۲۲.۲٪ به "زیاد" رأی دادند. در مناطق غیر روزانه برای مورد پایه ۶۰٪ و ۲۶.۷٪ افراد به ترتیب به گزینه "بدون تغییر و کمی روشن‌تر" و ۲۶.۷٪ به "کمی تاریک‌تر" رأی دادند. بعد از نصب سیستم سایه زنی در مناطق غیر روزانه ۶۶.۷٪ به میزان نور "کافی" و ۲۶.۷٪ به "کمی روشن‌تر" و ۶.۷٪ به "کمی تاریک‌تر" رأی دادند.

به‌طورکلی افراد در مناطق روزانه و غیر روزانه بعد از نصب رف نور و لوورهای عمودی بیشتر از میزان نور بر روی میز کار احساس رضایت دارند که میزان نارضایتی در مناطق روزانه بیشتر است. در این مورد به دلیل زاویه‌دار بودن رف نور در مناطق غیر روزانه ۲۶.۷٪ افراد در مناطق روزانه تمایل به روشن‌تر شدن میز کارشان دارند.

در مدل شماره ۳ بیشترین افراد به میزان نور کافی بر روی میز کار پاسخ داده‌اند. در مدل شماره ۲ درصد افرادی که بعد از نصب سیستم سایه زنی معتقد بودند میزان نور کافی است بیشتر از مدل ۳ می‌باشد و این به دلیل راحتی بیشتر افراد در منطقه غیر روزانه در مدل شماره ۲ است. همچنین افراد در منطقه روزانه مدل ۳ احساس رضایت بیشتری دارند.

در رابطه با "پخش نور در کل فضا" قبل از نصب رف نور در مورد پایه بیشترین درصد پاسخ‌ها با ۵۵.۶٪ مربوط به نور "زیاد" است؛ درحالی‌که بعد از نصب رف نور این مقدار به ۵.۶٪ کاهش یافت و ۷۷.۸٪ افراد به میزان نور کافی پاسخ دادند. در مناطق غیر روزانه قبل از نصب رف نور بیشترین درصد پاسخ‌ها با ۶۰٪ مربوط به میزان نور "کافی" است که بعد از نصب رف نور این مقدار به ۸۶.۷٪ افزایش یافته است. در رابطه با "تغییر نور در فضا" قبل از نصب در مناطق روزانه بیشترین درصد پاسخ‌ها با ۴۴.۴٪ مربوط به "کمی تاریک‌تر" است؛ اما بعد از نصب سیستم سایه زنی در مناطق روزانه بیشتر افراد با ۸۳.۳٪ نظر به عدم تغییر نور در فضا داشتند. در مناطق غیر روزانه قبل از نصب سیستم سایه

زنی ۴۶.۷٪ و ۳۳.۳٪ از افراد به ترتیب به " بدون تغییر و کمی روشن‌تر" پاسخ دادند که بعد از نصب سیستم سایه در مناطق غیر روزانه، این مقادیر به ۷۳.۳٪ و ۲۶.۷٪ تغییر کرد.

نتایج این بخش، همانند مدل ۲، بیانگر اثربخشی سیستم در رابطه با پخش نور در فضا است.

در سؤال ۳، میزان رضایت‌ها در مناطق روزانه برای مدل ۳ بهتر از مدل ۲ است، ولی در مناطق غیر روزانه مدل ۲ کارآمدتر است. ولی در سؤال ۴ به لحاظ "میزان تغییرات نور در فضا"، بعد از نصب رف نور در مدل ۳، درصد افراد بیشتری ترجیح به عدم تغییر نور در فضا داده‌اند. لیکن میزان نارضایتی‌ها از تاریکی اتاق در مناطق غیر روزانه افزایش‌یافته است.

با توجه به موارد فوق، باوجود اینکه سیستم در این مورد زاویه‌دار است و انتظار می‌رفت که افراد در مناطق غیر روزانه از کم بودن نور در فضا ناراضی باشند، اما مشاهده شد که درصد بیشتری از افراد، هم در مناطق روزانه و هم غیر روزانه، نظرات مثبتی درباره دسترسی نور بر روی میز کار و کل فضا و همچنین یکنواختی آن داشتند.

در رابطه با "ارزیابی کیفیت دید" دانشجویان در مناطق روزانه قبل از نصب رف نور نظرات افراد متفاوت بود و به‌طور تقریبی، همه گزینه‌ها ۱۶-۲۲٪ پاسخ داشتند؛ اما بعد از نصب رف نور از میزان "بسیار ناخوشایندی و بسیار خوشایندی" کاسته شد و به سه گزینه دیگر رأی دادند. یکی از دلایل این امر وجود سیستم سایه زنی زاویه‌دار است که دید افراد را نسبت به نمونه افقی و بدون سیستم محدود می‌کند. در مناطق غیر روزانه نیز از میزان ناخوشایندی کاسته شده و افراد بیشتری به دید خوشایند رأی دادند.

در رابطه با "ارزیابی خیرگی‌ها" در مناطق روزانه قبل از نصب سیستم سایه زنی ۷۷.۸٪ افراد به "خیرگی ناخوشایند" و "غیرقابل‌تحمل" رأی دادند. بعد از نصب رف نور این میزان به ۵.۶٪ کاهش یافت و ۷۷.۸٪ افراد به "خیرگی قابل‌تحمل و بدون خیرگی" به‌طور مساوی رأی دادند. در مناطق غیر

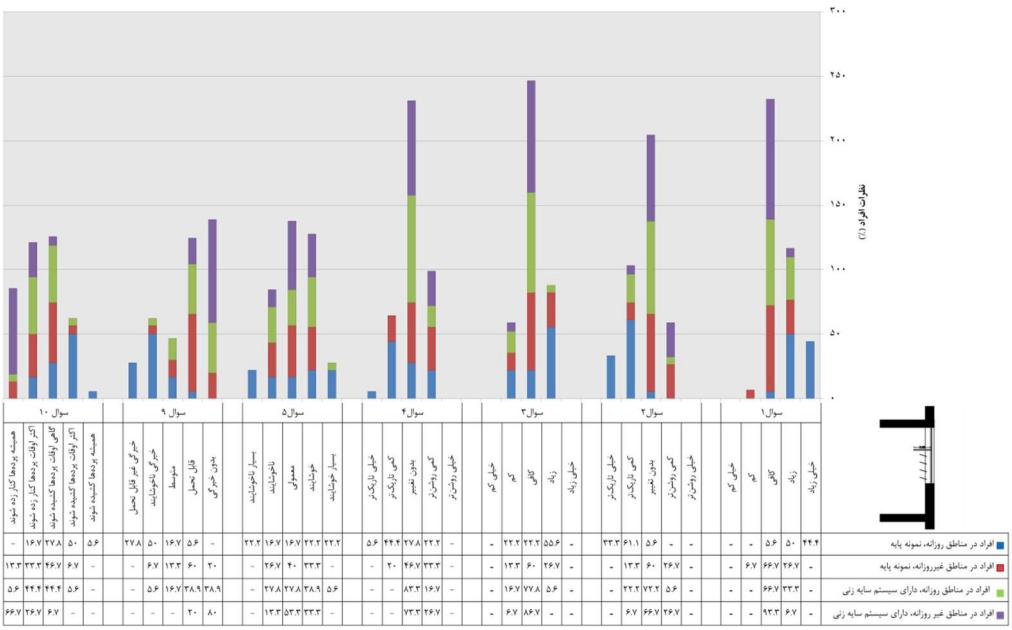
روزانه قبل از نصب سیستم سایه زنی به ترتیب ۲۰٪ و ۶۰٪ افراد به گزینه "بدون خیرگی و خیرگی قابل‌تحمل" رأی دادند. بعد از نصب سیستم سایه زنی این مقادیر به ۸۰٪ و ۲۰٪ تغییر یافت.

در کاهش میزان خیرگی‌ها، رف نور و لوورهای زاویه‌دار به علت افزایش منطقه سایه اندازی به‌خصوص در ساعات صبح نسبت به نوع افقی آن، میزان خیرگی‌ها از ۲ مورد قبل کمتر است و افراد رضایت بیشتری دارند.

در رابطه با "ارزیابی رفتارهای افراد" در مناطق روزانه قبل از نصب سیستم سایه زنی ۵۵.۶٪ نظر به دو گزینه "همیشه پرده‌ها کشیده شوند و اکثر اوقات پرده‌ها کشیده شوند" دادند. بعد از نصب رف‌های نور در مناطق روزانه این مقدار به ۵.۶٪ کاهش یافت و ۸۸.۸٪ افراد به "گاهی اوقات کشیده شوند" و "اکثر اوقات کشیده شوند" به‌طور مساوی پاسخ دادند. در مناطق غیر روزانه قبل از نصب رف‌های نور ۱۳.۳٪ افراد نظر به این داشتند که "همیشه پرده‌ها کنار زده شوند"؛ اما بعد از نصب سیستم سایه زنی در مناطق روزانه ۶۶.۷٪ افراد این گزینه را انتخاب کردند.

در این مورد همانند موارد قبل افراد بیشتری نظر به استفاده کمتر از پرده‌ها به‌خصوص در مناطق غیر روزانه داشتند. به دلیل اینکه لوورها در این مورد دارای زاویه هستند درنتیجه از میزان خیرگی محدوده پنجره بیشتر کاسته شده و نسبت به مدل ۱ و مدل ۲ افراد بیشتری تمایل به استفاده نکردن از پرده‌های معمول دارند.

خلاصه‌ای از توضیحات فوق در (شکل ۴-۵۱) ارائه‌شده است.



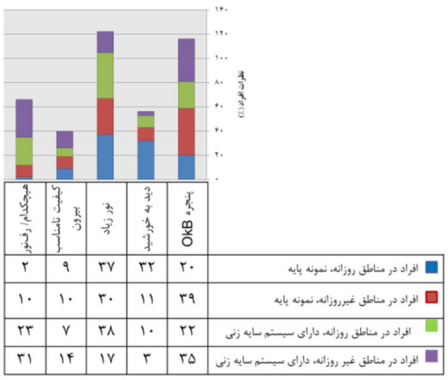
شکل ۴-۵۱. نمودار درصد نظرات افراد برای سؤالات ۵-۱، ۱۰ و ۹ برای مدل ۳ (رف نور و لوورهای زاویه‌دار)

۴-۶-۲-۲-۴ سایر نتایج حاصل از پرسش‌نامه

در این بخش به سایر دریافت‌های پرسشنامه می‌پردازیم که در غالب سه بخش ارائه می‌گردد:

عوامل مختل‌کننده دید:

ازجمله عوامل مختل‌کننده دید معرفی‌شده برای دانشجویان، بالا بودن OKB پنجره، دید مستقیم به خورشید، نور زیاد و کیفیت نامناسب فضای بیرونی است. (شکل ۴-۵۲) خلاصه‌ای از نظرات افراد را درباره گزینه‌های فوق بیان می‌کند.



شکل ۴-۵۲. نمودار درصد نظرات افراد برای سولات در ارزیابی دید به بیرون

با توجه به نتایج پرسش‌نامه، بیشترین نارضایتی افراد در مناطق روزانه قبل از نصب سیستم سایه زنی با ۳۲٪ و ۳۷٪ به ترتیب مربوط به "دید به خورشید و نور زیاد" است. بعد از نصب رف نور در مناطق روزانه،۱۰٪ افراد هنوز از دید مستقیم به خورشید رنج می‌برند و درصد افرادی که از نور زیاد ناراضی هستند تغییری نیافته است و ۲۳٪ افراد معتقد بودند که هیچ مانعی ندارند. در مناطق غیر روزانه، قبل از نصب نارضایتی‌ها شامل نور زیاد و بالا بودن OKB بودند که به ترتیب ۳۰٪ و ۳۹٪ افراد به دو گزینه فوق پاسخ دادند. بعد از نصب رف نور در مناطق غیر روزانه این مقادیر به ۳۵٪ و ۱۷٪ تغییر کردند.

در مناطق غیر روزانه میزان نارضایتی افراد از بالا بودن OKB پنجره زیاد است. این امر به دلیل محدود شدن دید افراد با فاصله دورتر از پنجره در حالت نشسته، نسبت به افرادی که در نزدیکی پنجره نشسته‌اند، می‌باشد. بعد از نصب رف نور میزان نارضایتی‌ها از مانع دید بودن رف نور افزایش یافت که این میزان در مناطق غیر روزانه بیشتر است.

منابع خیرگی:

ازجمله منابع خیرگی معرفی‌شده برای دانشجویان بر اساس پتانسیل‌های خیرگی موجود در کلاس، میزها، لپ‌تاپ، کاغذ و تخته است. (شکل ۴-۵۳) خلاصه‌ای از نظرات افراد را درباره گزینه‌های فوق بیان می‌کند.

شکل ۴-۵۳. نمودار درصد نظرات افراد برای سؤالات در ارزیابی خیرگی

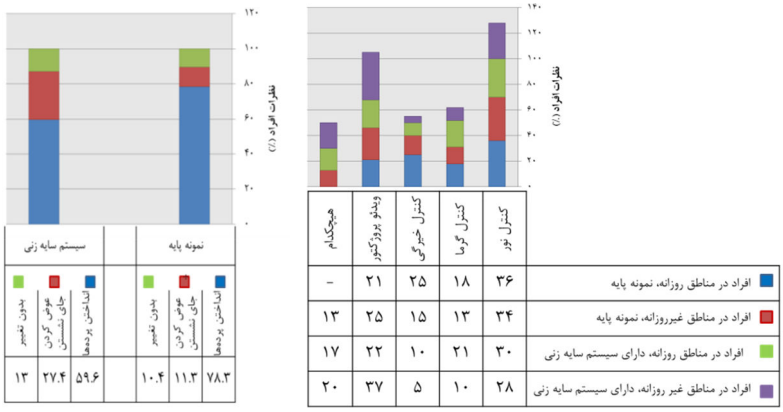
با توجه به نتایج حاصل از پرسش‌نامه، بیشترین منابع خیرگی در مناطق روزانه قبل از نصب رف نور مربوط به "لپ‌تاپ" در درجه اول و در درجه دوم "تخته" است که این موارد بعد از نصب رف نور کاهش‌یافته است. همچنین درصد افرادی که با هیچ‌کدام از این موارد موافق نبودند، به میزان ۳۲٪ افزایش‌یافته است. در مناطق غیر روزانه بعد از نصب رف نور هنوز هم میزان نارضایتی‌ها برای لپ‌تاپ و تخته‌ها همچنان زیاد است که بعد از نصب رف نور میزان افرادی که نظر به "هیچ‌کدام" دادند به ۴۵٪ افزایش یافته است.

رفتارهای افراد:

در این بخش دو سؤال کلی در مورد رفتار افراد در استفاده از پرده‌ها پرسیده می‌شود.

در همه موارد ۳۷-۲۱ درصد از افراد با هدف استفاده از فضای تاریک برای ویدئو پروژکتور از پرده‌ها استفاده می‌کنند. این گزینه بستگی به هدف آموزشی دارد و در روند تحلیل این گزینه در نظر گرفته نشده است.

هدف افراد در استفاده از پرده‌ها در مناطق روزانه بیشتر برای کنترل نور و خیرگی است. بعد از نصب رف نور در همان مناطق درصد کمتری از افراد تمایل به استفاده از پرده برای کنترل نور و خیرگی داشتند در نتیجه افراد بیشتری در محدوده آسایش قرارگرفته‌اند، به‌طوری‌که ۱۷٪ از افراد هیچ دلیلی برای استفاده از پرده‌ها نداشتند. در مناطق غیر روزانه بیشترین درصد آرا ۳۴٪ و برای کنترل نور است که بعد از نصب رف نور این درصد به ۲۸٪ می‌رسد. همچنین ۲۰٪ افراد نظر به این دادند که دلیلی برای استفاده از پرده‌ها ندارند. (شکل ۴-۵۴) خلاصه‌ای از نظرات افراد را بیان می‌کند.



