

## تخمین کارایی کانال‌های انتقال نور افقی در ساختمان‌های عمیق\*

نمونه: بناهای اداری تهران

محمد جواد مهدوی نژاد\*\*، محمدرضا بمانیان<sup>۱</sup>، سها مطور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۲/۲۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۹۱/۱۰/۱۷)

### چکیده

امروزه بخش ساختمان، از مصرف کننده ترین بخش‌ها در ارتباط با مصرف انرژی الکتریکی می‌باشد. تلاش برای کاهش مصرف انرژی، انسان‌ها را در پی یافتن جایگزینی مناسب برای آن، از میان انرژی‌های تجدیدپذیر، به سمت تحقیق و مطالعه بیشتری سوق داده است. یکی از نتایج محقق شده در این زمینه، استفاده از روشنایی طبیعی در طول ساعات روز به جای روشنایی مصنوعی می‌باشد که این جایگزینی، خود به تمهیدات ویژه‌ای نیاز دارد. از آنجایی که شهر تهران دارای ساعات آفتابی زیادی در طول سال می‌باشد، این منبع روشنایی می‌تواند مورد مطالعه دقیق تر قرار گرفته و ابزار و راهکارهای مناسب در جهت استفاده بهینه از آن شناسایی شود. در این پژوهش به شناسایی و تخمین کارایی یکی از سیستم‌های پیشرفته نور روز به نام کانال انتقال نور افقی پرداخته شده است تا جایی که بتواند برآورده کننده نیازهای کمی و کیفی روشنایی در اتاقی اداری با پلان عمیق باشد. روش تحقیق در این پژوهش توصیفی - تحلیلی می‌باشد. در این راستا از نرم‌افزارهای شبیه سازی اکوتکت و ردینس استفاده شده و کانال انتقال نوری منطبق با شرایط تابش خورشیدی در تهران طراحی و مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج حاکی از افزایش کمیت و کیفیت روشنایی در اتاق مورد مطالعه برای اکثر ماه‌های سال در صورت استفاده از این سیستم می‌باشد.

### واژه‌های کلیدی

نور روز، سیستم‌های پیشرفته نور روز، کانال انتقال نور افقی، کمیت و کیفیت روشنایی.

\* این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده سوم تحت عنوان: "بهره‌گیری از روشنایی روز در طراحی ساختمان‌های با پلان عمیق. نمونه موردی: طراحی فرهنگستان‌های جمهوری اسلامی ایران در اراضی عباس آباد تهران" می‌باشد.  
\*\* نویسنده مسئول: تلفن: ۰۲۱-۸۲۸۸۳۷۲۹، نمابر: ۰۲۱-۸۸۰۰۸۹۰، E-mail: Mahdavinjad@modares.ac.ir

## مقدمه

باید توجه داشت که در صورت عدم استفاده بهینه و هدفمند از نور روز، شاید این مهم خود باعث افزایش مصرف انرژی در ساختمان شود. به طوری که با افزایش سطوح شفاف در ساختمان بخش عظیمی از روشنایی خورشیدی به داخل اتاق انتقال یافته که می‌تواند عدم آسایش بصری را از طریق ایجاد خیرگی در نواحی نزدیک به پنجره، برای ساکنین به همراه داشته باشد. علاوه بر این، موجبات افزایش بار سرمایشی و گرمایشی و نهایتاً مصرف بیشتر انرژی را نیز در پی خواهد داشت. از این رو توجه به استفاده بهینه از نور روز هم از لحاظ کمی و هم کیفی احتیاج به مطالعات دقیق تری دارد. در این راستا شناخت راهکارها و تخمین کارایی ابزارهایی برای کاهش سطوح شفاف به ابعاد بهینه آن و همچنین افزایش روشنایی در نیمه دور از پنجره اتاق، می‌تواند در استفاده هدفمند از نور روز مفید واقع شود.

توجه و علاقه‌ای که انسان‌ها در طول سالیان متممادی نسبت به نور خورشید نشان داده‌اند، حاکی از اهمیت و ارزشمندی آن برای بشر می‌باشد که خود محرکی برای حضوربخشی آگاهانه به آن در فضاهای معماری بوده است. این واقعیت، چندی پس از ورود روشنایی مصنوعی به ساختمان‌ها و ایجاد روشنایی دلخواه و یکنواخت در همه ساعات شبانه روز برای انسان، کم‌کم به دست فراموشی سپرده شد. در سال‌های اخیر، به دلیل بحران‌های زیست محیطی و بحران انرژی روی داده در سطح کره زمین، به یکباره استفاده از نور روز مورد توجه دوباره قرار گرفته و مطالعات وسیعی نیز بر روی آن در جهت شناخت و نحوه کاربرد صحیح آن صورت پذیرفت. علاوه بر تاثیرات کاهشی مصرف انرژی الکتریکی منتج از استفاده نور روز در ساختمان، می‌توان از دیگر برتری‌های نور روز نسبت به نور مصنوعی، مانند درخشندگی، ترکیب کامل طیف رنگی و پویایی آن نیز بهره گرفت.

## ۱- چارچوب نظری پژوهش

قسمت‌های مختلف اتاق، نوعی عدم آسایش بوجود می‌آورد که موجب می‌شود ساکنین برای برطرف کردن آن از نور مصنوعی استفاده کنند و در زمانی که نور به اندازه کافی وجود دارد، تنها به دلیل توزیع نامناسب آن در اتاق، انرژی الکتریکی زیادی صرف می‌شود.

تحقق این مهم در ساختمان‌هایی که عمق بیشتری دارند و فاصله از پنجره‌های کناری بیش از دو برابر ارتفاع کف تا سقف آن باشد (با احتساب متوسط ضریب انعکاس سطوح ۰/۵)، به تنهایی تقریباً امکان پذیر نخواهد بود (Baker & Steamers, 2002) به طوری که استفاده از سیستم‌های الحاقی به پنجره اجتناب ناپذیر می‌باشد. برخی از این سیستم‌ها که با عنوان سیستم‌های پیشرفته نور روز شناخته شده‌اند در ادامه بررسی شده‌اند.