شکل ۴-۵۴. راست: نمودار درصد نظرات افراد برای سؤالات ارزیابی رفتارهای افراد در رابطه با استفاده از پرده‌ها چپ: نمودار رفتار افراد در مواجهه با نور خورشید

در اینجا، هدف سنجش افراد در رابطه با مواجهه با نور خورشید و استفاده از سیستم سایه زنی است که به‌طورکلی برای هر دو مناطق روزانه و غیر روزانه محاسبه شد. قبل از نصب رف نور و در مورد پایه ۷۸.۳٪ افراد نظر به انداختن پرده‌ها داشتند و ۱۱.۳٪ افراد به‌عوض کردن جای نشستن رأی دادند. لکن بعد از نصب رف نور تنها ۵۹.۶٪ افراد نظر به انداختن پرده‌ها دادند و ۲۷.۴٪ خواهان عوض کردن جای نشستن بودند (شکل ۴-۵۳).

به‌طورکلی نصب رف نور باعث بهبود عملکرد افراد در رابطه با استفاده از نور طبیعی گشت و افراد بیشتری تمایل به استفاده از نور طبیعی نشان دادند.

۴-۷ جمع‌بندی

مطالعه فوق به‌منظور ارزیابی عملکرد رف‌های نور و سیستم‌های سایه زنی در فضاهای عمیق از طریق شبیه‌سازی، مطالعات آزمایشگاهی و تجربی انجام شد. نتایج حاصل منجر به تعریف ویژگی‌های بهینه سیستم و همچنین ارزیابی مشکلات و موانع در رابطه با نور روز و استفاده از رف نور در ترکیب با لوورهای متحرک داخلی و اثبات اثربخشی این سیستم شد.

نتایج کلی به شرح زیر هستند:

- سیستم سایه زنی پیشنهادی به‌اندازه کافی باعث بهبود سایه زنی فضا می‌شود؛
- توزیع نور را بهبود می‌بخشد؛
- به‌طور مؤثری در مقابل خیرگی عمل می‌کند (با توجه به نتایج حاصل از پرسش‌نامه)؛
- در مصرف انرژی صرفه‌جویی می‌کند (با کمتر شدن استفاده از پرده‌های متداول و اجازه ورود نور طبیعی به داخل فضا)؛
- امکان دید به بیرون بدون آزردگی (به‌جز هنگامی‌که خورشید در ارتفاع پایینی است و سیستم سایه زنی زاویه‌دار است).

فصل ۵ : نتیجه گیری

۵-۱ خلاصه

نور روزانه سهم زیادی در ساختمان‌های کارآمد به لحاظ مصرف انرژی و همچنین ایجاد یک محیط دلپذیر و جذاب دارد که باعث ایجاد آسایش بصری برای کاربران می‌شود. پنجره‌های سنتی به‌عنوان منبع اصلی نور روز یک مشکل رایج دارند که توزیع ناهمگون نور روز در فضا است. یکی از راه‌های مؤثر برای این مسئله ارائه سیستم‌هایی است که نور را جمع‌آوری کرده و در فضا توزیع می‌کنند. رف نور به‌عنوان راه‌حلی مناسب برای کنترل نور روز است. این سیستم به‌راحتی می‌تواند تغییر پیدا کند، داخلی یا خارجی باشد و اشکال متفاوت داشته باشد. حتی قابلیت کنترل به‌صورت فعال را داراست. یک رف نور می‌تواند سایه زنی را بهبود دهد. درعین‌حال می‌تواند بخشی از نور را به سقف و از آنجا به انتهای فضا انتقال دهد و باعث بهبود یکنواختی شود. فاکتورهای مورد بررسی برای این منظور شامل یکنواختی توزیع نور در فضا، اجتناب از انعکاس‌های اذیت کننده و ارائه سایه کافی است.

در ابتدا مطالعه اولیه‌ای در آتلیه‌های رو به جنوب انجام شد. اهداف مطالعه سیستم تعریف شد و سپس سیستم ترکیبی شامل رف نور (به‌منظور سایه زنی و انعکاس نور) و پرده‌های متحرک داخلی (به‌منظور سایه بیشتر و جلوگیری از خیرگی) انتخاب شد. مطالعات بر روی سیستم انتخاب‌شده در سه بخش شبیه‌سازی، مطالعات آزمایشگاهی و میدانی انجام شد.

۵-۲ نتیجه‌گیری

هدف اصلی در این پایان‌نامه همانظور که گفته شد ارزیابی عملکرد رف‌های نور در یکی از آتلیه‌های طراحی در دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود است. مطالعه از سه بخش کلی تشکیل می‌شود که در ادامه نتایج هرکدام ارائه می‌شود.

۵-۲-۱ شبیه‌سازی

شبیه‌سازی رف‌های نور و لوورها در ۴ مرحله و در شرایط نور پراکنده و مستقیم در زمان‌های مختلف انجام شد. به‌طورکلی با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام‌شده (جمعاً ۱۸۹ مورد) مشخص شد که رف‌های نور باعث بهبود یکنواختی نور می‌شوند که عملکرد آن از طریق رف نور زاویه‌دار بهبود می‌یابد. همچنین ترکیب رف‌های نور با لوورهای متحرک بهتر از پرده‌های متداول عمل می‌کنند. درنهایت یک رف نور ترکیبی (داخلی/خارجی) با عرض ۱.۴-۱ متر و ارتفاع نصب ۲.۵ متر از سطح زمین و جنس منعکس کننده با شاخص انعکاس ۵۰٪ و زاویه ۲۰ درجه در ترکیب با لوورهای متحرک داخلی برای شهرستان شاهرود پیشنهاد شد (جدول ۴-۴).

۵-۲-۲ ماکت

در مرحله دوم بررسی‌ها عملکرد یک نوع رف نور ترکیبی (داخلی/خارجی) در سه آسمان صاف آفتابی، ابری و نیمه ابری مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام‌شده، رف نور با کاهش نور در ابتدای فضا و همچنین سایه‌اندازی مناسب باعث یکنواختی نور در فضا می‌شود. همچنین به‌عنوان نتیجه‌گیری از این مطالعه که در سه نوع آسمان متفاوت انجام شد، در آسمان پاییزی بیشترین میزان تغییرات آسمان در طول دوره اندازه‌گیری مشاهده شد؛ که در این میان آسمان ابری کاملاً یکنواخت بود و آسمان آفتابی نیز تغییرات روشنایی در آن بسیار محدود بود؛ اما در آسمان نیمه ابری تغییرات شدید و لحظه‌ای نور را داشتیم. به همین دلیل نمی‌توان یک سیستم را برای همه روزها تعمیم داد؛ لذا این مسئله لزوم یک سیستم پویا که بر اساس تغییرات روزانه می‌تواند خود را با شرایط مختلف تطبیق دهد پیشنهاد می‌شود. همچنین در روزهای ابری به دلیل کم بودن تابش بیرونی، نور کافی به انتهای فضا نمی‌رسد و کمتر از ۵۰۰ لوکس است. با اضافه کردن رف نور ۸۰/۶۰ با زاویه افقی و ارتفاع نصب ۲.۵ متر از زمین شاهد کم شدن بیشتر نور نسبت به نمونه پایه بودیم.

۵-۲-۳ مطالعه میدانی

در مرحله سوم مطالعه به بررسی عملکرد رف نور و لوورهای داخلی تکمیل‌کننده در آتلیه طراحی و همچنین دریافت معیارهای ذهنی افراد درباره سیستم سایه زنی پیشنهادی پرداخته شد. سیستم مذکور در ۳ مدل (رف نور داخلی، رف نور در ترکیب با لوورهای داخلی با زاویه افقی، رف نور و لوورهای داخلی با زاویه ۲۰ درجه نسبت به افق) نصب شد و به‌طور هم‌زمان به ثبت معیارهای عینی و ذهنی دانشجویان از طریق پرسشنامه و اندازه‌گیری شدت روشنایی در ارتفاع میز کار دانشجویان پرداخته شد.

افراد بر اساس محل نشستن در گروه‌های روزانه و غیر روزانه طبقه‌بندی شدند. ۴۸.۷٪ افراد قبل از نصب سیستم سایه زنی در مناطق روزانه بودند که بعد از نصب سیستم این میزان به ۲۷٪ رسید. لذا انتظار می‌رود که ۲۰٪ افراد در محدوده آسایش قرار بگیرند و نظرات آن‌ها تغییر کند؛ اما نتایج بیانگر تفاوت‌های بیشتر از ۲۰٪ بودند که این نشان دهنده تأثیر آن در هر دو مناطق روزانه و غیر روزانه است.

سؤال‌ها در ۴ بخش کلی به ارزیابی معیارهای در رابطه با نور روز می‌پرداختند که در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته‌شده است.

الف. ارزیابی میزان نور

سؤال‌های ۴-۱ به دسترسی نور و پخش نور در کل فضا و بر روی میز کار می‌پردازند. در مدل شماره ۱ با توجه به عدم تغییر زیاد شدت روشنایی در روی میز کار و کل فضا نظرات افراد نسبت به مورد پایه تفاوت چندانی نداشت. تنها در مورد پخش نور در کل فضا نظرات افراد معنی‌دار بود که بعد از نصب رف نور به دلیل پخش مناسب‌تر نور بعد از نصب رف افراد بیشتری به میزان نور کافی رای دادند.

در مدل‌های شماره ۲ و ۳ به‌طورکلی افراد در هر دو مناطق روزانه و غیر روزانه بعد از نصب رف نور و لوورها از میزان نور بر روی میز کارشان رضایت کافی دارند. در مناطق روزانه بعد از نصب، در مدل ۲، ۵۹.۱٪ افراد و در مدل ۳، ۶۶.۷٪ افراد به میزان نور کافی پاسخ دادند. توجه به این نکته ضروری است که یکنواختی نور در کل کلاس نمی‌تواند تنها با در نظر گرفتن نور در روی میز کار قضاوت شود. لذا با پرسش از افراد در رابطه با میزان نور در کل فضا در هر دو مناطق روزانه و غیر روزانه انجام شد. در هر دو مناطق، برای هر دو پرسشنامه بیشترین رأی بر میزان کافی بودن نور در فضا بود؛ به‌طوری‌که بعد از نصب رف نور در مناطق روزانه در مدل ۲، ۶۸.۲٪ افراد و در مدل ۳، ۷۷.۸٪ افراد به نور کافی رأی دادند. مطالب بیان‌شده اثربخشی هر دو سیستم را در آسمان آفتابی ازلحاظ میزان نور بر روی میز کار و کل فضا را نشان می‌دهد.

اما در مقایسه جزئی‌تر این دو مدل، به‌طورکلی مدل ۲ اجازه ورود نور بیشتری را به داخل فضا می‌دهد. درحالی‌که مدل ۳ باعث سایه‌اندازی بیشتر و کمتر شدن نور در کل فضا می‌شود، درنتیجه مدل ۲ موجب رضایت بیشتر افراد در مناطق غیر روزانه و مدل ۳ رضایت بیشتر در مناطق روزانه را به دنبال دارد. همچنین با توجه به مشاهدات و نتایج پرسشنامه، مدل شماره ۲، در ساعت ۱۲ عملکرد بهتری در سایه‌اندازی فضا نسبت به ساعت ۹ داشت و مدل شماره ۳ در هر دو ساعت عملکرد مناسبی داشت؛ ولی میزان نارضایتی‌ها از کمبود نور در مناطق غیر روزانه نسبت به مدل ۲ افزایش یافته است. پس با توجه به مطالب گفته‌شده مدل ۳ برای ارتفاع‌های پایین خورشید و مدل ۲ برای ارتفاع‌های بالاتر خورشید پیشنهاد می‌شود.

ب. ارزیابی دید به بیرون

دید به بیرون منجر به آزاد شدن فکر دانشجویان و استراحت چشم و فکر آن‌ها می‌شود. میزان رضایت از کیفیت دید پس از نصب رف نور در مدل ۱، با وجود اینکه تغییر محسوس در نور وجود نداشت، ولی رضایت از دید نسبت به نمونه پایه افزایش یافت. در مدل ۲ و ۳، با حذف عوامل مزاحم دید

توسط رف‌های نور مانند حضور آزاردهنده خورشید و نور زیاد، رضایت بیشتری از دید به بیرون بعد از نصب مشاهده شد که این خود موجب استفاده نکردن از سیستم سایه زنی متداول و کاملاً بسته، اجازه ورود نور غیرمستقیم به فضا و بهره‌برداری از مزیت‌های نور روز است. به‌طورکلی بعد از نصب رف نور عوامل مختل‌کننده مانند دید مستقیم به خورشید و نور زیاد که بیشترین نارضایتی در رابطه با دید بود کاهش یافت؛ اما میزان نارضایتی‌ها از مانع دید بودن رف نور در مناطق روزانه و غیر روزانه هر دو به مقدار ۲۱٪ افزایش یافت که این مورد در مدل شماره ۳ به سبب زاویه‌دار بودن لوورهای متحرک بیشتر است.

ج. خیرگی

پس از نصب رف نور در هر سه مدل شاهد کاهش نارضایتی‌ها از خیرگی هستیم. بیشترین درصد پاسخ به گزینه بدون خیرگی در مدل ۳، با ۳۸.۹٪ در مناطق روزانه و ۸۰٪ در مناطق غیر روزانه مشاهده می‌شود.

سطح نور روز در مناطق روزانه بعد از نصب رف نور نیز در سطح بالایی قرار دارد و میزان آن بالاتر از استانداردها می‌باشد؛ اما درصد بالایی از دانشجویان پس از نصب رف نور به کافی بودن نور و نداشتن خیرگی پاسخ دادند که این به دلیل حذف تابش‌های آزاردهنده بر روی میزهای کار، تقسیم شدن پنجره، کم شدن محدوده خیرگی و همچنین یکنواخت‌تر شدن نور در کل فضا است.

د. رفتارهای افراد

کنترل افراد بر روی محیط اطراف و نحوه استفاده آن‌ها از سیستم‌های سایه زنی، اثر زیادی بر روی میزان نور در فضا دارد. انداختن پرده‌ها منجر به کم شدن شدید سطح نور روز و درنتیجه استفاده از لامپ‌های الکتریکی می‌گردد. جدا از مصارف انرژی و هزینه‌های آن، دانشجویان از نور طبیعی و مزیت‌های آن بی‌بهره می‌شوند. در هر سه مدل تفاوت‌های معناداری در تمایل افراد به استفاده نکردن از پرده‌ها بعد از نصب رف نور مشاهده شد که این میزان در مدل شماره ۲ و ۳ بیشتر است. علاوه بر

این افراد بیشتری بعد از نصب رف نور تصمیم به عوض کردن جای نشستن به‌جای انداختن پرده‌ها گرفتند که این تعداد از ۱۱.۳٪ در نمونه پایه به ۲۷.۴٪ در نمونه دارای رف نور رسید. چراکه به دلیل آزادی در محل نشستن و بزرگ بودن ابعاد فضا، افراد ساکن در محیط دارای گزینه‌های بیشتری برای نشستن هستند که این ممکن است همان‌گونه که افراد اذعان داشتند به دلیل کیفیت نور بیشتر و دید مطلوب به بیرون باشد.

به‌منظور خلاصه‌ای از نتایج پرسش‌نامه، طیف گسترده‌ای از پذیرش نور و آسایش بصری را پس از نصب رف نور به‌خصوص رف نور به همراه لوورهای متحرک داخلی مشاهده می‌کنیم که این‌ها به دلیل کاهش میزان خیرگی‌ها و یکنواختی بیشتر نور است.

۵-۳ ارائه پیشنهادات

کارهای آینده نیازمند بررسی سایر پیکربندی‌های رف نور و لوورها با دیگر انواع شیشه، ارزیابی دقیق خیرگی و همچنین کاهش مصرف انرژی سیستم است.

به‌عنوان نتیجه‌گیری این پایان‌نامه می‌تواند به استفاده موثر از نور طبیعی و مزایای آن در فضاهای آموزشی شهر شاهرود کمک کند. همچنبن باعث بهبود آسایش بصری و استفاده کمتر از لامپ‌های الکتریکی و در نتیجه کاهش مصرف انرژی الکتریکی گردد. همچنین این پایان نامه می‌تواند مورد استفاده معماران و هر فردی که مایل به مطالعه نور و آسایش بصری و صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان‌های آموزشی است، قرار بگیرد.