## ۲- سیستم‌های پیشرفته نور روز

چالش‌های مربوط به هدایت نور طبیعی از پنجره به عمق بیشتری در ساختمان و در عین حال حفظ کیفیت آن را می‌توان به بهترین وجه از طریق انعکاس نور طبیعی از سقف برآورده ساخت. به طور کلی سیستم‌های نور روز، تجهیزات نوری تکمیل‌کننده‌ای هستند که یا به پنجره و نورگیر اضافه می‌شوند و یا به صورت پیوسته و ترکیب شده با آنها کار می‌کنند (Compagnon, 2002). این تجهیزات برای تطبیق با شدت و توزیع نور روز در فضای داخلی طراحی شده‌اند تا بتوانند نیازهای روشنایی فعالیت مورد نظر در محیط را بدون ایجاد درخشندگی برآورده کنند. سیستم‌های نور روز می‌توانند با استراتژی‌های روشنایی مصنوعی کارکنند به گونه‌ای که توسط کلیدها و یا دیمرهایی نور مصنوعی مطابق با میزان نور طبیعی موجود کنترل شود تا اهداف کاهش مصرف انرژی در ساختمان نیز برآورده شود (Benya et al, 2001). برای

در نورپردازی با نور روز، کیفیت نور همواره باید در کنار کمیت آن مورد توجه قرار گیرد. آنچه کاربرد نور روز را با کیفیت مطلوب برای انسان میسر می‌سازد، در قالب اهداف نورپردازی با نور روز شناخته می‌شود. اهدافی که می‌تواند آسایش بصری را برای ساکنین فضا به دنبال داشته باشد. مفهوم کیفیت در نور روز توسط سه عامل مهم تعریف می‌شود: توزیع یکنواخت روشنایی در اتاق، کنترل پدیده درخشندگی روی سطوح مختلف در میدان دید و کنترل انواع خیرگی‌ها در فضای داخلی ساختمان (اونز، ۱۳۷۹، ۷۵). از این میان توزیع یکنواخت روشنایی در اتاق در کنار افزایش کمیت روشنایی، در این پژوهش مورد توجه بیشتر و بررسی واقع شده است.

مکانیسم توزیع یکنواخت روشنایی در بیان چارچوب نظری پژوهش از اهمیت به سزایی برخوردار است. در اغلب مکان‌ها و به خصوص مکان‌هایی که بیشتر فعالیت‌ها بصری می‌باشد مانند محیط‌های آموزشی و اداری، یکی از اهداف اصلی در طراحی نورپردازی با نور روز، توزیع یکنواخت نور در قسمت‌های مختلف فضای داخلی است. نوری که از پنجره‌های کناری وارد می‌شود، معمولاً در کنار پنجره روشنایی زیاد و در انتهای اتاق نور بسیار کمی بوجود می‌آورد. بنابراین ایجاد شیب کمتر در نمودار توزیع روشنایی اتاقی که با از پنجره‌های کناری نور می‌گیرد، و همچنین افزودن بر میزان روشنایی انتهای اتاق، یکی از مهم‌ترین اهداف در طراحی با نور روز می‌باشد (لکنر، ۱۳۸۵، ۳۹۱). نکته مهم در این زمینه این است که الزاماً نور زیاد در قسمتی از اتاق مانع از روشن کردن لامپ‌های الکتریکی در آن اتاق نمی‌شود، بلکه نسبت یکنواختی نور است که در این زمینه نقش موثری دارد. در واقع تضاد نوری شدید در

ایجاد کند و انتهای اتاق را نیز برای فعالیت‌های بصری نیازمند به نور کافی، مناسب کند. به طور کلی می‌توان کانال‌های انتقال نوری را که تا به حال بررسی و مطالعه شده‌اند را در دو دسته عمده تقسیم کرد: کانال‌های انتقال نور افقی ساده و کانال‌های انتقال نور مجهز شده.

### الف- کانال‌های انتقال نور افقی ساده شده

از آنجا که وظیفه اصلی کانال‌های انتقال نور، انتقال نور روز از جداره بیرونی ساختمان به عمق اتاق می‌باشد، درجه آن باید رو به سمت جنوب داشته باشد (نیمکره شمالی) تا بتواند نور مستقیم خورشید را در بیشتر مواقع روز دریافت کند. این کانال‌ها از سه بخش عمده تشکیل شده‌اند: (۱) جمع‌آور نور، (۲) انتقال دهنده نور و (۳) انتشار دهنده نور. این سه بخش عمده از اجزای ثابتی تشکیل شده‌اند (تصویر ۱) که در اکثر تحقیقات و مطالعات برای کانال‌های انتقال نور در نظر گرفته شده‌اند.

۱- **محفظه بازتاب:** در این فضا، پرتوهای مستقیم خورشید جمع‌آوری شده و به درون بازتاب می‌شود. این محفظه از لایه‌های نازک مصالح با ضریب انعکاس زیاد (۰/۹۵) پوشیده می‌شود.  
۲- **بازتابنده:** این بخش از سیستم اشعه‌های خورشید را متمرکز و بازتاب می‌دهند که باید بتواند خود را با جهات و ارتفاع‌های مختلف خورشید در طول روز و فصول سال تطبیق دهد تا کارایی سیستم را در همه مواقع به خوبی حفظ کند. در برخی از پژوهش‌ها، این بخش را از صفحه‌ای مسطح و مورب در نظر گرفته‌اند که به صورت مکانیکی با توجه به زاویه تابش خورشید تنظیم می‌شود (Peron et al., 2004). در برخی دیگر از مطالعات که اجزا ثابت هستند و متحرک عمل نمی‌کنند، این صفحه دارای شیب‌های مختلفی منطبق با زوایای متوسط خورشید در طول چهار فصل از سال می‌باشد (Beltran et al., 1996). در این حالت نیز می‌تواند به صورت بهینه تابش‌های خورشید را در زمستان، تابستان و پاییز به بهار به درون کانال بازتاب دهد.

۳- **محفظه انتشار:** این محفظه جهت انتشار پرتوهای نوری که بوسیله محفظه بازتاب جمع‌آوری شده، به طرف بازشوهای داخلی، استفاده می‌شود. این محفظه دارای مقطعی طولی و در امتداد اتاق است که با نزدیک شدن به انتهای اتاق باریک تر شده حالت مخروطی به خود می‌گیرد. این حالت در جبران میرایی شار نوری می‌تواند مؤثر باشد. مصالح به کاررفته برای این بخش از سیستم معمولاً باید خاصیت انتشاردهندگی زیادی داشته باشند.

طبقه بندی سیستم‌های نور روز چندین حالت وجود دارد. یکی از این طبقه بندی‌ها براساس ویژگی‌های هندسه آنهاست که به سه دسته تقسیم می‌شوند: عناصر یکپارچه با پنجره، بازتابنده‌ها و قفسه‌های نوری و هدایتگرهای نور.