پیوست

پیوست ۱: نرم‌افزارهایی که بر اساس رادیانس نوشته‌شده‌اند [۴۴]:

۱. دیسیم[1]

یک نرم‌افزار تجزیه تحلیل نور روز بر اساس رادیانس است که مقدار نور را در داخل ساختمان‌ها و اطراف آن‌ها را شبیه‌سازی می‌کند. شبیه‌سازی سالانه را بر اساس داده‌های آب و هوایی محاسبه می‌کند. دیسیم به کاربران امکان محاسبه خیرگی و همچنین مصرف انرژی الکتریکی برای نماهای پویا را می‌دهد.[۲۷]

۲. دیوا[2]

دیوا یک پلاگین برای راینو است که برای نور روز و مدل‌سازی انرژی در ساختمان استفاده می‌شود. این نرم‌افزار تحلیل محیطی و اقلیمی ساختمان‌ها و سایت‌های شهری را ازنظر میزان روشنایی روز، انرژی تابش خورشید، میزان خیرگی در بازه‌های زمانی متفاوت و میزان انرژی مصرفی و بار حرارتی زون‌ها، آنالیز و شبیه‌سازی می‌کند.

۳. رلوکس[3]

یک نرم‌افزار رایگان است که به‌طور عمده برای محاسبات نورپردازی الکتریکی استفاده می‌شود. هرچند که جهت محاسبات نور روز و انرژی هم کاربرد دارد. شبیه‌سازی رلوکس عمدتاً با روش شعاعی است، بااین‌وجود یک نسخه پیشرفته از رادیانس در رلوکس پیشرفته اجراشده است که اجازه محاسبات با روش پرتوافشانی را برای آنالیزهای روشنایی می‌دهد.

نرم‌افزارهای دیگری که بر اساس رادیانس نیستند:

۴. دیالوکس[4]

دیالوکس یک نرم‌افزار حرفه‌ای و رایگان برای محاسبه نور است که توسط شرکت نرم‌افزاری

[1] Daysim
[2] Diva
[3] Relox
[4] DIALux

دیال[1] آلمان طراحی‌شده است که قادر به شبیه‌سازی، محاسبه و طراحی نور است. این نرم‌افزار به‌طور عمده برای روشنایی داخلی و خارجی نور الکتریکی برای گستره وسیعی از کاربری‌ها مانند روشنایی خیابان‌ها و معابر عمومی، ساختمان‌ها و تونل‌ها استفاده می‌شود، همچنین این امکان را دارد که خصوصیات نوری را مستقیماً از شرکت سازنده دریافت کند. این نرم‌افزار به شما کمک می‌کند تا متوجه شوید بهترین حالت نصب لامپ‌ها چیست و در چه طول و عرض ارتفاعی باید قرار بگیرند. همچنین امکان واردکردن نقشه‌های دوبعدی را دارد [۴۵].

[1] Dial

پیوست ۲: پرسشنامه شماره ۱ (بدون رف نور)

عمومی	سن		جنسیت		تاریخ و ساعت
ارزیابی میزان نور	**۱) میزان نور در روی *میز کار* را چگونه ارزیابی می‌کنید؟**				
	☐ خیلی کم	☐ کم	☐ کافی	☐ زیاد	☐ خیلی زیاد
	۲) ترجیح می‌دهید میزان نور در روی *میز کار* را چقدر تغییر دهید؟				
	☐ خیلی روشن‌تر	☐ کمی روشن‌تر	☐ بدون تغییر	☐ کمی‌تاریک‌تر	☐ تاریک‌تر
	۳) ۱) میزان نور در روی *میز کار* را چگونه ارزیابی می‌کنید؟				
	☐ خیلی کم	☐ کم	☐ کافی	☐ زیاد	☐ خیلی زیاد
	۴) ترجیح می‌دهید میزان نور در *کل فضا* را چقدر تغییر دهید؟				
	☐ خیلی روشن‌تر	☐ روشن‌تر	☐ بدون تغییر	☐ کمی‌تاریک‌تر	☐ خیلی تاریک‌تر
ارزیابی دید(به بیرون)	**۵) کیفیت دید از طریق پنجره را چگونه ارزیابی می‌کنید؟**				
	☐ بسیارناخوشایند	☐ ناخوشایند	☐ معمولی	☐ خوشایند	☐ بسیار خوشایند
	۶)از عوامل مختل‌کننده دید کدام‌یک از گزینه‌های زیر هستند؟ (انتخاب چند گزینه مجاز است)				
	☐ OKB پنجره بالا است	☐ دیدمستقیم به خورشید	☐ نور زیاد	☐ کیفیت بد بیرون	☐ هیچ‌کدام
ارزیابی خیرگی	**۷) آیا تابش مستقیم بر روی بدن یا چشم‌های خودداریدد؟** ☐ بله بر روی بدن ☐ بله بر روی چشم‌ها ☐ خیر				
	درصورت وجود تابش مستقیم بر روی بدن یا چشم‌ها آن را چگونه ارزیابی می‌کنید؟				
	☐ بسیارناخوشایند	☐ ناخوشایند	☐ مناسب	☐ خوشایند	☐ بسیار خوشایند
	۸) انعکاس‌های اذیت کننده، بیشتر در کجا اتفاق می‌افتد؟(انتخاب چند گزینه مجاز است)				
	☐ میز	☐ لپ‌تاپ	☐ کاغذ	☐ تخته	☐ هیچ‌کدام
	در صورت وجود موارد دیگر آن‌ها را ذکر کنید:				
	۹) انعکاس‌های موجود (خیرگی) را چگونه ارزیابی می‌کنید؟				
	☐ خیرگی غیرقابل تحمل	☐ خیرگی ناخوشایند	☐ متوسط	☐ فقط قابل تحمل	☐ بدون خیرگی
رفتارهای افراد	**۱۰) وضعیت عمومی پرده‌ها (بدون رف نور) ترجیح می‌دهید چگونه باشد؟**				
	☐ همیشه پرده‌ها کشیده شوند	☐ کثر اوقات پرده‌ها کشیده شوند	☐ گاهی اوقات پرده‌ها کشیده شوند	☐ اکثر اوقات پرده‌ها کنار زده شوند	☐ همیشه پرده‌ها کنار زده شوند
	۱۱) در حال حاضر اگر تمایل به استفاده از پرده‌ها دارید هدف شما کدام یک از گزینه های زیر است؟(انتخاب چند گزینه مجاز است)				
	☐ کنترل نور	☐ کنترل گرما	☐ کنترل خیرگی	☐ برای ویدئو پروژکتور	☐ سایر موارد
	۱۲) در مواجهه با نور خورشید چه رفتاری از شما سر می‌زند؟				
	☐ انداختن پرده ها	☐ عوض کردن جای نشستن	☐ بدون تغییر		

پیوست۳: پرسشنامه شماره ۲ (دارای رف نور)

عمومی	سن		جنسیت		تاریخ و ساعت
	۱) میزان نور در روی *میز کار* را چگونه ارزیابی می‌کنید؟				
	☐خیلی کم	☐ کم	☐ کافی	☐ زیاد	☐ خیلی زیاد
	۲) ترجیح می‌دهید میزان نور در روی *میز کار* را چقدر تغییر دهید؟				
	☐خیلی روشن‌تر	☐ کمی روشن‌تر	☐ بدون تغییر	☐ کمی‌تاریک‌تر	☐ تاریک‌تر
	۳) ۱) میزان نور در روی *میز کار* را چگونه ارزیابی می‌کنید؟				
ارزیابی میزان نور	☐خیلی کم	☐ کم	☐ کافی	☐ زیاد	☐ خیلی زیاد
	۴) ترجیح می‌دهید میزان نور در *کل فضا* را چقدر تغییر دهید؟				
	☐خیلی روشن‌تر	☐روشن‌تر	☐ بدون تغییر	☐ کمی‌تاریک‌تر	☐ خیلی تاریک‌تر
	۵) کیفیت دید از طریق پنجره را چگونه ارزیابی می‌کنید؟				
ارزیابی دید(به بیرون)	☐ بسیارناخوشایند	☐ ناخوشایند	☐ معمولی	☐ خوشایند	☐ بسیار خوشایند
	۶)از عوامل مختل‌کننده دید کدام‌یک از گزینه‌های زیر هستند؟ (انتخاب چند گزینه مجاز است)				
	☐ OKB پنجره بالا است	☐ دیدمستقیم به خورشید	☐ نور زیاد	☐ کیفیت بد بیرون	☐ رف نور
	۷) آیا تابش مستقیم بر روی بدن یا چشم‌های خودداریدد؟ ☐ بله بر روی بدن ☐ بله بر روی چشم‌ها ☐ خیر				
	در صورت وجود تابش مستقیم بر روی بدن یا چشم‌ها آن را چگونه ارزیابی می‌کنید؟				
	☐ بسیارناخوشایند	☐ ناخوشایند	☐ مناسب	☐ خوشایند	☐ بسیار خوشایند
ارزیابی خیرگی	**۸) انعکاس‌های اذیت کننده، بیشتر در کجا اتفاق می‌افتد؟(انتخاب چند گزینه مجاز است)**				
	☐ میز	☐ لپ‌تاپ	☐ کاغذ	☐ تخته	☐ هیچ‌کدام
	در صورت وجود موارد دیگر آن‌ها را ذکر کنید:				
	۹) انعکاس‌های موجود (خیرگی) را چگونه ارزیابی می‌کنید؟				
	☐ خیرگی غیرقابل‌تحمل	☐ خیرگی ناخوشایند	☐ متوسط	☐ فقط قابل‌تحمل	☐ بدون خیرگی
	۱۰) وضعیت عمومی پرده‌ها (با رف نور) ترجیح می‌دهید چگونه باشد؟				
رفتارهای افراد	☐ همیشه پرده‌ها کشیده شوند	☐ کثر اوقات پرده‌ها کشیده شوند	☐ گاهی اوقات پرده‌ها کشیده شوند	☐ اکثر اوقات پرده‌ها کنار زده شوند	☐ همیشه پرده‌ها کنار زده شوند
	۱۱) فرض بر امکان استفاده از پرده‌ها در حالت دارای رف نور، دلیل شما از این استفاده چیست؟ (انتخاب چند گزینه مجاز است)				
	☐ کنترل نور	☐ کنترل گرما	☐ کنترل خیرگی	☐ برای ویدئو پروژکتور	☐ سایر موارد
	۱۲) در مواجهه با نور خورشید چه رفتاری از شما سر می‌زند؟				
	☐ انداختن پرده‌ها		☐ عوض کردن جای‌جای نشستن		☐ بدون تغییر

پیوست ۴: مصالح در نرم‌افزار رادیانس

خواص فتومتریک مواد هنگامی‌که از متر یال‌های اکوتکت استفاده می‌شود همیشه با نتایج مورد انتظار مطابق نیست، به‌خصوص برای متر یال‌هایی مانند شیشه،انعکاس‌دهنده، نیمه شفاف و غیره. به همین علت متر یال‌های جدیدی به‌منظور استفاده در نرم‌افزار ایجاد شدند که به‌قرار زیر هستند:

سقف و دیوار جانبی

```
Void  plastic  celling
0
0
5  0.85   0.85   0.85   0   0
```

دیوارهای خارجی

```
Void  plastic  exteriorwall
0
0
5  0.595   0.418   0.184   0  0
```

کف

```
Void  plastic  Floor
0
0
5  0.497   0.497   0.545   0   0
```

سنگ دیوار

```
Void  plastic  slabside
0
0
5  0.681   0.567   0.415   0. 03   0
```

تابلوهای ژوژمان

```
Void  plastic  jute
0
0
5  0.369   0.284   0.186   0   0
```

چهارچوب پنجره

```
Void  plastic  lolawin
0
0
5  0   0.43   0.224   0  0
```

در

```
Void  plastic  door
0
0
5  0.8   0.8   0.8   0  0
```

شیشه تک جداره

Void glass singleglaze
0
0
3 0.96 0.96 0.96

پرده

Void trans curtain
0
0
7 0.215 0.121 0.109 0.0 7 0 0.1 0

لوورهای نیمه شفاف

Void trans curtain
0
0
7 0.6 0.6 0.6 0.0 7 0 0.1 0

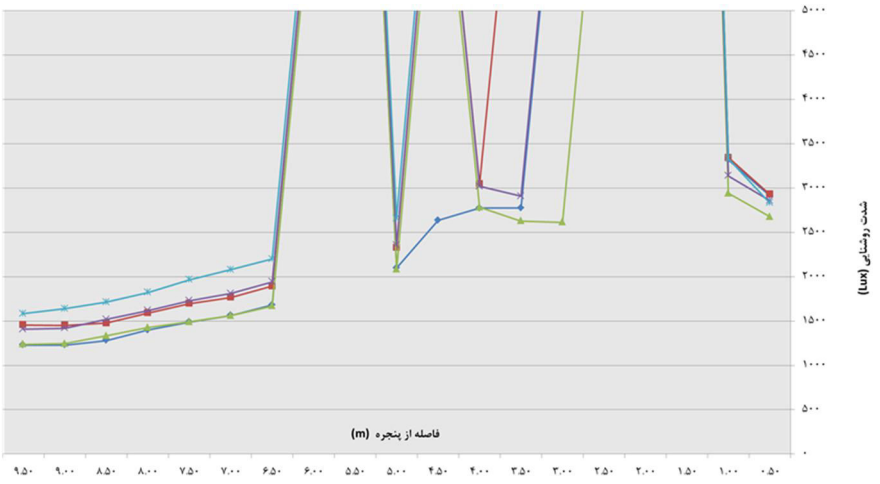
رف نور منعکس کننده

Void metal met
0
0
5 0.9 0.9 0.9 0.5 0.02
Void mirror Semi
1 met
0
3 0.5 0.5 0.5

رف نور پخش‌کننده

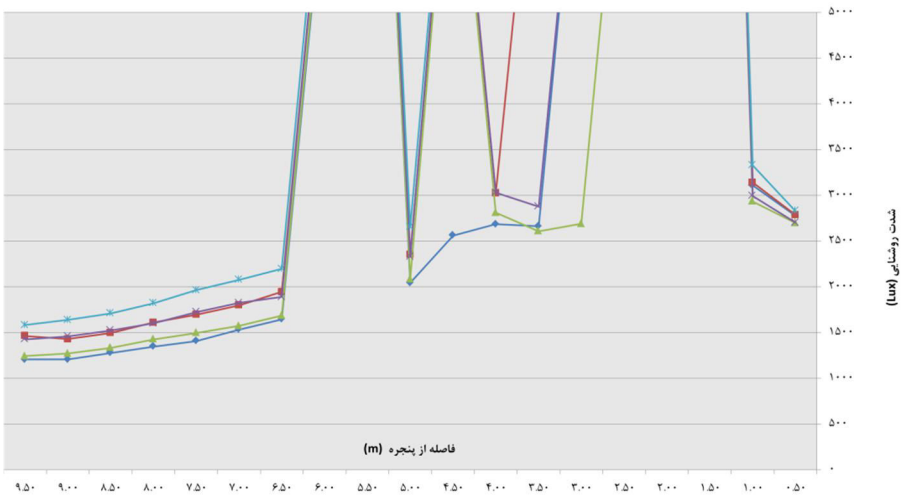
Void metal met
0
0
5 0.9 0.9 0.9 0.00 0.02

پیوست ۵: نتایج برای رف‌های با عرض ۱۴۰ سانتی‌متر:



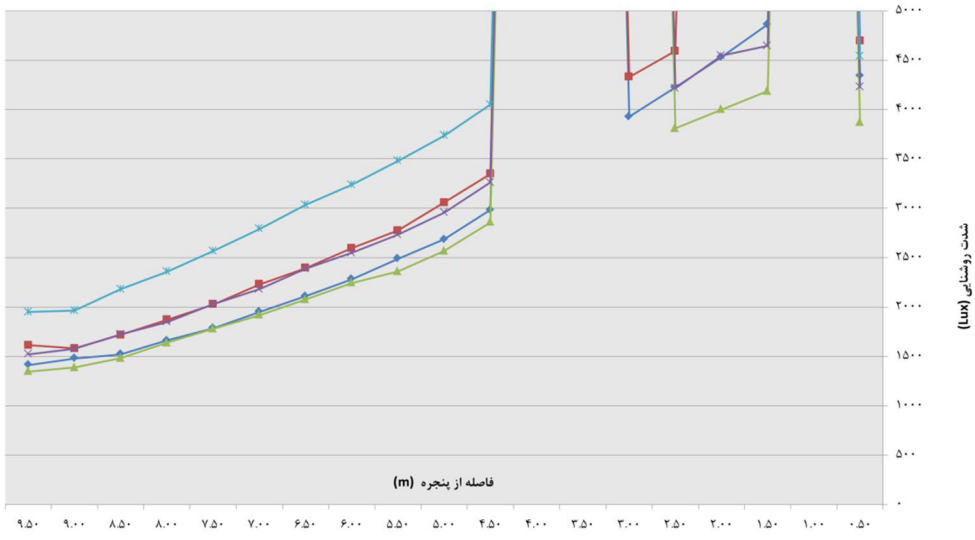
نمونه پایه	۲۸۳۱.۶۵	۳۳۳۰.۹۵	۱۷۸۸۲.۳۳	۱۷۹۱۶.۷۰	۸۱۰۴.۴۴	۸۰۲۵.۳۲	۸۰۳۰.۲۱	۸۱۳۴.۱۱	۷۹۷۵.۷۴	۲۶۵۶.۲۴	۱۲۰۹۶.۵۸	۷۱۴۲.۸۰	۲۱۹۷.۴۷	۲۰۷۹.۰۷	۱۹۶۴.۰۱	۱۸۲۱.۸۴	۱۷۱۲.۱۶	۱۶۳۸.۶۸	۱۵۸۳.۰۷
نمونه ۶۰/۸۰ افقی	۲۹۱۴.۵۱	۳۳۱۵.۵۷	۱۷۸۱۲.۷۳	۱۷۵۹۹.۲۴	۷۷۴۴.۷۵	۷۶۲۳.۳۲	۷۷۴۰.۰۶	۲۷۷۱.۷۹	۲۶۳۳.۰۱	۲۰۹۶.۵۲	۱۱۵۷۴.۵۸	۶۶۱۹.۹۷	۱۶۸۰.۹۳	۱۵۶۱.۶۹	۱۴۸۶.۴۰	۱۳۹۷.۹۷	۱۲۷۹.۴۰	۱۲۲۷.۳۱	۱۲۲۸.۴۸
نمونه ۶۰/۸۰ زاویه ۱۰ درجه	۲۹۲۹.۱۶	۳۳۴۳.۳۱	۱۷۸۱۱.۲۴	۱۷۶۹۷.۵۵	۷۸۹۹.۳۷	۷۷۵۴.۵۸	۷۸۵۰.۰۰	۳۰۴۳.۹۹	۷۶۹۷.۵۶	۲۳۲۶.۹۸	۱۱۷۳۵.۱۹	۶۸۵۳.۷۵	۱۸۹۱.۷۶	۱۷۶۵.۱۵	۱۶۹۵.۷۷	۱۵۸۸.۳۴	۱۴۷۵.۰۲	۱۴۵۰.۳۷	۱۴۵۳.۹۷
نمونه ۱۴۰ خارجی، افقی	۲۶۷۵.۰۵	۲۹۳۹.۲۷	۱۷۴۰۸.۱۵	۱۷۳۴۰.۱۹	۷۵۳۶.۱۱	۲۶۱۳.۷۵	۲۶۲۶.۱۸	۲۷۸۲.۰۰	۲۷۷۵.۲۹	۲۰۸۰.۸۷	۱۱۵۴۵.۲۹	۶۵۸۴.۰۶	۱۶۶۸.۵۳	۱۵۵۹.۶۹	۱۴۸۹.۸۵	۱۴۲۳.۸۷	۱۳۲۲.۰۲	۱۲۴۵.۲۹	۱۲۳۸.۲۸
نمونه ۱۴۰ خارجی، ۱۰ درجه	۲۸۵۵.۴۰	۳۱۳۶.۶۰	۱۷۶۸۱.۰۳	۱۷۵۷۶۶۵	۷۷۸۰.۶۳	۷۷۷۴.۶۶	۲۹۰۸.۲۹	۳۰۱۸.۵۳	۷۶۹۱.۹۹	۲۳۵۳.۱۰	۱۱۸۴۵.۱۷	۶۸۵۵.۱۸	۱۹۴۰.۷۱	۱۸۱۰.۱۲	۱۷۲۸.۳۱	۱۶۱۷.۱۲	۱۵۱۶.۶۴	۱۴۱۸.۹۱	۱۴۰۶.۸۸

شکل ۱. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ دسامبر ساعت ۰۹:۰۰



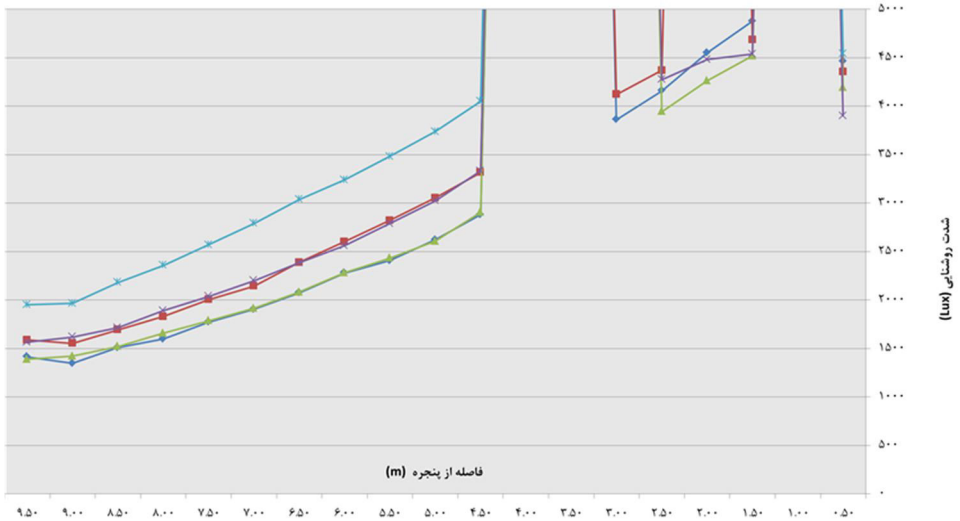
نمونه پایه	۲۸۳۱.۶۵	۳۳۳۰.۹۵	۱۷۸۸۲.۳۳	۱۷۹۱۶.۷۰	۸۱۰۴.۴۴	۸۰۲۵.۳۲	۸۰۳۰.۲۱	۸۱۳۴.۱۱	۷۹۷۵.۷۴	۲۶۵۶.۲۴	۱۲۰۹۶.۵۸	۷۱۴۲.۸۰	۲۱۹۷.۴۷	۲۰۷۹.۰۷	۱۹۶۴.۰۱	۱۸۲۱.۸۴	۱۷۱۲.۱۶	۱۶۳۸.۶۸	۱۵۸۳.۰۷
نمونه ۶۰/۸۰ افقی	۲۷۸۱.۸۷	۳۱۱۰.۱۴	۱۷۶۳۳.۱۶	۱۷۵۲۲.۳۷	۷۶۸۰.۷۰	۷۵۶۳.۹۰	۲۶۶۱.۶۸	۲۶۸۶.۴۴	۲۵۶۳.۳۱	۲۰۴۲.۸۹	۱۱۵۲۸.۳۷	۶۵۲۶.۶۰	۱۶۴۶.۸۱	۱۵۳۴.۹۰	۱۴۰۸.۷۸	۱۳۴۸.۴۹	۱۲۷۹.۵۲	۱۲۰۶.۵۰	۱۲۰۵.۷۶
نمونه ۶۰/۸۰ زاویه ۱۰ درجه	۲۷۸۸.۳۷	۳۱۴۰.۶۷	۱۷۵۹۰.۶۰	۱۷۵۳۴.۲۰	۷۶۸۳.۱۰	۷۷۲۳.۱۷	۷۶۹۰.۳۸	۳۰۲۲.۸۷	۷۷۲۵.۰۳	۲۳۵۴.۱۶	۱۱۸۱۰.۳۷	۶۸۳۹.۴۹	۱۹۴۵.۷۲	۱۸۰۰.۱۴	۱۶۹۷.۰۸	۱۶۱۰.۷۰	۱۴۹۶.۶۳	۱۴۲۹.۵۰	۱۴۶۴.۴۸
نمونه ۱۴۰ خارجی، افقی	۲۶۹۹.۷۲	۲۹۳۵.۳۲	۱۷۴۷۰.۷۸	۱۷۳۵۵.۰۴	۷۵۸۸.۹۴	۲۶۹۱.۱۰	۲۶۰۸.۴۵	۲۸۱۲.۱۰	۷۶۰۲.۵۵	۲۰۸۵.۴۵	۱۱۵۲۶.۷۹	۶۶۱۵.۹۳	۱۶۸۴.۷۷	۱۵۷۴.۴۵	۱۴۹۶.۳۳	۱۴۲۸.۱۲	۱۳۳۳.۹۳	۱۲۷۲.۳۴	۱۲۴۴.۸۳
نمونه ۱۴۰ خارجی، ۱۰ درجه	۲۷۰۳.۴۵	۲۹۹۴.۷۸	۱۷۵۴۲.۱۵	۱۷۴۹۵.۸۱	۷۷۶۳.۶۱	۷۶۵۵.۹۲	۲۸۷۹.۶۸	۳۰۲۹.۷۲	۷۸۱۱.۶۷	۲۳۲۹.۶۵	۱۱۷۹۱.۵۲	۶۸۴۹.۴۰	۱۸۹۰.۲۸	۱۸۲۵.۱۲	۱۷۲۴.۴۰	۱۶۰۱.۹۴	۱۵۲۵.۶۸	۱۴۵۹.۲۳	۱۴۲۶.۷۱

شکل ۲. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ دسامبر ساعت ۰۹:۰۰



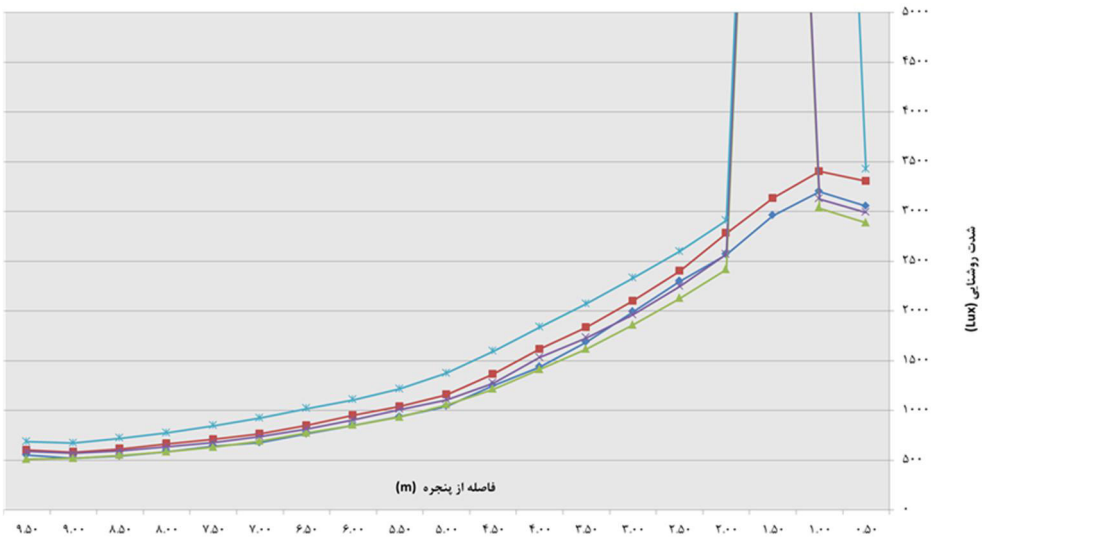
نمونه پایه	۴۵۳۸.۷۴	۲۴۶۰.۳۶	۵۳۶۷.۲۴	۲۴۵۹۵.۸	۲۴۳۷۳.۱	۲۴۱۵۵.۳	۲۳۹۶۰.۸	۲۳۶۷۲.۸	۴۰۵۰.۹۰	۳۷۳۶.۷۱	۳۳۳۸.۴۲	۳۴۸۱.۱۳	۲۷۹۱.۵۰	۳۰۳۶.۶۳	۲۵۶۸.۹۵	۲۳۵۹.۰۰	۲۱۸۰.۲۳	۱۹۶۴.۶۳	۱۹۵۰.۲۵
نمونه ۶۰/۸۰، افقی	۴۳۴۳.۵۸	۲۴۲۵۵.۴	۴۸۶۳.۴۱	۴۵۳۱.۰۵	۴۲۲۵.۲۹	۳۹۲۸.۴۸	۲۲۹۳۵.۱	۲۲۶۲۵.۷	۲۹۸۳.۲۲	۲۶۸۶.۳۷	۲۲۸۲.۲۷	۲۴۹۰.۷۱	۱۹۵۳.۱۵	۲۱۰۹.۶۷	۱۷۸۸.۰۵	۱۶۶۲.۴۶	۱۵۲۲.۱۳	۱۴۸۱.۴۱	۱۴۱۴.۵۲
نمونه ۶۰/۸۰، زاویه ۱۰ درجه	۴۶۹۶.۲۴	۲۴۶۷.۰	۵۲۱۷.۶۵	۲۴۲۵۳.۴	۴۵۹۳.۹۰	۴۳۳۱.۱۴	۲۳۳۳۳.۲	۲۳۰۲۹.۳	۳۳۴۹.۹۲	۳۰۵۹.۹۱	۲۵۹۷.۶۶	۲۷۷۵.۰۸	۲۲۲۹.۸۹	۲۳۹۶.۸۳	۲۰۲۶.۸۵	۱۸۷۱.۶۴	۱۷۱۸.۰۶	۱۵۸۲.۴۹	۱۶۱۵.۵۴
نمونه ۱۴۰ خارجی، افقی	۳۸۶۹.۲۳	۲۳۶۱۶.۶	۴۱۸۷.۲۴	۴۰۰۰.۶۰	۳۸۰۸.۶۰	۲۲۸۲۳.۱	۲۲۶۳۲.۳	۲۲۳۷۵.۴	۲۸۵۷.۵۴	۲۵۶۸.۸۱	۲۲۴۴.۹۲	۲۳۶۰.۷۶	۱۹۱۹.۳۰	۲۰۷۷.۲۲	۱۷۷۹.۰۸	۱۶۳۹.۱۸	۱۴۸۳.۵۴	۱۳۸۷.۲۶	۱۳۴۹.۲۵
نمونه ۱۴۰ خارجی، ۱۰ درجه	۴۲۲۷.۲۹	۲۴۰۳۱.۰	۴۶۴۴.۵۵	۴۵۴۵.۹۷	۴۲۱۶.۵۸	۲۳۳۸۴.۳	۲۳۱۳۲.۶	۲۲۸۰۹.۷	۳۲۶۲.۷۱	۲۹۵۷.۵۸	۲۵۴۹.۷۸	۲۷۳۴.۰۱	۲۱۸۱.۱۷	۲۳۸۷.۸۸	۲۰۲۹.۸۱	۱۸۴۷.۷۴	۱۷۲۳.۳۴	۱۵۷۶.۵۴	۱۵۲۱.۹۱

شکل ۳۰. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ دسامبر ساعت ۱۲:۰۰



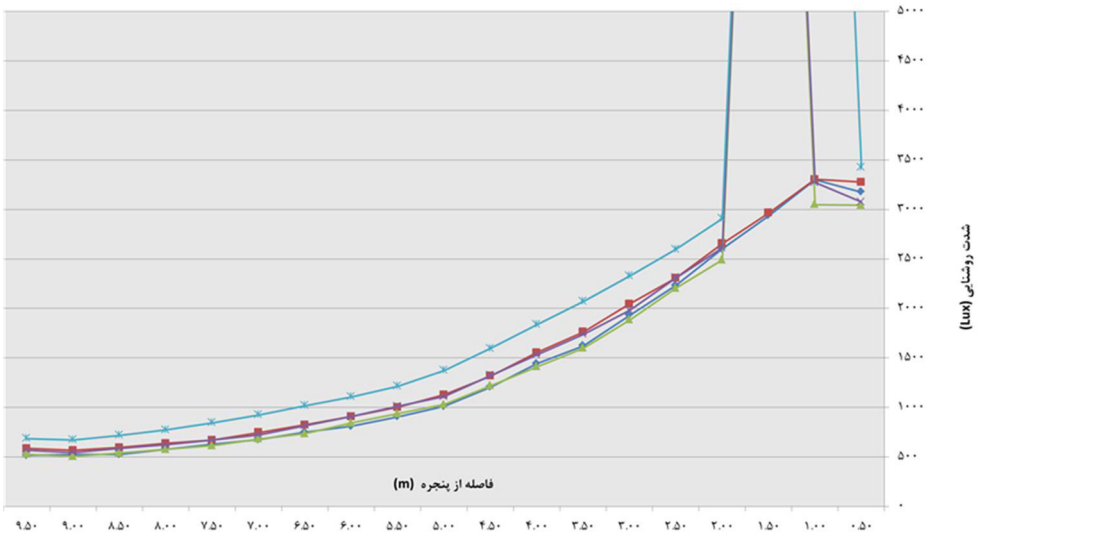
نمونه پایه	۴۵۳۸.۷۴	۲۴۶۰.۳۶	۵۳۶۷.۲۴	۲۴۵۹۵.۸	۲۴۳۷۳.۱	۲۴۱۵۵.۳	۲۳۹۶۰.۸	۲۳۶۷۲.۸	۴۰۵۰.۹۰	۳۷۳۶.۷۱	۳۳۳۸.۴۲	۳۴۸۱.۱۳	۲۷۹۱.۵۰	۳۰۳۶.۶۳	۲۵۶۸.۹۵	۲۳۵۹.۰۰	۲۱۸۰.۲۳	۱۹۶۴.۶۳	۱۹۵۰.۲۵
نمونه ۶۰/۸۰، افقی	۴۴۶۱.۹۷	۲۴۲۷۳.۸	۴۸۷۶.۸۶	۴۵۴۹.۸۹	۴۱۵۸.۲۳	۳۸۶۱.۲۹	۲۲۸۸۲.۹	۲۲۶۱۸.۷	۲۸۸۰.۹۷	۲۶۲۰.۴۹	۲۲۷۹.۲۶	۲۴۰۶.۴۵	۱۹۰۴.۶۵	۲۰۷۳.۱۷	۱۷۷۰.۷۰	۱۵۹۸.۱۲	۱۵۰۹.۷۰	۱۳۴۷.۳۵	۱۴۱۳.۶۱
نمونه ۶۰/۸۰، زاویه ۱۰ درجه	۴۳۵۳.۱۹	۲۴۱۵۶.۴	۴۶۸۴.۱۰	۲۳۸۲۲.۰	۴۳۶۹.۹۵	۴۱۲۰.۶۰	۲۳۳۰۷.۸	۲۳۰۲۷.۶	۳۳۱۵.۲۳	۳۰۵۴.۱۹	۲۶۰۲.۱۴	۲۸۲۰.۲۵	۲۱۴۴.۴۰	۲۳۸۸.۷۲	۲۰۰۳.۷۱	۱۸۳۰.۷۱	۱۶۹۲.۳۰	۱۵۵۲.۳۸	۱۵۸۷.۴۵
نمونه ۱۴۰ خارجی، افقی	۴۱۸۹.۵۸	۲۳۹۷۵.۷	۴۵۱۹.۴۴	۴۲۶۳.۶۸	۳۹۴۳.۴۵	۲۲۹۹۳.۶	۲۲۷۲۲.۲	۲۲۴۷۸.۸	۲۹۰۳.۲۶	۲۶۰۵.۵۹	۲۲۸۲.۰۲	۲۴۳۱.۵۸	۱۹۱۴.۱۲	۲۰۸۰.۷۰	۱۷۸۵.۸۰	۱۶۵۸.۴۲	۱۵۲۱.۵۶	۱۴۱۹.۶۱	۱۳۸۸.۷۱
نمونه ۱۴۰ خارجی، ۱۰ درجه	۳۹۰۰.۵۲	۲۳۸۲۷.۴	۴۵۳۷.۷۱	۴۴۸۱.۴۱	۴۲۷۴.۳۷	۲۳۴۱۹.۵	۲۳۱۸۸.۵	۲۲۹۷۴.۸	۳۳۳۳.۱۸	۳۰۲۳.۵۸	۲۵۶۰.۸۰	۲۷۸۹.۰۰	۲۱۹۹.۴۵	۲۳۸۴.۱۳	۲۰۳۶.۸۹	۱۸۸۹.۹۰	۱۷۱۲.۵۳	۱۶۱۸.۲۸	۱۵۶۳.۷۹

شکل ۴. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ دسامبر ساعت ۱۲:۰۰



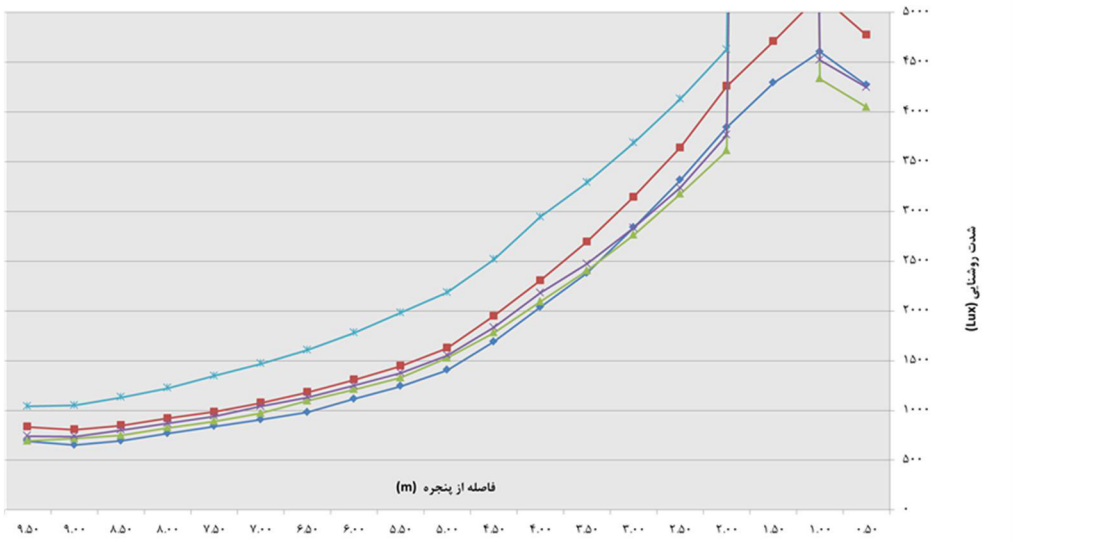
	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۳۴۲۳.۲۹	۱۴۱۷۲.۲۷	۱۳۹۴۰.۳۶	۲۹۰۸.۱۵	۲۵۹۷.۰۶	۲۳۲۹.۳۶	۲۰۷۱.۲۶	۱۸۳۶.۶۰	۱۵۹۵.۷۳	۱۳۷۴.۶۱	۱۲۱۴.۹۹	۱۱۰۷.۳۰	۱۰۱۸.۷۶	۹۲۳.۹۳	۸۴۶.۳۱	۷۷۳.۹۴	۷۲۰.۰۸	۶۷۱.۲۶	۶۸۶.۷۷
نمونه ۶۰/۸۰ افقی	۳۰۵۲.۴۰	۳۲۰۰.۷۳	۲۹۵۶.۹۰	۲۵۶۷.۱۰	۲۲۹۷.۴۴	۱۹۸۹.۴۱	۱۶۸۵.۹۷	۱۴۳۶.۰۹	۱۲۵۰.۰۵	۱۰۴۰.۷۳	۹۳۶.۶۱	۸۵۰.۹۵	۷۶۳.۶۶	۶۷۵.۵۹	۶۴۲.۱۲	۵۸۴.۶۸	۵۴۲.۵۹	۵۱۸.۵۸	۵۵۰.۰۲
نمونه ۶۰/۸۰ زاویه ۱۰ درجه	۳۳۰۴.۱۹	۳۴۰۱.۱۷	۳۱۳۲.۸۸	۲۷۸۰.۳۴	۲۳۹۹.۸۴	۲۰۹۹.۱۶	۱۸۳۴.۳۷	۱۶۱۶.۰۸	۱۳۶۵.۷۹	۱۱۵۷.۸۸	۱۰۳۸.۰۹	۹۵۱.۸۹	۸۴۸.۱۹	۷۶۵.۷۶	۷۰۸.۷۳	۶۶۵.۳۳	۶۱۳.۳۵	۵۸۱.۰۳	۶۰۲.۱۹
نمونه ۱۴۰ خارجی، افقی	۲۸۸۶.۷۹	۳۰۳۲.۴۲	۱۳۳۸۰.۵۳	۲۴۱۶.۳۱	۲۱۲۵.۲۷	۱۸۵۸.۴۰	۱۶۱۴.۹۸	۱۴۱۲.۲۹	۱۲۱۲.۷۸	۱۰۵۴.۷۱	۹۳۲.۳۲	۸۵۰.۹۲	۷۷۴.۹۹	۶۹۰.۲۰	۶۲۹.۲۵	۵۸۳.۴۶	۵۴۸.۷۵	۵۱۸.۵۷	۵۰۸.۶۲
نمونه ۱۴۰ خارجی، ۱۰ درجه	۲۹۹۱.۲۳	۳۱۲۴.۱۸	۱۳۵۳۳.۷۹	۲۵۶۸.۷۱	۲۲۴۶.۸۸	۱۹۶۰.۳۸	۱۷۲۹.۰۲	۱۵۳۱.۱۸	۱۲۷۳.۷۴	۱۱۰۵.۵۵	۱۰۰۸.۰۵	۹۰۶.۴۲	۸۱۲.۸۳	۷۳۶.۴۴	۶۷۵.۳۲	۶۳۵.۹۸	۵۹۳.۵۲	۵۶۹.۱۵	۵۸۸.۸۳

شکل ۵. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ مارس ساعت ۰۹:۰۰



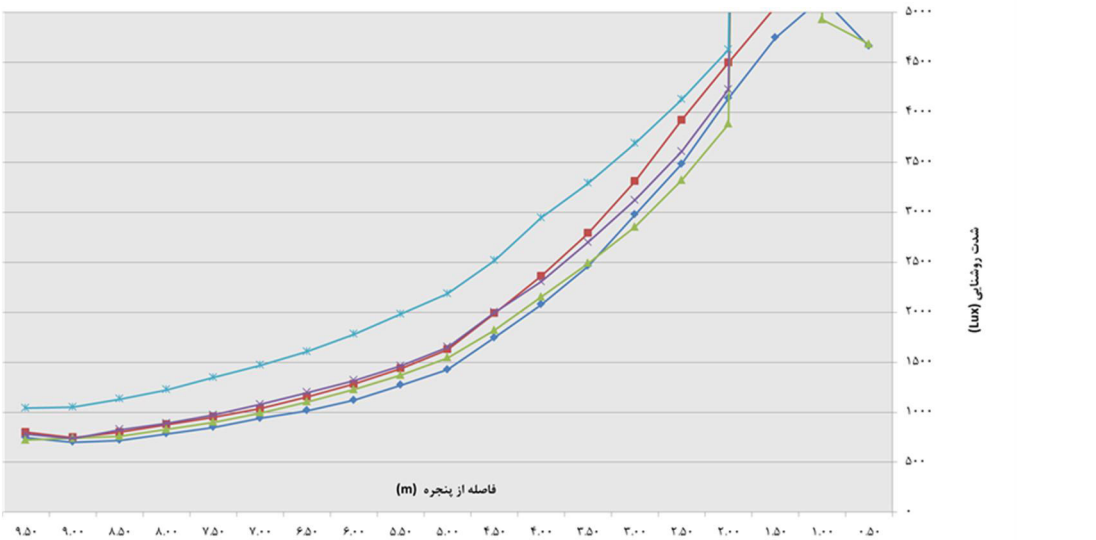
	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۳۴۲۳.۲۹	۱۴۱۷۲.۲۷	۱۳۹۴۰.۳۶	۲۹۰۸.۱۵	۲۵۹۷.۰۶	۲۳۲۹.۳۶	۲۰۷۱.۲۶	۱۸۳۶.۶۰	۱۵۹۵.۷۳	۱۳۷۴.۶۱	۱۲۱۴.۹۹	۱۱۰۷.۳۰	۱۰۱۸.۷۶	۹۲۳.۹۳	۸۴۶.۳۱	۷۷۳.۹۴	۷۲۰.۰۸	۶۷۱.۲۶	۶۸۶.۷۷
نمونه ۶۰/۸۰ افقی	۳۱۷۴.۹۳	۳۲۹۹.۳۱	۲۹۳۶.۷۶	۲۶۰۱.۱۱	۲۲۳۳.۳۷	۱۹۳۱.۰۷	۱۶۲۱.۸۸	۱۴۴۲.۳۸	۱۲۰۴.۷۷	۱۰۱۰.۴۵	۹۰۶.۲۹	۸۱۰.۴۱	۷۴۸.۵۳	۶۷۵.۷۶	۶۲۹.۶۳	۵۷۹.۷۳	۵۲۴.۸۲	۵۲۶.۵۵	۵۱۶.۰۲
نمونه ۶۰/۸۰ زاویه ۱۰ درجه	۳۲۷۶.۵۶	۳۳۰۴.۲۹	۲۹۶۴.۲۴	۲۶۵۶.۴۱	۲۳۰۷.۳۵	۲۰۴۵.۵۱	۱۷۶۳.۵۲	۱۵۵۳.۹۸	۱۳۱۷.۴۸	۱۱۲۹.۴۸	۱۰۰۲.۰۱	۹۰۸.۴۱	۸۲۳.۴۱	۷۴۶.۶۲	۶۷۰.۹۸	۶۳۷.۷۰	۵۹۵.۴۲	۵۶۷.۵۶	۵۸۶.۲۳
نمونه ۱۴۰ خارجی، افقی	۳۰۴۱.۳۴	۳۰۴۷.۷۵	۱۳۴۵۷.۸۱	۲۴۸۹.۱۴	۲۲۰۴.۶۰	۱۸۸۳.۰۴	۱۵۹۷.۸۸	۱۴۱۰.۶۸	۱۲۱۸.۷۸	۱۰۳۰.۳۹	۹۳۷.۰۱	۸۴۲.۰۶	۷۳۴.۳۵	۶۸۰.۶۹	۶۱۴.۷۷	۵۷۶.۶۱	۵۳۸.۲۸	۵۰۵.۳۳	۵۲۷.۹۴
نمونه ۱۴۰ خارجی، ۱۰ درجه	۳۰۷۴.۶۳	۳۲۷۰.۶۹	۱۳۵۸۸.۱۳	۲۶۱۲.۱۳	۲۳۰۸.۸۵	۱۹۸۱.۶۵	۱۷۳۹.۳۹	۱۵۲۹.۶۳	۱۳۲۲.۷۱	۱۱۰۸.۶۱	۱۰۱۲.۶۷	۹۰۹.۴۳	۸۱۶.۲۰	۷۲۴.۹۳	۶۷۰.۱۸	۶۲۴.۴۸	۵۸۵.۲۳	۵۴۶.۳۲	۵۶۹.۸۲