سیستم‌های هدایتگر نور، نور طبیعی را به بخش‌های داخلی ساختمان انتقال می‌دهد بنابراین موجب افزایش کمیت روشنایی در ساختمان می‌شوند و می‌تواند بخش‌های عمیق ساختمان را نیز با نور طبیعی روشن سازند. در این پژوهش سیستم‌های هدایتگر نور، به دلیل اینکه امکان انتقال روشنایی تا عمق ساختمان را دارند، برای اتاق‌های اداری با پلان عمیق مناسب ارزیابی شده و مورد تحلیل بیشتری قرار گرفته است.

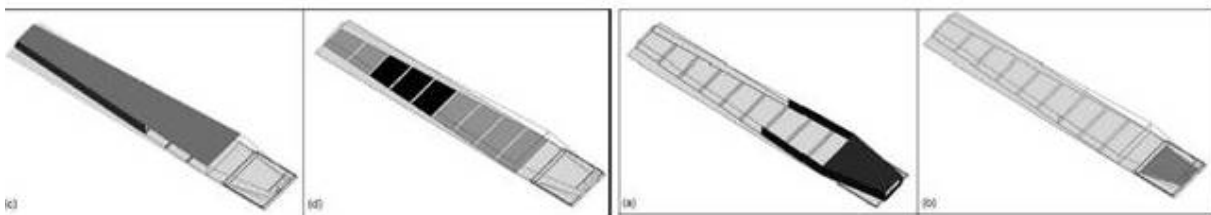
### ۱-۲ سیستم‌های هدایتگر نور

سیستم‌های هدایتگر نور، شارنوری را از متمرکزکننده‌ها به سمت منتشرکننده‌ها توسط عناصر واسطه انتقال دهنده، هدایت می‌کنند. در این روش اشعه‌های نور خورشید کانالیزه شده و در فضای داخلی منتشر می‌شوند. برای رسیدن به این هدف تکنولوژی‌های متفاوتی ایجاد شده است که در چهار گروه می‌توان دسته بندی کرد: ایجاد کننده روشنایی از راه دور، سیستم فیبر نوری، کانال‌های انتقال نور عمودی<sup>۲</sup> و کانال‌های انتقال نور افقی<sup>۳</sup>.

در ساختمان‌های چند طبقه، برای انتقال روشنایی از جداره ساختمان به عمق فضاها عمیق، از کانال‌های انتقال نور افقی می‌توان بهره گرفت. سایر سیستم‌های هدایتگر نور، روشنایی را از منابع متمرکز کننده نور مستقر بر روی بام ساختمان دریافت کرده و با روش‌های مختلف به صورت عمودی به عمق ساختمان انتقال می‌دهند.

### ۱-۱-۲ کانال‌های انتقال نور افقی

این کانال‌های انتقال نور برای شرایط آسمان آفتابی و نسبتاً آفتابی طراحی شده است که راه حل مناسبی برای اصلاح شرایط روشنایی در ساختمان‌های با پلان عمیق به نظر می‌رسند. یکی از مهم‌ترین مزیت‌های آن این است که می‌تواند در فضای اشغال شده برای سقف هر طبقه نصب شود که خود موجب مناسب بودن آنها حتی برای ساختمان‌های موجود می‌شود. برای کارایی بهتر این سیستم‌ها باید در حالت بهینه برای عرض‌های جغرافیایی و جهت‌گیری‌های مختلف قرار گیرد. این سیستم می‌تواند روشنایی یکنواختی را در طول اتاق‌های عمیق



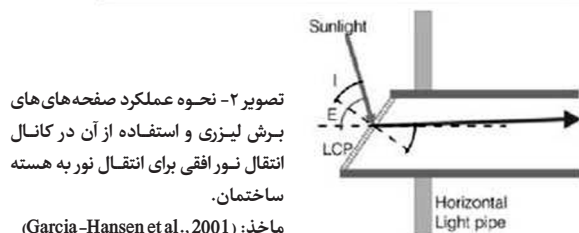
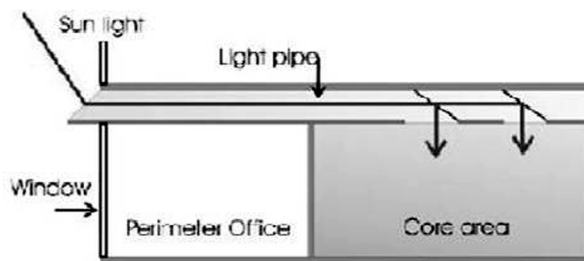
تصویر ۱- اجزای اصلی یک سیستم کانال انتقال نور افقی ساده. (a) محفظه بازتاب، (b) بازتابنده، (c) محفظه انتشار، (d) شیشه‌های نیمه شفاف بازشوهای داخلی. ماخذ: (Canziani et al., 2004)

تغییرات مورد نیاز اعمال شود. اتافی که برای این سیستم در نظر گرفته شده است، اتافی با ساختار معمولی یک اتاق اداری در ساختمان چند طبقه می باشد که امکان استفاده از پنجره را به عنوان نورگیر تنها در یک جداره (جنوبی) دارد. ابعاد این اتاق در تصویر ۳ نشان داده شده اند. ضریب انعکاس سطوح داخلی این اتاق به شرح جدول ۱ می باشد.

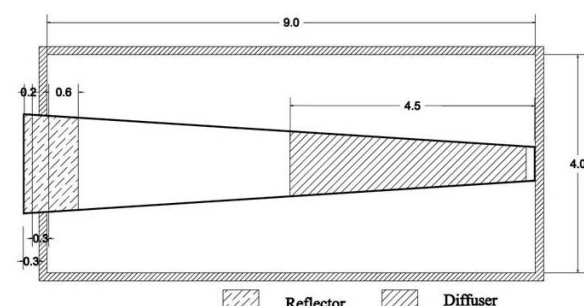
اتاق مورد نظر در دو حالت مورد بررسی قرار گرفته است. در حالت اول اتاق تنها یک پنجره در جداره جنوبی دارد و در حالت دوم کانال انتقال نور نیز به آن اضافه شده است. ابعاد این پنجره بر اساس حداقل نسبت مساحت پنجره به مساحت دیوار خارجی ( $WWR^5$ ) در نظر گرفته شده است. این نسبت در پژوهش های سابق نگارندگان برای شهر تهران بین ۳۰٪ تا ۴۰٪ تخمین زده شده است (Mahdavinejad, et al., 2012). در این حالت پنجره می تواند در کنار تامین نور کافی در فضای داخلی، انتقال انرژی را به حداقل برساند. براین اساس مساحت پنجره برای اتاق در حدود ۳۰٪ مساحت دیوار در نظر گرفته شده است. در اطلاعات داده شده به نرم افزارهای مورد نظر، ضریب

جدول ۱- مشخصات سطوح اتاق شبیه سازی شده.