شکل ۶. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ مارس ساعت ۰۹:۰۰



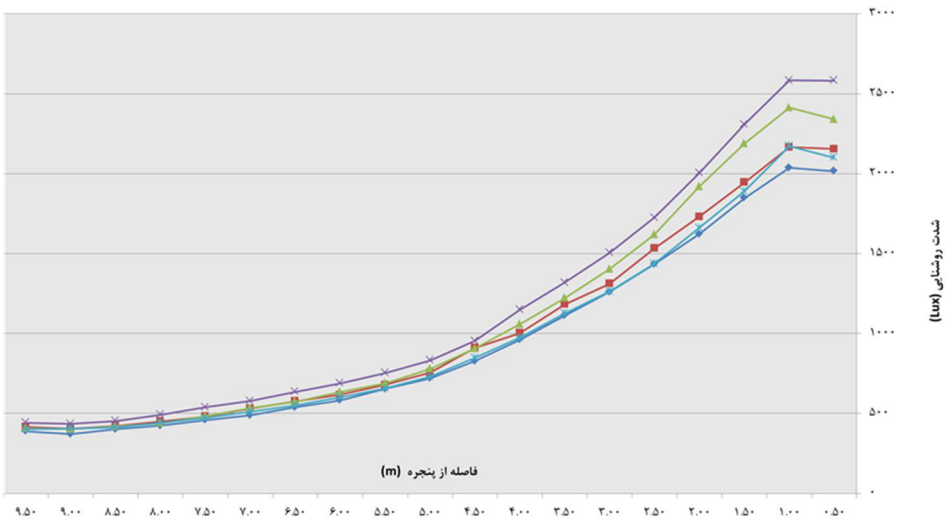
	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۳۸۶۳۴.۵۶	۳۸۸۰۲.۱۶	۳۸۳۲۳.۴۸	۴۶۲۶.۰۰	۴۱۲۷.۰۶	۳۶۸۷.۴۴	۳۲۸۹.۹۹	۲۹۴۴.۴۵	۲۵۱۶.۷۵	۲۱۸۵.۱۰	۱۹۸۰.۰۱	۱۷۷۸.۳۷	۱۶۰۶.۱۸	۱۴۷۰.۰۵	۱۳۴۷.۲۳	۱۲۲۲.۴۷	۱۱۳۰.۳۰	۱۰۵۰.۳۱	۱۰۴۰.۷۸
نمونه ۶۰/۸۰ افقی	۴۲۶۶.۱۹	۴۶۰۳.۰۱	۴۲۸۹.۸۱	۳۸۴۳.۱۱	۳۳۱۲.۱۷	۲۸۳۵.۳۰	۲۳۷۹.۱۲	۲۰۳۶.۲۶	۱۶۸۹.۹۹	۱۴۰۴.۵۸	۱۲۴۲.۵۵	۱۱۱۵.۰۲	۹۸۰.۳۹	۹۰۶.۴۷	۸۳۸.۱۲	۷۶۷.۴۹	۶۹۳.۴۲	۶۵۰.۴۲	۶۹۱.۲۵
نمونه ۶۰/۸۰ زاویه ۱۰ درجه	۴۷۷۰.۷۰	۵۱۷۸.۹۲	۴۷۰۵.۹۳	۴۲۵۷.۷۵	۳۶۳۷.۹۹	۳۱۴۳.۶۰	۲۶۹۴.۹۶	۲۳۰۴.۹۳	۱۹۹۹.۵۶	۱۶۲۵.۷۸	۱۴۴۶.۳۰	۱۳۰۷.۰۶	۱۱۸۲.۹۲	۱۰۷۴.۲۸	۹۸۵.۴۸	۹۱۹.۰۷	۸۴۷.۵۵	۸۰۶.۶۹	۸۳۳.۴۸
نمونه ۱۴۰ خارجی، افقی	۴۰۴۷.۶۳	۴۳۳۲.۴۷	۳۷۳۰۲.۲۰	۳۶۰۷.۸۶	۳۱۷۲.۷۴	۲۷۶۱.۸۸	۲۴۰۲.۲۵	۲۰۹۲.۸۰	۱۷۸۰.۰۳	۱۵۲۶.۹۷	۱۳۲۶.۹۷	۱۲۰۸.۹۰	۱۰۹۵.۰۷	۹۷۱.۷۷	۸۸۸.۹۳	۸۲۴.۶۹	۷۴۹.۱۸	۷۱۶.۹۷	۶۹۲.۹۹
نمونه ۱۴۰ خارجی، ۱۰ درجه	۴۲۴۶.۹۵	۴۵۱۸.۹۰	۳۷۴۴۷.۵۲	۳۷۶۶.۵۶	۳۲۳۶.۱۳	۲۸۳۲.۷۷	۲۴۷۲.۹۱	۲۱۸۰.۴۶	۱۸۳۳.۰۴	۱۵۵۱.۷۹	۱۳۷۵.۳۷	۱۲۴۷.۸۹	۱۱۳۱.۲۵	۱۰۴۰.۲۷	۹۴۱.۴۱	۸۶۸.۱۱	۸۰۱.۱۷	۷۳۶.۱۵	۷۴۲.۷۰

شکل ۷. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ مارس ساعت ۱۲:۰۰



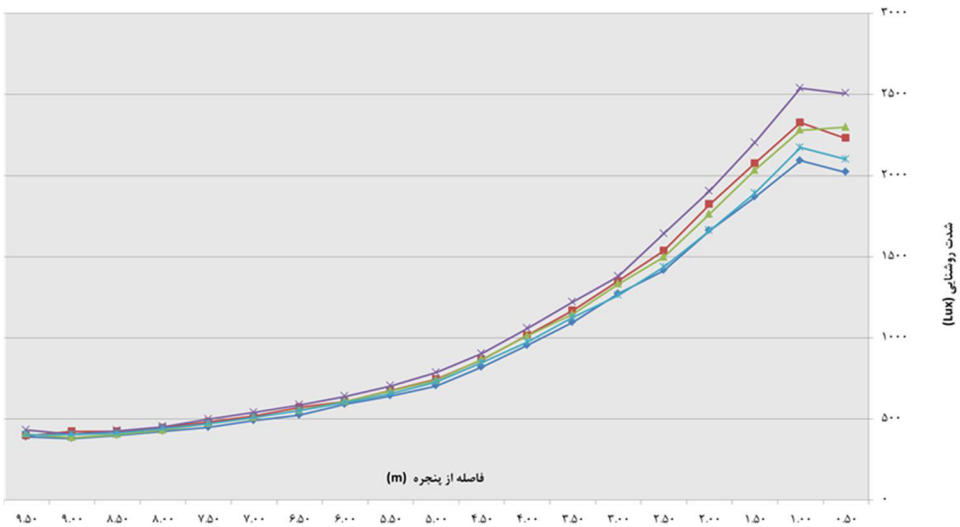
	۰.۵۰	۱.۰۰	۱.۵۰	۲.۰۰	۲.۵۰	۳.۰۰	۳.۵۰	۴.۰۰	۴.۵۰	۵.۰۰	۵.۵۰	۶.۰۰	۶.۵۰	۷.۰۰	۷.۵۰	۸.۰۰	۸.۵۰	۹.۰۰	۹.۵۰
نمونه پایه	۳۸۶۳۴.۵۶	۳۸۸۰۲.۱۶	۳۸۳۲۳.۴۸	۴۶۲۶.۰۰	۴۱۲۷.۰۶	۳۶۸۷.۴۴	۳۲۸۹.۹۹	۲۹۴۴.۴۵	۲۵۱۶.۷۵	۲۱۸۵.۱۰	۱۹۸۰.۰۱	۱۷۷۸.۳۷	۱۶۰۶.۱۸	۱۴۷۰.۰۵	۱۳۴۷.۲۳	۱۲۲۲.۴۷	۱۱۳۰.۳۰	۱۰۵۰.۳۱	۱۰۴۰.۷۸
نمونه ۶۰/۸۰ افقی	۴۶۵۹.۷۹	۵۱۴۴.۴۶	۴۷۴۳.۸۲	۴۱۳۹.۶۷	۳۴۸۰.۹۰	۲۹۷۴.۳۱	۲۴۶۰.۵۶	۲۰۷۵.۸۳	۱۷۴۳.۷۳	۱۴۲۴.۱۶	۱۲۶۹.۴۱	۱۱۱۸.۶۲	۱۰۱۵.۲۶	۹۳۸.۱۳	۸۴۸.۱۷	۷۸۳.۲۷	۷۱۷.۶۰	۷۰۰.۲۲	۷۴۵.۸۵
نمونه ۶۰/۸۰ زاویه ۱۰ درجه	۵۵۰۲.۹۰	۵۶۰۷.۲۳	۵۰۵۱.۳۵	۴۴۹۶.۴۱	۳۹۲۲.۴۷	۳۳۰۸.۴۷	۲۷۸۸.۱۵	۲۳۶۱.۵۲	۱۹۸۸.۵۲	۱۶۲۶.۵۷	۱۴۳۵.۹۲	۱۲۸۰.۶۶	۱۱۵۳.۹۱	۱۰۳۶.۷۷	۹۵۰.۷۳	۸۷۶.۷۴	۸۰۰.۳۲	۷۴۵.۵۷	۷۹۸.۶۹
نمونه ۱۴۰ خارجی، افقی	۴۶۸۰.۷۲	۴۹۲۷.۳۱	۳۷۶۷۳.۹۰	۳۸۸۳.۳۲	۳۳۱۹.۸۴	۲۸۵۱.۷۹	۲۴۸۷.۸۳	۲۱۵۱.۹۴	۱۸۱۷.۹۸	۱۵۴۲.۹۶	۱۳۶۸.۳۰	۱۲۲۵.۷۳	۱۱۰۳.۸۵	۹۹۱.۰۹	۸۹۹.۲۶	۸۲۸.۳۶	۷۵۸.۴۹	۷۳۸.۸۷	۷۲۱.۴۲
نمونه ۱۴۰ خارجی، ۱۰ درجه	۵۰۳۶.۹۴	۵۲۵۹.۹۴	۳۸۰۷۷.۱۲	۴۲۲۶.۹۲	۳۶۰۶.۳۷	۳۱۱۹.۶۹	۲۶۹۷.۶۸	۲۳۰۵.۹۴	۱۹۹۷.۲۹	۱۶۴۹.۷۹	۱۴۶۲.۶۲	۱۳۱۶.۱۵	۱۱۹۵.۲۴	۱۰۷۶.۷۳	۹۷۰.۲۲	۸۸۶.۵۹	۸۲۵.۶۹	۷۳۷.۹۲	۷۸۰.۵۰

شکل ۸. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ مارس ساعت ۱۲:۰۰



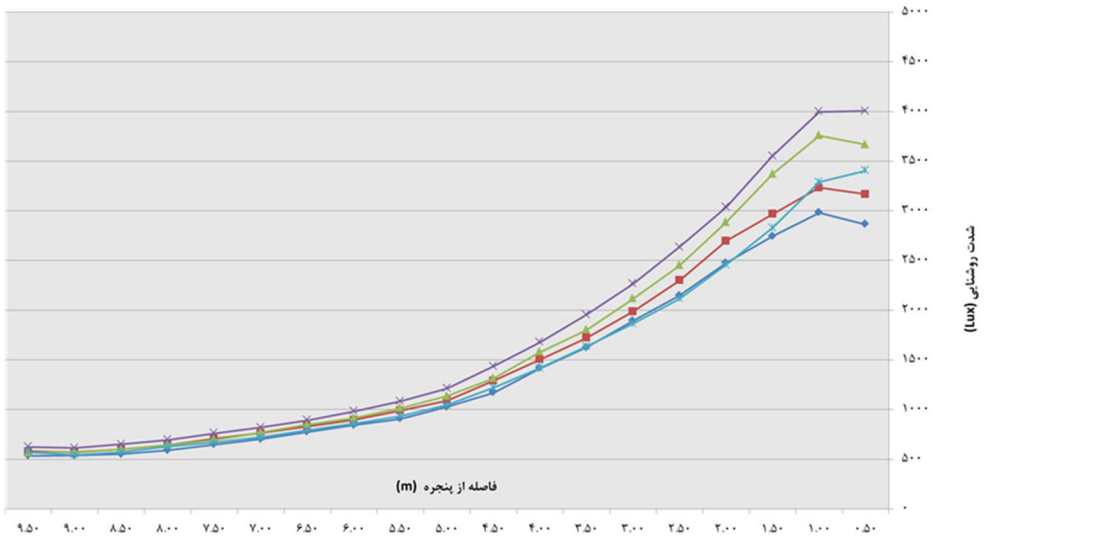
نمونه پایه	۲۱۰۰.۱۷	۲۱۷۲.۸۸	۱۸۹۰.۱۰	۱۶۶۰.۳۲	۱۴۳۵.۸۹	۱۲۶۱.۶۵	۱۱۲۵.۳۷	۹۷۳.۴۴	۸۴۷.۴۰	۷۲۸.۷۹	۶۵۵.۴۹	۶۰۱.۸۴	۵۵۱.۱۹	۵۱۰.۷۴	۴۷۱.۵۵	۴۴۰.۹۸	۴۱۲.۰۴	۴۰۴.۵۷	۴۰۱.۰۶
نمونه ۶۰/۸۰، افقی	۲۰۱۵.۱۴	۲۰۳۶.۷۰	۱۸۴۶.۵۷	۱۶۲۱.۷۲	۱۴۳۳.۶۶	۱۲۵۹.۳۹	۱۱۱۲.۱۴	۹۵۹.۸۵	۸۲۷.۸۰	۷۱۸.۶۶	۶۵۳.۲۸	۵۸۲.۴۱	۵۳۸.۳۶	۴۸۸.۴۲	۴۵۸.۳۰	۴۲۳.۲۸	۴۰۰.۹۵	۳۷۰.۳۷	۳۸۸.۷۱
نمونه ۶۰/۸۰، زاویه ۱۰ درجه	۲۱۵۴.۳۹	۲۱۶۵.۵۷	۱۹۴۵.۴۷	۱۷۳۰.۵۹	۱۵۳۳.۰۷	۱۳۱۰.۸۸	۱۱۸۱.۸۴	۱۰۰۳.۰۸	۹۱۰.۴۳	۷۵۴.۳۸	۶۷۸.۴۰	۶۱۶.۸۴	۵۷۶.۳۹	۵۲۹.۴۹	۴۸۱.۰۷	۴۴۹.۳۷	۴۲۲.۰۷	۴۰۳.۴۸	۴۱۵.۶۳
نمونه ۱۴۰ خارجی، افقی	۲۳۳۹.۷۹	۲۴۱۲.۳۱	۲۱۸۷.۷۴	۱۹۱۸.۳۰	۱۶۱۷.۷۷	۱۴۰۳.۰۶	۱۲۲۱.۸۲	۱۰۵۶.۶۵	۹۰۶.۰۱	۷۷۷.۹۵	۶۸۸.۵۴	۶۳۳.۱۷	۵۷۳.۷۹	۵۳۳.۹۲	۴۸۲.۱۹	۴۳۸.۹۷	۴۱۷.۴۲	۴۰۰.۹۷	۴۰۶.۸۶
نمونه ۱۴۰ خارجی، ۱۰ درجه	۲۵۸۳.۷۴	۲۵۸۳.۰۰	۲۳۰۸.۵۰	۲۰۰۴.۰۹	۱۷۲۵.۲۰	۱۵۰۴.۶۸	۱۳۱۷.۷۴	۱۱۴۷.۸۸	۹۵۲.۸۰	۸۳۱.۰۰	۷۵۲.۶۳	۶۸۸.۰۰	۶۳۵.۴۶	۵۷۸.۰۳	۵۳۸.۰۷	۴۹۱.۹۲	۴۵۲.۸۴	۴۳۴.۷۲	۴۴۱.۶۲

شکل ۹. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ ژوئن ساعت ۰۹:۰۰



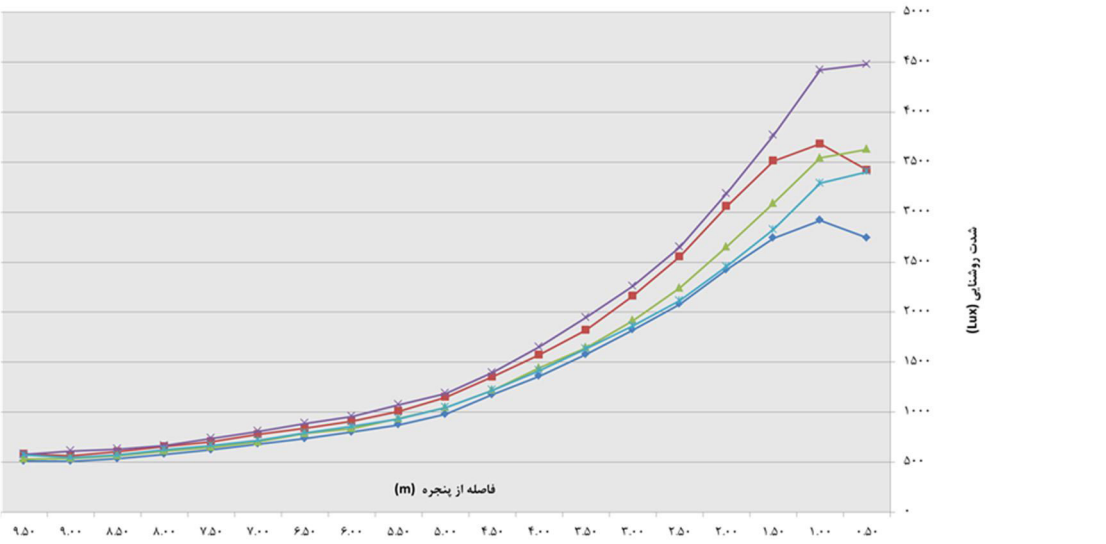
نمونه پایه	۲۱۰۰.۱۷	۲۱۷۲.۸۸	۱۸۹۰.۱۰	۱۶۶۰.۳۲	۱۴۳۵.۸۹	۱۲۶۱.۶۵	۱۱۲۵.۳۷	۹۷۳.۴۴	۸۴۷.۴۰	۷۲۸.۷۹	۶۵۵.۴۹	۶۰۱.۸۴	۵۵۱.۱۹	۵۱۰.۷۴	۴۷۱.۵۵	۴۴۰.۹۸	۴۱۲.۰۴	۴۰۴.۵۷	۴۰۱.۰۶
نمونه ۶۰/۸۰، افقی	۲۰۲۰.۲۲	۲۰۹۱.۱۰	۱۸۶۶.۶۰	۱۶۵۹.۶۴	۱۴۱۴.۸۶	۱۲۷۰.۷۹	۱۰۹۵.۷۷	۹۵۲.۲۵	۸۱۹.۴۴	۷۰۳.۶۹	۶۴۲.۳۳	۵۸۹.۸۰	۵۲۳.۴۸	۴۸۹.۷۵	۴۴۷.۸۶	۴۲۴.۶۷	۳۹۹.۰۳	۳۷۹.۲۶	۳۸۸.۴۷
نمونه ۶۰/۸۰، زاویه ۱۰ درجه	۲۲۲۹.۴۵	۲۳۲۵.۹۷	۲۰۷۴.۱۲	۱۸۲۱.۵۰	۱۵۳۶.۶۰	۱۳۴۹.۱۷	۱۱۶۷.۰۵	۱۰۱۴.۱۶	۸۶۴.۹۳	۷۴۳.۶۱	۶۷۴.۱۱	۶۰۶.۹۶	۵۷۱.۱۶	۵۱۷.۰۵	۴۸۱.۱۴	۴۴۴.۲۶	۴۲۲.۵۲	۴۲۲.۴۰	۳۹۶.۳۰
نمونه ۱۴۰ خارجی، افقی	۲۲۹۷.۷۴	۲۲۸۰.۳۵	۲۰۳۲.۴۶	۱۷۶۲.۶۲	۱۴۹۷.۴۴	۱۳۳۰.۹۲	۱۱۴۴.۷۹	۱۰۱۱.۶۷	۸۶۵.۹۱	۷۳۷.۷۴	۶۷۱.۸۳	۶۰۸.۲۶	۵۵۳.۲۵	۵۰۸.۱۰	۴۷۱.۰۱	۴۳۰.۸۷	۴۰۴.۲۶	۳۸۴.۵۹	۴۰۶.۹۹
نمونه ۱۴۰ خارجی، ۱۰ درجه	۲۵۰۶.۲۵	۲۵۳۸.۵۵	۲۲۰۳.۶۱	۱۹۰۴.۳۷	۱۶۴۲.۵۴	۱۳۷۸.۶۹	۱۲۲۱.۳۶	۱۰۵۷.۸۴	۹۰۳.۲۸	۷۸۵.۱۷	۷۰۲.۸۷	۶۳۸.۶۶	۵۸۶.۱۳	۵۳۹.۳۱	۴۹۷.۶۴	۴۵۱.۲۸	۴۲۶.۷۲	۴۰۵.۶۶	۴۳۰.۹۳

شکل ۱۰. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ ژوئن ساعت ۰۹:۰۰



	۹.۵۰	۹.۰۰	۸.۵۰	۸.۰۰	۷.۵۰	۷.۰۰	۶.۵۰	۶.۰۰	۵.۵۰	۵.۰۰	۴.۵۰	۴.۰۰	۳.۵۰	۳.۰۰	۲.۵۰	۲.۰۰	۱.۵۰	۱.۰۰	۰.۵۰
نمونه پایه	۵۷۲.۱۴	۵۴۳.۷۵	۵۷۲.۹۱	۶۲۴.۷۹	۶۶۸.۴۸	۷۲۰.۰۸	۷۹۳.۰۴	۸۵۶.۲۶	۹۳۴.۸۴	۱۰۴۵.۵۰	۱۲۱۸.۵۶	۱۴۱۷.۰۵	۱۶۳۲.۸۵	۱۸۶۳.۷۹	۲۱۱۶.۰۴	۲۴۵۶.۵۸	۲۸۲۷.۵۲	۳۲۸۹.۵۸	۳۴۰۴.۷۴
نمونه ۶۰/۸۰ افقی	۵۳۳.۹۲	۵۳۶.۵۱	۵۵۰.۵۹	۵۸۷.۷۶	۶۴۶.۶۳	۷۰۰.۸۵	۷۷۳.۱۲	۸۴۱.۲۱	۹۰۴.۷۹	۱۰۲۵.۰۹	۱۱۶۸.۹۸	۱۴۱۴.۳۶	۱۶۲۳.۸۶	۱۸۹۱.۷۱	۲۱۴۶.۵۵	۲۴۷۵.۰۱	۲۷۴۴.۰۸	۲۹۸۱.۵۰	۲۸۶۳.۵۰
نمونه ۶۰/۸۰ زاویه ۱۰ درجه	۵۷۸.۶۶	۵۷۲.۰۴	۵۹۸.۲۰	۶۴۳.۲۸	۷۰۵.۴۱	۷۶۱.۶۶	۸۳۰.۹۳	۸۹۳.۸۸	۹۸۹.۰۶	۱۰۸۹.۵۰	۱۲۸۸.۵۳	۱۵۰۴.۲۶	۱۷۲۰.۱۶	۱۹۸۶.۲۴	۲۲۹۸.۰۵	۲۶۹۵.۶۹	۲۹۶۶.۸۰	۳۲۳۲.۹۳	۳۱۶۶.۳۰
نمونه ۱۴۰ خارجی، افقی	۵۶۴.۰۵	۵۷۶.۲۴	۵۹۷.۴۹	۶۴۲.۴۷	۶۹۳.۱۲	۷۶۶.۲۵	۸۴۸.۲۰	۹۱۲.۶۲	۱۰۱۳.۳۷	۱۱۳۳.۸۳	۱۳۱۳.۸۰	۱۵۷۸.۲۳	۱۷۹۹.۳۹	۲۱۱۵.۰۲	۲۴۴۹.۶۵	۲۸۸۳.۳۷	۳۳۷۰.۱۱	۳۷۵۶.۶۱	۳۶۶۶.۱۹
نمونه ۱۴۰ خارجی، ۱۰ درجه	۶۲۳.۰۹	۶۱۱.۸۳	۶۴۹.۰۵	۶۹۴.۱۲	۷۶۰.۹۳	۸۱۸.۴۸	۸۹۲.۶۳	۹۸۲.۰۶	۱۰۸۲.۵۶	۱۲۱۱.۹۱	۱۴۳۵.۰۶	۱۶۷۷.۶۰	۱۹۵۱.۹۶	۲۲۶۵.۲۷	۲۶۳۴.۹۶	۳۰۳۷.۷۰	۳۵۵۲.۴۶	۳۹۹۷.۸۰	۴۰۰۴.۶۵

شکل ۱۱. نمودار پخش نور برای رف‌های نور پخش‌کننده، ۲۱ ژوئن ساعت ۱۲:۰۰



	۹.۵۰	۹.۰۰	۸.۵۰	۸.۰۰	۷.۵۰	۷.۰۰	۶.۵۰	۶.۰۰	۵.۵۰	۵.۰۰	۴.۵۰	۴.۰۰	۳.۵۰	۳.۰۰	۲.۵۰	۲.۰۰	۱.۵۰	۱.۰۰	۰.۵۰
نمونه پایه	۵۷۲.۱۴	۵۴۳.۷۵	۵۷۲.۹۱	۶۲۴.۷۹	۶۶۸.۴۸	۷۲۰.۰۸	۷۹۳.۰۴	۸۵۶.۲۶	۹۳۴.۸۴	۱۰۴۵.۵۰	۱۲۱۸.۵۶	۱۴۱۷.۰۵	۱۶۳۲.۸۵	۱۸۶۳.۷۹	۲۱۱۶.۰۴	۲۴۵۶.۵۸	۲۸۲۷.۵۲	۳۲۸۹.۵۸	۳۴۰۴.۷۴
نمونه ۶۰/۸۰ افقی	۵۱۰.۰۱	۵۰۹.۲۷	۵۳۵.۰۶	۵۷۷.۶۹	۶۲۲.۴۴	۶۸۲.۲۰	۷۳۵.۶۲	۸۰۰.۴۱	۸۷۴.۰۳	۹۷۸.۴۳	۱۱۷۵.۳۸	۱۳۵۹.۰۹	۱۵۷۸.۱۴	۱۸۲۲.۰۵	۲۰۸۱.۲۷	۲۴۲۳.۳۴	۲۷۴۱.۰۵	۲۹۱۸.۸۸	۲۷۴۲.۳۷
نمونه ۶۰/۸۰ زاویه ۱۰ درجه	۵۸۱.۵۷	۵۶۱.۹۷	۶۰۴.۰۶	۶۵۷.۱۳	۷۰۴.۰۵	۷۷۶.۸۶	۸۳۸.۹۸	۹۰۹.۳۲	۱۰۰۸.۳۵	۱۱۴۹.۹۳	۱۳۵۲.۰۴	۱۵۷۳.۱۷	۱۸۲۰.۷۵	۲۱۶۲.۶۴	۲۵۵۵.۹۸	۳۰۵۷.۶۲	۳۵۱۱.۰۴	۳۶۸۳.۳۶	۳۴۲۰.۰۶
نمونه ۱۴۰ خارجی، افقی	۵۳۲.۷۰	۵۳۶.۰۲	۵۶۵.۷۵	۶۱۲.۵۱	۶۴۸.۸۱	۷۰۳.۷۰	۷۸۶.۴۸	۸۳۶.۲۷	۹۳۶.۸۲	۱۰۴۶.۱۰	۱۲۲۰.۸۵	۱۴۴۲.۱۶	۱۶۴۵.۹۶	۱۹۱۷.۶۸	۲۲۴۱.۳۵	۲۶۵۴.۰۴	۳۰۸۹.۶۷	۳۵۴۲.۸۷	۳۶۲۸.۹۵
نمونه ۱۴۰ خارجی، ۱۰ درجه	۵۷۹.۶۸	۶۱۱.۹۳	۶۳۰.۶۴	۶۶۵.۷۹	۷۳۷.۵۸	۸۰۸.۷۱	۸۸۷.۹۲	۹۵۸.۴۶	۱۰۷۴.۲۸	۱۱۸۷.۵۲	۱۳۹۵.۲۳	۱۶۵۲.۸۶	۱۹۴۶.۷۳	۲۲۶۰.۵۹	۲۶۵۱.۷۷	۳۱۸۷.۶۱	۳۷۶۸.۲۳	۴۴۲۲.۱۴	۴۴۷۸.۲۷

شکل ۱۲. نمودار پخش نور برای رف‌های نور منعکس‌کننده، ۲۱ ژوئن ساعت ۱۲:۰۰

نتایج برای نمونه‌ها در زاویه افقی:

هنگامی‌که ارتفاع خورشید پایین است در تاریخ (۲۱ دسامبر) رف‌های پخش کننده، در مقایسه با نوع آینه‌ای در دو ساعت ۹ و ۱۲ عملکرد بهتری در رابطه با افزایش نور در عمق اتاق و افزایش یکنواختی داشتند.

در ۲۱ مارس نمونه ۸۰/۶۰ و ۱۴۰ خارجی، در ساعت ۹ نوع پخش کننده و در ساعت ۱۲ نوع منعکس کننده عملکرد بهتری دارد.

در ۲۱ ژوئن، نمونه ۸۰/۶۰ و ۱۴۰ خارجی در هر دو ساعت ۹ و ۱۲ نمونه پخش کننده عملکرد بهتری دارد.

نتایج برای نمونه‌ها در زاویه ۱۰ درجه:

۲۱ دسامبر، در ساعت ۹ عملکرد رف‌های منعکس کننده بهتر است و در ساعت ۱۲ برای نمونه ۸۰/۶۰ پخش کننده بهتر است و برای ۱۴۰ خارجی منعکس‌کننده.

در تاریخ ۲۱ مارس، برای نمونه ۸۰/۶۰ در هر دو ساعت ۹ و ۱۲ نوع پخش کننده عملکرد بهتری دارد، ولی برای نمونه ۱۴۰ خارجی در ساعت ۹ منعکس کننده در ساعت ۱۲ پخش کننده.

در تاریخ ۲۱ ژوئن، برای هر دو نمونه ۸۰/۶۰ و ۱۴۰ خارجی نوع پخش کننده مناسب‌تر است.

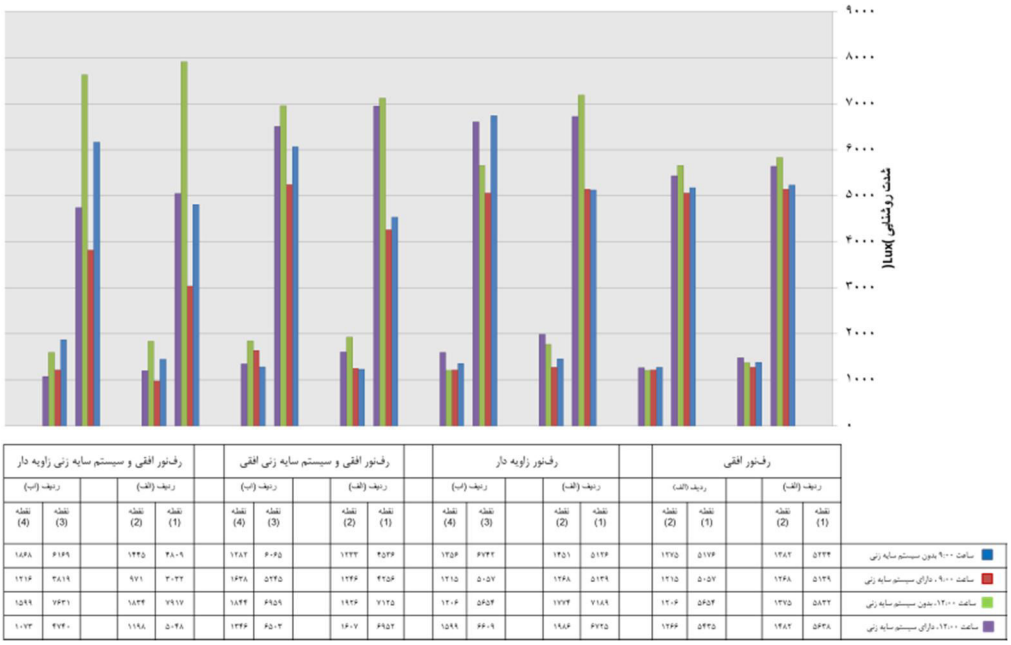
جدول ۴-۴ خلاصه‌ای از موارد گفته‌شده را ارائه می‌دهد.

جدول ۳. مقایسه عملکرد رف‌های نور با زاویه ۱۰ درجه

		افقی		۱۰ درجه	
تاریخ	ساعت	۸۰/۶۰	۱۴۰ خارجی	۸۰/۶۰	۱۴۰ خارجی
۲۱ دسامبر	۹	پخش کننده	منعکس کننده	منعکس کننده	منعکس کننده
	۱۲	پخش کننده	منعکس کننده	پخش کننده	منعکس کننده
۲۱ مارس	۹	پخش کننده	پخش کننده	پخش کننده	پخش کننده
	۱۲	منعکس کننده	منعکس کننده	پخش کننده	منعکس کننده
۲۱ ژوئن	۹	پخش کننده	پخش کننده	پخش کننده	پخش کننده
	۱۲	پخش کننده	پخش کننده	پخش کننده	پخش کننده

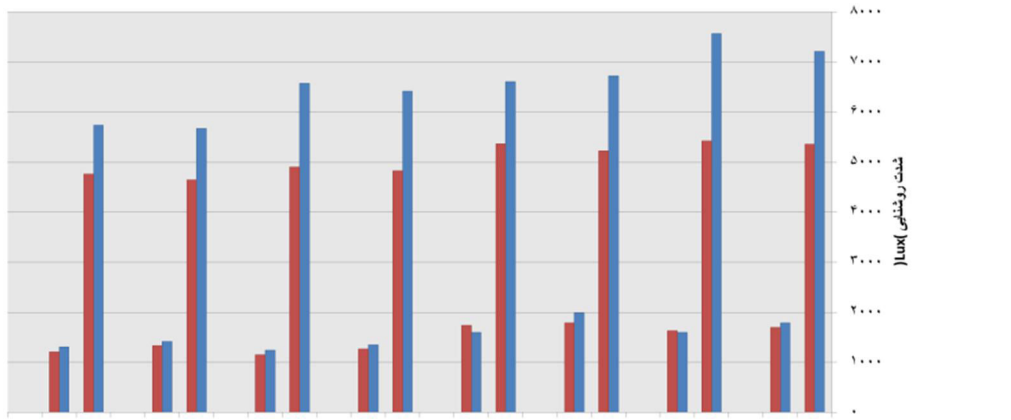
پیوست ۶: اندازه‌گیری‌ها در روزهای متفاوت

در اینجا نتایج اندازه‌گیری‌ها در هر یک از روزهای اندازه‌گیری و مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی‌شده در نرم‌افزار رادیانس.