اجزای مدل فرضی	ضریب انعکاس
سقف	۰/۸۰
دیوار	۰/۴۷
کف	۰/۴۰



تصویر ۲- نحوه عملکرد صفحه های های برش لیزری و استفاده از آن در کانال انتقال نور افقی برای انتقال نور به هسته ساختمان.  
ماخذ: (Garcia-Hansen et al., 2001)



تصویر ۳- پلان اتاق و کانال انتقال نور شبیه سازی شده (ابعاد به متر می باشد).

۴- بازشوهای شیشه ای: بازشو خارجی سیستم بوسیله شیشه معمولی با ضریب شفافیت تقریبی ۰/۸۶ در نظر گرفته می شود. بازشوهایی که از کانال به سمت داخل باز می شوند توسط شیشه های نیمه شفاف بسته می شود که نور را بدون ایجاد خیرگی در فضای داخلی منتشر می کنند (Canziani et al., 2004).

### ب- کانال های انتقال نور مجهز شده

در این سیستم ها، از مصالح و عناصر جدید و کارآمدی مانند LCP برای بازتاب نور و جهت دهی به آن در دهانه های ورودی و خروجی کانال انتقال نور استفاده می شود. در این صورت قسمت بازتابنده در سیستم احتیاجی به تغییر زاویه در طول سال ندارد و این عنصر می تواند همه پرتوهای برخورد کرده را جمع آوری کرده و به سمت بالا و سقف مکان مورد نظر هدایت کند (تصویر ۲) از این رو میزان بازتاب ها و انعکاس های داخلی کانال انتقال نور نیز کمتر شده و شار نوری وارد شده، در انتهای کانال، دچار میرایی کمتری می گردد و در نتیجه میزان روشنایی بیشتری به درون اتاق انتقال داده می شود (Garcia-Hansen et al., 2001). از آنجایی که این صفحه ها به راحتی در دسترس نمی باشند و به صورت عمده وارد بازار نشده اند، استفاده از آنها در این سیستم نیز با محدودیت همراه است و تاکنون در مرحله پژوهش و آزمایش باقی مانده است.

### ۳- شیوه پژوهش

هدف پژوهش: هدف از این پژوهش، شناسایی و تخمین کارایی سیستم کانال انتقال نور، جهت افزایش کیفیت و کمیت روشنایی در ساختمان های با پلان عمیق می باشد.

سوالات پژوهش: کانال های انتقال نور در طول سال و ساعات کاری چه میزان روشنایی را به نیمه انتهایی اتاق انتقال می دهد؟ ابعاد و تناسب بهینه برای این سیستم در شهر تهران به چه صورت می باشد؟ و این سیستم روشنایی روز را تا چه عمقی از اتاق های عمیق با پنجره کناری رو به جنوب، می تواند انتقال دهد؟

روش پژوهش: روش تحقیق توصیفی- تحلیلی برای این پژوهش انتخاب شده است. همچنین از نرم افزارهای Analysis Autodesk Ecotect نسخه ۲۰۱۰ جهت مدل سازی و Radiance ControlPanel جهت آنالیز روشنایی، استفاده شده است.

### ۴- ساختار مدل شبیه سازی شده برای تهران

#### ۴-۱ مشخصات اتاق مورد مطالعه

در این پژوهش از مدل پیشنهادی لابراتوار بین المللی لورنس برکلی<sup>۴</sup> (Beltrán et al., 1994) برای کانال انتقال نور مورد مطالعه استفاده شده است و در پی آن است که این مدل را با شرایط تابش خورشیدی در شهر تهران مطابقت بخشیده و

۳۵ درجه شمالی (کسمایی، ۱۳۸۲) استخراج و زوایای انعکاس دهنده‌ها نیز در حالتی که بتواند این پرتوها را به صورت کاملاً افقی به درون کانال انتقال نور منعکس کند محاسبه گردید. برای شبیه‌سازی انعکاس دهنده‌ها از مصالح با ضریب انعکاس زیاد و در حدود ۰/۹۵ و خاصیت آینه‌ای ۰/۹۰ استفاده شد. سایر بخش‌های داخلی کانال انتقال نور از مصالح با ضریب انعکاس ۰/۹۵ و خاصیت آینه‌ای ۰/۸۵ می‌باشد و در قسمت خروج نور از شیشه نیمه شفاف با ضریب عبور نور ۰/۸۰ استفاده شده است. درپچه بیرونی کانال انتقال نور نیز توسط شیشه‌ای با ضریب عبور نور ۰/۸۸ پوشانده شده است.

## ۵- تحلیل داده‌ها

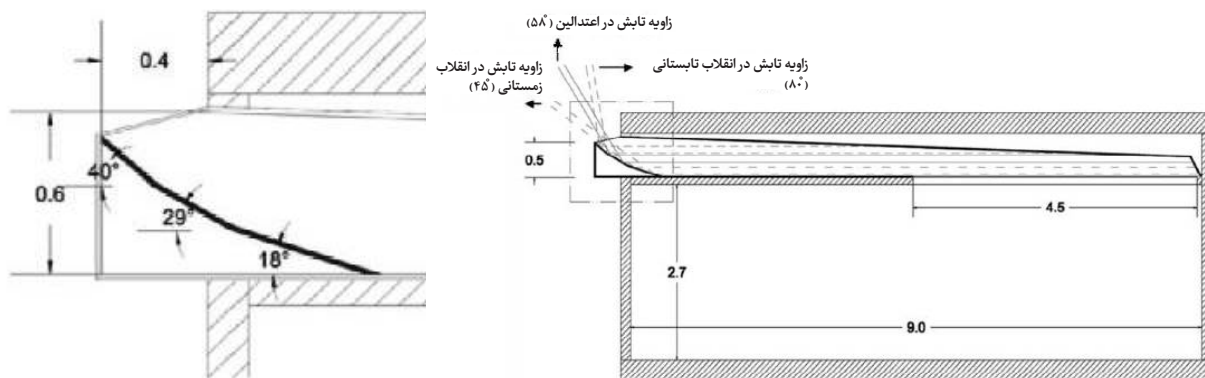
### ۱-۵- کمیت روشنایی از طریق کانال انتقال نور

برای سنجش نحوه کارکرد کانال‌های انتقال نور در شهر تهران، مدل بدست آمده را در شرایط آسمان صاف و آفتابی و در جهت جنوب شبیه‌سازی کرده و میزان روشنایی روی سطح میز کار به ارتفاع ۹۰cm مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در مشخصات مدل مورد مطالعه نیز بیان شد، این اتاق اداری از دو منبع روشنایی برخوردار است: پنجره کناری و کانال انتقال نور. برای بررسی شرایط روشنایی در اتاقی با این دو منبع روشنایی شبیه‌سازی‌های زیر انجام شده است. ابعاد پنجره برابر با ۳۰٪ از مساحت دیوار می‌باشد که در مدل به صورت ۱/۵×۲ متر در نظر گرفته شده است. آنچه از مطالعه شبیه‌سازی‌های بر می‌آید (تصویر ۶)، این

عبور نور برای شیشه پنجره ۴۵٪ در تابستان و ۳۰٪ در زمستان در نظر گرفته شد. این ضریب عبور نور با توجه به این نکته می‌باشد که در اتاق از سایه اندازه‌های داخلی مانند پرده‌های کرکره‌ای استفاده شده است و میزان نور ورودی قابل تنظیم می‌باشد. این حالت باعث می‌شود که میزان روشنایی در هیچ‌جا اتاق از ۲۰۰۰ لوکس (محدوده آزار دهنده روشنایی) بیشتر نشود و در واقع تقریباً معادل با عملکرد سایه اندازه‌های داخلی در نظر گرفته شده است.

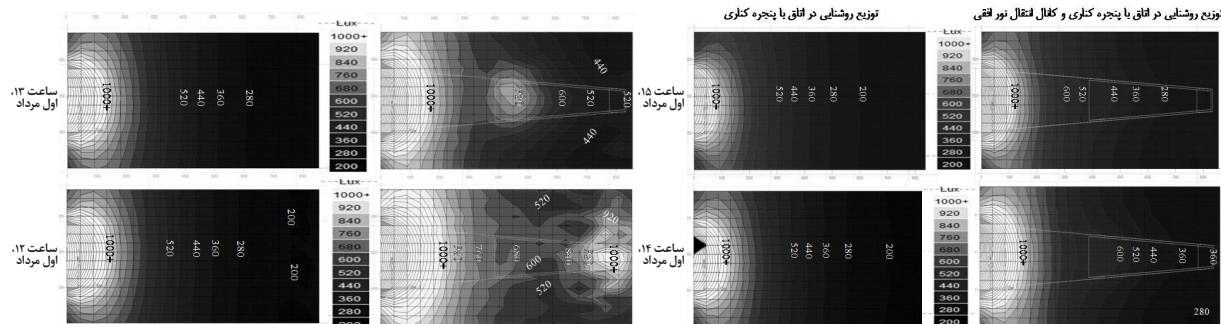
### ۲-۴- مشخصات کانال انتقال نور شبیه‌سازی شده

ابعاد و اندازه‌های کانال انتقال نور بر اساس آنچه توسط لابراتور برکلی مطرح شده است و نتیجه مطلوبی نیز در آزمایشات لوس آنجلس در سال ۱۹۹۷ بدست آورده است، در نظر گرفته شد. در قسمت انعکاس دهنده‌ها تغییرات مورد نیاز برای تطبیق با شرایط تابش خورشیدی شهر تهران صورت گرفته است. عملکرد اصلی انعکاس دهنده‌ها در این سیستم، دریافت پرتوهای خورشید با زوایای متفاوت و بازتاب آنها به درون کانال به صورتی است که پرتوهای نور کمترین میرایی را در طول مسیر بر اثر انعکاس‌های بی در پی داشته باشد و در واقع پرتوها را تا حد ممکن به صورت موازی به درون کانال انتقال دهد. از این رو برای انعکاس دهنده‌ها سه زاویه متفاوت بر اساس زوایای ارتفاع خورشید در ظهر و در انقلاب تابستانی، انقلاب زمستانی و اعتدالین بدست آمد (تصویر ۴ و ۵). زوایای ارتفاع خورشید در ساعت ۱۲ ظهر برای این سه حالت خاص خورشیدی از دیگرام موقعیت و زوایای تابش خورشیدی عرض جغرافیایی



تصویر ۵- زوایای بدست آمده برای انعکاس دهنده‌ها بر اساس زوایای تابش خورشیدی در تهران.

تصویر ۴- برش طولی از اتاق و کانال انتقال نور و زوایای تابش خورشید در تهران.



تصویر ۶- مقایسه کمیت روشنایی و نحوه توزیع آن برای اول مرداد ماه روی سطح میز کار.

#### ۵-۲ کیفیت روشنایی از طریق کانال انتقال نور

کانال‌های انتقال نور به عنوان منبعی ثانویه برای تامین روشنایی داخلی فضا، در صورتی می‌توانند بیشترین کارایی را داشته باشند که علاوه بر تامین کمیت روشنایی مورد نیاز در فضای داخلی، بتوانند توزیع یکنواختی از روشنایی را در اتاق ایجاد کنند و تا حد امکان از ایجاد خیرگی جلوگیری کنند. براساس نمودار ۱، همانطور که از عملکرد کانال‌های انتقال نور انتظار می‌رود، توزیع روشنایی در طول اتاق در حالتی که از کانال انتقال نور و پنجره استفاده شود، یکنواخت تر خواهد بود. این مسئله می‌تواند موجب آسایش بصری و قابل استفاده شدن سطح بیشتری از اتاق برای ساکنین شود؛ در حالی که تنها از روشنایی نور روز در اتاق استفاده شده است. زیاد شدن سطح روشنایی در نیمه دور از پنجره اتاق نیز خود در کاهش استفاده از روشنایی مصنوعی مؤثر خواهد بود.