	رفتور افقی				رفتور زاویه دار				رفتور افقی و سیستم سایه زنی افقی				رفتور افقی و سیستم سایه زنی زاویه دار			
	ردیف (الف)		ردیف (الف)		ردیف (الف)		ردیف (ب)		ردیف (الف)		ردیف (ب)		ردیف (الف)		ردیف (ب)	
	نقطه (۱)	نقطه (۲)	نقطه (۱)	نقطه (۲)	نقطه (۱)	نقطه (۲)	نقطه (۳)	نقطه (۴)	نقطه (۱)	نقطه (۲)	نقطه (۳)	نقطه (۴)	نقطه (۱)	نقطه (۲)	نقطه (۳)	نقطه (۴)
ساعت ۹:۰۰ بدون سیستم سایه زنی	۵۲۲۴	۱۴۸۲	۵۱۷۶	۱۲۷۵	۵۱۲۶	۱۴۵۱	۶۷۲۲	۱۲۵۶	۴۵۳۶	۱۲۲۲	۶۰۶۵	۱۲۸۲	۳۸۰۹	۱۲۴۵	۶۱۸۹	۱۸۶۸
ساعت ۹:۰۰ دارای سیستم سایه زنی	۵۱۲۹	۱۲۶۸	۵۰۵۷	۱۲۱۵	۵۱۳۹	۱۲۶۸	۵۰۵۷	۱۲۱۵	۴۲۵۶	۱۲۲۶	۵۲۳۵	۱۶۲۸	۳۰۲۲	۹۷۱	۳۸۱۹	۱۲۱۶
ساعت ۱۲:۰۰ بدون سیستم سایه زنی	۵۸۲۲	۱۳۷۵	۵۶۵۴	۱۲۰۶	۷۱۸۹	۱۷۷۴	۵۶۵۴	۱۲۰۶	۷۱۲۵	۱۹۲۶	۶۹۵۹	۱۸۴۴	۷۹۱۷	۱۸۳۴	۷۶۳۱	۱۵۹۹
ساعت ۱۲:۰۰ دارای سیستم سایه زنی	۵۴۳۸	۱۴۸۲	۵۴۳۵	۱۲۶۶	۶۷۲۵	۱۸۸۶	۶۶۰۹	۱۵۹۹	۶۸۵۲	۱۶۰۷	۶۵۰۳	۱۴۳۶	۵۰۴۸	۱۱۹۸	۴۷۴۰	۱۰۷۳

شکل ۱۳. نمودار اندازه‌گیری‌ها در آتلیه برای نمونه‌های مختلف در روزهای اندازه‌گیری



	رفتور افقی				رفتور زاویه دار				رفتور افقی و سیستم سایه زنی افقی				رفتور افقی و سیستم سایه زنی زاویه دار			
	ردیف (الف)		ردیف (الف)		ردیف (الف)		ردیف (ب)		ردیف (الف)		ردیف (ب)		ردیف (الف)		ردیف (ب)	
	نقطه (۱)	نقطه (۲)	نقطه (۱)	نقطه (۲)	نقطه (۱)	نقطه (۲)	نقطه (۳)	نقطه (۴)	نقطه (۱)	نقطه (۲)	نقطه (۳)	نقطه (۴)	نقطه (۱)	نقطه (۲)	نقطه (۳)	نقطه (۴)
مقادیر اندازه گیری شده در آتلیه	۷۲۱۵	۱۷۹۳	۷۵۷۵	۱۵۹۸	۶۷۲۵	۱۹۸۶	۶۶۰۹	۱۵۹۹	۶۴۲۵	۱۳۵۲	۶۵۷۶	۱۲۴۶	۵۶۷۵	۱۴۲۱	۵۷۴۳	۱۳۰۸
مقادیر شبیه سازی شده	۵۳۵۸	۱۶۹۹	۵۴۲۵	۱۶۳۱	۵۲۳۰	۱۷۸۹	۵۳۶۷	۱۷۴۱	۴۸۲۷	۱۲۶۵	۴۹۰۶	۱۱۵۶	۴۶۵۲	۱۳۳۸	۴۷۶۶	۱۲۰۷

شکل ۱۴. نمودار مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده در نرم‌افزار -۳ آبان

مراجع

1. A. Iversen, N. Roy, M. Hvass, M. Jørgensen, J. Christoffersen, W. Osterhaus, *et al.*, "Daylight calculations in practice: An investigation of the ability of nine daylight simulation programs to calculate the daylight factor in five typical rooms," 2013.
2. H. Lee, H.-I. Jang, and J. Seo, "A preliminary study on the performance of an awning system with a built-in light shelf," *Building and Environment,* vol. 131, pp. 255-263, 2018.
3. P. Barrett, F. Davies, Y. Zhang, and L. Barrett, "The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis," *Building and Environment,* vol. 89, pp. 118-133, 2015.
4. A. Meresi, "Evaluating daylight performance of light shelves combined with external blinds in south-facing classrooms in Athens, Greece," *Energy and Buildings,* vol. 116, pp. 190-205, 2016.
5. A. Kontadakis, A. Tsangrassoulis, L. Doulos, and S. Zerefos, "A Review of Light Shelf Designs for Daylit Environments," *Sustainability,* vol. 10, p. 71, 2017.
6. A. A. Ahadi ,M. R. Saghafi, and M. Tahbaz, "The study of effective factors in daylight performance of light-wells with dynamic daylight metrics in residential buildings," *Solar Energy,* vol. 155, pp. 679-697, 2017.
7. D. L. DiLaura, K. W. Houser, R. G. Mistrick, and G. R. Steffy, *The lighting handbook: Reference and application*: Illuminating Engineering Society of North America New York, 2011.
8. S. Carlucci, F. Causone, F. De Rosa, and L. Pagliano, "A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design," *Renewable and sustainable energy reviews,* vol. 47, pp. 1016-1033, 2015.
9. ا. چارلزبنجامین‌شفر, پ. شهرام, ع. ط. هوری، نور روز در معماری، نشر نخستین، ۱۳۷۹.
10. L. Heschong, "Daylighting in Schools: An Investigation into the Relationship between Daylighting and Human Performance.condensed Report," ed, 1999.
11. V. R. Garcia-Hansen, "Innovative daylighting systems for deep-plan commercial buildings," Queensland University of Technology, 2006.
12. A. A. Freewan, "Maximizing the lightshelf performance by interaction between lightshelf geometries and a curved ceiling," *Energy Conversion and Management,* vol. 51, pp. 1600-1604, 2010.
13. B. Gherri, *Assessment of daylight performance in buildings: methods and design strategies*: WIT Press, 2015.
14. A. Michael and C. Heracleous, "Assessment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in Southern Europe: The case of typical educational school premises in Cyprus," *Energy and Buildings,* vol. 140, pp. 443-457, 2017.

15. L. CIBSE, "Daylighting and window design," *The Chartered Institution of Building Services Engineers, London,* 1999.
۱۶. گ. رستم، راهنمای اندازه‌گیری و ارزیابی روشنایی در محیط کار کد *OEL-L-9507* دانشجو، ۱۳۹۶
17. CIBSE, *Code for Lighting*, 2002.
18. BSI, *Lighting for buildings. Code of practice for daylighting*, 2008.
19. G. Britain, *Guidelines for Environmental Design in Schools:(revision of Design Note 17)*: Stationery Office ,1997.
20. DFEE, *Lighting design for schools*: Department for Education and Employment, 1999.
21. A. Meresi, "Energy Savings in Classrooms due to Daylighting," School ofArchitecture, Aristotle University of Thessaloniki, Greece, 2010.
22. R. Küller and C. Lindsten, "Health and behavior of children in classrooms with and without windows," *Journal of Environmental Psychology,* vol. 12, pp. 305-317, 1992.
23. K. Axarli and A. Meresi, "Objective and Subjective Criteria Regarding the Effect of Sunlight and Daylight in Classrooms," in *Proceedings of PLEA 2008 – The 25thConference on Passive and Low Energy Architecture*, Dublin, Ireland, 2008.
24. S. S. Korsavi, Z. S. Zomorodian, and M. Tahsildoost, "Visual comfort assessment of daylit and sunlit areas: A longitudinal field survey in classrooms in Kashan, Iran," *Energy and Buildings,* vol. 128, pp. 305-318, 2016.
25. A. Gilavand, M. Gilavand, and S. Gilavand, "Investigating the impact of lighting educational spaces on learning and academic achievement of elementary students," *International Journal of Pediatrics,* vol. 4, pp. 1819-1828, 2016.
26. P. J. Littlefair, "Light shelves: computer assessment of daylighting performance," *International Journal of Lighting Research and Technology,* vol. 27, pp. 79-91, 1995.
27. S. Selkowitz, M. Navvab, and S. Matthews, "Design and performance of light shelves," in *1983 International Daylighting Conference, General Proceedings*, 1983.
28. P. Littlefair, M. Aizlewood, and A. Birtles, "The performance of innovative daylighting systems," *Renewable Energy,* vol. 5, pp. 920-934, 1994.
29. S.-T. Claros and A. Soler, "Indoor daylight climate-comparison between light shelves and overhang performances in Madrid for hours with unit sunshine fraction and realistic values of model reflectance," *Solar energy,* vol. 71, pp. 233-239, 2001.
30. U. Berardi and H. K. Anaraki, "Analysis of the impacts of light shelves on the useful daylight illuminance in office buildings in Toronto," *Energy Procedia,* vol. 78, pp. 1793-1798, 2015.
31. U. Berardi and H. K. Anaraki, "The benefits of light shelves over the daylight illuminance in office buildings in Toronto," *Indoor and Built Environment,* vol. 27, pp. 244-262, 2018.

32. C. E. Ochoa and I. G. Capeluto, "Evaluating visual comfort and performance of three natural lighting systems for deep office buildings in highly luminous climates," *Building and Environment,* vol. 41, pp. 1128-1135, 2006.
33. J. Hu, J. Du, and W. Place, "The Assessment of Advanced Daylighting Systems in Multi-Story Office Buildings Using a Dynamic Method," in *World Renewable Energy Congress-Sweden; 8-13 May; 2011; Linköping; Sweden*, 2011, pp. 1867-1874.
34. Y.-W. Lim and M. H. Ahmad, "The effects of direct sunlight on light shelf performance under tropical sky," *Indoor and Built Environment,* vol. 24, pp. 788-802, 2015.
35. C. Kurtay and O. Esen, "A new method for light shelf design according to latitudes: CUN-OKAY light shelf curves," *Journal of Building Engineering,* vol. 10, pp. 140-148, 2017.
36. G. A. Warrier and B. Raphael, "Performance evaluation of light shelves," *Energy and Buildings,* vol. 140, pp. 19-27, 2017.
37. M. H. Moazzeni and Z. Ghiabaklou, "Investigating the influence of light shelf geometry parameters on daylight performance and visual comfort, a case study of educational space in Tehran, Iran," *Buildings,* vol. 6, p. 26, 2016.
38. A. Freewan, L. Shao, and S. Riffat, "Optimizing performance of the lightshelf by modifying ceiling geometry in highly luminous climates," *Solar Energy,* vol. 82, pp. 343-353, 200.٨
39. I. M. Franco, "Efficacy of light shelves: passive, dynamic, and automatic devices related to light and thermal behavior," *Thermal Performance of Exterior Envelopes of Whole Buildings X,* 2007.
40. Y.-W. Lim and C. Heng, "Dynamic internal light shelf for tropical daylighting in high-rise office buildings," *Building and Environment,* vol. 106, pp. 155-166, 2016.
41. H. Lee, K. Kim, J. Seo, and Y. Kim, "Effectiveness of a perforated light shelf for energy saving," *Energy and Buildings,* vol. 144, pp.٢٠١٧ ,١٥١-١۴۴ .
42. L. Sanati and M. Utzinger, "The effect of window shading design on occupant use of blinds and electric lighting," *Building and Environment,* vol. 64, pp. 67-76, 2013.
43. J. Molinelli and L. Boyer, "Measurements and comparisons of lightshelf performance in two Texas office buildings," 1987.
44. C. Basurto Dávila, "On advanced daylighting simulations and integrated performance assessment of complex fenestration systems for sunny climates," 2014.
45. Q. Yang, B. Liang, G. B. Pan, S. Y .He, W. Chen, X. Y. Dang*, et al.*, "Research on Layout of Measurement Points in Tunnel Lighting Experiment," in *Applied Mechanics and Materials*, 2014, pp. 1024-1028.
46. http://naturalfrequency.com/articles/radiancedf.
47. C. F. Reinhart and O. Walkenhorst, "Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds," *Energy and Buildings,* vol. 33, pp. 683-697, 2001.

48. J. Mardaljevic, "Validation of a lighting simulation program under real sky conditions," *International Journal of Lighting Research and Technology,* vol. 27, pp. 181-188, 1995.
49. A. Thanachareonkit, J.-L. Scartezzini, and M. Andersen, "Comparing daylighting performance assessment of buildings in scale models and test modules," *Solar Energy,* vol ,۷۹ .pp. 168-182, 2005.
50. W. Wu and E. Ng, "A review of the development of daylighting in schools," *Lighting research & technology,* vol. 35, pp. 111-124, 2003.
۵۱. ص. سیدحسن، فنون تحقیق، پرسشنامه، اندیشمند، ۱۳۸۸
52. ce.aut.ac.ir/islab/FAQ/Notes/Questionnaire%20design.doc
53. C. F. Reinhart and D. A. Weissman, "The daylit area–Correlating architectural student assessments with current and emerging daylight availability metrics," *Building and Environment,* vol. 50, pp. 155-164, 2012.
54. C. F. Reinhart and M. Andersen, "Development and validation of a Radiance model for a translucent panel," *Energy and Buildings,* vol. 38, pp. 890-904, 2006.
55. ISO, "Assessment of environments by means of an environmental survey involving physical measurements of the environment and subjective responses of people," ed. Genève: International Organization for Standardization, 2012.
56. P. Xue, C. Mak, and H. Cheung, "The effects of daylighting and human behavior on luminous comfort in residential buildings: A questionnaire survey," *Building and Environment,* vol. 81, pp. 51-59, 2014.
57. T.-w. Kim, W.-h. Hong, and H.-t. Kim, "Daylight evaluation for educational facilities established in high-rise housing complexes in Daegu, South Korea," *Building and Environment,* vol. 78, pp. 137-144, 2014.

Abstract

In recent years, increasing energy consumption has led researchers to focus on energy efficiency and use of renewable and cheap energy such as sunlight. Daylight is a sustainable energy source for buildings in which activities are done during the day. However, in deep spaces, appropriate daylight may not receive to spaces which are far from windows. To solve the problem, daylight systems such as light shelves are provided. The research studied the use of natural light by providing light shelves in schools, in particular, the south design atelier in the Shahrood University of Technology. Hence, at first, natural light in the atelier was simulated for various systems of light shelves and louvers using Radiance software. Then, the performance of the light shelves was tested by a model. Finally, a light shelf in combination with internal louvers was installed in the atelier and its performance was evaluated by a survey. The results lead to the definition of the optimum characteristics of the system. Also, users' feedback showed the effectiveness of light selves and problems related to the performance of lighting fixtures.

Keywords: Optimization, Radiance, Daylight, Uniformity, Light shelf

Shahrood University of Technology

Faculty of Architectural Engineering and Urbanism

M.Sc. Thesis in Architectural Engineering

Evaluation of lightshelf Performance in Educational Spaces (Case Study: Shahrood University of Technology)

By: Fatemeh Ghorbani

Supervisor:
Dr. Masoud Taheri Shahraein

Advisor:
Eng. Amir Mohsen Nikzad

January,2019