#### ۵-۳ طول مناسب برای کانال انتقال نور

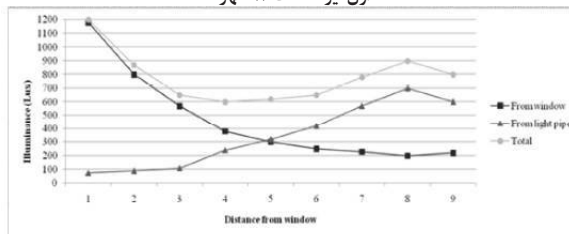
در مدل شبیه سازی شده فوق، طول کانال انتقال نور ۹ متر در نظر گرفته شد. برای نشان دادن کارایی کانال‌ها در عمق‌های بیشتر اتاق، از مدل‌هایی با عمق ۱۰ و ۱۲ متر استفاده شد که با همان روش و همان مشخصات مدل قبلی شبیه سازی شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. در اتاق ۱۰ متری میزان روشنایی وارد شده از طریق کانال انتقال نور در ساعت ۱۲ ظهر برای اول دی و اول تیرماه تامین کننده نیازهای روشنایی در اتاق اداری می‌باشد ولی این میزان از آنچه در اتاق ۹ متری بدست می‌آید کمتر می‌باشد. روشنایی بدست آمده از این سیستم برای ساعات جدول ۲- حداکثر میزان روشنایی ساعتی بر روی سطح میزکار در هر ماه از سال برای ساعات کاری روز

میزان روشنایی روی سطح میزکار (لوکس)				
ماه‌های سال	۹ و ۱۵	۱۰ و ۱۴	۱۱ و ۱۳	۱۲
اول فروردین	۹۶	۱۳۲	۲۱۵	۳۱۴
اول اردیبهشت	۹۰	۱۴۸	۳۲۹	۵۶۴
اول خرداد	۷۷	۱۰۰	۲۲۰	۵۷۰
اول تیر	۱۰۰	۱۷۰	۳۵۰	۷۰۰
اول مرداد	۱۳۰	۲۱۰	۴۵۰	۸۵۰
اول شهریور	۶۸	۱۰۰	۲۵۰	۴۵۰
اول مهر	۶۶	۸۸	۱۲۰	۲۲۰
اول آبان	۶۰	۱۱۰	۱۴۰	۱۹۸
اول آذر	۶۰	۸۸	۱۷۰	۲۵۰
اول دی	۱۰۰	۱۸۰	۳۲۰	۶۲۰
اول بهمن	۸۰	۱۱۰	۲۲۳	۳۰۰
اول اسفند	۹۳	۱۳۸	۲۵۴	۳۵۰

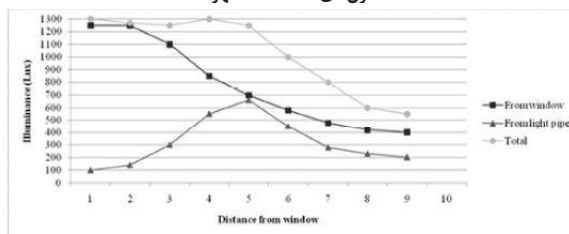
است که کانال‌های انتقال نور بیشترین تاثیر را در ساعات ۱۱، ۱۰، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ داشته و کمترین تاثیر را در ساعات ۹ و ۱۵ بر روشنایی داخلی خواهند داشت. در ساعت ۱۲ ظهر در صورت استفاده از پنجره به تنهایی برای روشنایی داخلی، انتهای اتاق در حدود ۲۰۰ لوکس روشنایی خواهد داشت که این مقدار با استفاده از کانال انتقال نور به بیشتر از ۱۰۰۰ لوکس افزایش می‌یابد. در ساعت ۹ و ۱۵ این افزایش از ۲۰۰ لوکس به ۳۰۰ لوکس برای انتهای اتاق خواهد بود. این شبیه سازی‌ها برای همه ماه‌های سال در ساعات ۹ تا ۱۵ انجام شده است و حداکثر میزان روشنایی بدست آمده توسط کانال انتقال نور در فاصله بین ۵ تا ۹ متری اتاق بدست آمد که در جدول ۲ نشان داده شده است.

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، میزان روشنایی بدست آمده از کانال انتقال نور در ساعات ۹ و ۱۵ تقریباً کمتر از ۱۰۰ لوکس می‌باشد که در واقع برآورده کننده نیازهای روشنایی داخلی نخواهد بود و در صورت جوابگو نبودن روشنایی حاصل از پنجره و کانال انتقال نور، استفاده از روشنایی مصنوعی اجتناب ناپذیر است. این میزان روشنایی برای دیگر ساعات کاری بیشتر از ۱۰۰ لوکس و در برخی ساعات بیشتر از ۳۰۰ لوکس نیز می‌باشد که به خوبی می‌تواند پاسخگوی نیازهای روشنایی برای ساکنین یک اتاق اداری باشند. همچنین در انقلاب تابستانی و زمستانی که زوایای انعکاس دهنده‌ها منطبق بر زوایای تابش خورشیدی در این ماه‌ها می‌باشد، بهترین شرایط روشنایی داخلی تامین می‌شود. این خود نشان از این مهم می‌باشد که بهترین کارایی کانال‌های انتقال نور در زمانی خواهد بود که انعکاس دهنده‌ها متحرک باشند و در هر ماه از سال زاویه خاصی منطبق بر زوایای تابشی همان ماه را داشته باشند.

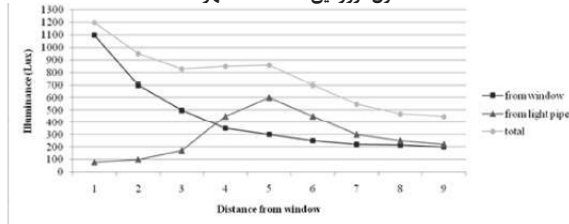
اول تیر، ساعت ۱۲ ظهر



اول دی، ساعت ۱۲ ظهر



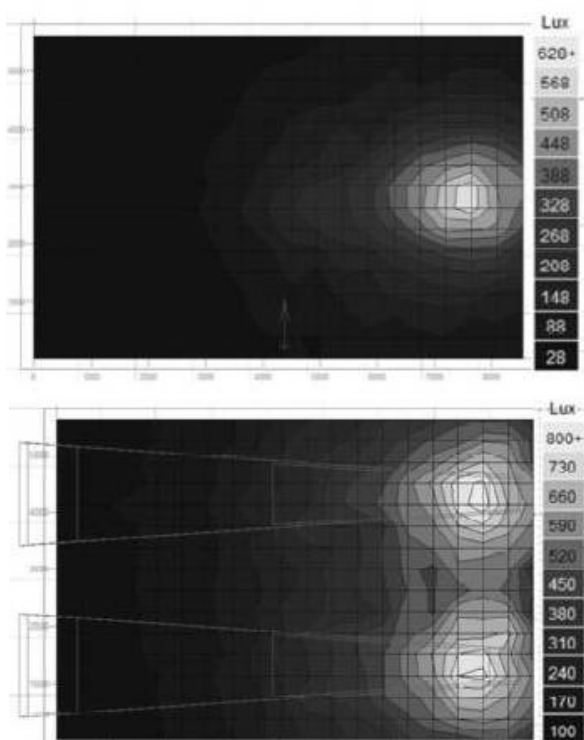
اول فروردین، ساعت ۱۲ ظهر



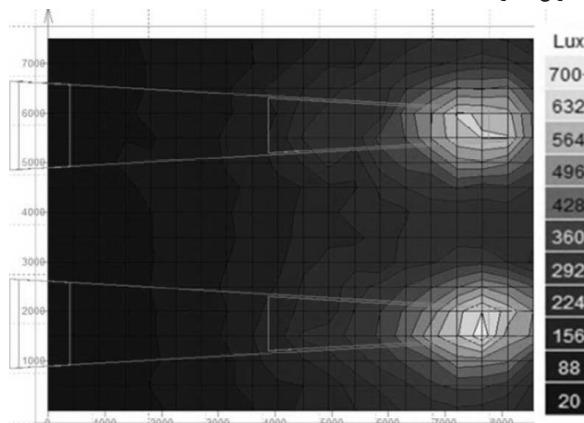
نمودار-۱ نحوه توزیع و میزان روشنایی ایجاد شده روی سطح میزکار در طول اتاق.

است که از تعداد مناسبی از کانال‌های انتقال نور استفاده شود که در این صورت از ایجاد فضاهای کم نور در فاصله میان کانال‌های انتقال نور و در نهایت توزیع نامناسب روشنایی در عرض اتاق جلوگیری می‌شود.

در قسمت‌های قبلی برای اتاقی با عرض ۴ متر یک کانال انتقال نور در نظر گرفته شد و همانطور که در شبیه‌سازی‌ها مشاهده شد، در اکثر ساعات روز این سیستم جوابگوی کل عرض اتاق می‌باشد و نیازی به تعداد بیشتر وجود ندارد. در ادامه ابتدا اتاقی با عرض ۶ متر، عمق ۹ متر و وجود یک کانال انتقال نور، شبیه‌سازی شده و کارایی آن سنجیده می‌شود. میزان روشنایی بدست آمده در این اتاق تفاوت چندانی با اتاق ۴ متری نمی‌کند ولی توزیع عرضی روشنایی نشان می‌دهد که در اتاق ۶ متری



تصویر ۹- توزیع عرضی روشنایی ایجاد شده توسط یک و دو کانال انتقال نور در اتاقی به عرض ۶ متر.



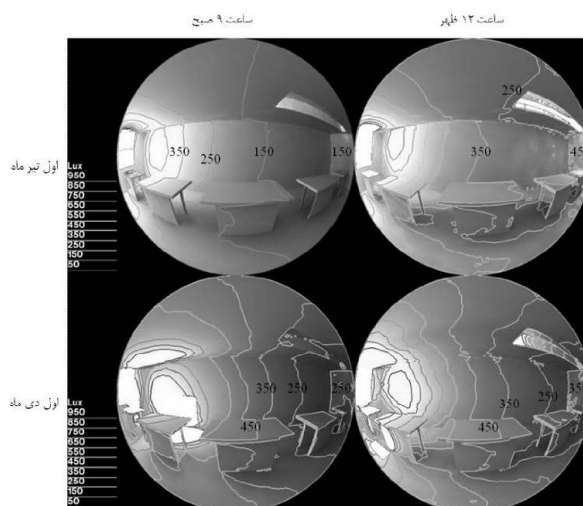
تصویر ۱۰- توزیع روشنایی در اتاق اداری با عرض ۸ متر با استفاده از دو کانال انتقال نور در ساعت ۱۲ ظهر اول تیرماه.

۹ صبح بسیار کاهش یافته و تقریباً نامحسوس است (تصویر ۷). مطالعات فوق برای اتاق به عمق ۱۲ متر نیز صورت گرفت. در ساعت ۱۲ ظهر اول تیرماه کمیت روشنایی کافی به نظر می‌رسد و در انتهای اتاق به بیش از ۳۰۰ لوکس می‌رسد ولی در اول دی در همین ساعت روشنایی کمتر از ۲۰۰ لوکس ایجاد شده. این خود نشان از روشنایی کمتر در دیگر ساعات روز می‌باشد که برای یک اتاق اداری مناسب نمی‌باشد (تصویر ۸).

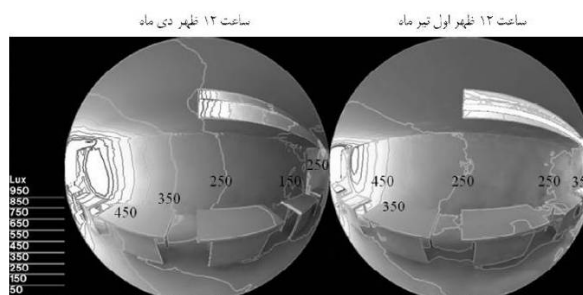
با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده برای ساعت ۱۲ ظهر در ماه تیر و دی کانال انتقال نور در این مدل نمی‌تواند کارایی لازم را داشته باشد و بهتر آن است که عمق اتاق را برای این نوع از کانال انتقال نور به ۱۰ متر محدود کرد. هرچند که کانال انتقال نور ۹ متری شرایط بهتری را از لحاظ کمیت و کیفیت روشنایی نسبت به مدل ۱۰ متری ایجاد می‌کند. در صورتی که کانال‌های انتقال نور با طول ۱۰ و ۱۲ متر برای روشن کردن فضاهایی با نیاز روشنایی کمتر مانند راهروها استفاده شوند می‌توانند مناسب واقع شوند و کاهش روشنایی مصنوعی را به همراه داشته باشند.

#### ۴-۵ فواصل مناسب میان کانال‌های انتقال نور

آنچه به عنوان توزیع مناسب روشنایی در عمق اتاق بیان و بررسی شد، این بار در عرض اتاق به عنوان عاملی مهم در بهبود کارایی کانال‌های انتقال نور بررسی می‌شود. آنچه مسلم است هر کانال انتقال نور می‌تواند برای محدوده مشخصی روشنایی مناسب تامین کند و برای اتاق‌های عریض و عمیق بهتر آن



تصویر ۷- روشنایی ایجاد شده در اتاقی به عمق ۱۰ متر در اول دی و اول تیرماه.



تصویر ۸- توزیع روشنایی در اتاقی به عمق ۱۲ متر با استفاده از کانال انتقال نور.

برای اطمینان نسبت به نتیجه بدست آمده و تعیین تقریبی محدوده تحت تاثیر کانال انتقال نور، اتاقی به عرض ۸ متر و عمق ۹ متر با استفاده از دو کانال انتقال نور، شبیه سازی و بررسی شده است. در تصویر ۱۰ مشاهده می شود که دو کانال انتقال نور توانسته اند روشنائی مناسبی بر روی میز کار ایجاد کند که این مسئله نشان از کارایی مناسب این سیستم در ایجاد روشنائی یکنواخت در فضا می باشد. ولی این فاصله تقریباً بیشترین فاصله ایست که دو کانال انتقال نور می توانند از هم داشته باشند چرا که در غیر این صورت همپوشانی مناسبی در فضای میانشان ایجاد نخواهد شد.

میزان روشنائی در کناره های اتاق در حد مطلوب نمی باشد و در واقع این اتاق توسط یک کانال انتقال نور نمی تواند توزیع روشنائی یکنواختی در عرض اتاق داشته باشد. در حالت دیگر شرایط روشنائی این اتاق در صورت استفاده از دو کانال انتقال نور سنجیده می شود. در اتاقی با عرض ۶ متر و استفاده از دو کانال انتقال نور همپوشانی روشنائی حاصل از کانال های انتقال نور به شکل مناسبی ایجاد می شود و فضای بین آنها نیز از روشنائی مطلوبی بهره مند می شود. در نتیجه در عرض های بیشتر از ۴ متر استفاده از یک کانال انتقال نور کافی نخواهد بود (تصویر ۹).

## نتیجه

با زوایای تابش خورشید، برای همه ماه های سال می توان روشنائی مطلوب و کافی دریافت نمود. طول مناسب برای این کانال ها ۹ متر ارزیابی شد و در طول های بیشتر کارایی سیستم کاهش خواهد یافت. براساس شبیه سازی های انجام شده هر کانال انتقال نور برای عرض ۴ متری اتاق جوابگو خواهد بود و در نتیجه برای هر ۴ متر حداقل یک کانال مورد نیاز است تا توزیع یکنواخت روشنائی در عرض اتاق نیز ایجاد شود. دستاوردهای پژوهش نشان دهنده آن است که استفاده از کانال های انتقال نور روشی بسیار کارآمد برای ارتقای بهره وری در استفاده از نور روز در ساختمان های اداری تهران است.

سیستم کانال انتقال نور در شهر تهران به خوبی می تواند کمیت و کیفیت نور روز را برای اتاق های با پلان عمیق افزایش دهد. این میزان تاثیر در ساعات ۹ و ۱۵ کاهش یافته و سیستم جوابگوی نیازهای روشنائی داخلی به حد نیاز نخواهد بود و این در حالی است که بیشترین میزان روشنائی در ساعت ۱۲ ظهر وارد اتاق می شود. از آنجایی که انعکاس دهنده های سیستم برای سه حالت ثابت در طول سال (انقلاب تابستانی و زمستانی و اعتدالین) در نظر گرفته شده است، بیشترین میزان انتقال روشنائی در این سه ماه از سال بدست می آید بنابراین در صورت متحرک بودن انعکاس دهنده ها و در نتیجه انطباق

## پی نوشت ها

Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA. Available from <http://gaia.lbl.gov/btech/papers/38133.pdf>. [Accessed 8 December 2012].

Benya, J., Hescong, L., Miller, N., Clanton, N. (2001), *Lighting Design Considerations*. In: *Advanced Lighting Guidelines*, 2001 Edition. New Buildings Institute, CA. pp. 7, 11. Available from <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/diversos/Lighting%20design%20considerations.pdf> [Accessed 8 December 2012].

Canziani, R., Peron, F., Rossi, G. (2004), Daylight and energy performances of a new type of light pipe. *Energy and Buildings*, 36: 1163-1176.

Compagnon, R. (2002), *Advanced Daylighting Systems*, Chapter 9. In: Baker, N., Steemers, K. (Authors), *Daylight Design of Buildings*, James & James, London, UK.

Garcia-Hansen, V., Edmonds, I., Hyde, R. (2001), *The use of light pipes for deep plan office buildings — a case study of Ken Yeang's bioclimatic skyscraper proposal for KLCC*, Malaysia. In: 35th Annual Conference of the Australian and New Zealand Architectural Science Association, Wellington, New Zealand.

Mahdavejad, M., Mator, S., Feyzmand, N., Doroodgar, A. (2012), Horizontal Distribution of Illuminance with Reference to Window Wall Ratio (WWR) in Office Buildings in Hot and Dry Climate, Case of Iran, *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 110-116: 72-76.

Peron, F., Canziani, R., Rossi, G. (2004), Daylight and energy performances of a new type of light pipe. *Energy and Buildings*, 36: 1163-1176.

1 Remote Lighting.

2 Vertical Light-Pipes, Sun Pipe, Sun Tube.

3 Horizontal Light-Pipe.

4 Lawrence Berkeley National Laboratory.

5 Window Wall Ratio.

6 Visible Transmittance.

## فهرست منابع

اونز، بنجامین اچ (۱۳۷۹)، نور روز در معماری، ترجمه شهرام پوردیهیمی، حوری عدل طباطبایی، نشر نخستین، تهران.

کسمائی، مرتضی (۱۳۸۲)، اقلیم و معماری، نشر خاک، اصفهان.

لکنر، نربرت (۱۳۸۵)، گرمایش، سرمایش، روشنائی، رویکردهای طراحی برای معماران. ترجمه محمدعلی کی نژاد و رحمان آذری، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز.

Baker, N., Steemers, K. (2002), *Daylight Design of Buildings*, James & James, London.

Beltrán, L.O., Lee, E.S., Papamichael, K.M., Selkowitz, S.E. (1994), The design and evaluation of three advanced daylighting systems: light shelves, light pipes and skylights. LBL Report 34458, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA. Available from <http://btech.lbl.gov/papers/34458.pdf>. [Accessed 8 December 2012].

Beltrán, L.O., Lee, E.S., Selkowitz, S.E. (1996), Advanced optical daylighting systems: light shelves and light pipes. LBL Report 38133,